

**UTICAJ UPRAVLJANJA SISTEMOM ODRŽAVANJA NA  
OPERATIVNU RASPOLOŽIVOST TEHNIČKIH SISTEMA**

**THE IMPACT OF THE MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM ON  
THE OPERATIONAL AVAILABILITY OF TECHNICAL SYSTEMS**

**Dr.sc. Hasan Avdić, vanr.prof.**  
**Mašinski Fakultet u Tuzli**  
**Tuzla**

**Mr.sc. Mehmed Hasanović, dipl.inž.maš**  
**RMU "Banovići" d.d.**  
**Banovići**

**REZIME**

*Upravljanje sistemom održavanja tehničkih sistema treba, prije svega, da omogući operativno ili kratkoročno planiranje, ali i planiranje za duži vremenski period, kao i inovacije sistema održavanja i samih tehničkih sistema (zahtjevi pri projektovanju sistema održavanja, pri pripremi tehničkih sistema za eksploataciju i, na kraju, sugestije za povlačenje tehničkih sistema iz upotrebe). U užem smislu, upravljanje procesom održavanja se sprovodi radi svođenja vremena u otkazu na minimum i stabilizovanja odvijanja procesa rada tehničkih sistema, odnosno držanja vrijednosti operativne raspoloživosti tehničkih sistema u granicama dozvoljenih odstupanja. S druge strane, poznato je da operativna raspoloživost je vjerovatnoća da tehnički sistem, kada se koristi pod specificiranim uslovima, zadovoljavajuće funkcioniše u bilo kom trenutku vremena, pri čemu vrijeme koje se ovdje razmatra obuhvata vrijeme korištenja i vrijeme zastoja.*

*U ovom radu će biti prikazan uticaj upravljanja sistemom održavanja na operativnu raspoloživost na primjeru u RMU Banovići.*

**Ključne riječi:** uticaj, upravljanje, sistem održavanja, operativna raspoloživost, tehnički Sistemi

**ABSTRACT**

*The maintenance management of technical systems should, first and foremost, provide operational or short-term planning, but also the planning for a longer period of time, as well as the innovations of the maintenance system and technical systems (design requirements of the maintenance system, the preparation of technical systems for exploitation and, finally, suggestions for withdrawing technical systems from the usage). In a narrow sense, maintenance management is carried out in order to reduce the time of failure to a minimum and stabilize the process of technical systems, and keep the value of the operational availability of technical systems within the permissible deviations.*

*On the other hand, it is known that operational availability is the likelihood of the technical system, when used under specified conditions, functioning satisfactorily at any point of time; the time considered here includes the use of the time and time delays.*

*This paper will present the effect on the maintenance management system on the operational availability in the case of RMU Banovici.*

