



**СРПСКО ДРУШТВО ЗА ИСПИТИВАЊЕ БЕЗ РАЗАРАЊА**  
*SERBIAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING*

Savetovanje sa međunarodnim učešćem **IBR 2002:**

**„Evropski trendovi – Primena u Jugoslaviji”**

Vreme održavanja  
25. ÷ 29. 11. 2002. god.

Mesto održavanja  
**Hotel „Omorika” Tara**

## **ORGANIZACIONI ODBOR SAVETOVANJA IBR 2002.**

1. **Dragoljub Radojičić**, dipl.ing. predsednik, "Zavod za zavarivanje" Beograd
2. **Mr. Radomir Milićević**, dipl.ing., "Zavod za zavarivanje" Beograd
3. **Radoljub Došić**, dipl.ing., "Zavod za zavarivanje" Beograd
4. **Goran Sofronić**, dipl.ing., "Zavod za zavarivanje" Beograd
5. **Jano Kurai**, dipl.ing., "CERTLAB Co." Pančevo
6. **Aleksandar Bređan**, dipl.ing. "RNP" - Pančevo
7. **Mr Đurđija Čašić**, dipl.ing. Institut "VINČA"
8. **Ana Nanut**, dipl.ing. "HIP-Petrohemija" - Pančevo
9. **Boško Aleksić**, dipl.ing. "HIP-AZOTARA" - Pančevo
10. **Kovačević Branislav**, dipl.ing. EPS "Centar za kvalitet" - Beograd
11. **Predrag Šparović**, dipl.ing. Brodogradilište "Bijela" - Bijela

## **STRUČNI ODBOR – RECENZENTI**

1. **Prof. Dr Aleksandar Sedmak**, dipl.ing.
2. **Dr Miodrag Kirić**, dipl.ing.
3. **Dr Slobodan Gajin**, dipl.ing.
4. **Dr Zijah Burzić**, dipl.ing.
5. **Mr Radomir Milićević**, dipl.ing.
6. **Mr Đurđija Čašić**, dipl.ing.
7. **Dragoljub Radojičić**, dipl.ing.
8. **Jano Kurai**, dipl.ing.
9. **Aleksandar Bređan**, dipl.ing.
10. **Boško Aleksić**, dipl.ing.
11. **Tatjana Samardžić**, dipl.ing.

## **REDAKCIJA ZBORNIKA RADOVA**

1. **Jano Kurai**, dipl.ing. TEHNIČKI UREDNIK
2. **Dušan Čašić**, dipl.ing. TEHNIČKA OBRADA
3. **Goran Sofronić**, dipl.ing. TEHNIČKI SARADNIK

# Savetovanje sa međunarodnim učešćem Symposium with international participation

IBR 2002

25. – 29. 11. 2002. god.

Hotel „Omorika“, Tara

## Spisak radova sa rezimeima

### 1. TEHNIČKI PROPISI U PROIZVODNJI GASNE TEHNIKE I ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA

Dejan Simonović, dipl. maš. ing., „ENERGO-SISTEM“ Nova Pazova

#### Rezime:

U radu je dat prikaz praktičnog rešenja organizacije ispitivanja bez razaranja (IBR) u proizvodnji gasne tehnike usaglašen sa sistemom kvaliteta proizvođača. Istovremeno se prikazuju i odnosi koji bi trebalo da postoje sa akreditacionim i ovlašćenim telima za tehnički nadzor u našoj zemlji u saglasnosti sa važećim tehničkim propisima u proizvodnji gasne tehnike sa aspekta IBR. Dat je i osvrt na direktive Evropske Unije koje su od značaja za proizvođače gasne tehnike. Izvršeno je i poređenje stanja tehničkih propisa u EU sa stanjem u našoj zemlji.

#### Ključne reči:

gasna tehnika, tehnički propisi, ispitivanja bez razaranja, sistem kvaliteta, akreditacija

### TECHNICAL SPECIFICATIONS IN THE MANUFACTURE OF GAS EQUIPMENT AND NON DESTRUCTIVE TESTING

#### Abstract:

This work describes the practical solution of non-destructive testing (NDT) organization in the manufacture of gas equipment in accordance with the manufacturer's quality system. It especially shows relations which must be established with the accreditation and authority bodies for technical supervision in our country in accordance with the currently valid technical specifications for NDT in manufacture of gas equipment. It gives the look on Europe Union (EU) regulations, which are probably important for the manufacturers of gas equipment. This work compares situation of technical regulations in EU with the situation on the same field in our country.

#### Key words:

gas equipment; technical specifications; non-destructive testing, quality system, accreditation

### 2. STANDARDIZACIJA U OBLASTI ISPITIVANJA METODAMA BEZ RAZARANJA, S POSEBNIM OSVRTOM NA PRIORITETNE EVROPSKE STANDARDE

Autor: Slavica Jurić, dipl.inž., vodeći inženjer standardizacije, Savezni zavod za standardizaciju  
Rezime

Savezni zavod za standardizaciju priprema i donosi jugoslovenske standarde, usaglašeno sa načinom i programima rada Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO) i Evropskog komiteta za standardizaciju (CEN).

U radu je dat pregled jugoslovenske standardizacije u oblasti ispitivanja metodama bez razaranja i to odvojeno, za opštu primenu i primenu na zavarene spojeve, uporedo sa međunarodnim standardima, kao i evropskim standardima (na neke se pozivaju obavezujuće Evropske Direktive).

Kao baze za dalje planove rada na novim JUS standardima dati su prioritarno EN standardi, a zatim i ISO standardi u raznim fazama izrade.

#### Ključne reči:

standardi, jugoslovenska standardizacija, ispitivanja bez razaranja, metode ispitivanja.

#### Abstract:

The Federal Institution for Standardization prepares and adopts Yugoslav standards in accordance the way and programs of work of the International Organization for Standardization (ISO) and the European Committee for Standardization (CEN).

In this papers are given a review of Yugoslav standardization in the field of non-destructive testing methods and separately, for generally application and application to the weld joints, parallel with international standards and European standards (some of them refer to obligated European Directives).

In the paper are also given data on the plans of work in the future period.

#### Key words:

standards, Yugoslav standardization, non-destructive testing, testing methods

### 3. POKAZATELJI KVALITETA ŠAVNIH CEVI

dr Miodrag Arsić, naučni saradnik, mr Vujadin Aleksić, istraživač saradnik, GOŠA Institut, Milana Rakića 35, Beograd, razvoj@verat.net, v\_aleksic@hotmail.com  
mr Živče Šarkočević, Fabrika šavnih cevi, Urošević

#### Izvod

U radu je dat metodološki pristup praćenja i analize pokazatelja kvaliteta spiralno i uzdužno zavarenih cevi (zavarenih spojeva i cevi u celini) u procesu kontinuirane proizvodnje cevi. Spiralno zavarene cevi su izradene EPP postupkom, a uzdužno zavarene cevi visokofrekventnim postupkom zavarivanja.

Takođe, u radu su razmotrene i pojave odstupanja osnovnih parametara zavarivanja od njihovih optimalnih vrednosti i njihov uticaj na kvalitet cevi.

#### Ključne reči:

kvalitet, šavna cev, spiralno zavarena, uzdužno zavarena

### THE QUALITY INDICATORS OF TUBES WELDED

#### Abstract

In this work is given methodical approach of following and analysing the indicators of quality of spiral and longitudinal tubes welded (welded parts and tubes in all) in the process of continual tube production. The spiral tubes welded are manufactured by EPP welded method, and longitudinal tubes welded by high frequency welded method.

In this work are considered, the occurrence distreades of elementar welded parametars from their optimal value and their influence on the tube quality, also.

#### Key words:

quality, tubes welded, spiral welded, longitudinal welded

### 4. PRIMENA INŽENJERSKIH METODA KOD PROCENE INTEGRITETA ZAVARENIH KONSTRUKCIJA

mr Vujadin Aleksić, istraživač saradnik, dr Miodrag Arsić, naučni saradnik, GOŠA Institut, Milana Rakića 35, Beograd, razvoj@verat.net, v\_aleksic@hotmail.com  
prof. dr Aleksandar Sedmak, Mašinski fakultet, 27. marta, Beograd, sadmaka@eunet.yu

#### Izvod

U radu se analiziraju inženjerske metode: KING, REI, JWES2805, SINTAP i mogućnost njihove primene na zavarene spojeve, imajući u vidu specifičnost zavarenih spojeva, a sve sa ciljem dobijanja dovoljno tačne i jednostavne inženjerske procedure za određivanje sile rasta prsline (SRP) u zavarenim spojevima u kojima su prisutni zaostali naponi i geometrijske nepravilnosti.

#### Ključne reči:

J integral, otvaranje vrha usta prsline (CTOD), sila rasta prsline, metoda KING, metoda REI, metoda JWES, SINTAP

### APPLICATION OF ENGINEERING METHODS FOR INTEGRITY ASSESMENT WELDED STRUCTURES

#### Abstract

Engineering methods, KING, REI, JWES, SINTAP and the possibility of their application to welded joints, having in mind their properties, are analyzed in the paper, with the aim to get sufficiently accurate and simple engineering procedure for determination of crack driving force in welded joints in which residual stresses and geometrical imperfections are presented.

#### Key words:

J integral, crack tip opening displacement (CTOD), crack driving force, King's method, REI method, JWES method, SINTAP

### 5. KORELACIJA REZULTATA ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA I DESTRUKTIVNIH ISPITIVANJA AL-Mg6,8 LEGURE

Lj.Radović\*, M.Popović\*\*, D.Vračarić\*, E.Romhanji\*\*

\* - Vojnotehnički institut VJ, Beograd

\*\* - Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

#### Rezime:

Promene u strukturi legure Al-Mg6,8, nastale kao posledica primenjenog različitog stepena deformacije, temperature i vremena žarenja, praćene su preko promene vrednosti električne provodljivosti - ispitivanjem bez razaranja, i mehaničkih osobina legure - ispitivanjem sa razaranjem.

Uspostavljena je korelacija između rezultata ovih ispitivanja, što predstavlja deo rada na formiranju baze podataka za Al-legure, koja će omogućiti da se na osnovu merenja električne provodljivosti proceni strukturno stanje legure.

#### Ključne reči:

Al-Mg legure, električna provodljivost, strukturno stanje, mehaničke osobine

### CORRELATION BETWEEN RESULTS OF NON-DESTRUCTIVE AND DESTRUCTIVE EXAMINATION OF AL-Mg6,8 ALLOY

#### Abstract:

Variations of microstructure in Al-Mg6,8 alloy are result of different strain and heat treatment. These variations were monitored using electrical conductivity measurements - non-destructive testing and mechanical testing - destructive testing.

Correlation between these results was established, and it is step to compose data base for Al-alloys. The data base should enable the estimation of examined Al-alloy structure by measuring electrical conductivity.

#### Key words:

Al-Mg alloy, electrical conductivity, microstructure, mechanical properties

## 6. UV ZRAČENJE I NJEGOVA PRIMENA U ISPITIVANJU BEZ RAZARANJA

dr Miodrag Kirić dipl.inž.elekt., laboratorija KKOM,  
DP HIP Azotara, Pančevo  
Izvod

Rad je zasnovan na predlogu standarda JUS ISO 3059 koji će biti objavljen sa identičnim tekstom kao EN ISO 3059. Zavisnost relativne spektralne iskoristivosti ili efikasnosti (monohromatskog zračenja) od talasne dužine data je dijagramom za dnevno (fotopsko) viđenje i za noćno (skotopsko) viđenje.

Ultraljubičasto zračenje može da bude kratkotalasno, srednjetalasno i sa dugim talasima, koji nisu štetni. Razlike energija koje odgovaraju talasnim dužinama ultraljubičastog zračenja koje emituju atomi žive, su izračunate i upoređene sa energijom fotona zelenožute svetlosti sa  $\lambda=555$  nm. Kontrola ozračenja je analizirana na primeru jednog izvora crne svetlosti. Sa raspoloživim podacima je pokazano da njegovo polje zračenja, zavisno od visine izvora, može da ispunji zahtev Standarda samo u prilično maloj oblasti i da treba koristiti nekoliko ovakvih izvora.

### Gljučne reči:

Ultravioletno zračenje, Relativna spektralna iskoristivost, Dnevno viđenje, Crna svetlost, Fluks, Raspodela ozračenja.

## UV RADIATION AND ITS APPLICATION IN NONDESTRUCTIVE TESTING

### Abstract

The paper is based on the proposal of JUS ISO 3059 which will be published as an identical text with the EN ISO 3059. The dependency of the relative spectral luminous efficiency (of a monochromatic radiation) on wavelength is given by diagram for photopic vision as well for scotopic vision.

Ultraviolet radiation can be with short, medium and with long waves, which are not harmful. The energy differences corresponding to wave lengths of ultraviolet radiation emitted by mercury atom are calculated and compared to the energy of photon of green-yellow light with  $\lambda=555$  nm. The control of irradiance is analysed for a black light lamp. It is estimated with available data, that its field of radiation, dependent on the lamp height, can fulfil the requirement of the Standard only in its rather small region, thus a few lamps shall be used.

### Key words:

Ultraviolet radiation, Spectral luminous efficiency, Photopic vision, Black light, Flux, Irradiance distribution.

## 7. NOVI EVROPSKI STANDARDI ZA ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA

dr Miodrag Kirić dipl.inž.elekt., laboratorija KKOM,  
DP HIP Azotara, Pančevo  
Izvod

U radu je dat kratak prikaz grupe evropskih standarda EN 1712, EN 1713 i EN 1714 za ručno ultrazvučno ispitivanje zavarenih spojeva feritnih čelika. Prvi od njih definiše kriterijume za ocenu i prihvatanje indikacija, koji se zasnivaju na visini eha i dužini nepravilnosti. Nivoi prihvatljivosti zavise od orijentacije veće dimenzije nepravilnosti u odnosu na zavareni spoj. Oni važe za sve nivoe ispitivanja i za sve tehnike ispitivanja. EN 1713 standardizuje proceduru za karakterizaciju nepravilnosti u šavu koja koristi dijagram toka. Procedura omogućava klasifikovanje nepravilnosti kao ravanskih ili neravanskih. Kao kriterijumi razlikovanja se koriste razlike u odbijanju ultrazvuka zavisno od pravca, oblik statičkog eha i oblik dinamičkog eha. Ravanske nepravilnosti sa amplitudom eha iznad nivoa ocene se po pravilu odbacuju. Standard EN 1714 standardizuje metode i tehnike ispitivanja zavarenih spojeva različite geometrije.

### Gljučne reči:

Kontrola kvaliteta, Prihvatljivost, Karakteristike, Klasifikacije, Procedure, Tehnike.

## NEW EUROPEAN STANDARDS FOR ULTRASONIC TESTING OF WELDED JOINTS

### Abstract

The paper gives a short review of the group of european standards for manual ultrasonic testing of welded joints in ferritic steels: EN 1712, EN 1713 and EN 1714. The first one defines criteria for evaluation and acceptance of indications, based on echo amplitude and imperfection length. Acceptance levels depend on the orientation of imperfection major dimension relative to the welded joint. They are valid for all examination levels and for all testing techniques. EN 1713 standardizes the flowchart procedure for characterization of imperfections in welds. The procedure enables the classification of imperfections as planar or non-planar. As discriminatory criteria are used differences in directional reflectivity, the echostatic pattern and the echodynamic pattern. In general, planar imperfections with echo amplitude above the evaluation level are rejected. EN 1714 standardizes methods and techniques for testing of welded joints of various geometries.

### Key words:

Quality control, Acceptability, Characteristics, Classifications, Procedures, Techniques.

## 8. ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE AUSTENITNIH ČELIKA SA POVEĆANOM ANIZOTROPIJOM

dr Miodrag Kirić dipl.inž.elekt., Pančevo  
Izvod

U radu je dat kratak prikaz nekih problema koji nastaju pri ručnom ultrazvučnom ispitivanju zavarenih spojeva austenitnih čelika dobijenih topljenjem. Razmotren je uticaj anizotropije akustičnih osobina i povećanog slabljenja na prostiranje razdvučnih talasa. Ovo np. znači da uobičajeno podešavanje opsega više nije u važnosti kada ultrazvuk počne da se prostire kroz ovakav metal.

Praktično rešenje za ove probleme je u primeni kalibracionog bloka sa veštačkim reflektorima ultrazvuka za osnovna podešavanja. Data je skica ovakvog bloka. Međutim, potrebno je i poznavanje osobina anizotropne strukture za primenjeni postupak

zavarivanja. Dati su primeri ispitivanja na cevima malog prečnika ilustrovani snimljenim ehogramima.

### Gljučne reči:

Ultrazvučno ispitivanje, Austenitni čelici, Anizotropija, Slabljenje, Kalibracioni blok, Spremnost za upotrebu.

## ULTRASONIC TESTING OF AUSTENITIC STEELS WITH INCREASED ANISOTROPY

### Abstract

The paper gives a short review of some problems arising at manual ultrasonic testing of fusion welded joints in austenitic steels. It is considered the influence of anisotropy of acoustical properties and increased attenuation on propagation of ultrasound waves. It means, for instance, that default range setting is no more valid when ultrasound starts to propagate through such a metal.

Practical solutions to these problems is the application of the calibration block with artificial reflectors of ultrasound for basic settings. It is given the drawing of such a block. However, it is also necessary the knowledge of anisotropic structure features for applied welding process. Examples of ultrasonic butt weld testing are given for small pipe diameters illustrated by taken echograms.

### Key words:

Quality control, Austenitic steels, Anisotropy, Attenuation, Calibration block, Fitness-for-Service.

## 9. PRIJEMNA KONTROLA VREĆA ZA PAKOVANJE VEŠTAČKOG ĐUBRIVA

Mirko Stojsavljević, dipl.ing, Dragana Jakovljević, dipl.ing,  
DP "HIP-Azotara" Pančevo

### Rezime

Proizvod je odavno prestao da bude, sam po sebi, dovoljan da obezbedi zadovoljstvo kupca. On mora da bude, zahvaljujući pravilnom pakovanju, očuvan u određenom roku, lak za manipulisanje, prepoznatljiv, obeležen odgovarajućim podacima i sl.

Veći deo reklamacija kupaca veštačkog đubriva u prethodnim godinama se odnosio na kvalitet vreća nego na kvalitet upakovanog proizvoda. Pažljiva prijemna kontrola bitno umanjuje reklamacije kupaca što donosi pozitivne finansijske efekte kako proizvođačima đubriva tako i proizvođačima ambalaže.

### Gljučne reči:

Prijemna kontrola, industrijske vreće, proveravanje kvaliteta, fizička svojstva plastike

## THE ACCEPTION CONTROL OF SACKS FOR FERTILIZER PACKING

### Summary

It has been a long time since the product itself was enough to satisfy the buyer. The product has to be properly packed, well kept during a certain period, easy to handle, individualized, worked with the necessary data, etc.

The majority of the bayers complaints were about the quality of the sacks and not about the product quality. Careful acceptation control reduces the number of the bayers complaints, which brings positive financial effects, both to the fertilizer and sack manufacturers.

### Keywords:

Industrial sacks, quality control, physical property of plastic

## 10. FRAKTOGRAFSKA ANALIZA POVRŠINE PRELOMA ZONE UTICAJA TOPLOTE

Katarina dr Gerić, docent, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad  
Rezime

Cilj rada je bio da se odredi mehanizam oštećenja zasnovan na izgledu prelomne površine i mikrostrukture zone uticaja toplote zavarenog spoja čelika povišene čvrstoće. Različiti mehanizmi loma su posledica heterogene mikrostrukture zone uticaja toplote zavarenog spoja, čije bolje razumevanje može da smanji rizik od oštećenja.

### Gljučne reči:

fraktografska ispitivanja, zona uticaja toplote

## FRACTOGRAPHY AS RELATED TO MICROSTRUCTURE OF HEAT-AFFECTED-ZONE

### Abstract

The purpose of this paper is to determine the mechanisms of failure based on appearance of the fracture surface and the microstructure of the heat affected zone of high strength steel welded joint. Various mechanisms of fracture are based on heterogeneous microstructure. The increased understanding of micro mechanisms of fracture can help to minimize the risk of failure.

### Key words:

fractographic analysis, heat affected zone

## 11. PROCENA PREOSTALOG RADNOG VEKA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA

Dragoljub Radojičić, dipl.ing, i Radoljub Došić, dipl.ing,  
Zavod za zavarivanje, Beograd, Grčića Milenka 67

### Izvod

Procena preostalog radnog veka postrojenja može se uraditi na osnovu propisa i standarda. Ovako dobijen vremenski period je zastareo način procene.

U ovom radu je obrađen pristup proceni preostalog radnog veka termoeenergetskih postrojenja na osnovu savremenih saznanja i dobre dijagnostike. Ispitivanje metodama bez razaranja i kontrolom stanja metala postrojenja, obezbeđuje se dovoljno podataka da se eksploatacioni vek može produžiti sa sigurnošću.

### Gljučne reči:

Preostali radni vek, Dijagnostika, Ispitivanje bez razaranja

## THE VALUATION OF A REMANENT WORKING AGE ON THE THERMOENERGETIC PLANTS

### Abstract

The valuation of a remanent working age on the thermoenergetic plants may be done using

regulations and standards. A working age mad on this way is too conservative. This work includes approach to valuation of a semant working age on the thermoenergetic plants based on the contemporary knowledge and useful diagnostic. The nondestructive testing and condition control of metal plant ensure sufiecenthu data for safety prolonged of an exploitation age.

**Keywords:**

Remanent working age, Dijagnostic, Nondestructive testing

## 12. ISO 9001:2000 U LABORATORJI IBR

Goran Sofronić, dipl.ing.

"Zavod za zavarivanje"-Beograd

**Rezime:**

Kada se govori o evropskim trendovima u IBR nemoguće je zaobići reč "kvalitet" odn. njen sinonim, standard ISO 9001:2000. Relativno brz povratak nase zemlje u svetske tehničke institucije, poput Evropske Federacije za IBR (EFNDT), nameće mnogo veće angažovanje na nivou kvaliteta, koji podrazumeva potpuno zadovoljenje "kupca" laboratorijskih usluga, važećih zakonskih normi i standarda.

**Gljučne reči:**

kvalitet, zahtevi, upravljanje sistemom kvaliteta;

## ISO 9001:2000 IN NDT LABORATORY

**Abstract:**

When we talk about European NDT trends it is not possible to get round a word "quality" relatively to her synonym, the norm ISO 9001:2000. The relatively fast back of our country in the world's technical institutions, like European Federation for NDT (EFNDT), to intrude much bigger pains on a quality level, which includes a fully customer's satisfaction of laboratory services, valid norms of low and standards.

**Key words:**

quality, requirements, quality management system;

## 13. KOMPJUTERSKA TOMOGRAFIJA U IBR-U

Tomica Tončev, inž. maš.; Mirjana Borisavljević, dipl. inž. maš.; Vladan Macanković, inž. maš.

**Rezime:**

Kompjuterska tomografija je, u našoj zemlji nedovoljno poznata, metoda za brzu vizuelizaciju, dobijanje 3D slike zapremine i detekciju delova materijala sa imperfekcijama. Nakon obrade, podaci su na raspolaganju korisniku za CAD, CAM i CAE.

Rad prikazuje primene ove relativno nove metode, glavne delove instalacije za industrijsku tomografiju, pregled podataka koji se dobijaju u toku ispitivanja, sa posebnim osvrtom na novi visokokvalitetni sistem koji se koristi zajedno sa opremom za X-radiografiju. Navode se prednosti kompjuterske tomografije u odnosu na konvencionalnu radiografiju, sa brojnim primerima korišćenja ove opreme, prikazom komponenata sistema, karakteristika uređaja, kompatibilnosti sa postojećim instalacijama, kao i novi trendovi u njegovoj upotrebi.

**Gljučne reči:**

Radiografija, tomografija, IBR (ispitivanje bez razaranja), instalacija, primena, tomohawk.

## Computer Tomography in NDT

**Abstract**

Computer Tomography (CT), in our country insufficient known, method for high-speed visualization, 3D volumetric image of the part and detection of imperfect material region. After processing, user posses data for CAD, CAM and CAE (computer-aided design, manufacturing and engineering).

In this paper is shown: field of application of this relatively new method, main parts of CT instalation, review of data made by testing, with expecially attention on new high quality system used in conjunction with real time X-ray radiography equipment.

CT advantages in comparasion with conventional radiography is shown, with many examples of this equipment application, system components, device feature, compatibility with existing instalation, and new trend in its use.

**Key words:**

radiography, tomography, NDT (nondestructive testing), instalation, application, tomohawk

## 14. KRITIČKI OSVRT NA MOGUĆNOST PRIMENE JUS EN 970

Ispitivanje zavarenih spojeva izvedenih topljenjem - Vizuelno ispitivanje

Milica Antic, dip.ing.

Zavod za zavarivanje, Beograd

Grčica Milenka 67

**Rezime**

U radu je dat kratak sadržaj standarda JUS EN 970 uz ktički pristup sa aspekta kvalifikacije osoblja koje izvodi vizuelno ispitivanje zavarenih spojeva. Poseban akcenat je dat na mogućnost primene u našim uslovima u odnosu na edukaciju osoblja za ovu vrstu ispitivanja i uobičajeni nedovoljni značaj ove vrste ispitivanja u našim zavarivačkim preduzećima.

**Gljučne reči:**

ispitivanje, standardizacija, primena, vizuelno ispitivanje

## CRITICAL ASSESMENT OF THE APLLICATION POSSIBILITY OF JUS EN 970

Testing of fusion welded joints-Visual testing

**Apstract**

The brief content of the standard JUS EN 970 with critical approach connected with qualification of the personnel for visual testing of welded joints was given. Special attention was on the application possibility in domestic conditions related to education of the personnel for this kind of testing and ussualy small importance for this kind of testing in

our welding companies.

**Key words:**

esting, standardisation, application, visual testing

## 15. ZNAČAJ POLAZNOG STANJA MATERIJALA PRI ISPITIVANJU OPREME U EKSPLOATACIJI TEHNIKOM METALOGRAFSKE REPLIKE

NADEŽDA FILIPOVIĆ, dipl.ing.

Zavod za zavarivanje, Beograd

**Rezime**

U radu su dati karakteristični primeri koji ukazuju na neophodnost poznavanja polaznog "nulog stanja" strukture materijala, za pravilnu analizu - interpretaciju strukture - kao i donošenju zaključaka pri ispitivanju u toku eksploatacije.

**Gljučne reči:**

struktura, polazno stanje

## THE IMPORTANCE OF INITIAL MATERIAL CONDITION AT THE EXAMINATION OF EQUIPMENT IN EXPLOITATION USING METALOGRAPHY REPLICA TECHNICIS

**Abstract**

The work contains the characteristic examples which appear on a necessary knowledge of initial "zero condition" of material structure for correct structure analyse - interpretation also fetcching of conclusion at the examination during an exploitation.

**Key words:**

structure, initial structure

## 16. ISPITIVANJE UTICAJA BRZINE HLAĐENJA NA STRUKTURU FEROSILICIJUMSKE LEGURE, ULTRAZVUČNOM METODOM

\*Veselinka Đorđević, dipl.ing.\*

Prof.dr Zagorka Aćimović-Pavlović, dipl.ing. \*\*\*

Milan Milić, tehn. \*\*

\* ITNMS - Beograd, Franše d' Eperea 86.

\*\* Zavod za zavarivanje - Beograd, Grčica Milenka 67

\*\*\*TMF - Beograd, Karmegijeva 4

**Izvod**

Uticao brzine hlađenja odlivka ferosilicijumske legure, pored drugih metoda sa i bez razaranja, proverava se i ultrazvučnom, primarno u cilju provere kvaliteta odlivka, a potom radi određivanja osnovnih strukturnih karakteristika. U radu su dati rezultati ispitivanja ultrazvukom stepenaste probe odlivka pomenute legure.

**Gljučne reči:**

ferosilicijumske legure; livenje; ultrazvučno ispitivanje; struktura; veličina zrna, slabljenje

## THE EXAMINATION OF COOLING RATE ON Fe-Si ALLOY CASTING STRUCTURE BY ULTRASONIC METHOD

**Abstract**

The effect of cooling rate Fe-Si alloy, beside of the other destructive and non-destructive testing methods, is possible to examine by ultrasonic with the first aim to quality control and after that to define basic structural characteristics. Ultrasonic test results of the Fe-Si alloy cast sample with deferent thicknesses, are given in this paper.

**Key words:**

Fe-Si alloys; casting; ultrasonic testing; structure; grain size, attenuation

## 17. VIBRODIJAGNOSTIKA OBRTHNIH MAŠINA U EKSPLOATACIJI

Jožef Kiš, dipl.ing.maš.

Ana Nanut, dipl.ing.maš.

DP HIP Petrohemija Pančevo.

**Rezime**

Mnoga industrijska i energetska postrojenja imaju obrtne mašine koje za htevanju određen vid održavanja, kako bi se osigurao kontinuiran i siguran proces proizvodnje. Zavisno od vrste postrojenja, a sa gledišta kritičnosti za odvijanje procesa proizvodnje, neophodno je uraditi izbor mašina kojima je potrebno praćenje stanja kao i podela istih na kritične, važne i mašine opšte namene.

Ovim radom želimo da prikazemo da se merenjem vibracija i analizom karakterističnih veličina, dobija valjani i precizan uvid u trenutno stanje mašinskog sistema i da se na osnovu dobijenih rezultata analize donose odluke o eventualnim aktivnostima.

S obzirom da se kao mera kvaliteta stanja mašinskog sistema koristi vibracija, vibro dijagnostika, kao jedna od dijagnostičkih metoda, daje svoj puni doprinos u sistemu održavanja.

**Gljučne reči:**

Jačina vibracija, amplituda, frekvencija, odziv sistema.

## VIBRO-DIAGNOSTICS OF ROTATING MACHINERY IN EXPLOITATION

Jožef Kiš, BSc in mech.eng.

Ana Nanut, BSc in mech.eng.

DP HIP Petrohemija Pančevo.

**Summary**

Numerous industrial and power plants have rotating machinery that requires certain maintenance in order to ensure a continuous and safe production process. Depending on the plant type, and in regard of the issues crucial for the production process, it is necessary to determine which machines require monitoring as well as to designate them as crucial, important and general-purpose machines.

In this paper, we would like to show that vibration measurements and an alyses of characteristic values and precise insight into the current status of the machinery and that based on the results obtained, we could make decisions on possible actions.

Since vibration is used as an indication of the machinery quality, vibro diagnostics, as one of diagnostic methods, gives its full contribution to maintenance system.

**Key words:**

Vibration value, amplitude, frequency, system response.

## 18. VIDEOSKOPIJA NA UZORCIMA

Željko Pavlović, maš.ing.

Specijalista zavarivanja u Službi kontrole Rafinerije nafte, Spoljnostarčevačka bb, Pančevo  
Rezime

Održavanje i ispitivanje složenih tehničkih sistema i objekata u industriji, građevinarstvu, elektro industriji i vazduhoplovstvu, zahteva primenu određenih tehničkih sredstava. Jedna od izuzetno pouzdanih metoda tehničke dijagnostike je i videoskopska metoda.

U radu su predstavljene osnovne industrijske videoskopije, sa svim njenim prednostima u odnosu na standardne "klasične" metode vizuelnog ispitivanja, na konkretnim uzorcima. Primeri, prikazani u radu, preuzeti su iz materijala firme "BACCO" iz Beograda - zastupnika firme "Olympus" za Jugoslaviju i dokumentacije Službe kontrole Rafinerije nafte Pančevo.

**Cljučne reči**

Održavanje i ispitivanje, videoskopska dijagnostika, prednosti videoskopije

### VIDEOSCOPE diagnostics on specimens

**Abstract**

Maintenance and complex technical fields testing in industry, building inspection, electrical duct and aviation, require specific technical equipment.

Videoscopy is one of the best reliable methods for technical diagnosis. This paper introduces the basic videoscopy principles with advantages relative to classical visual testing methods, at characteristic specimens. Examples reviewed in this paper from the BACCO-Belgrade/Olympus catalogs was transferred, and Oil Refinery quality department was performed.

**Key words**

Maintenance and testing, videoscopic diagnostics, advantages of videoscopy

## 19. YU NACIONALNA ŠEMA KVALIFIKACIJE I CERTIFIKACIJE OSOBLJA ZA IBR: Stanje, mogućnosti i perspektive

Jano Kurai dipl.ing., "Cert.Lab.Co" Pančevo, Centar za certifikaciju

Aleksandar Bređan dipl.ing. NIS - Rafinerija nafte Pančevo, Služba Kontrole

**Rezime**

U radu je dat prikaz dosadašnjih aktivnosti na uspostavljanju nacionalne šeme kvalifikacije i certifikacije osoblja za IBR, shodno zahtevima standarda EN 473:2000. Prezentiran je postupak jednokratne certifikacije nivoa 3 za potrebe obezbeđenja kadrova za izvršavanje zadataka koje nameće usvojena šema kvalifikacije i certifikacije.

U drugom delu rada naglašen je značaj certifikacionog tela u šemi kvalifikacije i certifikacije i opisani osnovni zadaci certifikacionog tela, uz pregled predstojećih aktivnosti na razvoju nacionalne šeme kvalifikacije i certifikacije osoblja za IBR.

**Cljučne reči:**

IBR osoblje, certifikacija, kvalifikacija, kvalitet

## YU NATIONAL PLAN FOR NDT PERSONNEL QUALIFICATIONS AND CERTIFICATIONS: Presentstate, possibilities and prospects

**Abstract:**

This paper presents the activities aimed at establishing the National plan for NDT personnel qualifications and certifications in compliance with EN 473:2000 standard. It also specifies the single certification procedure level 3, concerning the personnel who will perform the tasks imposed by the adopted qualification and certification plan.

The second part of this paper emphasizes the importance of certification body within the qualification and certification plan and defines the basic certification body tasks as well as the review of future activities concerning the development of the National qualification and certification plan for NDT personnel.

**Key words:**

NDT personnel, certification, qualification, quality

## 20. ISPITIVANJE OTPORNOSTI MATERIJALA NA KAVITACIONU EROZIJU PRIMJENOM METODA BEZ RAZARANJA

Dr Anika Koprivica, dipl.ing.met\*, Mladen Mirković, dipl.ing.met\*, \* Institut za crnu metalurgiju AD, Nikšić

**Rezime**

Na Peltonovom kolu (Φ2710mm, 18 lopatica) u HE »Perućica«, izrađenom livenjem martenzitnog čelika CA6NM (ASTM A 743), poslije samo 4850 časova rada pojavila su se eroziona oštećenja u središnjem dijelu većeg broja lopatica (zona III prema normi CCH 70-3). Da bi se utvrdio uzrok oštećenja obavljena je vizuelna kontrola, zatim ispitivanje površinske tvrdoće i ispitivanje mikrostrukture korišćenjem replika. Utvrđeno je da su oštećenja dubine 0.2-25mm prisutna na desnim soljama kod svih, a na lijevim kod 10 lopatica. Veća oštećenja imaju karakterističan izgled u obliku saća. U centralnom dijelu oštećenih i neoštećenih solja došlo je do deformacionog ojačavanja, što se manifestuje povećanjem prosječne površinske tvrdoće osnovnog materijala sa 265HB na 315HB. Mikrostrukturu u osnovi čini grubozrni otpušteni martenzit uz prisustvo slobodnog ferita. Posredno je dokazano prisustvo zaostalog austenita i neotpuštenog martenzita. Mala otpornost ispitivanog materijala na kavitacionu eroziju je posljedica grube i nestabilne mikrostrukture.

**Cljučne riječi:**

Peltonova turbina, martenzitni čelik, kavitaciona erozija, efornaciono ojačavanje.

**Abstract**

On HE "Perućica" Pelton wheel (Φ2710mm, 18 blades), made by casting of martenzitic CA6MN steel, after only 4850 working hours erosion damages in central part (zone III according CCH 70-3 norm) where appeared. To establish a reason of damages visual

control, surface hardness testing and microstructure investigation using replicas where performed. All right and 10 left blades where with damages of 0.2-25mm depth. Larger damages have characteristic honeycombed appearance. Work hardening of central part damaged and non-damaged blades manifesting in hardness increasing from 265 to 314HB was registered. Microstructure was composed of coarse-grained tempered martensite with some free ferrite. Indirectly was demonstrated presence of retained austenite and non-tempered martensite. Bad resistance of investigated material on cavitation erosion was consequence of coarse and unstable microstructure.

**Key words:**

Pelton wheel, martensitic steel, cavitation erosion, work-hardening.

## 21. POSTUPAK SPROVOĐENJA IBR-a PRI ODRŽAVANJU OPREME ZA ISTRAŽIVANJE I EKSPLOATACIJU NAFTE, GASA I GEOTERMALNIH VODA

Milošević Dušan, dipl.maš.ing.

NIS NAFTAGAS Pogon "ODRŽAVANJE" ZRENJANIN

**Rezime**

Standardi i tehničke preporuke API predviđaju obim i vrste IBR-a, koja se vrše na navedenoj opremi, pre, u toku eksploatacije, kao i prilikom njihovog remonta.

U radu je opisan postupak sprovođenja IBR-a od prijema naloga za kontrolisanje do formiranja zapisa o izvršenim ispitivanjima, izveštavanja i arhiviranja zapisa, što omogućuje dugoročno praćenje stanja i funkcionalnosti opreme.

**Cljučne reči**

Ispitivanje, oprema, tehnička preporuka, standard, izveštaj

## NDT PROCEDURE IMPLEMENTATION DURING THE MAINTENANCE OF THE EQUIPMENT FOR OIL, GAS AND GEOTHERMAL WATER EXPLORATION AND PRODUCTION

**Abstracts**

In API Standards and Recommended Practices the number and kinds of NDTs are defined, which are intended to be carried out on the above mentioned equipment, before and during production, as well as in the cases of overhauling.

The work describes NDT procedures implementation, from the inspection order receiving to the property came out records writing, records retention, which enables a long time equipment state and function control.

**Keywords**

Inspection, equipment, recommended practice, standard, report

## 22. PRIMENA IBR U DOKUMENTOVANOM SISTEMU KVALITETA JUS ISO 9001

Zoltan Jonaš dipl. maš. inž. NIS Naftagas pogon, "Održavanje" Zrenjanin

**Rezime**

Nezavisno od toga dali je u pitanju prijemno, procesno ili završno kontrolisanje, metode IBR su u NIS NAFTAGAS Pogon Održavanje preko Radnih uputstava uključena u sistem kvaliteta ispunjavajući sve zahteve sistema.

**Cljučne reči:**

IBR, sistem kvaliteta, plan, ispitivanje, zapisi.

## NDT IMPLEMENTATION IN DOKUMENTED JUS ISO 9001 QUALITY SYSTEM

**Abstract**

In NIS NAFTAGAS Pogon Održavanje, in the casis of acceptance, proces and final inspection, NDT methods have been included in the quality system, trough work instructions, meeting all the system requirements.

**Key words:**

NDT, quality system, plan, testing, records.

## 23. KARAKTERIZACIJA MIKROSTRUKTURE PLAŠTA VALJKA ZA PRERADU GLINE PRIMENOM METODE REPLIKE

Dragan Rajnović, dipl. ing., Prof. Dr. Leposava Šidanin,

Dejan Stojaković, dipl. ing., Mr. Julija Fišl, Mr. Vladimir Bajić

Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad

**Rezime**

Tokom pripreme gline za izradu crepa, smeša gline mora da prođe kroz set valjaka, sa ciljem postizanja veće homogenosti i dovođenja priprema na zahtevanu debljinu. Za taj proces, od materijala plašta valjaka koji je u direktnom kontaktu sa glinom, zahteva se visoka otpornost na habanje, dimenziona preciznost i postojanost, kao i zadovoljavajuća dinamička izdržljivost, što se može postići jedino adekvatnim izborom materijala i mikrostrukturu. U radu su prikazani rezultati ispitivanja različitih plašteva valjaka za preradu gline, velikih dimenzija. Ispitivani su: novi plaševi, plaševi koji su bili uključeni u rad i havarisani. Kod svih plašteva izvršena je karakterizacija mikrostrukture primenom metalografskog ispitivanja površine metodom replike tzv. površinska metalografija. Za neke plaševe ispitani su hemijski sastav materijala i merena je tvrdoća, konvencionalno i pomoću prenosnog uređaja. Konstatovano je da su plaševi valjaka izrađeni od različitih materijala sa različitim mikrostrukturama, što je uticalo na njihovo ponašanje u eksploataciji.

**Cljučne reči:**

plašt valjka, mikrostruktura, metoda replike, tvrdoća

## THE MICROSTRUCTURE CHARACTERIZATION OF ROLLER MANTLE FOR CLAY PRODUCTION BY REPLICA METHOD

**Summary**

In the process of clay-tile manufacturing, clay has to pass through set of rollers in order to achieve higher homogeneity and exact thickness. Thus, it is expected from roller mantle to have high wear resistance, dimension accuracy and stability, and satisfactory dynamical strength. This can be only achieved by appropriate material and microstructure. This paper presents the results of different roller mantles study of great dimensions. The investigations were performed on: new roller mantles, mantels in exploitation and some

used. To characterize the microstructure of all mantels materials, a replica method was used. The chemical composition was determined and hardness test (classical method and by portable device) were performed, also. It was found that all roller mantles were made from different materials with different microstructures which influenced their behaviour during exploitation.

**Key words:**

roller mantle, microstructure, replica method, hardness

## 24. PRIKAZ STANDARDA EN 1435 RADIOGRAFSKO ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA

Mr Đurđija Čašić

Institut za nuklearne nauke »Vinča« Centar za permanentno obrazovanje

**Rezime**

Standardom EN 1435 su opisane osnovne tehnike radiografije predmeta koje omogućavaju ekonomično dobijanje zadovoljavajućih i ponovljivih rezultata ispitivanja.

Ovaj standard se primenjuje za radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva metalnih materijala.

Opisane tehnike mogu se primeniti na zavarene spojeve na pločama, cevima kao i na drugim cilindričnim telima i posudama pod pritiskom.

Standard je podudaran sa EN 444 – Opšti principi za radiografsko ispitivanje metalnih materijala X i gama zracima.

Standardom nisu opisani kriterijumi prihvatljivosti.

**Gljučne reči**

IBR, radiografsko ispitivanje, zavareni spojevi, kontrola kvaliteta, standardizacija,

## RADIOGRAPHIC EXAMINATION OF WELDED JOINTS

**Abstract**

This European Standard specifies fundamental techniques of radiography with the object of enabling satisfactory and repeatable results to be obtained economically.

This standard applies to the radiographic examination of fusion welded joints in metallic materials.

It applies to the joints of plates or pipes and other cylindrical bodies and pressure vessels.

This standard complies with EN 444 - General principles for radiographic examination of metallic materials by X-and gamma-rays. This standard does not specify acceptance levels of the indications.

**Key words**

NDT, radiographic testing, welded joints, quality control, standardization

## 25. STANDARDIZACIJA U OBLASTI ISPITIVANJA VRTLOŽNIM STRUJAMA

Tatjana Samardžić, dipl. maš. ing., JAT

**Rezime**

Rad daje prikaz standarda iz oblasti ispitivanja vrtložnim strujama kojima trenutno raspolaže SZS. Cilj rada je informisanje potencijalnih korisnika o sadržaju i mogućnostima primene ovih standarda, radi utvrđivanja prioriteta i dinamike kod usvajanja JUS standarda iz ove oblasti.

**Gljučne reči:**

standardizacija, vrtložne struje, verifikacija, curenje fluksa

## STANDARDIZATION IN EDDY CURRENT TESTING METHOD

**Abstract**

The article offers review of eddy current testing method standards that are currently available to our National Standardization Institution. Purpose of the article is to inform potential users about content and application opportunities of these standards, in order to establish priority and dynamics of JUS standards adoption in this area.

**Key words:**

standardization, eddy current, verification, flux leakage

## 26. VIBRODIJAGNOSTIČKI METOD ODREĐIVANJA KRITIČNOG BROJA OBRTAJA VRATILA

Mr Svetislav Lj. Marković, Viša tehnička škola,

Svetog Save 65, 32000 Čačak

Mr Radovan Ćirić, Viša tehnička škola,

Svetog Save 65, 32000 Čačak

**Rezime**

Pri poklapanju frekvencije obrtanja vratila na kome su postavljeni rotirajući elementi sa sopstvenom učestanošću vratila u odnosu na savijanje nastaje kritično stanje, odnosno rezonancija. Broj obrtaja koji odgovara pojavi rezonancije naziva se kritičnim. Prema tome, radno područje brojeva obrtaja treba da bude izvan kritičnog. Za praktično određivanje kritičnog broja obrtaja konstruisan je i napravljen ispitni uređaj. U laboratorijskim uslovima su vršena ispitivanja kritičnog broja obrtaja vratila menjajući rastojanje između ležajeva. Dati su proračun dinamičke stabilnosti vratila, opis rada uređaja i rezultati eksperimentalnih ispitivanja.

**Gljučne reči:**

vratilo, kritični broj obrtaja, rezonancija, uređaj, ispitivanja.

## VIBRO-DIAGNOSTIC METHOD OF THE SHAFT CRITICAL ROTATION NUMBER DETERMINATIONS

**Abstract**

When rotary frequencies of the shaft with mounted rotary elements overlap with the frequency of the shaft itself, in relation to bending, a rather critical state, i.e. resonance, may occur. The number of rotations going with the onset of resonance is referred to as the critical one. Being so, the working area of rotations number ought to be beyond the critical one. For practical determinations of the critical number of rotations, a probe appliance has been constructed and manufactured. The critical number of the shaft rotations has been studied in laboratory conditions with the distance among the bearings being changed. The

estimates of the shaft dynamic stability, the description of how the appliance operates as well as the experimental results, are presented in the paper.

**Key words:**

shaft, rotations number, resonance, appliance, assay.

## 27. ZAKONSKA REGULATIVA U OBLASTI ZAŠTITE OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

**Rezime**

Za ispitivanje materijala radioaktivnom metodom koriste se zatvoreni izvori jonizujućeg zračenja.

Jonizujuće zračenje je elektromagnetsko ili čestično zračenje koje može da jonizuje materiju i da izazove oštećenje ćelija živih organizama.

Da nebi došlo do neželjenih efekata po zdravlje lica koja rade sa izvorima zračenja i stanovništva, moraju se preduzeti sve mere zaštite od jonizujućeg zračenja u skladu sa Zakonom o zaštiti i pratećim pravilnicima i odlukama.

## 28. PRIMENA TERMOVIZIJE U KONTROLI OPREME U EKSPLOATACIJI

Boško Aleksić, dipl.ing.

DP "HIP-Azotara" Pančevo

**Rezime**

Nevidljivo infracrveno zračenje, za ljudsko oko, koje emituje ispitivani objekat prenosi se putem infracrvenog optičkog sistema u detektor infracrvenog zračenja koji je smešten u kameri. Ovaj detektor - poluprovodnik prevodi infracrveno zračenje u vidni signal. Na ekranu uređaja "Petrosaner" dobija se u sivom tonu slika, termogram objekta.

U radu je dat pristup kontrole infracrvenog zračenja katalitičkih cevi reformera u pogonu amonijaka.

**Gljučne reči:**

infracrveno zračenje, termogram, reformer, cevi

## AN APPLICATION THERMOVISION IN CONTROL EQUIPMENT IN EXPLOITATION

**Summary**

Invisible infrared radiation emitted by examined object is transmitted to an infrared radiation detector, located in camera, by infrared optical sistem. This detector semiconductor converts infrared radiation in to a video signal which is led through amplifier to display unit. On the display appears in gray tone termical picture - Termogram of examined object.

The paper presents control infrared radiation catalytic tubes of amonia plant reformer.

**Key words:**

infrared radiation, thermogram, reformer, tubes

## 29. EKSPERIMENTALNO PRAĆENJE DEFORMACIJSKOG I NAPONSKOG STANJA NA ROTORNOM BAGERU U EKSPLOATACIJI

Dr Zijah Burzić, dipl. inž.\*, Mr Milorad Zrilić, dipl. inž.\*\*

Dr Miodrag Obradović, dipl. inž.\*\*\*, Dragan Marinković\*

\* Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

\*\* Tehnološko-Metalurški fakultet, 11000 Beograd, Karnegijeva 4

\*\*\* Manex-Co, 11000 Beograd

**Rezime**

U radu su prikazani rezultati eksperimentalnog određivanja deformacijskog i naponskog stanja na nosećoj konstrukciji rotornog bagera tenzometrijskom metodom. Urađen je i proračun naponskog stanja noseće konstrukcije rotornog bagera metodom konačnih elemenata.

**Gljučne reči:**

rotorni bager, tenzometrijska merenja, konačni elementi

## EXPERIMENTAL MONITORING OF DEFORMATION AND STRESS STATE IN EXPLOITATION WITH ESCAVATOR

**Abstract**

In this paper the results of experimental determination of the deformation and stress state in carrying structure of escavator of tensometric method were presented. The working is numerical analysis of finite elements method of stress state of the carrying structure of escavator.

**Key words:**

escavator, tensometric measurements, finite elements

## 30. PRIMENA NOVIH METODA ZA ODREĐIVANJE PARAMETARA RASTA ZAMORNE PRSLINE KOD ZAVARENIH SPOJEVA

Dr Zijah Burzić, dipl. inž.\*, Mr Meri Burzić, dipl. inž.\*\*

Jelisav Ćurović, dipl. inž.\* Mr Milorad Zrilić, dipl. inž.\*\*

\* Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

\*\* Tehnološko-metalurški fakultet, 11000 Beograd, Karnegijeva 4

**Rezime**

U radu su prikazani rezultati eksperimentalnog određivanja parametara rasta zamorne prsline kod zavarenog spoja čelika Č4730 korišćenjem specijalnih mernih traka (folija).

**Gljučne reči:**

Rast zamorne prsline, ispitivanje materijala, mehanika loma, zavareni spoj, merna traka - folija

## APPLICATION OF NEW METHODS OF INVESTIGATIONS FOR DETERMINATION FATIGUE CRACK GROWTH PARAMETARS OF WELDED JOINTS

**Abstract**

In this paper the results of experimental determination of fatigue crack growth parameters welded joint steel Č4730 strain gages - foil were presented.

### Key words:

Fatigue crack growth, testing of materials, fracture mechanics, welded joint, strain gage - foil

### 31. OPREMA ZA DALJINSKO VIZUELNO ISPITIVANJE (DVI) I NJENA PRIMENA U POJEDINIM INDUSTRIJSKIM SEKTORIMA

Jano Kurai, dipl.ing., Zastupnik firme Everest VIT za Jugoslaviju  
Pančevo, E-mail: jkurai@panet.co.yu

#### Rezime:

Daljinsko vizuelno ispitivanje (DVI) je vrsta vizuelnog ispitivanja. Posebnost opreme za ovu podvrstu IBR je što ona omogućuje osmatranje sa udaljenih i, za ljudsko oko, nedostupnih lokacija.

Sofisticirana oprema za DVI je unapredila dijagnostiku, bilo da se zahteva identifikacija problema radi procene stanja, ili je u pitanju rutinsko održavanje ili sanacija. Ova IBR oprema je siguran alat koji štedi novac i vreme.

U ovom radu je dat kratak opis karakterističnih vrsta DVI opreme počev od starijih modela pa do savremenih uređaja koji obezbeđuju preciznost, pokretljivost (upravljivost), kvalitet slike i jednostavnost korišćenja.

U drugom delu referata su date preporuke za izbor najoptimalnije varijante DVI uređaja za specifične slučajeve kod pojedinih industrijskih sektora.

#### Ključne reči:

IBR, DVI oprema, dijagnostika, industrijski sektor

### REMOTE VISUAL INSPECTION (RVI) EQUIPMENT AND ITS APPLICATION TO DIFFERENT INDUSTRIAL SECTORS

#### Abstract

Remote Visual Inspection (RVI) is a subcategory of Visual Testing. The specialty of this category of Nondestructive Testing (NDT) equipment allows viewing capabilities from a remote location.

Sophisticated RVI tools are improving diagnostics, whether assessment is required to identify problems, for routine maintenance or as part of construction. These NDT tools are safe and provide savings of both cost and time. In this paper, several applicable RVI tools will be discussed, from early models to the cutting-edge equipment that has recently become more accurate, portable, easy-to-use and with improved image quality. In the second paper's part, recommendations are made on identifying the best RVI tools available for specific industrial sectors needs.

#### Key words:

NDT, RVI equipment, diagnostics, industrial sector

### 32. TIV (Gledanje kroz utiskivač)

#### Nove mogućnosti mobilnog merenja tvrdoće

Dr. Stefan Frank  
Agfa NDT GmbH, Robert-Bosch-Straße 3, D-50354 Hürth

#### Rezime

U vremenu pritiskajućih troškova i visokih zahteva u pogledu kvaliteta, mobilno merenje tvrdoće predstavlja brzu i pre svega, ekonomičnu dopunu stacionarnog merenja tvrdoće u okviru modernog procesa proizvodnje. Mogućnosti primene su višestruke – ovo se primenjuje i na velike i na male komponente, a naročito na teško pristupačnim mestima. Dva različita fizička metoda su naročito zahvalna u praksi: statički UCI i dinamički odskočni metod merenja tvrdoće.

### 33. TEHNIKE DETEKCIJE I ODREĐIVANJA VELIČINE PRSLINA PO UNUTRAŠNEM PREČNIKU

Dragan Karišić, tehn.

#### Rezime

Upadnim uglom u materijal ispod prve totalne refleksije, generišu se i egzistiraju sve tri vrste talasa istovremeno. Radom se prezentuje razrada i praktična primena tehnike detekcije i određivanja veličine prslina na unutrašnjoj strani zida.

#### Ključne reči:

ispitivanje ultrazvukom, tehnika ID puzećih talasa, prslina na unutrašnjem prečniku, Određivanje veličine

### DETECTION AND SIZING TECHNIQUES OF ID CONNECTED CRACKING

#### Abstract

Incident angle in material under first totally reflection, generation and exist all three types wave at one time. In the paper are presented elaboration and practical use of detection and sizing techniques of ID connected cracking.

#### Key words:

Ultrasonic testing, Technique ID Creeping Wave, Cracks inner surface, Defining size

### 34. FREKVENCJA PONAVLJANJA I "FANTOM EHO"

Dragan Karišić

#### Rezime:

Signal "fantom eho" (zakasnele refleksije) je posledica neoptimizovane frekvencije ponavljanja (PRF) u odnosu na područje ispitivanja. Radom je predstavljen slučaj ove pojave u praksi, uz uporedni pregled ove funkcije kod ultrazvučnih uređaja serije USN/USM (Krautkramer)

#### Ključne reči:

ispitivanje ultrazvukom, frekvencija ponavljanja (PRF), fantom eho, optimizovana frekvencija

### PULSE REPETITION FREQUENCY (PRF) AND "PHANTOM ECHO"

#### Abstract:

Phantom echo signal (late reflection signal) is consequence of non optimized repetition frequency (PRF) related to testing range. The article represents this phenomenon in practice, with comparative view of this function with USN/USM series of ultrasonic equipment manufactured by Krautkramer.

#### Key words:

Ultrasonic testing, Repetition frequency (PRF), Phantom echo, Optimized frequency

### 35. AUTOMATIZOVANO I RUČNO ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE ŽELEZNIČKOG MATERIJALA ZA PERMANENTNU UPOTREBU I ODRŽAVANJE

Udo Schlegelmann, Gerhard Schmitz i Peter Speier  
AgfaNDT GmbH

#### Rezime

Sistem točak – šina zahteva pouzdanu kooperaciju šine, pokretnih delova i vozila. Ovo je razlog što delovi odgovorni za sigurnost treba da se ispitaju metodama bez razaranja (IBR) u proizvodnji, ali i u toku održavanja.

Metod ispitivanja ultrazvukom je idealna tehnika inspekcije masivnih komponenti. Ovo se posebno primenjuje na šine i parove točkova; oni moraju da nose opterećenje koje se transportuje i da drže vozilo na pruzi, tako da prenose sile pogona i kočenja.

Zbog činjenice da ovi elementi samo zajedno funkcionišu, svaki kvar izazvaće veće oštećenje. Otuda, ispitivanje mora da bude efikasno i potpuno u toku celog radnog veka, od proizvodnje do kraja eksploatacije.

Zbog relativno krute veze šine i pogonskog točka, odnosno kočionog diska, bilo kakve nepravilnosti koje mogu da se dese u nekoj komponenti, brzo će uticati na ostale.

Osiguranje kvaliteta u održavanju zahteva kompatibilnost podataka uzastopnih periodičnih ispitivanja. Računarom podržano ispitivanje može da pomogne u upravljanju rezultatima ispitivanja.

U budućnosti ispitivanja u funkciji održavanja železničke opreme vršiće vlasnici, proizvođači ili posebna preduzeća za tu svrhu. Ove potrebe ujedinile su međunarodna pravila za ispitivanja u toku rada.

### 36. INDUSTRIJSKA ENDOSKOPIJA

#### VIZUELNI PREGLED SKRIVENIH PROSTORA

Dr. VOJISLAV BOŽANIĆ, dipl. maš. inž.

#### Rezime

Predmet ovog članka je opis mogućnosti koje pružaju endoskopski pregledi kada se primene kod industrijskih uređaja i objekata. Tu su navedeni zahtevi u pogledu psihičkih i fizičkih osobina koje treba da ispuni pregledač. Takođe su pomenuti «logički alati» koje koristi pregledač prilikom analize viđenog stanja u cilju procene stanja objekta koji se pregleda. Pomenuti su neki od većih industrijskih objekata na kojima je ova metoda primenjena, naročito u elektranama. Ovi podaci potiču iz velikog iskustva autora koji ima preko 18 godina rada u oblasti industrijske endoskopije, sa 10 750 obavljenih pregleda.

#### Ključne reči:

Industrijska endoskopija, elektrane

#### INDUSTRIAL ENDOSCOPY

#### VISUAL INSPECTION HIDDEN SPACES

#### Abstract

Object of this paper is description of possibilities given from endoscope inspections applied in industrial equipment and plants. Paper contains requirements considering mental and physical attributes for inspector. Inspectors' "logical tools" that are used during analysis of screened condition, for the purposes of object – equipment and plant status assessment are also specified. Paper specifies relevant industrial plants, especially power plants, significant for this topic. These data result from authors' previous experience based on 18 years of work in industrial endoscope field, with 10750 inspections.

#### Key words:

Industrial endoscopies, power plants

### 37. ISPITIVANJE I KONTROLISANJE U FUNKCIJI OBEZBEĐENJA KVALITETA

Dr Slobodan S. GAJIN, dipl. ing.  
NORTH Engineering d.o.o. Subotica, Kontrolno telo NORTH Control  
Dr Siniša B. KUZMANOVIĆ, dipl. ing.  
NORTH Engineering d.o.o. Subotica, Laboratorija za ispitivanje NORTH Lab

#### Rezime

U radu je prikazan način funkcionisanja akreditovanih organizacija za ispitivanje i kontrolisanje iz aspekta zahteva standarda serije EN 45000, odnosno ISO IEC 17000. Posebno je analiziran uticaj rada akreditovanih organizacija na tradicionalan odnos kupac – prodavac.

Pokazano je da prelazak na indirektni način preuzimanja novih ili servisiranih mašina i opreme, uz angažovanje akreditovanih organizacija, pruža kupcu sigurnost, a u krajnjoj liniji smanjuje i troškove.

#### Ključne reči:

Akreditovana laboratorija, akreditovano kontrolno telo, troškovi nabavke, troškovi održavanja, obezbeđenje kvaliteta.

#### TESTING AND INSPECTION IN FUNCTION OF QUALITY REQUIREMENT

Slobodan S. GAJIN, Ph D  
NORTH Engineering Co., Ltd., Inspection Body NORTH Control  
Siniša B. KUZMANOVIĆ, Ph D  
NORTH Engineering Co., Ltd., Testing Laboratory NORTH Lab

#### Summary

This paper represents a survey of how an accredited organizations for testing and inspection work according to EN 45000 and ISO IEC 17000 standard series. The influence



which accredited organizations have on a traditional relationship between a buyer and a salesman is given special attention.

It is shown that the transition to an indirect takeover of machines and equipment by employing accredited organizations not only guarantees safety to the buyer, but also costs.

**Keywords:**

Accredited laboratory, accredited inspection body, costs of supply, maintenance costs, quality requirement.

### 38. UTICAJ MODELIRANJA NA PROCENU PREOSTALOG RADNOG VEKA BUBNJA TERMOELEKTRANE

Dr Miroslav Živković, vanr. prof., Mašinski fakultet u Kragujevcu, JMZ@eunet.yu

Mr Snežana Vulović, istraživač saradnik, Kragujevac

Dr Miloš Kojić, red. prof. Mašinski fakultet u Kragujevcu

Vladimir Đorđević, dipl. inž., Kragujevac

Đorđi Biljanovski, dipl. inž., TENT A, JP EPS Obrenovac

Aleksandar Jakovljević, dipl. inž., Direkcija za razvoj i investicije, JP EPS Beograd

Branislav Kovačević, dipl. inž., Centar za kvalitet JP EPS, Beograd

**Rezime**

U ovom radu analiziran je uticaj modela konačnih elemenata na procenu radnog veka bubnja termoelektrane. Bubanj je modeliran elementima ljuske i 3D elementima. Izvršen je proračun naprezanja materijala bubnja sa termoelastoplastičnom analizom. Rađene su dve analize i to: prva, sa projektnim geometrijskim i materijalnim podacima, i druga, kada su korigovani debljina i napon tečenja. Pokazano je da je neophodno detaljno modeliranje zona visoke koncentracije napona, jer se adekvatnim modeliranjem dobija znatno manja maksimalna efektivna plastična deformacija i znatno veći broj mogućih ciklusa. Potvrđeno je da se značajna koncentracija napona javlja u zavarenim spojevima, na prelazu između materijala šava i materijala iz zone uticaja temperature, i da su 3D konačni elementi u tom slučaju pogodniji za modeliranje u odnosu na elemente ljuske.

