

**INDIREKTNO VIZUALNO ISPITIVANJE U TERMOENERGETICI**  
**INDIRECT VISUAL TESTING IN THERMAL ENERGY PRODUCTION**

**Marko RUSKAJ<sup>1</sup>, Zvonimir IVKOVIĆ<sup>2</sup>**

**Ključne riječi:** indirektno vizualno ispitivanje, termoenergetika, zavar, osnovni materijal

**Key words:** indirect visual examination, thermo-energy plants, weld, base material

**Sažetak:** Siguran rad termoenergetskog postrojenja ovisi o pouzdanosti ugrađenih komponenti koja direktno ovisi o kvaliteti ugrađenog materijala i kvaliteti izrade komponenti. Pouzdanost rada postrojenja je važna zbog toga što havarija može uzrokovati veliku materijalnu štetu i ljudske žrtve, pa norme i propisi za izradu termoenergetskih postrojenja obavezno definiraju zahtijevani nivo kvalitete. Komponente i pozicije tlačnih dijelova postrojenja se najčešće spajaju zavarivanjem. Europska norma EN 12952, a isto tako i ASME Sec. I za sučeone zavare tlačnih komponenti zahtjeva vizualni pregled vanjske i korjenske strane zavara. Indirektno vizualno ispitivanje omogućava pouzdanu ocjenu kvalitete zavara okrenute unutrašnjosti tlačne komponente koja nije dostupna za direktni vizualni pregled.

**Abstract:** Safe work of thermo-energy plant depends about reliability of embedded components that direct depends about quality of base material and quality of manufacture. Reliable work of plant is important because the damage can cause big material and human losses. This is the reason that codes and standards related to thermo-energy power plants obligatory define required quality level. Components and items of pressure parts are joined in the most case by welding. Europe Standard EN 12 952 and ASME Sec. I for pressure retaining welds of pressure components require visual testing of both, outer and inner, weld surfaces. Indirect visual examination enables reliable evaluation of inner weld surface that is inaccessible for direct visual testing.

---

<sup>1</sup> ĐURO ĐAKOVIĆ TEP d.o.o., Slavonski Brod, Dr. Mile Budaka 1, marko.ruskaj@ddtepaee.hr

<sup>2</sup> ĐURO ĐAKOVIĆ TEP d.o.o., Slavonski Brod, Dr. Mile Budaka 1



## 1. UVOD

Vizualni pregled predstavlja najstariju i najšire primijenjenu metodu nerazornog ispitivanja u svim područjima ljudske djelatnosti. Sve što je dostupno pogledu podliježe procjeni i stvaranju sudova i zaključaka na osnovu iskustva i usvojenih pravila.

U termoenergetici, kao klasičnom industrijskom sektoru, vizualni pregled je prisutan u svim fazama izrade komponenti kao i tijekom eksploatacije termoenergetskih postrojenja. U proizvodnji komponenti termoenergetskih postrojenja vizualni pregled je prisutan od prijema materijala u radionicu, tijekom izrade te kod isporuke kao završna kontrola. Za vizualni pregled je neophodno da je ispitivana površina adekvatno osvijetljena i da je dostupna ispitivaču.

Veliki doprinos u proširenju mogućnosti vizualnog pregleda predstavljaju pomagala i uređaji pomoću kojih se mogu promatrati površine koje su nedostupne za direktno promatranje. Kao što sateliti osposobljeni teleskopima omogućuju pregled “druge strane Mjeseca” tako i suvremeni videoscopi omogućuju pregled nedostupnih unutrašnjih površina komponenti termoenergetskog postrojenja. Pritom se pregled može provoditi koristeći pogodno povećanje slike a moguć je i elektronski zapis slike pregledane površine kao i naknadna analiza stanja pregledane površine.

U ovom radu je napravljen prikaz zahtjeva za vizualni pregled komponenti termoenergetske opreme, uređaja koji omogućuju pregled površina nedostupnih direktnom pregledu, te kriteriji za ocjenu stanja pregledane površine te primjeri iz prakse.

