

**ISPITIVANJE PAROVODA VISOKOG PRITISKA METODAMA  
BEZ RAZARANJA MATERIJALA**

**HIGH PRESSURE STEAM LINE TESTING METHODS  
NO DESTRUCTIVE MATERIALS**

**Red. Prof. Dr. Dušan Vukojević,**  
Mašinski fakultet Zenica

**Mr. Milenko Rimac,**  
Institut Kemal Kapetanović Zenica

**Dino Tica, dipl. ing. mašinstva,**  
JP Elektroprivreda BiH Sarajevo  
Podružnica Termoelektrana "Kakanj"  
Kakanj

**Doc. dr. Nedeljko Vukojević,**  
Mašinski fakultet Zenica

**REZIME**

*Parovod svježe pare kao integralni dio bloka 5, snage 110 MW u Termoelektrana "Kakanj" nalaze se u eksploataciji od puštanja u pogon ovog bloka 1969. godine i sa 31.12.2005. godine ukupno je ostvario 186.953 pogonskih sati. Do početka jula 2008. godine ukupan broj pogonskih sati je prešao 190.000. Blok je imao više od 1000 startova od čega je oko 500 bilo hladnih nakon zastoja dužih od 32 sata. Ispitivanje je provedeno u skladu sa tehničkim zahtjevima serije evropskih standarda EN 13480, odnosno standarda EN 13480-Dio 5: Inspekcija i ispitivanje.*

**Ključne riječi:** Parovod visokog pritiska, ispitivanje bez razaranja materijala

**SUMMARY**

*Fresh steam line steam as an integral part of unit 5, 110 MW in the power plant Kakanj are in operation since the commissioning of this block of 1969th year and 31.12.2005. The total generated 186 953 operating hours. By early July 2008. The total number of working hours has passed 190 000. Block has had more than 1000 starts, of which about 500 were cold after a delay longer than 32 hours. The study was conducted in accordance with technical requirements of a series of European standards EN 13 480 or EN 13 480 standard-Part 5: Inspection and Testing*

**Keywords:** High pressure steam line, nondestructive testing of materials

**1. UVOD**

Parovodi visokog pritiska su kritični dijelovi postrojenja u termoelektrana, koje imaju značajan uticaj na pouzdanost i raspoloživost elektrane, kao i na sigurnost u eksploataciji cjelokupnog sistema. U analizama parovoda (pri projektovanju, tokom eksploatacije i održavanja, pri procjeni životnog vijeka) treba imati u vidu niz dodatnih uticaja, koje se odnose direktno na radne parametre pare, pritisak i temperaturu. Parovodi visokog pritiska bloka 5. u TE „Kakanj” sastoje se od dvije grane (parovod svježe pare – lijevo i parovod svježe pare – desno), slika 1. Osnovna uloga navedenog parovoda je transport svježe pregrijane pare od kotla prema VT dijelu turbine. Parovod je izrađen kao bešavna debelostjena cijev, promjera Ø245 mm i debljine

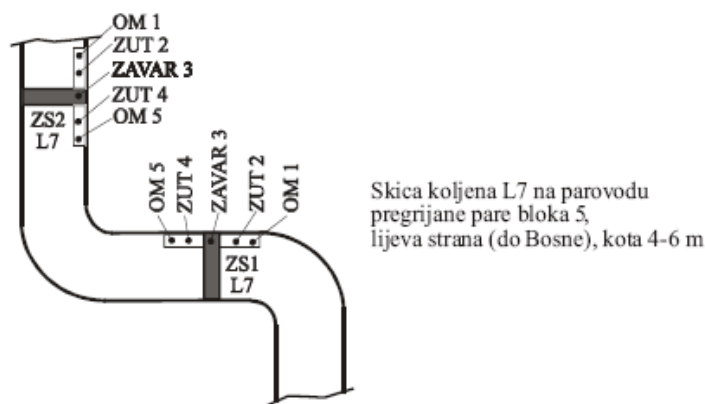
stijenke od 28 mm. Parovod je kruto pričvršćen na izlaz pare iz kotla, te čvrstom vezom na komoru BZ ventila na ulazu u VT dio turbine. Isti je pričvršćen za konstrukciju zgrade preko elastičnih oslonaca (opružnih sklopova), te jednoga pomičnog oslonca na koti +7 m (pomak okomito na cijev). Uloga pomičnih oslonaca je mogućnost dilatacije parovoda. Parovod je izoliran mineralnom vunom, te obložen limovima. Pored ravnih dijelova parovoda, postoje koljena radijusa zakrivljenja 1100 mm, te određeni broj T-komada, pregradni ventili iza odvojaka parovoda prema By-passima, te ventili By-passa. Na konkretnom modelu bloka 5. u TE „Kakanj“ već dugi niz godina je u upotrebi parovod visokog pritiska izrađen od V-Mo čelika sa oznakom ČSN 15123.1. Na osnovu preporuke proizvođača opreme i samoga projektanta dopušteni broj radnih sati je 100000 h. Prema našim saznanjima ovaj parovod je znatno premašio zacrtana ograničenja u eksploataciji, što znači da postojeće preporuke nisu precizno projektovale radni vijek. Razlog ovome može biti da je eksploatacioni režim rada parovoda vođen pravilno i stručno. Predmet analize u okviru ovoga rada je parovod svježe za koji je provedena procjena preostalog životnog vijeka.