**Keywords:** impact, management, system maintenance, operational availability, technical systems.

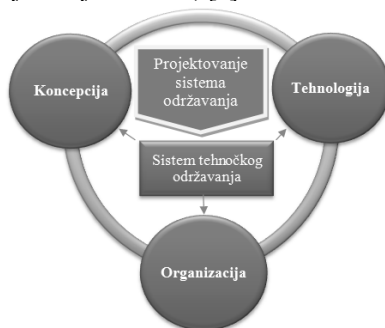
## 1. UVOD

Efektivnost i efikasnost jednog sistema održavanja zavise od velikog broj faktora, a prije svega od dobrog planiranja i međusobne usklađenosti različitih aktivnosti koje se u tom sistemu sprovode. Da bi se to ostvarilo potrebno je, da se na svim nivoima odlučivanja, osloni na naučna saznanja i na iskustvo zaposlenih. Drugim riječima, zaposleni u upravljanju održavanjem moraju posjedovati i različite vrste znanja, onih osnovnih i onih posebnih. Osnovna znanja su univerzalna i primjenljiva na svaki sistem održavanja, a posebna znanja su ona koja su specifična za svaki sistem ponaosob i zavise od samih karakteristika sistema koji se održava (oprema, materijali, uslovi rada i sl.). Razvoj sistema upravljanja održavanjem tehničkih sistema u složenom preduzeću nameće se kao rezultat rastuće kompleksnosti i dinamike procesa njihove eksploatacije i održavanja i sve težeg direktnog upravljanja događajima koji karakterišu ove procese. Nestacionarnost procesa održavanja, njegov stohastički karakter (što je posljedica prirode nastanka potrebe za održavanjem i trajanja postupaka održavanja) i time prouzrokovana podložnost čestim promjenama, usmjeravaju cio proces održavanja ka stanju potpune neorganizovanosti ili maksimalne entropije. Proces koji se odupire ovoj pojavi je upravljanje. Zbog toga se automatizacija procesa upravljanja održavanjem zasniva na stvaranju i usklađivanju nečeg što je suprotno od entropije - negativnoj entropiji ili informacijama. Presudan utjecaj sistema održavanja na nivo ukupnih troškova životnog ciklusa i ostvarenu efektivnost tehničkih sistema logično nameće zahtjev za efikasno upravljanje održavanjem. Međutim, imajući u vidu naglašenu složenost sistema održavanja, projektovanje upravljačkih funkcija predstavlja složen zadatak.

## 2. TEORIJSKA ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Definisanje sistema održavanja

Sistem održavanja tehničkog sistema (sl.1) 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 sprovode postupci (skup aktivnosti) održavanja. U ovom pogledu postoje osnovne mogućnosti: preventivno, naknadno i kombinovano održavanje. Kod preventivnog održavanja, potrebni postupci se sprovode 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. Organizacija sistema zavisi od odnosa pojedinih nivoa na kojima se sprovode postupci održavanja (pri ovome, postupci održavanja su one aktivnosti koje se sprovode na tehničkom sistemu da ne bi došlo do otkaza – pregled, zamjena dijelova i dr.) [1].



Slika 1. Komponente sistema održavanja

## 2.2. Definiranje raspoloživosti

Raspoloživost predstavlja 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 skladištu (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 (u skladištu), njegova raspoloživost se jednostavno može izraziti kao odnos vremena „stanja U RADU“ i ukupnog vremena posmatranja, tj. ukupnog vremena korištenja. [1]

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

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

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.

Ukoliko se posmatrani sistem u periodu vremena koji se analizira pretežno nalazio u rezervi (u skladištu) raspoloživost očigledno treba da se definiše na drugi način. Jedna od mogućnosti je da se raspoloživost iskaže kao vjerovatnoća povoljnog „odziva“ sistema, odnosno kao vjerovatnoća da će sistem „pozitivno odgovoriti“ na poziv za uključivanje u rad. Ovo se može izraziti u obliku:

$$A(t) = \frac{N_u(t)}{N} \quad \dots (2)$$

gdje je:

A(t) – Funkcija raspoloživosti,

$N_u(t)$  – Broj „pozitivnih“ (uspješnih odziva) do vremena t,

N – Ukupan broj poziva za uključivanje u rad, do vremena t.

Raspoloživost po standardima EU-a ( EN 13306; EN 15341; EN 13460 )

Raspoloživost predstavlja sposobnost elementa da bude u stanje vršiti traženu funkciju pod datim uvjetima u datom vremenu ili tokom danog vremenskog intervala, pod pretpostavkom da su osigurani potrebni vanjski izvori [2].

NAPOMENA 1: Ova sposobnost ovisi o kombiniranim aspektima pouzdanosti, pogodnosti za održavanje i mogućnosti pružanja podrške održavanju.

NAPOMENA 2: Potrebni vanjski resursi, različiti od održavanja, ne utiču na raspoloživost elementa.

Raspoloživost opreme definisana je kao postotak potencijalnog vremena proizvodnje za vrijeme kojeg je oprema operativna, tj rad nije ometan otkazivanjem opreme.