## 2. INDIREKTNO VIZUALNO ISPITIVANJE TLAČNIH KOMPONENTI

Kotlovi su najznačajniji objekti u termoenergetici. Tlačni dio kotla sačinjavaju sljedeće komponente; bubnjevi, komore, cijevni zidovi, pregrijači, ekonomajzeri i povezni cjevovodi..

Limovi te cijevi raznih dimenzija i kvalitete materijala su nezaobilazni poluproizvodi koji se ugrađuju u tlačne komponente kotla. Pregled unutrašnje površine cijevi i komora se provodi samo u slučaju ako postoji poseban zahtjev te ako se kod rezanja ili zavarivanja pozicija otkriju nedozvoljene indikacije.

Rezanje, mehanička obrada, oblikovanje, zavarivanje i toplinska obrada predstavljaju glavne tehnologije kod izrade komponenti kotla. Spajanje pozicija i tlačnih komponenti kotla se uglavnom provodi zavarivanjem pa se tlačno opterećeni zavareni spojevi moraju vizualno pregledati.

Eksploatacija kotla ima različit utjecaj na pojedine komponente kotla. Pojedini dijelovi mogu biti izloženi koroziji ili abrazivnom djelovanju i stanjenju stjenke, na pojedinim dijelovima se taloži kamenac, a kod nekih se mogu razviti pukotine. Indirektno vizualno ispitivanje unutarnjih površina tlačnih komponenti se provodi na ciljanim pozicijama karakterističnim za određenu kotlovsku komponentu.

Na Slikama 1., 2. i 3. su prikazani neki tipovi pozicija i zavara na tlačnim komponentama.



Slika 4. prikazuje dijelove videoskopa, a Slika 5. prikazuje videoskop u radnom položaju.



Slika 4. Videoskop XL-PRO – Everest Vit (dijelovi)



Slika 5. Videoskop u radnom položaju

## 2.1. Indirektno vizualno ispitivanje pozicija

Indirektni vizualni pregled u pripremi se uglavnom odnosi na komore i pozicije čija unutrašnja površina može imati nepravilnosti nastale tijekom izrade ili pak se radi o mehanički obrađenim dijelovima i ugrađenim sklopovima. Duljina sonde od 4,5 m omogućuje unutrašnji pregled cijevi i komora do 9 m ako su obadva kraja otvorena i pristupačna. Lokacije s nepravilnostima i oštećenjima otkrivena indirektnim vizualnim pregledom se dalje ispituju drugim metodama poput ultrazvučne i radiografske.



Slika 6. Oštećenje komore (unutarnja površina)



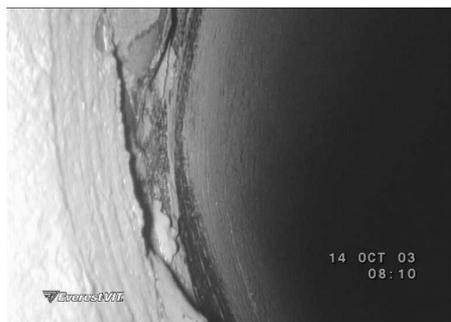
Slika 7. Provrt kroz poziciju ojačanja do komore

## 2.2. Indirektno vizualno ispitivanje zavara

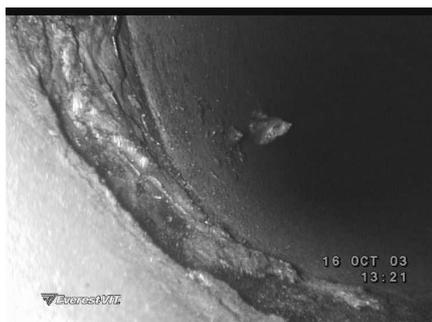
Spajanje zavarivanjem je najvažnija tehnologija u proizvodnji tlačnih komponenti termoenergetskih postrojenja. Sučeoni zavari i kutni zavari priključaka tlačnih dijelova koji se izvode prema EN 12952 moraju imati kvalitet vanjske i unutarnje površine zavara s obzirom na izgled i dimenzije tako da odgovaraju ocjenjivačkoj grupi «B» prema EN ISO 5817. Kvalitet sučeonih zavara se uobičajeno provjerava radiografskom i ultrazvučnom metodom te

primjenom magnetske ili penetrantske metode na vanjskim površinama. Vanjska površina kutnih zavara priključaka se ispituje magnetskom ili penetrantskom metodom dok se korjenski dio ispituje indirektnom vizualnom metodom koristeći videoskop XL PRO.