**Кljučне речи:**

termoelektrana, bubanj, plastične deformacije, radni vek.

### MODELING INFLUENCE ON ASSESSMENT OF THE REMAINING LIFETIME OF THE DRUM IN THERMAL POWER PLANT

**SUMMARY**

In this paper influence of finite element model on assessment of the remaining lifetime of the drum in thermal power plant is analyzed. The drum is modeled by shell finite elements and 3D finite elements, too. Analysis of stress and thermal-elastic-plastic strain of the drum is performed. Two analyses are compared: first, with realized geometrical and material data of drum, and the other, with modified thickness and yield stress. It is necessary detailed modeling of zones of stress concentration, because adequate modeling gives less maximal effective plastic strain and major number of cycles. Significant stress concentration in welded joints in transition zone appears, and in that case 3D finite elements are superior comparing to shell finite elements.

**Key words:**

steam power plant, boiler drum, plastic strain, life time.

### 39. STANJE OPREME KAO PODLOGA ZA PRODUŽENJE RADNOG VEKA VELIKIH TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA

Dr. Slobodan V. Đekić, dipl. maš. inž.; Aleksandar D. Jakovljević, dipl. maš. inž.

Elektroprivreda Srbije, Direkcija za razvoj i investicije, Beograd

**Rezime**

Produženje radnog veka termoeenergetskih postrojenja predstavlja jednu od osnovnih, dugo odlaganih, aktivnosti elektroprivrede Srbije. Stanje opreme sa procenom preostalog radnog veka vitalnih komponenti, utvrđeno po posebno pripremljenom kompleksnom programu, osnova je svih daljih planova i aktivnosti projekta produženja radnog veka (izrada investiciono-tehničke dokumentacije i drugo). Dobijeni rezultati ujedno služe za preduzimanje hitnih preventivno-korektivnih mera u cilju otklanjanja rizika u radu postrojenja do izvođenja zahvata produženja radnog veka termoeenergetskog postrojenja.

**Кljučне речи:**

Termoeenergetsko postrojenje, produženje radnog veka, ispitivanje stanja opreme, metal

### EQUIPMENT CONDITION AS A BASE FOR LIFE EXTENSION OF LARGE THERMAL POWER PLANT UNIT

Slobodan V. Djekic, Ph.D.mech.eng., Aleksandar D. Jakovljevic, B.Sc.mech.eng.

Electric Power of Serbia, Development & Investment Division, Belgrade

**Abstract**

Life extension of thermal power units makes one of major, long time postponed, activity of Electric Power of Serbia. Conditions and remaining life assessment of major plant components, determined throughout realization of especially prepared investigation program, are base for all other plans and activities of the life extension (feasibility studies and other technical documentation). Obtained results are also base for urgent performance of preventive-corrective measures towards elimination of risks until life extension of plant performs.

**Key words:**

Thermal power units, life extension, investigation of equipment, metal

### 40. METODOLOGIJA PRIMENE ENDOSKOPSKE DIJAGNOSTIKE NA VAZDUHOPLOVNOM GASOTURBINSKOM MOTORU

Docent Dr. Stefan Janković, dipl. ing., VZ "Moma Stanojlović" 11273 Batajnica, Nesvrstani zemalja 130

Mirosljub Jovanović, dipl.ing., JP Aerodrom "BEOGRAD"

**Rezime**

Koncept održavanja prema stanju složenih tehničkih sistema u industriji, a posebno u vazduhoplovstvu, zahteva primenu tehničke dijagnostike. Jedna od izuzetno pouzdanih metoda tehničke dijagnostike sistema, koja ne zahteva njegovo rastavljanje, je endoskopska dijagnostika.

Cilj primene endoskopske dijagnostike, sa ostalim metodama bez razaranja, je povećanje pouzdanosti, efikasnosti i roka rada složenih tehničkih sistema u sistemu održavanja prema stanju.

U radu je prezentirana metodologija endoskopske dijagnostike vazduhoplovnog gasoturbinskog motora ASTAZOU XIV M. Primeri, prikazanih oštećenja delova vazduhoplovnog motora, uzeti su iz datoteke Dijagnostičkog centra Vazduhoplovnog zavoda "Moma Stanojlović" - Batajnica. Dijagnostika ovih oštećenja, bez obzira na iskusne specijaliste Zavoda nebi bila moguća bez posedovanja savremene endoskopske opreme. U radu je istaknuta mogućnost primene endoskopske dijagnostike na održavanju složenih tehničkih sistema prema stanju u industriji Jugoslavije.

**Кljučне речи:**

dijagnostika, endoskopija, održavanje prema stanju

### APPLICATION OF ADVANCED ENDOSCOPIC DIAGNOSTICS ON AIRCRAFT GASTURBINE ENGINE

Docent Doctor Stefan Janković, B.Sc.Eng., Aeronautical Plant "Moma Stanojlović" 11273 Batajnica, Nesvrstani zemalja 130

Mirosljub Jovanović, B.Sc.Eng., PC Airport "BELGRADE"

**Abstract**

The conception of on-condition maintenance of complex technical system in industry, and particularly in Air Force, requires the application of technical diagnostics. One of the most reliable methods of system technical diagnostics that does not require its disassembling, is endoscopic diagnostics. The purpose of the endoscopic diagnostics application, together with other non-destructive methods, is the working terms of complex technical system within the on-condition maintenance system

This paper presents the basic principles of the endoscopic diagnostic of the ASTAZOU XIVM aircraft gas turbine engine. Examples of the indicated damages of the aircraft engine parts are taken from the Diagnostic Centre files of the Aeronautical Plant "Moma Stanojlović" - Batajnica. Diagnostics of these damages, regardless of experienced Aeronautical Plant experts, would not be possible without possession of advanced endoscopic equipment. The paper points out the possibility of applying the endoscopic diagnostics in on-condition maintenance of complex technical system in Yugoslav industry.

**Key words:**

diagnostics, endoscop, on-condition maintenance,

### 41. DIJAGNOSTIKA STANJA GLAVA NAMOTAJA STATORA GENERATORA

Dr Slobodan S. GAJIN, dipl. ing.

Dr Zoltan JEGEŠ, dipl. ing.

NORTH Engineering d.o.o. Subotica, Kontrolno telo NORTH Control

**Rezime**

U radu je prikazana nekonvencionalna metoda dijagnostike stanja dinamičkih karakteristika glava kanura namotaja statora sinhronih generatora, na bazi ispitivanja spektralnih svojstava. Opisani su fizički osno-vi metode, dijagnostički parametri, tehnologija ispitivanja i granične vrednosti prihvatljivosti na bazi internog standarda NES 1020-1:1999 (North Engineering Stan-dard). Procedura je ilustrovana na primeru kontrolisanja sinhronog turbogeneratora od 250 MVA.

**Кljučне речи:**

Sinhroni generator, namotaj statora, gla-va kanure, dijagnostika stanja.

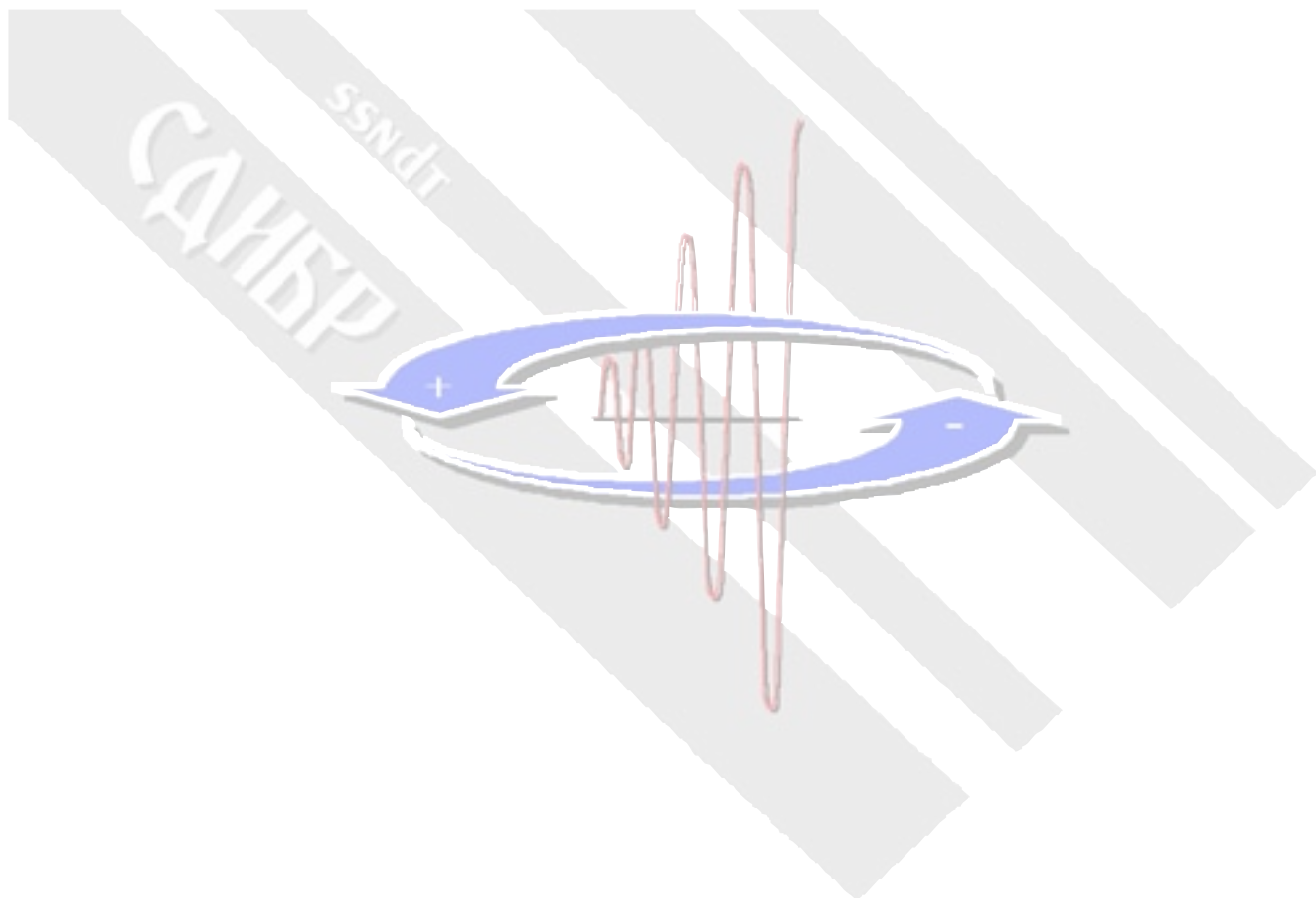
### 42. ПРОЦЕС АКРЕДИТОВАЊА

mr Драган Бадњар, начелник Одељења за акредитацију у ЈУАТ-у

**Резиме**

Поверење у акредитацију се остварује транспарентним системом управљања над акредитованим организацијама и обезбеђењем да акредитована организација испуњава критеријуме акредитације. То се остварује механизмима почетног оцењивања, надзорних активности, надзорним посетама и поновним оцењивањем.

У раду су дата нека искуства везано за поштовање Правила акредитације, односно прописаних услова за додељивање и одржавање акредитације.



## Uputstvo za korišćenje CD-ROM-a

Ubacite disk u vaš CD uređaj. Posle izvesnog vremena na ekranu računara pokrenuće se Acrobat Reader sa elektronskom verzijom **Zbornika radova sa ovog Savetovanja**. Pregled radova se izvodi na veoma lak i poznat način.

Ako se po ubacivnju CD-a ne pokrene Acrobat Reader sa učitanim Zbornikom radova, moraćete da ga instalirate sa ovog istog CD-a. Instalaciju ćete uraditi tako što ćete iz direktorijuma *Acroread* sa ovog CD-a pokrenuti instalacionu proceduru **Setup.exe**, a zatim pratite odgovarajuća uputstva sa ekrana. Po završenoj instalaciji, pokrenite Reader a zatim učitajte datoteku **IBR\_2002\_Savetovanje.pdf**.



# TEHNIČKI PROPISI U PROIZVODNJI GASNE TEHNIKE I ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA

Dejan Simonović, dipl. maš. ing., "ENERGO-SISTEM" Nova Pazova

## REZIME:

*U radu je dat prikaz praktičnog rešenja organizacije ispitivanja bez razaranja (IBR) u proizvodnji gasne tehnike usaglašen sa sistemom kvaliteta proizvođača. Istovremeno se prikazuju i odnosi koji bi trebalo da postoje sa akreditacionim i ovlašćenim telima za tehnički nadzor u našoj zemlji u saglasnosti sa važećim tehničkim propisima u proizvodnji gasne tehnike sa aspekta IBR. Dat je i osvrt na direktive Evropske Unije koje su od značaja za proizvođače gasne tehnike. Izvršeno je i poređenje stanja tehničkih propisa u EU sa stanjem u našoj zemlji.*

## Ključne reči:

gasna tehnika, tehnički propisi, ispitivanja bez razaranja, sistem kvaliteta, akreditacija

## TECHNICAL SPECIFICATIONS IN THE MANUFACTURE OF GAS EQUIPMENT AND NON DESTRUCTIVE TESTING

### ABSTRACT:

*This work describes the practical solution of non-destructive testing (NDT) organization in the manufacture of gas equipment in accordance with the manufacturer's quality system. It especially shows relations which must be established with the accreditation and authority bodies for technical supervision in our country in accordance with the currently valid technical specifications for NDT in manufacture of gas equipment. It gives the look on Europe Union (EU) regulations, which are probably important for the manufacturers of gas equipment. This work compares situation of technical regulations in EU with the situation on the same field in our country.*

### Key words:

gas equipment; technical specifications; non-destructive testing, quality system, accreditation

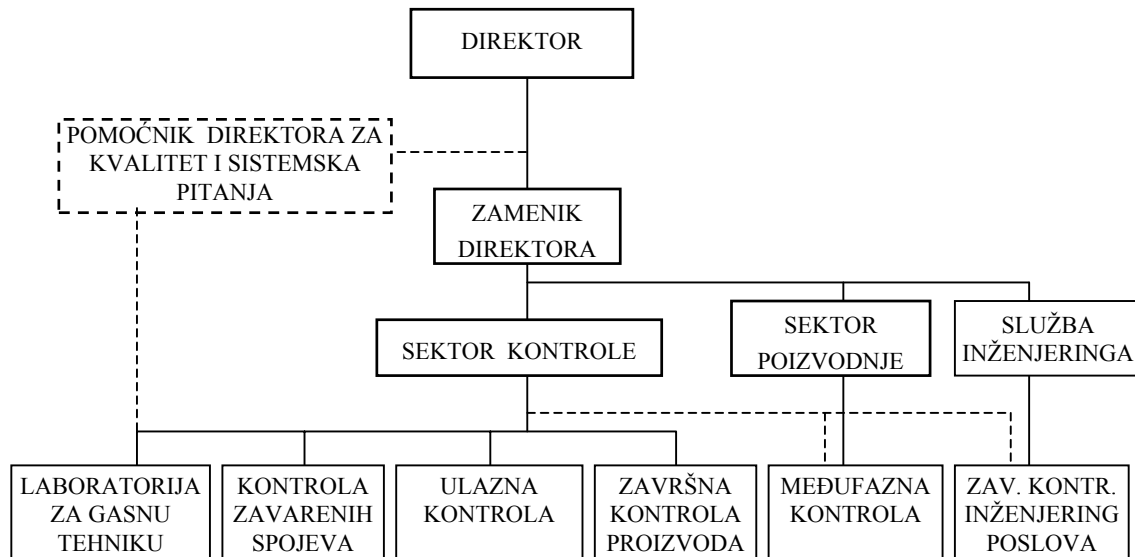
## 1. UVOD

U ovom radu u smislu gasne tehnike podrazumeva se pre svega oprema i instalacije namenjene za korišćenje prirodnog gasa i tečnog naftnog gasa (propan-butana). S obzirom na ekspanziju koju ova privredna grana doživljava u svetu i kod nas i saglasno sa potencijalnim opasnostima prilikom korišćenja prirodnog i tečnog naftnog gasa brojni tehnički propisi obavezuju proizvođača na sprovođenje ispitivanja bez razaranja na proizvodima pre nego što se oni stave u promet - predaju na upotrebu korisniku. Takođe zbog značaja ispitivanja bez razaranja u procesu proizvodnje gasne tehnike potrebno je da proizvođač tačno definiše organizaciju sprovođenja ispitivanja bez razaranja.

## 2. ORGANIZACIJA ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA KOD PROIZVOĐAČA

Ukoliko se proizvođač gasne tehnike odluči, da sam vrši ispitivanja bez razaranja na svojim proizvodima on mora uspostaviti odgovarajuću organizacionu jedinicu sa dovoljnim brojem obučenog osoblja koje vrši ispitivanje bez razaranja. Tako uspostavljenu organizacionu jedinicu treba da ukomponuje u sopstveni sistem kvaliteta i da joj da samostalnost u potrebnoj meri kako bi se omogućila akreditacija te organizacione jedinice kod nacionalnog akreditacionog tela što je u našem slučaju Jugoslovensko akreditaciono telo (JUAT). Takođe, ukoliko je potrebno dobiti i ovlašćenja drugih državnih organa za obavljanje IBR, što je u slučaju ispitivanja sa izvorom jonizujućih zračenja neminovnost, onda se moraju tako uspostavljenoj organizacionoj jedinici dodeliti odgovornosti i ovlašćenja u onoj meri, koje omogućavaju jednostavnu komunikaciju sa nadležnim državnim organima. Može se zaključiti da organizaciona jedinica u kojoj se sprovode IBR osim unutrašnje samostalnosti mora imati odgovornosti i ovlašćenja da uspostavlja eksterne odnose sa drugim organizacijama i državnim organima, bez ikakvih organizacionih prepreka.

U našem slučaju - "Energo-Sistem"-a A.D. Nova Pazova, mi smo takvu organizacionu jedinicu nazvali "Kontrola zavarenih spojeva" jer se uglavnom IBR sprovodi na zavarenim spojevima. Takođe prema novijim klasifikacijama [1] deo ispitivanja koje sprovodimo u Laboratoriji za gasnu tehniku mogu se takođe svrstati u IBR - ispitivanja nepropusnosti. Međutim, ispitivanja nepropusnosti na gasnoj tehnici naša normativna regulativa eksplicitno ne svrstava u IBR. Iz tog razloga i iz razloga povezanosti sa drugim ispitivanjima koja nisu IBR, ispitivanja nepropusnosti se sprovode u organizacionoj jedinici, čiji delokrug uglavnom nije IBR - Laboratorija za gasnu tehniku, u kojoj se vrše uglavnom funkcionalna ispitivanja proizvoda. Prikaz praktičnog rešenja organizacije Sektora kontrole i u okviru njega "Kontrole zavarenih spojeva" u kome se vrše IBR (radiografska ispitivanja zavarenih spojeva) je dat na slici 1.



Slika 1: Načelna organizacija sektora kontrole u "Energ-Sistem"-u

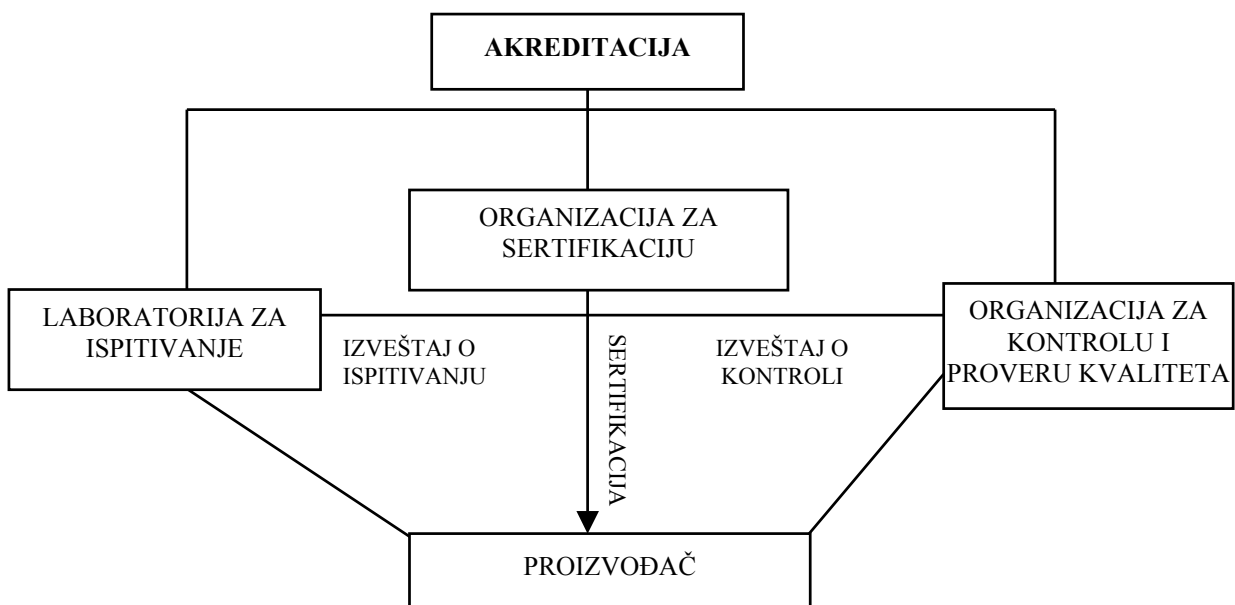
Dve organizacione jedinice sa posebnim statusom i ovlašćenjima su:

- Laboratorija za gasnu tehniku i
- **Kontrola zavarenih spojeva - Laboratorija za IBR**

U smislu posebnih ovlašćenja misli se na uspostavljanje odgovarajućih veza izvan matične organizacije, pre svega radi potvrđivanja kompetentnosti za sprovođenje ispitivanja.

### 3. ODNOSI LABORATORIJE ZA IBR SA DRUGIM ORGANIZACIJAMA

Prema važećoj zakonskoj regulativi [2] i [3] proizvođač je dužan da dokaže usaglašenost svojih proizvoda sa odgovarajućim tehničkim specifikacijama. U procesu dokazivanja usaglašenosti proizvoda iz oblasti gasne tehnike neminovno je uključivanje "treće strane" radi ocenjivanja usaglašenosti proizvoda i samog procesa. Na slici 2 je data načelna šema utvrđivanja usaglašenosti.

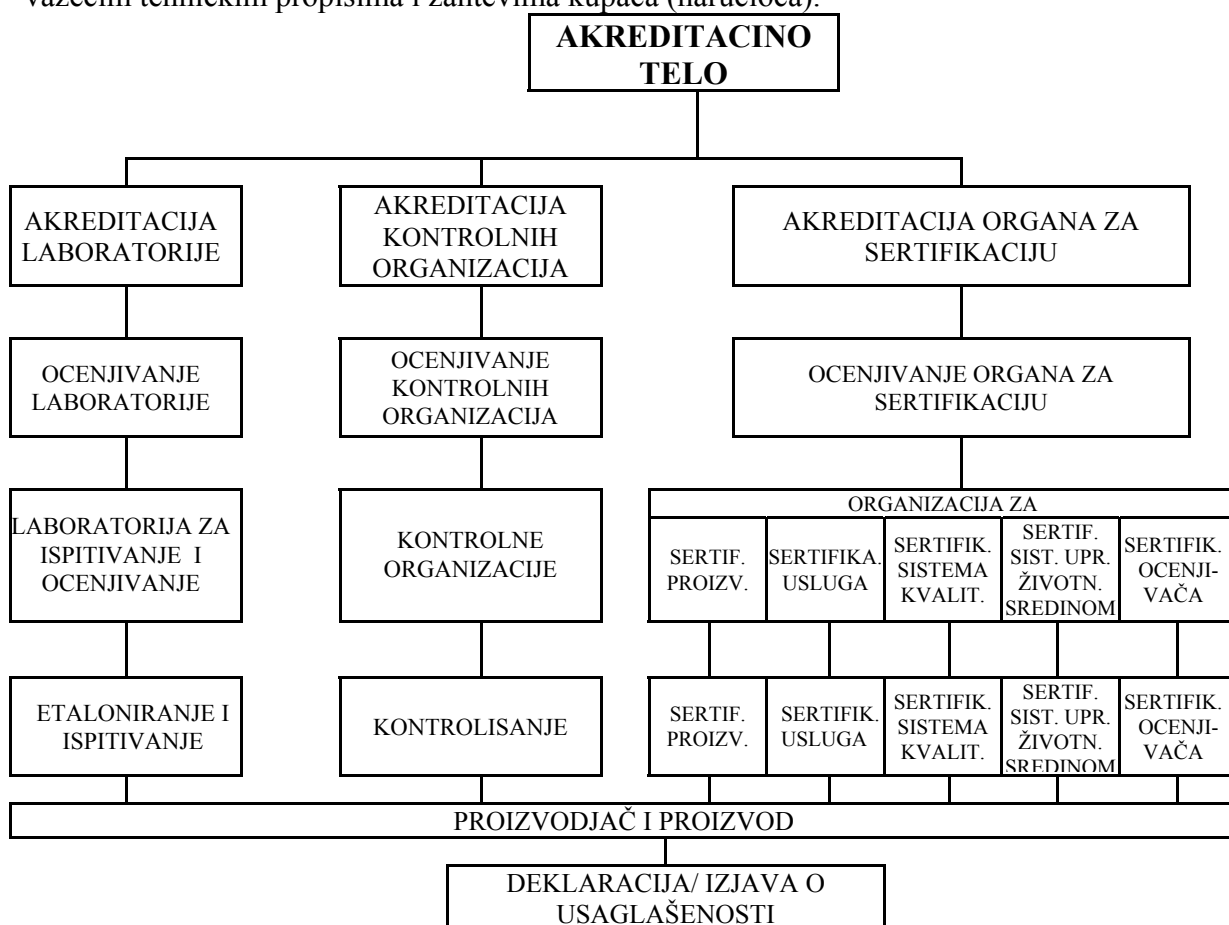


Slika 2: Shema ocenjivanja usaglašenosti

Kao što je razvidno sa slike 2: organizacije za sertifikaciju, laboratorije i organizacije za kontrolu i proveru kvaliteta moraju biti akreditovane od strane akreditacionog tela za obavljanje svoje delatnosti. Ako proizvođač poseduje sopstvene laboratorije, takođe mora potvrditi njihovu kompetentnost kod akreditacionog tela. Organizacije za sertifikaciju sprovode sertifikaciju i nadgledanje proizvođača. U načelu time se obuhvata sertifikacija procesa (npr. sistema kvaliteta ili sistema upravljanja životnom sredinom,...) ili sertifikacija proizvoda i usluga. Organizacije za kontrolu i proveru kvaliteta mogu biti organizacije koje će u saglasnosti sa zakonskim zahtevima ili po zahtevu proizvođača ili naručioca vršiti proveru kvaliteta proizvoda i usluga, kako bi se dokazala usaglašenost sa specificiranim zahtevima za proizvod, takve kontrole mogu se sprovoditi u različitim vremenskim intervalima i u načelu mogu obuhvatiti proizvode i procese izrade proizvoda (kontrola projektne dokumentacije, kontrola u toku izrade proizvoda - tehnički nadzor, kontrola nad sprovođenjem ispitivanja ,...)

Načelna struktura celokupnog sistema za ocenjivanje usaglašenosti procesa i proizvoda je data na slici 3.

U saglasnosti sa izloženim na slici 2 i 3 proizvođač treba da obezbedi dokazivanje usaglašenosti svojih procesa, najčešće putem dobijanja sertifikata o ispunjenosti zahteva standarda koji se odnose na procese upravljanja sistemom kvaliteta i sistemom upravljanja životne sredine (serije standarda JUS ISO 9000 i JUS ISO 14000), zatim mora dokazati usaglašenost svojih proizvoda i usluga u saglasnosti sa tehničkim propisima i standardima koji se odnose na konkretne proizvode i usluge. Proizvođač dokazuje kompetentnost svojih laboratorija kod akreditacionog tela (prema JUS ISO 17025) i najzad obezbeđuje učešće kontrolnih organizacija u ocenjivanju usaglašenosti proizvoda i procesa, u saglasnosti sa važećim tehničkim propisima i zahtevima kupaca (naručioca).



Slika 3: Načelna struktura sistema ocenjivanja usaglašenosti

Prema svemu izloženom Laboratorija za IBR uspostavlja sledeće odnose sa institucijama izvan matične organizacije:

- nacionalnim akreditacionim telom (JUAT-om), u cilju dokazivanja svoje kompetentnosti za izvođenje IBR;
- akreditovanim laboratorijama za etaloniranje, u cilju etaloniranja sopstvene merne opreme koja se koristi za IBR;
- akreditovanim laboratorijama za ispitivanje opreme koja se koristi za IBR, u cilju periodičnog potvrđivanja karakteristika opreme koja se koristi za IBR;
- drugim akreditovanim laboratorijama za IBR u cilju sprovođenja međulaboratorijske saradnje u oblasti IBR;
- sertifikovanim organizacijama za obuku kadrova za sprovođenje IBR radi obezbeđenja stručne osposobljenog kadra za sprovođenje IBR;
- državnim organima zaduženim za izdavanje dozvola za rad i nadzor nad korišćenjem specifične opreme za IBR (u slučaju korišćenja izvora jonizujućeg zračenja);
- državnim organima zaduženim za nadzor nad primenom zakonske regulative u oblasti dokazivanja usaglašenosti proizvoda i usluga;
- kontrolnim organizacijama koje sprovode kontrolu proizvoda i usluga prema zakonskim i tehničkim propisima odnosno prema zahtevu naručioca;

#### **4. SPROVOĐENJE IBR U PROIZVODNJI GASNE TEHNIKE U NAŠOJ ZEMLJI**

Ukoliko se IBR na proizvodima gasne tehnike sprovodi kod samog proizvođača, proizvođač se suočava sa teškoćama koje se mogu grubo podeliti u dve grupe:

- nerazvijena struktura dokazivanja usaglašenosti proizvoda i usluga;
- nedostatak i zastarelost odgovarajućih zakonskih i tehničkih propisa i odgovarajućih standarda.

##### **4.1 Nerazvijena struktura dokazivanja usaglašenosti proizvoda i usluga**

Iako je uspostavljena struktura sistema za ocenjivanje usaglašenosti proizvoda i usluga prema slici 3 i u saglasnosti sa zakonom [2], može se konstatovati sledeće stanje:

- broj akreditovanih laboratorija za IBR, iako je u porastu, i dalje je mali, posledica toga je vršenje IBR od strane neakreditovanih laboratorija za IBR;
- kupci odnosno krajnji korisnici proizvoda gasne tehnike su vrlo često slabo upoznati sa strukturom ocenjivanja usaglašenosti, pa se često dešava, da se priznavanje rezultata IBR vrši na osnovu pozitivnog iskustva, tzv. "dobre saradnje" i minimalnog obima dokazivanja kompetentnosti za IBR (samo na osnovu obuke kadrova);
- odsustvo Republičke Inspekcije Parnih Kotlova (kao kontrolne organizacije iz prošlog perioda) unelo je na tržište dodatnu pometnju, najčešća posledica je izostanak kontrolnih organizacija iz procesa ocenjivanja usaglašenosti proizvoda ili poveravanje tog posla organizacijama (od strane naručioca) koje najčešće nisu dokazale svoju kompetentnost u oblasti IBR;
- u oblasti IBR skoro da ne postoje akreditovane kontrolne organizacije specijalizovane za IBR, posledica toga su (ne)imenovanja lica za superviziju rezultata sprovođenja IBR kod proizvođača od strane naručioca. Učešće "supervizora" nije sporno, međutim ukoliko se zahteva dokazivanje kompetentnosti laboratorije za IBR, logično se nameće potreba dokazivanja kompetentnosti i takvih organa imenovanih od strane naručioca. Odnosno, potreba za uspostavljanjem kontrolnih organizacija za IBR je potrebno i sa stanovišta proizvođača i kupca (prisustvo "treće strane");

- saradnja sa drugim akreditovanim laboratorijama za IBR i za potrebe IBR je otežana, upravo zbog malog broja takvih organizacija. Još uvek nije u potpunosti zaživela svest o potrebi akreditacija laboratorija za IBR.

#### **4.2 Nedostatak i zastarelost odgovarajućih zakonskih i tehničkih propisa i odgovarajućih standarda.**

Prema [4] oblast proizvodnje i korišćenja gasne tehnike je uređena se nekoliko zakonskih i podzakonskih propisa. U većini njih se pojavljuju zahtevi za sprovođenje IBR pre predaje proizvoda na upotrebu kupcu. Zakonska regulativa u oblasti gasne tehnike eksplicitno zahteva sprovođenje IBR uglavnom na cevovodima i gasnim stanicama i to:

- radiografiju na zavarenim spojevima uzimajući zahteve standarda JUS C.T3.010 za nivo kvaliteta zavarenog spoja "C" kao polaznu osnovu za sprovođenje IBR. Za podzemne delove gasovoda i ulazne delove gasnih stanica koje su priključene direktno na magistralne gasovode obim ispitivanja se zakonom proširuje na 100% sučeonih zavarenih spojeva. U određenim slučajevima kada su radni pritisci vrlo niski, zakonska regulativa ne zahteva sprovođenje radiografskih ispitivanja;
- ispitivanja nepropusnosti, na svim vrstama gasnih instalacija, sa parametrima koji su najčešće određeni samim zakonskim aktom ili pozivanjem na standard JUS M.E3.151;
- u nekim od zakonskih propisa zahtevi za IBR se ostvaruju samo pozivanjem na JUS C.T3.010 bez definisanja nivoa kvaliteta zavarenih spojeva i bez konkretnog prozivanja pojedinih metoda IBR.

Zakonska regulativa, ne samo što ne daje dovoljno konkretnih smernica za sprovođenje IBR na gasnoj tehnici već u određenim segmentima gasne opreme ona i ne postoji, npr. oblast razvodnih gasovoda od gasne stanice priključene na magistralni gasovod (glavne merno regulacione stanice) do merno regulacione gasne stanice za industrijskog potrošača ili široku potrošnju nije pokrivena odgovarajućim zakonskim propisom, tako da zahteve za IBR utvrđuju distributeri gasa (najčešće su oni i naručioci proizvoda) svojim internim pravilnicima [5], koji se nedovoljno precizno pozivaju na već spomenuti JUS C.T3.010 u zahtevima za radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva odnosno propisuju sopstvene parametre za ispitivanja nepropusnosti, ponekada i teško primenljive u praksi.

U oblasti komponenti gasnih cevovoda, odnosno regulacione i sigurnosne armature, zakonska regulativa i standardi ([4], JUS M.E3.379, JUS M.E3.381, ...) od metoda IBR spominju samo ispitivanje nepropusnosti, iako se u izradi tih proizvoda u velikoj meri koriste i odlivci, druge metode IBR na odlivcima se praktično se ne zahtevaju, što nije slučaj kod Evropskih Normi (EN 334), gde se precizno utvrđuju obim i metode IBR na odlivcima namenjenim za izradu regulacione opreme na gasnim postrojenjima.

Sprovođenje metoda IBR u toku eksploatacije svodi se uglavnom na ispitivanje nepropusnosti u odgovarajućim vremenskim intervalima.

Zakonska regulativa u nedovoljnoj meri definiše učešće kontrolnih organizacija u procesu dokazivanja usaglašenosti proizvoda gasne tehnike i nije usaglašena sa strukturom ocenjivanja usaglašenosti procesa, proizvoda i usluga. Zakonska regulativa nedovoljno propisuje odgovornosti proizvođača za proizvod iz oblasti gasne tehnike, a dokazivanje usaglašenosti procesa, proizvoda i usluga se zahteva u nedovoljnom obimu.



## 5. USAGALAŠENOST PROIZVODA GASNE TEHNIKE I IBR U EVROPSKOJ UNIJI

Za proizvođače gasne tehnike, osim direktiva globalnog pristupa o sertifikaciji i ispitivanju (odluke 90/683/EEC i 93/465/EEC) koje propisuju strukturu sistema ocenjivanja usaglašenosti kao i [2] posebno su zanimljive i direktive novog pristupa date u tabeli 1.

*Tabela 1 : Direktive novog pristupa za ocenjivanje usaglašenosti proizvoda iz područja delatnosti proizvođača gasne tehnike .*

Red. broj	Oblast direktive	Broj direktive i dopune
1.	Jednostavni sudovi pod pritiskom	87/404/EEC;90/488/EEC 93/68/ECC
2.	Opšte mašinstvo - mašine	98/37/EC 98/93/ECC
3.	Uređaji koji rade na gasovita goriva	90/396/ECC 93/68/ECC
4.	Bojleri za grejanje vode koji rade na gasovita goriva (kotlovi)	92/42/EEC 93/687EEC
5.	Uređaji za rad u potencijalno eksplozivnim atmosferama	94/9/EC
6.	Oprema pod pritiskom	97/23/EC

Direktive se primenjuju kada se proizvodi plasiraju na tržište EU. Odgovornost proizvođača je da utvrdi, da li je proizvod obuhvaćen direktivom. Direktive obuhvataju širok opseg proizvoda i međusobno se preklapaju. Plasiranje proizvoda se može izvršiti tek kada je proizvod usaglašen sa svim direktivama, kojima proizvod podleže. U slučaju kada su pojedini proizvodi obuhvaćeni sa dve ili više direktiva, primena drugih direktiva je često ograničena isključivanjem izvesnih proizvoda iz područja primene direktive ili se daje prednost više specifičnoj direktivi.

Radi postizanja usaglašenosti proizvoda sa određenim direktivama utvrđene su odgovarajući moduli ocenjivanja usaglašenosti. Moduli pružaju različite mogućnosti dokazivanja usaglašenosti proizvoda. Moduli su prilagođeni vrsti proizvoda i riziku koji može nastupiti upotrebom određenog proizvoda. Moduli za dokazivanje usaglašenosti proizvoda iz gasne tehnike gotovo uvek zahtevaju postojanje sertifikovanog sistema kvaliteta kod proizvođača, a osim globalnih zahteva za proizvod, u EU se odvija proces harmonizacije standarda iz svih oblasti pa i iz oblasti gasne tehnike. Direktivama i harmonizovanim (čak i neharmonizovanim standardima) se precizno utvrđuje obim IBR na proizvodima gasne tehnike. Nadležnosti akreditovanih laboratorija, kontrolnih organizacija i organizacija za sertifikaciju se precizno utvrđuju. Uvode se i notifikaciona tela, koja konačno ocenjuju usaglašenost proizvoda (na osnovu izveštaja akreditovanih organizacija i sopstvene kontrole i nadzora) i omogućavaju ili onemogućavaju plasiranje proizvoda na tržište EU.

Značaj IBR se time podiže na odgovarajući nivo, dokazivanje usaglašenosti proizvoda gasne tehnike bez sprovođenja IBR na tehnički dobro definisan način je neostvarivo. Nacionalni propisi koji detaljno uređuju oblast primene gasne tehnike kao npr. u Nemačkoj - DVGW, ostaju na snazi i mogu poslužiti za dokazivanje usaglašenosti proizvoda, međutim takvi propisi ne mogu biti prepreka za plasiranje proizvoda ukoliko proizvod zadovoljava direktve EU.

## 6. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega izloženog može se zaključiti da je sprovođenje IBR na proizvodima gasne tehnike u našoj zemlji nedovoljno precizno utvrđeno, čak i kada su zakonski propisi postavili odgovarajuće temelje za sprovođenje IBR, propisi su u nedovoljnoj meri zaživeli. Stoga može se smatrati da je i sa stanovišta IBR u gasnoj tehnici potrebno da se u najkraće moguće vreme utvrde odgovarajući načini za utvrđivanje usaglašenosti proizvoda, na način kako je to urađeno u EU. Samim tim stvoriće se podloge za sprovođenje IBR u gasnoj tehnici na odgovarajući način, bez proizvoljnosti i sa jasno utvrđenim ovlašćenjima i odgovornostima u sprovođenju IBR. S obzirom na stremljenja naše zemlje ka EU potrebno je izvršiti usaglašavanje odnosno preuzimanje propisa EU za primenu u našoj zemlji, kako iz oblasti gasne tehnike tako i iz IBR, a kod proizvođača i korisnika mora se podsticati sprovođenje tehničkih propisa, a posebno se mora naglašavati značaj pojedinih organizacija u procesu dokazivanja usaglašenosti. Posebno sa aspekta IBR u gasnoj tehnici potrebno je definisati propise za konkretne proizvode, koji će precizno utvrditi obim sprovođenja IBR na konkretnim proizvodima gasne tehnike, kao i odgovarajuće učešće kontrolnih organizacija za IBR u proizvodnji gasne tehnike.

## LITERATURA:

- [1] J. Kurai, dipl. ing.: “Metode ispitivanja materijala bez razaranja; pregled, karakteristike i kriterijumi za izbor”-skripta NIS – Rafinerija nafte Pančevo, Služba kontrole
- [2] Zakon o standardizaciji Sl. SRJ 30/96 i 59/98
- [3] Uredba o načinu utvrđivanja usaglašenosti i o načinu vršenja tehničkog nadzora Sl. SRJ 55/97 i 57/97.
- [4] M. Bogner, M Isailović: “Tehnički propisi u gasnoj tehnici sa komentarima” SMEITS Beograd 2001.g.
- [5] NIS-GAS “Pravilnik o izgradnji gasnih postrojenja” NIS-GAS Novi Sad
- [6] Materijal sa konferencije “Tehničke Barijere Evropske Unije” Beograd, Novembar 2001.god.
- [7] Dokumentacija sistema kvaliteta “Energo-Sistem” A.D Nova Pazova 2001.god.



# STANDARDIZACIJA U OBLASTI ISPITIVANJA METODAMA BEZ RAZARANJA, S POSEBNIM OSVRTOM NA PRIORITETNE EVROPSKE STANDARDE

**Autor: Slavica Jurić, dipl.inž., vodeći inženjer  
standardizacije**

*Savezni zavod za standardizaciju*

## **Rezime**

*Savezni zavod za standardizaciju priprema i donosi jugoslovenske standarde, usaglašeno sa načinom i programima rada Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO) i Evropskog komiteta za standardizaciju (CEN).*

*U radu je dat pregled jugoslovenske standardizacije u oblasti ispitivanja metodama bez razaranja i to odvojeno, za opštu primenu i primenu na zavarene spojeve, uporedo sa međunarodnim standardima, kao i evropskim standardima (na neke se pozivaju obavezujuće Evropske Direktive).*

*Kao baze za dalje planove rada na novim JUS standardima dati su prioritetno EN standardi, a zatim i ISO standardi u raznim fazama izrade.*

## **Ključne reči:**

standardi, jugoslovenska standardizacija, ispitivanja bez razaranja, metode ispitivanja.

## **Abstract:**

*The Federal Institution for Standardization prepares and adopts Yugoslav standards in accordance the way and programs of work of the International Organization for Standardization (ISO) and the European Committe for Standardization (CEN).*

*In this papers are given a riview of Yugoslav standardization in the field of non-destructive testing methods and separately, for generally application and application to the weld joints, parallel whit international standards and European standards (some of them refer to obligated European Directives).*

*In the paper are also given data on the plans of work in the future period.*

## **Key words:**

standards, Yugoslav standardization, non-destructive testing, testing methods

## **STANDARDIZACIJA U OBLASTI ISPITIVANJA METODAMA BEZ RAZARANJA, S POSEBNIM OSVRTOM NA PRIORITETNE EVROPSKE STANDARDE**

Opređenje i obaveza jugoslovenske standardizacije je da u okviru rada Saveznog zavoda za standardizaciju, priprema i donosi jugoslovenske standarde usaglašene sa zahtevima evropske i međunarodne standardizacije, čime doprinosi primeni prihvaćenih i priznatih metoda u Evropi i svetu.

Koncepcija razvoja međunarodnih aktivnosti Saveznog zavoda za standardizaciju (SZS) zasniva se na kontinuiranoj saradnji sa Međunarodnom organizacijom za standardizaciju (ISO), čija je punopravna članica od 01. januara 1958. godine, dok je SZS, 01. januara 1998. godine postao dopisni član Evropskog komiteta za standardizaciju (CEN), što je omogućilo preuzimanje evropskih standarda u jugoslovenski sistem standardizacije, uz prethodno pribavljenu saglasnost Evropske ekonomske komisije.

U skladu sa Zakonom o standardizaciji u okviru SZS radi Komisija za pripremu, utvrđivanje i donošenje jugoslovenskih standarda u oblasti Ispitivanja metodama bez razaranja, KS C 135, a koja je u saradnji sa istoimenom Komisijom Srpskog društva za IBR.

Prilikom donošenja planova rada Komisije, usklađivali smo donošenje jugoslovenskih standarda u oblasti IBR-a, sa međunarodnim i evropskim (EN u periodu 1992. god. nismo dobijali), smatrajući da će za istu primenu, a u skladu sa Bečkom konvencijom (1985. god.), doći do njihove harmonizacije.

Međutim, i ako se pri izradi ISO i EN standarda napominje, da se rade paralelno, do sada, u velikom broju oni nisu potpuno usklađeni. Podaci o evropskim standardima u 2001. godini su da je 28% harmonizovanih sa Direktivama, 38% usaglašeni prema Bečkoj konvenciji i 34% nezavisnih Evropskih standarda.

Kod preuzimanja - prevođenja i usvajanja jugoslovenskih standarda, naša težnja je da budu identični međunarodnim, odnosno evropskim standardima, zbog njihove dalje primene, kao i radi pozivanja na njih. Međutim značajno je da je prema Uputstvu 1 i Uputstvu 5 Saveznog zavoda za standardizaciju, pri izradi jugoslovenskih standarda omogućeno, da se kroz nacionalne napomene - u samom tekstu standarda, nacionalne fusnote - na kraju strane, nacionalne informacije i nacionalne priloge - iza teksta standarda donekle ublaži nezadovoljstvo originalnim tekstom standarda, tj. JUS standardi mogu sadržati samo minimalna objašnjenja, obaveštenja, upućivanja i slično, ali koji nisu u suprotnosti sa originalnim tekstom evropskog ili međunarodnog standarda.

Do sada smo u radu Komisije za donošenje JUS EN i JUS ISO standarda imali teškoće i probleme prilikom pozivanja na EN ili ISO standarde kao i odlučivanja na bazi koga izrađivati JUS standarde, obzirom da često nisu bili harmonizovani, što nas je dovelo u situacije da moramo da se opredeljujemo, tako da je naš sadašnji pristup, prioritarna orijentacija i usklađivanje sa evropskim standardima.

U radu je dat pregled novih evropskih standarda, uporedo sa međunarodnim i to odvojeno prema metodama ispitivanja bez razaranja, kao i posebno, vezano za primenu, za opštu i na zavarene spojeve (cevi, posude pod pritiskom ...).

**Tabele od 1. do 10**

- Prikaz stanja JUS, JUS ISO, JUS EN (JUS Euronorm) standarda, uporedo sa ISO, EN (Euronorm standardima), u oblasti ispitivanja bez razaranja, odvojeno po metodama ispitivanja i posebno za opštu primenu i primenu na zavarene spojeve (**stanje, jun 2002. godine**)
- D.T. - Označava definitivni tekst JUS standarda, koji je Komisija usvojila, ali on još nije objavljen
- NA - Označava da je JUS standard u fazi nacrt
- prEN .... - Označava nacrt evropskog standarda
- ISO/DIS ... - Označava nacrt međunarodnog standarda
- ISO/FDIS ...- Označava definitivni tekst, ali još neobjavljen ISO standard.

Tabela 1 - **Standardi zajednički za sve metode IBR-a**

Tabela 1/a - **Opšta primena**

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	JUS EN 1330-1- D.T.	Ispitivanja bez razaranja - Terminologija - Deo 1: Opšti termini	ISO/DIS 18173:2002	EN 1330-1:1998	
2.	JUS EN 1330-2 - D.T.	Ispitivanja bez razaranja - Terminologija - Deo 2: Zajednički termini za metode ispitivanja bez razaranja		EN 1330-2:1988	
3.	-	NDT - Generic NDE data format model		CR 13935:2000	

Tabela 1/b - **Primena na zavarene spojeve**

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	JUS EN 12062 - D.T.	Ispitivanja zavarenih spojeva metodama bez razaranja - Opšta pravila za metalne materijale	ISO/DIS 17635:2000	EN 12062:1997	EN 12062:97 eqv ISO/DIS 176335

Površinske metode - ISO/TC 135/SC 2 i CEN/TC 138/WG5+WG8

Tabela 2 - Ispitivanja optičkim i vizuelnim metodama (VT)

Tabela 2/a - Opšta primena

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	JUS C.A.7.091:1985	Ispitivanja bez razaranja - Metode ispitivanja površine pomoću metalografskih replika	ISO 3057:1974 - Novi ISO 3057:1998		JUS u reviziji Urađen prednacrt JUS ISO 3057
2.	JUS C.A.7.092:1985	Ispitivanja bez razaranja - Sredstva za vizuelno ispitivanje - Izbor lupe sa malim uvećanjem	ISO 3058:1974 - Novi ISO 3058:1998		JUS u reviziji Urađen prednacrt JUS ISO 3058
3.	JUS ISO 10049:1994	Odlivci od legura aluminijuma - Vizuelna metoda ocene poroznosti	ISO 10049:1992		ISO/TC 79/SC7
4.	JUS ISO 10049/1:1995	Odlivci od legura aluminijuma - Vizuelna metoda ocene poroznosti - Izmene i dopune	ISO 10049:1992		ISO/TC 79/SC7
5.	-	NDT - Terminology - Part 10: Term used in visual testing	prEN 1330-10:2000		
6.	-	NDT - Visual Testing - General principles	EN 13018:2001		
7.	-	Vizuelno ispitivanje kvaliteta površine čeličnih odlivaka	ISO 11971:1997		ISO/TC17/SC11 Urađen prednacrt
8.	JUS EN 970 - D.T.	Ispitivanja bez razaranja - Ispitivanje zavarenih spojeva izvedenih topljenjem - Vizuelno ispitivanje	ISO/DIS 17637:2000	EN 970:1997	CEN/TC 138 D.T. u štampi ISO eqv. EN
9.	-	Makroskopsko i mikroskopsko ispitivanje zavarenih spojeva	ISO/DIS 17639:2000	EN 1321:2000	- Z.S.

Tabela 2/b - Primena na zavarene spojeve

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	JUS EN 970-D.T.	Ispitivanja bez razaranja - Ispitivanje zavarenih spojeva izvedenih topljenjem - Vizuelno ispitivanje	ISO/DIS 17637:2000	EN 970:1997	D.T. u štampi ISO eqv EN
2.	-	Makroskopsko i mikroskopsko ispitivanje zavarenih spojeva	ISO/DIS 17639:2000	EN 1321:1996	ISO/DIS 17639 eqv EN 1321:1996

Površinske metode ispitivanja

Tabela 3 - Ispitivanja tečnim penetrantima (PT)

Tabela 3/a - Opšta primena

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	JUS C.A7.080:1990	Ispitivanja bez razaranja - Ispitivanje penetrantima - Opšte odredbe	ISO 3452:1984 ISO 3452-1:2000	EN 571-1:1997	Potrebna revizija JUS-a
2.	JUS C.A7.081:1992	Ispitivanja bez razaranja - Penetrantska sredstva - Karakteristike i kontrola kvaliteta	ISO 3453:1984 ISO 3452-2:2000	prEN 571-2:1999	Potrebna revizija JUS-a
3.	-	NDT - Penetrant testing - Part 3: Reference test blacks	ISO 3452-3:1998	prEN 571-3:1992	
4.	-	NDT - Penetrant testing - Part 4: Equipment	ISO 3452-4:1998	prEN 956:1992	
5.	JUS C.A7.082:1979	Ispitivanja bez razaranja - Metoda za indirektno određivanje intenziteta zračenja crne svetlosti	ISO 3059:1974	EN/ISO 3059:2001 (prEN 1956)	ISO/TC 135 CEN/TC 138 Urađen nacrt JUS ISO 3059:2002
		Non-destructive testing - Penetrant testing and magnetic particle testing - Viewing conditions	ISO 3059:2001		
6.	JUS/ISO 4987:1997	Čelični odlivci - Kontrolisanje penetrantima	ISO 4987:1992		
7.	JUS ISO 9916:1997	Odlivci legura aluminijuma i legura magnezijuma - Kontrolisanje tečnim penetrantima	ISO 9916:1991		ISO/TC 79/SC 7
8.	-	Non-destructive testing - Penetrant flow detectors - General technical requirements	ISO 9935:1992		ISO/TC 135



**Nastavak tabele 3/a - Opšta primena**

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
9.	-	NDT - Penetrant inspection - Vocabulary	ISO 12706:2000	prEN 1330-6	ISO/TC 135/SC2
10.	-	Livarstvo - Kontrolisanje tečnim penetrantima - Deo 1: Odlivci livni u pesku gravitaciono i pod niskim pritiskom		EN 1371-1:1997	
11.	-	Livarstvo - Kontrolisanje tečnim penetrantima - Deo 2: Odlivci od preciznog liva		EN 1371-2:1998	
12.		NDT of steel forgings - Part 2: Penetrant testing		EN 10228-2	

Tabela 3/b - Primena na zavarene spojeve: ISO TC 44/SC 5, TC 17/SC 19, CEN TC 121/SC 5

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	-	NDT - Examination of welds - Penetrant testing of welds - Acceptance levels		EN 1289:1998	CEN/TC 121
2.	-	Bešavne i šavne (zavarene) čelične cevi za rad pod pritiskom - Ispitivanje tečnim penetrantima	ISO 12095:1994		ISO/TC 17/SC195

**Tabela 4 - Ispitivanja magnetskim česticama (MT)**

**Tabela 4/a - Opšta primena**

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	JUS C.A7.022:1994	Ispitivanja bez razaranja - Ispitivanje rasipanjem magnetskog fluksa - Opšti zahtevi			JUS Izrađen na bazi DIN 54130:1974 Potrebno usklađivanje za JUS ISO 9934-1
2.	JUS C.A7.082:1979	IBR - Metoda za indirektno određivanje intenziteta zračenja crne svetlosti	ISO 3059:1974	ENISO 3059:2001 prEN 1959:1995	Urađen nacrt JUS 3059:2002
		NDT - Penetrant testing and magnetic particle testing - Viewing conditions	ISO 3059:2001		
3.	JUS ISO 4986:1997	Čelični odlivci - Kontrolisanje magnetskim česticama	ISO 4986:1992		
4.	JUS ISO 9934-1 - I NACRT 1998.	Ispitivanja bez razaranja - Ispitivanje magnetskim česticama - Deo 1: opšti principi	ISO 9934-1:2001		Na bazi ISO 9934-1:2001 Uraditi JUS ISO drugi prednacrt
5.	-	NDT - Magnetic particle testing Part 2: Detection media	ISO/FDIS 9934-2:2002		Urađen prednacrt JUS ISO 9934-2
6.	-	NDT - Magnetic particle testing - Part 3: Characterization of products	ISO/FDIS 9934-3:2002		Urađen prednacrt JUS ISO 9934-3
7.	-	Railway rolling stock material - Magnetic particle acceptance testing	ISO 6933:1986		ISO/TC 17/SC 13
8.	-	IBR - Ispitivanje magnetskim česticama - Rečnik	ISO/CD 12707:2000		ISO/TC 135

Tabela 4/b - Primena za zavarene spojeve

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	-	Bešavne i šavne (zavarene) čelične cevi za rad pod pritiskom - Ispitivanje magnetskim česticama krajeva cevi radi otkrivanja nepravilnosti usled valjanja	ISO 13664:1997		ISO/TC 17/SC 19
2.	-	Bešavne i šavne (zavarene) čelične cevi za rad pod pritiskom - Ispitivanje magnetskim česticama, cevi, radi otkrivanja površinskih nepravilnosti	ISO 13665:1997		ISO/TC 17/SC 19
3.	-	NDT examination of welds - Magnetic particle examination of welds	ISO/DIS 17638:2000	EN 1290:1998	Urađen D.T. JUS EN
4.	-	NDT of welds - Magnetic particle testing of welds - Acceptance levels and criteria	-	EN 1291:1998	Urađen D.T. JUS EN

Akustične metode - ISO/TC 135/SC 3, CEN/TC 138/WG 2 i CEN/TC 121

Tabela 5. - Ispitivanje ultrazvukom  
Tabela 5/a - Opšta primena

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	JUS C.A7.061:1992	Ispitivanja bez razaranja - Ultrazvučno ispitivanje čeličnih limova debljine 6 mm i veće (metoda refleksije)	-	Euronorm 160:1985	Ima novi EN10160:1999
2.	JUS C.A7.051:1997	IBR - Provera karakteristika ultrazvučnog ispitnog sistema - Osnovne metode provere	-		Baza za JUS je bila DIN 54124 - Teil 1:1983 Potrebno preispitivanje u usklađivanje standarda
3.	JUS Euronorm 186-D.T.	Ispitivanje bez razaranja - Ispitivanje ultrazvukom - Ispitivanje širokih profila (nosača) sa paralelnim stopama i IPE profila (nosača)	-	Euronorm 186:1987	JUS Euronorm u štampi
4.	-	NDT - Ultrasonic inspection - Vocabulary	ISO 5577:2000	EN 1330-4:2000	ISO/TC 135; CEN TC 138/WG2
5.	-	Railway rolling stock material - Ultrasonic acceptance testing	ISO 5948:1994		ISO/TC 17/SC 13
6.	-	Čelični odlivci - Ispitivanje ultrazvukom	ISO/DIS 4992:1999		ISO/TC 17/SC 11
7.	-	NDT - Ultrasonic examination - Part 1: General principles		EN 583-1:1998	Urađen prednactr JUS EN
8.	-	NDT - Ultrasonic examination - Part 2: Sensitivity sond range setting		EN 583-2:2001	
9.	-	NDT - Ultrasonic examination - Part 5: Characterization and sizing of discontinuities		EN 583-5:2000	

**IBR 2002: Evropski trendovi – Primena u Jugoslaviji**

10.	-	NDT - Ultrasonic examination - Specification for calibration blok No1		EN 12223:1999	
11.	-	NDT - Characterization and verification of ultrasonic examination equipment - Part 1: Instruments		EN 12668-1:2000	
12.	-	NDT - Characterization and verification of ultrasonic examination equipment - Part 2: Probes		EN 12668-2:2000	
13.	-	NDT - Characterization and verification of ultrasonic examination equipment - Part 3: Combined equipment		EN 12668-3:2000	
14.	-	Non-destructive testing - Ultrasonic inspection - Characterization of search unit and sound field	ISO 10375:1997		ISO/TC 135/SC3
15.	-	Ultrasonic non-destructive testing - Reference blocks and test procedures for the characterization of contacts search unit beam profiles	-		ISO/TC 135/SC3
16.	-	Non-destructive testing - Ultrasonic inspection - Immersion testing	ISO/DIS 12709:1999		
17.	-	Non-destructive testing - Ultrasonic inspection - Evaluation of electronic characteristics of instruments	ISO/DIS 12710:1999		
18.	-	NDT - Evaluating performance characteristics of ultrasonic pulse-echo testing system without the use of electronic measurement instruments	ISO/WD 18175:1999		ISO/TC 17/SC 13

Tabela 5/b - Ispitivanje ultrazvukom - Primena na zavarene spojeve

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	JUS ISO 2400:1996	IBR - Zavareni spojevi na čeliku - Kalibracioni blok 1 za kalibrisanje opreme za ultrazvučno ispitivanje	ISO 2400:1972		ISO/TC 44
2.	JUS ISO 7963:1996	IBR - Zavareni spojevi na čeliku - Kalibracioni blok 2 za ultrazvučno ispitivanje zavarenih spojeva	ISO 7963:1985	EN 27963:1992	
3.	JUS ISO 13663:1999	Zavarene čelične cevi za rad pod pritiskom - Ultrazvučno ispitivanje oblasti uz zavareni spoj radi otkrivanja laminarnih nedostataka	ISO 13663:1993		
4.	JUS ISO 11496:2000	Bešavne i zavarene čelične cevi za rad pod pritiskom - Ultrazvučno ispitivanje krajeva cevi radi otkrivanja laminarnih nedostataka	ISO 11496:1993		
5.	JUS ISO 12094:2000	Zavarene čelične cevi za rad pod pritiskom - Ultrazvučno ispitivanje radi otkrivanja laminarnih nedostataka na trakama i limova koji se koriste za proizvodnju zavarenih cevi	ISO 12094:1994		
6.	-	Seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for pressure purposes - Full peripheral ultrasonic testing for the detection of longitudinal imperfections	ISO 9303:1989		ISO/TC 17/SC 19
7.	-	Electric resistance and induction welded steel tubes for pressure purposes - Ultrasonic testing of the weld seam for the detection of longitudinal imperfections	ISO 9764:1989		ISO/TC 17/SC 19 JUS ISO u štampi

**IBR 2002: Evropski trendovi – Primena u Jugoslaviji**

8.	-	Submerged arc-welds steel tubes for pressure purposes - Ultrasonic testing of the weld seam for the detection of longitudinal and/or transverse imperfections	ISO 9765:1989		ISO/TC 17/SC19
9.	-	Seamless steel tubes for pressure purposes - Full peripheral ultrasonic testing for the detection of transverse imperfections	ISO 9305:1989		ISO/TC 17/SC 19
10.		Seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for pressure purposes - Ultrasonic testing for the detection of laminar imperfections	ISO 10124:1994		ISO/TC 17/SC 19
11.	-	Seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for pressure purposes - Ultrasonic testing for the verification of hydraulic leak-tightness	ISO 10332:1994		ISO/TC 17/SC 19
12.	-	Seamless and hot - Stretch - reduced welded steel tubes for pressure purposes - Full peripheral ultrasonic thickness testing	ISO 10543:1993		ISO/TC 17/SC 19
13.	-	NDT examination of welds - Ultrasonic examination of welded joints	ISO/DIS 17640:2000	EN 1714:1971	ISO/TC44/SC 5
14.	-	NDT examination of welds - Ultrasonic examination - Characterization of imperfections in welds		EN 1713:1998	Urađen predhacrt JUS EN
15.	-	NDT examination of welds - Ultrasonic examination of welds joints - Acceptance levels		EN 1712:1997	Urađen predhacrt JUS EN
16.	-	NDT of steel tubes - Part 6: Automatic full peripheral ultrasonic testing of seamless steel tubes for the detection of transverse imperfections		EN 10246-6:1999	



**IBR 2002: Evropski trendovi – Primena u Jugoslaviji**

17.	-	NDT of steel tubes - Part 8: Automatic ultrasonic testing of the welded steel tubes for the detection of longitudinal imperfections		EN 10246-8:1999	
18	-	NDT of steel tubes - Part 9: Automatic ultrasonic testing of the weld seam of submerged arc welded steel tubes for the detection of longitudinal and/or transverse imperfections		EN 10246-9:2000	

Akustične metode - ISO/TC 135/SC3 i CEN/TC 138/WG7

Tabela 6. - Ispitivanje akustičnom emisijom

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	-	Non-destructive testing - Acoustic emission inspection - Primary calibration of transducers	ISO 12713:1998		ISO/TC 135/SC 3
2.	-	Non-destructive testing - Acoustic emission inspection - Secondary calibration of acoustic emission sensors	ISO 12714:1999		ISO/TC 135/SC 3
3.	-	IBR - Ispitivanje akustičnom emisijom - Rečnik	ISO/DIS 12716:1999	EN 1330-9:2000	CEN/TC 138
4.	-	IBR - Acoustic emission inspection - Examination of seamless gas filled pressure vessels	ISO/NP 18174:1999		

Tabela 7. - Metoda vrtložnih struja - ISO/TC 135/SC4 i CEN/TC 138/WG3

Tabela 7/a - Opšta primena

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	-	Non-destructive testing - Eddy current testing - Vocabulary	ISO/WD 12718:1999	EN 1330-5:1995	ISO/TC 135/SC 4 CEN/TC 138
2.	-	Non-destructive testing - Eddy current - Equipment - Part 1: Instrument	ISO/CD 15548-1:2001		ISO/TC 135/SC 4
3.	-	NDT - Eddy current testing - Equipment - Part 2: Probe characteristic and verif.	ISO/CD 15548/-2:2001		ISO/TC 135/SC 4
4.	-	NDT -Eddy c.t. - Equipment - System characteristics and verification	ISO/CD 15548/-3:2001		ISO/TC 135/SC 4
5.	-	Non-destructive testing - Eddy current examination -- General principles and basic guidelines	ISO/WD 15549:1997	EN 12084:2001	ISO/TC 135/SC 4
6.	-	Non-destructive testing - Electromagnetic examination of ferromagnetic steel wire rope	ISO/NP 18469:1997		ISO/TC 135/SC 4
7.	-	Non-destructive testing - Eddy current examination - Determining the impedance of absolute eddy-current probes	ISO/NP 18470:1997		ISO/TC 135/SC 4

Tabela 7/b - Primena na zavarene spojeve

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	-	IBR zavarenih spojeva - Ispitivanje vrtložnim strujama zavarenih spojeva, kompleksnim analizama	ISO/DIS 17643:2001	EN 1711:2000	
2.	-	Seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for pressure purposes - Eddy current testing for the detection of imperfections	ISO 9304-1:989		ISO/TC 17/SC 19
3.	-	NDT of steel tubes - Part 2: Automatic eddy current testing of seamless and welded (except s.a.-w.) austenitic and austenitic ferritic steel tubes, for verification of hydraulic leak - tightness		EN 10246-2:2000	
4.	-	NDT of steel tubes - Part 3: Automatic eddy current testing of seamless and welded (except s.a.-w.) austenitic and ferritic steel tubes, for the detection of imperfections		EN 10246-3:2000	

Tabela 8 - Radijacione metode ispitivanja (radioskopija, radiografija...)