Raspoloživost bazirana na održavanju:

$$T_1 = \frac{\text{UKUPNO VRIJEME RADA}}{\text{UKUPNO VRIJEME RADA} + \text{VRIJEME ZASTOJA ZBOG ODRŽAVANJA}} \cdot 100 \quad \dots (3)$$

Operativna raspoloživost:

$$T_i = \frac{\text{OSTVARENO VRIJEME ISPRAVNOSTI TOKOM POTREBNOG VREMENA}}{\text{POTREBNO VRIJEME}} \cdot 100 \quad \dots (4)$$

U ovom radu za računanje rapoloživosti korišteno je efektivno vrijeme rada bagera TEREX RH 120E (1) i vrijeme zastoja zbog održavanja (aktivno + logističko + administrativno)

### 2.3. Definiranje upravljanja sistemom održavanja

Upravljanje sistemom održavanja tehničkih sistema treba, prije svega, da omogući operativno ili kratkoročno planiranje, ali i planiranje za duži vremenski period, kao i inovacije sistema održavanja i samih tehničkih sistema (zahtjevi pri projektovanju sistema održavanja, pri pripremi tehničkih sistema za eksploataciju i, na kraju, sugestije za povlačenje tehničkih sistema iz upotrebe). U užem smislu, upravljanje procesom održavanja se sprovodi radi svodenja vremena u otkazu na minimum i stabilizovanja odvijanja procesa rada tehničkih sistema, odnosno držanja vrijednosti operativne raspoloživosti tehničkih sistema u granicama dozvoljenih odstupanja [3].

Upravljanje održavanjem znači sukladno postavljenoj strategiji održavanja organizirati, nadzirati i dokumentirati radove održavanja (bez samog izvođenja radova održavanja). Osnovna filozofija i princip koji prati ispravan pristup upravljanju održavanjem je stalno zadovoljavanje korisnikovih potreba: prvi puta, svaki puta i uz najniži trošak. Osnovni ciljevi upravljanja održavanjem su [1]:

- sačuvati funkciju opreme
  - izbjeđavati posljedice otkaza
  - sigurnosni otkazi (ugrožavanje osoblja, opreme i okoline)
  - operativni otkazi (gubitak proizvoda i veliki troškovi popravke)
- ne-operativni otkazi (uzrokuju velike troškove popravki)

Uloga upravljanja održavanjem je provoditi sve aktivnosti koje doprinose povećanju:

- sigurnosti radnika, opreme i okoliša
- raspoloživosti, i
- ekonomičnosti.

## 3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

### 3.1. Plan eksperimenta

Istraživanje je obavljeno u Rudniku mrkog uglja „Banovići“, na tehničkom sistemu - bageru Terex RH-120-E sa kapacitetom kašike 15 m<sup>3</sup> interne oznake 1.

Za realizaciju funkcije cilja urađeno je slijedeće:

- definiran tehnički sistem,
- analiza zastoja bagera TEREX RH 120E
- analiza regresione jednačine raspoloživosti
- analiza postojećeg načina upravljanja sistemom održavanja u RMU Banovići
- prijedlog novog načina upravljanja sistemom održavanja u RMU Banovići
- zaključna razmatranja.

### 3.2. Definiranje tehničkog sistema

Tehnički sistemi predstavljaju skupove elemenata i relacija između njih i njihovih karakteristika povezanih međusobno u cjelinu, na način pogodan za vršenje korisnog rada. To znači da je za funkcionisanje sistema, pored kvaliteta elemenata u cjelini, neophodna određena veza između njih. Dosadašnja razmatranja odnose se ne samo na elemente nego i na

sisteme. Osnovni razlog leži u činjenici da svaki složeni sistem objedinjuje veći ili manji broj sastavnih elemenata (podsistema, sklopova, podsklopova, elemenata), te se o njegovoj pouzdanosti može suditi samo ako se analiziraju i analitički obuhvate pouzdanost svakog detalja pojedinačno. U cilju omogućavanja analize ove vrste u teoriji pouzdanosti se posebno analiziraju načini povezivanja elemenata sistema sa stanovišta oblikovanja strukturne šeme (bloka) pouzdanosti na osnovu koje treba izvesti analitičke izraze za izračunavanje pouzdanosti sistema. Načini povezivanja mogu biti [3]:

- redna
- paralelna
- pasivna paralelna
- djelimično paralelna
- specifična (kvaziredna ili kvaziparalelna)
- kompleksna (kombinacija prethodno navedenih veza elemenata u sistemu).