## 2. PAROVOD SVJEŽE PARE

### 2.1. Rezultati ispitivanja bez razaranja

Na parovodu svježe pare izvršena su ispitivanja bez razaranja koja su uključila ultrazvučno mjerenje debljine stijenke, ispitivanje magnetnim česticama vanjske polupovršine koljena i zone zavarenih spojeva, ultrazvučno ispitivanje zavarenih spojeva, ispitivanje magnetnim česticama vanjske površine T-komada i zavarenih spojeva na spoju ovih komada i parovoda. U cilju uvida u stanje degradacije materijala parovoda provedeno je uzimanje otisaka-replika na koljenima i T-komadima parovoda sa mjerenjem tvrdoće na mjestima uzimanja replika. Ispitivanja bez razaranja su uključila i ispitivanja magnetnim česticama i ultrazvučna ispitivanja zavarenih spojeva nakon zamjene koljena sa oznakom L7 pošto je ovo koljeno prethodno isječeno za potrebe ispitivanja sa razaranjem (slika 3.).

Izvršeno je i ispitivanje tvrdoće novoizvedenih zavarenih spojeva za koljeno sa oznakom L7.



Slika 1. Prikaz mjesta ispitivanja tvrdoće zavarenih spojeva

Na slici 1. dat je prikaz mjesta ispitivanja tvrdoće zavarenih spojeva gdje je:

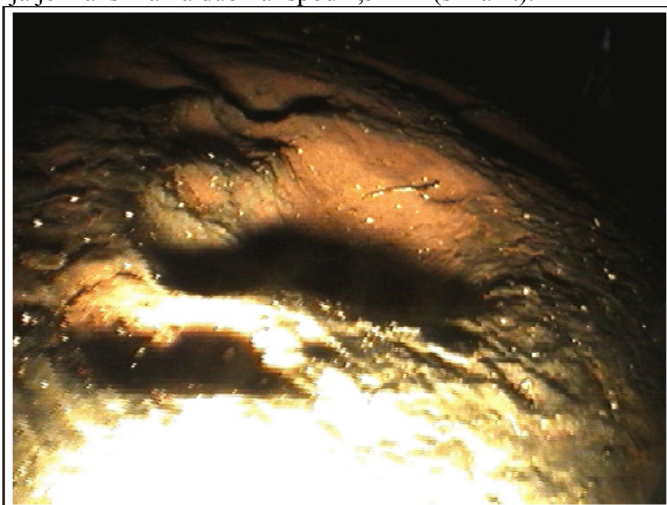
- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| - OM1 .... osnovni materijal      | - ZS1 L7 .... zavareni spoj 1 koljena 7 lijevo |
| - ZUT 2 .... zona uticaja topline | - ZS2 L7 .... zavareni spoj 2 koljena 7 lijevo |
| - ZAVAR 3 .... zavar              | - HB .... tvrdoća u Brinelimu                  |
| - ZUT 4 ... zona uticaja topline  |  |
| - OM 5 .... osnovni materijal     |  |

U tabeli 1. dati su rezultati provedenih ispitivanja tvrdoće.