Na slikama od broja 8 do 13 su fotografije korijenskih nepravilnosti, a u Tablici 1. su dani kriteriji za ocjenu kvalitete zavara sukladno EN ISO 5817



Slika 8. Neproveren korijen



Slika 9. Utonulost korjena

Vrsta nepravilnosti	Oznaka nepravilnosti prema EN ISO 6520-1	Pojašnjenje i napomena	Granične vrijednosti nepravilnosti prema EN ISO 5817 za klase zavara		
			D	C	B
Pukotine	100	Sve vrste pukotina osim mikropukotina i kraterskih pukotina	Nisu dozvoljene	Nisu dozvoljene	Nisu dozvoljene
Kraterske pukotine	104	Pukotine u krateru na završetku zavara	Dozvoljene	Nisu dozvoljene	Nisu dozvoljene
Poroznost	2011 2012 2014 2017	a) suma površina pora u odnosu na promatranu površinu b) najveća veličina (d) pojedinačne pore u odnosu na debljinu zavara (s – sučeonni, a- kutni) c) granična veličina pojedine pore	4 % d<0.5s d<0.5a 5 mm	2 % d<0.4s d<0.4a 4 mm	1 % d<0.3s d<0.3a 3 mm
Gnijezdo pora	2013	a) površina gnijezda u odnosu na promatranu površinu b) najveća veličina (d) pojedinačne pore u odnosu na debljinu zavara (s – sučeonni, a- kutni) c) granična veličina pojedinačne pore u gnijezdu	16 % d<0.5s d<0.5a 4 mm	8 % d<0.4s d<0.4a 3 mm	4 % d<0.3s d<0.3a 2 mm

Naljepljivanje	401	Nepravilno vezivanje – nema vezivanja između dodatnog i osnovnog materijala ili između slojeva zavara	Dozvoljeno kratko naljepljivanje koje ne izlazi na površinu	Nije dozvoljeno	Nije dozvoljeno
Nedovoljan provar	402	Nataljeni dodatni materijal ne ispunjava zadanu dubinu ili presjek pripreme zavara	Nije dozvoljen	Nije dozvoljen	Nije dozvoljen
Zajedi	5011	Zahtjeva se blagi prijelaz prema metalu zavara i osnovnom materijalu - najveća dozvoljena dubina je:	1.5 mm	1.0 mm	0.5 mm
Preveliko nadvišenje sučeonog zavara	502	Zahtjeva se blagi prijelaz zavara prema osnovnom materijalu a) visina nadvišenja (h) ovisno o širini zavara (b) iznosi b) granična visina nadvišenja	$h < 1 + 0.25b$ 10 mm	$h < 1 + 0.15b$ 7 mm	$h < 1 + 0.1b$ 5 mm
Preveliko nadvišenje kutnog zavara	503	Zahtjeva se blagi prijelaz zavara prema osnovnom materijalu a) visina nadvišenja (h) ovisno o širini zavara (b) iznosi b) granična visina nadvišenja	$h < 1 + 0.25b$ 5 mm	$h < 1 + 0.15b$ 4 mm	$h < 1 + 0.1b$ 3 mm
Preveliki provar korjena	504	Zahtjeva se blagi prijelaz zavara prema osnovnom materijalu a) visina nadvišenja (h) ovisno o širini zavara (b) iznosi b) granična visina nadvišenja	$h < 1 + 1.2b$ 5 mm	$h < 1 + 0.6b$ 4 mm	$h < 1 + 0.3b$ 3 mm
Prokapljina u korjenu	5041	Mjestimična nakupina viška metala korjenskog zavara	Dozvoljena	Nije dozvoljena	Nije dozvoljena
Utonulost korjena	515	Zahtjeva se blagi prijelaz - granična utonulost korjena	1.5 mm	1 mm	0.5 mm
Smaknuće	507	a) odstupanje simetrala komponenti (h) ovisno o debljini zavara (t) b) granično smaknuće	$h < 0.25t$ 5 mm	$h < 0.15t$ 4 mm	$h < 0.1t$ 3 mm



