

# ANALIZA OŠTEĆENJA I NAPONSKOG STANJA POLUGA MLINOVA ZA UGALJ TERMOELEKTRANE NA FOSILNA GORIVA

## DAMAGE AND STRESS STATE ANALYSIS OF FOSSIL FUEL POWER PLANT COAL MILL CRANK

Prof. dr Vera Šijački Žeravčić<sup>1</sup>, mr Gordana Bakić<sup>1</sup>, mr Miloš Đukić<sup>1</sup>,

Prof. dr Biljana Anđelić<sup>2</sup>, Bratislav Rajčić, dipl.ing.maš.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mašinski fakultet, Beograd, 27. marta 80, <sup>2</sup>Tehnički fakultet, Čačak, Svetog Save 65

### REZIME

U radu je dat prikaz oštećenja koja se javljaju kod poluga mlinova za ugalj termoenergetskih postrojenja u uslovima eksploatacije. Nastala oštećenja mogu da budu takvog karaktera da poluge mlinova za ugalj izgube svoju funkcionalnost, usled čega dolazi do otkaza postrojenja. Istraživanja koja su sprovedena su imala za cilj i određivanje napona kojima su poluge tokom eksploatacije izložene da bi na što korektniji način mogla da bude propisana procedura sanacije poluga.

### ABSTRACT

Different kinds of damages provoked on the fossil fuel power plant coal mill crank in exploitation condition are considered in this paper. Sometimes, obtained damages could be so severe that coal mill crank completely lose their functionality and malfunction of coal mill is taking place. Comprehensive investigations that was carried out on the damaged cranks are also included the determination of different kind of stresses which acting on cranks during exploitation. All obtained results are used as the background for the crank rehabilitation procedure.

### UVOD

Radni elementi mlinova za ugalj termoenergetskih postrojenja, kao što su poluge i čekići, su tokom eksploatacije izloženi veoma nepovoljnim radnim uslovima: visokoj temperaturi, kompleksnom naponskom stanju usled rotacije, udarnim opterećenjima. Zbog tih razloga radni elementi se obično prave od toplotno postojanih čelika, koji se i na povišenim temperaturama odlikuju povoljnim mehaničkim osobinama [1]. Takođe, pri proračunu ovih radnih elemenata se uzimaju u obzir i različita naponska stanja (zatezanje, uvijanje, savijanje, udar.), da bi elementi, za prethodno odabrani materijal i vrstu veze poluga - čekić, mogli da budu pravilno dimenzionisani [2].

Najčešće se u pratećoj dokumentaciji od proizvođača mlinova za ugalj može pronaći podatak da su poluge (po materijalu, masi i dimenzijama) tako koncipirane da praktično imaju neograničeni radni vek. Međutim, u stvarnim eksploatacionim uslovima veoma često dolazi do trajnog oštećivanja poluga i gubitka njihove funkcionalnosti, što je praćeno neminovnim otkazima i vanrednim materijalnim troškovima. Cilj ovoga radu je da analizira oštećenja koja su

nastala kod poluga mlinova, izvrši njihovu klasifikaciju i prikaže ispitivanja čiji su rezultati poslužili za propisivanje programa sanacije poluga.

### 1. OPŠTI PODACI

Razmatrani mlinovi za ugalj DGS-100S su čekićarsko - ventilatorskog tipa sa sledećim karakteristikama relevantnim za ovu analizu, tabela 1:

Kapacitet, t/h	$\omega$ , min <sup>-1</sup>	Broj čekića	Masa čekića	Materijal poluge / čekića
90	500	24	36	13CrMo44 / Čl. 0500
Karakteristike poluge				
Tip	I.	I.1	I.2	Masa, kg
I	190	646	500	428
II	300	756	610	494
III	245	701	555	446
Temperatura				
upadajućeg uglja				~ 600 °C
pretpostavljena u zoni čekića				~ 450 °C
ulazna u ventilatorski deo				~ 350 °C