RMU „Banovići“ d.d. raspolaže sa dva hidraulična bagera TEREX O&K RH 120E sa čeonom kašikom, zapremine 15 m<sup>3</sup>. Ovo je elektro varijanta modela RH-120, koji je opremljen sa jednim pogonskim elektromotorom snage 1000 KW. Izgled bagera TEREX RH 120 E prikazan je na slici 2.



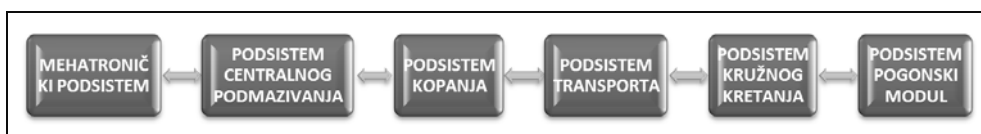
Slika 2. Izgled bagera TEREX RH 120E

Ako se bager TEREX RH 120E posmatra kao sistem koji na ulazu ima energiju, materijal i informacije a kao izlaz se dobija kapacitet, efektivnost i kvalitet onda se taj sistem može podijeliti u nekoliko pod sistema koji su u međusobnoj vezi a čija ispravnost direktno utiče na izlazne veličine. Na osnovu navedenog tehnički sistem bager TEREX RH 120E se sastoji od šest podsistema i to podsistem transporta, podsistem centralnog podmazivanja, podsistem kopanja, podsistem dizanja, podsistem kružnog kretanja i podsistem radni organ. Navedeni podsistemi kao dio tehničkog sistema bagera TEREX RH 120E su prikazani na slici 3.



Slika 3. Tehnički sistem bager TEREX RH 120E sa podsistemima

Svi navedeni podsistemi bagera TEREX RH 120E su u serijskoj vezi, što znači da u slučaju stanja "U OTKAZU" bilo kojeg podsistema tehničkog sistema bagera TEREX RH 120E cijeli sistem je u stanju "U OTKAZU", kako je prikazano na slici 4.



Slika 4. Prikaz serijske veze podsistema tehničkog sistema bagera TEREX RH 120E

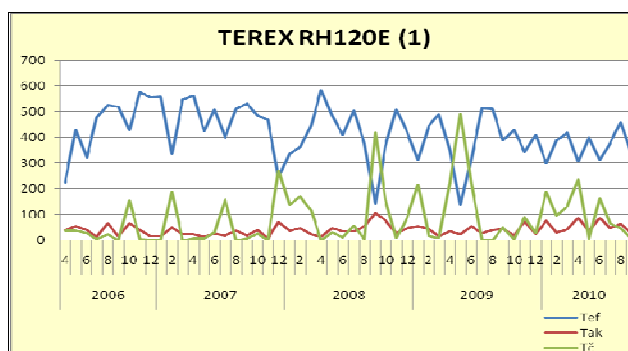
### 3.3. Analiza zastoja bagera terex RH 120E (1)

U RMU „Banovići“ d.d. je uvedeno vođenje karte zastoja pomoću koje se dobija vremenska slika stanja postrojenja koja predstavlja ponašanje sistema u posmatranom periodu. Nedostatak karte zastoja koja se koristi u RMU Banovići je u tome što na osnovu podataka koji su unešeni nije moguće utvrditi tačno utvrditi dužine trajanja administrativnog i logističkog vremena.

Tabela 1. Rezultati rada bagera TEREX RH 120E za period 2006 - 2010

BAGER TEREX RH 120E (1)			ZASTOJI (h)			Raspoloživost
			VRIJEME ODRŽAVANJA		Zbir zastoja	
Godina	Broj mjeseci	Ostvareni ef. sati	Aktivno	Čekanje na opravku		Ref
		T <sub>ef</sub>	T <sub>ak</sub>	T <sub>č</sub>		
2006	9	4065	342	294	636	86,5
2007	12	5585	332	694	1026	84,5
2008	12	4957	541	1205	1746	74,0
2009	12	4661	448	1356	1803	72,1
2010	9	3306	488	942	1430	69,8
Σ	54	22574	2150	4490	6640	77,3

U tabeli broj 1 su prikazani zastoji i ostvareni efektvni sati za 54 mjeseca praćenja gdje je vidljivo da aktivno vrijeme održavanja iznosi 2150 sati što predstavlja 32,3 % ukupnog vremena održavanja dok čekanje na opravku koje predstavlja zbir logističkog i administrativnog vremena iznosi 4490 sati što predstavlja 67,6 % ukupnog vremena održavanja. Na slici 5 su prikazani efektvni sati, vrijeme aktivnog održavanja i vrijeme čekanja na opravku za period praćenja od marta 2006 do septembra 2010. Godine.