Tabela 8/a - Opšta primena

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	JUS C.A7.010:1979	Uređaji za gama-radiografiju - Tehnički uslovi za izradu i isporuku	ISO 3999:1977		
2.	JUS C.A7.011:1990	IBR - Indikatori kvaliteta radiografske slike - Principi i identifikacija	ISO 1027:1983	EN 462-1:1994 462-2:1994 462-3:1996 462-4:1994 462-5:1996	
3.	JUS C.A7.017:1990	IBR - Iluminatori za industrijske radio-grame - Tehnički uslovi	ISO 5580:1985	EN 25580:1992	
4.	JUS ISO 5579:1997	IBR - Radiografsko ispitivanje metalnih materijala X - i $\gamma$ zracima - Osnovna pravila	ISO 5579:1985 u ISO 5579:1998	EN 444:1994	
5.	JUS ISO 4993:1997	Čelični odlivci - Radiografsko kontrolisanje	ISO 4993:1987		
6.	-	Non-destructive testing - Industrial X-ray and gamma-ray radiology - Vocabulary Bilingual edition	ISO 5576:1997	EN 1330-3:1997	
7.	-	Odlivci od legura aluminijuma - Ispitivanje radiografijom	ISO 9915:1992		

Nastavak tabele 8/a

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
8.	-	Non-destructive testing - Industrial radiographic films - Part 1: Classification of film systems for industrial radiography	ISO 11699-1:1998	EN 584-1:1994	
9.	-	Non-destructive testing - Industrial radiographic films - Part 2: Control of film processing by means of reference values	ISO 11699-2:1998	EN 584-2:1996	
10.	-	Non-destructive testing - Thermal neutron radiographic testing - General principles and basic rules	ISO 11537:1998		ISO/TC 135/SC 5
11.	-	IBR - Ispitivanje termalnom neutronsom radiografijom - Određivanje faktora L/D snopa	ISO 12721:2000		CEN/TC 138/WG4
12.	-	NDT - Radiotriion methods - Computed tomography - Part 1: Principles	ISO/DIS 15708-1:1999		CEN/TC 138/WG6
13.	-	NDT - Radiotriion methods - Computed tomography - Part 2: Examination practices	ISO/DIS 15708-2:1998		CEN/TC 138/WG6

Nastavak tabele 8/a

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
14.	-	NDT - Characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-destructive testing - Part 1: Scanning method		EN 12543-1:1999	
15.	-	NDT - Characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-destructive testing - Part 2: Pinhole camera radiographic method		EN 12543-2:1999	
16.	-	NDT - Characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-destructive testing - Part 3: Split camera radiographic method		EN 12543-3:1999	
17.	-	NDT - Characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-destructive testing - Part 4: Edge method		EN 12543-4:1999	
18.	-	NDT - Characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-destructive testing - Part 5: Measurement of the effective focal spot size of mini and micro focus X-ray tubes		EN 12543-5:1999	
19.	-	NDT - Measurement and evaluation of the X-ray tube voltage - Part 1: Voltage divider method		EN 12544-1:1999	

Nastavak tabele 8/a

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
20.	-	NDT - Measurement and evaluation of the X-ray tube voltage - Part 3: Spectrometric method		EN 12544-3:1999	
21.	-	NDT - Determination of the size of industrial radiographic sources - Radiographic method		EN 12679:1999	
22.	-	NDT - Radioscopic testing - Part 1: Quantitative measurement of imaging properties		EN 13068-1:1999	
23.	-	NDT - Radioscopic testing - Part 2: Check of long term stability of imaging devices		EN 13068-2:1999	



Tabela 8/b - Primena na zavarene spojeve

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	JUS ISO 1106-1:1995	Preporučena praksa za radiografsko ispitivanje spojeva zavarenih topljenjem - Deo 1: Suč. spoj. zavar. topljenjem, na čeličnim pločama debljine ≤ 50 mm	ISO 1106-1:1984		Za ova tri ISO standarda, radi se revizija ISO/DIS 17636:2000 (EN 1435)
2.	JUS ISO 1106-2:1995	Preporučena praksa za radiografsko ispitivanje spojeva zavarenih topljenjem - Deo 2: Sučeoni spojevi zavareni topljenjem, na čeličnim pločama debljim od 50 mm do i uključujući 200 mm	ISO 1106-2:1985		
3.	JUS ISO 1106-3:1995	Preporučena praksa za radiografsko ispitivanje spojeva zavarenih topljenjem - Deo 2: Sučeoni spojevi zavareni topljenjem, po obimu čeličnih cevi debljine zida do i uključujući 50 mm	ISO 1106-3:1984		
4.	JUS ISO 2437:1999	Preporučena praksa za ispitivanje X-zracima sučeonih spojeva zavarenih topljenjem na aluminijumu i njegovim legurama i magnezijum i njeg. leg., debljine od 5 mm do 50 mm	ISO 2437:1972		
5.	JUS ISO 2504:1995	Radiografija zavarenih spojeva i uslovi očitavanja radiograma - Korišćenje preporučenih primera indikatora kvaliteta slike (IKS)	ISO 2504:1973		ISO 2504:1973 je 1998. g. povučen

Nastavak tabele 8/b - Primena na zavarene spojeve

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
6.	JUS ISO 3777:1995	IBR - Radiografsko ispitivanje elektro-oporno tačkasto zavarenih spojeva na aluminijumu i njegovim legurama	ISO 3777:1976		
7.	-	Elektrolučno zavarene čelične cevi za rad pod pritiskom - Ispitivanje zavarenog spoja, radiografijom radi otkrivanja nepravilnosti	ISO 12096:1996		ISO/TC 17/SC 17
8.	-	IBR - Radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva	ISO/DIS 17636:2000	EN 1435:1997 EN 1435/prA1:2001	CEN/TC 121
9.	-	IBR - Radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva - Nivoi prihvatljivosti		EN 12517:1998	CEN/TC 121

Tabela 9. - Metode otkrivanja propustljivosti - ISO/TC 135/SC6 i CEN/TC 138/WG6 (Ispitivanje na zaptivnost)

Tabela 9/a - Opšta primena

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	-	NDT - Leakage detection - Terms and definitions	ISO/WD 12723:1999	EN 1330-8:1998	ISO/TC 135/SC 6
2.	-	NDT - Testing for leaks using the mass spectrometer leak detector (MSLD) or the residual gas analyser (RGA)	ISO/AWI 12724:1999	EN 1518:1998	ISO/TC 135/SC 6
3.	-	NDT - Leek testing - Bubble emission techniques		EN 1593:1999	
4.	-	NDT - Leek testing - Criteria for method and technique selection		EN 1779:1999	
5.	-	NDT - Leek testing - Pressure change method		prEN 13184:2000	
6.	-	NDT - Leek testing - Tracer gas method		prEN 13185:2000	

Tabela 9/b - Opšta primena

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	-	Seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for pressure purposes - Electromagnetic testing for verification of hydraulic leak-tightness	ISO 9302:1994		ISO/TC 17/SC 19
2.	-	Seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for pressure purposes - Full peripheral magnetic transducer/flux leakage testing of ferromagnetic steel tubes for the detection of longitudinal imperfections	ISO 9402:1989		ISO/TC 17/SC 19
3.	-	Seamless steel tubes for pressure purposes - Full peripheral magnetic transducer/flux leakage testing of ferromagnetic steel tubes for the detection of longitudinal imperfections	ISO 9598:1989		ISO/TC 17/SC 19
4.	-	NDT of steel tubes - Part 1: Automatic electromagnetic testing of seamless and welded ferromagnetic - Steel tubes for verification of hydraulic leak - tightness		EN 10246-1:1996	
5.	-	NDT of steel tubes - Part 4: Automatic electromagnetic testing of seamless and welded ferromagnetic - Steel tubes for the detection of transverse imperfections		EN 10246-4:1999	
6.	-	NDT of steel tubes - Part 5: Automatic electromagnetic testing of seamless and welded ferromagnetic - Steel tubes for the detection of transverse imperfections		EN 10246-5:1999	

**Tabela 10 - Klasifikacija i sertifikacija osoblja za IBR**

**Tabela 10/a - Opšta primena: ISO/TC 135/SC7 i CEN/TC 138**

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	JUS ISO 9712:1993	Ispitivanja bez razaranja - Kvalifikacija i sertifikacija osoblja	ISO 9712:1992 ISO 9712:1999	EN 473:2000 (u vezi je sa Direktivom 97/23/EC)	Urađena je revizija JUS-a JUS EN 473:2002 D.T.

**Tabela 10/b - Primena na zavarene spojeve, cevi: ISO/TC 17/SC 19; CEN-EC/SS/TC 29**

Red. br.	Oznaka JUS standarda, god. objavljivanja	Naslov standarda	ISO standard god.	EN (Euronorm) standard: god.	Napomene
1.	-	Ispitivanja čeličnih cevi metodama bez razaranja - Kvalifikacija i osposobljenost osoblja za nivo 1 i nivo 2 za ispitivanja bez razaranja	ISO 11484:1994	EN 10256:2000	JUS EN 10256:2002 urađen prednact

## **Literatura**

- Zakon o standardizaciji "Službeni list SRJ", br. 30/96
- Uputstvo 1, SZS
- Uputstvo 5, SZS
- JUS Katalog za 2000 god. SZS (Dodatak 2001. god.)
- JUS Baza podataka
- ISO Katalog, 2002. godina
- ISO Tehnički program mart - april 2002. godina
- ISO Memento, 2002. godina
- CEN Katalog, 2002. godina
- "Perinorm" - Kompjuterska baza podataka o standardizaciji u svetu
- Godišnji izveštaj ISO/TC 135 za 2001. godinu
- Godišnji izveštaj ISO/TC 44/SC 5 za 2001. godinu
- JUS Bilten 1-4 za 2002. godinu
- European standardization in a global contest, CEN 2002.



## POKAZATELJI KVALITETA ŠAVNIH CEVI

dr Miodrag Arsić, naučni saradnik, mr Vujadin Aleksić, istraživač  
saradnik,  
GOŠA Institut, Milana Rakića 35, Beograd, razvoj@verat.net,  
v\_aleksic@hotmail.com  
mr Živče Šarkočević,  
Fabrika šavnih cevi, Uroševac

### Izvod

*U radu je dat metodološki pristup praćenja i analize pokazatelja kvaliteta spiralno i uzdužno zavarenih cevi (zavarenih spojeva i cevi u celini) u procesu kontinuirane proizvodnje cevi. Spiralno zavarene cevi su izrađene EPP postupkom, a uzdužno zavarene cevi visokofrekventnim postupkom zavarivanja. Takođe, u radu su razmotrene i pojave odstupanja osnovnih parametara zavarivanja od njihovih optimalnih vrednosti i njihov uticaj na kvalitet cevi.*

### Ključne reči:

kvalitet, šavna cev, spiralno zavarena, uzdužno zavarena

## THE QUALITY INDICATORS OF TUBES WELDED

### Abstract

*In this work is given methodical approach of following and analysing the indicators of quality of spiral and longitudinal tubes welded (welded parts and tubes in all) in the process of continual tube production. The spiral tubes welded are manufactured by EPP welded method, and longitudinal tubes welded by high frequency welded method.*

*In this work are considered, the occurrence distreades of elementar welded parametars from their optimal value and their influence on the tube quality, also.*

### Key words:

quality, tubes welded, spiral welded, longitudinal welded

## 1. UVOD

Savremene tehnologije omogućuju kontinuiranu proizvodnju cevi sa spiralnim i uzdužnim šavom, pri čemu je osnovna težnja da se ostvari brzina zavarivanja jednaka brzini formiranja cevi.

Mašine za kontinuiranu proizvodnju spiralno zavarenih cevi uglavnom su projektovane za automatsko zavarivanje pod praškom, a mašine za poluautomatsku i automatsku proizvodnju uzdužno zavarenih cevi za visokofrekventno kontaktno zavarivanje i indukciono zavarivanje.

## 2. IZBOR PARAMETARA ZAVARIVANJA

Izbor parametara zavarivanja uglavnom zavisi od vrste i debljine osnovnog materijala. Od njihovog izbora zavisi kvalitet zavarenog spoja i poprečni presek šava.

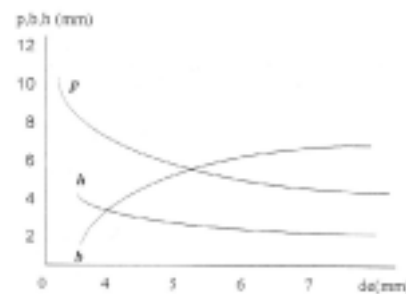
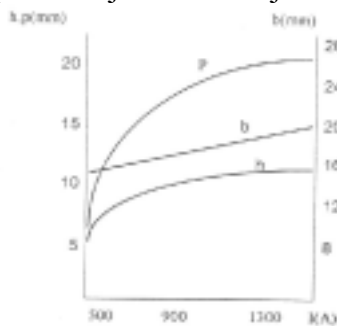
### 2.1. EPP postupak zavarivanja

Osnovni parametri EPP postupka zavarivanja su: jačina struje, gustina struje, prečnik elektrodne žice, napon luka, brzina zavarivanja, položaj stuba luka, nagib žice.

Jačina struje zavarivanja utiče na količinu istopljenog osnovnog i dodatnog materijala u jedinici vremena. Jača struja proizvodi veću količinu deponovanog materijala i manji specifični utrošak praška. Uticaj jačine struje na penetraciju, širinu i nadvišenje prikazan je na sl. 1.

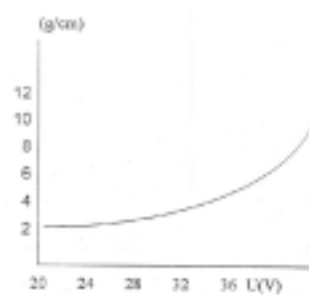
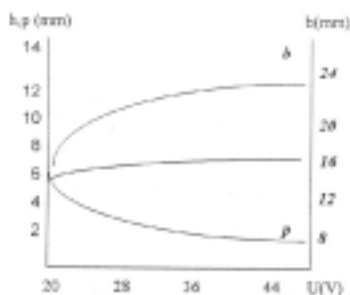
Gustina struje sa njenim povećanjem povećava se kako učinak tako i penetracija. Za manji prečnik žice dozvoljava se veća gustina struje.

Prečnik žice utiče na penetraciju, nadvišenje i širinu šava. Sa njegovim povećanjem opada penetracija i nadvišenje šava a znatno se povećava širina šava, sl. 2.



Slika 1. Uticaj jačine struje na penetraciju (p) nadvišenje (h) i širinu šava (b) Slika 2. Uticaj prečnika žice na penetraciju (p) nadvišenje (h) i širinu šava (b)

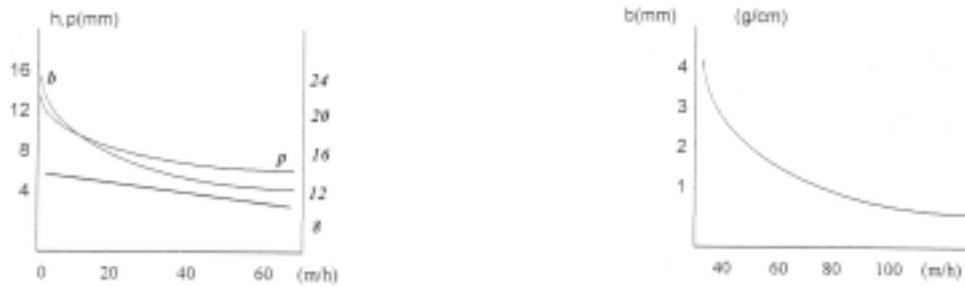
Napon luka utiče na penetraciju, širinu, nadvišenje, spoljni izgled šava, utrošak praška i metalurške reakcije u procesu zavarivanja. Nizak napon stvara nadvišeni šav kruškastog oblika, a preširok šav ukazuje na previsok napon, sl.3.



Slika 3. Uticaj napona luka na penetraciju (p) nadvišenje (h) i širinu šava (b) i potrošnju praška

Brzina zavarivanja utiče na penetraciju, širinu, nadvišenje, izgled šava, potrošnju praška po dužini šava i na mogućnost stvaranja uključaka. Brzina zavarivanja direktno utiče na količinu unešene toplote po jedinici šava. Povećanje brzine zavarivanja i smanjenje jačine struje jesu dva praktična načina da se smanji količina unešene toplote. Ne manje važan je i uticaj brzine zavarivanja na udeo osnovnog materijala u ukupnom metalu šava koji se smanjuje sa povećanjem brzine zavarivanja. Prevelika brzina zavarivanja dovodi do smanjenja efekta kvašenja, skretanja električnog luka kao i grešaka kao što su poroznost šava, zarez, nepravilan oblik šava. Povećanje brzine smanjuje penetraciju, širinu i nadvišenje šava kao i potrošnju praška, sl. 4.



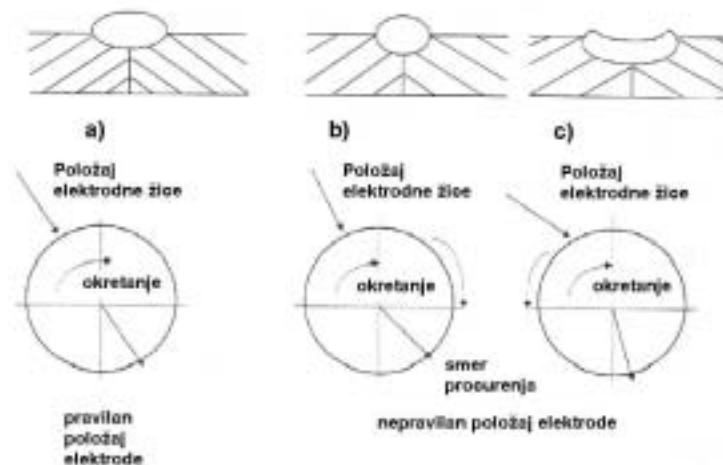


Slika 4. Uticaj brzine zavarivanja na penetraciju ( $p$ ) nadvišenje ( $h$ ) i širinu šava ( $b$ ) i potrošnju praška

Položaj stuba luka utiče na penetraciju. Potpuno vertikalni stub ne ometa prodiranje tečnog metala u žleb i osnovni materijal. Sa povećanjem brzine zavarivanja naginje se luk i snagom strujanja drži tečni metal iza sebe. Na oblik poprečnog preseka šava utiču još i granulacija praška, dužina slobodnog kraja žice, položaj žice. Ako je prašak sitniji šav je lepšeg izgleda, penetracija je manja, a širina veća, hlađenje šava sporije i utrošak praška manji. Ako je grublji prašak gasovi lakše izlaze iznad sloja praška pa je poroznost šava manja. Za velike brzine zavarivanja obavezno treba koristiti grublji prašak.

Dužina slobodnog kraja žice ima znatan uticaj pri zavarivanju žicama prečnika manjeg od 4 mm. Sa njenim povećanjem umanjuje se penetracija. Položaj elektrodne žice: zavarivanje zaobljenih površina (cevi) razlikuje se od zavarivanja ravnih površina zbog toga što rastopljena kupka u toku zavarivanja ima tendenciju isticanja.

Neodgovarajući položaj elektrode daje duboko provarivanje, dosta nadvišen šav sa pregorenjima po ivicama, sl. 5b. Ako je položaj elektrode previše udaljen od vertikalne ose dobiće se šav sa slabom penetracijom i konkavan, sl. 5c.



Slika 5. Uticaj položaja elektrode na oblik šava

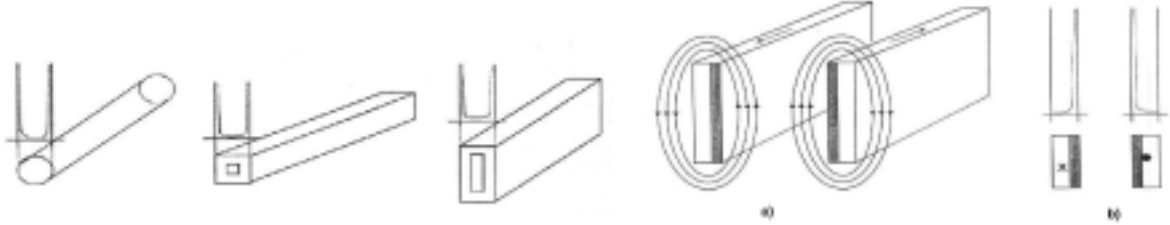
## 2.2. Visokofrekventni postupak zavarivanja

Osnovni parametri visokofrekventnog postupka zavarivanja su: raspodela vremenski promenljive struje, jačina struje - unešena energija, brzina zavarivanja, pritisak valjaka.

Struja visoke frekvencije dovodi se na induktor, a u osnovnom metalu (cevi) indukuje se struja koja zagreva krajeve cevi do topljenja. Povlačenjem cevi između valjaka stvara se sila pritiska koja učestvuje u izradi čeličnih cevi prečnika 12 - 60 mm.

U provodniku u kome teče vremenski konstantna struja se raspoređuje po celoj zapremini. Kod cilindričnog provodnika konstantnog preseka takva struja je raspoređena ravnomerno po

preseku provodnika. Vremenski promenljiva struja nema tu osobinu, gustina joj je najveća uz površinu provodnika. Ako je frekvencija struje visoka, struja postoji praktično samo u vrlo tankom sloju uz površinu provodnika. Pojava neravnomerne raspodele vremenski promenljive struje u provodnicima dobila je naziv površinski efekat. Primeri raspodele struje visoke učestalosti koja protiče kroz izolovane provodnike različitog oblika prikazana je na sl. 6.



Slika 6. Raspodela struje visoke učestalosti kroz izolovane provodnike različitog oblika

a) Magnetno polje između provodnika

b) Efekat blizine u pravougaonom provodniku

Slika 7. Shema magnetnog polja između provodnika i efekta blizine

Tendencija visokofrekventne struje da se u paru provodnika kroz koje protiče u suprotnim smerovima koncentriše u delovima površine provodnika koji su najbliži jedan drugom naziva se efekat blizine. Fizička pojava koja stoji iza efekta blizine oslanja se na činjenicu da je magnetno polje oko provodnika kroz koje struja protiče u suprotnim smerovima više koncentrisano u uzanom prostoru između njih nego van njih. Zbog toga, gustina struje i apsorpcija energije povećava se, kada su provodnici bliži jedan drugom. Efekat blizine je jači i kada su strane koje su okrenute jedna prema drugoj šire kao što je prikazano na sl. 7.

### 3. KONTROLA I ISPITIVANJE BEZ RAZARANJA

Na kvalitet zavarenih spojeva utiču mnogi faktori koji delujući kao sistemski ili slučajni mogu dovesti do nižeg ili neodgovarajućeg kvaliteta zavarenih spojeva, pri čemu se pod nižim odnosno neodgovarajućim kvalitetom podrazumeva prisustvo jednog ili većeg broja odstupanja.

Obezbeđenje kvaliteta zavarenih spojeva u procesu proizvodnje šavnih cevi postiže se sprovođenjem programa kontrole svih tehnoloških operacija u izradi svake cevi. Međutim, tehnika automatizacije procesa u izradi cevi ne omogućuje da se predvide vrednosti svih faktora, za koje se zna da utiču na proces zavarivanja i kvalitet zavarenih spojeva (temperatura, napon, brzina zavarivanja), zato što su međusobno zavisni.

Na osnovu normi API Std 5LS i API 5CT standarda /1/ urađeni su program i planovi kontrole /2/.

Programom kontrole predviđeno je:

- kontrola osnovnog i dodatnog materijala,
- kontrola svake tehnološke operacije u procesu proizvodnje,
- kontrola ispravnosti zavarivačkih uređaja,
- stalna kontrola parametara zavarivanja,
- kontrola elemenata žleba u toku njegove izrade,
- kontrola hemijskog sastava,
- vizuelna i dimenziona kontrola zavarenih spojeva,
- kontrola mera i oblika,
- ultrazvučna kontrola,

- radiografska kontrola.

Plan procesnog kontrolisanja spiralno zavarenih cevi prikazan je u tab.1 i uzdužno zavarenih cevi tab.2, a završna kontrola spiralno i uzdužno zavarenih cevi u tab.3.

*Tabela 1. Plan procesnog kontrolisanja spiralno zavarenih cevi*

R. br.	Karakteristika	Odgovorna osoba	Režim kontrolisanja	Metoda/ šifra	Oprema		Krit. prihva.	Dok. za Zapise
					Naziv	Šifra		
1	Kontrola čistoće UZ glave	UZ kontrolor	Na početku smene	Vizuelno	-	-	Q3.10.24	
2	Kontrola uređaja za špricanje boje	UZ kontrolor	Na početku smene	Vizuelno	-	-	Q3.10.24	
3	Kontrola dovoda vode i vazduha	UZ kontrolor	Na početku smene	Vizuelno	-	-	Q3.10.24	
4	Kontrola signalizacije na uređajima	UZ kontrolor	Na početku smene	Vizuelno	-	-	Q3.10.24	
5	Baždarenje aparata	UZ kontrolor	Na početku smene	Q3.10.	-	-	Q3.10.24	OB202
6	Podešavanje gleva na cevi	UZ kontrolor	Na početku smene	Metrički	Čelični metar-	MO	Q3.10.24	
1	Vizuelna kontrola šava iOM	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Vizuelno	-	-	OB.031	OB133
2	Kontrola prečnika	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Dijametralna traka	MO	OB.031	OB133
3	Kontrola denivelacije	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Dubinomer	MO2	OB.031	OB133
4	Kontrola dužine	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Čelična pantljika	MO	OB.031	OB133
5	Kontrola debljine zida	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Palmer mikrometar	MO	OB.031	OB133
6	Kontrola nadvišenja šava	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Dubinomer	MO2	OB.031	OB133
7	Kontrola ovalnosti	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Kljunasto merilo	MO	OB.031	OB133
8	Kontrola pravosti	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Čelična žica i dubinomer	MO2	OB.031	OB133
1	Kontrola signalnih lampica	Razvijač filmova	Na početku smene	Vizuelno	-	-		
1	Kontrola ispravnosti signalizacije na komandnoj tabli	Rukovaoc prese	Na početku smene	Vizuelno	-	-		
2	Kontrola vremenskog releja	Rukovaoc prese	Na početku smene	Metrološki	Vremenski relej	MO50	OB.031	OB126
3	Kontrola procurenja	Rukovaoc prese	Svaka cev	Vizuelno	-	-	OB.031	OB126
4	Kontrola manometra za ispitivanje pritiska	Rukovaoc prese	Svaka cev	Metrološki	Manometar	MO8	OB.031	OB126
5	Kontrola pisača dijagrama	Rukovaoc prese	Svaka cev	Vizuelno	-	MO51	Q3.10.17	OB126

Tabela 2. Plan procesnog kontrolisanja uzdužno zavarenih cevi

R. br.	Karakteristika	Odgovorna osoba	Režim kontrolisanja	Metoda/ šifra	Oprema		Krit. prihva.	Dok. za Zapise
					Naziv	Šifra		
1	Kontrola šava	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Vizuelno	-	-	OB.032	OB124
2	Kontrola osnovnog materijala	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Vizuelno	-	-	OB.032	
3	Kontrola prečnika cevi	Vizuelni kontrolor	Prva cev iz lamele	Metrološki	Dijametralna traka	MO	OB.032	OB124
4	Kontrola denivelacije spoja	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Dubinomer	MO	OB.032	OB124
5	Kontrola dužine cevi	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Čelični metar (pantljička)	MO	OB.032	OB124
6	Kontrola debljine zida cevi	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Palmer mikrometar	MO	OB.032	OB124
7	Kontrola nadvišenja šava	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Dubinomer	MO	OB.032	OB124
8	Kontrola ovalnosti cevi	Vizuelni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Univerzalno kljunasto merilo	MO17	OB.032	OB124
1	Vizuelna kontrola uzorka pre ispitivanja	Kontrolor spljoštav.	Svaki uzorak	Vizuelno	-	-	OB.032	
2	Kontrola uzorka u toku i posle spljoštavanja (pukotine, otvaranje)	Kontrolor spljoštav.	Svaki uzorak	Vizuelno	-	-	OB.032	
3	Kontrola visine spljoštavanja $H_s(2/3 D)$	Kontrolor spljoštav.	Svaki uzorak	Vizuelno	Graničnik	-	OB.032	
4	Kontrola visine spljoštavanja $H_{mat}(1/3 D)$	Kontrolor spljoštav.	Svaki uzorak	Vizuelno	Graničnik	-	OB.032	
5	Izgled epruvete posle ispitivanja	Kontrolor spljoštav.	Svaki uzorak	Vizuelno	-	-	OB.032	OB125
1	Kontrola vara	Vizuelni kontrolor 2	Svaka cev	Vizuelno	-	-	OB.032	
2	Kontrola osnovnog materijala	Vizuelni kontrolor 2	Svaka cev	Vizuelno	-	-	OB.032	
3	Kontrola prečnika	Vizuelni kontrolor 2	Svaka cev	Metrološki	Dijametralna traka	MO	OB.032	OB140
4	Kontrola denivelacije	Vizuelni kontrolor 2	Svaka cev	Metrološki	Dubinomer	MO	OB.032	OB140
5	Kontrola ovalnosti	Vizuelni kontrolor 2	Svaka cev	Metrološki	Kanap, žica, dubinomer	MO	OB.032	OB140
6	Kontrola pravosti cevi	Vizuelni kontrolor 2	Svaka cev	Metrološki	Kanap, žica, dubinomer	MO	OB.032	OB140
1	Podešavanje manometra i vremenskog releja	Rukovaoc prese	Na poč. novog profila cevi	Ručno	-	-	OB.032	OB128
2	Kontrola procurenja na cevima	Rukovaoc prese	Svaka cev	Vizuelno	-	-	OB.032	OB128
3	Kontrola pisaača dijagrama	Rukovaoc prese	Svaka cev	Vizuelno	Pisač	MO48	OB.032	OB128
1	Kontrola uređaja pre puštanja u rad	Rukovaoc tuboskopa	Na poč. novog profila cevi	Vizuelno	-	-	OB.032	
2	Baždarenje uređaja	Rukovaoc tuboskopa	Na početku smene	Uputstvo	-	-	Q3.10.22	OB201
3	Kontrola signalnih lampica	Rukovaoc tuboskopa	Na početku smene	Vizuelno	-	-	Q3.10.22	OB127

Tabela 3. Plan završne kontrole spiralno i uzdužno zavarenih cevi

R. br.	Karakteristika	Odgovorna osoba	Režim kontrolisanja	Metoda/šifra	Oprema		Krit. prihva.	Dok. za Zapise
					Naziv	Šifra		
1	Kontrola šava	Završni kontrolor	Svaka cev	Vizuelno	-	-	OB.031	OB036
2	Kontrola osnovnog materijala	Završni kontrolor	Svaka cev	Vizuelno	-	-	OB.031	OB036
3	Kontrola obrade krajeva cevi	Završni kontrolor	Svaka cev	Vizuelno	-	MO53	OB.031	OB036
4	Kontrola krajeva fazete	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Šablon	MO53	OB.031	OB131
5	Kontrola denivelacije	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Dubinomer	MO2	OB.031	OB131
6	Kontrola prečnika	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Dijametralna pantljička	MO	OB.031	OB131
7	Merenje dužine	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Čelična pantljička	MO47	OB.031	OB036
8	Kontrola debljine zida	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Palmer mikrometar	MO	OB.031	OB036
9	Kontrola pravosti cevi	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Čelična žica Dubinomer	MO2	OB.031	OB131
10	Kontrola ovalnosti cevi	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Kljunasto merilo	MO	OB.031	OB131
11	Kontrola nadvišenja šava	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Dubinomer	MO2	OB.031	OB131

Dokumenti u tabelama navedeni u rubrici kriterijumi prihvatljivosti (Q3..., OB..., B...) i u rubrici dokumenti za zapise (OB...) predstavljaju proceduru i obrasce vezane za sistem kvaliteta.

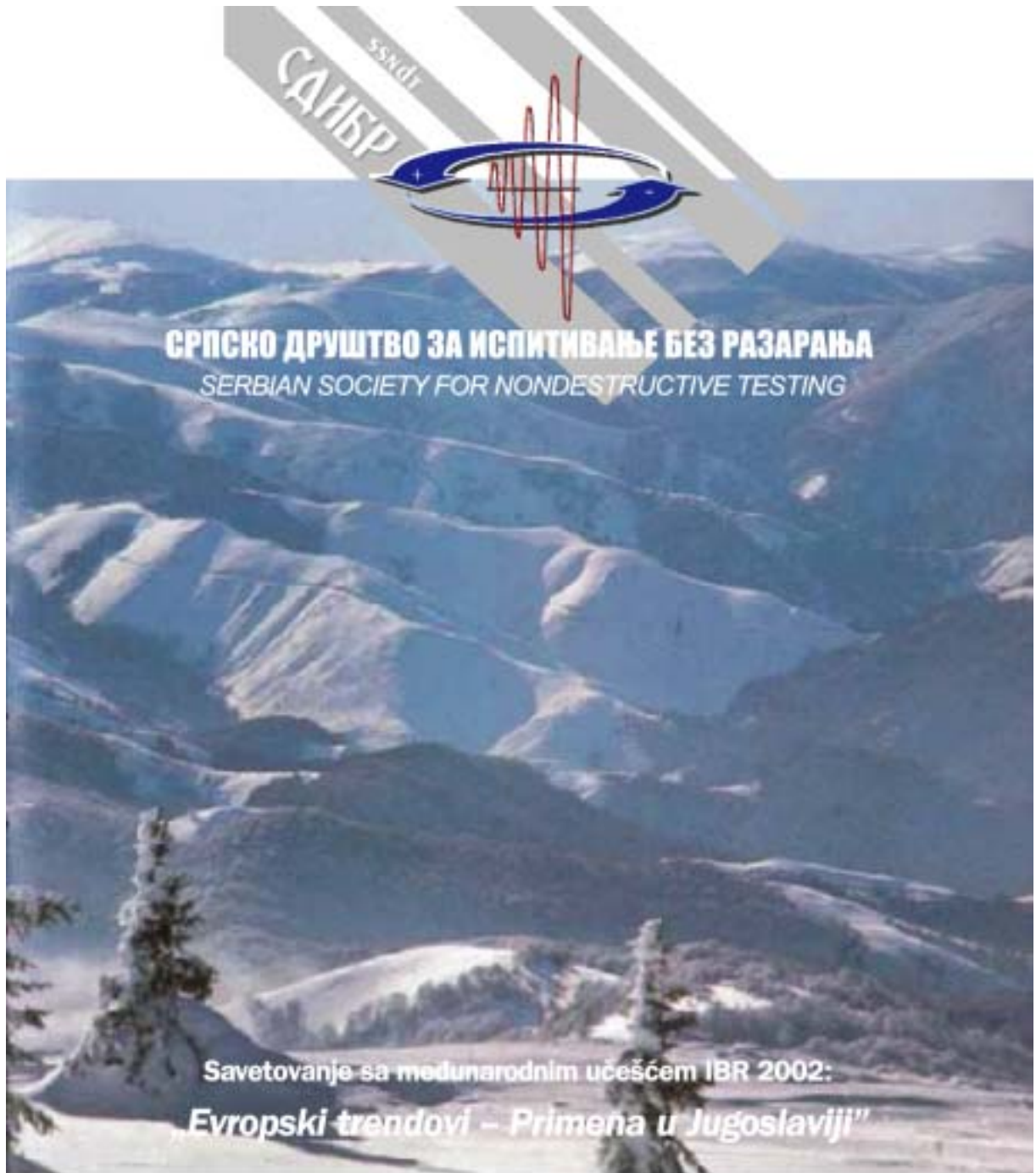
#### 4. UMETO ZAKLJUČKA

Iz planova kontrole može se uočiti veliki udeo i značaj vizuelne i dimenzione kontrole pri izradi šavnih cevi. Vizuelnom kontrolom mogu se uočiti: prsline, površinska poroznost, nedostatak, provara, preveliki provar i prokapljine, zajedni, šupljine usled skupljanja, šupljine usled skupljanja u korenu, brazde u korenu, prelivenost, loš nastavak, neravnomernost lica šava, prskanje i razbrizgavanje i tragovi usled uspostavljanja električnog luka. Dimenziona kontrola pre svega obuhvata kontrolu zavarenog spoja i oblika i dimenzija cevi u celini. Statističke analize grešaka /3/ kod spiralno zavarenih cevi pokazuju da se najčešće javljaju uključni troske (oznaka prema JUS C.T3.020 3011 3012), nedostatak provara (oznaka 402), zajedni (oznaka 5011), loptasti gasni mehuri (oznaka 2011) i prsline (oznaka 100). Greške koje se najčešće javljaju kod uzdužno zavarenih cevi izrađenih visokofrekventnim postupkom zavarivanja su sledeće:

- Mehaničke greške na osnovnom materijalu, usled transporta trake i cevi i uzdužnog sečenja trake.
- Greške osnovnog materijala i šava: nevarljivost, prsline, ljuskavost, dvoplatnost, lučne pregrotine i denivelacija.

#### LITERATURA

1. \*\*\*: Standardi API Std 5LS i API 5CT.
2. Ž. Šarkočević : Analiza uticaja grešaka u zavarenim spojevima na ponašanje šavnih cevi od čelika povišene čvrstoće, magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1999.
3. Studija "Kontrola i ispitivanje šavnih cevi u procesu proizvodnje", Mašinski fakultet, Priština, 1984.



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**



## PRIMENA INŽENJERSKIH METODA KOD PROCENE INTEGRITETA ZAVARENIH KONSTRUKCIJA

mr Vujadin Aleksić, istraživač saradnik, dr Miodrag Arsić, naučni  
saradnik,

GOŠA Institut, Milana Rakića 35, Beograd, razvoj@verat.net,  
v\_aleksic@hotmail.com

prof. dr Aleksandar Sedmak,  
Mašinski fakultet, 27. marta, Beograd, sadmaka@eunet.yu

### Izvod

*U radu se analiziraju inženjerske metode: KING, REI, JWES2805, SINTAP i mogućnost njihove primene na zavarene spojeve, imajući u vidu specifičnost zavarenih spojeva, a sve sa ciljem dobijanja dovoljno tačne i jednostavne inženjerske procedure za određivanje sile rasta prsline (SRP) u zavarenim spojevima u kojima su prisutni zaostali naponi i geometrijske nepravilnosti.*

### Ključne reči:

J integral, otvaranje vrha usta prsline (CTOD), sila rasta prsline, metoda KING, metoda REI, metoda JWES, SINTAP

## APPLICATION OF ENGINEERING METHODS FOR INTEGRITY ASSESMENT WELDED STRUCTURES

### Abstract

*Engineering methods, KING, REI, JWES, SINTAP and the possibility of their application to welded joints, having in mind their properties, are analyzed in the paper, with the aim to get sufficiently accurate and simple engineering procedure for determination of crack driving force in welded joints in which residual stresses and geometrical imperfections are presented.*

### Key words:

J integral, crack tip opening displacement (CTOD), crack driving force, King's method, REI method, JWES method, SINTAP

### 1. UVOD

Ključ industrijskog postojanja u ekonomiji svake zemlje (gas, nafta, petrohemija, stvaranje energije, građevinska i konstruktivna tehnika) je čvrsto povezan sa bezbednim delovanjem postrojenja i konstrukcija i u slučaju oštećenja ili grešaka tipa prsline sadržanih u komponentama, kao i ispravne odluke o značaju bilo koje konstruktivne greške, posebno prsline u zavarenom spoju. U poslednje vreme postoje težnje za produženje konstrukcijskog života koristeći princip tolerancije greške baziran na načelima mehanike loma, zbog ekonomske koristi koja proizilazi od garancija ispravnosti.

U tom cilju na raspolaganju stoje razni postupci procene integriteta konstrukcije kao raspoložive tehnike koje ilustruju pogodnost za upotrebu tehničkih delova koji prenose opterećenja, a poseduju grešku tipa prslina. Primena mehanike loma ima poseban značaj za zavarene spojeve, kod kojih u principu postojanje ili nastanak takvih grešaka se ne sme zanemariti. Analiza ponašanja zavarenih spojeva sa prslinama je od ključnog značaja za njihovu sigurnu eksploataciju. Bitan aspekt te analize je određivanje SRP, koja treba da obuhvati i specifičnosti zavarenih spojeva kao što su zaostali naponi i geometrijske nepravilnosti.

## 2. ANALIZA PROBLEMA MEHANIKE LOMA ZAVARENOG SPOJA

Tri pristupa u elasto-plastičnoj mehanici loma su omogućila razvoj praktičnog inženjerskog pristupa, a to su:

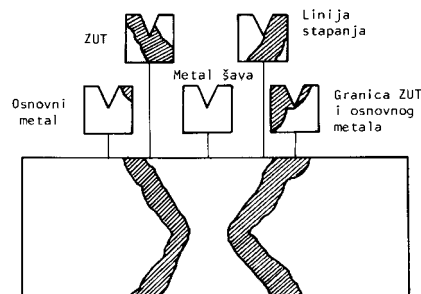
- identifikacija J ili COD kao pogodnih karakterističnih parametara za elastičan lom,
- razvoj procedure približnog analitičkog rešenja u elasto-plastičnom domenu za tela sa prslinama i
- razvoj metode konačnih elemenata, uzimajući u obzir nestišljivost pogodnu za proračun u domenu potpune plastičnosti.

Pouzdana ocena kritične veličine prslina može se dobiti korišćenjem krive otpornosti na rast prslina. U zavarenim konstrukcijama prisustvo prslina ne sme se zanemari kako u osnovnom materijalu tako i u materijalu šava i ZUT (zoni uticaja toplote).

U analizi integriteta zavarenih konstrukcija principima mehanike loma postoje dva značajna ograničenja. Prvo je ograničena mogućnost otkrivanja prslina i drugih grešaka u zavarenim konstrukcijama, imajući u vidu njihovu veličinu i položaj i znajući ograničene mogućnosti metoda ispitivanja bez razaranja. Drugo ograničenje je heterogenost zavarenog spoja (osnovnog metala, metala šava i ZUT), jer se osnovne definicije parametara mehanike loma odnose na homogeni materijal.

### 2.1 Uticaj nehomogenosti zavarernog spoja na sile razvoja prsline

Heterogenost strukture i mehaničkih osobina zavarenih spojeva doprinose složenosti problema, pre svega u zavisnosti od položaja vrha prsline i osobina područja kroz koja se lom razvija. Ako se zavareni spoj tretira kao konstrukcijska celina od interesa je odrediti odgovarajuće podatke za najslabije mesto kada je u pitanju lokalno ispitivanje, kao što je određivanje vrednosti parametara mehanike loma, dok se kod određivanja zateznih karakteristika, naročito zatezne čvrstoće, podatak za zavareni spoj kao celinu mora da se prihvati kao merodavniji za zavarenu konstrukciju nego pojedinačni rezultat za osnovni metal, metal šava, liniju stapanja, zonu uticaja toplote, kao i granicu ZUT i osnovnog metala, sl. 1.



Slika 1. Heterogena struktura zavarenog spoja i mogući položaji zareza i vrha prsline



## 2.2 Uticaj zaostalih napona u zavarenom spoju na sile razvoja prsline

Zaostali naponi su prouzrokovani termičkim ciklusima zagrevanja i hlađenja u lokalnim područjima delova za vreme zavarivanja, pri čemu se zagrejani materijal šava nalazi između hladnih područja sa obe strane.

Eksperimenti i primeri iz prakse upućuju na zaključak da zaostali naponi utiču na:

- pomeranje temperature krtoq prelaza u pravcu viših vrednosti,
- na sniženje otpora korozionom pucanju i
- na sniženje zamorne čvrstoće materijala.

Mogući uzroci pojave zaostalih napona u zavarenim konstrukcijama su prikazani u tab. 1, /1/.

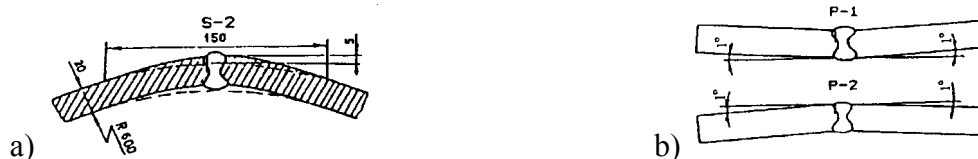
Tabela 1. Uzroci nastanka zaostalih napona pri zavarivanju

ZN izazvani skupljanjem	ZN izazvani faznim transformacijama
<b>Proces vezan za TEMPERATURNE RAZLIKE:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ poprečno na šav: između šava, ZUT i OM</li> <li>■ presek šava: između različitih slojeva pri zavarivanju između nanetog metala šava i OM</li> </ul>	
<b>ZN usled skupljanja</b>	<b>ZN izazvani faznim transformacijama</b>
prouzrokovani različitim skupljanjem u različito zagrejanim zonama	prouzrokovani promenom zapremine jedino u zoni transformacije
<b>Znak zaostalih napona u slučaju dejstva samo jednog procesa:</b>	
<b>Zatezni zaostali naponi</b>	<b>Pritisni zaostali naponi</b>
u zonama koje zadnje dostižu sobnu temperaturu (+)	u zonama koje se zadnje transformišu (-)
<b>TEMPERATURNE RAZLIKE rastu tokom hlađenja:</b> kroz presek: površina se hladi mnogo brže nego sredina	
<b>ZN usled kaljenja</b>	<b>ZN izazvani faznim transformacijama</b>
prouzrokovani plastičnom deformacijom kao i temperaturnim razlikama između površine i sredine	prouzrokovani plastičnom deformacijom ako se površinski slojevi transformišu pre slojeva u sredini

ZUT-zona uticaja toplote; OM-osnovni materijal; ZN-zaostali napon

## 2.3 Uticaj geometrijskih nepravilnosti na sile razvoja prsline

Geometrijske nepravilnosti kao što su izbočenje ili udubljenje mogu povoljno ili nepovoljno da utiču na otpornost prema razvoju prsline. Ako je prsline na izbočenoj strani zbog delovanja udaljenog napona javljaju se dopunski momenti savijanja suprotnog smera, koji izazivaju izduženje u delovima preostalog ligamenta i manje otvaranje prsline od očekivanog. Ovo znači da u zavisnosti od procesa savijanja (za posude pod pritiskom) i procesa zavarivanja lokalno područje podužnog zavarenog spoja može biti ispupčeno, udubljeno ili pravilnog cilindričnog oblika, koji prati radijus ljuske, sl. 2, /2/.



Slika 2. Geometrijska odstupanja kod ispitivanih uzoraka: a) posuda; b) ploče

U zavisnosti od toga pri opterećenju posude javljaju se dopunski momenti savijanja koji različito utiču na ponašanje prsline. Kod udubljenja dopunski momenti savijanja deluju zatezno na prslinu i taj slučaj je nepovoljniji za integritet posude. Zbog toga u kriterijum loma izražen preko J integrala treba uključiti i uticaj geometrijskog odstupanja ( $J_{GI}$ ), čime se dobija:

$$J_{appl}(\sigma, a) + J_{RS} + J_{GI} \leq J_{IC} \quad (1)$$

s tim što dodatni članovi u opštem slučaju mogu biti pozitivni ili negativni, /2/.

### 3. Inženjerske metode proračuna parametara mehanike loma

Inženjerske metode mehanike loma mogu da se podele u dve grupe:

- prva grupa se odnosi na metode koje se zasnivaju na analitičko-numeričkim izrazima npr. Kingova metoda proračuna elasto-plastičnih parametara za površinske prsline u zategnutim pločama, i Ratvani-Erdogan-Irvinova (REI) metoda proračuna elasto-plastičnih parametara za površinske prsline u tankim ljuskama),
- druga grupa se odnosi na metode koje se zasnivaju na eksperimentalnim rezultatima, kao što je CTOD projektna kriva, JWES 2805 i ETM, kao i hibridna metoda SINTAP.

### 4. Metode zasnovane na analitičko-numeričkim izrazima

#### 4.1 Teorijske postavke Kingovog modela

Osnovna ideja Kingove metode je da 3D problem može da se reši kombinacijom 2D problema, ravnog stanja napona (RSN) i/ili ravnog stanja deformacije (RSD). S obzirom da je površinska prsline između dve krajnosti, prolazne prsline po celoj debljini i površinske prsline čija je dužina jednaka širini ploče, odgovarajuće rešenje se može dobiti kombinacijom navedenih 2D rešenja, pri čemu rešenje problema RSN mora da uzme u obzir lokalne membranske sile i momente, zbog postojanja preostalog ligamenta /3/.

Korišćenjem matematičkog modela Kingove metode napravljen je algoritam i na osnovu njega napravljen je program u FORTRANU KING0, a posle modifikacije i izbacivanja parametra  $\alpha$  i program KING1 pri čemu oba računaju sile razvoja prsline na osnovu mehaničkih osobina materijala i geometrije ploče i prsline /7/.

Ovi programi omogućavaju da se uzmu u obzir i vrednosti zaostalih napona, a takođe i vrednosti napona nastalih zbog geometrijske nepravilnosti ako se svedu na zaostale napone.

#### 4.2 Teorijske postavke REI metoda

Metoda REI (Ratwani, Erdogan, Irvin) ima za cilj elastoplastičnu analizu tankih cilindričnih ljuski sa aksijalnom prsline, za koje se uvode uprošćenja u cilju formulacije i rešavanja integralnih jednačina problema. Osnovna prednost REI modela je njegova jednostavna primena, jer su svi potrebni podaci za proračun dati u bezdimenzionom obliku za karakteristične veličine bezdimenzionog parametra  $\lambda$  /4/. Treba uočiti da vrednost  $\lambda=0$  odgovara ravnoj ploči. Zaostali naponi i geometrijske nepravilnosti nisu obuhvaćene ovim modelom.

Matematički model REI metode je bio osnova za pravljenje programa u FORTRANU REI0 i REI1, koji računaju SRP na osnovu mehaničkih osobina materijala i geometrije ploče i prsline. Programi, kao i sama metoda, ne omogućavaju uzimanja u obzir vrednosti zaostalih napona i geometrijskih nepravilnosti prouzrokovanih u toku i posle zavarivanja /7/.

### 5. Metode zasnovane na eksperimentalnim rezultatima

#### 5.1 Teorijske postavke metode JWES 2805

Osnovni principi proračuna u proceduri JWES2805 (Japan Welding Engineering Society Standard) se svode na određivanje ekvivalentne dužine prsline, primenu iskustvenih izraza za proračun CTOD u elastičnoj i plastičnoj oblasti, i mogućnost analize zaostalih i geometrijskih napona. Ovom procedurom su obuhvaćene sledeće vrste grešaka u zavaru: prsline, nedovoljno vezivanje, neprovar, zajed, uključak, poroznost /5/.

Prolazne, površinske i unutrašnje greške tipa prsline otkrivene ispitivanjem bez razaranja (IBR) treba projektovati na glavne ravni napona i izmeriti. Greške se analiziraju za najkritičniju kombinaciju veličine projektovane prsline i intenziteta napona.

Deformacije od zaostalih napona se uvode u proračun pomoću koeficijenta uticaja zaostalih napona  $\alpha_R$ , a deformacije od geometrijskih napona pomoću faktora koncentracije napona  $K_t$ . Na osnovu teorijskih razmatranja i formula /5/ napravljen je program u FORTRANU JWES. Program je napravljen modularno tako da tretira: PROLAZNE, POVRŠINSKE i UNUTRAŠNJE prsline i omogućava proračun sile rasta prsline za različite napone  $\sigma$  i različite dubine prsline  $c$  /7/.

## 5.2 Teorijske postavke SINTAP procedure

Ovaj dokument, SINTAP (Structural Integrity Assessment Procedures for European Industry-Procedure za procenu integriteta konstrukcija u evropskoj industriji), predviđa proceduru za procenu loma koja može biti upotrebljena kao osnova sistema upravljanja integritetom konstrukcije.

Dva pristupa za određivanje integriteta konstrukcija i komponenti sa prslinama mogu biti odabrani za SINTAP procedure. Prvi je baziran na koncepciji Dijagrama Procene Prsline (FAD-Failure Assessment Diagram), a drugi na koncepciji krive Sile Razvoja Prsline (CDF-Crack Driving Force). Oba pristupa su zasnovani na istim naučnim principima, i daju identične rezultate kada su ulazni podaci razmatrani identično /6/.

Dijagram procene loma, FAD, je definisan sa dva parametra,  $K_r$  i  $L_r$ , gde su:

- $K_r$ - odnos primenjenog linearno elastičnog faktora intenziteta napona,  $K_t$ , prema žilavosti loma materijala,  $K_{mat}$  i
- $L_r$ - odnos primenjenog napona,  $\sigma_{apl}$ , prema naponu koji uzrokuje plastično tečenje konstrukcije sa prslinom,  $R_{eH}$ .

CDF pristup zahteva izračunavanje Sile Razvoja Prsline konstrukcije sa prslinom kao funkcije od  $L_r$ .

Parametri Mehanike loma (ML) su tačno određeni samo za glavne napone. U prisustvu sekundarnih napona, kao što su zaostali naponi od zavarivanja, ili termički naponi, efekti određivanja njihovog uticaja sa glavnim naponima, su ugrađeni pomoću dopunskog parametra  $\rho$  /6/.

U toku projekta razvoja SINTAP procedure napravljen je program koji ubrzava primenu ove procedure i on je dostupan na disku za prezentaciju, a dostupan je i na sledećoj internet adresi [www.mcs-international.com](http://www.mcs-international.com). Usporedna analiza dobijenih rezultata ovim programom sa rezultatima drugih inženjerskih metoda će biti predmet nekog budućeg rada.

## 6. Provera programa KING, REI i JWES na primerima

Sve varijante programa KING, REI i JWES su proverene na primerima posuda pod pritiskom i pločastih epruveta sa prslinama u zavarenom spoju čije su mehaničke i geometrijske karakteristike date u tab. 2.

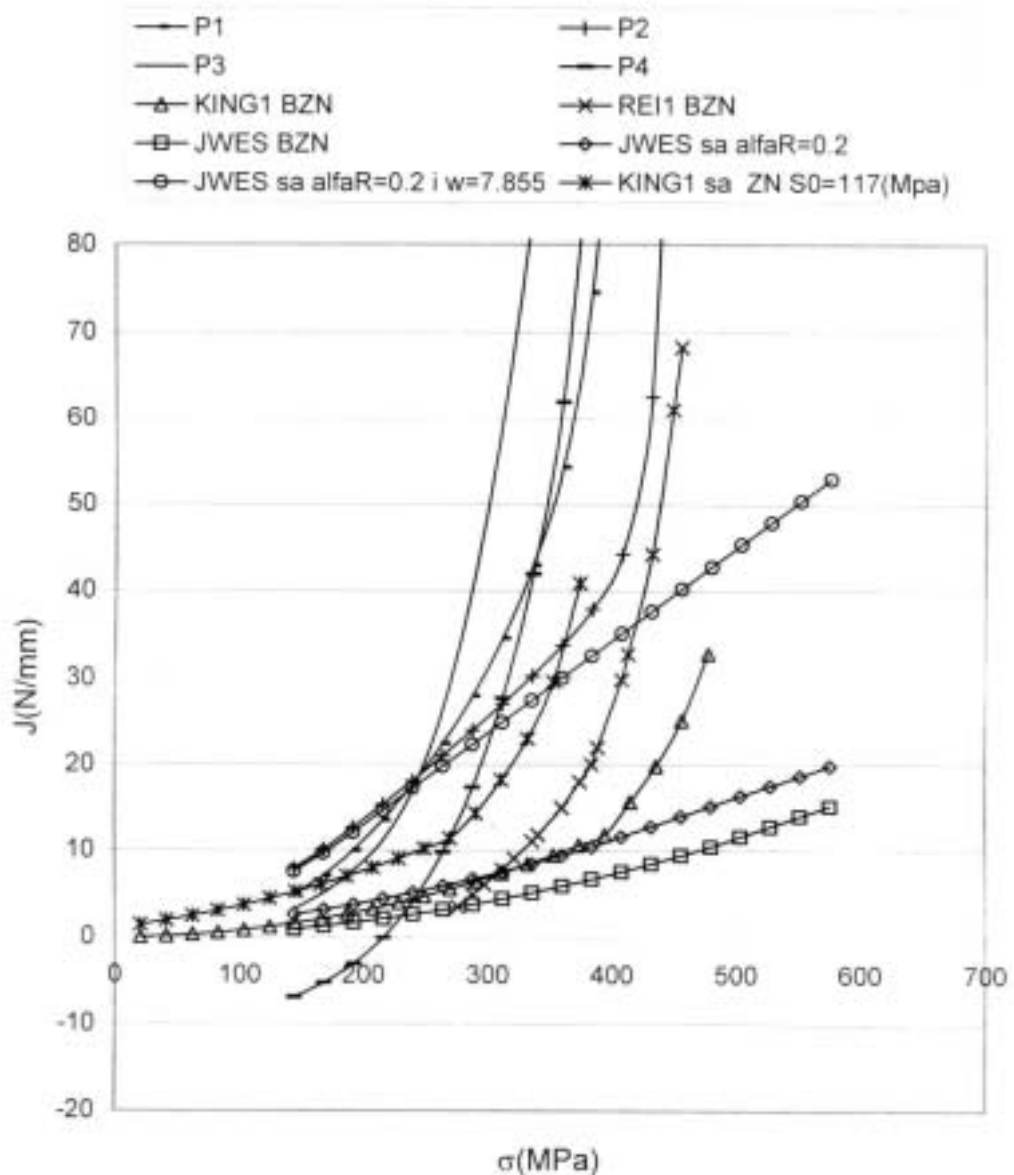
Eksperimentalni rezultati SRP, za Pr 1 (Primer 1) preuzeti iz rada /2/, za zavarene pločaste epruvete sa prslinom u ZUT, P1 i P2 bez zaostalih napona i geometrijskih nepravilnosti kao i P3 i P4 sa zaostalim naponima i geometrijskim nepravilnostima svedenim na zaostale napone su prikazani na sl.3 zajedno sa rezultatima dobijenim programima KING, REI i JWES. Dubina prsline na svim epruvetama je 9 mm što daje  $c/t=d/h=0.45$ .