Tabela 1. Rezultati ispitivanja tvrdoće zavarenih spojeva

Oznaka zavarenog spoja	Izmjerene tvrdoće				
	Osnovni materijal 5	Zona uticaja topline 4	Zavar 3	Zona uticaja topline 2	Osnovni materijal 1
	HB	HB	HB	HB	HB
ZS1 L7	151	145	245	137	124
	143	151	242	130	134
	147	146	224	137	121
	142	134	223	137	124
	143	134	237	127	134
<b>Srednja vrijednost</b>	<b>145</b>	<b>142</b>	<b>234</b>	<b>134</b>	<b>127</b>
ZS2 L7	134	135	188	130	150
	135	137	177	130	135
	140	132	186	150	145
	140	140	179	140	140
	137	140	191	159	150
<b>Srednja vrijednost</b>	<b>137</b>	<b>137</b>	<b>184</b>	<b>142</b>	<b>143</b>

Na isječenom koljenu sa oznakom L7 prema programu ispitivanja provedeno je mjerenje prečnika i ovalnosti kao i endoskopski nalaz stanja unutrašnje površine. Prema izvještajima Fizikalnog laboratorija Instituta Kemal Kapetanović Zenica [3] na svim ispitanim elementima parovoda nisu konstatovani negativni nalazi, sa izuzetkom isječenog koljena. Na unutrašnjoj površini ovog koljena utvrđeno je postojanje izolovanih mjesta sa rupičastim korozionim oštećenjima čija je maksimalna dubina ispod 2,5 mm (slika 2.).



Slika 2. Rupičasta korozija

Izmjerene vrijednosti debljine stijenke na koljenima parovoda Ø245x28 mm, mjerene na vanjskoj izvodnici kao kritičnom dijelu koljena su u granicama od 24,6 mm do 27,8 mm. Iste izmjerene vrijednosti debljine stijenke za dijelove parovoda Ø159x18 mm se nalaze u intervalu između 15,4 i 15,8 mm. U tabelama 2., i 3. dat je pregled izmjerenih debljina stjenki lukova parovoda svježe pare na bloku 5 – 110 MW u TE „Kakanj“ – Kakanj prikazan na slici 3.

Tabela 2. Parovod svježe pare - lijeva strana

Oznaka luka	Mjerni presjek	Mjerno mjesto							
		1	2	3	4	5	6	7	8
L-3	I	26,3	26,0	27,6	29,1	30,0	29,1	28,0	27,4
	II	26,9	26,5	26,7	28,0	30,0	29,2	26,7	26,0
	III	26,9	27,8	27,6	28,8	29,3	28,6	28,0	27,1
	IV	27,0	27,8	27,7	28,8	30,2	28,6	28,0	27,1
	V	26,7	27,8	28,8	29,3	27,5	27,8	26,7	26,2
L-4	I	25,5	25,6	29,8	30,6	31,2	27,8	27,4	26,9
	II	28,6	27,0	29,8	30,6	31,3	28,9	27,1	25,8
	III	25,7	26,8	29,3	29,3	30,5	28,9	27,1	25,8
	IV	25,3	26,0	27,1	29,1	32,1	29,9	27,9	26,5
	V	25,0	25,7	27,6	29,0	31,9	29,0	27,5	25,9

Tabela 3. Parovod svježe pare - desna strana

Oznaka luka	Mjerni presjek	Mjerno mjesto							
		1	2	3	4	5	6	7	8
L-3	I	26,5	27,4	30,5	31,7	31,7	29,6	28,3	26,9
	II	25,3	26,4	29,3	31,1	30,5	30,1	30,1	27,8
	III	27,0	27,1	27,7	30,5	32,2	30,4	28,6	27,8
	IV	26,0	27,1	28,0	30,4	32,2	31,5	28,8	26,6
	V	26,9	27,0	28,0	30,8	31,6	30,2	28,4	26,5
L-4	I	25,8	26,9	29,1	29,5	31,7	29,9	27,1	25,6
	II	26,0	25,6	26,6	29,3	31,4	29,3	26,7	27,0
	III	25,6	25,7	27,0	28,7	30,8	29,9	27,1	26,3
	IV	24,8	26,6	27,5	28,8	31,1	30,3	27,2	25,6
	V	25,3	26,8	27,7	28,7	31,6	30,2	27,4	26,6

Izmjerene vrijednosti ovalnosti na isječenom koljenu su od 0,1 % do 2,0 %. Kako je dato prema slici 3., te u tabeli 4. na svim ispitanim replikama mikrostrukturi materijala odgovara feritno - karbidnom matriksu sa ogrubljenim izoliranim karbidima po granici zrna i pojavom izoliranih pojedinačnih mikropora veličine od 1 µm do 3 µm. Ovo stanje mikrostrukture odgovara stepenu iscrpljenosti materijala usljed puzanja u granicama od 40 do 50 %.