Slika 10. Preveliko nadvišenje/provar korjena



Slika 11. Prokapljina u korjenu



Slika 12. Zajedi u korjenu



Slika 13. Žica kao strani uključak u korjenu

Primjena indirektnog vizualnog ispitivanja zavara korištenjem videoskopa XL PRO omogućuje snimanje i arhiviranje digitalne fotografije svakog pregledanog zavara. Te se fotografije mogu naknadno pokazati zavarivaču koji je izveo ispitane zavare kako bi uočio nepravilnosti u korjenu zavara te poboljšao tehniku rada. Osim toga fotografije se mogu prenijeti i na računalo radi dodatne analize i trajnijeg arhiviranja.

### 2.3. Indirektno vizualno ispitivanje tlačnih komponenti u eksploataciji

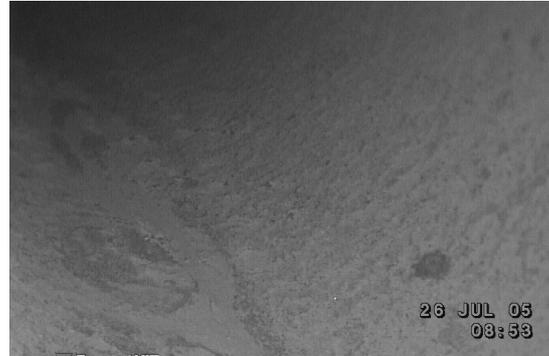
Velika je pogodnost koristiti videoskop za pregled unutarnjih površina komponenti termoenergetske opreme. Na taj se način mogu vidjeti područja korozije, abrazije ili područja na kojima se nakuplja talog ili pak sublimat. Područja sa uočenim nepravilnostima i oštećenjima se naknadno podvrgavaju dodatnim odgovarajućim ispitivanjima sa ciljem da se utvrde parametri pouzdanog rada postrojenja.

Arhiviranjem nalaza uzastopnih ispitivanja i pregleda karakterističnih mjesta omogućuje takozvanu analizu trenda, koja čini osnovu za planiranje pravovremenih izmjena i popravaka.

Sustavno praćenje rada postrojenja te redoviti unutrašnji i vanjski pregledi daju osnovu za dugotrajni pouzdani rad bez izvanrednih zastoja i kvarova.



Slika 14. Korozija i sublimat u dimovodnoj cijevi



Slika 15. Korozija i talog kamenca u vodenoj komori

### 3. ZAKLJUČAK

Posljedica uvođenja indirektnog vizualnog ispitivanja kod izrade pozicija i zavarenih spojeva na tlačnim komponentama termoenergetskog postrojenja je povećanje kvalitete proizvoda, pa time i pouzdanosti rada postrojenja.

Vizualizacija unutrašnje površine zavara daje zavarivačima direktni uvid u kvalitet izvedenog zavara te se mogu poduzeti mjere obuke ili unapređenja tehnike rada kod zavarivača čiji zavari ne zadovoljavaju kriterije prihvatljivosti.

Videoskop XL PRO je vrlo praktičan te osigurava efikasni pregled unutarnjih površina u različitim fazama izrade te tijekom eksploatacije termoenergetskog postrojenja.

Povećan kvalitet i pouzdanost opreme su važan element opstanka na slobodnom svjetskom tržištu termoenergetske opreme.

### 4. LITERATURA

1. M. W. Allgaier, S. Ness – Nondestructive Testing Handbook, Volume 8 – Visual and optical testing, second edition, American Society for Nondestructive Testing, 1993.
2. The VideoProbe XL PRO System, User's Manual, Version 4.0
3. HRN EN 12952-6 (2002) Water-tube boilers and auxiliary installations
4. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section I, Boilers, (2004)