Slika 5. Dijagram  $T_{ef}$ ,  $T_{ak}$  i  $T_{č}$  bagera TEREX RH

### 3.4. Analiza regresione jednačine raspoloživosti bagera TEREX RH 120E (1)

Za računanje regresione jednačine korišteni su podaci iz vremenske slike stanja koja se vodi u RMU Banovići. Period praćenja je od trećeg mjeseca 2007. godine kada je bager počeo sa radom pa do desetog mjeseca 2010. godine (ukupno 54 mjeseca). Regresiona jednačina je dobivena obradom podataka u softveru microsoft excel 2007. Rezultati računanja regresione analize dati su u tabelama 2 i 3. Regresiona jednačina raspoloživosti tehničkog sistema TEREX RH 120E (1) ima oblik:

$$R_{ef} = 98,6 - 0,193 T_{ak} - 0,151 T_{\check{c}} \quad \dots (5)$$

Tabela 2 – Rezultati regresione analize operativne raspoloživost bagera TEREX RH 120E

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	98,5532	0,7420	132,82	0,000
T <sub>ak</sub>	-0,19262	0,01926	-10,00	0,000
T <sub>č</sub>	-0,150549	0,003887	-38,73	0,000

S = 2,57920 R-Sq = 98,2% R-Sq(adj) = 98,2%

### 3.5. Način upravljanja sistemom održavanja u RMU Banovići

Održavanje u RMU Banovići je podijeljeno na sektor elektro i sektor mašinskog održavanja tako da ne postoji vrh piramide održavanja koji bi upravljao i koordinirao svim zastojima bez obzira na vrstu (elektro ili mašinski zastoj). Nepostojanje menadžera održavanja na nivou rudnika a koji bi bio odgovorna osoba koja bi planirala, koordinirala i kontrolisala održavanje često dolazi do nepotrebnih zastoja zbog neusaglašenosti termina izvođenja mašinske i elektro opravke, planiranja zamjene dijelova te logistike u dijelovima i vozilima koja vrše prevoz radnika i dijelova.

U sklopu mašinskog i elektro sektora djeluju tehničke pripreme koje vrše prikupljanje, obradu i analizu zastoja te za svoj rad su odgovorne sektorima.

Planiranje, koordinaciju, izvođenje i kontrolu svih zadataka održavanja izvode tehnički rukovodioci održavanja po pogonima. Oni ne raspolažu sa informacijama o vrstama zastoja, dužini zastoja, frekvenciji zastoja za protekli period.

Osim servisa za održavanje tehničkih sistema u svim pogonima na nivou rudnika mrkog uglja Banovići koristi se strategija „ČEKAJ I VIDI“.

### 3.6. Prijedlog novog načina upravljanja sistemom održavanja u RMU Banovići

Analiziranjem svih rezultata predlaže se reinženjering upravljanja sistemom održavanja u RMU Banovići, a koji bi podrazumijevao:

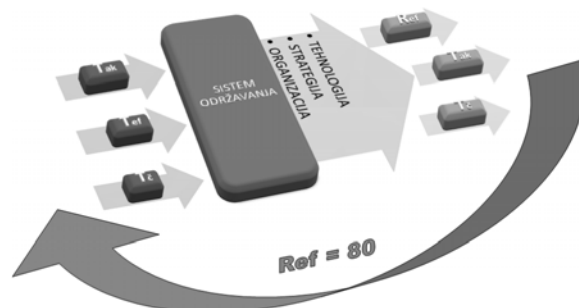
- promjenu strategije održavanja na „ODRŽAVANJE PO STANJU“,
- promjenu organizacije održavanja koja bi na vrhu piramide imala funkciju menadžera održavanja zaduženog i odgovornog za kompletno održavanja (mašinsko i elektro) na nivou rudnika,
- usavršavanje tehnologija održavanja primjenom novih materijala i tehnoloških dostignuća.