Tabela 4. Replike parovoda svježe pare

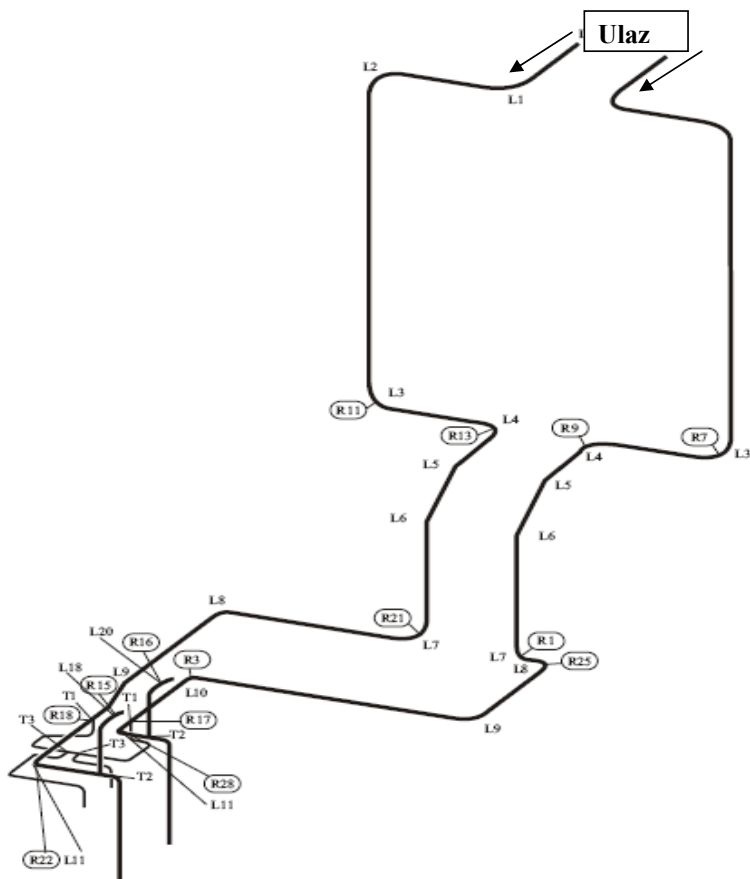
Redni broj	Lokacija uzimanja replike	Oznaka replike	Mikrostruktura*	Ocjena **	Tvrdoća HB Prosječna vrijednost
1.	PSP L L7	R1	F+K	2	127
2.	PSP L L10	R3	F+K	2	145
3.	PSP L L3	R7	F+K	2	143
4.	PSP L L4	R9	F+K	2	131
5.	PSP D L3	R11	F+K	2	136
6.	PSP D L4	R13	F+K	2	142
7.	PSP L L18	R15	F+K	2	139
8.	PSP D L20	R16	F+K	2	143
9.	PSP L T1	R17	F+K	2	122
10.	PSP D T1	R18	F+K+ostaci degradirano g perlita	2	156
11.	PSP D L7	R21	F+K	2	145
12.	PSP D L11	R22	F+K	2	130
13.	PSP L L8	R25	F+K	2	134
14.	PSP L L11	R28	F+K	2	145

LEGENDA: F – ferit, K – karbid  
PSP – parovod svježe pare  
PMP – parovod međupregrijane pare  
L – lijeva strana  
D – desna strana  
Ln – luk broj  
Tn – T komad broj

\* Ocjena 2 – prisutne pojedinačne i izolirane mikropore, veličine 1-3 µm

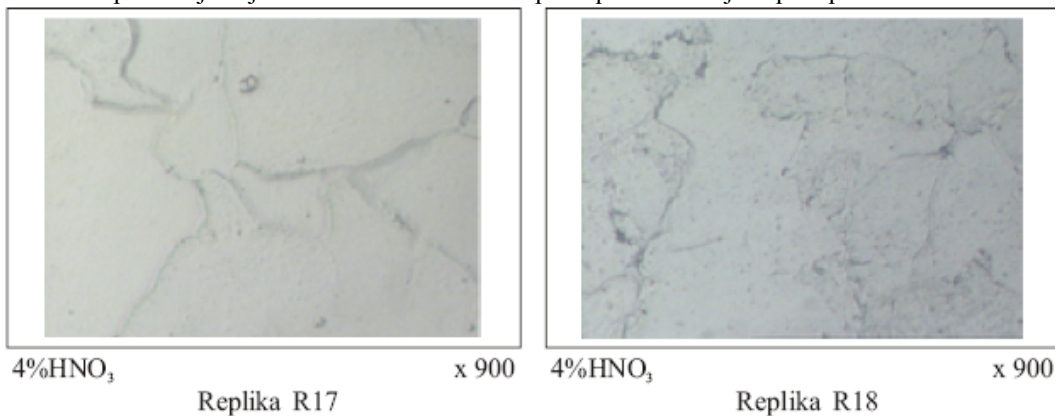
\*\* ocjena data prema:

- Residual Life Assessment and Microstructure, ECCC RECOMMENDATIONS – VOL 6 (ISSUE 1), 2005.god. i
- VGB TW 507 – Guideline for the Assessment of Microstructure and Damage Development of Creep Exposed Materials for and and Boiler Components, 1992.



Slika 3. Mjesta uzimanja replika mikrostrukture parovoda svježe pare

Na slici 4. predstavljena je mikrostrukture uzetih replika parovoda svježe pare prema slici 3.



Slika 4. Mikrostrukture replika R17 i R18 parovoda svježe pare

Vrijednosti izmjerenih tvrdoća na navedenim replikama nalaze se u intervalu od 122 do 145 HB osim za T-komad sa oznakom T1 na desnoj strani parovoda koja iznosi 156 HB.

### 3. ZAKLJUČAK

Na svim ispitanim replikama mikrostrukture parovoda svježe pare, materijala parovoda odgovara feritno - karbidnom matriksu sa ogrubljenim izoliranim karbidima po granici zrna. Izražena je pojava izoliranih pojedinačnih mikropora veličine od 1  $\mu\text{m}$  do 3  $\mu\text{m}$ . Ovo stanje mikrostrukture parovoda svježe pare odgovara stepenu iscrpljenosti materijala usljed puzanja u granicama od 40 do 50 %. Vrijednosti izmjerenih tvrdoća na replikama mikrostrukture parovoda svježe pare nalaze se u intervalu od 122 do 145 HB osim za T-komad sa oznakom T1 na desnoj strani parovoda koja iznosi 156 HB. Iz svega gore navedenog može se steći zaključak da parovod svježe pare može biti u funkciji još neko vrijeme (cca 15000 pogonskih sati). Navedeno vrijeme od 15000 pogonski sati je dovoljno da se parovodi zamjene u potpunosti i produži raspoloživost i pouzdanost bloka 5.

### 4. LITERATURA

- [1] Jakovljević A., Uticaj oštećenja i naponskog stanja materijala na preostali radni vek parovoda visokog pritiska, magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 2004.
- [2] Izveštaji iz «Elaborat 02/07», Institut Kemal Kapetanović, Zenica, 2007.
- [3] Završni izvještaj o ispitivanju metodama bez razaranja i metalografskim ispitivanjima parovoda svježe i međupregrijane pare bloka 5 – 110 MW u TE „Kakanj“ – Kakanj (2002), ENERGOINVEST – institut za materijale i kvalitet – IMQ Sarajevo, Sarajevo,
- [4] Silva Maličević, (1993) Ocjena stanja materijala energetskih postrojenja, Zavod za energetsku i procesnu opremu – TPK, Zagreb,
- [5] Dr. Horia Stefan Mateiu, Dr. Nicolae Farbas , Dr. Traian Fleser, Dr. Romulus Pascu: Ispitivanja za ocenu oštećenja termootpornih čelika za izradu komponenti u termoelektranama, Integritet i vek konstrukcija Vol.3, br.2, str. 67-73, Beograd, 2003.
- [6] Dušan Milanović, Vera Šijački Žeravčić, A.V. Voljdemarov, Gordana Bakić, Miloš Đukić, Marija Matić: Pouzdanost termoenergetskih postrojenja posle dugotrajne eksploatacije, Elektroprivreda, Časopis zajednice Jugoslavenske elektroprivrede, str. 45-53, Beograd, 2002.
- [7] R.P.Rid, R.E.Šram: Prijemna kontrola kružnih zavarenih spojeva cevovoda sa naglaskom na ispitivanje bez razaranja, Monografija III Letnje škole mehanike loma (ured. S. Sedmak), GOŠA, TMF, str. 307-318, 1985.