Tabela 2. Tabela primera

			E	$\nu$	$R_{ch}$	$R_m$	$S_0$	t	w	2a	R
Pr 1	P	ADZ	210000	0.3	480	672	117	20	80	24	0
Pr 2	P	AM1	210000	0.3	480	672	0	8	40	8	0
Pr 3	S	AM2	210000	0.3	480	672	0	8	0	40	91
Pr 4	S	NIS	210000	0.3	722	810	0	16	0	64	600
Pr 5	P	RID	210000	0.3	500	582	0	15	100	31	0
Pr 6	S	VTI	210000	0.3	1150	1370	0	5	0	40	60

P- pločasta epruveta ; S- posuda pod pritiskom

Primer 1 (Pr 1) sva rešenja eksperimentalna i metodama KING1, REI1 i JWES



Sl. 5. Uporedna analiza eksperimentalnih i rešenja dobijenih inženjerskim metodama

## 7. ZAKLJUČAK

U mašinskoj industriji najveći deo konstrukcija se izrađuje zavarivanjem (mostovi, posude pod pritiskom, vagoni, cisterne...). Pošto se u stalno teži smanjenju mase konstrukcija uvođenjem novih materijala veće čvrstoće i imajući u vidu da su konstrukcije u eksploataciji

izložene različitim vidovima opterećenja, pri kojima se mogu očekivati lomovi (krti, kvazi-krti, zamorni...), javlja se potreba za detaljnijim ispitivanjem ugrađenih materijala u konstrukciju. Pošto su takva ispitivanja veoma skupa teži se pravljenju analitičke standardne procedure koja će na osnovu mehaničkih i geometrijskih karakteristika materijala dati odgovor o pouzdanosti ugrađenog materijala i njegovoj nosivosti u uslovima kada se u njemu pojave greške tipa prsline.

Ovaj rad treba da predstavlja jedan korak ka cilju, a cilj je procedura koja će obezbediti sigurnu eksploataciju zavarenih spojeva pošto se u njima ne mogu isključiti mogućnosti grešaka tipa prsline.

Do takve procedure bi moglo da se dođe na bazi modela opisanih u ovom radu KING, REI, JWES2805, SINTAP ili onih koji nisu opisani ETM, BSI PD6493, EPRI jer su vrlo jednostavni za primenu za razliku od metode konačnih elemenata. Tako pouzdane procedure uštedele bi novac potreban za ispitivanje parametara mehanike loma.

U cilju izrade takve procedure u ovom radu, na osnovu metoda KING, REI, JWES2805 napravljeni su programi KING0, KING1, REI0, REI1, REI2, JWES i napisana su uputstva za korišćenje programa i obradu rezultata dobijenih tim programima /7/.

Rezultati se obrađuju radi dobijanja krivih SRP, koje se upoređuju sa parametrima ML realnih grešaka u cilju donošenja odluke o upotrebi, jer grafički prikaz daje mnogo prihvatljiviji izlaz za analizu od numeričkog prikaza.

## **LITERATURA**

1. A. Milosavljević, R. Prokić-Cvetković, M. Zrilić, P. Smiljanić: "Iskustva merenja zaostalih napona magnetoelektričnom metodom i mogućnosti usavršavanja postupka", Godišnja skupština društva za unapređenje zavarivanja u Srbiji, Beograd, 1993.
2. T. Adžiev: "Zaostali naponi od zavarivanja - uticaj na ponašanje posuda pod pritiskom sa prslinom"; VI Letnja škola mehanike loma, Vrdnik, 1991.
3. R. B. King: "Elastic-plastic Analysis of Surface Flaws Using a Simplified Line-spring Model"; Eng. Fracture Mech. 18, p. 217-231, 1983.
4. B. Petrovski: "Određivanje preostale nosivosti suda pod pritiskom sa površinskom prslinom"; Doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1985.
5. Japan Welding Engineering Society Standard; "Method of Assessment for Flaws in Fusion Welded Joints with respect to Brittle Fracture and Fatigue Crack Growth"; WES 2805, 1997
6. SINTAP: "Structural Integrity Assessment Procedure for European Industry", Final Procedure, 1999, Brite-Euram Project No. BE95-1426, British Steel.
7. V. Aleksić, "Primena inženjerskih metoda za određivanje sila rasta prsline u zavarenim spojevima sa zaostalim naponima i geometrijskim nepravilnostima" Magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 1999.



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**



## KORELACIJA REZULTATA ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA I DESTRUKTIVNIH ISPITIVANJA Al-Mg<sub>6,8</sub> LEGURE

Lj.Radović\*, M.Popović\*\*, D.Vračarić\*, E.Romhanji\*\*

\* - Vojnotehnički institut VJ, Beograd

\*\* - Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

### **Rezime:**

*Promene u strukturi legure Al-Mg<sub>6,8</sub>, nastale kao posledica primenjenog različitog stepena deformacije, temperature i vremena žarenja, praćene su preko promene vrednosti električne provodljivosti - ispitivanjem bez razaranja, i mehaničkih osobina legure - ispitivanjem sa razaranjem.*

*Uspostavljena je korelacija između rezultata ovih ispitivanja, što predstavlja deo rada na formiranju baze podataka za Al-legure, koja će omogućiti da se na osnovu merenja električne provodljivosti proceni strukturno stanje legure.*

### **Cljučne reči:**

Al-Mg legure, električna provodljivost, strukturno stanje, mehaničke osobine

## CORRELATION BETWEEN RESULTS OF NON-DESTRUCTIVE AND DESTRUCTIVE EXAMINATION OF Al-Mg<sub>6,8</sub> ALLOY

### **Abstract:**

*Variations of microstructure in Al-Mg<sub>6,8</sub> alloy are result of different strain and heat treatment. These variations were monitored using electrical conductivity measurements - non-destructive testing and mechanical testing - destructive testing.*

*Corelation between these results was established, and it is step to compose data base for Al-alloys. The data base should enable the estimation of examined Al-alloy structure by measuring electrical conductivity.*

### **Key words:**

Al-Mg alloy, electrical conductivity, microstructure, mechanical properties

## **1. UVOD**

Električna provodljivost je fizička osobina koju poseduju svi metali i legure i predstavlja sposobnost provođenja električne struje. Kvantitativno se definiše kao recipročna vrednost električne otpornosti. Na vrednost električne provodljivosti materijala utiče mnogo faktora, pre svega hemijski sastav, režim termomehaničke obrade (TMO) tj. rezultujuća mikrostruktura, zaostala naprezanja, temperatura ispitivanja i dr. Svi diskontinuiteti u strukturi: rastvoreni atomi, intermetalna jedinjenja, granice zrna i subzrna, greške na mikroskopskom nivou, (pore, prsline i uključci), i na atomskom nivou (praznine i dislokacije), predstavljaju fizičke i energetske prepreke za kretanje elektrona i smanjuju električnu provodljivost [1-4].

Metoda merenja električne provodljivosti je nedestruktivna metoda ispitivanja. Ovo je brza i jednostavna metoda kojom se mogu registrovati manje promene u strukturi nego pri mehaničkim ispitivanjima, jer je električna provodljivost jedna od najosetljivijih osobina materijala na promene hemijskog sastava ili strukture. Najčešće se primenjuje za: identifikaciju metala i legura, određivanja sadržaja nečistoća (npr. fosfora u bakru), određivanje homogenosti materijala, detekciju termičkih oštećenja Al-legura, procenu čvrstoće i tvrdoće i određivanje sklonosti legure ka naponskoj koroziji.

Tvrdoća je mehanička osobina kojom se opisuje otpor materijala prema utiskivanju stranog tela. Ona takođe direktno zavisi od strukture materijala koji se ispituje, tako da se za jedan hemijski sastav može dobiti veliki broj različitih mikrostruktura, kao posledica različitih uslova deformacije, hladjenja, žarenja i sl., a samim tim i različite vrednosti tvrdoće. Ili, jedan nivo tvrdoće može biti posledica više strukturnih stanja. Sa druge strane, merenje tvrdoće je jednostavna, jeftina i pouzdana metoda za ocenu strukture materijala u velikom broju slučajeva.

Kako nije uvek moguće uzimati uzorke za merenja tvrdoće klasičnim postupcima, razvijen je veći broj IBR metoda (ispitivanje bez razaranja) za njemu ocenu. Jedna od njih je metoda merenja električne provodljivosti. Da bi se ova metoda mogla iskoristiti za procenu strukturnog stanja odnosno neke karakteristike materijala, potrebno je imati ili izraditi kvantitativnu međuzavisnost ovih veličina, što se radi uvek velikim brojem merenja.

Metoda merenja električne provodljivosti se kod termički obradivih legura aluminijuma (serije 2000, 6000 i 7000), uspešno koristi za praćenje procesa termičkog taloženja i veoma je korisna u analizi ili dijagnostici da li je termička obrada izvedena propisno ili ne [2]. Odnos tvrdoće i provodljivosti za ove legure je uspostavljen [5] i ova metoda je standardizovana za kontrolu termičke obrade Al-legura (MIL-STD-1537 [6]).

Za termički neobradive Al-legure (serije 3000, 4000 i 5000) koje ojačavaju rastvaranjem legirajućih elemenata u čvrstom rastvoru i hladnom deformacijom u dostupnoj literaturi ne postoje ovakve zavisnosti s obzirom na složenost hemijskog sastava i pre svega složenosti strukturnih promena pri termomehaničkoj obradi ovih legura.

Takođe, ova metoda se zajedno sa testom tvrdoće koristi u kontroli aluminijumskih otkovaka (ASM-2658 [6]), a sa testom jednoosnog zatezanja služi za ocenu sklonosti legure ka naponskoj koroziji.

U ovom radu je praćena promena električne provodljivosti i tvrdoće sa promenom temperature žarenja i stepena redukcije Al-Mg limova sa visokim sadržajem Mg (6,8%). Cilj rada je bio pokušaj da se uspostavi veza između električne provodljivosti i tvrdoće legure Al-Mg<sub>6,8</sub>. Ova ispitivanja predstavljaju deo rada na formiranju baze podataka za Al-legure.



## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

Hemijski sastav legure ispitane u ovom radu je dat u tabeli 1.

Tabela 1. *Hemijski sastav Al-Mg legure, mas. %*

Mg	Mn	Fe	Si	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Ti	Al
6.8	0.5	0.2	0.1	0.01	0.03	0.002	0.005	0.01	0.05	ost.

Ispitivani su uzorci lima debljine 3 mm, meko žarenog i hladno valjanog sa stepenima redukcije od 30, 50 i 70%. Žarenje je vršeno na temperaturama  $T=225^{\circ}\text{C}$ ,  $245^{\circ}\text{C}$ ,  $265^{\circ}\text{C}$ ,  $285^{\circ}\text{C}$  u trajanju od 12 sati, na  $T=320^{\circ}\text{C}$  3 sata i na  $T=450^{\circ}\text{C}$  10 minuta, a hlađenje na vazduhu.

Merenje električne provodljivosti je vršeno na uređaju SIGMATEST 2.068, koji radi na principu vrtložnih struja. Korišćena frekvencija je 120 kHz, koja je određena na osnovu debljine limova. Vrednosti električne provodljivosti su date u %IACS (International Annealed Copper Standard), što predstavlja odnos električne provodljivosti datog uzorka prema električnoj provodljivosti nelegiranog bakra u žrenom stanju (100%IACS).

Da bi se obezbedila pouzdanost rezultata merenja, izvršeno je po osam merenja za svaki ispitani uzorak.

Tvrdoća uzoraka je merena na istim uzorcima metodom Brinela, HB(2.5/62.5/30). Vrednost tvrdoće je određena kao srednja vrednost tri merenja.

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati merenja električne provodljivosti dati su u tabeli 2. Zavisnost električne provodljivosti od temperature žarenja prikazana je na slici 1.

Rezultatu merenja tvrdoće dati su u tabeli 3, a promena tvrdoće sa vremenom žarenja prikazana je na slici 2.

Tabela 2. *Električna provodljivost, [%IACS], za primenjene režime TMO*

Stepen redukcije [%]	Temperatura žarenja, [°C]					
	225	245	265	285	320	450
30	27.51	27.13	26.34	25.65	25.66	25.57
50	28.56	28.08	27.27	26.59	26.61	26.60
70	28.99	28.29	27.47	26.82	26.80	26.77

Tabela 3. *Izmerene vrednosti tvrdoće, HB, za primenjene režime TMO*

Stepen redukcije [%]	Tvrdoća HB(2.5/62.5/30)					
	225	245	265	285	320	450
30	94	91	81	81	81	82
50	97	92	81	82	81	82
70	100	93	83	82	81	83

Pri zagrevanju deformisanog metala dolazi do izrazite promene fizičkih i mehaničkih osobina (povećanje električne provodljivosti i gustine, smanjenje čvrstoće i tvrdoće i dr.), kao posledica promena u strukturi [1-3]. Pri žarenju Al-Mg<sub>6,8</sub> legure takođe se uočava pad tvrdoće u celom temperaturnom području, slika 2. Ovaj pad nije kontinuiran, već se mogu uočiti tri oblasti koje karakterišu različiti nagibi. Najveći nagib se zapaža u temperaturnoj oblasti od  $245-265^{\circ}\text{C}$ , dok je nagib nešto manji u temperaturnoj oblasti ispod  $245^{\circ}\text{C}$ . Na

temperaturama preko 265°C tvrdoća opada veoma blago. U toku zagrevanja deformisanog materijala dolazi do zamene deformisane strukture novom nedeformisanom strukturom, procesima oporavljanja i rekristalizacije, koji su termalno aktivirani procesi. Smatra se da oporavljanje uvek prethodi rekristalizaciji [3]. Pretpostavljeno je da u temperaturnom području do 245°C dolazi samo do oporavljanja, što ima za posledicu blago smanjenje tvrdoće, usled promene rasporeda postojećih dislokacija. Na temperaturama 245-265°C, u materijalu dolazi do rekristalizacije. Ona se odvija stvaranjem i rastom klica novih zrna čija gustina dislokacija odgovara nedeformisanom stanju [3]. To dovodi do veoma izraženog pada tvrdoće. Na temperaturama preko 265°C, rekristalizacija je završena, a uglavnom konstantan nivo tvrdoće ukazuje da nije došlo do porasta zrna.

Promena električne provodljivosti pri zagrevanju deformisanih metala posledica je promene broja grešaka, praznina i dislokacija, i u direktnoj je zavisnosti od mehanizama oporavljanja i rekristalizacije. Poništavanje praznina i dislokacija pri oporavljanju i smanjenje broja dislokacija pri rekristalizaciji doprinosi povećanju provodljivosti, jer oni rasipaju elektrone, i to praznine mnogo efikasnije od dislokacija. Međutim zbog visokog sadržaja Mg u ispitivnoj leguri i obrazovnja presičenog gvrstog rastvora na sobnoj temperaturi, višak Mg teži da se izdvoji u obliku  $\beta$ -faze ( $Mg_5Al_8$ ), pa je struktura legure dvofazna ( $\alpha+\beta$ ) [4]. Pri žarenju Al-Mg<sub>6,8</sub> legure, pored oporavljanja i rekristalizacije, dolazi i do rastvaranja  $\beta$ -faze i prelaska atoma Mg u čvrsti rastvor, jer se sa povećanjem temperature povećava rastvorljivost Mg u  $\alpha$ -čvrstom rastvoru. Povećanje koncentracije atoma Mg u čvrstom rastvoru toliko smanjuje provodljivost da je ukupni efekat smanjenje provodljivosti u temperaturnom intervalu od 225-285°C (slika 1). Posle žarenja na 285°C u trajanju od 12 sati, iznad temperature rekristalizacije (slika 2) skoro da nema promene električne provodljivosti jer se »ulazi« u jednofaznu oblast  $\alpha$ -čvrstog rastvora, iznad temperature rekristalizacije, što je u saglasnosti sa rezultatima ranijih ispitivanja za ovu leguru [7], a kao i tvrdoća ukazuje da nije došlo do porasta zrna.

Kao što je već pretpostavljeno, na temperaturama iznad 265°C proces rekristalizacije je završen a rastvaranje  $\beta$ -faze se završava tek posle žarenja 12 sati na 285°C. To se pomoću samog testa tvrdoće ne može utvrditi. Na osnovu ovoga se može zaključiti da je metoda merenja električne provodljivosti korisna kod praćenja faznih preobražaja kada se koristi u kombinaciji sa nekom drugom metodom, kao u ovom slučaju sa testom tvrdoće, tj. da su ove dve metode komplementarne kad je u pitanju praćenje strukturnih promena.

Sve tri krive na slici 1 pokazuju isto ponašanje nezavisno od primenjenog stepena deformacije, s tim što se uočava da uzorci koji su deformisani sa većim stepenom deformacije imaju više vrednosti električne provodljivosti nakon istog vremena žarenja, i strmiji pad u oblasti opravljanja. Ovo se može objasniti većom energijom akumuliranom za vreme deformacije, što prouzrokuje veću pokretačku silu za proces oporavljanja [3]. Krive na slici 2 pokazuju tipično ponašanje koje je objašnjeno u literaturi [2,3], i slažu se sa rezultatima ranijih ispitivanja mehaničkih osobina ove legure [7].

Električna provodljivost je osetljivija na promenu vremena i temperature žarenja od tvrdoće, što se vidi u tabeli 1 i 2, i da jasan odnos između ove dve veličine postoji samo u oblasti oporavljanja i rekristalizacije, a nakon toga jednoj vrednosti tvrdoće odgovara više vrednosti provodljivosti.

U literaturi se, zbog velike osetljivosti metode na promenu hemijskog sastava i TMO, predlaže da se čak i kod kontrole termički obradivih Al-legura ova metoda ne koristi sama, već samo za procenu, pa ako rezultati merenja provodljivosti pokažu sumnju u termičku obradu radi se test tvrdoće, a zatim i čvrstoće [2].

Iz rezultata ovih ispitivanja se vidi da je uticaj procesa koji se odvijaju u toku zagrevanja deformisanih rastvorno ojačane Al-Mg legura, oporavljanja, rekristalizacije i

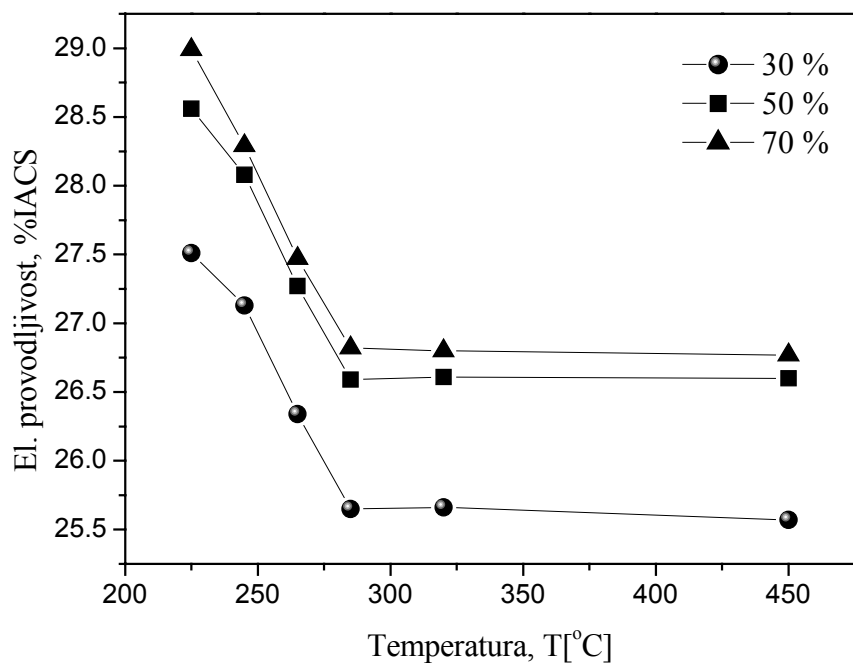
rastvaranja  $\beta$ -faze, na vrednost električne provodljivosti, složen i zbog toga je potrebno uvek utvrditi kvantitativnu međuzavisnost vrednosti neke mehaničke karakteristike i provodljivosti za svaki primenjeni režim termomehaničke obrade. To može poslužiti kao osnova za kasniju primenu odnosno procenu mehaničkih karakteristika materijala na bazi merenja električne provodljivosti.

## 5. ZAKLJUČAK

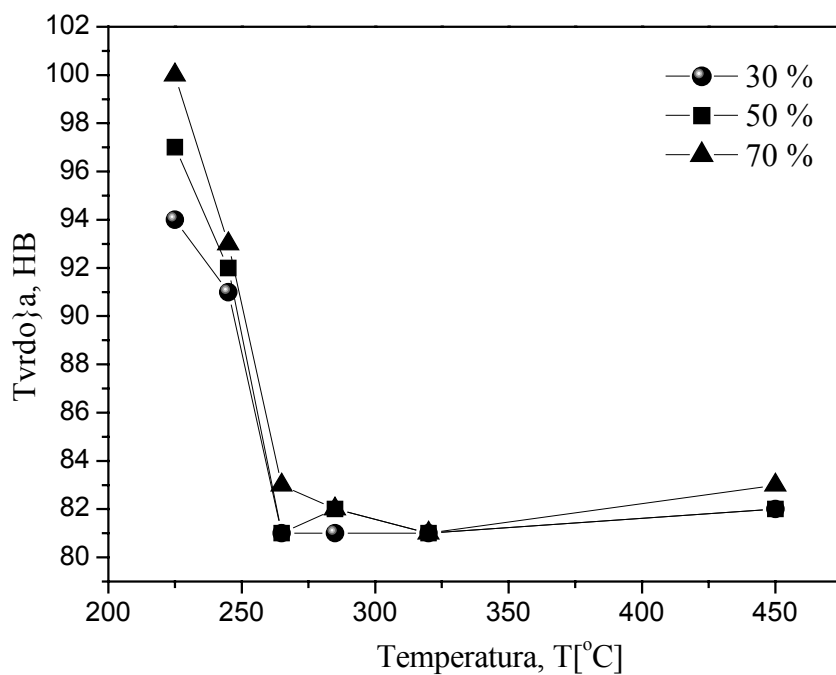
Ispitana je promena električne provodljivosti i tvrdoće Al-Mg<sub>6,8</sub> legure koja je bila izložena različitim režimima termomehaničke obrade. Utvrđeno je da sa povećanjem temperature žarenja, provodljivost i tvrdoća pokazuju isti generalni trend, ali da se intenzitet snižavanja ne može vezati za iste temperaturne oblasti. Pretpostavljeno je da razlika potiče od različitog intenziteta uticaja promena pri oporavljanju, rekristalizaciji i rastvaranju taloga na električnu provodnost i tvrdoću.

## LITERATURA:

1. B.Božić, Fizička metalurgija, Naučna knjiga, Beograd, 1964
2. Metals Handbook, vol.4, Heat Treating, ASM, Metals Park, Ohio, 1981
3. Đ.Drobnjak, Fizička metalurgija, TMF, Beograd, 1986
4. Metals Handbook, vol.2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals, ASM, Metals Park, Ohio, 1979
5. Metals Handbook, vol.17, Nondestructive Inspection and Quality Control, ASM, Metals Park, Ohio, 1989
6. Quality Control, [www.kochmetalspinning.com/quality\\_control.html](http://www.kochmetalspinning.com/quality_control.html), 2002
7. M.Popović, E.Romhanji, Simpozijum-Deformacija i struktura metala i legura, Beograd, 2002, 19-22



Slika 1. Zavisnost električne provodljivosti od temperature žarenja; uticaj stepena redukcije na električnu provodljivost.



Slika 2. Zavisnost tvrdoće od temperature žarenja; uticaj stepena redukcije na električnu provodljivost.



## UV ZRAČENJE I NJEGOVA PRIMENA U ISPITIVANJU BEZ RAZARANJA

dr Miodrag Kirić dipl.inž.elekt., laboratorija KKOM,  
DP HIP Azotara, Pančevo

### Izvod

*Rad je zasnovan na predlogu standarda JUS ISO 3059 koji će biti objavljen sa identičnim tekstom kao EN ISO 3059. Zavisnost relativne spektralne iskoristivosti ili efikasnosti (monohromatskog zračenja) od talasne dužine data je dijagramom za dnevno (fotopsko) viđenje i za noćno (skotopsko) viđenje.*

*Ultraljubičasto zračenje može da bude kratkotalasno, srednjetalasno i sa dugim talasima, koji nisu štetni. Razlike energija koje odgovaraju talasnim dužinama ultraljubičastog zračenja koje emituju atomi žive, su izračunate i upoređene sa energijom fotona zeleno-žute svetlosti sa  $\lambda=555$  nm. Kontrola ozračenja je analizirana na primeru jednog izvora crne svetlosti. Sa raspoloživim podacima je pokazano da njegovo polje zračenja, zavisno od visine izvora, može da ispuni zahtev Standarda samo u prilično maloj oblasti i da treba koristiti nekoliko ovakvih izvora.*

### Ključne reči:

Ultravioletno zračenje, Relativna spektralna iskoristivost, Dnevno viđenje, Crna svetlost, Fluks, Raspodela ozračenja.

## UV RADIATION AND ITS APPLICATION IN NONDESTRUCTIVE TESTING

### Abstract

*The paper is based on the proposal of JUS ISO 3059 which will be published as an identical text with the EN ISO 3059. The dependency of the relative spectral luminous efficiency (of a monochromatic radiation) on wavelength is given by diagram for photopic vision as well for scotopic vision.*

*Ultraviolet radiation can be with short, medium and with long waves, which are not harmful. The energy differences corresponding to wave lengths of ultraviolet radiation emitted by mercury atom are calculated and compared to the energy of photon of green-yellow light with  $\lambda=555$  nm. The control of irradiance is analysed for a black light lamp. It is estimated with available data, that its field of radiation, dependent on the lamp height, can fulfil the requirement of the Standard only in its rather small region, thus a few lamps shall be used.*

### Key words:

Ultraviolet radiation, Spectral luminous efficiency, Photopic vision, Black light, Flux, Irradiance distribution.

## UVOD

Ovaj rad zasniva se na standardu EN ISO 3059: 2001 - Non-destructive testing. Penetrant testing and magnetic particle testing. Viewing conditions, koji uskoro treba da dobije status nacionalnog standarda, odnosno da bude odobren kao JUS ISO 3059: Ispitivanje bez razaranja. Ispitivanje penetrantima i ispitivanje magnetskim česticama. Uslovi posmatranja. On je prevod međunarodnog standarda (MS) ISO 3059 čiji tekst je pripremio Tehnički komitet CEN/TC 138 "Ispitivanja bez razaranja", čiji sekretarijat je u nadležnosti AFNOR-a, u saradnji sa Tehničkim komitetom ISO/TC 135 "Ispitivanja bez razaranja", potkomitet SC 2 "Površinske metode ispitivanja", u skladu sa sporazumom o tehničkoj saradnji između ISO i CEN (Bečki sporazum). Nacrti MS, koje su usvojili odgovarajući tehnički komiteti šalju se svim članicama ISO radi glasanja. Da bi MS bio usvojen, potrebno je da ga odobri najmanje 75% članica.

U standardu se na početku ukazuje na značaj mera bezbednosti, jer se kaže da se moraju primeniti svi evropski, nacionalni i regionalni zakoni i propisi (regulative) koji se odnose na zdravlje i bezbednost ljudi. Dalje, ukazuje se da izlaganje *ultravioletnom* UV-A zračenju mora da bude najmanje moguće i naglašava se da osoblje treba da izbegava izlaganje UV-A zračenju talasne dužine manje od 330 nm. Izričito se navodi da osoblje ne sme da se izlaže UV-B i UV-C zračenju u situaciji np. ako se oštete ili polome (zaštitni) filtri.

## SPEKTAR ZRAČENJA

Bela svetlost sadrži skup elektromagnetnih talasa različitih učestanosti (frekvencija). Pri nailasku na ravnu granicu prozračne sredine pod uglom, monohromatski talasi skreću pod različitim uglovima prelamanja, koji zavise od njihove talasne dužine. Ovo predstavlja, kao što je poznato, razlaganje nemonohromatske svetlosti na spektar po frekvencijama. Dobijeni spektar je disperzioni spektar. Najmanje skreću talasi najveće talasne dužine, a najviše skreću ljubičasti zraci, čija je frekvencija najveća i talasna dužina najmanja, slika 1.

Osetljivost oka kao prijemnika energije vidljive svetlosti zavisi od talasne dužine iz njenog spektra. Prosečno oko pri dnevnom osvetljenju najosetljivije je na svetlost talasne dužine 555 nm, tj. na zeleno-žutu boju. Odnos snage (fluksa) svetlosnog zračenja talasne dužine 555 nm prema fluksu svetlosti druge talasne dužine  $\lambda$  koji izaziva isti vidni osećaj, nazivala se ranije relativna osetljivost oka za svetlost talasne dužine  $\lambda$  i obeležavala se sa  $S_{\lambda}$  [1,2] Prema JUS N.A0.845:1995 količnik fluksa zračenja talasne dužine  $\lambda_m$  i fluksa talasne dužine  $\lambda$  kada oba zračenja, pod određenim fotometrijskim uslovima, proizvode osećaj svetlosti iste jačine i kada je  $\lambda_m$  tako izabrano da je najveća vrednost tog količnika jednaka jedinici, naziva se *relativna spektralna iskoristivost* (monohromatskog zračenja talasne dužine  $\lambda$ ) i obeležava se sa  $V(\lambda)$  [3,4]. Izraz iskoristivost ovde označava **efikasnost**, kao što se navodi i u JUS N.A0.845 na strani 8 i kao što je dato na engleskom, francuskom i ruskom, a na nemačkom je osetljivost. Potrebno je napomenuti da se ova veličina definiše za *dnevno* (fotopsko) *viđenje* kada nadražaje na mrežnjači primaju ćelije-čepići i označava sa  $V(\lambda)$ , kao i za *noćno* (skotopsko) viđenje kada oko nije osetljivo na boje i nadražaje primaju ćelije-štapići, sa oznakom  $V'(\lambda)$ .

Najveću vrednost prva kriva ima za talasnu dužinu  $\lambda_m = 555$  nm, a druga za  $\lambda'_m = 507$  nm, slika 2. Podatke za ove krive, dobijene eksperimentalno i dopunjene ekstrapolacijom i interpolacijom, objavila je Međunarodna elektrotehnička komisija [3,4].

Kriva za dnevno viđenje na slici 2 pokazuje da fluks zračenja talasne dužine 400 nm treba da bude 2.500 puta veći od fluksa zračenja talasne dužine  $\lambda_m$  da bi njihova iskoristivost (efikasnost) bila jednaka, dok kriva za noćno viđenje pokazuje da fluks zračenja talasne dužine 400 nm treba da bude 107,6 puta veći od fluksa zračenja talasne dužine  $\lambda'_m$ .

Ultraljubičasto zračenje ima, kao što je poznato, manje talasne dužine od talasnih dužina vidljivog ljubičastog zračenja, slika 1. Donja granica vidljivog (optičkog) zračenja nalazi se

između 360 nm i 400 nm i vrednosti  $\lambda$  na slici 2 su od 380 nm do 780 nm. Područje ultraljubičastog zračenja koje se nalazi između 100 nm i 400 nm deli se obično na:

- ◆ UV-C zračenje od 100 nm do 280 nm
- ◆ UV-B zračenje od 280 nm do 315 nm
- ◆ UV-A zračenje od 315 nm do 400 nm.

Prema tome, zahtev standarda da treba izbegavati izlaganje UV-A zračenju talasne dužine manje od 330 nm, odnosi se samo na njegove talasne dužine do 315 nm, jer se osoblje ne sme izlagati UV-B i UV-C zračenju.

### EMISIJA, APSORPCIJA I RASEJANJE ZRAČENJA

Kao što je poznato, usijana čvrsta tela, tečnosti i sabijeni gasovi daju neprekidne spektre. Oni potiču od njihove rotacije i oscilacija i uzajamnog delovanja molekulskih i atomskih jona pri haotičnom kretanju-na visokoj temperaturi. Linijski spektri jednoatomskih gasova potiču od prelaza elektrona u atomima sa viših na niže energetske nivoe. Usijana čvrsta tela i sabijeni gasovi daju neprekidne spektre. Oni potiču od molekulskih i atomskih jona koji se kreću i deluju jedni na druge.

Apsorpcioni spektri dobijaju se kada bela svetlost prođe kroz usijanu paru nekog hemijskog elementa. U ovakvom spektru nedostaju linije koje se nalaze u emisionom spektru tog elementa. Prema Kirhofovom zakonu atomi i molekuli upijaju (apsorbuju) iste frekvencije elektromagnetnih talasa iz spektra zračenja, koje u pobuđenom stanju mogu da odašilju (emituju). Apsorpcija zračenja je jače izražena kada je njegova frekvencija bliska sopstvenoj frekvenciji elektrona u atomima ili atoma u molekulima sredine.

Ultraljubičasto (ultravioletno) zračenje se veštački proizvodi pomoću lampi sa živinom parom u kojima elektroni jonizuju atome žive. Atom koji stekne višak energije pri sudaru sa elektronom, zadržava ovu energiju u toku izvesnog vremena a zatim, pod uticajem raznih poremećaja, ili spontano, otpušta ovu energiju prelazeći ponovo u osnovno stanje. Ako je pritisak gasa mali, najverovatniji način da se izvrši ovaj prelaz sastoji se u izračivanju energije. Za atom žive prvi kritičan potencijal je jednak 4,9 eV ili  $7,85 \cdot 10^{-19}$  J [5]. Prema drugom Borovom postulatu ova celokupna energija pri prelazu u normalno stanje treba da se emituje u obliku kvanta monohromatičnog zračenja talasne dužine  $\lambda$  određene jednakošću

$$E_2 - E_1 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

gde su  $E_1$  i  $E_2$  energije osnovnog (normalnog) i pobuđenog stanja atoma žive, a razlika  $E_2 - E_1 = 7,85 \cdot 10^{-19}$  J je potencijal koji izaziva ekscitaciju. Sa  $\nu$  je označena frekvencija kvanta monohromatičnog zračenja. Zamenom vrednosti Plankove konstante  $h=6,626 \cdot 10^{-34}$  Js i brzine svetlosti u vakumu  $c=2,9979 \cdot 10^8$  m/s za talasnu dužinu zračenja se izračunava približno

$$\lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1} = 254 \text{ nm}$$

Osim ultraljubičaste linije sa  $\lambda = 253,7$  nm, spektar živine pare sadrži i druge ultraljubičaste linije: 185 nm, 297 nm, 313 nm, 365 nm, kao i linije iz ljubičastog dela spektra [6].

Od značaja za ispitivanje fluorescentnim sredstvima je talasna dužina 365 nm, jer je to talasna dužina kojoj odgovara najveći nazivni intenzitet zračenja izvora *crne svetlosti* [7]. Njoj odgovara razlika energetske nivoe od 3,4 eV ili  $5,44 \cdot 10^{-19}$  J. Ovi podaci su upoređeni u tabeli 2.

Energija kvanta primenjenog UV-A zračenja je 1,5 puta veća, a energija UV-B zračenja 1,85 puta veća od energije kvanta zeleno-žute svetlosti talasne dužine  $\lambda_m$ . Da bi se izbeglo dejstvo

UV zračenja električnog luka, pri zavarivanju se koriste specijalne naočari, kecelje i rukavice. Zbog veće energije, UV zračenje se koristi za uništavanje bakterija u nekim vrstama namirnica. Ultravioletni mikroskop umesto vidljivog, koristi ovo zračenje, kao i sočiva od kvarcnog stakla i zahvaljujući kraćoj talasnoj dužini ima veće povećanje od optičkog mikroskopa. UV-A zračenje delujući na ergosterol u ljudskom telu proizvodi vitamin D. Sunčevo zračenje je bogato UV zračenjem, ali ga ozon u gornjem sloju zemljine atmosfere apsorbira u najvećoj meri.

Boja tela koja se vidi, posledica je rasipanja svetlosti onih talasnih dužina koje odgovaraju toj boji. Bela boja krzna polarnog medveda samo time teško može da se objasni. Naime, ustanovljeno je da je njegovo krzno providno, a koža crna. Međutim, na snimku dobijenom infracrvenim zračenjem (IC), kao ni na snimku dobijenom ultraljubičastim zračenjem (UV), nije se moglo ništa videti. Providna dlaka ovog krzna gotovo tri puta efikasnije koristi sunčeve zrake od današnjih solarnih panela. Ova dlaka sakuplja i unosi 90% nevidljivog, ultraljubičastog dela spektra sunčevog zračenja, a samo 10% vidljivog dela spektra. Ostali deo svetla se rasipa i polarni medved na taj način uspeva da zadrži toplotu i izgleda beo. Njegova dlaka, za razliku od obične, ne odbija svetlost, već funkcioniše kao neonska cev, jer je šuplja i ima hrapavu unutrašnju površinu, tako da svetlost koja ulazi sa svih strana, ostaje u njenoj unutrašnjosti, kao u optičkom provodniku i sprovodi se do kože.

Jedan drugi interesantan fenomen vezan takođe za ultraljubičasto zračenje, otkrio je V.P.Kaznačajev u bivšem SSSR. On se sastoji u tome što tkivo emituje ovo zračenje sa kodiranom porukom o svom stanju i deluje na drugo tkivo, menjajući njegovo stanje ako je između njih kvarcni prozor, ali ne može da deluje ako je između njih prozor od običnog stakla zbog apsorpcije. Kao zamena za živu koristi se natrijum, čije UV zračenje, osim što povećava efikasnost izvora, pospešuje rast povrća.

## **KONTROLA OZRAČENJA**

Kontrola UV-ozračenja je predviđena standardom i ona je potrebna iz dva razloga: Prvi razlog je moguć štetan uticaj ovog zračenja na kožu ispitivača i naročito na oko ako je prisutno i drugo UV zračenje osim UV-A zračenja. Drugi razlog je što UV-A zračenje pobuđuje fluorescentno sredstvo koje se koristi za ispitivanje i vidljivost indikacija je zasnovana na pojavi fluorescencije u zeleno-žutoj oblasti vidljivog spektra, slika 3, slično fluorescenciji ekrana katodne cevi, sa tom razlikom što nju izaziva mlaz elektrona.

Podesnim filtrom se apsorbira štetno UV zračenje kraćih talasnih dužina. Zahtevane osobine ovih filtera daju predlog standarda Draft prEN 170:2000 [9] i EN 166.

Za merenje UV zračenja se koriste fotometri prema [7], što asocira na merenje vidljive svetlosti [1,2,6], odnosno radiometri (prema engleskoj literaturi, np. [4]). Standard JUS ISO 3059 definiše zahteve i ograničenja u pogledu relativnog spektralnog odziva merača UV-A zračenja. Njegova karakteristika treba da ima oblik krivih na slici 2. Zahtevi u pogledu UV ozračenja se daju u jedinicama  $W/m^2$  što predstavlja srednju gustinu fluksa zračenja, a naziva se ozračenje u datoj tački površine i definiše se kao količnik fluksa (snage<sup>1</sup>) zračenja koji pada na element površine na kome se nalazi data tačka i površine tog elementa [3]. Za ispitivanje fluorescentnim penetrantima, UV-A ozračenje ne sme da bude veće od  $50 W/m^2$  ( $5000 \mu W/cm^2$ ), a za ispitivanje magnetskim česticama, mora biti veće od  $10 W/m^2$  ( $1000 \mu W/cm^2$ ).

Sa ovog aspekta su interesantni podaci proizvođača [8] o merenju intenziteta UV zračenja. Predpostavlja se da su izvori tipa 400 WB-40 poređani na istom pravcu i na jednakim rastojanjima jedan od drugog, slika 4. Na taj način se povećavaju ozračenje i dužina ozračenosti oblasti, a da se pritom njena širina značajno ne povećava. Udaljenost izvor-površina je 0,3 m.

---

<sup>1</sup> Umesto snage, u JUS N.A0.845 stoji: energije, str. 13.



Merenjem na udaljenosti 50 mm od ortogonalne projekcije pravca na kome su izvori (odnosno od podužne ose simetrije ozračenzone), dobijeno je ozračenje  $826 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  u mernoj tački 1, a u svim drugim, od br. 2 do 9, ono je:  $1.487 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , slika 5<sup>2</sup>. Dužine ozračenih oblasti su date u [8].

Na udaljenosti 200 mm od istog pravca u mernoj tački 1 je izmereno ozračenje  $743 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , u mernoj tački 2:  $1.074 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , a u svim ostalim  $1.239 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Zatvorene krive na sl. 5 ograničavaju oblasti sa pretežno ujednačenim ozračenjima: manja sa  $1487 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  i veća sa  $1239 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Širine ovih oblasti se, za razliku od njihovih dužina, malo razlikuju.

Prema podacima datim u [8], ocenjeno je da bi jedan ovakav izvor davao ozračenje koje zahteva JUS ISO 3059 samo u oblasti male dužine na ispitnoj površini. Ova ocena je dobijena polazeći od toga da je ozračenje u svakoj mernoj tački zbir ozračenja od svih izvora pojedinačno. Ona su srazmerna fluksu i obrnuto srazmerna kvadratu udaljenosti merne tačke od izvora.

Stvarne udaljenosti izvora od merne tačke na udaljenosti 50 mm od podužne ose simetrije ozračenzone oblasti, su približno jednake njihovim udaljenostima od tačke na ovoj osi, najbliže mernoj tački. Drugim rečima, u prvoj aproksimaciji se uzima da je ozračenje na osi  $14,87 \text{ W}/\text{m}^2$ , umesto na udaljenosti 50 mm od nje. Za ocenu su (na osnovu slike 4) usvojeni razmaci između susednih izvora od 600 mm i između mernih tačaka od 300 mm. Fluks UV-A zračenja izvora, F, može da se oceni pomoću datog uslova za ukupno ozračenje u tački 3:

$$F/(0,3)^2 + F/(0,3 \times 2,24)^2 + F/(0,3 \times 4,1)^2 + F/(0,3 \times 6,08)^2 = 14,87 \text{ W}/\text{m}^2$$

Odavde je ocena:  $F = 1 \text{ W}$ . Ozračenje u tački (3) ispod izvora (1), koje potiče samo od njega, ispunjava zahtev standarda ISO 3059, tj.

$$F/(0,3\text{m})^2 = 11 \text{ W}/\text{m}^2 > 10 \text{ W}/\text{m}^2$$

Udaljenost s izvora (1) od tačke na ispitnoj površini na traženoj udaljenosti d od ortogonalne projekcije izvora je

$$s = (d^2 + 0,3^2)^{0,5}$$

Udaljenost d određuje se iz uslova da ozračenost u njoj ima zahtevanu (najmanju) vrednost, tj.

$$F/s^2 = 10 \text{ W}/\text{m}^2$$

odakle je  $d = 0,1 \text{ m}$  i dužina (prečnik) oblasti koja ispunjava zahtev standarda iznosi  $0,2 \text{ m}$ .

Visina izvora od horizontalne ispitne površine od  $0,3 \text{ m}$  može da bude nepraktična. Veličina ozračenja u mernoj tački 3 data je na dijagramu na slici 6 u zavisnosti od visine izvora H. Dijagram pokazuje kako veličina ozračenja može da se kontroliše izborom visine izvora.

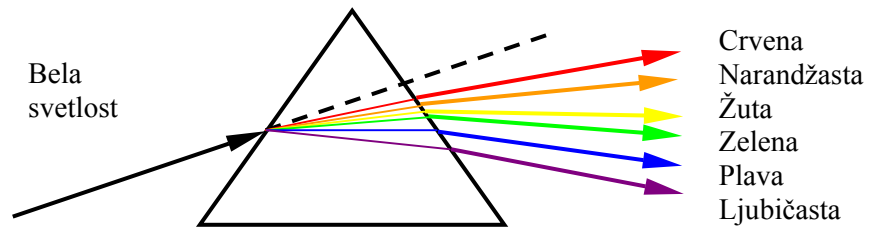
### Zahvalnost

Autor je zahvalan g-đi Slavici Jurić, dipl.inž., višem savetniku Saveznog zavoda za standardizaciju, za korisnu diskusiju i pomoć u nalaženju literature za ovaj rad.

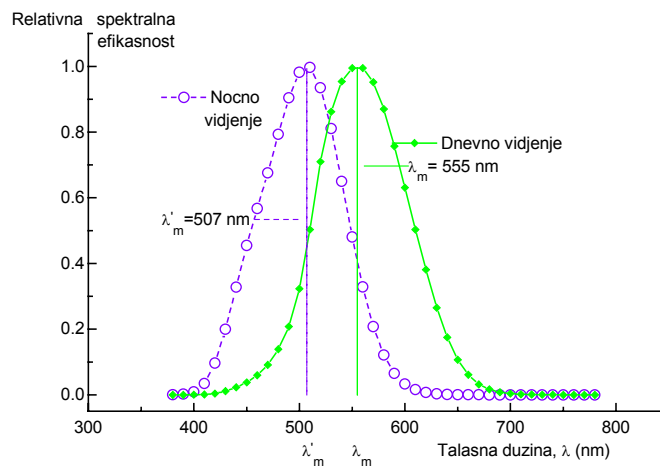
---

<sup>2</sup> Vrednosti ozračenja na udaljenosti 200 mm na slici 5 su navedene prema podacima iz [8].

DODATAK



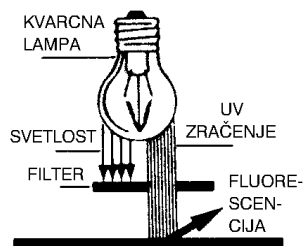
Slika 1. Njutnov ogled za dobijanje spektra svetlosti



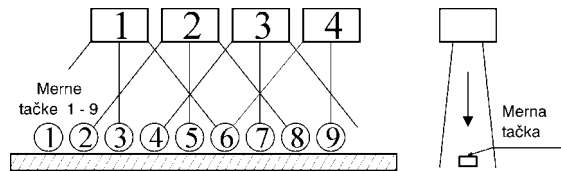
Slika 2. Relativne spektralne efikasnosti  $V(\lambda)$  i  $V'(\lambda)$

Tabela 2. Talasne dužine ( $\lambda$ ), frekvencije ( $\nu$ ) i energije kvanta zračenja ( $E_2 - E_1$ )

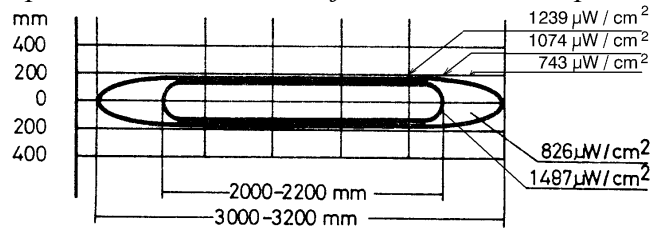
Oblast spektra	$\lambda$ (nm)	$\nu$ ( $10^{12}$ Hz)	$E_2 - E_1 = h\nu$ ( $10^{-19}$ J)
UV-C	100	3.000	19,878
UV-C	200	1.500	9,94
UV-B	300	1.000	6,626
UV-A	365	822	5,446
zeleno-žuta	555	540	3,578



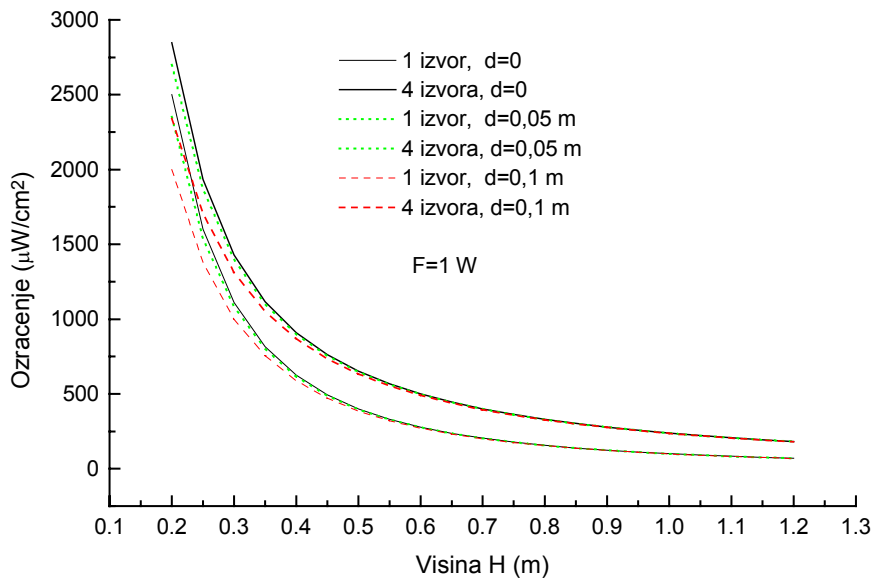
Slika 3. Dobijanje UV-zračenja za ispitivanje



Slika 4. Raspored izvora UV zračenja i mernih tačaka pri merenju [8]



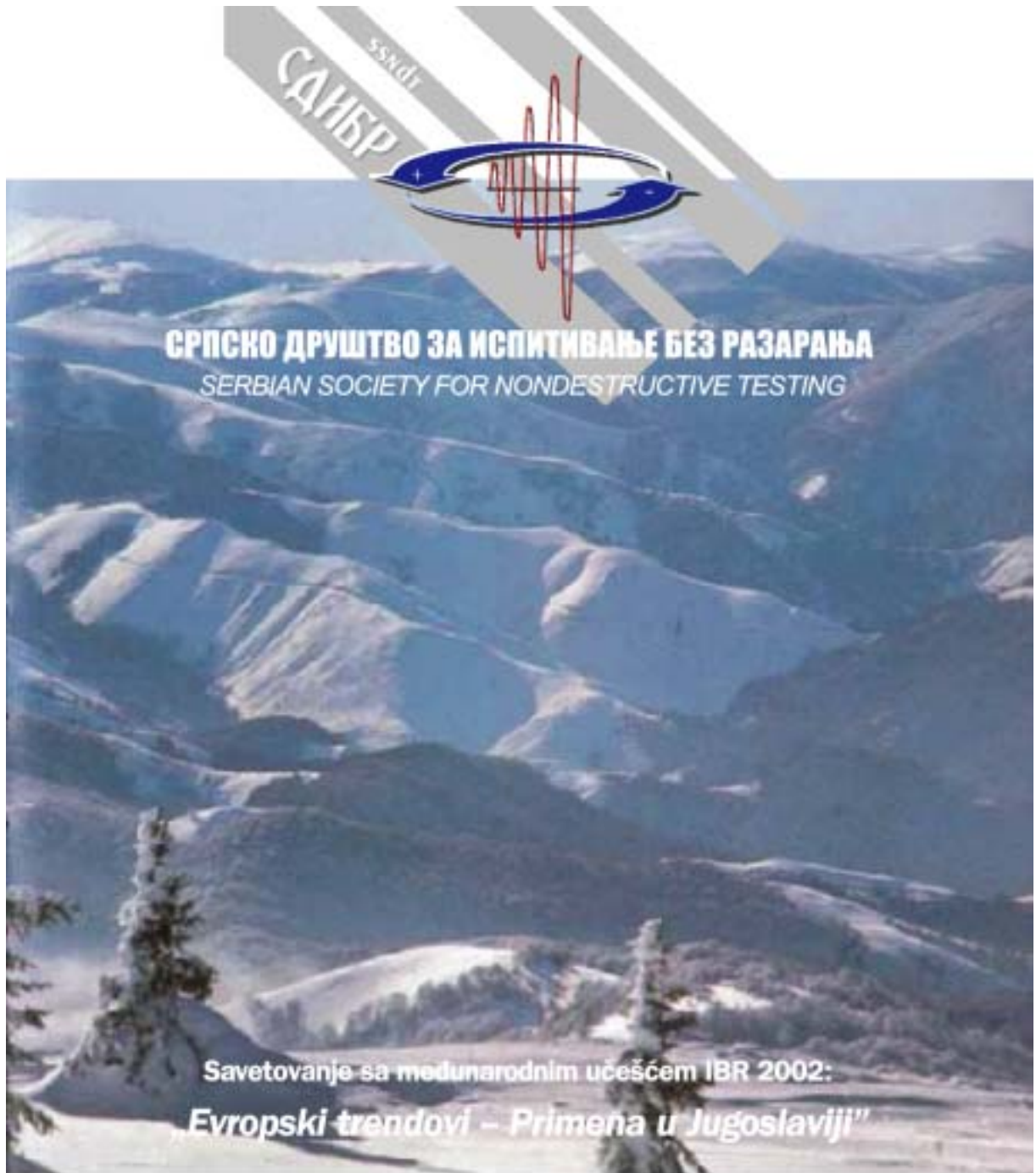
Slika 5. Raspodela ozračenja na udaljenosti 50 mm i 200 mm od ose simetrije oblasti



Slika 6. Dijagram za kontrolu ozračenja pomoću visine izvora (H) za tri vrednosti udaljenosti (d)

## LITERATURA

1. V.Vučić, D.Ivanović Fizika II, Naučna knjiga, Beograd 1984, s. 364-366.
2. S.Božin, M.Raspopović i E.Danilović Fizika za III razred gimnazije prirodno-matematičkog i opšteg smera, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd 1994, s. 208.
3. JUS N.A0.845:1995 Osvetljenje-Termini i definicije-Zračenje, veličine i jedinice, s.3,7 i dr.
4. Međunarodni elektrotehnički rečnik - Osvetljenje (u originalu: IEC 60050-845:1987 International Electrotechnical Vocabulary - Lighting), SZS Beograd, 1996, s. 272 i XII.
5. E.V.Špoljskij, Atomska fizika, Zavod za izdavanje udžbenika Srbije, Beograd 1963, s. 238.
6. R.V.Pol, Optika i atomnaja fizika, Izdat. "Nauka", Moskva 1966, s.340.
7. JUS C.A7.082:1979 Merenje intenziteta crne svetlosti.
8. Podaci firme Helling: Lichtverteilung und UV-Strahlungsintensität 144.4
9. Draft prEN170:2000 Personal eye protection. Ultraviolet filters – transmittance requirements and recommended use.



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**



# NOVI EVROPSKI STANDARDI ZA ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA

dr Miodrag Kirić dipl.inž.elekt., laboratorija KKOM,  
DP HIP Azotara, Pančevo

## Izvod

*U radu je dat kratak prikaz grupe evropskih standarda EN 1712, EN 1713 i EN 1714 za ručno ultrazvučno ispitivanje zavarenih spojeva feritnih čelika. Prvi od njih definiše kriterijume za ocenu i prihvatanje indikacija, koji se zasnivaju na visini eha i dužini nepravilnosti. Nivoi prihvatljivosti zavise od orijentacije veće dimenzije nepravilnosti u odnosu na zavareni spoj. Oni važe za sve nivoe ispitivanja i za sve tehnike ispitivanja. EN 1713 standardizuje proceduru za karakterizaciju nepravilnosti u šavu koja koristi dijagram toka. Procedura omogućava klasifikovanje nepravilnosti kao ravanskih ili neravanskih. Kao kriterijumi razlikovanja se koriste razlike u odbijanju ultrazvuka zavisno od pravca, oblik statičkog eha i oblik dinamičkog eha. Ravanske nepravilnosti sa amplitudom eha iznad nivoa ocene se po pravilu odbacuju. Standard EN 1714 standardizuje metode i tehnike ispitivanja zavarenih spojeva različite geometrije.*

## Ključne reči:

Kontrola kvaliteta, Prihvatljivost, Karakteristike, Klasifikacije, Procedure, Tehnike.

# NEW EUROPEAN STANDARDS FOR ULTRASONIC TESTING OF WELDED JOINTS

## Abstract

*The paper gives a short review of the group of european standards for manual ultrasonic testing of welded joints in ferritic steels: EN 1712, EN 1713 and EN 1714. The first one defines criteria for evaluation and acceptance of indications, based on echo amplitude and imperfection length. Acceptance levels depend on the orientation of imperfection major dimension relative to the welded joint. They are valid for all examination levels and for all testing techniques. EN 1713 standardizes the flowchart procedure for characterization of imperfections in welds. The procedure enables the classification of imperfections as planar or non-planar. As discriminatory criteria are used differences in directional reflectivity, the echostatic pattern and the echodynamic pattern. In general, planar imperfections with echo amplitude above the evaluation level are rejected. EN 1714 standardizes methods and techniques for testing of welded joints of various geometries.*

## Key words:

Quality control, Acceptability, Characteristics, Classifications, Procedures, Techniques.

## UVOD

Metod ispitivanja materijala i zavarenih spojeva ultrazvukom je uveden u širu primenu u S.A.D. posle II Svetskog rata. U Evropi je krajem 40-ih godina H. Krautkrämer započeo proizvodnju svoje prve serije ultrazvučnih defektoskopa tipa USIP [1].

Od ovih prvih analognih uređaja za ispitivanje, prošlo je približno tri i po decenije do pojave prvih *digitalnih* ultrazvučnih uređaja, koji su proširili mogućnosti ovog ispitivanja, posao učinili udobnijim i vremenom postali merni instrumenti [2].

Princip ispitivanja je ostao isti, ako se izuzmu neke novije mogućnosti. On se i danas zasniva na reverzibilnom piezoelektričnom efektu. Piezopretvarač pobuđen električnim impulsima, proizvodi periodične visokofrekventne ultrazvučne impulse, a registrovane ultrazvučne, pretvara u slabe električne impulse, te je potreban ulazni pojačavač sa velikim pojačanjem. Impulsi koje piezopretvarač šalje u materijal, ako su podužni talasi, izazivaju u njemu oscilovanje njegovih čestica, odnosno promene gustine, tj. lokalno sabijanje i razređivanje materijala.

Za ispitivanje zavarenih spojeva, u široj primeni su poprečni ultrazvučni talasi, koji izazivaju lokalno oscilovanje materijalnih čestica u pravcu poprečnom na pravac prostiranja talasa i otuda se označavaju i kao smičući talasi [1,3,4].

Prema tome, ultrazvučni metod je *aktivan* metod jer izaziva promene u materijalu koje omogućavaju njegovo ispitivanje bez razaranja, tj. ima za cilj nalaženje, lociranje i ocenu nepravilnosti ili merenje debljine zida. Kod merenja mernim trakama, nasuprot, potrebno je povećavati unutrašnji pritisak u posudi ili cevovodu da bi se merna traka deformisala zbog deformacija nametnutih materijalu zida i zbog toga povećala njena električna otpornost, koja se meri. Ova metoda, u suštini *pasivna*, ne služi otkrivanju nepravilnosti prisutne u materijalu, čak i ako je traka slučajno zalepljena na istom mestu. Ispitivanje ultrazvukom pre i posle ispitivanja hladnim vodenim pritiskom može da otkrije prsline nastale kao rezultat naprezanja materijala zida, ili i toku njihovog nastajanja, što je poseban slučaj praćenja promena nepravilnosti (grešaka) u toku eksploatacije.

## **STANDARDIZACIJA**

Uporedo sa razvojem tehnike za ispitivanje ultrazvukom, tekao je i rad na standardizaciji ovih ispitivanja, terminologije i odgovarajuće opreme, uključujući ispitne sonde i kalibracione blokove. Rad je bio uglavnom nezavisan i tekao je uporedo u mnogim zemljama. Tako je nastao velik broj nacionalnih standarda, od kojih su se mnogi, koji su se odnosili na terminologiju i kalibracione blokove, zasnivali na odgovarajućim dokumentima MIZ-a iz 50-ih godina, o čemu se više može naći u literaturi [1-10].

Međunarodne organizacije – ISO (Međunarodna organizacija za standardizaciju) i CEN (Evropski komitet za standardizaciju) u proteklih petnaestak godina doneli su mnoge nove standarde koji su vodili unifikaciji standarda za ovaj metod ispitivanja [11-17]. Evropski standard EN 12062 je opšteg karaktera za IBR zavarenih spojeva [11]. Dobar primer za ilustraciju je skup od šest standarda [16] koji redom standardizuju opšte principe, podešavanja osetljivosti i opsega, tehniku prozvučavanja, ispitivanje nepravilnosti normalnih na površinu, karakterizaciju i određivanje veličine nepravilnosti, kao i tehniku difrakcije sa određivanjem vremena preleta za otkrivanje i merenje veličine nepravilnosti. Ovo poslednje je ukratko prikazano u radu [18]. Metod određivanja veličine nepravilnosti u pravcu debljine materijala predložen u radu [7], je u skladu sa načelima standarda ASME Sekcija V, ASTM E 164-92a i EN 583-5.

Navedenoj nepotpunoj listi evropskih standarda treba dodati standarde koji su predmet ovog prikaza:

- EN 1712 o nivoima prihvatljivosti,
- EN 1713 o karakterizaciji nepravilnosti u šavovima i
- EN 1714 o ultrazvučnom ispitivanju zavarenih spojeva.

Svi ovi evropski standardi sadrže odredbe iz drugih izdanja standarda (publikacija), zastarelih i ne zastarelih <sup>1)</sup>. Za promenjene (zastarele) reference, naknadni amandmani ili revizije bilo kojeg od ovih izdanja (publikacija), primenjuju se na ove evropske standarde tek onda kada su u njih ugrađeni amandmanom ili revizijom. Primenjuju se poslednja izdanja nezastarelih referenci na koje se pozivaju ovi standardi.

---

<sup>1)</sup> Napomena: “dated reference” (u originalu) je zastarela (izmenjena) referenca, a “undated reference” je nezastarela (važeća) referenca. Izraz datirati znači napisati na akt (pismo i dr.) datum, tj. dan, mesec i godinu (videti M. Vujaklija, Leksikon stranih reči i izraza), koji pokazuje od kada on potiče i sl. Pošto svi evropski standardi nose datum donošenja (mesec i godinu, a nacrti potpun datum zbog roka za primedbe), vidi se da nema datiranih i nedatiranih standarda i takav prevod nije dobar.