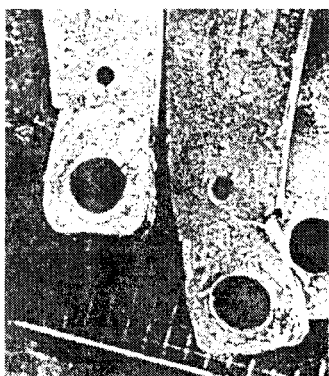
Tabela 3. Osnovne karakteristike

Veza između poluge i čekića je “uslovno” pokretna preko osigurača. U nominalnim uslovima rada ova veza bi trebalo da funkcioniše kao kruta veza, s tim što u slučaju udarnih preopterećenja dolazi do loma osigurača, čime se čekić oslobađa i na taj način štiti polugu od ozbiljnijih oštećenja.

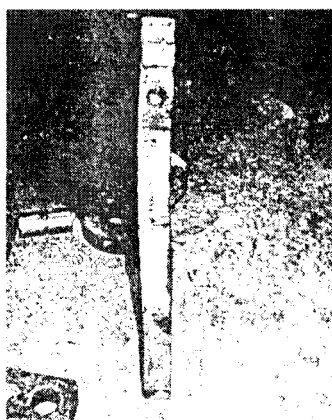
Međutim, zbog eksploatacionih uslova koji se često razlikuju od nominalnih (u mlinski prostor ponekad dospevaju i komadi metala veće mase i veće čvrstoće od čvrstoće uglja), dolazi i do oštećivanja poluga na takav način da one gube svoju funkcionalnost.

## 2. ANALIZA OŠTEĆENJA

Način upadanja uglja u radni prostor čekićarskog dela je takav da se komadi uglja raspršavaju na sve strane, pri čemu je jedan deo komada obavezno zahvaćen čekićima prvog i drugog reda. Međutim, izvesna količina komada udara u poluge. S obzirom da je zazor u trećem redu čekića najmanji, poluge ovoga reda su izložene značajnom oštećivanju kada neki masivni komad metala dospe u zonu čekića. Na slikama 1. i 2. se uočavaju neka od karakterističnih oštećenja poluga i čekića [3].



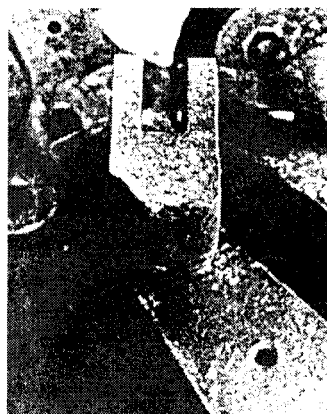
Slika 1. Izgled oštećenih poluga



Slika 2. Deformisana poluga



Slika 3. Izgled oštećenih poluga i čekića



Slika 4. Izgled oštećenih poluga i čekića

Vidljiva oštećenja i deformacije poluga odnose se na:

- \* savijanje ušice poluge u ravni obrtanja na mestu veze sa čekićem, na stranu suprotno od udarne sa izrazitim oštećenjima u vidu kanala.

- \* deformisanje otvora ušice na vezi čekić – poluga sa dužom osom elipse otvora prema strani suprotnoj od udarne,

- \* savijanje centralnog dela na mestu obloge poluge u ravni obrtanja, na stranu suprotno od udarne,

- \* savijanje centralnog dela poluge u ravni normalnoj na ravan obrtanja.

- \* uvijanje poluge, uglavnom kao posledica kombinovanog savijanja u ravni obrtanja i ravni normalnoj na ravan obrtanja.

- \* deformisanje otvora ušica na mestu veze poluge sa vratilom.