Nakon izvršenog reinženjeringa dalje upravljanje sistemom održavanja bi se zasnivalo na upravljanju sistemom održavanja sa zadatom operativnom raspoloživošću. Upravljanje sistemom održavanja sa zadanom raspoloživošću bi podrazumjevalo stalno mjerenje izlaznih vrijednosti ( $R_{ef}$ ,  $T_{ak}$ ,  $T_{\check{c}}$ ). Nakon mjerenja izlaznih veličina za zadata raspoloživost vršilo bi se planiranje i optimiranje ulaznih veličina ( $T_{ak}$ ,  $T_{\check{c}}$ ), a što je prikazano na slici 8.

Za zadata operativnu raspoloživost  $R_{ef} = 80\%$ , i za dobivenu regresionu jednačinu:

$$R_{ef} = 98,6 - 0,193 T_{ak} - 0,151 T_{\check{c}} \quad \dots (6)$$

za tehnički sistem TEREX RH 120E (1) vrši se planiranje i optimiranje ulaznih veličina ( $T_{ak}$ ,  $T_{\epsilon}$ ). Planiranje i optimiranje ulaznih veličina bi podrazumijevalo promjene strategije, organizacije ili tehnologije zavisno od toga koju ulaznu vrijednost je potrebno promijeniti.



Slika 8. Prijedlog novog načina upravljanja sistemom održavanja u RMU „Banovići

$T_{ef}$  – efektivni sati tehničkog sistema

$T_{ak}$  – aktivno vrijeme održavanja

$T_{\epsilon}$  – vrijeme čekanja na opravku (administrativno + logističko)

$R_{ef}$  – Raspoloživost računata na osnovu efektivnih sati rada

#### 4. ZAKLJUČAK

Održavanje predstavlja interdisciplinarnu djelatnost koja okuplja stručnjake iz područja mašinstva, elektrotehnike, elektronike i druge. Stručnjaci raznih profila zaduženih za održavanje predstavljaju sinergiju različitih znanja i iskustava a sve u cilju optimalnog održavanja i unapređenja održavanja instalirane opreme.

Povećani zahtjevi za racionalizacijom sredstava , kao i zahtjevi za povećanjem iskorištenja kapaciteta u proizvodnji postavljaju visoke zahtjeve za raspoloživost i pouzdanost tehničkih sistema. Uspješno upravljanje sistemom održavanja može značiti razliku između efikasnog izvršavanja proizvodnih operacija i dugotrajnih i skupih otkaza opreme.

Predloženi način upravljanja sistemom održavanja sa zadanom operativnom raspoloživošću u složenim sistemima kao što je sistem održavanja u RMU Banovići podrazumjeva uspostavu vrha piramide u organizaciji održavanja. Predložena organizacija održavanja bi podrazumijevala objedinjavanje mašinskog i elektro sektora te mogućnost upravljanja svim funkcijama sistema održavanje te raspolaganje svim pokazateljima uspješnosti funkcije održavanja.

Sam postupak ovakvog vida upravljanja zahtjevao bi veliku fleksibilnost i brz odziv upravljačkih akcija. Izbor upravljačkih akcija unutar sistema održavanja bi podrazumijevao monitoring ulaznih i izlaznih veličina te na osnovu zadane operativne raspoloživosti i sistema povratne sprege vršilo bi se planiranje i definisanje ulaznih vrijednosti. Imajući u vidu sva ograničanja koja nose konkretni slučajevi održavanja vrši se izbor zastoja koje je potrebno smanjiti.

#### 5. LITERATURA

[1] Avdić, H., Tufekčić Dž.: *Terotehnologija I*, Univerzitet u Tuzli, Tuzla , 2007.

[2] Adamson, D.: *BSI EN 15341*, Brithish standards, London, 2006.

[3] Todorović, J.: *Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema*, Institut za istraživanje i projektovanje u privredi, Beograd, 2006.