## NIVOI PRIHVATLJIVOSTI

Standard EN 1712 Ispitivanje bez razaranja šavova – Ultrazvučno ispitivanje zavarenih spojeva – Nivoi prihvatljivosti, dopušta *podešavanja osetljivosti* pomoću:

- bočno zabušene rupe prečnika 3 mm – što se označava kao metod 1
- kružnog ravnog reflektora oblika diska (AVG sistem) – što se označava kao metod 2 i
- za ugaone sonde sa uglom snopa koji nije manji od  $70^{\circ}$  i debljinom  $t$  u intervalu  $8 \text{ mm} \leq t < 15 \text{ mm}$  koristi se urez (zarež) pravougaonog poprečnog preseka dubine 1 mm – što se označava kao metod 3.

Izbor ultrazvučne učestanosti je određen vrstom talasa i debljinom materijala (zida). Razmatraju se debljine od 8 mm do 100 mm i odgovarajuće frekvencije za poprečne talase su od 2-4 MHz, a za podužne talase od 2-5 MHz. One se smanjuju sa povećanjem debljine. Za najmanji opseg, tj. od 8 mm do 15 mm ona iznosi 4 MHz, a za podužne može da bude 4 MHz ili 5 MHz.

Standard dopušta primenu drugih frekvencija pod uslovom da se razmotri njihov uticaj na nivo prihvatljivosti.

Osnovni ili *referentni nivo* proizlazi iz podešavanja osetljivosti. Naime, referentni nivo određuje se za

- Metod 1: DAC krivom konstruisanom korišćenjem bočno zabušene rupe prečnika 3 mm.
- Metod 2: AVG krivom za reflektor oblika diska veličine koja se određuje različito za podužne ili poprečne talase u zavisnosti od debljine materijala i učestanosti prema tabelama datim u standardu.
- Metod 3: DAC krivom za urez pravougaonog poprečnog preseka dubine 1 mm.
- Ispitivanje tandem tehnikom: pomoću reflektora oblika diska prečnika 6 mm za sve debljine.

*Nivo ocenjivanja* određuje se zavisno od referentnog nivoa i primenjenog metoda i koristi se najčešće za određivanje dužine nepravilnosti. Definisani su na sledeći način:

- Metod 1 i 3: Referentni nivo – 10 dB (33% DAC);

- Metod 2: Referentni nivo – 4 dB;

- Ispitivanje tandem tehnikom: Reflektorom oblika diska prečnika  $D_{DSR}=6 \text{ mm}$  za sve debljine.

Dužina nepravilnosti se određuje dužinom na kojoj eho prelazi nivo ocenjivanja.

Pod *nivoom zapisivanja* podrazumeva se nivo prihvatljivosti. Standard EN 1712 u tački 3.5 dopušta da se oni definišu i na drugi način, različit od datog u standardu.

- Nivoi zapisivanja za metod 1 i 3:  
Nivo prihvatljivosti 2: referentni nivo – 6 dB (50% DAC)  
Nivo prihvatljivosti 3: referentni nivo – 2 dB (80% DAC).
- Nivoi zapisivanja za metod 2:  
Nivo prihvatljivosti 2: referentni nivo  
Nivo prihvatljivosti 3: referentni nivo + 4 dB.
- Nivo zapisivanja za tandem tehniku:  
 $D_{DSR}=6 \text{ mm}$  (za sve debljine).

Može se napomenuti da za metod 1 i 3 ima samo dva definisana nivoa, kao i za metod 2.

Nivoi prihvatljivosti treba da su povezani sa tehnikama ispitivanja (nivoi ispitivanja) koji su definisani u EN 1714. Strožiji nivo prihvatljivosti 2 normalno će iziskivati bar nivo ispitivanja B, a (blaži) nivo prihvatljivosti 3, bar (niži) nivo ispitivanja A. Bilo kakva druga relacija između nivoa prihvatljivosti i nivoa ispitivanja treba da se odredi (definiše) sporazumom zainteresovanih strana<sup>2</sup>.

Prihvatljivost nepravilnosti se određuje obzirom na dužinu i nivo prihvatljivosti. Ovo je u radu dato u **tabeli A.1** za metode 1 i 3, jer su kod nas u najčešćoj upotrebi.

Nivoi prihvatanja važe za sve nivo ispitivanja i sve tehnike, uključujući i ispitivanje normalnim sondama. Sve podužne nepravilnosti čiji eho i dužine kod primene metoda 1 i 3 prelaze granice date u tabeli A.1 su neprihvatljive. Sve poprečne nepravilnosti koje prelaze prethodno date granice su takođe neprihvatljive.

Standard napominje da se razlikovanje nepravilnosti na ravanske i neravanske, može uzeti za osnovu na kojoj će se one smatrati prihvatljivim ili neprihvatljivim. U tom slučaju za sve nepravilnosti koje daju eho iznad nivoa ocenjivanja treba da se odredi karakter i sve indikacije određene kao ravanske, treba odbaciti.

<sup>2</sup> U izmenama koje su bile predložene novembra 2001. godine stoji: “treba da se definiše specifikacijom”.

Za šavove izložene zamoru, nivoi prihvatljivosti za nepravilnosti na površini ili u blizini površine, mogu da se odrede specifikacijom, koja je predmet sporazuma ugovornih strana.

Nepravilnosti nađene tandem tehnikom se dalje ispituju ako eho prelazi nivo zapisivanja, np. tehnikom difrakcije, radiografijom i sl.

EN 1712 definiše linijske i grupisane nepravilnosti, kao i kumulativnu dužinu prihvatljivih nepravilnosti.

U izveštaj o ispitivanju se upisuju sve neprihvatljive i prihvatljive nepravilnosti koje daju ehoe iznad nivoa zapisivanja.

## **KARAKTERIZACIJA NEPRAVILNOSTI**

Standard EN 1713 daje proceduru za klasifikaciju nepravilnosti.

Klasifikacija nepravilnosti, na ravanske i ne ravanske, zasniva se na nekoliko parametara:

- tehnika zavarivanja,
- geometrijski položaj nepravilnosti,
- najveća visina ehoa,
- zavisnost odbijanja od pravca,
- oblik statičkog ehoa ( A- slika ),
- oblik dinamičkog eha.

Ovaj standard određuje postupak primene dijagrama toka u Prilogu A, pomoću koga se unutrašnje nepravilnosti klasifikuju kao ravanske i ne ravanske. Ova klasifikacija primenjuje se samo u skladu sa standardom EN 1712, ako je to predviđeno sporazumom ugovornih strana, odnosno specifikacijom. Ovaj standard je podesan samo za nepravilnosti na dubini većoj od 5 mm od nebrušene površine spoja.

Procedura prema dijagramu toka ima pet koraka (stepena), od kojih svaki ima tačno određeni cilj:

1. korak : Izbeći klasifikovanje indikacija sa vrlo malim amplitudama ehoa,
2. korak : Klasifikovati sve indikacije koje daju ehoe velike amplitude kao ravanske (ravne),
3. korak : Klasifikovati nedovoljno popunjavanje na početku
4. korak : Klasifikovati uključke na početku,
5. korak : Klasifikovati prsline na početku.

Usvaja se da nepravilnost sa amplitudom ehoa manjom od **S1** ( DAC – 10 dB) nije značajna. Za posebne primene ova vrednost **S1** treba da se smanji, ako je to predviđeno ugovorom ili specifikacijom.

Usvaja se da visina ehoa, koja je bar jednaka nivou **S2** (DAC+6 dB) potiče od ravanske nepravilnosti.

Za dole navedene kriterijume, pravac pod kojim ultrazvuk nailazi na šav pri kome je amplituda eha najveća, u odnosu na DAC krivu, uzet je kao referentan (  $H_{d \max}$  ). Eho najmanje amplitude u odnosu na DAC krivu,  $H_{d \min}$ , dobijen pod drugim upadnim uglovima, upoređuje se sa  $H_{d \max}$ .

Dokazivanje zavisnosti odbijanja od pravca, zasniva se na istovremenom ispunjenju ova dva uslova:

1. Eho nepravilnosti, bar za jedan od upadnih uglova, je veći ili jednak **S3** ( DAC – 6dB).
2. Postoji veoma jaka zavisnost odbijanja od pravca, odnosno:
  - a) Postoji razlika od najmanje 9 dB između ehoa dobijenih pod dva upadna ugla ispitivanja, ako se ono vrši pomoću poprečnih talasa.

$$/ H_{d \max} - H_{d \min} / \geq 9 \text{ dB}$$

- b) Postoji razlika od najmanje 15 dB između ehoa dobijenih pod dva upadna ugla ispitivanja, od kojih je jedno sa poprečnim, a drugo sa podužnim talasima

$$/ H_{d \max} - H_{d \min} / \geq 15 \text{ dB}$$



Pravac pod kojim ultrazvuk nailazi na šav je rezultat i ugla prelamanja i uslova ispitivanja (pola odskočne udaljenosti ili cela odskočna udaljenost).

U četvrtom koraku, razmatra se (ispituje) oblik statičkog eha ( A-slika).

Ako su ispunjeni zahtevi u pogledu visine ehoa (ni jako velik, ni jako mali) i zavisnost odbijanja od pravca je slaba, statički eho je pojedinačan i gladak, nepravilnost se klasifikuje kao neravanska.

Ako statički eho nije pojedinačan, prelazi se na sledeći (peti) korak procedure.

Ako statički eho nije pojedinačan i gladak, on treba da se klasifikuje kao pojedinačan i razuđen (neravan, nazubljen) ili kao višestruk.

Ovo je predmet 5. koraka procedure po dijagramu toka. Poprečni dinamički eho reflektora je obvojnica (envelopa) ehoa, koji se dobijaju pri poprečnom pomeranju ultrazvučnog snopa preko reflektora. Analiza ne uzima u obzir samo obvojnici, već i ponašanje ehoa u njoj.

Oblik može da se klasifikuje u četiri vrste prema Dodatku C standarda.

Neravanskim nepravilnostima pridružuju se oblik 1 dinamičkog eha koji potiče od pojedinačne nepravilnosti i oblik 2 koji potiče od gnezda neravanskih nepravilnosti.

Ako poprečni dinamički eho ima oblik 3 za najmanje dva upadna ugla, nepravilnost se klasifikuje kao ravanska. Normalno, uzimaju se ona dva upadna ugla, koji daju najveće ehoe.

Ako samo jedan pravac pod kojim ultrazvuk nailazi na šav daje dinamički eho oblika 3, može da se koristi treći upadni ugao, ili da se traži neko dopunsko ispitivanje .

Oblik 3 dinamičkog eha je širok i “hrapav” (neravan) oblik. Postoje dve varijante ovog oblika zavisno od upadnog ugla snopa na reflektoru:

Oblik 3a - Skoro normalan nailazak. U ma kom položaju sonde A - slika pokazuje pojedinačan ali “hrapav” eho. Pri pomeranju sonde on može znatno da se menja ( $> \pm 6$  dB). Fluktuacije su izazvane odbijanjem od različitih delova reflektora, i slučajnom interferencijom talasa rasejanih na ovim delovima.

Oblik 3b - Kosi nailazak, oblik obrazuju ehoi koji putuju pri pomeranju sonde. U ma kom položaju sonde, A - slika ima širok niz signala (“sporedni ehoi”) ispod obvojnice impulsa u obliku zvona. Pri pomeranju sonde svaki sporedni eho se pomera ispod obvojnice impulsa, raste do najveće vrednosti prema njenoj sredini, a zatim se smanjuje. Promene amplitude mogu da budu velike (više od  $\pm 6$  dB).

Oblik 4 je odziv od nekoliko reflektora. U ma kom položaju sonde A - slika pokazuje puno signala koji mogu, ali ne moraju da budu dobro razdvojeni po opsegu. Pri pomeranju sonde signali se povećavaju i smanjuju haotično i signal od svakog pojedinačnog reflektora, ako može da se razlikuje, ima oblik 1.

## **TEHNIKE ISPITIVANJA**

Standard EN 1714 propisuje metode za ručno ispitivanje ultrazvukom zavarenih spojeva dobijenih topljenjem metalnih materijala debljine 8 mm ili veće, koji imaju malo slabljenje ultrazvuka (posebno od rasejanja). On u prvom redu treba da se primeni na zavarene spojeve sa potpunom penetracijom i od feritnog osnovnog i dodatnog materijala.

Ukoliko kriterijumi prihvatljivosti prihvaćeni sporazumom, zahtevaju precizno određivanje visine i prirode nepravilnosti, tj. kada se primenjuju kriterijumi pogodnosti za upotrebu (u originalu: fitness - for - purpose, videti [20]), može da bude potrebna primena metoda ili tehnika koje su izvan okvira ovog standarda, kao np. [18]. Slična napomena se daje u vezi ispitivanja nepravilnosti normalnih na površinu, posebno ako su one u šavu velike debljine, [19, 20].

Određena su četiri nivoa (obima) ispitivanja, od kojih svaki pruža određenu verovatnoću otkrivanja nepravilnosti. Uputstvo za izbor nivoa ispitivanja A, B ili C je dato u prilogu A standarda EN 1714. Nivou kvaliteta C (po JUS ISO 5817 ili EN 25817) odgovara najniži nivo ispitivanja A. Sledećem višem nivou kvaliteta B (po navedenim standardima), odgovara nivo B ispitivanja. Nivo C ispitivanja odgovara nivou kvaliteta koji se određuje sporazumom

ugovornih strana. Najviši nivo D ispitivanja se primenjuje kada se traži nivo kvaliteta za specijalne namene.

Ukoliko uslovi ispitivanja ne omogućavaju ispitivanje po zahtevima nivoa od A do C, tehnika ispitivanja treba da se izmeni tako da budu ispunjeni opšti zahtevi standarda i određenog nivoa ispitivanja.

Dati su zahtevi u pogledu pripreme za ispitivanje, prilagođenje sonde zakrivljenoj površini, nivo osetljivosti (kao u EN 1712) i kompenzaciju razlike u prenosu. Napominje se da za razliku manju od 2 dB, kompenzacija nije potrebna. Kompenzuju se razlike najviše do 12 dB. Ako su one veće, treba ustanoviti razloge i ako je moguće, ispitnu površinu treba dodatno pripremiti.

Prema standardu, za ilustraciju, dato je ispitivanje sučeoно zavarenog spoja, slika 1, sa podacima i objašnjenjima datim u tabeli 2. Koriste se sledeće oznake:

L – vođenje ugaone sonde za otkrivanje podužnih nepravilnosti, N – vođenje normalne sonde,

T – vođenje ugaone sonde za otkrivanje poprečnih nepravilnosti,

p – odskočna udaljenost i SZW – širina zone u kojoj se vodi sonda.

Oznake na slici 1 su: 1-Strana 1, 2-Izgled odgore, 3-Strana 2, 4-Izgled sa strane, 5-Širina zone (SZW).

Uvek kada je moguće, vođenje sonde treba da bude na obe strane (1 i 2) šava.

## **DODATAK**

*Tabela A.1 Nivoi prihvatljivosti 2 i 3 za metod 1 i 3*

8 mm ≤ t < 15 mm	
Dužina nepravilnosti, $l$ (mm)	Najveća dopuštena amplituda eha
$l \leq t$	Referentni nivo <sup>3</sup>
$l > t$	Referentni nivo – 6 dB
15 mm ≤ t ≤ 100 mm	
Dužina nepravilnosti, $l$ (mm)	Najveća dopuštena amplituda eha
$l \leq 0,5t$	Referentni nivo + 4 dB <sup>4</sup>
$0,5t < l \leq t$	Referentni nivo – 2 dB
$l > t$	Referentni nivo – 6 dB
Nivo ocenjivanja: Referentni nivo – 10 dB	
<b>Nivo zapisivanja: Nivo 2 prihvatljivosti = Referentni nivo – 6 dB</b>	
Nivo 3 prihvatljivosti = Referentni nivo – 2 dB	

<sup>3</sup> Primedba: Referentni nivo naveden u tabeli A.1 nije uveden kao nivo prihvatljivosti za metode 1 i 3 u tački 3.5, dok za metod 2 jeste (nivo 2 prihvatljivosti).

<sup>4</sup> Primedba: U tački 3.5 za metode 1 i 3 nije definisan ovaj nivo prihvatljivosti, tj.: Referentni nivo + 4 dB

Tabela 2. Sućeoni spojevi na pločama i cevima

Nivo ispitivanja	Debljina osnovnog materijala mm	Podružne nepravilnosti					Poprečne nepravilnosti					
		Zahtevan broj:		SZW	poz. sonde	N – ispitiv.	Ukupan broj ispitiv.	Napomena	Zahtevan broj:		Ukupan broj ispitiv.	Napomena
		uglova	poz. sonde						uglova	poz. sonde		
A	8 ≤ t < 15	1	A ili B	1,25p	-	2	a	1	(X i Y) ili (W i Z)	4	c	
	15 ≤ t < 40	1	A ili B	1,25p	-	2	a	1	(X i Y) ili (W i Z)	4	c	
B	8 ≤ t < 15	1	A ili B	1,25p	-	2	e	1	(X i Y) ili (W i Z)	4	c	
	15 ≤ t < 40	2	A ili B	1,25p	-	4	b e	1	(X i Y) ili (W i Z)	4	c	
	40 ≤ t < 60	2	A ili B	1,25p	-	4	b	2	(X i Y) ili (W i Z)	8	c	
	60 ≤ t ≤ 100	2	A ili B	1,25p	-	4	b	2	(C i D) ili (E i F)	4	c d	
C	8 ≤ t < 15	1	A ili B	1,25p	G ili H	3	d	1	(C i D) ili (E i F)	2	d	
	15 ≤ t ≤ 40	2	A ili B	1,25p	G ili H	5	b d	2	(C i D) ili (E i F)	4	d	
	> 40	2	A ili B	1,25p	G ili H	5	b d	2	(C i D) ili (E i F)	4	d	

a Može da se ograniči na ispitivanje sa jedne strane.

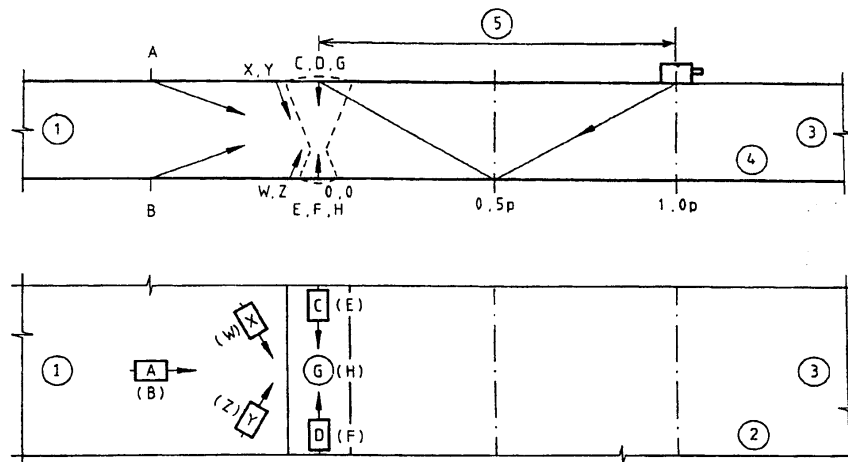
b Po sporazumu dodatno se ispituje tandem tehnikom.

c Zahteva se samo posebnim sporazumom.

d Površina nadvišenja šava treba da ispuni zahteve iz tačke 8. Ovo može da iziskuje uklanjanje nadvišenja šava. Naravno, za kružne šavove na cevima koji su zavareni samo sa jedne strane, treba prebrusiti samo nadvišenje na spoljašnjoj površini.

e Ako je pristupačna samo jedna strana, potrebno je ispitati pod dva ugla snopa.

f U opsegu 15 < t ≤ 25 mm jedan ugao je dovoljan ako je frekvencija manja od 3 MHz.



Slika 1. Sučeoni spojevi na ploči i cevi

## LITERATURA

1. J. und H. Krautkramer, Werkstoffprüfung mit Ultraschall, 3. neubearbeitete Auflage Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York 1975.
2. M. Kirić, Kalibracioni blokovi IIW tipa i analiza njihove primene kod ultrazvučnog ispitivanja zavarenih spojeva (Calibration blocks of IIW type and an analysis of their use in the ultrasonic examination of welds), Zavarivanje i zavarene konstrukcije Vol.XLI No4/1996, 329-340.
3. DIN 54119, Zerstörungsfreie Prüfung. Ultraschallprüfung. Begriffe, August 1981 (Ersatz für Aufgabe 01. 64), s. 1-18.
4. M. Kirić, Ispitivanje materijala i zavarenih spojeva metodama bez razaranja. Ultrazvučno ispitivanje. Izrazi i definicije, Zavarivač Vol. XVIII, No.4/1973, 223-234.
5. B.S. 2704:1966 Specification for calibration blocks recommendations for their use in ultrasonic flaw detection, British Standards Institution incorporated by Royal Charter, British Standards House, London 1966.
6. M. Nikolić, Predlog preporuke za ultrazvučno ispitivanje sučeono zavarenih spojeva (prevod dokumenata IIW / IIS-205-66, ex. doc. V-287-65 : "Examination, measurement and control of welded joints), Zavarivač Vol. XIV, No.4/1969, 36-41.
7. M. Kirić, Prilog pitanju korišćenja ekrana ultrazvučnog uređaja pri određivanju dubine i visine grešaka u zavarenim spojevima, Ibid 6, 7-10.
8. ASTM E 1316 Terms and definitions used in nondestructive testing, ASTM Annual book standards, Section 3, Vol. 03.03, 1993., pp. 625-628.
9. M. Kirić, Prilog standardizaciji terminologije ultrazvučnog ispitivanja, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Vol. 43, 2/1998, 61-72.
10. ASTM E 164-92a, Annex A1 (Mandatory information), Annual book of ASTM standards Section 3, 1993, Vol. 03.01. pp. 35-45.
11. EN 12062 Non-destructive examination of welds - General rules for metallic materials
12. EN 1330-4 NDT - Terminology - Part 4: Terms used in ultrasonic testing
13. EN 12223 NDT - Ultrasonic examination - Specification for calibration block No. 1
14. EN 12668-1, 3 NDT - Characterization and verification of ultrasonic examination equipment - Part 1: Instruments, Part 2: Probes, Part 3: Combined equipment.
15. ISO 10375:1993, Non-destructive testing-Ultrasonic inspection-Characterization of search unit and sound field
16. EN 583 1-6, Non-destructive testing – Ultrasonic examination – Parts 1-6.
17. EN 27963 Welds in steel; calibration block No. 2 for ultrasonic examination of welds (ISO 7963; 1985)
18. M.Kirić, A.Bлагоjević i D.Dobraš, Ispitivanje tehnikom difrakcije ultrazvuka, Savetovanje sa međunarodnim učesćem "IBR 2000", Srpsko društvo za ispitivanje bez razaranja (SDIBR), Zbornik, 71-74, Zlatibor 2000.
19. M.Kirić i A.Fertilio, Analiza dopuštenih ravanskih grešaka za posude pod pritiskom, Ibid 18, 74-77.
20. M. Kirić i A. Fertilio, Ocena zavarenih spojeva ultrazvukom prema kriterijumima kontrole kvaliteta i mehanike loma (Ultrasonic assessment of welded joints against quality control and fracture mechanics criteria), Zavarivač, Vol. 40, No 3/1995, 209-223.



## ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE AUSTENITNIH ČELIKA SA POVEĆANOM ANIZOTROPIJOM

dr Miodrag Kirić dipl.inž.elek., Pančevo

### Izvod

*U radu je dat kratak prikaz nekih problema koji nastaju pri ručnom ultrazvučnom ispitivanju zavarenih spojeva austenitnih čelika dobijenih topljenjem. Razmotren je uticaj anizotropije akustičnih osobina i povećanog slabljenja na prostiranje ultrazvučnih talasa. Ovo np. znači da uobičajeno podešavanje opsega više nije u važnosti kada ultrazvuk počne da se prostire kroz ovakav metal.*

*Praktično rešenje za ove probleme je u primeni kalibracionog bloka sa veštačkim reflektorima ultrazvuka za osnovna podešavanja. Data je skica ovakvog bloka. Međutim, potrebno je i poznavanje osobina anizotropne strukture za primenjeni postupak zavarivanja. Dati su primeri ispitivanja na cevima malog prečnika ilustrovani snimljenim ehogramima.*

### Ključne reči:

Ultrazvučno ispitivanje, Austenitni čelici, Anizotropija, Slabljenje, Kalibracioni blok, Spremnost za upotrebu.

## ULTRASONIC TESTING OF AUSTENITIC STEELS WITH INCREASED ANISOTROPY

### Abstract

*The paper gives a short review of some problems arising at manual ultrasonic testing of fusion welded joints in austenitic steels. It is considered the influence of anisotropy of acoustical properties and increased attenuation on propagation of ultrasound waves. It means, for instance, that default range setting is no more valid when ultrasound starts to propagate through such a metal.*

*Practical solutions to these problems is the application of the calibration block with artificial reflectors of ultrasound for basic settings. It is given the drawing of such a block. However, it is also necessary the knowledge of anisotropic structure features for applied welding process. Examples of ultrasonic butt weld testing are given for small pipe diameters illustrated by taken echograms.*

### Key words:

Quality control, Austenitic steels, Anisotropy, Attenuation, Calibration block, Fitness-for-Service.

### UVOD

Evropski standardi koji se odnose na ručno ispitivanje zavarenih spojeva, EN 1712, EN 1713 i EN 1714 ograničavaju se na ispitivanje zavarenih spojeva dobijenih topljenjem metalnih materijala debljine veće ili jednake 8 mm (EN 1714) koji imaju malo slabljenje ultrazvučnih talasa (naročito slabljenje koje potiče od rasejanja talasa). Naglašava se da se standard EN 1714 primenjuje prvenstveno na zavarene spojeve koji su popunjeni i kod kojih su i metal šava i osnovni metal *feritni*. Napominje se i da brzine ultrazvuka treba da imaju odgovarajuće, standardne vrednosti za podužne (L) i poprečne (T) talase.

Poznato je da je ispitivanje austenitnih šavova složenije nego ispitivanje feritnih i priprema specifikacije za ovo ispitivanje otuda iziskuje više pažnje. Ona bi trebalo da uključi metalurge i, kada se radi o novom proizvodu, potrebno je poznavanje pojedinosti o izradi zavarenog spoja. Osoblje koje ispituje zavarene spojeve ovih čelika, smatra se da treba da bude izabrano između najboljih operatera sa nivoom 2 po EN 473 i sa dobrim iskustvom u ovoj oblasti. Veoma je korisno obratiti pažnju na izgled i oblik zavarenog spoja i opisati vidljive nepravilnosti ako ih ima, izgled korena šava, prisustvo zareza, geometrijska odstupanja zavarenih elemenata itd.

## SPECIFIČNOSTI ISPITIVANJA

Ispitivanje austenitnih šavova je specifično u prvom redu zbog toga što ova struktura stvara različite uslove za prostiranje ultrazvuka od onih koji postoje u feritnom metalu šava. U austenitnom šavu kristalna zrna često obrazuju uređenu stubičastu strukturu. Ova zrna su izdužena i nazivaju se dendriti. Ona obično počinju da rastu u pravcu normale na površinu šava. Zbog veličine, rasporeda i elastične anizotropije pojedinih zrna, dolazi do izražene anizotropije akustičnih osobina metala šava u celini. Ovakva struktura metala izaziva:

- veliko slabljenje ultrazvučnih talasa
- krivljenje snopa ultrazvučnih talasa
- zavisnost brzine ultrazvuka od pravca prostiranja i mesta u šavu.

Problemi ultrazvučnog ispitivanja austenitnih šavova su vezani za tehnologiju dobijanja osnovnog metala (valjanje, izvlačenje itd.), postupak zavarivanja, termičku obradu i hemijski sastav osnovnog i dodatnog metala. Zavisno od postupka zavarivanja dobija se metal šava sa različitim osobinama, tj. sa manje ili više izraženim efektima na prostiranje ultrazvuka.

Uticaj zrna na prostiranje ultrazvuka je veći ukoliko je zrno veće. Zrna u austenitnom šavu imaju veličinu uporedivu sa talasnom dužinom ultrazvuka i otuda izazivaju veliko rasejanje talasa, koje je dominantno u ukupnom slabljenju ultrazvuka. Na granicama zrna dolazi i do pretvaranja talasa (T u L i obrnuto), što povećava šum i daje lažne indikacije. Posledica je znatno veći šum nego pri ispitivanju feritnog šava. Otuda pri ispitivanju treba koristiti što kraći put talasa i naći pravac u šavu sa što manjim slabljenjem. U tome pomažu uzorci isečeni iz šava u različitim pravcima za ocenu efekata anizotropije. Osim toga, podesniji je uži snop talasa jer širi snop podrazumeva veću zapreminu u kojoj se rasejavaju talasi. Uži snop daje veći odnos korisnog signala i šuma.

Ispitivanjem uticaja pravca prostiranja ultrazvuka kroz austenitni šav, pokazano je da snop L talasa manje odstupa od prvobitnog pravca od T talasa polarizovanih u vertikalnoj ravni (TV). Sa ovog aspekta su podužni talasi podesniji za ovakvo ispitivanje od poprečnih. Kao posledica krivljenja snopa dolazi do promene širine snopa u njegovom poprečnom preseku zbog toga što se menja ugao snopa u odnosu na podužnu osu zrna, što pokazuje slika 1.

Prema tabeli 1, datoj za razmatrani primer sa slike 1, najveće širenje snopa je kada je ugao  $0^{\circ}$  ili  $90^{\circ}$  u odnosu na osu zrna, a najmanje je za ugao oko  $48^{\circ}$ . Profil snopa nije isti u osnovnom (austenitnom) metalu i austenitnom metalu šava. Ovo znači da određivanje veličine greške, zasnovano na poznavanju ugla širenja snopa za koji amplituda oslabi np. za 6 dB, postaje nesigurno. Može se dodati da je od značaja i ugao između talasnog fronta i ose zrna. U austenitnom metalu šava talasni front nije uvek normalan na pravac snopa kao u izotropnom metalu. Zbog toga efektivan pravac snopa (pravac u kome je gustina energije najveća) može da se razlikuje od nominalnog pravca snopa. Odbijanje od greške zbog toga je teže predvideti, jer np. nepovoljno orijentisana greška (za uobičajene uslove ispitivanja) može ipak da da velik eho u austenitnom šavu sa izraženom anizotropijom.

Anizotropija elastičnih osobina metala šava, kao što je poznato, znači da brzina prostiranja talasa zavisi od pravca, tačnije od ugla između fronta talasa i duže ose stubičasto poredanih zrna. Ovo može da se proveriti merenjem brzine u različitim pravcima, a rezultat izračunavanja za jako

orijentisan metal šava je dat na slici 2. Sa  $C_L$  je označena brzina L talasa, a sa  $C_{TH}$  i  $C_{TV}$  brzine T talasa polarizovanih u horizontalnoj odnosno vertikalnoj ravni, respektivno. Za ispitivanje *feritnih* čelika ugaonom sondom obično se koriste poprečni talasi polarizovani u vertikalnoj ravni (TV).

Prema slici 2 brzina  $C_L$  manje zavisi od pravca nego brzina  $C_{TV}$  i može da bude veća od 6000 m/s. Ovo znači da kalibracija vremenske baze (ispitnog opsega), mada urađena na uzorku ispitivanog austenitnog materijala, može da da pogrešnu udaljenost reflektora zavisno od pravca ispitivanja obzirom na pravac ultrazvuka pri kalibraciji i vrste talasa. Vidi se i da se brzina  $C_{TH}$  talasa TH menja manje sa uglom od brzine TV talasa, ali da ona ipak može da iznosi od 3000 m/s do 4000 m/s.

Značajne efekte pri ispitivanju austenitnog metala šava obično ima granica šava. To su:

❖ Odbijanje talasa

Odbijanje talasa zavisi, kao što je poznato, od upadnog ugla talasa i vrste talasa. Na granici šava se zbog razlike osobina osnovnog metala i metala šava dobija eho koji predstavlja lažnu indikaciju greške, osim ako se ona ne nalazi na tom mestu.

Treba se potsetiti i na odbijanje od ugla koji obrazuju donja (naspramna) površina ploče i granica šava. Odbijanje od ugla je izraženo za poprečne talase, naročito za TV talase; eho koji se pri tome dobija veći je od ehoa od cilindrične bočno zabušene rupe prečnika 2 mm, normalne na poprečni presek šava. Ovaj efekt je znatno manji za podužne talase i pri ispitivanju korena sučeonog šava treba biti obazriv ako se koriste TV talasi.

❖ Prelamanje talasa

Na granici šava dolazi do manje ili više izraženog prelamanja talasa koje je teško razlikovati od skretanja snopa zbog anizotropije metala šava.

❖ Pretvaranje (promena) vrste talasa

Pri kosom nailasku snopa na granicu šava treba očekivati promenu vrste talasa koja se sastoji u tome što se od upadnog talasa jedne vrste u opštem slučaju dobijaju i L i T talasi u pravcima različitim od pravca upadnog talasa, slika 3. Za ispitivanje austenitnih šavova sa izraženom anizotropijom podesni su L i horizontalno polarizovani T talasi (TH) zbog njihovog manjeg odstupanja od prvobitnog (upadnog) pravca u odnosu na TV talase. Ako je T talas upadni, pod određenim uslovima (upadni ugao od  $33^0$ ) se dobija i puzajući talas. Puzajući talas može da se primeni na ispitivanje korena sučeonog šava, jer se prostire uz naspramnu površinu, čime se izbegava uticaj površine korena šava.

Problem se ovde sastoji u tome što eho može da da jedna od dve vrste talasa sa različitim brzinama i pravcima i prema tome da bi se mogao dati odgovor na pitanje: odakle potiče eho i sa koje udaljenosti, potrebno je i dovoljno znanja i odgovarajuće iskustvo operatera. Za ovu svrhu se koristi triangulaciona tehnika ako se ispitivanjem sa obe strane sučeonog šava može dobiti eho greške.

Oblik ultrazvučnog impulsa menja se kroz ovakav austenitni metal. To se može ispitati upoređivanjem električnog impulsa koji daje sonda pošto je pobuđena električnim impulsom pobudnog generatora sa električnim impulsom koji ona daje pošto je pobuđena ultrazvučnim impulsom. Na ekranu osciloskopa se dobija raspodela amplitude impulsa u zavisnosti od frekvencije. Dužina impulsa se definiše u vremenskom domenu i izražava se delovima sekunda. Amplituda šuma povećava se sa dužinom impulsa. Osim toga, sa ispitnom frekvencijom se takođe povećava šum. Prema tome, za ispitivanje ovakvih materijala je povoljnija primena sonde sa nižom frekvencijom i kraćim impulsom.

Amplituda eha i DAC kriva su kod ispitivanja feritnih čelika kriterijumi za ocenu greške.

Kod ispitivanja anizotropnog metala šava zbog krivljenja, a naročito sužavanja snopa, eho istog reflektora ima karakteristiku slučajno promenljive veličine. Za ilustraciju se može navesti da visine ehoa od bočno zabušenih rupa jednakih prečnika mogu da se razlikuju za 10 dB. Otuda primena amplitude pri oceni nepravilnosti u ovom slučaju je praćena većim teškoćama. Obzirom da se uticaj različitih struktura šava još ispituje i da nema dovoljno podataka, za ocenu veličine i značaja ovog uticaja korisni su kalibracioni i referentni blokovi. U ovoj oblasti ima mnogo otvorenih pitanja pored ostalog i zahvaljujući velikom broju vrsta šavova, kome treba dodati i različite pozicije zavarivanja. U prvoj fazi izučavani su uglavnom šavovi sa dobro uređenim rasporedom zrna, a znatno manje šavovi sa izraženijom slučajnom orijentacijom zrna, kao što su šavovi dobijeni MIG postupkom zavarivanja. Ovo iskustvo je dalo zaključak da smanjenje zapremine metala šava ima

povoljan uticaj na smanjenje krivljenja snopa itd. Otuda sa gledišta ovog ispitivanja uzani šavovi imaju prednost, kao i šavovi jednostavne geometrije, jer uzani šavovi nisu uvek podesni ni primenljivi.

Pored poznatih kalibracionih blokova 1 i 2, za određivanje karakteristika sonde i njihovo upoređivanje u pojednostavljenim uslovima, koriste se referentni blokovi od austenitnog materijala, kao na slici 4. Blok ima bočno zabušene rupe na navedenim dubinama od donje površine i pravougaone zareze na gornjoj površini navedenih dubina. Prečnici rupa su 3 mm, što omogućava primenu nižih učestanosti.

Primena kriterijuma pogodnosti za upotrebu (fitness-for-purpose, [9]) na ispitivanje austenitnih šavova je teško ostvarljiva, jer je iz navedenih razloga praktično onemogućeno precizno određivanje visine nepravilnosti u pravcu debljine šava i otežano je određivanje njene prirode. Ipak, u nekim slučajevima može da bude potrebno samo da se ispitaju oblasti uz unutrašnju i spoljašnju površinu u skladu sa ocenom njihovog značaja koju daje mehanika loma. Primenljivost nekih tehnika koje su korisne u slučaju nepravilnosti u unutrašnjosti feritnih šavova ili nepravilnosti normalnih na površinu [7-9], treba proveriti. Iz navedenih razloga može se, kao korisna, preporučiti primena drugih metoda, kao radiografije, a u skladu sa standardima EN 1712: 1997, EN 1713: 1998 i EN 1714: 1997, koji se odnosi na ultrazvučno ispitivanje zavarenih spojeva feritnih čelika. Tako EN 1713:1998 navodi da se u slučaju bilo kakve sumnje pored ostalog trebaju primeniti druge metode, kao radiografija.

## **ISPITIVANJE SUČEONOG RADIJALNOG ŠAVA**

Ispitani su sučeono zavareni spojevi na dve cevi: šavnoj, spoljašnjeg prečnika 48,3 mm i bešavnoj, spoljašnjeg prečnika 36 mm.

Primenjen je digitalan ultrazvučni instrument i ispitna sonda za ugao  $70^{\circ}$  u feritnom čeliku i učestanost 4 MHz.

Sonda ima dodatak od pleksi stakla za prilagođenje spoljašnjem radijusu krivine cevi u reformeru (pik-tajlovi) i lepilo za tapete kao kontaktno akustičko sredstvo.

Za veću cev (čelik tipa 304) debljine zida 3 mm, odskočna udaljenost iznosi:

$$p_1 = 2 \times 3 \times \text{tg}70^{\circ} = 16,5 \text{ mm}$$

Za manju cev (čelik tipa 316) debljine zida 2 mm, odskočna udaljenost iznosi:

$$p_1 = 2 \times 2 \times \text{tg}70^{\circ} = 11 \text{ mm}$$

Podešavanja instrumenta izvršena su na kraju cevi zbog male debljine zida: ispitni opseg 100 mm, pojačanje 44 dB, potiskivanje 15% i za brzinu T talasa je usvojeno da iznosi 3226 m/s, što je nešto manje od vrednosti u literaturi (po Krautkrämeru). Zbog male debljine zida i malih dimenzija šava, zanemaren je zahtev određivanja položaja eventualnih nepravilnosti u šavu (tj. ispitivanje treba samo da otkrije prisustvo nepravilnosti).

Eho od spoljašnje (gornje) ivice zida veće cevi je dobijen na udaljenosti prednje ivice sonde od kraja cevi  $PR = 20,9$  mm, stvarna dužina puta  $S = 35$  mm (dve odskočne udaljenosti) i dubina reflektora  $D = 0$  mm (mereno od spoljašnje površine), što je prikazano na slici 5.

Eho od unutrašnje (donje) ivice zida cevi je dobijen na udaljenosti  $PR = 12,8$  mm,  $S = 26,4$  mm (jedna i po odskočna udaljenost) i  $D = 3$  mm, slika 6.

Ispitivanjem su nađene dve nepravilnosti u korenu šava:

- nepravilnost 1 je nađena sa strane 1 šava, slika 7 i sa druge strane 1a šava, slika 8. Dužina nepravilnosti po obimu šava je oko 3,5 mm (primenjen je standardni metod određivanja).
- nepravilnost 2 je nađena sa strane 2 šava, slika 9 i sa druge strane 2a šava, slika 10. Pošto je razlika ovih pojačanja manja od 9 dB, nepravilnost (očigledno) nije ravanska [10]. Veći eho u oblasti blende potiče od dela snopa sa upadnim uglom manjim od  $70^{\circ}$ . Dužina nepravilnosti je oko 5,5 mm.



Ovi nalazi su provereni vizuelnom kontrolom. Izmeren je i sadržaj  $\delta$  - ferita; u šavu on iznosi 3,6% - 3,9%, dok u osnovnom materijalu iznosi samo 0,4% (što je blisko vrednosti za “stak 1” – austenitni čelik za cevovode za pogon uree, odnosno TP 316L). Izgled zavarenog spoja ukazuje na znatno pregrevanje materijala pri zavarivanju.

Ispitivanjem manje cevi nisu nađene nepravilnosti u šavu. Ispitni opseg i pojačanje, kao i potiskivanje, isti su kao za veću cev.

Eho od spoljašnje (gornje) ivice zida manje cevi vidi se na slici 11.

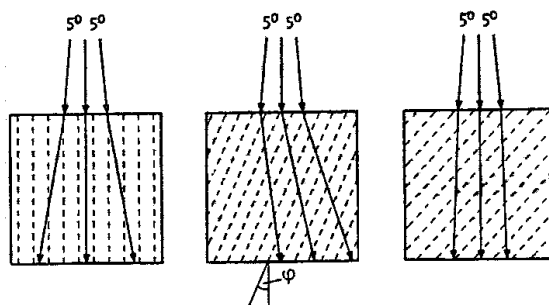
Eho od unutrašnje (donje) ivice zida manje cevi vidi se na slici 12.

Sadržaj  $\delta$  - ferita u osnovnom materijalu je takođe 0,4%, a u metalu šava on iznosi 2,4% - 3,8% . Konstatovano je pregrevanje materijala i kod ove cevi.

## ZAKLJUČAK

Ispitivanje navedenih austenitnih materijala male debljine ne predstavlja problem ako se zahtevi ispitivanja ograniče samo na otkrivanje prisustva nepravilnosti u šavu, jer je dužina puta ultrazvuka kroz metal šava mala, pa su mali i efekti austenitne strukture šava (deformacija i skretanje snopa, kao i slabljenje ultrazvučnih talasa). Ovi efekti u osnovnom materijalu pogotovo ne dolaze do izražaja, što je potvrđeno drugim ispitivanjima cevi za fabriku za proizvodnju karbamida (urea), izrađenih od austenitnog čelika tipa “stak 1”, gde je međutim dolazilo da takvog odbijanja T talasa od granice šava, da ispitivanje nije bilo moguće T talasima..

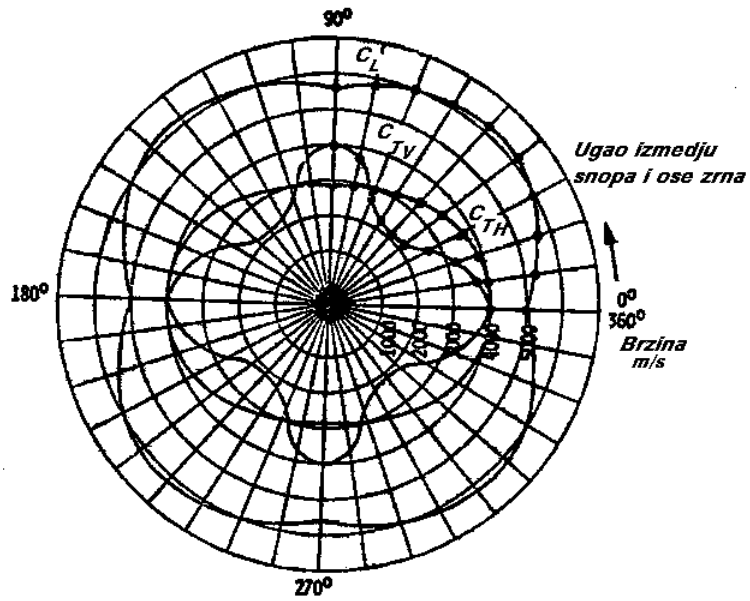
## DODATAK



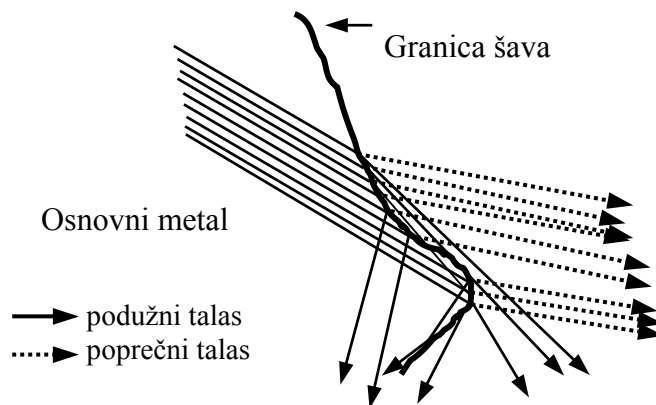
**Slika 1. Promena širine snopa zbog krivljenja snopa (podužni talasi)**

**Tabela 1. Podaci o promeni širine snopa usled krivljenja snopa**

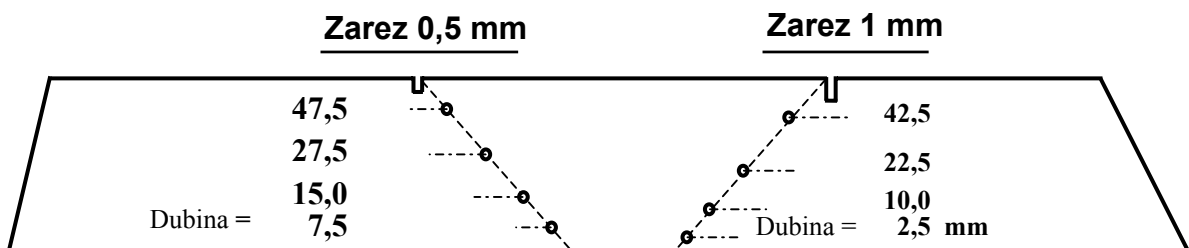
Ugao između snopa i pravca zrna ( $\varphi$ )	$0^{\circ}$	$24^{\circ}$	$48^{\circ}$
Ugao krivljenja	$0^{\circ}$	$12^{\circ}$	$0^{\circ}$
Divergencija snopa	Velika	Srednja	Mala
Brzina prostiranja	mala	srednja	velika



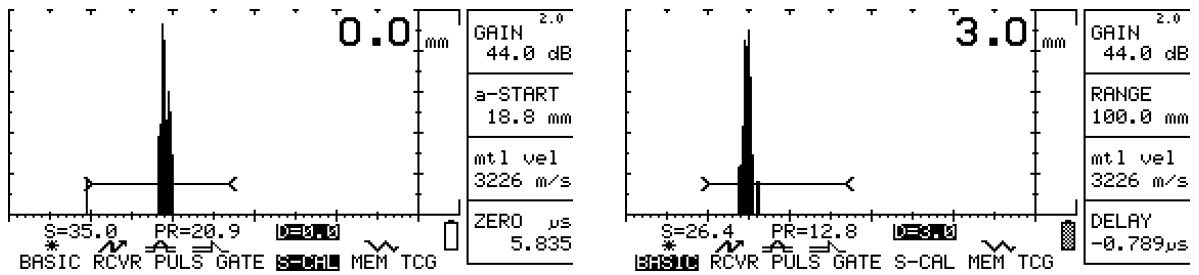
Slika 2. Zavisnosti brzina tri vrste ultrazvučnih talasa ( $C_L$ ,  $C_{TH}$  i  $C_{TV}$ ) od ugla u jako orijentisanom austenitnom metalu šava



Slika 3. Promena vrste talasa na granici šava

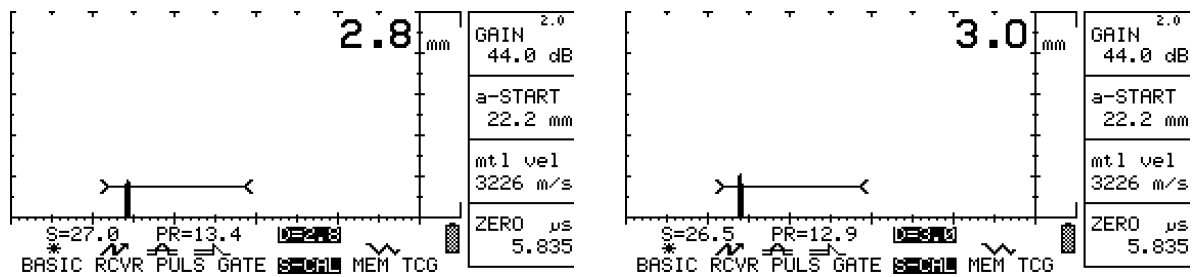


Slika 4. Referentni blok za proveru karakteristika sondi



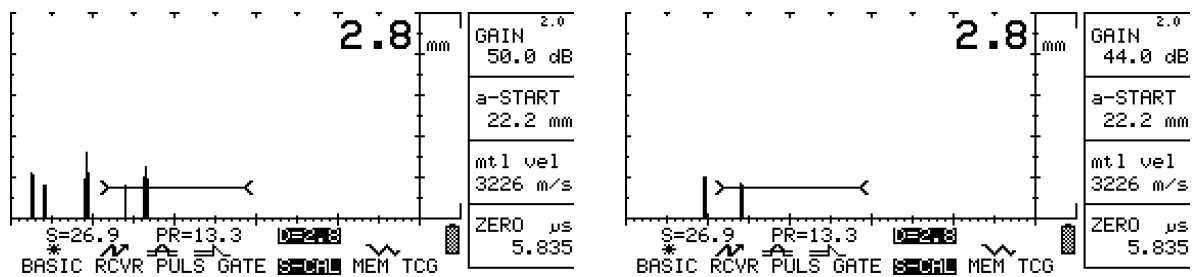
Slika 5 (levo). Eho od spoljašnje (gornje) ivice zida veće cevi.

Slika 6 (desno). Eho od unutrašnje (donje) ivice zida veće cevi.



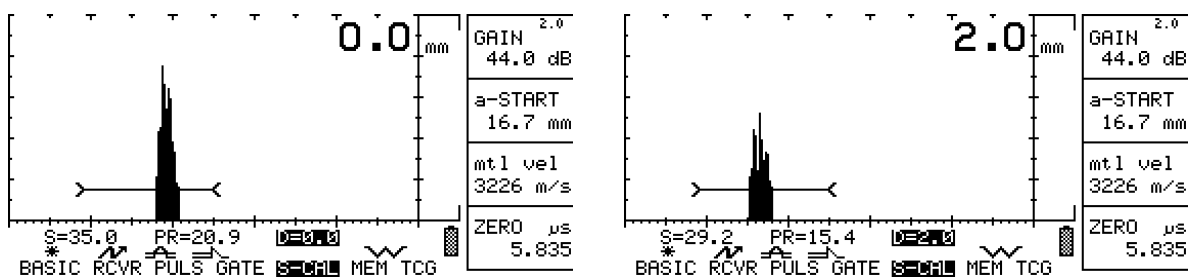
Slika 7 (levo). Eho od nepravilnosti 1, ispitna strana 1.

Slika 8 (desno). Eho od nepravilnosti 1, ispitna strana 1a.



Slika 9 (levo). Eho od nepravilnosti 2, ispitna strana 2.

Slika 10 (desno). Eho od nepravilnosti 2, ispitna strana 2a.



Slika 11 (levo). Eho od spoljašnje (gornje) ivice zida manje cevi (šest prolaza).

Slika 12 (desno). Eho od unutrašnje (donje) ivice zida manje cevi (pet prolaza).

## Zahvalnost

Autor izražava zahvalnost dr Aleksandru Sedmaku vanr. prof. Mašinskog fakulteta u Beogradu i dr Biljani Grujić iz LOLA Korporacije, Beograd, na korisnim diskusijama u vezi rada i eksperimentalnim uzorcima dobijenim za ovaj rad.

Eksperimentalan deo rada obavljen je u službi KKOM DP HIP Azotara početkom 2002. godine.

## LITERATURA

1. J. und H. Krautkrämer, Werkstoffprüfung mit Ultraschall, 3. neubearbeitete Auflage Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York 1975.
2. M. Kirić, Materijali sa predavanja za kurs za inženjere zavarivanja po programu EWF, Beograd, 2002. god.
3. EN 12062 Non-destructive examination of welds - General rules for metallic materials
4. EN 1330-4 NDT - Terminology - Part 4: Terms used in ultrasonic testing
5. Handbook on the Ultrasonic Examination of Austenitic Welds, Doc. IIW-836-85, Commission V, The International Institute of Welding, Edition 1985
6. EN 1714: Nondestructive testing of welds – Ultrasonic testing – Ultrasonic testing of welded joints
7. M.Kirić, A.Bлагоjević i D.Dobraš, Ispitivanje tehnikom difrakcije ultrazvuka, Savetovanje sa međunarodnim učešćem "IBR 2000", Srpsko društvo za ispitivanje bez razaranja (SDIBR), Zbornik, 71-74, Zlatibor 2000.
8. M.Kirić i A.Fertilio, Analiza dopuštenih ravanskih grešaka za posude pod pritiskom, Ibid 7, 74-77.
9. M.Kirić i A.Fertilio, Ocena zavarenih spojeva ultrazvukom prema kriterijumima kontrole kvaliteta i mehanike loma (Ultrasonic assessment of welded joints against quality control and fracture mechanics criteria), Zavarivač, Vol. 40, No 3/1995, 209-223.
10. M.Kirić i N.Kačarević, Novi evropski standardi za ultrazvučno ispitivanje zavarenih spojeva, Savetovanje sa međunarodnim učešćem "IBR 2002", Srpsko društvo za ispitivanje bez razaranja (SDIBR), Zbornik (u štampi), Tara novembra 2002.



## PRIJEMNA KONTROLA VREĆA ZA PAKOVANJE VEŠTAČKOG ĐUBRIVA

Mirko Stojsavljević, dipl.ing, Dragana Jakovljević, dipl.ing.  
DP "HIP-Azotara" Pančevo

### Rezime

*Proizvod je odavno prestao da bude, sam po sebi, dovoljan da obezbedi zadovoljstvo kupca. On mora da bude, zahvaljujući pravilnom pakovanju, očuvan u određenom roku, lak za manipulisanje, prepoznatljiv, obeležen odgovarajućim podacima i sl.*

*Veći deo reklamacija kupaca veštačkog đubriva u prethodnim godinama se odnosio na kvalitet vreća nego na kvalitet upakovanog proizvoda. Pažljiva prijemna kontrola bitno umanjuje reklamacije kupaca što donosi pozitivne finansijske efekte kako proizvođačima đubriva tako i proizvođačima ambalaže.*

### Ključne reči:

Prijemna kontrola, industrijske vreće, proveravanje kvaliteta, fizička svojstva plastike

## THE ACCEPTION CONTROL OF SACKS FOR FERTILIZER PACKING

### Summary

*Iz has been a long time since the product itself was enough to satisfy the buyer. The product has to be properly packed, well kept during a certain period, easy to handle, individualized, worked with the necessary data, etc.*

*The majority of the bayers complaints were about the quality of the sacks and not about the product quality. Careful acception control reduces the number of the bayers complaints, which brings positive financial effects, both to the fertilizer and sack manufacturers.*

### Keywords:

Industrial sacks, quality control, physical proprety of plastic

## UVOD

Veštačko đubrivo se pakuje u količini od 50 kg u vreće od polietilena, za transport kopnenim putem. Prekomorski transport ima svoje posebne, dodatne, uslove koji se u ovom radu neće razmatrati.

Specifičnosti koje mora da zadovolji ova vrsta pakovanja su surovi uslovi kojima je proizvod izložen do momenta krajnje upotrebe (bacanje na njive, aerodromske piste, kao stočna hrana itd).

U prethodnim godinama brojnije su bile reklamacije kupaca na kvalitet pakovanja, tj. prosipanje, nego na sam upakovan proizvod. U cilju smanjenja broja reklamacija, dakle povećanje zadovoljstva kupaca, smanjenja negativnih finansijskih efekata i poboljšanja ugleda firme jedna od mera je bila i rad na poboljšanju kvaliteta pakovanja.

## PREISPITIVANJE TEHNIČKOG DELA UGOVORA

Polazna tačka u ostvarivanju zadatog cilja bila je preispitivanje ugovora sa dosadašnjim dobavljačima, obilazak njihovih proizvodnih pogona, uspostavljanje saradnje i pooštavanje uslova kontrole kvaliteta.

Obilaskom proizvođača i uvidom u njihovu opremu, uslove rada i sisteme kvaliteta uočene su određene slabosti. Kod većine se kontrola svodila na provere koje su bitne za odvijanje sopstvenog proizvodnog procesa, na retke međufazne kontrole i grubu završnu kontrolu bez zapisa.

Aparature i uređaji za ispitivanje mehaničkih osobina i merna oprema, osim kod časnih izuzetaka, ili nije postojala ili se nalazila neraspakovana od kako je dobijena zajedno sa opremom za proizvodnju vreća! Razlozi za ovo su mnogobrojni a mora se, međutim, priznati da niko od njih (proizvođača) i nije do tada tražio neku naročitu strogost u pogledu kvaliteta.

Ovo je bio razlog da, uz razumevanje samih proizvođača, preispitamo naše ugovore. Početak je bio utvrđivanje uslova koje će DP "HIP-Azotara" tražiti od svih proizvođača. Ti uslovi su dati u "Proceduri kontrole kvaliteta vreća od plastične mase" koja se primenjuje u DP "HIP-Azotara". Ova procedura nije izrađena kao jednostavna prijemna kontrola koja će samo primati ili odbacivati robu koja dolazi u magacine imajući u vidu da se radi o količinama od nekoliko miliona komada. Zato se u problem ušlo od samog početka, tj. od sirovina za proizvodnju. Bili smo svesni toga da su ovakvu proceduru morali prvenstveno da sačine sami proizvođači u svojoj utakmici za tržište koje ne čini samo "Azotara" kao kupac, ali više nismo mogli da čekamo.

Proučeno je oko 110 JUS-eva iz ove oblasti i izabrani su oni koji se odnose na najbitnije elemente a čija su baza JUS G.E4.110 (Otvorene industrijske vreće od visokotlačnog polietilena) i JUS G.E4.111 (Uzimanje uzoraka i proveravanje kvaliteta vreća iz plastičnih masa). Svi detalji za koje su ovi standardi tražili da se "predvide sporazumom između kupca i prodavca" su precizirani u navedenoj proceduri. To su npr. mere sa dozvoljenim odstupanjima, dizajn, određena metoda ispitivanja bacanjem, otvori za ventilaciju, postojanost prema svetlosti, rok upotrebe, način skladištenja itd. Neki od ovih elemenata se u dosadašnjoj saradnji nisu ni pominjali.

Svakom ugovoru ili zahtevu za ponudu je pridodata ova procedura i svaki proizvođač tačno zna šta će se od njega tražiti kao minimum kvaliteta.

## **BITNI ELEMENTI "PROCEDURE KONTROLE KVALITETA ..."**

- Navedeni su osnovni standardi koji će se primenjivati u okviru kontrole.
- Od potencijalnog proizvođača se zahteva da dostavi svoj plan kontrole i ostavlja se mogućnost da "Azotara" po svom nahođenju prisustvuje određenim fazama.
- Dat je izgled prednje i zadnje strane vreće sa preciznim merama i tekstom koji je usklađen sa zakonskim propisima iz ove oblasti.
- Ostavljeno je mesto predviđeno za oznaku proizvođača vreća sa brojem serije i datumom proizvodnje. Interesantno je da se određeni broj proizvođača ovome protivio, što nama nije bilo shvatljivo. Ovakvo obeležavanje ima svoje nesumnjive prednosti:
  - reklamu za samog proizvođača jer se proizvod koji je upakovan u njihovu vreću prodaje širom Jugoslavije,
  - mogućnost da proizvođač kontroliše svoj proizvod (da utvrdi odgovornost svog osoblja za eventualne nedostatke),
  - smanjenje potencijalnih zloupotreba.
- Od proizvođača se zahteva da obezbedi i čuva dizajn i preduzme mere koje će onemogućiti neovlašćenu upotrebu.

## **OSNOVNA KONTROLA KVALITETA**

- Kontrola počinje od sirovina čiji kvalitet proizvođač dokazuje odgovarajućim atestima ali i reatestacijom koju sam sprovodi i dokumentuje.
- Kontrola fizičkih svojstava folije od koje se izrađuju vreće (ispitivanjima sa i bez razaranja).
- Kontrola vara na dnu vreće.
- Otpornost prema cepanju.
- Otpornost prema probijanju.
- Kontrola kvaliteta štampe.

Sve kontrole moraju biti dokumentovane i priložene uz svaku isporuku, kako bi bile uzete u obzir prilikom prijemne kontrole. Kod ispunjenja ovog zahteva proizvođači su shvatili potrebu obeležavanja koja je navedena u poglavlju "Bitni elementi ...".

Kada su svi ovi zahtevi ispunjeni tj. uz prispele vreće dostavljena i odgovarajuća dokumentacija onda je posao prijemne kontrola znatno olakšan.

## **PROBLEMATIKA PROIZVOĐAČA VREĆA**

Retko koji proizvođač ispunjava sve uslove iz ugovora. O opravdanosti ili neopravdanosti ovoga neće se dalje raspravljati jer je to predmet rasprave pre prihvatanja ugovora.

Treba napomenuti da su metode za kontrolu ovih proizvoda relativno jednostavne a oprema nije preterano skupa. Veći je možda problem u obezbeđenju odgovarajućih prostorija i obezbeđenju uslova kondicioniranja atmosfere prilikom ispitivanja kao i obučenog osoblja.

Karakteristično je da ni jedan proizvođač ne uspeva da savlada zahtev iz JUS G.E4.110 tačka 5.15 koji zahteva "otpornost na probijanje 600g / 0.2mm sa visine pada 66 cm". Uvidom u stanje isporuka, više godina unazad, i razgovorom sa svim proizvođačima sa kojima saradjujemo, uočili smo da ovaj zahtev nije ispunjen. Nije nam poznato da li postoji neka saradnja proizvođača vreća i proizvođača sirovina da se pomenuti standard (iz 1972. godine!) promeni ili da se problem na neki drugi način prevaziđe.