S obzirom na složen izgled deformisanja poluge, jasno je da poluge trpe velika i raznovrsna oštećenja koja nisu predviđena za nominalne uslove rada. Na osnovu izgleda deformisanih poluga, kao i

uslova rada pri postojećoj konstrukciji veze, na polugu deluju sledeća opterećenja:

\* u slučaju kada je čekić kruto vezan sa polugom (osigurač nije pukao) deluje

- neravnomerno dinamičko opterećenje koje se sa čekića prenosi na polugu u trenutku udara usled neuravnoteženosti sistema

- udarno opterećenje komada uglja / metala direktno u polugu

\* u slučaju kada je čekić slobodan (osigurač je pukao) deluje

- udarno opterećenje komada uglja / metala direktno u polugu

- udarno opterećenje koje se prenosi na polugu prilikom udara čekića u polugu, a nakon njegove slobodne rotacije usled jakih udara

- udarno opterećenje koje se prenosi na polugu prilikom udara čekića u polugu u povratnom hodu, kada se čekić nakon otklonjenog položaja pod dejstvom centrifugalne sile vraća u prvobitni položaj

- neravnomerno dinamičko opterećenje koje se sa čekića prenosi na polugu u trenutku udara usled neuravnoteženosti sistema.

Sva navedena opterećenja, zajedno sa inercijalnim opterećenjem usled rotacije poluge sa čekićima, dovode do složenih naponskih stanja u polugi što za posledicu ima složeno deformisanje poluge [3].

### 3. ANALIZA NAPONSKOG STANJA POLUGA MLINA

#### a) Naponi od inercijalnih sila usled rotacije poluga sa čekićem

U cilju određivanja napona od inercijalnih sila usled rotacije poluge sa čekićem, izvršeni su proračuni: čekića (krajnji rezultat je inercijalna sila usled obrtnog kretanja čekića), obloge (krajnji rezultat je inercijalna sila usled obrtnog kretanja obloge) i poluga svih dimenzija u različitim presecima (krajnji rezultati su inercijalne sile usled obrtnog kretanja poluge po presecima), čiji su rezultati poslužili za određivanje maksimalnih napona u presecima poluge od aksijalnog napona usled inercijalne sile rotirajućih masa. Tabela 2.

presek	F [kN]	A [mm <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_k^*$	$\sigma_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	103,7	5500	18,85	1,0	18,85
2	105,6	2750	38,40	2,15	82,57
3	107,6	4565	23,52	2,55	59,97
4	111,8	5500	20,33	1,0	20,33
5	153,2	4850	31,59	2,5	78,98
6	185,8	7750	23,97	2,7	64,71
7	191,6	9500	20,17	1,0	20,17
8	199,5	13500	20,99	1,0	20,99
9	204,2	10250	19,92	2,25	44,82

**Tabela 2:** Maksimalni naponi u poluzi po preseku presek 64,71

\* k – faktor koncentracije napona

Rezultati proračuna su pokazali da su maksimalni naponi od inercijalnih sila, po presecima poluge, višestruko manji od dozvoljenog napona koji za čelik 13CrMo44 na temperaturi od 400oC iznosi 196 N/mm<sup>2</sup> [4].

#### b) Naponi od savijanja usled inercijalnih sila

Proračuni čekića iz prethodne tačke su pokazali da je težište čekića pomereno u odnosu na podužnu osu poluge. Ovo znači da je, u slučaju kada osigurač nije prekinut, poluga opterećena i na savijanje. Međutim, proračuni napona na savijanje poluge ukazuju da se radi o naponima zanemarljive veličine, iz kog razloga oni u daljem razmatranju nisu uzeti u obzir.

#### c) Naponi od udarnog opterećenja

Udarne sile koje deluju na čelik i prenose se sa čekića na polugu ili udarom čekića u polugu nakon prekida osigurača, deluju u kratkom vremenskom intervalu. Stoga se u razmatranjima ovakvih slučajeva kao mera mehaničkog dejstva tela u sudaru koriste impulsi udarne sile [5].