Za pohvalu su i ideje koje sami proizvođači razrađuju u cilju kontrole kvaliteta sopstvenog proizvoda. Tako većina njih primenjuje jednostavnije raspoložive metode uz strože uslove od zahtevanih (npr. ispitivanje otpornosti bacanjem) da bi nadoknadili one koje ne obavljaju. Pojedini proizvođači su razvili metodu ispitivanja pritiskom, tako što zavare oba kraja vreće, ali te metode nisu dokumentovane što znači da nisu ni ozvaničene.

Karakterističan je problem otvora za ventilaciju, koji su predviđeni kao mogućnost u standardu, a koji znatno olakšavaju proces punjenja vreća i kasnije sprečavaju pucanje i klizanje naslaganih vreća. Ove otvore nije ni jedan proizvođač ponudio kao svoju prednost niti ih je izvodio na svojim vrećama. Tek na izričit zahtev kupca, koji je uslovio narudžbu, proizvođači su pristali da ih "ugrađuju" i sada ih svi primenjuju na zadovoljstvo kupca.

Proizvođačima nisu nepoznati metodi za sprečavanje klizanja naslaganih vreća ali ih još nije ponudio i tako, možda, stekao određenu prednost u odnosu na konkurenciju.

### **PROBLEM PRIJEMNE KONTROLE**

U roku od ukupno 8 dana za reklamaciju jedne isporuke robe (gde je kontrola u tehničkom smislu samo jedan deo procesa prijema) prijemna kontrola mora dozvoliti ili odbaciti upotrebu, na dokumentovan način, nekoliko stotina hiljada komada vreća različite namene, različitih proizvođača, od različitih sirovina.

Prethodno valjano i dokumentovano ispitana roba od pouzdanog dobavljača znatno olakšava i ubrzava posao, što je i krajnji cilj i proizvođača i kupca. Još uvek se, na našu žalost, i obostranu štetu, mada ređe, dešava da se kontrola vrši kao krajnja operacija (kod proizvođača) i prijemna kontrola kod kupca koja lovi "škart" proizvode i odbacuje nekad i celu isporuku zbog toga.

### **ZAKLJUČAK**

Proizvođači vreća moraju biti mnogo preduzimljiviji u pogledu obezbeđenja kvaliteta svog proizvoda. Već je naglašeno da inicijativa za poboljšanje kvaliteta, poštovanje ili izmenu postojećih standarda, pa i za razvojem proizvoda, potiče od kupca umesto da ih u oštrim tržišnim uslovima nude sami proizvođači.

Poštovanje određenih zakonskih normi takođe je nametnuto od strane kupca ("Azotare") a i inicijativa za razvojem proizvoda takođe.

Primenom izmenjenih ugovora i insistiranjem na poštovanju prihvaćenih normi u "Azotari" se znatno smanjio broj reklamacija.



10

## FRAKTOGRAFSKA ANALIZA POVRŠINE PRELOMA ZONE UTICAJA TOPLOTE

Katarina dr Gerić, docent, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

### Rezime

*Cilj rada je bio da se odredi mehanizam oštećenja zasnovan na izgledu prelomne površine i mikrostrukture zone uticaja toplote zavarenog spoja čelika povišene čvrstoće. Različiti mehanizmi loma su posledica heterogene mikrostrukture zone uticaja toplote zavarenog spoja, čije bolje razumevanje može da smanji rizik od oštećenja.*

### Ključne reči:

fraktografska ispitivanja, zona uticaja toplote

## FRAC TOGRAPHY AS RELATED TO MICROSTRUCTURE OF HEAT- AFFECTED-ZONE

### Abstract

*The purpose of this paper is to determine the mechanisms of failure based on appearance of the fracture surface and the microstructure of the heat affected zone of high strength steel welded joint. Various mechanisms of fracture are based on heterogeneous microstructure. The increased understanding of micro mechanisms of fracture can help to minimize the risk of failure.*

### Key words:

fractographic analysis, heat affected zone

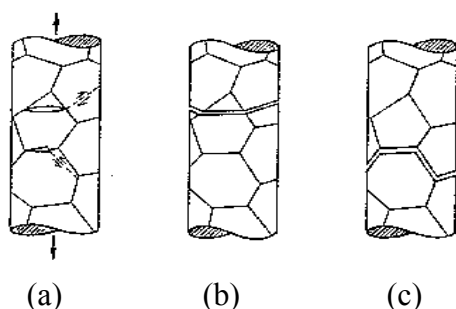
### UVOD

Bez obzira na velike napore inženjera konstruktora i specijalista za materijale, i uprkos dobro promišljenim procedurama koje se koriste za osiguranje i kontrolu kvaliteta, delovi mašina se ipak povremeno lome u toku eksploatacije. Fraktografska ispitivanja često predstavljaju dominantnu aktivnost pri analizi loma metalnih delova i konstrukcija /1/. Jedan od ciljeva fraktografije je da rasvetle uticaj različite mikrostrukture na osobine loma.

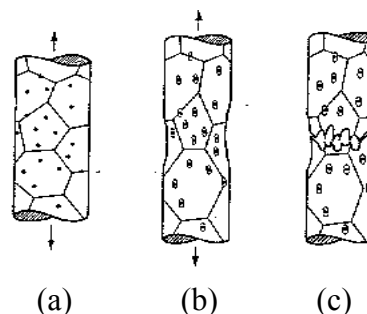
Makrofraktografski pregled se obavlja golim okom ili skening mikroskopom, ali sa malim uvećanjem. Mikrofraktografski pregled koji se obavlja skening elektronskim mikroskopom je dopuna makrofraktografskom, radi utvrđivanja mehanizma loma i povezanost mikrostrukture materijala i mikromehanizma loma. Tako metalograf treba da sprovede istragu da bi odredio mehanizam loma zasnovan na izgledu površine preloma i mikrostrukтури delova koji su se polomili.

Makrofraktografski pregled se obavlja golim okom ili skening mikroskopom, ali sa malim uvećanjem. Mikrofraktografski pregled koji se obavlja skening elektronskim mikroskopom je dopuna makrofraktografskom, radi utvrđivanja mehanizma loma i povezanost mikrostrukture materijala i mikromehanizma loma. Tako metalograf treba da sprovede istragu da bi odredio mehanizam loma zasnovan na izgledu površine preloma i mikrostrukтури delova koji su se polomili.

Makroskopske karakteristike dva osnovna mehanizma loma: duktilnog i krtog su vidljive na šemi, sl.1 i sl. 2.



Slika 1. Mehanizam cepanja a) stvaranje prsline, b) transkristalno cepanje i c) interkristalno cepanje



Slika 2. Mehanizam duktilnog loma a) zatezanje b) stvaranje šupljina c) duktilni lom

Cepanje (cleavage) se javlja u prostorno centriranim i heksagonalnim metalima i povezano je sa velikom brzinom opterećenja i niskim temperaturama. Zbog svoje kristalografske prirode, površine loma nastale cepanjem su glatke, sjajne površi. Prslina je uglavnom ravna i leži normalno na osu opterećenja ili neznatno menja svoju orijentaciju kada prolazi kroz granice zrna, zato što prslina prati orijentaciju {100} u čeliku. U nekim slučajevima mnoge male, paralelne prsline mogu da se obrazuju sa stepenicama cepanja. Ove stepenice se spajaju i obrazuju karakterističnu rečnu šaru koja se vidi pri cepanju polikristalnog metala.

Duktilni lom nastaje na uključcima. Stvaraju se mikrošupljine oko uključaka koje se spajaju i stvaraju mikroprslinu, sl. 2.

Cilj ovog rada je da opiše različite mehanizme preloma u zoni uticaja toplote zavarenog spoja čelika povišene čvrstoće i da poveže identifikovanu morfologiju loma i mikrostrukturni izgled svojstven svakom od njih.

## MATERIJAL I ISPITIVANJE

Fraktografska ispitivanja su izvedena na sitnozrnom čeliku povišene čvrstoće, dobijenog termomehanički kontrolisanim valjanjem, mikrolegiranog vanadijumom. Hemijski sastav čelika dat je u tab. 1, a mehaničke osobine u tab. 2.

Tabela 1. Hemijski sastav čelika

C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Cr	Ni	Mo	V
0,20	0,51	1,42	0,020	0,010	0,018	0,035	0,018	0,574	0,017	0,180

Tabela 2. Mehaničke osobine

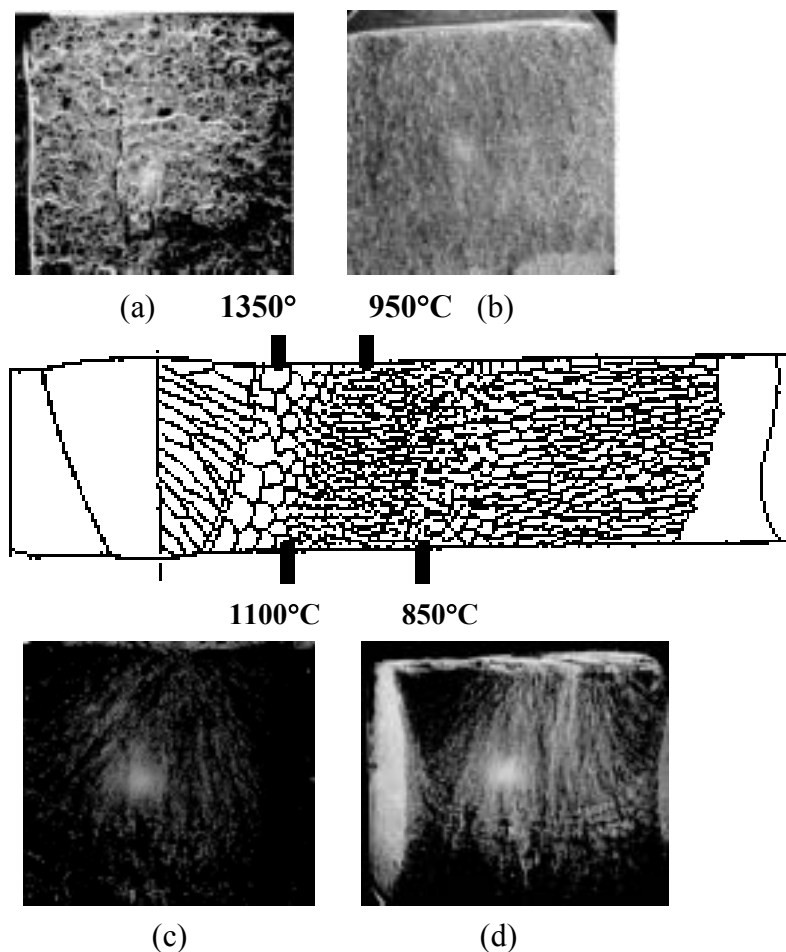
Napon tečenja, MPa	Zatezna čvrstoća, MPa	Izduženje, %	Energija udara, J	Tvrdoća, HV5
490	720	17,0	130,2	262

Mikrostruktura različitih područja zone uticaja toplote simulirana je na uređaju Smithweld LS1402 na Institutu za zavarivanje i ispitivanje materijala u Temišvaru, Rumunija, programiranim zagrevanjem i hlađenjem. Uzorci dimenzije 11 x 11 x 60 mm su izloženi različitim temperaturama: 1350°C, 1100°C, 950°C i 850°C, koje odgovaraju području grubog zrna, sitnog zrna i delimične transformacije u području između  $A_{c1}$  i  $A_{c3}$  temperatura transformacije čelika. Programirano hlađenje u temperaturnom intervalu između 800°C i 500°C je trajalo 15 s. Osim uzoraka sa simuliranim zavarivanjem ispitani su i stvarni, ručno-elektrolučno zavareni uzorci.

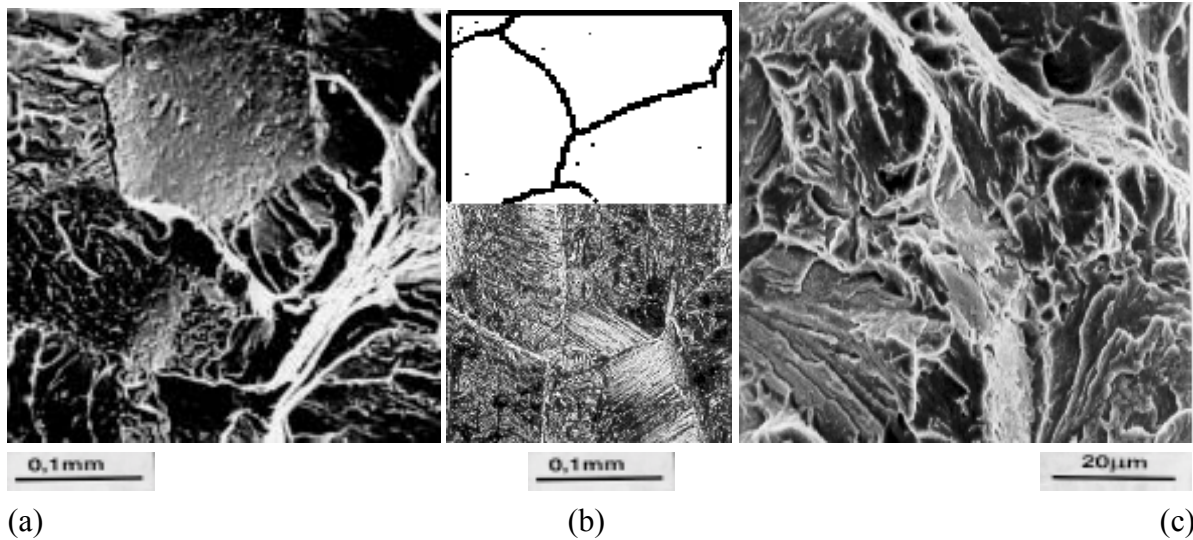
Površina preloma uzoraka polomljenim udarnim opterećenjem, šarpijevim klatnom /2/, je fraktografski analizirana skening elektronskim mikroskopom, JEOL35, sa radnim naponom 25 kV.

## REZULTATI ISPITIVANJA

Na sl. 3 je prikazana šema zavarenog spoja sa područjima koji odgovaraju temperaturama simulacije. Makroispitivanjem, sl. 3 se mogu videti osnovne karakteristike loma. Prelom je sa ravnom površinom, bez tragova deformacije. Plastična deformacija površine preloma se uočava kod simulacije na 850°C, sl. 2d.

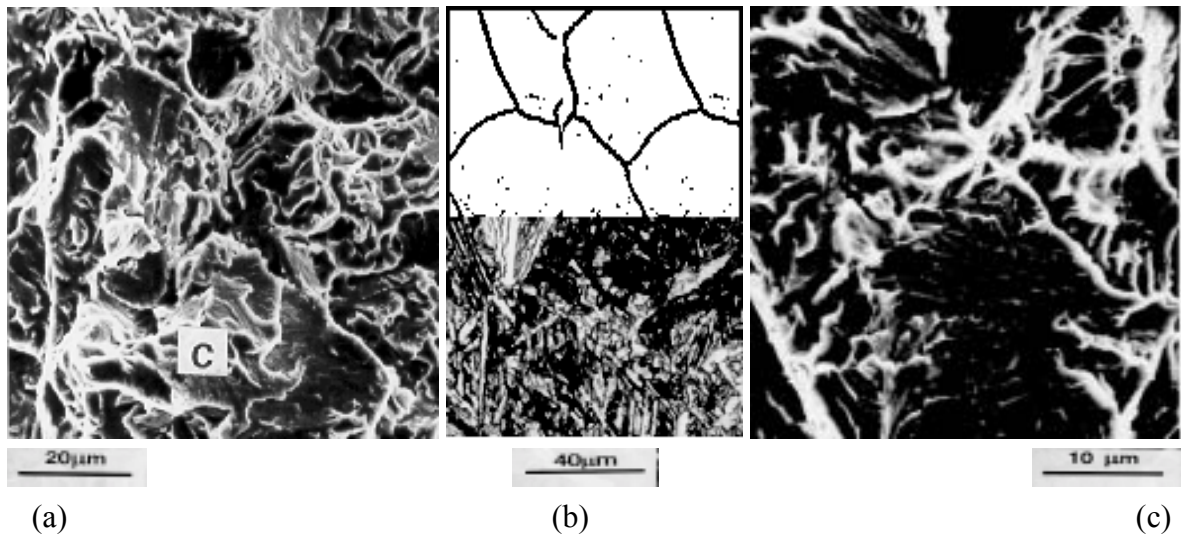


Slika 3. Šema zavarenog spoja i zone uticaja toplote, sa makrofraktografijama uzoraka zagrevanih na a) 1350°C, b) 1100°C, c) 950°C i d) 850°C (uvećanje 10x)



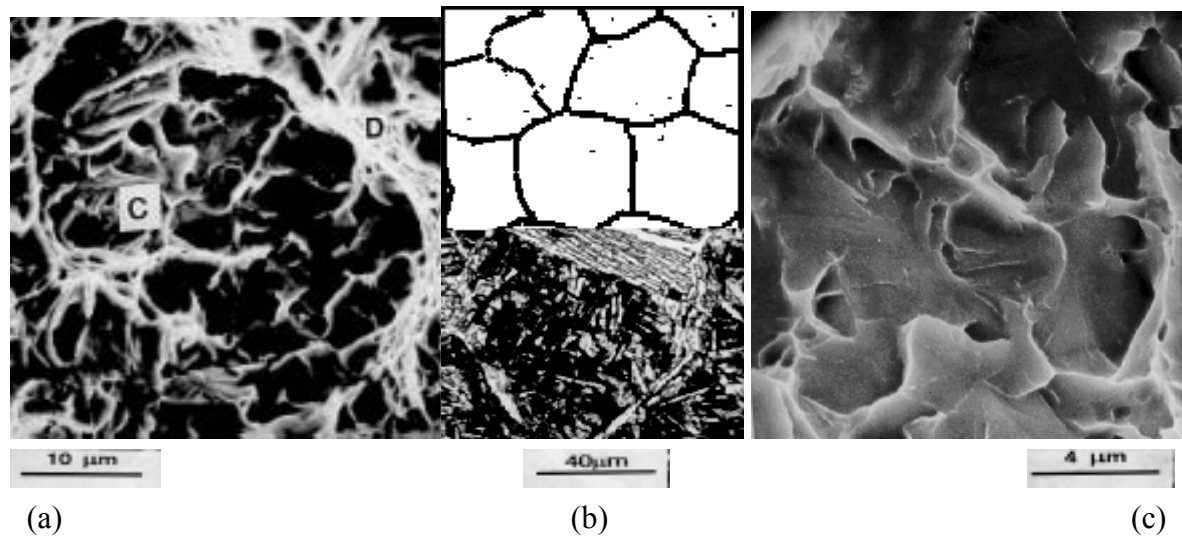
Slika 4. Fraktografska analiza površine preloma uzorka simuliranog na 1350°C, a) ravne pljosni cepanja, b) mikrostrutura i šema veličine zrna c) uvećane ravni cepanja

Za uzorke simulirane na 1350°C, mikrofraktografska analiza ukazuje na izrazito krta lom, cepanjem, jer je došlo do velikog porasta austenitnog zrna u gruboznoj zoni uticaja Pljosni cepanja su veličine i do 0,1 mm, pod uglovima sa izraženim rečnim šarama, sl. 4. Veličina pljosni cepanja približno odgovara veličini zrna.



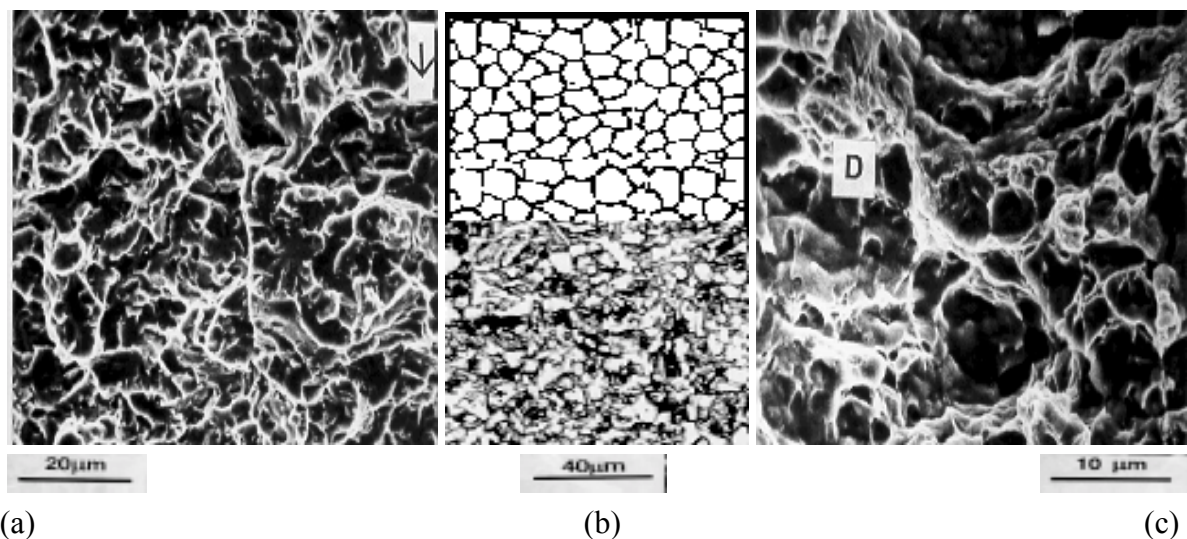
Slika 5. Fraktografska analiza površine preloma uzorka simuliranog na 1100°C a) krta lom (C), b) mikrostrutura i šema veličine zrna c) uvećane krta površina (C)

Za uzorke simulirane na 1100°C. površina preloma je krta, ali sa sitnijim površinama cepanja koji nisu pod velikim uglovima, sl. 5.



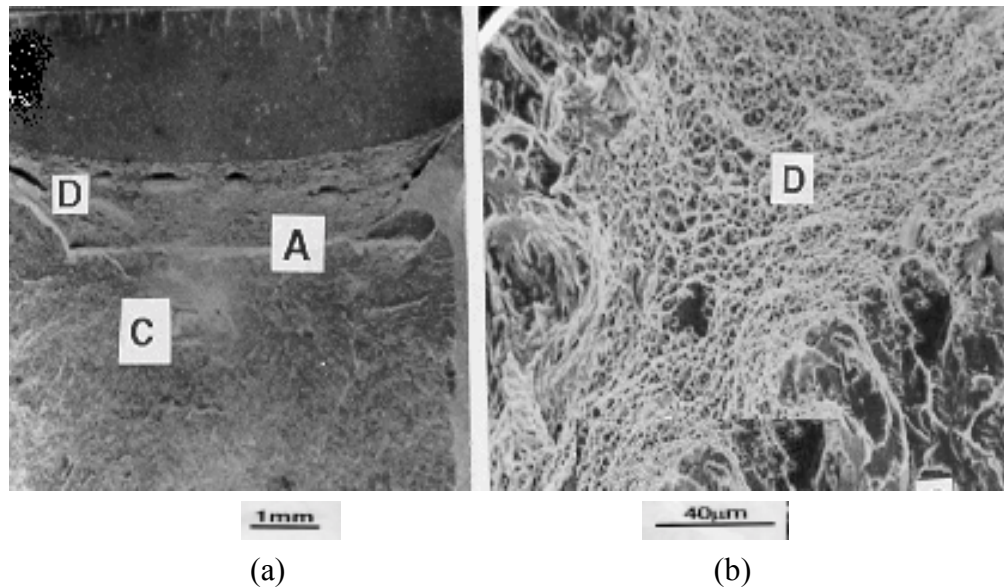
Slika 6. Fraktografska analiza površine preloma uzorka simuliranog na 950°C a) krti lom (C), oivičen duktilnim lomom (D) b) mikrostruktura i šema veličine zrna c) uvećane krti površina (C)

Za uzorke zagrevane na 950°C, površina preloma je krti, ali su krte pljosni sitnije i oivičene duktilnim lomom. Neka zrna se lome po sitnim krtim površinama, pa je ovde u pitanju kvazicepanje.



Slika 7. Fraktografska analiza površine preloma uzorka simuliranog na 850°C a) krti lom b) mikrostruktura i šema veličine zrna c) duktilni lom (D)

Za uzorke simulirane na 850°C, površina preloma je delimično duktilna blizu zareza, sl. 7b, a zatim prelazi u krti lom, sl. 7a. Glatke pljosni cepanja su veoma sitne, reda veličine 0,01 mm. Makrofraktografskim ispitivanjem stvarnog zavarenog spoja je ustanovljeno i cepanje i duktilni lom, što je potvrđeno i mikrofraktografskim ispitivanjem, sl. 8b



Slika 8. Površina preloma stvarnog zavarenog spoja, a) duktilni lom blizu zareza, (D) i krto cepanje (C) b) Uvećani deo označen sa A

## DISKUSIJA REZULTATA

Efekat mikrostrukture na osobine loma je studiran indirektno, ispitivanjem površine preloma. Na svim površinama preloma je ustanovljen krto lom. Cepanje je transgranularno, kroz zrno, mada se na površini preloma uzoraka simuliranih na 1350°C, može zapaziti i intergranularno cepanje, sl.3.

Na površini preloma možemo definisati makropovršni, mikropovršni i delove sa duktilnim lomom. Makropovršni koje nisu na istom nivou (istoj ravni) se razlikuju jedna od druge, jer su oivičene područjem duktilnog loma. Mikropovršni su identične po dimenzijama sa beinitnim gnezdnom, a takođe i sa zrnima igličastog i poligonalnog ferita. Područja duktilnog loma su zatvorene, ili delimično razorene konture koje razdeljuje mikrooblasti. Širina pojasa duktilnog loma je proporcionalna debljini ostrva ferita. Na osnovu i drugih ispitivanja /3/ je zaključeno da prslina savlađujući rastojanje između dva zrna sa igličastom fazom, prolazi kroz ostrva mekše faze oko zrna ili duž međufazne granice igličasta faza-poligonalni ferit. U prvom slučaju moguće su dve varijante prolaska prsline: između poliedarskih zrna-interkristalni lom i kroz zrno-transkristalni lom. Pri tome je na površini preloma vidljiv trag u obliku krto pljosni koji sadrže duktilnu ivicu.

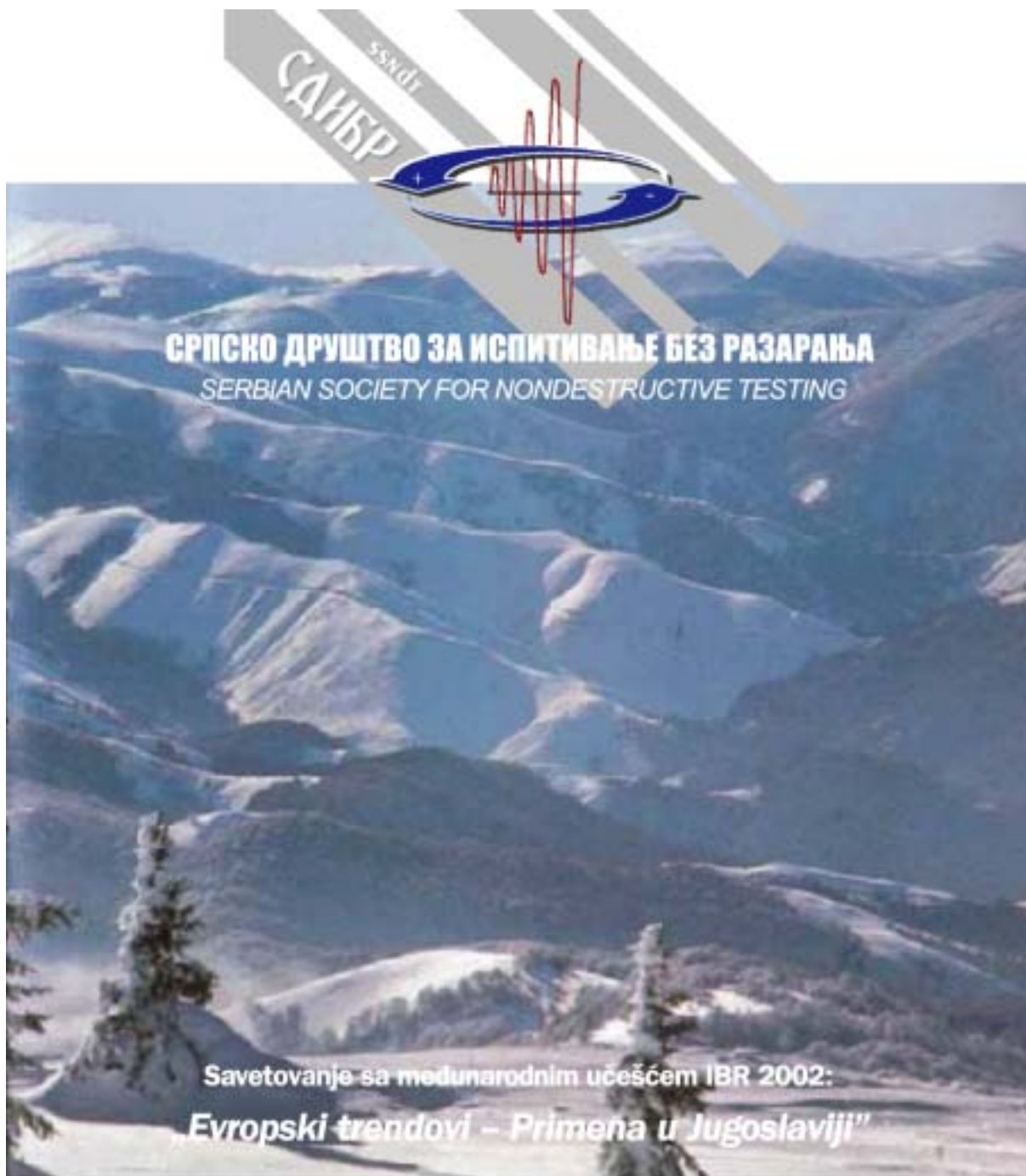
Iniciranja krto loma je na martenzitnom ostrvu, koje predstavlja glavni metalurški faktor koji učestvuje u lokalnoj krto loma mikrostrukture. U mikrolegiranim umirenim čelicima je područje austenitno-feritno sa niskom duktilnosti. Osobenost loma sličnih struktura je postojanje žilave tvrde matrice i mekih krto granica po površini (izdvajanje na granici zrna). Na osnovu istraživanja može zaključiti da je za smanjenje otpornost prema krto lomu najviše odgovorno prisustvo poligonalnog ferita. Lom može početi i na česticama u slabijoj feritnoj fazi. U ovom slučaju, čestice na kojima se nukleiraju prsline su karbidi i nitridi Al, Nb, Ti, V, smešteni na ravnima koje su prethodno bile granice austenitnog zrna, a veličina pljosni cepanja u simuliranom zavarenom spoju je određena veličinom prethodnog austenitnog zrna./4,5 /.

## ZAKLJUČAK

Fraktografskim ispitivanjima možemo odrediti uzrok nastanka loma, prema izgledu površine preloma. Različite mikrostrukturne karakteristike zone uticaja toplote zavarenog spoja čelika povišene čvrstoće jedan su od glavnih uticajnih faktora na mehanizam loma. Različiti mehanizmi prostiranja prslina, transkristalno cepanjem i kvazicepanjem i interkristalni mikromehanizmi razdajanje granica spajanjem mikrošupljina, su posledica heterogene mikrostrukture zone uticaja toplote zavarenog spoja. Kod konstrukcionih čelika povišene čvrstoće krti lom, nastao cepanjem, može da bude veliki problem i doveo je u prošlosti do katastrofalnih lomova, tako da bi poznavanje mehanizama nastajanja prslina moglo da smanji rizik od loma.

## LITERATURA

1. I. Blačić, V. Grabulov, B. Veljanovski: Analiza loma i fraktografski pregled, IBR,1998, 217-221
2. K. Gerić: Pojava i rast prslina u zavarenim spojevima čelika povišene čvrstoće, doktorska disertacija, 1997
3. M.D. Rabkina: Osobnosti formirovanija strukturi i svoistv metala ZTV svarnih soedineii nizkolegirovannih stalei, Avtomatičeskaja svarka, No.4, 1997,14-19
4. B.C. Kim,S.Lee, N.J. Kim, D.Z. Lee: Microstructure and local brittle zone phenomena in high strenght low alloy steel welds, Met. Trans, Vol.22A, 1991,139-149
5. B.Dogan,J.D.Boyd: Through thickness fracture of a Ti-V-Nb plate steel, Met. Trans, Vol.21A, 1990,1177-1191



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**





## PROCENA PREOSTALOG RADNOG VEKA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA

Dragoljub Radojičić, dipl.ing. i Radoljub Došić, dipl.ing.  
Zavod za zavarivanje, Beograd, Grčića Milenka 67

### Izvod

*Procena preostalog radnog veka postrojenja može se uraditi na osnovu propisa i standarda. Ovako dobijen vremenski period je zastareo način procene.*

*U ovom radu je obrađen pristup proceni preostalog radnog veka termoenergetskih postrojenja na osnovu savremenih saznanja i dobre dijagnostike. Ispitivanjem metodama bez razaranja i kontrolom stanja metala postrojenja, obezbeđuje se dovoljno podataka da se eksploatacioni vek može produžiti sa sigurnošću.*

### Ključne reči:

Preostali radni vek, Dijagnostika, Ispitivanje bez razaranja

## THE VALUATION OF A REMANENT WORKING AGE ON THE THERMOENERGETIC PLANTS

### Abstract

*The valuation of a remanent working age on the thermoenergetic plants may be done using regulations and standards. A working age mad on this way is too conservative.*

*This work includes approach to valuation of a semanent working age on the thermoenergetic plants based on the contemporary knowledge and useful diagnostic.*

*The nondestructive testing and condition control of metal plant ensure sufiecenthu data for safety prolonged of an exploitation age.*

### Keywords:

Remanent working age, Dijagnostic, Nonedstruictive testing

Koliko je važna procena preostalog radnog veka termoenergetskih postrojenja ne treba objašnjavati. Jasno je, da se na pravi način sprovedenom i sigurnom procenom, ispunjavaju aspekti bezbednosti i sigurnosti ljudi i imovine, odnosno, omogućuje se normalno funkcionisanje elektroenergetskog sistema. Poznato je takode, šta sve proizilazi iz raspada elektroenergetskog sistema.

Tokom eksploatacije termoenergetskih postrojenja postepeno padaju karakteristike ugrađenog materijala zbog eksploatacionih uslova u kojima ona rade. Pored uticaja povišenih temperatura i mehaničkih naprezanja, razlozi pada osobina materijala su i:

- koroziono-erozioni uticaj pare, vode i dimnih gasova;
- vrsta (izbor) ugrađenog materijala i tehnologija izrade postrojenja;
- sama konstrukcija postrojenja,
- eksczesne situacije u tehnološkom procesu.

Osim pomenutog degradacija materijala može biti ubrzana i zbog grešaka nastalih pri fabrikaciji, montaži, remontu i eksploataciji.

Procena preostalog radnog veka može se uraditi na osnovu propisa i standarda. Ovako se, međutim, dobijaju rezultati na osnovu kojih često proizilazi da se komponenta termoenergetskog postrojenja mora zameniti, iako savremena saznanja o metalima i njihovom stanju, garantuju bezbednu i pouzdanu eksploataciju i posle izračunatog perioda.

Ova procena stanja metala komponenti koje rade u uslovima puzanja, može biti izvršena i sledećim metodama:

- kombinacija proračunskih i eksperimentalnih metoda;
- ispitivanje mikrostrukture po preseku i ispitivanje mehaničkih karakteristika;
- procena zaostalih deformacija ili brzine puzanja;
- procena ostalih oštećenja materijala (površinska mikrostruktura, erozija, korozija, krivljenja, bubrenja, greške u mateijalima i njihov rast).

Proračunsko eksperimentalne metode zahtevaju precizno definisane "KARTE NAPONSKO TEMPERATURNIH PROMENA" odnosno tačnih-preciznih podataka o pritiscima i temperaturama, kojima je postrojenje bilo izloženo, do momenta proračunavanja, što je u našoj praksi retkost.

Jednoznačno ispitivanje mehaničkih i metalografskih karakteristika materijala, moguće je samo, metodama sa razaranjem što zahteva isecanje uzoraka iz najodgovornijih komponenti postrojenja, što često nije moguće i ne dozvoljava se.

Procena zaostalih deformacija ili brzine puzanja zasniva se na merenjima pomoću repera ("kripovi", "bobiške", "merne bradavice"). Reperi se postavljaju i toku montaže komponente i obavljaju merenja, pri čemu se dobijaju "rezultati nultog stanja". Merenja "nultog stanja" i sva unaredna merenja moraju biti izvedena opremom iste tačnosti, jer raditi procenu preostalog veka sa nepouzdanim rezultatima krije višestruke zamke. Reperi se, međutim, često pri održavanju oštećuju ili deformišu, tako da naknadna merenja na njima ne daju korektno rezultate.

Najpraktičnija metoda procene preostalog radnog veka termoenergetskih postrojenja je procena na bazi rezultata dobijenih ispitivanjem metodama bez razaranja-DIJAGNOSTIKA POSTROJENJA. Obavezan elemenat za realizaciju ovog posla je poznavanje mikro i makro ponašanja metala komponente tokom eksploatacije odnosno uticaj radnih uslova na ponašanje metala.

## **DOBRA DIJAGNOSTIKA NIKAD NIJE SKUPA**

Koje metode ispitivanja, u kom obimu i na kojim komponentama postrojenja treba primeniti, definiše program ispitivanja kao prva faza realizacije programa procene preostalog radnog veka.

Osnovna svrha sprovođenja ispitivanja metodama bez razaranja je obezbeđenje neophodnih podataka u potrebnom i dovoljnom obimu za pravu procenu veka.

Poznato je da metodama IBR možemo otkriti i potpuno definisati parametre grešaka (vrsta, veličina, položaj, učestalost) i iste pratiti u planiranim vremenskim intervalima, a neke čak i bez zaustavljanja procesa.

Dobra dijagnostika i procena daljih eksploatacionih mogućnosti vitalnih komponenti termoenergetskih postrojenja su podloge za planiranje zastoja i ciljna ispitivanja. Dobijeni rezultati su neophodna baza za procenu preostalog radnog veka.

Na ovaj način, sistematskom periodičnom kontrolom se izbegavaju ispadi i havarije postrojenja, odnosno obezbeđuje se da postrojenje radi pouzdano i bezbedno.

## **DIJAGNOSTIKA JE UVEK STVARNA KORIST ZA KORISNIKA I U REMONTU I U EKSPLOATACIJI**

Osnov za procenu preostalog radnog veka treba da bude:

- Obim ispitivanja
- Rezultati obavljenih ispitivanja
- Analize nalaza i poređenje sa nalazima iz prethodnih ispitivanja počev od “nultog stanja”.

Obim ispitivanja metodama bez razaranja proizilazi iz istorije dešavanja u toku eksploatacije, uslova rada i samog tehničkog rešenja konstrukcije. Obavezno je planirati ispitivanje površinske mikrostrukture metodom replika i arhiviranje istih.

Rezultati obavljenih ispitivanja moraju biti **maksimalno moguće tačni** (zavisno od upotrebljene metode). Dakle ispitivanja moraju obavljati obučeni i iskusni operateri poštujući validne metode ispitivanja i druge propise.

Interpretacija i analiza nalaza mora obuhvatiti vrstu, tip, veličinu, uzroke i vreme nastajanja greške kao i prognozu daljeg rasta, odnosno procenu zamora i dalje izdržljivosti. Ako je potrebno za dobru procenu uraditi ispitivanja i merenja i na drugim kritičnim zonama komponente postrojenja. Stanje ispitivanog elementa i njegov uticaj na rad postrojenja takođe mora biti analiziran kako bi se, ako je potrebno dale i eksploatacione preporuke za dalji rad.

## **PRAVILNO USTROJEN SISTEM ODRŽAVANJA JE OSNOV ZA DOBRU DIJAGNOSTIKU**

Pri analizi grešaka na komponentama termoenergetskog postrojenja moraju se uvažavati tri karakteristična perioda eksploatacije [1].

I period- do 60000 radnih sati  
Početna oštećenja prouzrokovana manama ugrađenih materijala, montažnih i konstrukcijskim propustima i greškama.

- II period- od 60000-150000 radnih sati  
Slučajna oštećenja i greške karakteristične za pravilnu eksploataciju koje uglavnom predočava isporučilac opreme.
- III period- preko 150000 radnih sati  
Zamorna oštećenja, odnosno oštećenja koja se javljaju zbog uticaja visokih temperatura i pritiska i koroziono eriozionih uticaja pare, vode i dimnih gasova.

## **ZNAČAJ DIJAGNOSTIKE RASTE SA RASTOM VREMENA EKSPLOATACIJE**

Zbog toga što su termoenergetska postrojenja veoma skupa, značajno je produženje radnog veka i za nekoliko procenata od projektovanog. Dakle iz ekonomskih razloga je poželjno da se radni vek komponente izložene visokim temperaturama i pritiscima zasniva na dijagnostici i ponašanju komponente u radu. U analizi eksploatacionog ciklusa i upravljanju radnim vekom komponente od posebnog značaja su zavarene komponente.

Tipične komponente u termoenergetskim postrojenjima kojima treba posvetiti posebnu pažnju i uradi kompletna dijagnostika su:

- Kotao (bubanj, komore, cevni sistem, zagrejači i pregrejači)
- Parovodi (zavareni spojevi i kolena)
- Turbinsko postrojenje (vrući i rotirajući delovi)
- Ventili (posebno pregradni, T-komadi, Y-komadi, račve, ubodi, ovešenja, zone oko fiksnih tačaka.

Na ovim elementima se mogu pojaviti i pojavljuju se krivljenja i prsline još u toku fabrikacije delova, kao i pri montaži (greške u proizvodnji i pri zavarivanju).

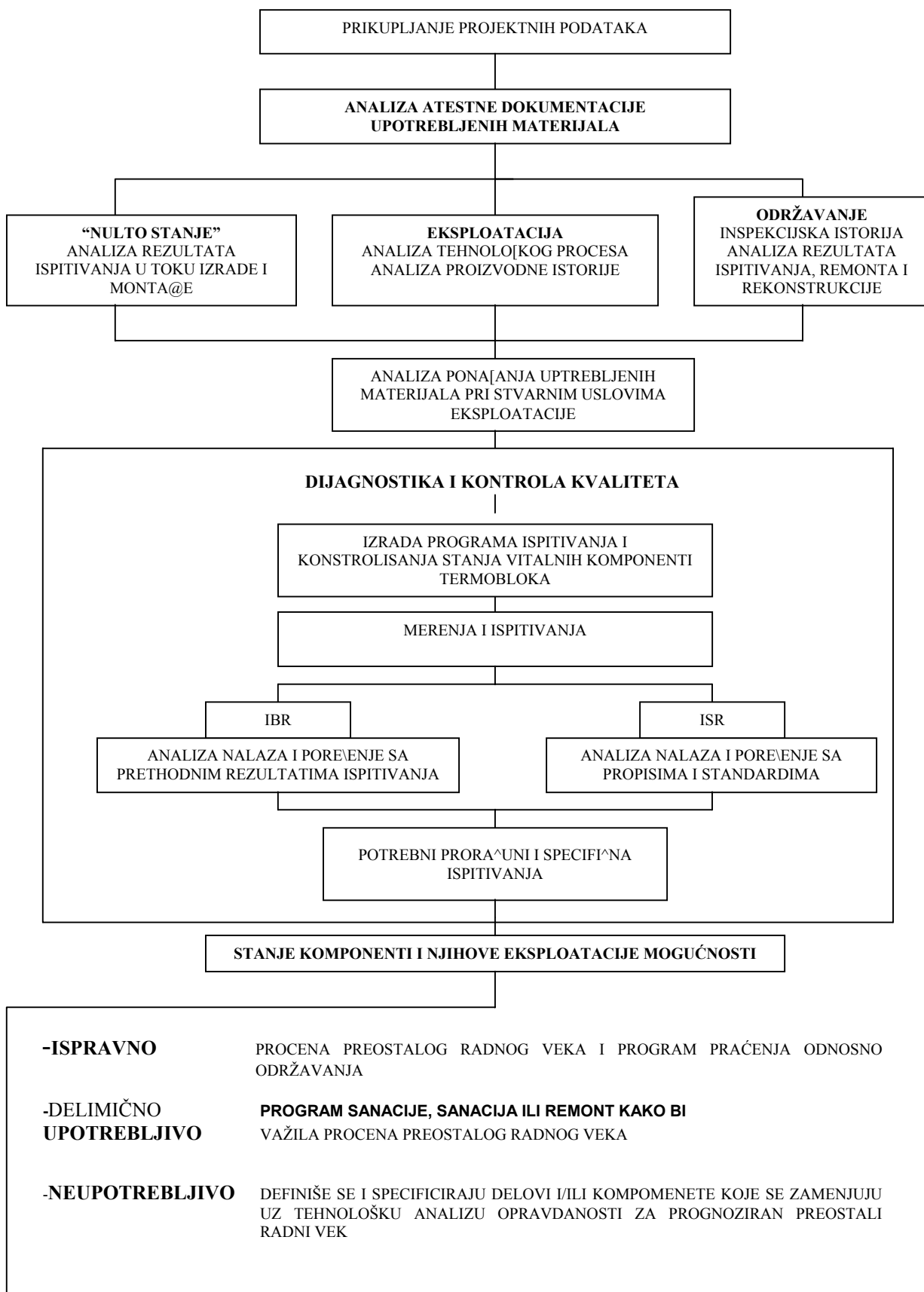
U eksploataciji dolazi do postepenog oštećenja usled puzanja, zamora, korozije, abrazije, odnosno najčešće u vidu kombinovanih mehanizama. Posledice su: pojava, rast oštećenja i na kraju lomovi. No, ovi procesi mogu da se prate, jer zahtevaju vreme do konačnog loma ili drugog neprihvatljivog stanja.

## **PRAVOVREMENA DIJAGNOSTIKA JE NAJBOLJA DIJAGNOSTIKA**

Svi mi koji se bavimo ovim poslovima znamo da pravovremeno i dobro isplanirani pregledi, ispitivanja, sanacije, rekonstrukcije i remontu su osnova za preventivno održavanje i upravljanje radnim vekom.

Optimizacijom tehničkih i ekonomskih pokazatelja, kada se mora uzeti u obzir stanje kompletnog termoenergetskog sistema određujemo vreme zamene (revitalizacije) komponenti.

Dijagram toka za procenu preostalog radnog veka termoenergetskih postrojenja mora najmanje da sadrži



Nakon ovakvog pristupa i obavljanja svih pomenutih zahteva procena preostalog radnog veka termoenergetskih postrojenja je verodostojna stvarnom stanju.

# **OVAKVA DIJAGNOSTIKA I POSTUPANJE PO NJENIM ZAKLJUČCIMA ČUVA IMOVINU I LJUDE I OBEZBEĐUJE SIGURNU I POUZDANU PROIZVODNJU**

## **LITERATURA:**

1. Jerzy Dobosiewicz, Jerzy Treszczyński  
DIJAGNOSTIČKA ISPITIVANJA I PROCENA TRAJNOSTI ENERGETSKIH UREĐAJA, Pro Novum – Katowice, 1997.
2. ISO 2394, GENERAL PRINCIPLES ON RELIABILITY FOR STRUCTURES, 1998.
3. Perlti Anerkari  
ISPITIVANJE BEZ RAZARANJA INSTALACIJA ZA VISOKE TEMPERATURE, Zavarivanje i zavarene konstrukcije (2/97)
4. Program ispitivanja br. 007/02  
STANJE METALA VITALNIH KOMPONENTI SISTEMA, TE KOLUBARA “A” 161 MW, Zavod za zavarivanje, Beograd, 2002.



## ISO 9001:2000 U LABORATORIJI IBR

Goran Sofronić, dipl.ing.  
“Zavod za zavarivanje”-Beograd

### Rezime:

*Kada se govori o evropskim trendovima u IBR nemoguće je zaobići reč “kvalitet” odn. njen sinonim, standard ISO 9001:2000. Relativno brz povratak nase zemlje u svetske tehničke institucije, poput Evropske Federacije za IBR (EFNDT), nameće mnogo veće angažovanje na nivou kvaliteta, koji podrazumeva potpuno zadovoljenje “kupca” laboratorijskih usluga, važećih zakonskih normi i standarda.*

### Ključne reči:

kvalitet, zahtevi, upravljanje sistemom kvaliteta;

## ISO 9001:2000 IN NDT LABORATORY

### Abstract:

*When we talk about European NDT trends it is not possible to get round a word “quality” relatively to her synonym, the norm ISO 9001:2000. The relatively fast back of our country in the world’s technical institutions, like European Federation for NDT (EFNDT), to intrude much bigger pains on a quality level, which includes a fully customer’s satisfaction of laboratory services, valid norms of low and standards.*

### Key words:

quality, requirements, quality management system;

## O KVALITETU

Dugogodišnja saradnja *Zavoda za zavarivanje* iz Beograda i minhenskog TÜV-a, te školovanje za TÜV-ovog ocenjivača (auditora), učinila je da ovim radom pokušam da približim sistem menadžmenta (upravljanja) kvalitetom ISO 9001:2000 i ukažem na njegov značaj, ali na drugačiji način od onoga kako to standard po svojim tačkama “zahteva”, izbegavajući time zamaranje čitaoca definicijama.

Sa razvojem međunarodnog tržišta pojam kvaliteta se višestruko promenio i on danas predstavlja jedan od ključnih elemenata konkurentnosti iza čega se naravno krije *dobit*. Da bi naše laboratorije za IBR bile konkurentne ne samo na domaćem nego i na međunarodnom tržištu lako je uvideti šta je sledeći korak. U našoj zemlji je dodatni problem što je tržište malo, pa je *kvalitet usluge* koje daje laboratorija praktično uslov za preživljavanje. Kvalitet je danas oblik vođenja poslovnih procesa koji se stalno menja u cilju ispunjenja zahteva i očekivanja kupaca naših usluga.

## SERIJA STANDARDA ISO 9000:2000

Sistemske pristup upravljanja kvalitetom celokupnog poslovanja se pojavio u obliku standarda serije ISO 9000:2000 radi sve kompleksnijih i komplikovanijih proizvoda i usluga, kao i globalizacije svetske ekonomije. Ovo je najraširenija serija standarda sistema kvaliteta u svetu i služi kao odlična osnova za uspostavljanje sistema kvaliteta. Ovi standardi su uopšteni, nezavisni i predstavljaju smernice za rukovođenje kvalitetom, kao i model za upravljanje kvalitetom u svih 39 privrednih grana, pa su shodno tome obuhvaćene i laboratorije za IBR.

### Seriju standarda ISO 9000:2000 čine:

- **ISO 9000:2000**, “Sistemi menadžmenta (upravljanja) kvalitetom – *Osnove i rečnik*”

*Ovaj standard opisuje osnove sistema upravljanja kvalitetom i utvđuje terminologiju za sisteme upravljanja kvalitetom, te kao takav predstavlja “bukvar” kvaliteta.*

- **ISO 9001:2000**, “Sistemi upravljanja kvalitetom – *Zahtevi*”

*Ako zadovoljite odgovarajuće važeće propise i zahteve koje nameće ovaj standard neizbežno je da ćete zadovoljiti korisnika vaših usluga i pokazati visok kvalitet vaše laboratorije.*

- **ISO 9004:2000**, “Sistemi upravljanja kvalitetom – *Uputstva za poboljšanje performansi*”

*Uspostavili ste sistem kvaliteta u laboratoriji i želite da joj podarite višu efikasnost i efektivnost. Ne preostaje vam ništa drugo nego da koristite uputstva za poboljšanje performansi koje daje ovaj standard. Možete poboljšati samoocenjivanje, smanjiti troškove i uspostaviti veoma efikasan sistem dokumentacije. Zato se nikada ne zadovoljavajte samo ispunjenjem zahteva iz ISO 9001:2000!*

## ISO 9001:2000 U LABORATORIJI IBR

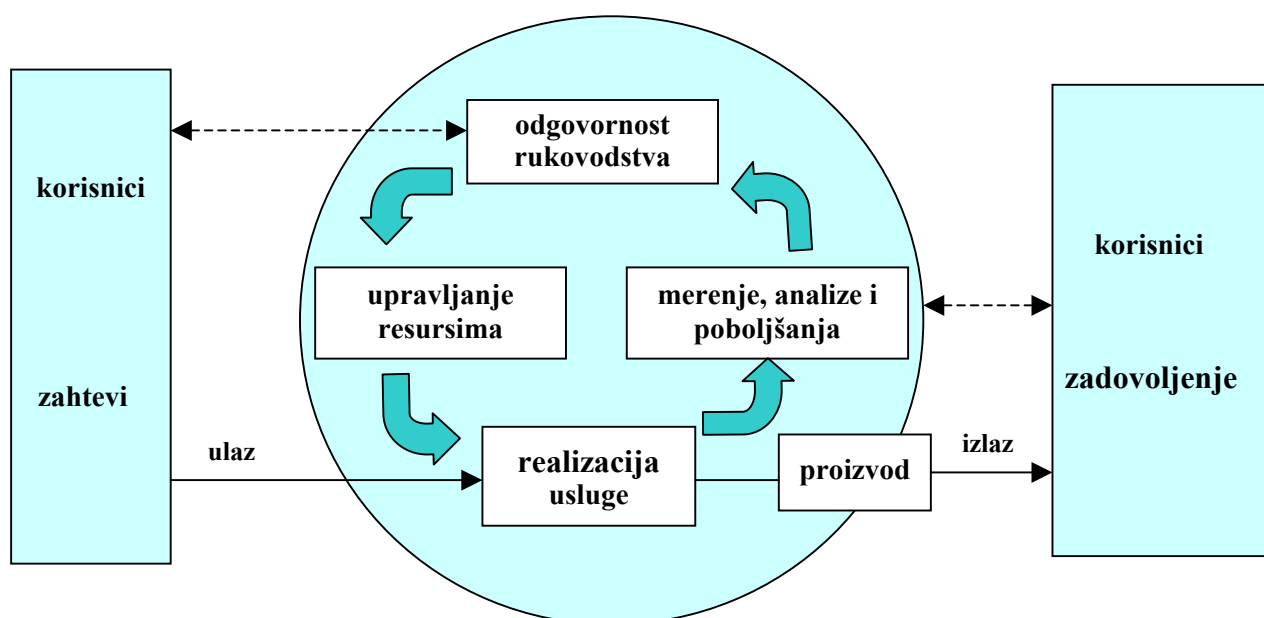
Suštinu ovog standarda čine *zahtevi* koje morate ispuniti da bi ste upravljali sistemom kvaliteta na pravi način. Zahteve ćete lako prepoznati u tekstu standarda jer oni počinju rečima “mora da...”, dok se njihovo ispunjenje sigurno završava rečju *kvalitet*, čiji je cilj zadovoljenje svih zainteresovanih strana: investitora (kupca), zaposlenih, dobavljača, društva i vlasnika.



Standard sadrži osam glavnih tačaka:

1. Predmet i područje primene,
2. Normativne reference,
3. Termini i definicije,
4. Sistem upravljanja (menadžmenta) kvalitetom,
5. Odgovornost rukovodstva,
6. Upravljanje (menadžment) resursima,
7. Realizacija proizvoda (usluga) i
8. Merenje, analiza i poboljšanje.

Glavna odlika upravljanja kvalitetom je *procesni pristup*, gde svaki proces mora biti strogo *definisan i merljiv*.



Slika 1

Model sistema upravljanja kvalitetom zasnovanog na procesima dat je na slici 1 iz koje se jasno vidi da su za pružanje kvalitetne usluge laboratorije potrebna *stalna merenja i analize* na osnovu kojih uvodimo *poboljšanja*.

Odgovornost za to je u rukovodstvu laboratorije koje mora da radi na stalnom poboljšanju resursa:

- *ljudi*, što znači da laboratorija mora da ima dovoljan broj obučenog i sertifikovanog osoblja za sve metode IBR koje tržište trenutno zahteva, ali i za metode koje će tržište u budućnosti tražiti. Obuku i sertifikovanje treba vršiti u ovlašćenim institucijama u kojima je verifikovan sistem upravljanja kvalitetom.

- *oprema*, što znači da sve metode IBR budu pokrivena odgovarajućom, kvalitetnom i ispravnom opremom, pri čemu se podrazumeva da se ona pravovremeno pregleda i etalonira u ovlašćenim institucijama. Bilo bi najpoželjnije kupovati opremu od proizvođača sa

dugogodišnjim iskustvom, gde kvalitet i servisiranje nisu pod znakom pitanja, ali ako postoji problem visoke cene kupovaćete kod manje afirmisanog proizvođača.

- *nekretnine*, što znači da laboratorija mora da ima dovoljno raspoloživog prostora za obavljanje ispitivanja.

## Dokumentacija

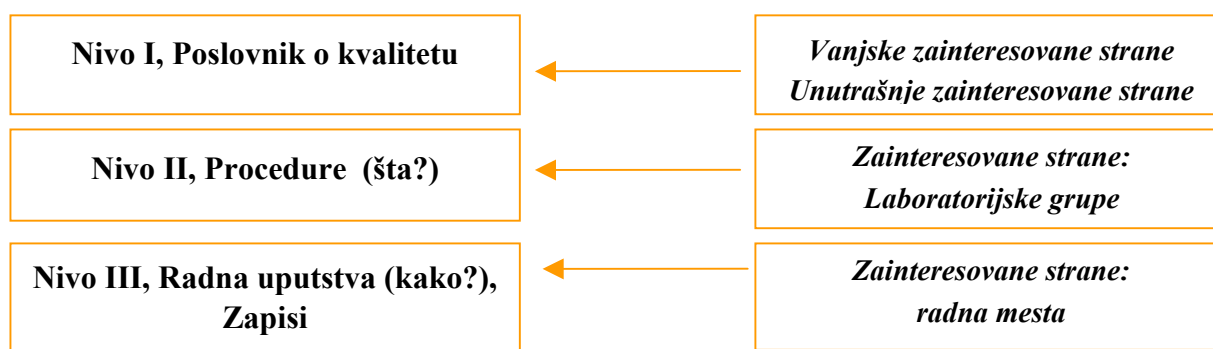
Kada govorimo o dokumentaciji sistema upravljanja kvalitetom ona ne sme biti glomazna i opterećujuća za laboratoriju, ali njena *sledljivost* i *efikasnost* mora da postoji. Svaka laboratorija sama određuje obim dokumentacije i medijum na kom će da je drži (papir ili računar, mada se najčešće koristi i jedno i drugo).

Ono što *dokumentacija* sistema upravljanja kvalitetom *mora da sadrži* je sledeće:

- dokumentovane izjave o politici kvaliteta i ciljevima kvaliteta, pri čemu svi zaposleni u laboratoriji moraju sa njima biti upoznati. Ciljevi moraju biti merljivi i realni, što npr. znači ako najviše rukovodstvo kaže da je cilj laboratorije u narednom periodu da broj komintenata bude veći nego u prethodnom, onda treba da se kaže koji je to tačno period i koje je to povećanje komintenata koje se očekuje, brojem ili procentualno. Danas se zahteva da najviše rukovodstvo ima i *viziju* tj. da pretpostavi šta će u daljoj budućnosti biti prioritet u poslovanju laboratorije.
- poslovnik o kvalitetu je osnovni i ključni dokument sistema upravljanja kvalitetom u kome je obrazložena politika kvaliteta i opisan sistem vođenja kvaliteta. U njemu su strogo definisana ovlašćenja i odgovornosti i međusobni odnosi osoblja unutar sistema<sup>1</sup>, kao i njihovo upravljanje, izvođenje, verifikovanje i kontrola. Poslovnik sadrži procedure i uputstva za funkcionisanje sistema, odredbe o izdanjima, izmenama, distribuciji i kontroli upotrebe, pri čemu se mora definisati kome pripada koja dokumentacija. Ovaj dokument opisuje poslovanje i predstavlja pomoć pri radu.
- dokumentovane procedure su vrsta dokumenata koja tačno definišu sve procese unutar sistema odn. one odgovaraju na pitanje “šta”.
- radna uputstva su dokumenta koja detaljno opisuju radnje unutar procesa i odgovaraju na pitanje “kako”.
- zapisi predstavljaju dokumenta koja su dokaz o ispunjenju zahteva i predstavljaju rezultat nekog procesa.

Za sva dokumenta mora da se zna *status* tj. da li su ona trenutno važeća ili nevažeća. Ne smeju se istovremeno pojavljivati i jedna i druga.

Dokumentacija sistema može biti u više nivoa, pri čemu je ona najčešće u tri nivoa (slika 2).



Slika 2

<sup>1</sup> ili se na njih poziva.

Laboratorije sa manjim resursima obično imaju dokumentaciju<sup>2</sup> gde su poslovnik o kvalitetu i procedure na istom nivou, a na sledećem nižem uputstva.

### **Najviše rukovodstvo i planiranje**

Kada se govori o najvišem rukovodstvu laboratorije, ono mora da ima stvarne dokaze o svom angažovanju na razvoju i primeni sistema upravljanja kvalitetom, kao i o stalnom poboljšanju efikasnosti jer je to njegova obaveza. Isto može postići jedino ako nauči osoblje laboratorije da pitanje o važnosti ispunjavanja zahteva korisnika (investitora) ne postoji. Laboratorija od strane najvišeg rukovodstva mora biti uvek informisana o zahtevima iz najnovijih propisa i drugih normativnih dokumenata, što opet znači da nas sistem upravljanja kvalitetom podstiče da stalno budemo “u trendu” i da “opuštanja” nema.

Najviše rukovodstvo uspostavlja politiku kvaliteta i utvrđuje ciljeve kvaliteta, koji opet moraju biti merljivi i u skladu sa politikom; vrši preispitivanja i osigurava raspoloživost resursa.

Da ne bi dolazilo do “zastoja” u radu laboratorije najviše rukovodstvo mora tačno da definiše, putem poslovnika o kvalitetu, radnim rešenjima i/ili drugim aktima, **ovlašćenja i odgovornosti** svih zaposlenih. Pri tome, imenuje se jedan član rukovodstva koji mora preuzeti ovlašćenja i odgovornosti za:

- obezbeđenje procesa potrebnih za utvrđivanje, primenu i održavanje sistema upravljanja kvalitetom,
- izveštavanje najvišeg rukovodstva o delotvornosti sistema kvaliteta i potrebama za poboljšanje,
- osiguravanje stvaranja svesti o zahtevima korisnika na svim nivoima u laboratoriji.

Ova ovlašćenja i odgovornosti u laboratoriji ima rukovodilac kvalitetom i najčešće se naziva glavni inženjer za kvalitet, te stoga u sistemu kvaliteta, zajedno sa najvišim rukovodstvom, nosi najveći “teret”.

Da bi se obezbedila stalna efikasnost i efektivnost laboratorije najviše rukovodstvo mora u planiranim vremenskim intervalima da vrši **preispitivanje sistema menadžmenta kvalitetom**, pri čemu *ulazni elementi* preispitivanja moraju da sadrže informacije o:

- a) rezultatima provera (auditima)
- b) reagovanjima korisnika usluga laboratorije,
- c) performansama procesa i usaglašenosti,
- d) statusu preventivnih i korektivnih mera,
- e) dodatnim merama proisteklim iz prethodnih preispitivanja od strane rukovodstva,
- f) izmenama koje bi mogle uticati na sistem upravljanja kvalitetom i
- g) preporukama za poboljšanje.

*Izlazni elementi* preispitivanja moraju da sadrže odluke i mere koje se odnose na:

- a) poboljšanje efektivnosti sistema upravljanja kvalitetom i njegovih procesa,
- b) poboljšanje usluga u vezi sa zahtevima korisnika i
- c) potrebne resurse.

Zapisi o preispitivanju se moraju održavati jer su najbolji pokazatelj funkcionisanja sistema.

---

<sup>2</sup> organizovanu u dva nivoa

Ako krenemo od prvog ulaznog elemenata, gde se govori o auditu (proveri), postoje dve vrste provera i to: interna i eksterna, gde eksterna opet može biti provera druge strane i provera treće strane.

**Interna provera** se sprovodi najmanje jednom godišnje, ali po potrebi može i više puta. Komisiju<sup>3</sup>, određuje rukovodilac kvaliteta, koji je ujedno i predsednik komisije<sup>4</sup>.

Vanredne provere se najčešće izvode kada je došlo do promene u organizaciji laboratorije, kada se zapošljava veći broj saradnika, kada se često menjaju saradnici u laboratoriji ili kada je neuobičajen porast reklamacija.

**Eksterna provera** služi da potvrdi da je sistem upravljanja kvalitetom primenjen u laboratoriji u saglasnosti sa zahtevima kupaca usluga i standarda. Primer provere druge strane: laboratorija treba da pruža usluge Elektroprivredi Srbije a da bi to mogla da radi potrebno je da uspešno prođe proveru od strane ocenjivača potencijalnog kupca usluga, bez obzira što ima uveden sistem kvaliteta, interne provere i eksterne provere treće strane, kakve su npr. od strane TÜV-a, Lloyd-a ili JUAT-a. To govori da se kupac usluga u potpunosti mora zadovoljiti i da mu tržište daje pravo da proverava.

Kupac proverava i **resurse** laboratorije, ljudske (osoblje) i materijalne (oprema, infrastruktura, radna sredina) i na osnovu toga zaključuje da li je laboratorija sposobna da obavi posao sa resursima kojima raspolaže. Stoga najviše rukovodstvo mora pravovremeno da planira i upravlja resursima.

O tome kakvi resursi su potrebni savremenoj laboratoriji je rečeno na početku ovog naslova pri čemu se ne sme ni slučajno zaboraviti značaj **nabavke** opreme, koja mora da sadrži potpunu dokumentaciju počevši od sertifikata, uputstva za korišćenje i obaveznog servisiranja. Dobavljače treba stalno ocenjivati jer je kvalitet njihove opreme direktno "utisnut" u rad IBR laboratorije, pri čemu su najvažniji kvalitet, cena i pravovremenost isporuke.

Da bi laboratorija uspešno ispunjavala sve zahteve kupca (korisnika usluga ispitivanja) neophodno je **planiranje**, kratkoročno i dugoročno, sa obaveznom primenom preventivnih i korektivnih mera. **Preventivne mere** se uvode radi otklanjanja mogućih uzroka grešaka u sistemu kvaliteta, dok se **korektivne mere** uvode da bi se otklonile već nastale greške. Za obezbeđenje efektivnosti preduzetih mera potrebno je stalno praćenje rezultata njihove primene i analiza usluga IBR praćena zapisima.

Jedan od načina analize podataka, sa ciljem da ne dođe do pojave uzroka potencijalnih grešaka je **FMEA** analiza koja se koristi u fazi planiranja, a operiše sa tri parametra i principski izgleda ovako:

*A-ocena za težinu posledice greške (od 1 do 10),*

*B-ocena za učestanost uzroka greške (od 1 do 10) i*

*C-ocena za mogućnost otkrivanja uzroka greške (od 1 do 10).*

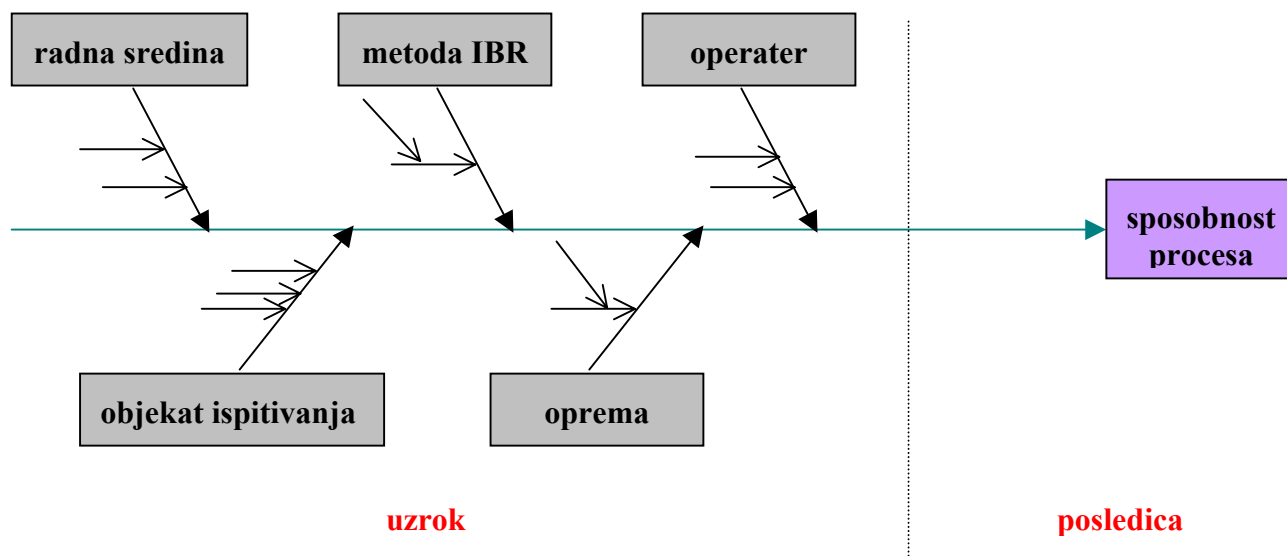
*Sve tri ocene se na kraju množe:  $A \cdot B \cdot C = P$ , gde je rezultat prioritetni broj,  $P$  koji kaže gde uvesti preventivne ili korektivne mere.*

Da bi se odredila sposobnost laboratorije da izvrši neki zadatak IBR može se koristiti metod "**uzrok/posledica**" ili **Išikava** metod (slika 3), a suština je da se uoči koji od 5 najvažnijih parametara (radna sredina, metoda IBR, operater, objekat ispitivanja ili oprema) ima najveći uticaj na sposobnost procesa ispitivanja.

---

<sup>3</sup> uobičajeno

<sup>4</sup> Članovi proveravačke komisije moraju imati iskustvo i poznavati sistem rada laboratorije, ali ne smeju proveravati svoj sopstveni rad.



Slika 3

Napomenimo da se statističke metode obično ne koriste kada su u pitanju usluge poput ispitivanja bez razaranja.

Da bi se uvele efikasne mere potrebna je stalna komunikacija sa investitorima (kupcima), a može se uvesti i sistem upitnika koji se povremeno šalju kupcima. Pri radu laboratorije mora se obratiti pažnja na tzv. "halo efekat", što znači da ako laboratoriju "prati glas" da neke od poslova ne obavlja kvalitetno, ta informacija se brzo širi do drugih investitora, a i do same konkurencije, te je vrlo teško otkloniti je čak i nakon uvođenja korektivnih mera.

## AKREDITACIJA ?

Nakon kratkog razmatranja uloge i značaja sistema upravljanja kvalitetom prema standardu ISO 9001:2000 u laboratoriji IBR možemo zaključiti da:

**Savremena laboratorija IBR mora da radi na razvoju očekivanja investitora, a ne samo na zadovoljavanju zahteva investitora!**

**Ako investitor nije nezadovoljan to ne znači da je i zadovoljan!**

Jedan od načina da se sistem upravljanja kvalitetom uvede u laboratoriju je akreditacija odn. zvanično potvrđivanje da sistem kvaliteta u laboratoriji zaista "živi" i da daje merljive rezultate. Koga ćete izabrati da vam oceni sistem kvaliteta (JUAT, TÜV, Lloyd,...) zavisi od vas, ali u svakom slučaju to mora biti onaj ko će vam dati preporuke za poboljšanja a neće samo tražiti neusaglašenosti i rutinski odrađivati akreditaciju.

Danas uspešno funkcioniše 450000 različitih preduzeća u 120 zemalja sveta sa uvedenim sistemom upravljanja kvalitetom, među kojima je i nekoliko desetina naših. Broj je poražavajući i dovoljno govori sa koliko kvaliteta radimo.

***Da li su nam ambicije da nas "pronađe" i investitor van naših granica***



**25.-29.11.2002. god.**  
**Tara**

13

## KOMPJUTERSKA TOMOGRAFIJA U IBR-u

Tomica Tončev, inž. maš.; Mirjana Borisavljević, dipl. inž. maš.;  
Vladan Macanković, inž. maš.

### REZIME:

*Kompjuterska tomografija je, u našoj zemlji nedovoljno poznata, metoda za brzu vizuelizaciju, dobijanje 3D slike zapremine i detekciju delova materijala sa imperfekcijama. Nakon obrade, podaci su na raspolaganju korisniku za CAD, CAM i CAE.*

*Rad prikazuje primene ove relativno nove metode, glavne delove instalacije za industrijsku tomografiju, pregled podataka koji se dobijaju u toku ispitivanja, sa posebnim osvrtom na novi visokokvalitetni sistem koji se koristi zajedno sa opremom za X-radiografiju. Navode se prednosti kompjuterske tomografije u odnosu na konvencionalnu radiografiju, sa brojnim primerima korišćenja ove opreme, prikazom komponenata sistema, karakteristika uređaja, kompatibilnosti sa postojećim instalacijama, kao i novi trendovi u njegovoj upotrebi.*

### KLJUČNE REČI:

radiografija, tomografija, IBR (ispitivanje bez razaranja), instalacija, primena, tomohawk.

## Computer Tomography in NDT

### ABSTRACT

*Computer Tomography (CT), in our country insufficient known, method for high-speed visualization, 3D volumetric image of the part and detection of imperfect material region. After processing, user posses data for CAD, CAM and CAE (computer-aided design, manufacturing and engineering).*

*In this paper is shown: field of application of this rellatively new method, main parts of CT instalation, review of data made by testing, with expecially attention on new high quality system used in conjunction with real time X-ray radiography equipment.*

*CT advantages in comparason with conventional radiography is shown, with many examples of this equipment application, system components, device feature, compatibility with existing instalation, and new trend in its use.*

### KEY WORDS:

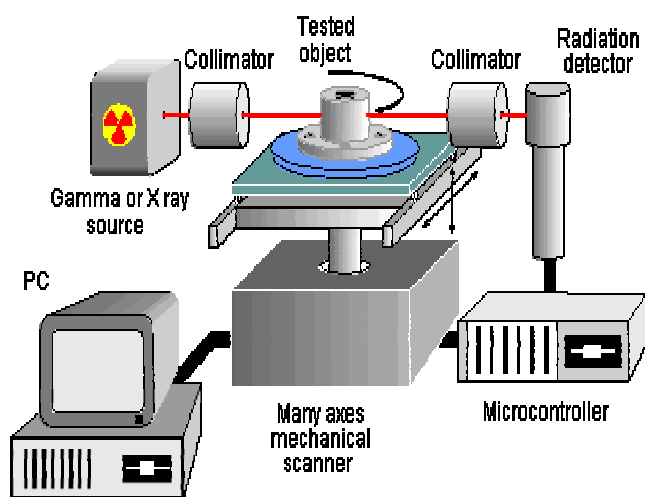
radiography, tomography, NDT (nondestructive testing), instalation, application, tomohawk

Dvodimenzionalna kompjuterska tomografija (2D-CT) je standardna metoda u medicini i ispitivanjima bez razaranja. Industrijska tomografija je analogna medicinskoj tomografiji, ali je energetski opseg koji se koristi viši, a kolimatori i detekcioni sistemi, kod nekih vrsta primene, različiti.

Primena metode visoke brzine sa 3D prikazom na trodimenzionalnu zapreminu i površinska vizuelizacija, omogućavaju detekciju delova materijala sa nepravilnostima u realnom vremenu. Upotreba specijalnih alata za post-procesiranje trodimenzionalne baze podataka pruža korisniku kompletan set inženjerskih podataka značajnih za projektovanje, izradu i inženjering podržane kompjuterima (CAD, CAM i CAE).

CT je jedini način za merenje spoljašnjih i unutrašnjih koordinata bez razaranja, bez potrebe za specijalnim pozicioniranjem ili kalibracijom. Različite metode za 3D rekonstrukciju, vizuelizaciju i merenje CT podataka su prikazani na nekoliko tipičnih primera.

Koristeći princip merenja absorpcije zračenja duž većeg broja pravaca (zraka) koji prolaze kroz objekat koji se ispituje i naknadnim korišćenjem specijalnog matematičkog algoritma za rekonstrukciju, industrijska tomografija može da prikaže unutrašnjost skeniranog objekta u 2 ili 3 dimenzije. Kompjuterska tomografija se koristi za identifikaciju i kvantifikaciju unutrašnjih oštećenja i unutrašnje strukture i za određivanje kvaliteta proizvodnih procesa raznih vrsta materijala. Pomoću kompjuterske tomografije visoke rezolucije mogu se utvrditi i rekonstruisati defekti/detalji do  $10^{-4}$  m.



Prikazi ravni se mogu sakupljati u formi 3D slike preseka, ili ako je cela površina skenirana, može se dobiti prikaz celokupne zapremine. Iz 3D podataka, uz primenu specijalnih korisničkih softvera, određuju se granice delova i formira CAD model celog komada ili njegovih delova.

Pored podrške proizvodnim postupcima (CAD, CAM, CAE), tehnologija kompjuterske tomografije takođe pruža mogućnost kvantifikacije podataka ispitivanja bez razaranja (defekti ili strukturna karakterizacija).

Slika 1: Najjednostavnija šema industrijskog tomografa

Osnovni delovi industrijskog tomografa su: izvor radioaktivnog gama ili X zraka, jedan ili više radijacionih detektora koji su obično postavljeni ispod kolimatora i oko granica skenirane zone, mehanički višeosni digitalni skener i odgovarajući deo za obradu podataka i monitoring hardvera sa obaveznim pratećim programskim paketima.

Tomografsko ispitivanje daje:

- rastojanja, površine, zapremine i lokalnu gustinu mereno u bilo kom pravcu za bilo koju tačku 2D i 3D tomograma,
- identifikaciju sastavnih materijala skeniranog objekta korišćenjem metode dualne energije i baze podataka za različite vrste materijala,
- 2D i 3D punu kompjuterizaciju ispitivanja bez razaranja na skeniranom objektu.



### Najčešći tomogrami

- Industrijski proizvodi
- Drvo
- Umetnički i arheološki objekti
- Identifikacija materijala

### Rezultati industrijske tomografije

#### Industrijski proizvodi

##### *Poprečni presek kroz zatvoreni uređaj*

Veličina komponenta unutar uređaja i zavrtnajski spojevi se mogu jasno videti na poprečnom preseku.

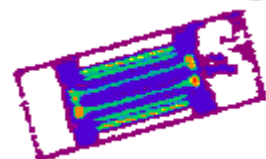
*Slika 2:* Poprečni presek kroz zatvoreni uređaj



##### *Brzi poprečni pregled kroz magnetni transformator (pretvarač)*

Namotaji i magnetni tokovi uređaja se mogu uočiti.

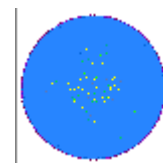
*Slika 3:* Poprečni presek kroz magnetni transduktor



##### *Presek kroz čeličnu šipku*

Skenirane sekcije pokazuju visoke diskontinuitete i vazdušne mehurove u centralnoj zoni, prouzrokovane postupkom livenja.

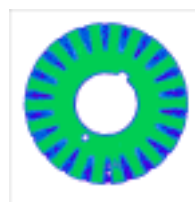
*Slika 4:* Poprečni presek kroz čeličnu šipku



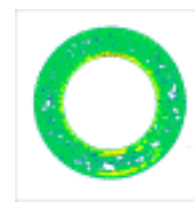
##### *Poprečni presek kroz kavez rotora od 90 mm, asinhronog električnog motora*

Primetan je veliki broj vazdušnih mehurova, nastalih u postupku livenja. Tomografska rekonstrukcija je jedini metod kojim je moguće dobiti poprečni presek objekta.

*Slika 5:* Poprečni presek kroz kavez rotora asinhronog električnog motora



ovog



##### *3D tomogram livenog komada*

Velika poroznost spoljašnje površine otežava analizu drugim metodama. 3D tomogram pokazuje veliku poroznost u centralnom delu.

*Slika 6:* 3D tomogram livenog komada

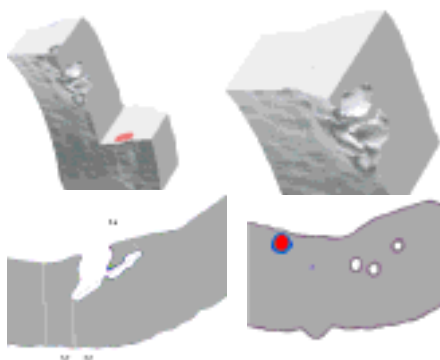


##### *3D tomografska rekonstrukcija zavarenih cevi i kompjuterska IBR analiza uzorka*

Najfinije plotovanje pokazuje ljuspice i kapi u zavarenom spoju. Vidljivi su uključci od materijala velike gustine, koji najverovatnije potiču od dodatnog materijala (elektrode) i nekoliko unutrašnjih šupljina prouzrokovanih usled nestabilnosti postupka zavarivanja.



*Slika 7:* 3D tomografska rekonstrukcija zavarenih cevi



U toku dalje kompjuterske analize, "softver" seče zavareni spoj i prikazuje uvećanu zonu kavitacije. Korišćenjem radijalne projekcije na radiografskom filmu može se odrediti maksimalna veličina pora.

Slika 8: Uvećana kavitaciona zona

Pri kompjuterskoj tomografskoj analizi je moguće izmeriti ne samo apsolutne dimenzije pora, već odrediti i njegov oblik i zapremina. U IBR analizi, to znači potpuno kompjuterizovanu 3D tehniku kontrole.

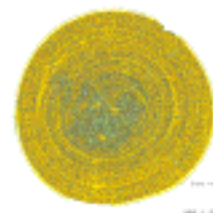
Prikaz 3D tomograma objekta koji nastaje programiranim kretanjem objekta ili posmatrača, omogućava specijalni softverski algoritam za kretanje korak po korak, što daje automatsku rekonstrukciju slike. Kod 3D animacije zavarene cevi, 36 sukcesivnih prikaza se spaja u kratak film (397 Kbytes AVI file).

## Drvo

### *Drvo topole*

Jasno se vidi razlika između kore drveta, unutrašnje i meke centralne zone. Prosečna gustina poprečnog preseka određena pomoću tomograma iznosi  $685 \text{ kg/m}^3$ , a korišćenjem laboratorijskih analiza  $675 \text{ kg/m}^3$ .

Slika 9: Poprečni presek drveta topole



## Umetnička dela i arheološki objekti



Rimska statua, 12 cm visoka, izrađena od bronz, je rekonstruisana korišćenjem 167 sukcesivnih longitudinalnih ravni.

Slika 10: Prikaz rimske statue

Celokupna 3D zapremina koja sadrži oko 6,4 miliona voxela, je analizirana korišćenjem specijalnog softverskog paketa zasnovanog na "metodi direktnog matričnog grafičkog prikazivanja".

Unutrašnja, pa čak i spoljašnja analiza moguća je direktno sa kompjuterskog displeja. Adekvatnim izborom pozicije i površine plotovanja mogu se prikazati različiti interesantni unutrašnji detalji.

Softver "seče" prikaz statue na interesantnim mestima, prikazujući skrivene unutrašnje detalje. Središnja oblast se ispituje da bi se proverila hipoteza da je statua izrađena iz dva dela. Hipoteza je odbačena korišćenjem tomografske analize, pošto je uočeno da na prikazu unutrašnjost ima kontinualnu strukturu.



Slika 11: Presek unutrašnje strukture

3D analiza statue je jasno pokazala interesantan detalj, prelom i reparaturu u zoni leve noge, reparaturni lepak se takođe uočava između delova.



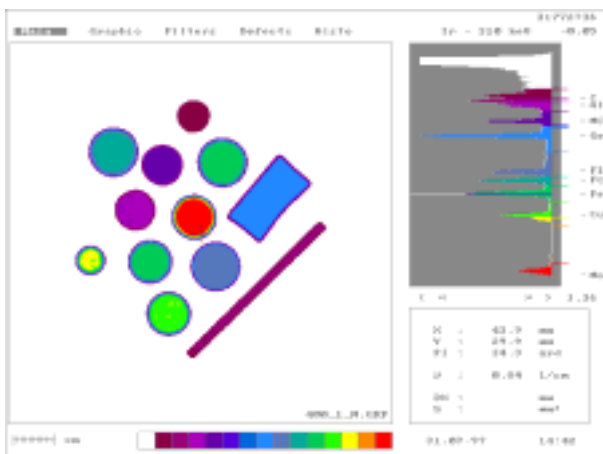
Slika 12: Prikaz repariranog dela statue

Korišćenjem obrađenih podataka, lepak je softverski "uklonjen" i nakon rekonstrukcije preostale zone, pojavila se pravilna kružna pukotina. Moguća je i 3D animacije statue: 36 sukcesivnih prikaza se spaja u kratak film (397 Kbytes AVI file).

### Identifikacija materijala

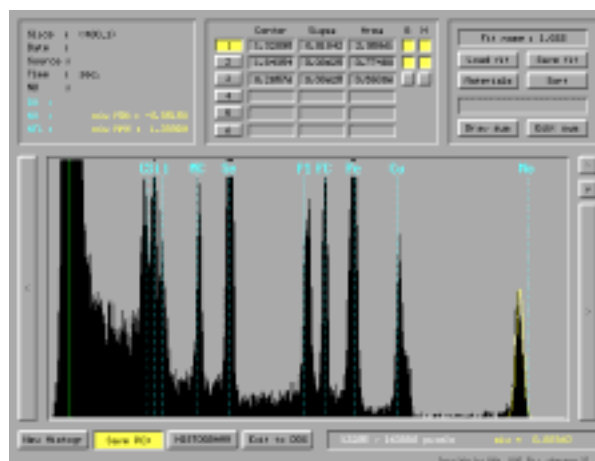
Identifikacija materijala od kojih se sastoji objekat koji se ispituje se izvodi poređenjem koeficijenta prigušenja dobijenog tomografskom rekonstrukcijom sa standardnom bazom podataka.

Kao primer se može navesti tomogram objekta koji se sastoji iz različitih čistih materijala, kao što su: silicijum, aluminijum, keramika, selen, gvožđe, bakar, bronza i molibden, u obliku okrugle ili pravougaone šipke.



Slika 13:

Prikaz tomograma šipke

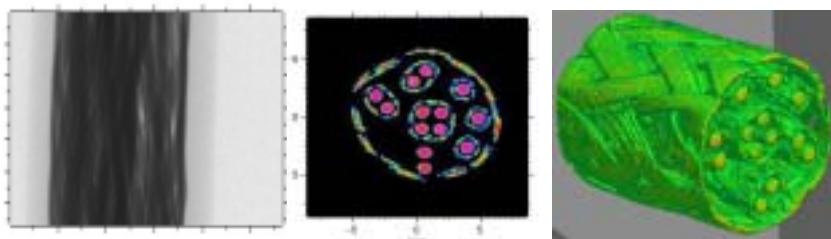


Slika 14: Prikaz histograma pri identifikaciji materijala

Slika prikazuje histogram sa koeficijentima prigušenja materijala od kojih je objekat izrađen. Pikovi prigušenja odgovaraju svakom rekonstruisanom materijalu i može se lako porediti sa standardnim vrednostima iz baze podataka. Odstupanja su manja od 2 % za širok opseg vrednosti koeficijentaprigušenja, tj. za veliki broj materijala.

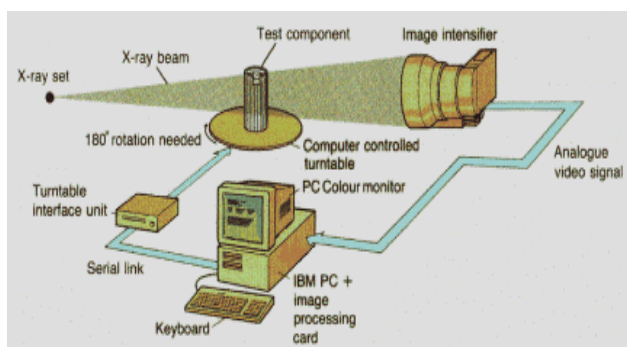
### TOMOHAWK

Tomohawk je visokokvalitetni industrijski kompjuterski tomografski sistem, koji se koristi u konjukciji sa opremom za X-radiografiju u realnom vremenu da bi se dobile performanse kompjuterske tomografije (CT).



Slika 15: Poređenje dopunskih informacija koje su sadržane u 2D i 3D CT prikazima (centar i desno) u odnosu na klasičnu radiografiju (levi deo slike)

Tomohawk je snabdeven kao poboljšana oprema za radiografiju u realnom vremenu (t.j. kabinet sistem), ili ima integrisan sistem za radiografiju u realnom vremenu, digitalnu radiografiju i CT. Konvencionalna radiografija daje samo dvodimenzionalni prikaz "grafičkih senki", sa minimalnim informacijama o prolazu snopa (X-zraka) u pravcu debljine. CT



uključuje rotaciju dela u odnosu na X-zrak, uz naknadnu matematičku rekonstrukciju podataka nastalih pri prolasku kroz poprečni presek komada koji se ispituje. 3D prikaz dela se takođe dostiže korišćenjem rekonstrukcione tehnike "konusnog zraka".

Slika 16: Izgled instalacije za 2D i 3D CT

TOMOHAWK se sastoji iz sledećih glavnih komponenti:

- PC visokih performansi (grafička kartica unutar PC za digitalizaciju / importovanje radiografskog prikaza u realnom vremenu)
- precizni "stepper" motor koji pokreće obrtni sto za rotaciju komada, koji je pod dejstvom X-zraka
- TOMOHAWK Windows™ softver za kontrolu obrtnog stola, prikaz slike, kalibraciju opreme, 2D i 3D CT rekonstrukciju slike, opremljen za ekstenzivni interaktivni displej slike, sa priborom za analizu.

TOMOHAWK je kompatibilan sa velikim brojem izvora X-zračenja, u opsegu od micro-focus do Linacs uređaja. TOMOHAWK takođe može da se poveže sa različitim oblicima sistema za prikaz slike, uključujući i intenzifikatore slike koji se koriste u kombinaciji sa analognim kamerama, hlađenim digitalnim kamerama, fluorescentnim ekranima, ili linearno raspoređenim foto diodama.

*Osnovne karakteristike TOMOHAWK-a:*

- u 2D CT modu, sakuplja do 150 različitih prikaza jedne rotacije komponente (Napomena: do sada je granica bila 50 prikaza)
- Mod brze kontinualne rotacije za brzo prikazivanje (vreme skeniranja je ispod 20 sekundi)
- Mod rotacije komponenti po koracima (stop/start) omogućava korisniku da izabere između vremena akvizicije i kvaliteta CT slike, sa potpunim otklanjanjem lažnih prikaza, uz vreme skeniranja obično 3-5 min.
- Brza rekonstrukcija CT prikaza (za 10 sekundi).

*Komponente sistema i operacije*

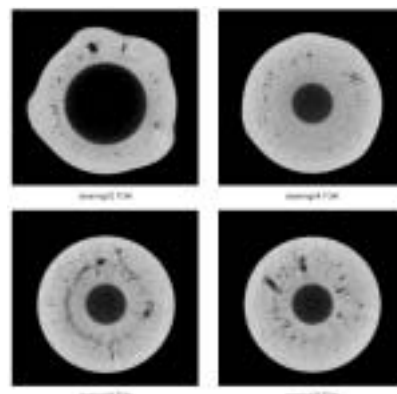
- Kompletan TOMOHAWK paket se sastoji iz TOMOHAWK softvera, prilagođenog PC sistemu korisnika, preciznog obrtog stola, kontrolera i monitora visoke rezolucije.

*Primeri primene*

- Mapiranje šupljina u odlivcima
- Mapiranje različitih minerala u uzorcima ruda
- Utvrđivanje unutrašnje strukture baterija
- Merenje debljine zida
- Merenje varijacije gustine u materijalu

*Mapiranje šupljina u odlivcima*

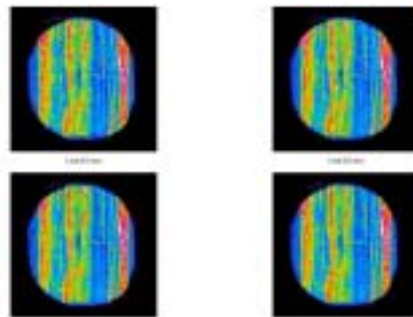
Slika 17: Prikaz grešaka u odlivcima



Konvencionalnom radiografijom sa X-zracima u realnom vremenu, šupljine u odlivcima se mogu detektovati, ali za delove velike složenosti pružaju malo informacija o dimenzijama zida i lokaciji šupljina. Pomoću 2D CT, prikazi po poprečnom preseku odgovaraju ravnima livenja, što daje tačan oblik, veličinu i lokaciju svake pore, što je ilustrovano na 4 aluminijumska komada.

*Mapiranje različitih minerala u uzorcima ruda*

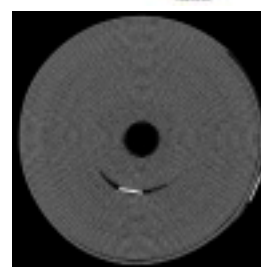
CT se koristi za detektovanje, lociranje i merenje veličine komponenata sa različitim gustinama u uzorku. Na slici je prikazan mali (prečnika 20 mm) uzorak uglja. Drugom bojom su označene različite komponente/materijali unutar uzorka uglja.



Slika 18: Prikaz zona od drugih materijala u uzorku uglja

*Utvrđivanje unutrašnje strukture baterija*

Baterija se rutinski ispituje upotrebom radiografije X-zracima, kako bi se utvrdile eventualne greške. Međutim, CT X-zracima pruža daleko više informacija o unutrašnjoj strukturi kompleksnih delova, kao što je npr. baterija. Omogućena je potpuna provera proizvodnog postupka.



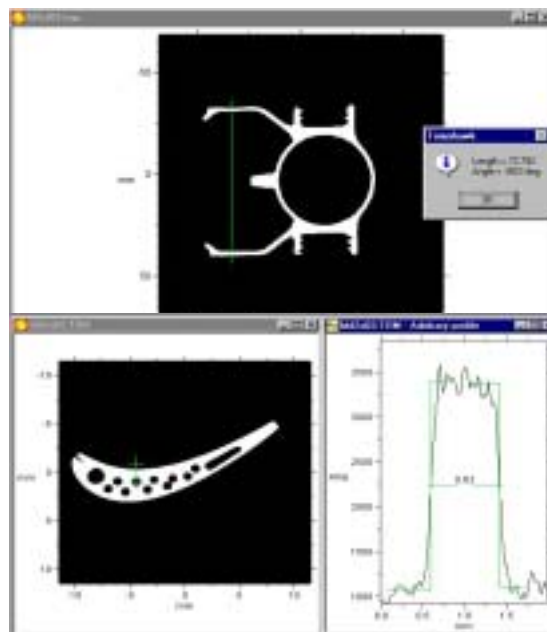
Slika 19: Prikaz unutrašnje strukture baterije

*Merenje dimenzija*

Konvencionalnom radiografijom X-zracima u realnom vremenu, debljina zida složenih delova kao što su lopatice turbine ili odlivci, se ne može precizno meriti. Međutim, CT X-zracima daje pravi prikaz poprečnog preseka, sa koga se može izvršiti precizno merenje dimenzija.

Slika 20: Merenje dimenzija na CT prikazu

Na sledećem primeru je lopatica turbine avionskog motora, ispitana TOMOHAWK postupkom uz korišćenje 225 kV micro-focus izvora X-zračenja, detektora za intenzifikaciju slike i Peltier hladene CCD kamere (12-bitni dinamički opseg).

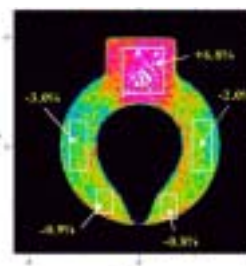


Slika 21: Prikaz lopatice turbine avionskog motora

*Merenje varijacije gustine u materijalu*

Kod određenih vrsta materijala kao što su kompaktni praškovi, postupak izrade može dovesti do varijacija u gustini finalnog proizvoda. Ako su ova odstupanja suviše velika, to značajno utiče na performanse proizvoda.

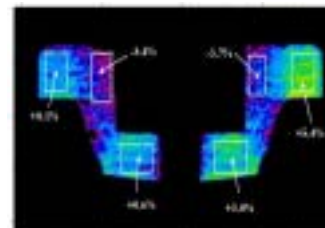
Metoda merenja varijacije gustine praška je nedavno razvijena.



Slika 22: Prikaz zona sa varijacijama gustine

Brojni su efekti koji kod CT X-zračenja onemogućavaju kvantitativno merenje gustine komponenata: rasuta radijacija i nelinearno "otvrdnjavanje" zraka (pošto X-zrak prolazi kroz materijal, niska energija ili "mekši" X-zraci se delimično absorbiraju, prouzrokujući da se glavna energija radijacije progresivno povećava ili "otvrdnjava"). Međutim, upotrebom specijalnih kolimacionih i kalibracionih tehnika, TOMOHAWK može da daje prikaze koji sadrže kvantitativne informacije o relativnoj varijaciji gustine unutar poprečnog preseka kroz komponentu.

Slika 23: Lokalni prikaz zone sa varijacijama gustine

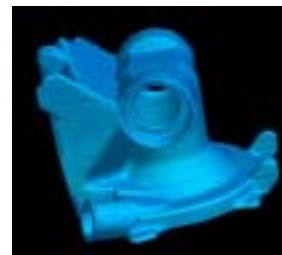


Na slikama razlike u boji pokazuju varijacije gustine. Prosečna gustina različitih pravougaonih regiona se takođe može prikazati u tekstualnoj napomeni. Ispitivanje sa razaranjem se koristi kako bi se potvrdila varijacija gustine detektovana CT tehnikom.

### 3D TOMOGRAFIJA

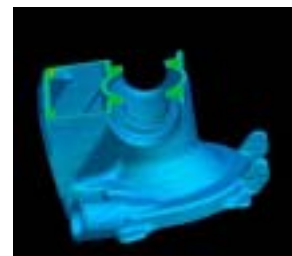
TOMOHAWK se zasniva na korišćenju 2D detektora koji generišu radiografske prikaze u realnom vremenu. Formiranjem kompletnog radiografskog prikaza u toku rotacije komada pod dejstvom X-zraka, informacije potrebne za potpuni 3D CT prikaz nastaju brzo u toku samo jedne rotacije. Nakon sakupljanja podataka, rekonstrukcije konusnih zraka (zasnovana na Feldkampovom algoritmu) dobija se 3D set podataka. Rezultati se mogu videti kao ekstenzivna serija horizontalnih 2D prikaza kroz uzorak, ili kao jedinstvena 3D baza podataka.

Slika 24: 3D set podataka dobijen samo jednom rotacijom aluminijskog komada



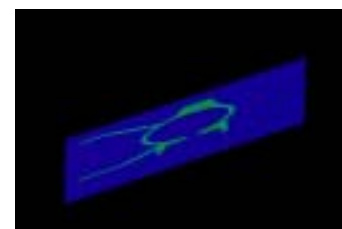
3D baza podataka se lako može importovati u veliki broj odgovarajućih paketa za 3D vizuelizaciju, što omogućava tumačenje zapremine, pogled u proizvoljnom pravcu, primenu odsečaka i ekstrakciju ortogonalnih ili kružnih delova.

Slika 25: Baza podataka se može seći i prikazati 2D sekcije unutar zapremine baze podataka



Dat je primer 3D baze podataka, koja je sakupljena u toku samo jedne rotacije aluminijskog dela za 360°, vizuelizovana u odgovarajućem Windows paketu:

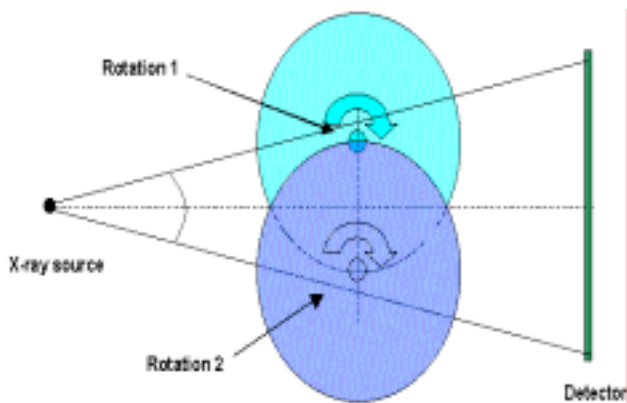
Slika 26: Prikriveni preseci takođe mogu postati vidljivi



### CT PRIKAZ SA VIŠESTRUKOM ROTACIJOM

Nova mogućnost TOMOHAWK sistema je 2D CT skeniranje sa višestrukom rotacijom, što ima dva posebno povoljna svojstva:

- omogućava CT prikazivanje objekata koji su širi od polja detektora
- daje veću rezoluciju prikaza na malim objektima uz korišćenje većeg geometrijskog povećanja (kada se koristi u kombinaciji sa mikro-fokus izvorom X-zračenja).



Slika 27: Princip tehnike CT sa višestrukom rotacijom

Ukoliko korisnik poseduje mogućnost za podešavanje i navede geometriju sistema (rastojanje izvora i detektora, izvora od centra rotacije, i vidnog polja detektora), softver izračunava ugaono pomeranje objekta iz početne pozicije do sledeće rotacije. Deo koji se ispituje se rotira u cilju prikupljanja 2D CT podataka.



Slika 28: Prikaz lopatice turbine malog aviomotora

Rotacije 1 i 2 su dovoljne da pokriju objekat u potpunosti, sa neometanim X-zracima ("bela oblast"), osim kod velikih objekata/povećanja koja mogu zahtevati više od dve rotacije. Skeniranje sadrži maksimalno 8 rotacija, mada se najčešće koriste 3 ili 4 rotacije.

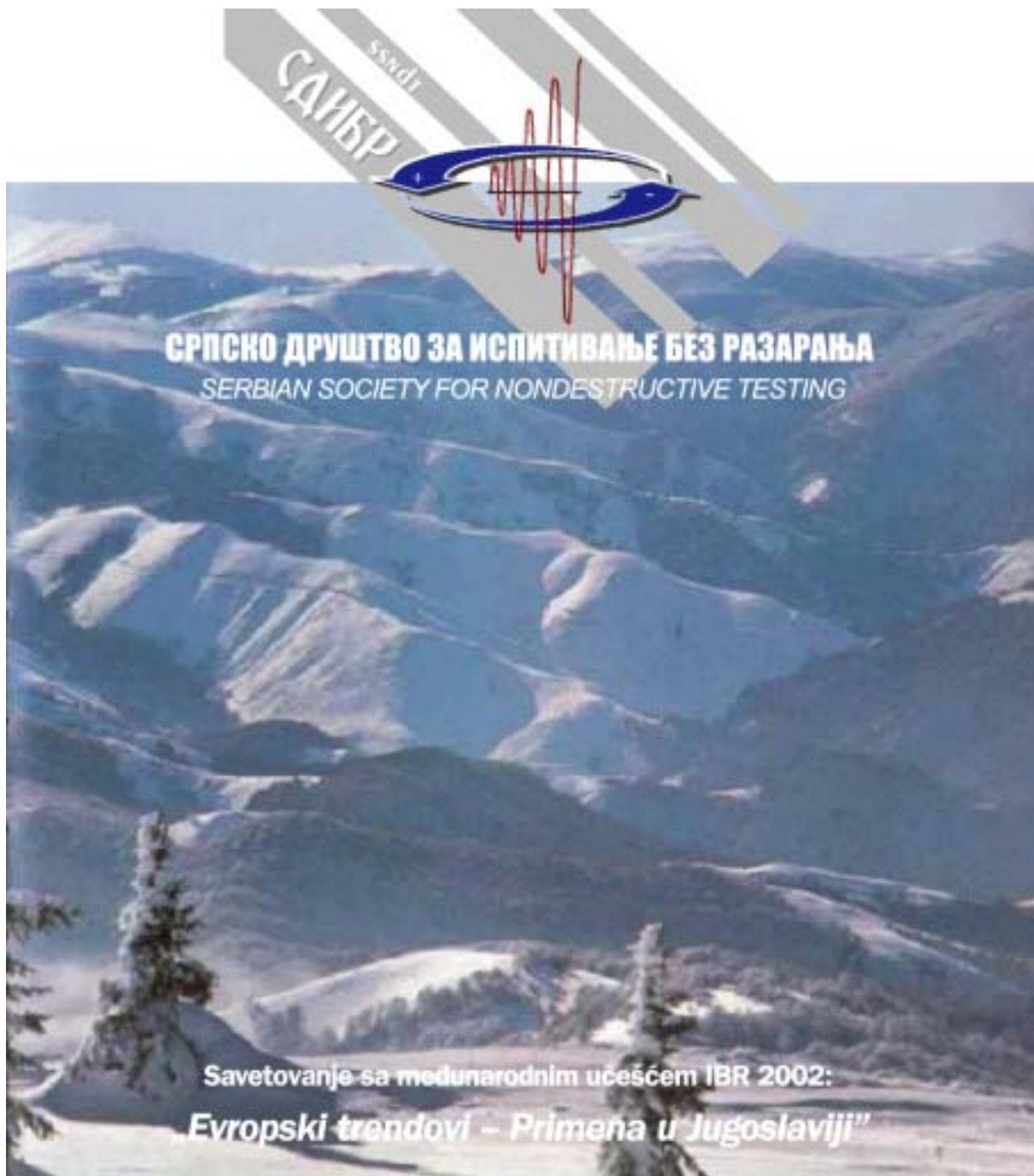
Opcija višestruke rotacije je jednostavna za primenu, ali dovodi do povećanja vremena potrebnog za skeniranje i rekonstrukciju. Koristi se zajedno sa tehnikom bočnog pomeranja koja sprečava pojavu lažnih prikaza.

## UMESTO ZAKLJUČKA

Rad je preglednog karaktera i ima za cilj da prikaže opšte principe i domene primene ove, relativno nove metode IBR, te nisu izvođeni neki posebni zaključci.

## LITERATURA:

1. High Energy 3D-Tomography in NDT; O. Gunnewig, W. Nuding, C. Saurwein - Saurwein System-technik, Germany; Proceedings of the 7th European Conference on Non-destructive testing, 26-29 May 1998, ISBN
2. Microfocus Computer Tomography; M. Wevers, M. Van Geet, H. Benouali, A. Prodromou, H. Judawisastra, S. Sule, Katholieke Universiteit Leuven
3. Industrial Tomography using X or gamma rays; ICPE LAB 57 Romana
4. Tomohawk, A cost effective, high quality industrial Computed Tomography system used in conjunction with real-time X-ray radiography equipment; AEA Technology plc 2001



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**



14

## KRITIČKI OSVRT NA MOGUĆNOST PRIMENE JUS EN 970

Ispitivanje zavarenih spojeva izvedenih topljenjem -  
Vizuelno ispitivanje

Milica Antic, dip.ing.  
Zavod za zavarivanje, Beograd  
Grcica Milenka 67

### Rezime

*U radu je dat kratak sadržaj standarda JUS EN 970 uz kritički pristup sa aspekta kvalifikacije osoblja koje izvodi vizuelno ispitivanje zavarenih spojeva. Poseban akcenat je dat na mogućnost primene u našim uslovima u odnosu na edukaciju osoblja za ovu vrstu ispitivanja i uobičajeni nedovoljni značaj ove vrste ispitivanja u našim zavarivačkim preduzećima.*

### Ključne reči:

ispitivanje, standardizacija, primena, vizuelno ispitivanje

## CRITICAL ASSESMENT OF THE APLLICATION POSSIBILITY OF JUS EN 970

Testing of fusion welded joints-Visual testing

### Apstract

*The brief content of the standard JUS EN 970 with critical approach connected with qulification of the personnel for visual testing of welded joints was given.Special attention was on the application possibilty in domestic conditions related to education of the personnel for this kind of testing and ussualy small importance for this kind of testing in our welding companies.*

### Key words:

esting, standardisation, application, visual testing

## UVOD

Pre razmatranja predloga JUS EN 970 - identičan sa EN 970 iz 1997.g, i mogućnosti njegove primene treba imati u vidu pravila o preuzimanju EN standarda kao nacionalne standarde. Pravila se odnose na evropske zemlje članice Evropskog komiteta za standardizaciju (CEN), ali je logično da ih se moraju pridržavati i zemlje koje nisu članice, kada EN standard prevode i preuzimaju kao svoj, nacionalni standard.

Svaki evropski standard iz oblasti ispitivanja bez razaranja (IBR) napisan je na tri jezika: engleskom, francuskom i nemačkom, i ove jezičke verzije odobrava CEN. Verzije na drugim jezicima su prevodi ovih standarda, za koje odgovarajući član CEN snosi odgovornost.

Iako Jugoslavija nije član CEN, u prevođenju EN standarda na službeni jezik (srpski) Savezni zavod za standardizaciju snosi odgovornost za verziju na srpskom jeziku, odnosno za JUS EN verziju. Ova odgovornost se naravno odnosi na odgovornost u primeni i tumačenju standarda, što u našem slučaju ponekad izostaje. Da bi se sačinio korektan prevod tehničkog teksta nije dovoljno samo filološko poznavanje jezika, posebno iz razloga nedostatka termina na našem jeziku. Problem se može rešiti dodatnim terminološkim napomenama. Pri tome, veoma je važna kompetentnost određene nacionalne tehničke komisije za određeni tehnički tekst.

EN 970 uradio je CEN/TC 121 "Zavarivanje", dok je prevod, JUS EN 970, izradila Komisija za standarde iz oblasti ispitivanja bez razaranja.

Kod delimične izmene usvojenih EN standarda članovi CEN su obavezni, prema internim pravilima CEN/CENELEC, da uključe ove izmene u potpunosti u svoje relevantne nacionalne standarde. Jedna od zajedničkih izmena je terminološka, i njome se, u skladu sa Rezolucijom 134/2000 Tehničkog komiteta CEN/TC 121/SC5, izraz "examination" zamenjuje izrazom "testing".

U izradi JUS EN standarda, koji po dinamici izlaženja veoma kasne za izdavanjem EN standarda, sem navedene terminološke izmene, veoma je važno da se proverí eventualno postojanje svih delimičnih izmena i da se uključe u nacionalnu verziju (JUS EN), uz napomenu o unešenim izmenama ( u odnosu na godinu izdanja verzije koja je poslužila za prevod).Tako bi korisniku bilo jasno da su u nacionalnoj verziji relevantnog standarda uključene i izmene nastale do navedene godine.

## OSVRT NA SADRŽAJ PREDLOGA JUS EN 970

JUS EN 970: Ispitivanje bez razaranja -Ispitivanje zavarenih spojeva izvedenih topljenjem-Vizuelno ispitivanje, svojim naslovom ukazuje da standard tretira samo ispitivanje, a prema sadržaju uočljiva je šira namena standarda. U originalu naslova upotrebljena je reč *examination*, a u prevodu je primenjena izmena (*testing*). Da postoji napomena o izmenama (o kojima je u uvodu bilo reči) korisniku bi bio jasan razlog ovakvog prevoda, a terminološko primenjeno značenje u prevodu moglo bi bliže da se objasni.

U tački 2, Normativne reference, citirani jugoslovenski standardi nisu sa originalnim naslovom postojećih standarda, što se može tumačiti kao novo viđenje prevodioca, ali i kao predstojeća izmena naziva tih standarda. Naravno da je novo viđenje prevodioca nedopustivo bez usvojenih izmena, o čemu bi u tom slučaju, takođe, u napomenama moralo da postoji objašnjenje.

Za razliku od nekih drugih standarda, ovaj standard je veoma siromašan u pozivanju na druge standarde (EN 288-2; EN 473; EN 25817; EN30042 itd.), s obzirom na područje primene, a vezano za oblast zavarivanja.

U tački 4–Osoblje, data su tri uslova, od kojih je prvi da osoblje bude "familijarno sa relevantnim standardima, pravilima i specifikacijama" (što u prevodu znači da bude dobro upoznato sa standardima, pravilima i specifikacijama koje su od značaja) je svakako najznačajniji, i podrazumeva da je osoblje veoma dobro upoznato sa zavarivanjem uopšte, što se kroz drugi uslov da "bude upoznato sa korišćenom tehnologijom zavarivanja" i potvrđuje.

U tački 5 date su opšte odrednice, a u tački 6 provera pripreme spoja; u tački 7 kontrola tokom zavarivanja i u tački 8 i 9 kontrola završenog zavarenog spoja. Sadržajem ovih tačaka definisano je da vizuelna kontrola zavarenih spojeva obuhvata i pripremu za zavarivanje, samo zavarivanje, zatim završnu kontrolu spoja, kao i kontrolu spojeva popravke (tačka 9).

U tački 10, kojom su obuhvaćeni zapisi o kontroli navodi se i detalj o označavanju spojeva i to "kada se to zahteva, zavareni spojevi koji su kontrolisani i *odobreni* treba da budu pogodno označeni ili identifikovani".

U prilogu standarda dati su preporučeni primeri opreme za vizuelnu (lupe, boroskopi, endoskopi i slično) i dimenzionu kontrolu( različita merila nadvišenja šava, ugla otvora žljeba i slično).

## **MOGUĆNOSTI EDUKACIJE ZA PRIMENU STANDARDA**

Prema sadržaju standarda i siromaštvu referenci, teško bi bilo obaviti valjanu vizuelnu kontrolu zavarenih spojeva, ukoliko ne bismo raspolagali odgovarajućim znanjem iz oblasti zavarivanja. Pozivanjem na standard EN 473 (Kvalifikacija i serifikacija IBR osoblja. Opšti principi) kojim je obuhvaćeno vizuelno ispitivanje (VT), moglo bi se zaključiti da bi za osoblje drugog nivoa minimalno početno iskustvo pre sertifikacije bilo 4 meseca. Da li je to dovoljno za adekvatnu vizuelnu kontrolu zavarenih spojeva? Potrebno dobro poznavanje korišćene tehnologije zavarivanja i razumevanje specifikacija zavarivanja, a da bi se mogla primeniti vizuelna kontrola pre, u toku i posle zavarivanja, realno je očekivati od zavarivačkog osoblja, ali ne i od osoblja za IBR. U našim uslovima, mala je verovatnoća da se angažuje posebno osoblje samo zbog vizuelne kontrole zavarenih spojeva. Za korisnike, proizvođače zavarenih proizvoda i konstrukcija, povoljnije je, ako je potrebno, doobrazovanje zavarivačkog osoblja za vizuelnu kontrolu zavarenih spojeva, nego obrazovanje osoblja IBR za sticanje odgovarajućih znanja iz oblasti zavarivanja, a za potrebe vizuelne kontrole. Ova, i mnoštvo drugih pitanja koja se mogu postaviti, stavljaju u sumnju adekvatnu primenu JUS EN 970 od strane osoblja IBR.

Ukoliko je opredeljenje da u našim uslovima ovaj standard primenjuje osoblje za IBR, onda je urgentno i neophodno promeniti sadržaj kurseva za vizuelno ispitivanje u multisektoru kakav sada imamo, i organizovati kurs samo za vizuelnu kontrolu zavarenih spojeva. Druga je mogućnost da se vizuelna kontrola zavarenih spojeva prepusti osoblju za zavarivanje čiji je sistem edukacije, kvalifikacije i sertifikacije veoma dobro uređen pravilima evropske (EWF) i međunarodne (IIW) zavarivačke asocijacije. Ova opcija i jeste povoljnija, jer nije bez razloga ovaj standard i nastao u tehničkom komitetu TC 121- Zavarivanje.

## **UMESTO ZAKLJUČKA**

Najmanje što je potrebno učiniti da bi se obezbedila adekvatna primena JUS EN standarda je tehnički korektan prevod, uspostavljanje terminologije koja će omogućiti jasnoću u primeni, i kompetentno tumačenje preko strukovnih glasila ili seminara, za šta je potrebna saradnja

Saveznog zavoda za standardizaciju i strukovne asocijacije relevantne za materiju određenog standarda.

### **LITERATURA**

- 1 .Nacrt standarda JUS EN 970- Ispitivanja bez razaranja-Ispitivanje zavarenih spojeva izvedenih topljenjem-Vizuelno ispitivanje, SZS,Beograd,2000.g
- 2.Standard EN 970-Non-destructive examination of fusion welds-Visual examination, CEN, Brisel,1997.g
3. Predlog standarda JUS EN 473-IBR, Kvalifikacija i certifikacija IBR osoblja-Opsti principi,SDIBR, Beograd, 2001.g.

15

## ZNAČAJ POLAZNOG STANJA MATERIJALA PRI ISPITIVANJU OPREME U EKSPLOATACIJI TEHNIKOM METALOGRAFSKE REPLIKE

NADEŽDA FILIPOVIĆ, dipl. ing.  
Zavod za zavarivanje, Beograd

### **Rezime**

*U radu su dati karakteristični primeri koji ukazuju na neophodnost poznavanja polaznog “nultog stanja” strukture materijala, za pravilnu analizu - interpretaciju strukture kao i donošenju zaključaka pri ispitivanju u toku eksploatacije.*

### **Ključne reči:**

struktura, polazno stanje

## THE IMPORTANCE OF INITIAL MATERIAL CONDITION AT THE EXAMINATION OF EQUIPMENT IN EXPLOITATION USING METALOGRAPHY REPLICA TECHNICS

### **Abstract**

*The work contains the characteristic examples which appear on a necessary knowledge of initial “zero condition” of material structure for correct structure analyse – interpretation also fetching of conclusion at the examination during an exploitation.*

### **Key words:**

structure, initial structure

## UVOD

Već više od jedne decenije tehnika metalografske replike ima široku primenu kao metoda ispitivanja bez razaranja u praćenju stanja opreme u eksploataciji u rafinerijskim, petrohemijskim i termoenergetskim postrojenjima.

U svom radu "Tehnika replike u inspekciji oštećenja materijala" - Defektoskopija 1990. g. – Sarajevo, navela sam mogućnosti primene ove metode, primarno u analizi oštećenja usled puzanja kod niskolegiranih čelika otpornih na puzanje po metodi Nojbauera, pomoću već dobro poznatih referentnih slika – stepeni oštećenja od puzanja .

Sve većoj primeni ove metode doprinela je nemogućnost zamene pojedinih delova opreme, koja bi se u ekonomski razvijenijim zemljama uradila bez ulaska u eventualne rizike. Korisnici opreme, nakon primene ove metode ispitivanja, traže odgovor od nas koji se bavimo analizama da li oprema može da radi i koliko, ili kako se popularno kaže koliki je preostali vek. Moram da naglasim da se primenom tehnike replika dobija informacija o strukturi materijala na površini materijala, uz ograničenje da se metalografskom pripremom ne sme da skine više od 0,2mm debljine materijala.

U radu su dati primeri strukture materijala evidentiranih pri metalografskom ispitivanju, pri prijemu kotlovske cevi i cevi parovoda od ugljeničnih i niskolegiranih toplo postojanih čelika - metalografska ispitivanja po preseku. Takođe su date strukture evidentirane pri prijemu nosača od visoko legiranog nerđajućeg čeličnog liva - metalografska ispitivanja na površini.

Ovi primeri ukazuju na potrebu poznavanja polaznog stanja materijala pri ispitivanju u toku eksploatacije - primenom tehnike replike.

## KARAKTERISTIČNI PRIMERI

Cevi od toplo postojanih čelika sa aspekta termičke obrade mogu da budu isporučene:

- ugljenični i nisko legirani čelici (15Mo3;17Mn4), sa normalizacionim žarenjem ili ređe sa hlađenjem sa temperature tople prerade;

- legirani i visokolegirani čelici, normalizovani sa visoko temperaturnim otpuštanjem ili poboljšani.

Usled neadekvatnog izvođenja pomenutih režima, a takođe i kao rezultat prethodne plastične prerade, otkrivaju se u strukturi materijala: neujednačene strukture po preseku materijala, neujednačene veličine zrna - dupleks struktura, prisustvo Vidmanštetenove strukture, razugljeničenje uz spoljašnju odnosno unutrašnju površinu, sferoidizacija perlita...

Rezultati metalografskih ispitivanja cevi - mikrostrukturna analiza po preseku zida cevi pokazali su da uz spoljašnju odnosno unutrašnju površinu cevi postoji razugljeničeni sloj u kome je količina perlita manja, odnosno potpuno razugljeničeni sloj sa feritnom strukturom. Vrlo često se konstatuje da je došlo i do porasta feritnog zrna.

Kod kotlovske cevi razugljeničeni sloj obično ne prelazi 0,2mm kao što se to vidi sa slike 1.

Prema GOST-u 5640 pri oceni mikrosrstrukture: slobodnog cementita, perlita, trakavosti, i Vidmanštetenove strukture, površinski sloj dubine do 10% debljine zida sa obe strane ne uzima se u obzir.

Redi slucajevi su kada razugljeniceni sloj prelazi 10% debljine zida, a naročito sa obe strane zida cevi.

Kod debelozidnih cevi (cevi parvoda) razugljeniceni sloj kreće se u granicama 0,5-0,7mm, max. 1,0mm. Na sici 2 prikazan je razugljeniceni sloj sa potpunom feritnom strukturom, prelazna zona sa smanjenom količinom perlita.

Postojanje razugljenicene zone ili kako se kaže zone dekarbonizacije, je od posebnog značaja kod opreme za hidro-krckovanje nafte, koja radi na temperaturi iznad 400 C, pritisku iznad 30 bara i u kontaktu je sa vodonikom, a u eksploataciji je više od 30 godina. Kod ove opreme površinska dekarbonizacija nastaje usled migracije ugljenika ka površini gde se usled reakcije sa gasovima formiraju gasovita jedinjenja CH<sub>4</sub> ili kada gasovi sadrže kiseonik formira se i CO. Pošto ugljenik difunduje iz karbida, što su karbidi stabilniji to je manja brzina dekarbonizacije. Kao rezultat površinske dekarbonizacije nastaje potpuno smanjenje tvrdoće i čvrstoće, a što može da dovede do razaranja tih delova opreme tako da je potrebno poznavanje polaznog stanja strukture materijala tih delova opreme na početku eksploatacije.

Prisustvo neujednačene - dupleks strukture znatno utiče na smanjenje otpornosti prema puzanju i na smanjenje vremenske čvrstoće, stoga je informacija o njenom prisustvu veoma značajna.

Neujednačena struktura po debljini materijala je često prisutna pa je sa aspekta postizanja odgovarajućih mehaničkih osobina i ta informacija od značaja. Na slici 3 prikazana je neujednačena feritno-perlitna struktura sa prisustvom beinita, takođe se uočava i neujednačena veličina zrna koja je već pomenuta.

Kod delova opreme koji rade na povišenim temperaturama, usled poremećaja tehnološkog režima (prekid u cirkulaciji), delovi opreme bivaju izloženi znatno višim temperaturama od radne, tako da u zavisnosti od temperature i vremena na kojoj se nalaze može da dođe i do porasta zrna. Na slici. 4 prikazan je porast zrna uz spoljašnju površinu u već razugljenicenoj feritnoj strukturi, uz spoljašnju površinu kotlovske cevi .

U strukturi materijala kotlovskih cevi konstatuje se da je započeo proces sferoidizacije perlita, obično sa karbidima unutar perlitnih zrna, kao što se to vidi sa slike 5.

Započeta sferoidizacija perlita sa izdvajanjem karbida po granicama zrna predstavlja jedan od pokazatelja degradacije feritno-perlitne strukture – početak oštećenja usled puzanja.

Da bi se pratio razvoj oštećenja materijala usled puzanja potrebno je znati stanje termičke obrade ugrađene opreme. Smatra se da se igličaste strukture bolje suprotstavljaju razvitku procesa rekristalizacije, tako da je vreme do početka III stadijuma puzanja znatno duže nego kod zrnastih struktura.