Zbog vrlo složenog udarnog opterećenja u razmatranom slučaju koje je, pre svega, posledica različitih dimenzija i masa delova koje čekić udara u svom radu, kao i različitih mesta na čekiću na kojima dolazi do udara, nemoguće je, sa potrebnom pouzdanošću, izračunati napone u polugi nastale usled udarnog dejstva. Grube pretpostavke koje bi trebalo

uvesti, da bi se dobio model za proračun napona, ne bi dale dovoljno pouzdane rezultate. Međutim, i pored toga moguće je u normalnom radu mlina izbeći ili smanjiti reaktivne udarne impulse, koji se prenose sa čekića na polugu pri svakom udaru čekića o čvrsto telo. Da bi se to ostvarilo, potrebno je da budu ispunjeni sledeći uslovi:

\* pravac udara (spoljašnji udarni impuls) mora da bude normalan na ravan koja prolazi kroz težište čekića i obrtnu osu na mestu veze čekića,

\* centrifugalni maseni momenat inercije za obrtnu osu i osu normalnu na ravan koja prolazi kroz težište čekića i obrtnu osu mora da bude jednak nuli.

Bez obzira što naponi od udarnog opterećenja nisu egzaktno izračunati, analiza je pokazala da čekić po svojoj konstrukciji ne ispunjava uslove potrebne da se minimizira reaktivni udarni impuls, pre svega, zato što je težište pomerenom u odnosu na podužnu osu poluge. Generalni zaključak ove analize se odnosi na neophodnost konstrukcijske promene čelika u cilju smanjenja napona od udarnog opterećenja.

#### 4. ZAKLJUČAK

Iako su poluge mlinova čekićara tako koncipirane da praktično imaju neograničeni radni vek, očigledno je na osnovu izloženog primera nastalih oštećenja da se u stvarnim eksploatacionim uslovima generišu opterećenja znatno različita u odnosu na ona koja su u fazi projektovanja poslužila kao osnova za dimenzionisanje poluga. Nepotpuno sagledavanje

stvarnih uslova rada u fazi projektovanja, promene dimenzija udarnih tela u radu usled habanja, variranja u kvalitetu meljiva, kao i mogućnost da temperature u zoni mlina budu povremeno iznad preseka, znatno skraćuju radni vek poluga mlinova i dovode do otkaza. Navedena moguća odstupanja u radnim uslovima zahtevaju uvođenje izvesne rezerve u čvrstoći materijala još u fazi projektovanja, čime bi se znatno više obuhvatila moguća realna opterećenja, koja se očigledno javljaju u praksi. Stoga je kao predlog sanacije bilo propisana zamena postojećeg čelika, čelikom izdržljivijim na udar. Moguće je da bi se problem mogao prevazići/smanjiti/ kod mlinova za usitnjavanje meljiva čiji kvalitet znatno varira uvođenjem dodatnog koeficijenta zaštite od varijacija u kvalitetu meljiva, čija bi se vrednost mogla odrediti eksperimentalnim putim za specifičnu lokaciju svakog meljiva i uvrstiti u proračune.

#### LITERATURA

[1] Pešić M., Priručnik za čelik i gvožđe, Tehnička knjiga, Beograd, 1965.

[2] Izveštaj 12-03/94, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.

[3] Inženjersko-mašinski priručnik, knjiga br. 1, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1987.

[4] Wegst. C. W., Stallschlüssel, Verlag Stallschlüssel Wegst GMBH, 2001.

[5] Grandt A. F. JR., Fundamentals of Structural Integrity, John Wiley & Sons, Inc., 2004.

**IZDAVAČ I ADRESA ČASOPISA  
TEHNIČKA DIJAGNOSTIKA**  
11070 Beograd, Dr Ivana Ribara 106/32

Tel.: 011/160-006, 35-39-561, mob: 063/80-83-06  
faks: 011/2772-099  
e-mail: [vujicd@eunet.yu](mailto:vujicd@eunet.yu)

**Tehničko uređenje i priprema:**  
Maja Kovačević  
e-mail: [quantums@eunet.yu](mailto:quantums@eunet.yu)  
064/126-08-91