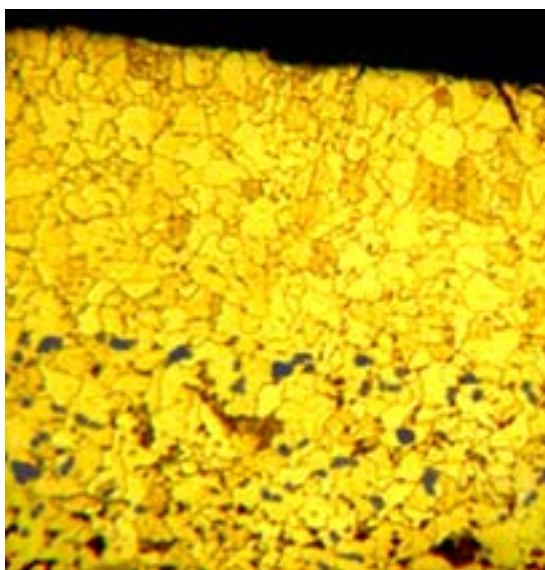
Kod debelozidnih cevi (cevi parovoda) u strukturi materijala mogu da se otkriju paralelni nizovi nemetalnih uključaka, raspoređenih u pravcu ose cevi, vrlo često blizu spoljašnje površine ili izlaze na površinu. Sa slike 6 se vide nemetalni sulfidni uključci koji se nalaze ispod površine na 0,2 mm od spoljašnje ivice cevi. Ovakvi nizovi uključaka liče na prsline.

Interesantan je problem odlivaka od visokolegiranog nerđajućeg čeličnog liva, koji u gašenom stanju obezbeđuju postojanost na interkristalnu koroziju. Međutim kod odlivaka velikih dimenzija često se dešava da se takvi odlivci isporuče u livenom stanju bez naknadne

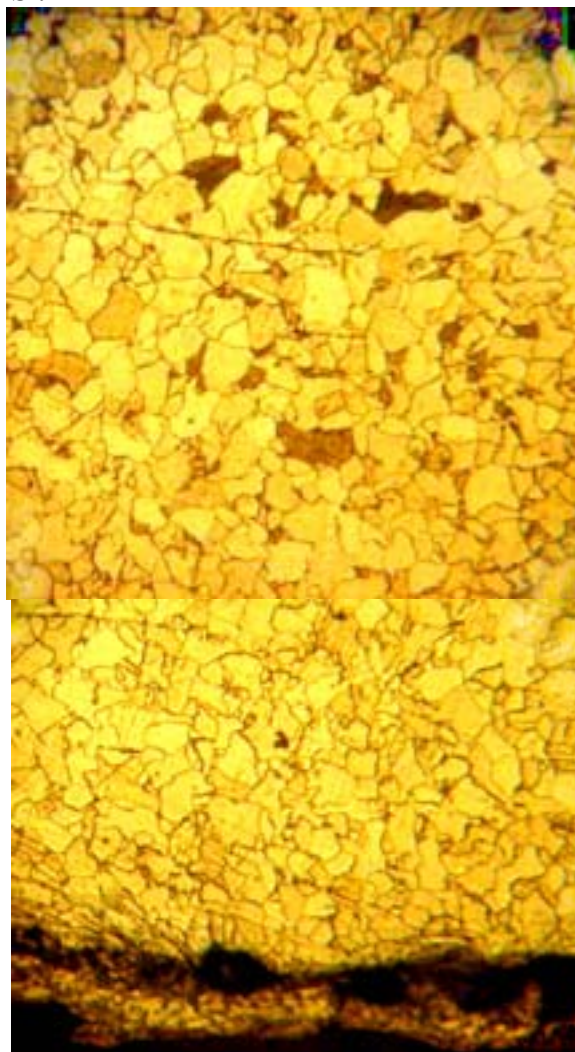
termičke obrade, tako da se u strukturi takvih materijala konstatuje znatno izdvajanje karbida po granicama austenitnih zrna, kao što se vidi sa slike 7 (rešetkasti nosač) i slike 8 (kukasti nosač) iz peći.

Što se tiče gotovih delova opreme sa kojih se ne može uzeti uzorak za ispitivanje polaznog stanja materijala preporučuje se da se uradi metalografska analiza na površini tako bi se na taj način dobila struktura polaznog stanja sa svim potrebnim informacijama koje su od značaja za dalje praćenje u toku eksploatacije.

Sl. 1

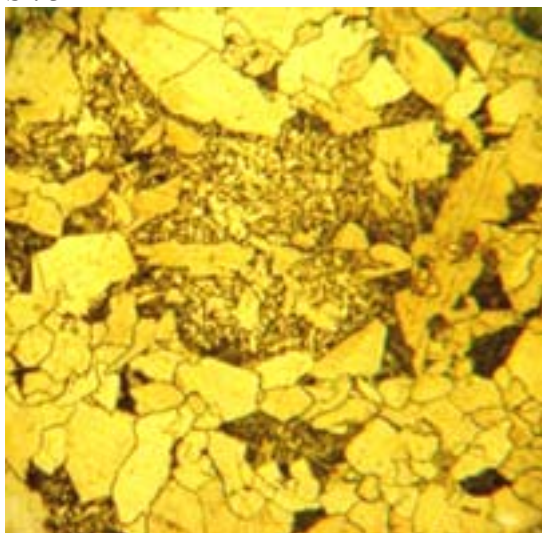


Sl. 2

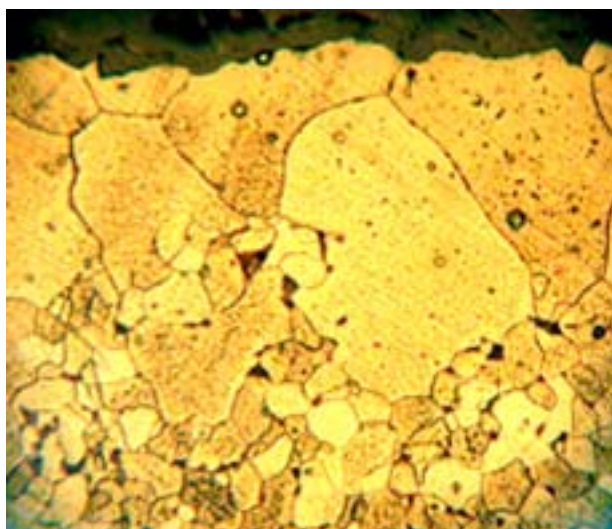




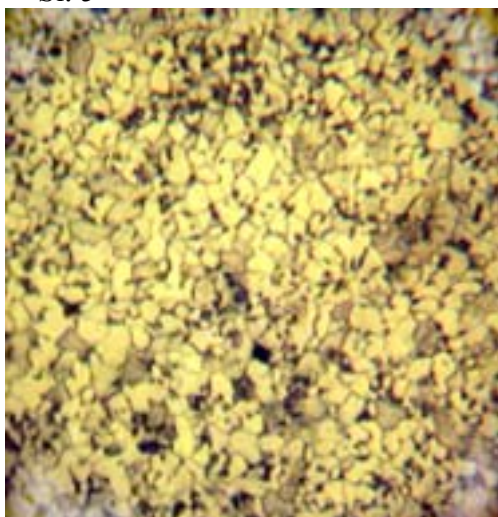
Sl. 3



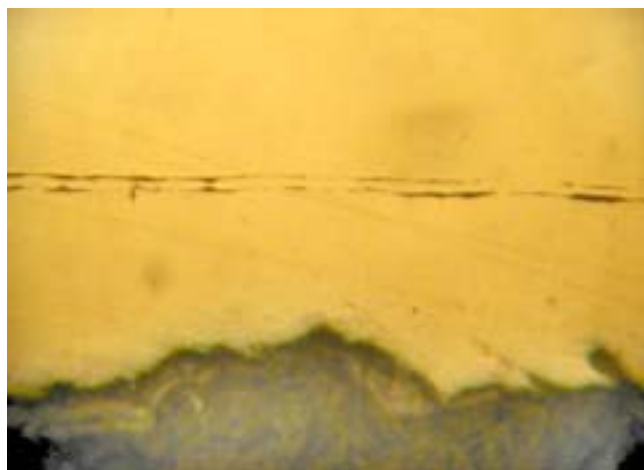
Sl. 4



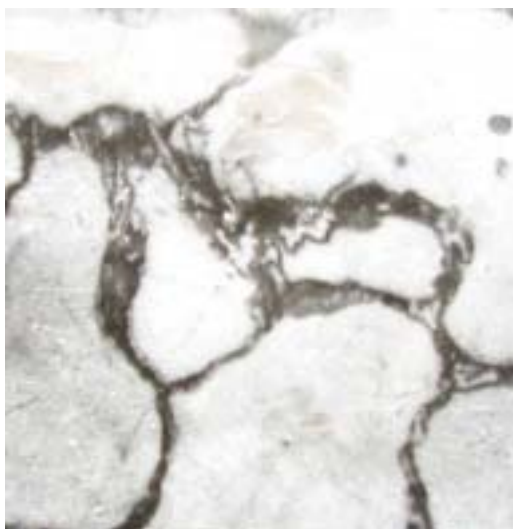
Sl. 5



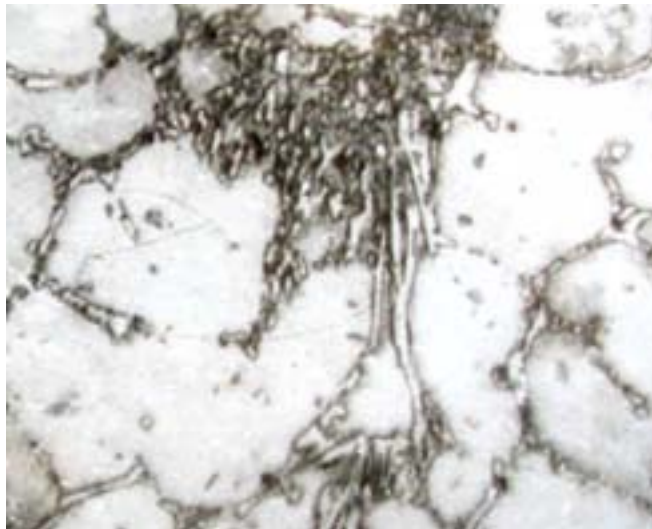
Sl. 6



Sl. 7



Sl. 8



## ZAKLJUČAK

Za kvalitetnu analizu stanja opreme u toku eksploatacije primenom metalografskog ispitivanja na površini - tehnika replike potrebno je poznavati polazno stanje materijala sa svim strukturnim karakteristikama.

Poznavanje polaznog “nultog” stanja materijala je korisno iz razloga što se od korisnika opreme ne dobiju sve potrebne informacije koje se odnose na tehnološke režime.

Najbolje je ako se raspolaže sa rezultatima metalografske analize po preseku, a to je jedino moguće ako se obave ispitivanja materijala pre izrade delova opreme.

Za gotove delove opreme preporučuje se da se na početku eksploatacije primenom tehnike replike evidentira početno “nulto” stanje materijala.

Ako se ne poznaje polazno stanje materijala može doći do pogrešnog usmerenja pri analizi, a samim tim i do pogrešnog zaključivanja .

Informacija o polaznom stanju je značajna za dalje praćenje opreme u toku eksploatacije, kao i za praćenje progresije oštećenja.

- Slika 1. Mikrostruktura uz spoljašnju površinu kotlovske cevi; uvećanje x200
- Slika 2. Razugljeničeni sloj uz spoljašnju površinu kotlovske cevi; uvećanje x200
- Slika 3. Neujednačena struktura na materijalu kotlovske cevi; uvećanje x200
- Slika 4. Porast zrna uz spoljašnju površinu cevi, uvećanje x200
- Slika 5. Sferoidizacija perlita u strukturi materijala kotlovske cevi; uvećanje x200
- Slika 6. Nemetalni uključci uz spoljšnju površinu cevi, uvećanje x200
- Slika 7. Mikrostruktura nerđajućeg čeličnog liva-rešetkasti nosač, uvećanje; x 200
- Slika 8. Mikrostruktura nerđajućeg čeličnog liva-kukasti nosač, uvećanje; x 200

16

## ISPITIVANJE UTICAJA BRZINE HLAĐENJA NA STRUKTURU FEROSILICIJUMSKE LEGURE, ULTRAZVUČNOM METODOM

\*Veselinka Đorđević, dipl.ing.\*  
Prof.dr Zagorka Aćimović-Pavlović, dipl.ing. \*\*\*  
Milan Milić, tehn. \*\*

\* ITNMS – Beograd, Franše d' Eperea 86.

\*\* Zavod za zavarivanje – Beograd, Grčića Milenka 67

\*\*\*TMF – Beograd, Karnegijeva 4

### Izvod

*Uticaj brzine hlađenja odlivka ferosilicijumske legure, pored drugih metoda sa i bez razaranja, proverava se i ultrazvučnom, primarno u cilju provere kvaliteta odlivka, a potom radi određivanja osnovnih strukturnih karakteristika. U radu su dati rezultati ispitivanja ultrazvukom stepenaste probe odlivka pomenute legure.*

### Ključne reči:

ferosilicijumske legure; livenje; ultrazvučno ispitivanje; struktura; veličina zrna, slabljenje

## THE EXAMINATION OF COOLING RATE ON Fe-Si ALLOY CASTING STRUCTURE BY ULTRASONIC METHOD

### Abstract

*The effect of cooling rate Fe-Si alloy, beside of the other destructive and non-destructive testing methods, is possible to examine by ultrasonic with the first aim to quality control and after that to define basic structural characteristics. Ultrasonic test results of the Fe-Si alloy cast sample with deferent thicknesses, are given in this paper.*

### Key words:

Fe-Si alloys; casting; ultrasonic testing; structure; grain size,attenuation

## UVOD

Ozbiljan problem kod mnogih oblasti primene metalnih materijala i značajan činilac visokih proizvodnih troškova je korozija, odnosno razaranje metala koje nastaje usled hemijskog uticaja sredine. Budući da koroziju prouzrokuje hemijska reakcija, brzina korozije zavisi u izvesnom stepenu od temperature i koncentracije reaktanata i proizvoda reakcije. Takođe, mehanički naponi i erozija su faktori koji mogu ubrzati koroziju.

Kada se vrši izbor materijala za tehničku konstrukciju koja je u eksploataciji izložena koroziji potrebno je razmotriti sve uslove i pravila, pronaći odgovarajuću korelaciju svojstava datog materijala – svih aspekata procesa korozije – ekonomskih i ekoloških aspekata.

Poseban problem je aspekt osvajanja celokupnog proizvodnog procesa tehnologija izrade i dobijanja delova odgovarajućih strukturnih, hemijskih i mehaničkih svojstava, odnosno dobijanje delova zahtevanog kvaliteta pod najpovoljnijim ekonomskim uslovima. Imajući to u vidu planirano je istraživanje izrade odlivaka otpornih na kiseline sa poboljšanim svojstvom otpornosti prema abraziji.

Izrada ferosilida kao liva otpornog na kiseline u poslednje vreme uzima sve više maha. Ovaj tip koroziono-otpornog gvožđa sadrži 14,5% ili više silicijuma. Tvrdo je i krto, tako da je livenje najpogodniji proces izrade različitih delova, a mašinska obrada može se ostvariti brušenjem. Visoka tvrdoća ferosilida omogućava mu otpornost prema abraziji, ali istovremeno niska čvrstoća i krtost čine ga jako osetljivim na mehaničke i toplotne udare.

Važno je napomenuti da je konstrukcija ove vrste odlivaka vrlo različita, da nije standardizovana kod nas i da u mnogome proizvodnja ovih delova zavisi i od proizvođača opreme za hemijsku industriju, prvenstveno. Većina fabrika hemijske industrije, za proizvodnju raznih kiselina, na primer, svoje potrebe za odlivanje ferosilida, podmiruju iz uvoza. S obzirom na visoku cenu ovih odlivaka po jedinici njihove mase može se zaključiti o nivou troškova.

U cilju provere kvaliteta odlivaka, moguće je primeniti odgovarajuće IBR metode za proveru prisustva površinskih grešaka, odnosno proveru homogenosti.

Ovde je primenjeno ispitivanje ultrazvukom na probnom uzorku, stepenastoj epruveti koja se sastoji iz 7 stepenika različite debljine približno od 10 do 70 mm.

Kontrola strukture materijala zasnovana je na oceni slabljenja i brzine prostiranja talasa kroz objekat koji se ispituje.

## 1. KARAKTERISTIKE ODLIVAKA OD FEROSILIDA

Visokosilicijumsko liveno gvožđe, ili gvožđe otporno na kiseline (ferosilid) sadrži 14% do 18% silicijuma. Koristi se u kiselim sredinama, zapravo koristi se u pojedinim oblastima hemijske industrije, uglavnom za izradu centrifugalnih pumpi, uređaja za koncentraciju sumporne kiseline (lopatice, mešalice i drugo), reakcionih aparata, kompresora itd.

Proizvodnju ovih materijala prati niz poteškoća: pojava unutrašnjih naprezanja, pukotina, poroznosti, a kao posledica ovoga visok procenat škarta. Zatim, tu su i nemogućnosti poboljšanja nekih svojstava procesom termičke obrade odlivaka. Zbog specifičnosti procesa i samog materijala neophodno je pri izradi visokosilicijumskog liva obratiti pažnju na izbor sirovina, proces topljenja, postupak izrade kalupa i jezgara, proces livenja.

### Svojstva i primena

Visokosilicijumsko gvožđe je standardizovano po BS 1591; 1949 koji daje podatke o hemijskom sastavu i termičkoj obradi. Po standardu hemijski sastav je sledeći:

$C - 0,35 - 1\%$

$Si - 14,25 - 15,25\%$

$Mn - \max 1,0\%$

$S - \max 0,1\%$

$P - \max 1,0\%$

U praksi najčešće se koristi ferosilid koji sadrži 0,5-0,8%  $C$ , 0,3-0,8%  $Mn$ , 14-16%  $Si$ , 0,1%  $P$  i 0,07%  $S$ .

Sa povećanjem sadržaja  $Si$  povećava se otpornost prema koroziji, ali se istovremeno pogoršavaju mehanička svojstva i obradivost materijala. Stoga, za svaku namenu neophodno je posebno odlučivati o hemijskom sastavu ovog materijala.

Sadržaj  $Si$  mora da se nalazi u granicama 14-16% da bi se obezbedilo obrazovanje neprekidnog zaštitnog filma od  $SiO_2$ . Ovaj film se lako obrazuje na površini odlivka usled velikog afiniteta  $Si$  prema kiseoniku.

### **Struktura**

Železo vezuje velikom energijom  $Si$  u čvrsti rastvor. Silicijumom se jako snižava tačka topljenja železa. Temperaturni interval između likvidus i solidus linije je veoma mali, tako da teško dolazi do segregacije silicijuma.

Silicijum pripada elementima koji sužavaju gama oblast železa. Zbog sužavanja gama oblasti, tačke preobražaja su pomerene ka višim temperaturama tako da 17%  $Si$  izaziva pomeranje za  $50^{\circ}C$ . Ovo pogoduje stvaranju grubog zrna pri žarenju, rekristalizaciji i kaljenju.

Uticaj ugljenika na ravnotežni dijagram Fe-Si je takav da on ne menja raspored prisutnih faza ali smanjuje interval očvršćavanja sistema i sadržaj  $Si$  u eutektikumu. Ugljenik prisutan u mikrostrukturi visokosilicijumskog liva egzistira kao lamelaran grafit u obliku finih lamela, grubih lamela ili u obliku štapića. Ponekad je u livenoj mikrostrukturi prisutan karbid, pogotovu ako je hlađenje brzo i javlja se neposredno posle očvršćavanja.

Mehanička svojstva i otpornost na koroziju opadaju sa porastom veličine zrna. Pogotovo opada otpornost na interkristalnu koroziju.

### **Tehnološka svojstva**

Visokosilicijumsko liveno gvožđe ima dobru livkost. Ovo svojstvo uslovljeno je povećanim sadržajem  $Si$ . Po pravilu za livenje se koristi legura eutektičkog sastava. Ovaj sastav je najpovoljniji zbog niske tačke topljenja i malog temperaturnog intervala očvršćavanja.

### **Antikorozivna svojstva**

Antikorozivna svojstva visokosilicijumskog liva zavise od obrazovanog filma silicijum dioksida ( $SiO_2$ ). Atomi železa izlučuju se iz silicijumsko-feritne rešetke, a zaostali atomi  $Si$  su oksidisani tako da formiraju zaštitni film silicijum oksida koji sprečava dalju koroziju.

Visokosilicijumski liv otporan je na dejstvo sumporne i azotne kiseline pri svim koncentracijama i temperaturama, a takođe i na dejstvo smeše sumporne i azotne kiseline.

Visokosilicijumsko liveno gvožđe otporno je na dejstvo fosforne kiseline na sobnoj temperaturi, organskih kiselina na svim temperaturama i svim koncentracijama, oksida azota

na povišenim temperaturama, ugljendisulfida, rastvora aluminijum hlorida, aldehida i drugih agresivnih sredina.

## ISPITIVANJE UZORKA

### Podaci o ispitivanju

Uzorak za ispitivanje je stepenasta epruveta od sedam stepenika različite debljine od 10 do 70 mm.

Hemijski sastav uzorka je: C=0,58%, S=0,014%, Si=15,32%.

### Rezultati ispitivanja i analiza

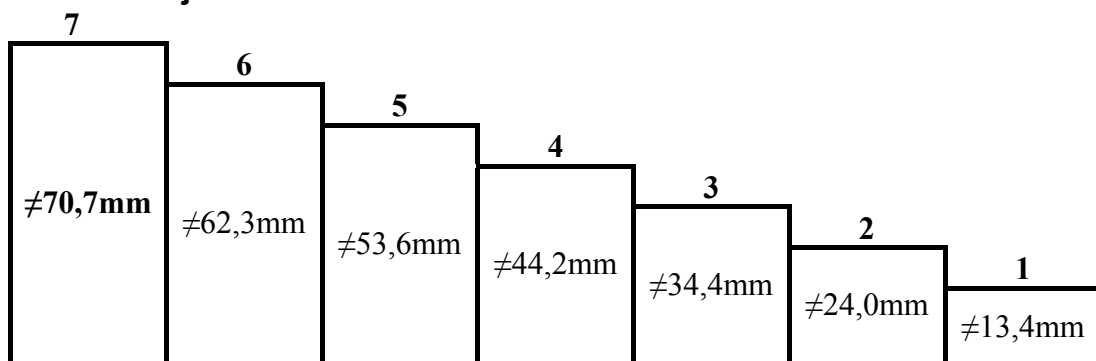
Merenje brzine prostiranja longitudinalnih ultrazvučnih talasa je urađeno na poznati način sondom MB2F na debljini ( stepenik uzorka 2) 24 mm. Srednja vrednost brzine ovih talasa je 2478 m/s.

Poznato je da struktura materijala (veličina zrna, oblik i orijentacija zrna) bitno utiče na prostiranje ultrazvučnih talasa. Ukoliko je veličina zrna približna talasnoj dužini prostirućeg talasa, onda je ovaj uticaj ogroman. Slabljenje ultrazvučnih talasa je veliko i veće je kod transverzalnih (poprečnih) nego kod longitudinalnih ultrazvučnih talasa zbog njihove prirode. Rasipanje talasa ima dominantan uticaj na slabljenje. Na granicama dolazi do prelamanja pa i do transformacije talasa tako da je odnos korisni signal/šum smanjen kod ovakvih materijala i dolazi do skretanja glavnog snopa talasa.

Pored ovoga, ako je materijal u ispitivanom preseku i anizotropan onda su problemi prostiranja ultrazvučnih talasa još veći, odnosno ispitivanje/merenje je otežano zbog novih nepoznatih podataka.

No, sa druge strane i za ovakve materijale moguće je metodom ultrazvuka (poznato je da je ona uporedna metoda), odnosno prostiranja ultrazvuka dobiti neke, bitne podatke o materijalu. U ovom ispitivanju uzorka odlivka postavljen je zadatak odrediti uslovno/uporedno veličinu zrna na različitim debljinama uzorka. Za zaključak je neophodno koristiti rezultate merenja i metalurška/metalografska saznanja o uzorku.

### Rezultati merenja



- 1.- Prvi eho dobijen sa pojačanjem: 14dB, drugi deo: 32dB / slabljenje  $\alpha = 0,44\text{dB/mm}$
- 2.- Prvi eho dobijen sa pojačanjem: 26dB, drugi deo: 42dB / slabljenje  $\alpha = 0,20\text{dB/mm}$
- 3.- Prvi eho dobijen sa pojačanjem: 30dB, drugi deo: 46dB / slabljenje  $\alpha = 0,14\text{dB/mm}$
- 4.- Prvi eho dobijen sa pojačanjem: 40dB, drugi deo: 56dB / slabljenje  $\alpha = 0,11\text{dB/mm}$
- 5.- Prvi eho dobijen sa pojačanjem: 50dB, drugi deo: 66dB / slabljenje  $\alpha = 0,09\text{dB/mm}$
- 6.- Prvi eho dobijen sa pojačanjem: 60dB, drugi deo: 74dB / slabljenje  $\alpha = 0,06\text{dB/mm}$
7. Ima mnogo grešaka – nije moguće sasvim jasno odrediti slabljenje.

Izmerenim vrednostima slabljenja konstatuje se da je ono najmanje na preseku približne debljine 60 mm.

Raspoloživom metalografskom analizom koja je obuhvatila debljine uzoraka od 12 do 50 mm, konstatovano je sledeće:

- struktura svih ispitanih debljina uzorka sastoji se od silikoferita sa izlučenim grafitom oblika I (JUS C.A3.020).
- raspored grafita se menja zavisno od debljine, na najtanjem delu je A i D, mestimično E, dok je kod najveće debljine isključivo A (JUS C.A3.020).
- veličina grafita je takođe različita pri različitim debljinama (5/7 kod najtanjeg do 3/6 kod najdebljeg prema JUS C.A3.020).

Kod tanjih delova uzorka (debljina približno 10 i 20 mm) uočena je dendritska poroznost koja na većim debljinama nije zapažena.

## **ZAKLJUČAK**

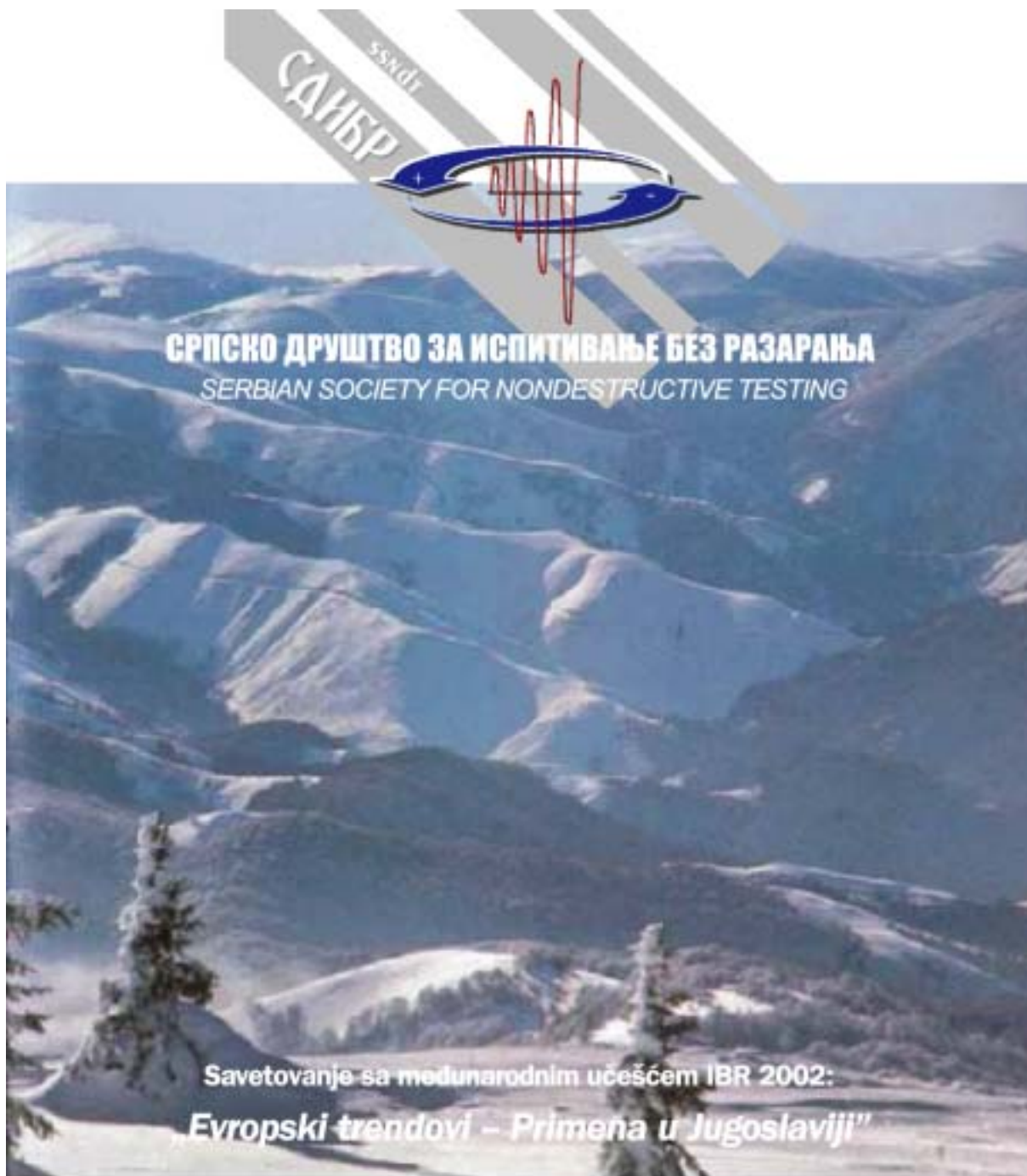
Poznata je činjenica da postoje veze između strukturnih karakteristika metalnih materijala kao što su veličina zrna, vrsta mikrokonstituenata, veličina i oblik grafita, interkristalna korozija i slično, i promena nekih podkarakteristika ultrazvučnih talasa u materijalu ( slabljenje, rasipanje, odbijanje itd).

Upoređivanjem rezultata ultrazvučnog i metalografskog ispitivanja, utvrđeno je da postoji veza između veličine slabljenja i \*finoće\* strukture. Brzina hlađenja koja je najmanja kod najveće debljine (upoređena debljina je oko 50 mm) potvrđuje pretpostavku da je struktura finija pri sporijem hlađenju.

Ova preliminarna ispitivanja mogu da budu podloga daljem istraživanju u cilju utvrđivanja zakonitosti korelacije slabljenja i veličine zrna, što bi itekako bilo od pomoći pri proizvodnom ispitivanju odlivaka u livnici.

## **Literatura**

1. Interna informacija - Fabrika mašina "Ivo Lola Ribar" – Železnik  
"Proizvodnja odlivaka od ferosilida"  
Odeljenje razvoja livarstva, 1967.
2. N.T.Angus:  
"Cast Iron", Physical and Engineering Properties,  
Butterworths, Second Ed, 1987. str. 246-282.
3. Miloš N. Tomović:  
"Livenje obojenih i lakih metala"  
TMF, Beograd, 1976. Str. 290-296, 298-299, 300-303.
4. Marica Branković, Srđan Marković:  
"Livenje legure železo - ugljenik"  
TMF, Beograd, 1980. str. 1-17, 128-179.
5. A. I. Zorin: "Voprosi proizvodstva otlivak iz ferosilida",  
Litejnoje proizvodstvo, 6, 1963, 12-13.
6. Beda, P.J. i dr.: "Nerazrušajušći kontrolj metallov i izdelij", "Mašinstroenie",  
Moskva, 1976.



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**





## VIBRODIJAGNOSTIKA OBRTNIH MAŠINA U EKSPLOATACIJI

Jožef Kiš, dipl.ing.maš.  
Ana Nanut, dipl.ing.maš.  
DP HIP Petrohemija Pančevo.

### Rezime

*Mnoga industrijska i energetska postrojenja imaju obrtne mašine koje za htevacu određen vid održavanja,kako bi se osigurao kontinuiran i siguran proces proizvodnje. Zavisno od vrste postrojenja, a sa gledišta kritičnosti za odvijanje procesa proizvodnje, neophodno je uraditi izbor mašina kojima je potrebno praćenje stanja kao i podela istih na kritične,važne i mašine opšte namene.*

*Ovim radom želimo da prikazemo da se merenjem vibracija i analizom karakterističnih veličina,dobija valjani i precizan uvid u trenutno stanje mašinskog sistema i da se na osnovu dobijenih rezultata analize donose odluke o eventualnim aktivnostima.*

*S obzirom da se kao mera kvaliteta stanja mašinskog sistema koristi vibracija,vibrodijagnostika,kao jedna od dijagnostičkih metoda,daje svoj puni doprinos u sistemu održavanja.*

### Ključne reči:

Jačina vibracija,amplituda,frekvencija,odziv sistema.

## VIBRO-DIAGNOSTICS OF ROTATING MACHINERY IN EXPLOITATION

Jožef Kiš, BSc in mech.eng.  
Ana Nanut, BSC in mech.eng.  
DP HIP Petrohemija Pančevo.

### Summary

*Numerous industrial and power plants have rotating machinery that requires certain maintenance in order to ensure a continuous and safe production process.Depending on the plant type,and in regard of the issues crucial for the production process,it is necessary to determine which machines require monitoring as well as to designate them as crucial,important and general-purpose machines.*

*In this paper,we would like to show that vibration measurements and an alyses of characteristic values and precise insight into the current status of the machinery and that based on the results obtained,we could make decisions on possible actions.*

*Since vibration is used as an indication of the machinery quality,vibro diagnostics,as one of diagnostic methods,gives its full contribution to maintenance system.*

### Key words:

Vibration value,amplitude,frequency,system response.

## UVODNA RAZMATRANJA

### Izbor mašina na kojima je potrebno praćenje stanja:

Postoje dva glavna faktora koja se razmatraju pri izboru mašina kojima je potrebno praćenje stanja. Prvi je identifikacija mašina najvažnijih za kontinualan rad proizvodnih postrojenja. Drugi je sagledavanje koliko su te mašine pogodne za tehnike praćenja stanja.

Identifikacija mašina koje su najkritičnije za rad proizvodnih pogona se određuju preko analize toka materijala kroz proces proizvodnje. Kritične mašine su one koje svojim zastojom uzrokuju i zaustavljanje proizvodnje. To su obično mašine koje rade u kontinualnom procesu i koje nemaju ili imaju najmanje paralelnih i rezervnih kapaciteta. Smatra se da je neka mašina pogodna za praćenje stanja ako sadrži kritične komponente koje se kvare progresivno, a ne iznenada.

Ovakav pristup proizlazi iz činjenice što se praćenje stanja mašine obično obavlja na nivou komponenta, a i da bi se maksimalno rano dobilo upozorenje o neposrednosti kvara.

### PRAĆENJE VIBRACIJA

Kretanje elemenata neke mašine izazivaju vibracije i merenjem tih vibracija može da se iskoristi u sagledavanju stanja mašinskog sistema i njenih elemenata. Vibracije stvaraju elementi koje se kreću i prema tome signal vibracija sadrži informacije o tome kako se elementi pokreću, uključujući i svu neusaglašenost kretanja vezanu za oštećenje elemenata.

Za ocenu mehaničkog stanja mašinskog sistema koristi se analiza njegovog vibracijskog stanja i ponašanja. Vibracija predstavlja odziv mašine na poremećajne sile pa je za razumevanje stanja mašinskog sistema potrebno poznavati i svojstvo mašine kojima se ista opire delovanju poremećajnih sila. Idealno bi bilo kada bi se mogle meriti i analizirati delujuće sile, jer sile su te koje generišu naprezanja u mašinskim elementima. Kako se radi o dinamičkim i promenljivim silama i generisana naprezanja su takva da vremenom mogu dovesti do zamora materijala i razvoja oštećenja te i do havarija mašina.

Za kvalitetno praćenje i analizu rada mašine može se analizirati i pratiti četiri osnovna parametra koji definišu mehaničko stanje mašine, jer svaki uzrok vibracija ima svoje karakteristike.

Osnovne karakteristike koje identifikuju vibracije su:

- frekvencija vibracija,
- amplituda vibracija, vibracioni pomak,
- brzina vibracija,
- ubrzanje vibracija.

Stvarni sadržaj karakteristika leži u činjenici da se one koriste za detekciju i opisivanje neželjenog kretanja komponenti ili sistema.

### Frekvencija:

Frekvencija je brzina ponavljanja vibracije u jedinici vremena. Meri se u Hertzima (Hz), i predstavlja broj ciklusa u sekundi-minuti, ili se iskazuje vezano za broj obrtaja mašine. Kako mnogi uobičajeni poremećaji u radu mašine izazivaju vibracije čije frekvencije imaju konstantan odnos prema frekvenciji obrtanja, vibracijska se frekvencija često iskazuje kao funkcija frekvencije obrtanja.

Frekvencija vibracija služi za frekventnu analizu. Signal vibracija se razlaže pomoću FFT-a, u komponente različitih frekvencija. Naime, složeni signal vibracija može se pomoću FFT algoritma razložiti u određeni broj sinusoidnih signala-komponenti. Svaki od tih signala-komponenti ima svoju frekvenciju i amplitudu.

Pojedini poremećaji u radu mašine izazivaju vibracije karakterističnih frekvencija, na primer:

- neuravnoteženost izaziva vibracije frekvencije koja je jednaka frekvenciji obrtanja - 1X,
- necentričnost spojnice vibracije frekvencije 1X, često 2X, a ponekad i 3X frekvenciji obrtanja,
- poremećaji u zupčastim parovima vibracije frekvencije koja je jednaka frekvenciji zupčenja, oštećeni kotrljajni ležajevi vibracije frekvencije koje su funkcija geometrije ležaja i brzine obrtanja.

Premda pojedini poremećaji izazivaju vibracije karakterističnih frekvencija, potrebno je naglasiti da nema jednoznačne veze poremećaj-vibracijska frekvencija. Vibraciju određene frekvencije mogu izazvati više vrsta poremećaja.

### **Amplituda:**

Amplituda je, bez obzira da li se radi o amplitudi vibracijskog pomeranja, vibracijske brzine ili vibracijskog ubrzanja, uopšteno, indikator inteziteta poremećajne sile i ozbiljnosti problema. Veličina amplitude nam pomaže da sagledamo kakvo je generalno mehaničko-dinamičko stanje mašinskog sistema. Promena amplitude vibracija uopšteno znači promenu u mehaničkom ili procesnom stanju mašine.

Postoji više načina izražavanja amplitude. U matematičkim interpretacijama oscilatornog kretanja, pod amplitudom se podrazumeva najveći pomak od ravnotežnog (početnog) položaja (pozitivnog ili negativnog). Amplituda je izražena kao 0-vrh.

Načini izražavanja amplitude su:

- **nula-vrh** (zero-to peak; pk) najčešće se primenjuje kod merenja vibracijskih pomeranja kućišta mašine te kod merenja amplitude vibracijske brzine i vibracijskog ubrzanja.
- **vrh-vrh** (peak-to peak; pp) najčešće se primenjuje kod merenja vibracijskog pomeranja osovinskih vibracija.
- **RMS** (root mean square; RMS) najčešće se primenjuje za sinusoidni oblik signala vibracije i odgovara 0,707 vrednosti amplitude 0-vrh. U slučaju složenog signala koji se sastoji od više harmonijskih povezanih komponenti, RMS amplituda se definiše kao drugi koren iz aritmetičke sredine kvadrata amplitude pojedinih komponenti:

$$A_{RMS} = \sqrt{\frac{A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_n^2}{n}}$$

$$A_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

**Srednja** vrednost amplitude odgovara 0,637 amplitude pk.

Amplituda se obično izražava u sledećim jedinicama:

- |                          |                  |                                  |
|--------------------------|------------------|----------------------------------|
| - vibracijsko pomeranje: | µm.              | (pp, pk, RMS)                    |
| - vibracijska brzina:    | mm/s             | (pk, RMS)                        |
| - vibracijsko ubrzanje:  | m/s <sup>2</sup> | (ili g-gravitacijska konstanta). |

Korišćenje kriterijuma (standarda) koji preporučuju, na bazi amplituda vibracija, - vibracijsko (mehaničko) stanje mašinskog sklopa daju univerzalne nivoe amplituda koje karakterišu dobro, odnosno, loše stanje mašine. Ovi kriterijumi grupišu mašine u nekoliko kategorija (prema veličini, snazi pogonskog agregata, temelju...), ali ne uzimaju u obzir konstruktivne karakteristike mašine i njihovu dinamičku krutost.

Često se postavlja pitanje *koji je najbolji indikator ocene nivoa vibracija: pomeranje, brzina ili ubrzanje*, a isto tako i pitanje *koliki nivo vibracija je dozvoljen?*

Literatura i standardi iz oblasti vibracija gotovo isključivo su orjentisani na dve dinamičke veličine. To su:

Amplituda pomeranja,  $A$  ( $\mu\text{m}$ ):

$$A = A_0 \cdot \sin(\omega t + \Delta\alpha)$$

Efektivna brzina oscilovanja,  $v_{eff}$  (mm/s) (Ovo odgovara vrednosti  $V_{rms}$  u ISO 10816-1:1995, strana 11, izraz A1):

$$v_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt}$$

Intenzitet vibracija najčešće se opisuje amplitudom pomeranja, ili nekim od njegovih izvoda: brzina, ubrzanje).

### **Nivo vibracija:**

Nivo vibracija je funkcija pomeranja i frekvencije. Međutim, pošto je brzina vibracija, takođe funkcija pomeranja i frekvencije može se zaključiti da je *veličina brzine direktno i mera nivoa vibracija*. U praksi je potvrđeno da je to u osnovi i istinito. *Brzina vibracija najbolji je globalni indikator stanja sastavnih elemenata i cele mašine.*

### **Dozvoljen nivo vibracija:**

Da bi se odgovorilo na pitanje *koliki nivo vibracija je dozvoljen*, odnosno *nedozvoljen*, važno je imati na umu da je naš cilj da upotrebimo kontrolu vibracija u cilju otkrivanja smetnji u ranoj fazi, kako bi se planiralo njihovo otklanjanje.

Prilikom utvrđivanja prihvatljivih nivoa vibracija mašine, treba razmotriti iskustva i faktore kao što su:

- bezbednost rada,
- troškovi otklanjanja neispravnosti,
- troškovi usled zastoja u proizvodnji,
- važnost mašine u tehnološkom lancu proizvodnje, i dr.

Načelno, izvršena je kategorizacija svih mašina u četiri klase (ISO 10816-1). Klase su formirane prema procenjenom kvalitetu rada karakterističnom za mašine svrstane u istu klasu. Za svaku klasu mašina postoji odgovarajući dijagram koji je saglasan sa zahtevnim kvalitetom rada, a po strukturi je istovetan za sve klase.

**ISO klasifikacija vibracija kod mašinskih sistema:**

Intezitet vibracija	Granice brzina i klasifikacija mašina ISO Standard 10816-1			
	Male mašine	Srednje mašine	Velike mašine	
mm/s RMS	Klasa I	Klasa II	Kruto oslanjanje Klasa III	Popustljivo oslanjanje Klasa IV
0,28				
0,45				
0,71		<b>dobro</b>		
1,12				
1,80				
2,80		<b>zadovoljavajuće</b>		
4,50				
7,10		<b>nezadovoljavajuće</b>		
11,20				
18,00				
28,00				
45,00				
71,00				

*Popustljivo oslanjanje:*

Osnovna sopstvena frekvencija sistema *mašina/oslanjanje* je manja od osnovne (dominantne) frekvencije pobude.

*Kruto oslanjanje:*

Osnovna sopstvena frekvencija sistema *mašina/oslanjanje* je veća od osnovne (dominantne) frekvencije pobude.

**IDENTIFIKACIJA TEHNIČKOG PROBLEMA:**

Prilikom kontrole veličina vibracija na cirkulacionoj properelnoj pumpi P 201a,reaktora R 201,konstatovana su odstupanja sledećeg tipa:

- veličina vibracija se kreće u povećanju i do 100%,
- analiza ležaja na MM 7 i 8 ukazuje na “ograničen vek trajanja”,
- frekvencije dominantnih vibracija se dešavaju na 1X,2X i 3X frekvencije obrtanja-32Hz,
- analiza stanja ležaja na MM 7 i 8 ukazuje na trend daljeg narušavanja njihovih radnih funkcija.

Kao pokazatelj stanja mašine merila se efektivna brzina kao veličina vibracija,  $v_{eff}$  (mm/s),a kao merna oprema koristila se sledeća merna oprema:

Analiza ležaja:	VIBROTIP VIB 8.650,bearing diagnosis,
Merenje veličine vibracija:	VIBROTIP VIB 8.650,
Frekvencijska analiza vibracija:	VIBROSPECT FFT.

**Tehničke karakteristike pumpe:**

Elektromotor:	373 KW/507 HP.
Broj obrtaja:	1465 min <sup>-1</sup> .
Zglobno vratilo	
Multiplikator sa jednim zupčastim parom:	
ulazni broj obrtaja:	1465 min <sup>-1</sup> .
izlazni broj obrtaja:	1865 min <sup>-1</sup> .
Prenosni odnos:	1:1,27.
Tip:	propelerna pumpa.

**Analiza problema:**

Praćenjem nivoa vibracija primećene su velike promene u vrednostima nivoa vibracija koje se nisu mogle dovesti u vezu sa kontrolisanim tehnološkim parametrima. Parametri koji su mogli da utiču na rad pumpe su sledeći:

- tip praha u reaktoru,
- kapacitet postrojenja,
- procenat čvrste faze,
- ASA,antistatik koji se dovodi u reaktor,
- temperatura reakcije i
- pritisak u reaktoru.

Uvidom i analizom izmerenih vrednosti nivoa vibracija kao i analizom stanja ležajeva i primenom software TIPTREND, konstatovano je sledeće:

- nagle promene nivoa vibracija *nisu* se mogle dovesti u vezu sa tehnološkim parametrima
- tehnološki parametri u reaktoru su *nepromenjeni* za duži vremenski period,
- promena nivoa vibracija *su u vezi* sa karakteristikama vazduha.

Na osnovu datog zapažanja, od lokalne meteorološke stanice-koja se nalazi u krugu fabrike, prikupljeni su potrebni podaci-parametri o stanju vazduha (vlažnost, temperatura i atmosferski pritisak) i sačinjena je sledeća tabela:

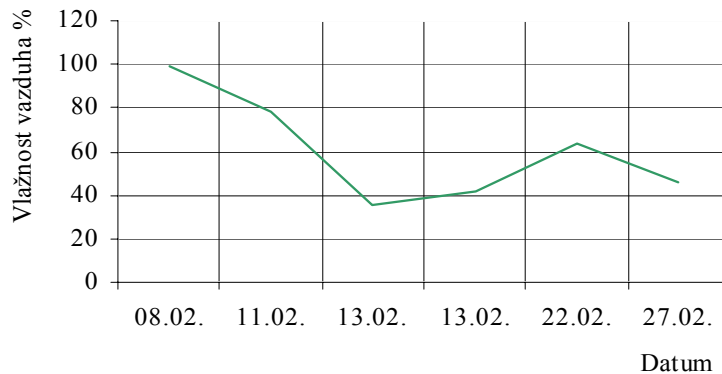
Mesečni pregled vlažnosti vazduha i nivoa vibracija:  
-mesec Februar-

Dnevna analiza nivoa vibracija  
i vlažnosti vazduha za 14.03.02.

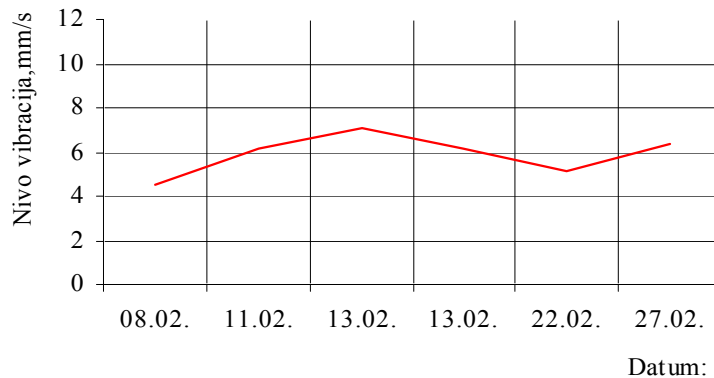
Mesec Februar	Vlažnost vazduha %	Vibracije u mm/s
08.02.	99	4,5
11.02.	78	6,2
13.02.	36	7,1
13.02.	42	6,2
22.02.	64	5,1
27.02.	46	6,4

Mesec Februar	Vlažnost vazduha %	Vibracije u mm/s
14.03.	82	4,5
14.03.	56	4,8
14.03.	44	5,9
14.03.	35	6,8
14.03.	35	7,8
14.03.	32	8,1
14.03.	30	8,4
14.03.	29	8,2

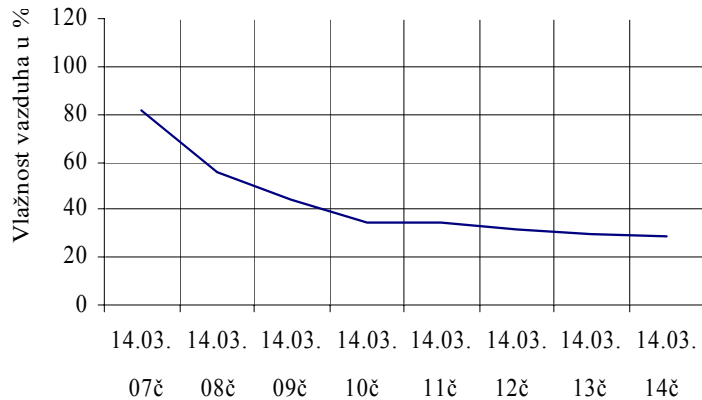
Dijagram promena vlažnosti vazduha za mesec Februar:



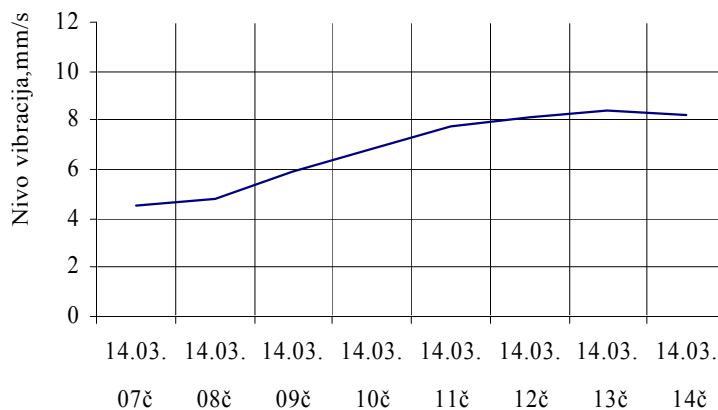
Dijagram promena nivoa vibracija za mesec Februar:



Dijagram promena vlažnosti vazduha u toku 8 sati:



Dijagram promena nivoa vibracija u toku 8 sati:



Na osnovu iznetog želeli smo da ukažemo na vezu naglih promena nivoa vibracija i karakteristika vazduha pri nepromenjenim tehnološkim parametrima.

Kod prvog planiranog zastoja analizirane pumpe i nakon demontaže i ekspertize delova (komponenti), konstatovano je sledeće:

- na jednom od ležajeva (MM 8), pukao je kavez i zbog nepravilnog rasporeda kuglica ležaja došlo je do delimičnog oslobađanja vratila u *aksijalnom pravcu*.

### ZAKLJUČAK:

Cilj ovog rada nam je bio da ukažemo da ranom identifikacijom problema u radu mašine i intervencijom na problematičnim komponentama pre nego što on ne dođe u stanje otkaza, sprečavamo havarijski otkaz, a samim tim se značajno redukuje vreme zastoja i troškova održavanja. Mašina se na ovaj način dovodi u optimalni radni nivo.

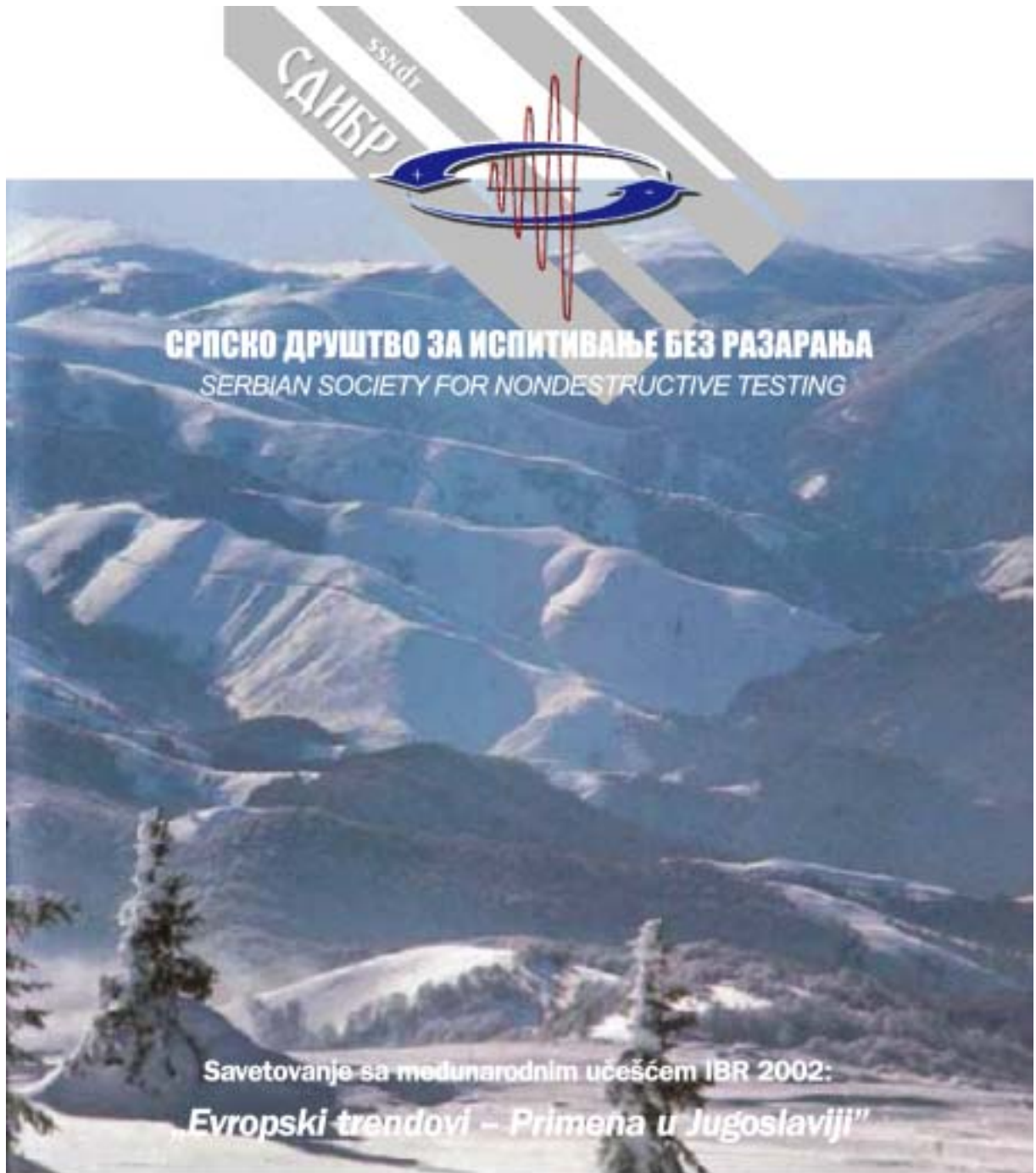
Osnovni cilj praćenja stanja nekog mašinskog sistema je ostvarivanje maksimalno dugog vremenskog perioda u kome taj sistem funkcioniše korektno i minimiziranje broja otkaza.



Praćenje stanja, analiza mašinskih sistema dobija dvojaku funkciju: prediktivnu i dijagnostičku.

### LITERATURA:

1. *Praktikum za projektovanje mehanizama*  
Miodrag Stimenov, Ljubomir Miladinović, Aleksandar Veg  
Institut za mehaniku mašina, Mašinski fakultet, Beograd 1998.god.
  2. *Acoustic Noise Measurement*  
Bruel & Kjaer, Naerum 1972.god, Denmark.
  3. *ISO 10816-1*  
Izvodi
  4. *Measuring vibration*  
Bruel & Kjaer, Naerum 1986.god, Denmark.
  5. *Frequency analysis*  
R.B. Randall, B. Tech. B.A.  
Bruel & Kjaer, Naerum 1987.god, Denmark.
- 
1. *6. ISO 10816-1:1995 Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurement of non-rotating parts, Part 1: General guidelines.*
  2. *7. ISO 10813-3:1998 Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurement of non-rotating parts, Part 3: Industrial machines with normal power above 15kW and normal speed between 120 r/min and 15000 r/min when measured in site.*



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**

## VIDEOSKOPIJA NA UZORCIMA

Željko Pavlović, maš.ing.  
Specijalista zavarivanja u Službi kontrole Rafinerije nafte,  
Spoljnostarčevačka bb, Pančevo

### Rezime

*Održavanje i ispitivanje složenih tehničkih sistema i objekata u industriji, građevinarstvu, elektro industriji i vazduhoplovstvu, zahteva primenu određenih tehničkih sredstava. Jedna od izuzetno pouzdanih metoda tehničke dijagnostike je i videoskopska metoda.*

*U radu su predstavljene osnove industrijske videoskopije, sa svim njenim prednostima u odnosu na standardne "klasične" metode vizuelnog ispitivanja, na konkretnim uzorcima. Primeri, prikazani u radu, preuzeti su iz materijala firme "BACCO" iz Beograda - zastupnika firme "Olympus" za Jugoslaviju i dokumentacije Službe kontrole Rafinerije nafte Pančevo.*

### Ključne reči

Održavanje i ispitivanje, videoskopska dijagnostika, prednosti videoskopije

## VIDEOSCOPE diagnostics on specimens

### Abstract

*Maintanace and complex technical's fields testing in industry, building inspection, electrical duct and aviation, require specific technical equipment.*

*Videoscopy is one of the best reliable methods for technical diagnosis. This paper introduce the basic videoscopy principles with advantages relative to classical visual testing methods, at characteristic specimens. Examples rewieved in this paper from the BACCO-Belgrade/ Olympus catalogs was transfereed, and Oil Refinery quality department was performed.*

### Key words

Maintenance and testing, videoscopic diagnostics, advantages of videoscopy

## Uvod

Videoskopska oprema je razvijena sa osnovnim ciljem da se unapredi i ubrza vizuelno ispitivanje opreme i materijala. Razvojem savremene tehnike i materijala oprema je iz serije u seriju postajala sve manja i lakša, a obrnuto proporcionalno su joj se povećavale tehničke mogućnosti. Oprema je prošla put od boroskopa za jednostavno vizuelno ispitivanje skrivenih elemenata, do savremenih videoskopa koji nam omogućavaju da ispitamo i izmerimo oštećenja koja se nalaze skrivena u elementima opreme a bez rasklapanja konkretne ispitivane opreme. Nakon završenog ispitivanja se u kompjuteru automatski formira izveštaj i pošalje e-mail -om gde god je potrebno. Savremena oprema je spremna da nam pruži toliko mogućnosti ispitivanja i merenja da kvalitet sve više zavisi od spremnosti i inventivnosti samog operatera, kao i njegovog poznavanja računarske tehnike više nego samog procesa ispitivanja.

Kao odgovor zahtevima korisnika širom sveta razvijena je videoskopska oprema koja kao poslednja reč tehnike omogućuje zamrzavanje slike, "live image zoom" i automatsku kontrolu kvaliteta i ekspozicije slike.



## Osnovne karakteristike savremenih videoskopa

Oprema novorazvijenih serija nudi:

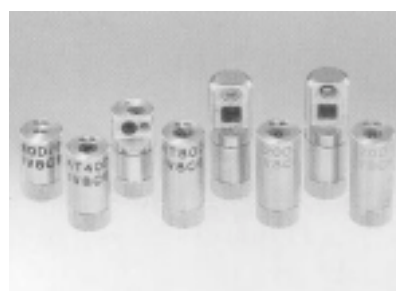
- Slike najviše rezolucije
- Izvrsne slike tamnih delova
- Realnu reprodukciju boja za tačnu interpretaciju
- "Live zoom" za bržu dijagnostiku detalja
- Digitalni prenos podataka za napredniju obradu
- Inovirana i još jednostavnija ispitivanja
- Istovremeno osmatranje objekta frontalno i sa strane

Oprema može biti posebno pripremljena:

- za primenu prema specifičnim zahtevima
- pojednostavljena za transport i upotrebu
- za integraciju sa već postojećom opremom

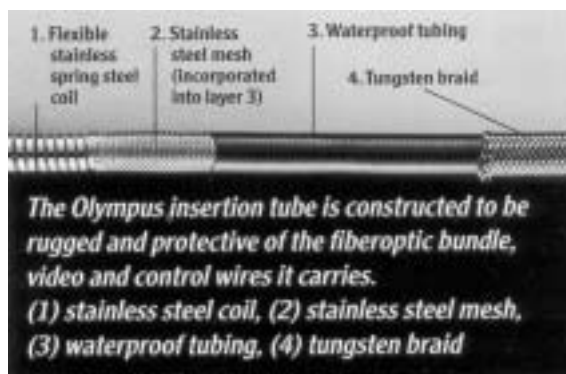


U novije vreme postoje videoscopi prečnika Ø 6 mm i Ø 8 mm i širokog dijapazona radnih dužina. Novi videoscopi reprodukuju sliku visoke rezolucije preko celog ekrana monitora koji je sastavni deo opreme. Takođe se nude razni adapteri - "glave" za video inspekciju uključujući dvojni "dual" pogled i mogućnost stereo merenja.



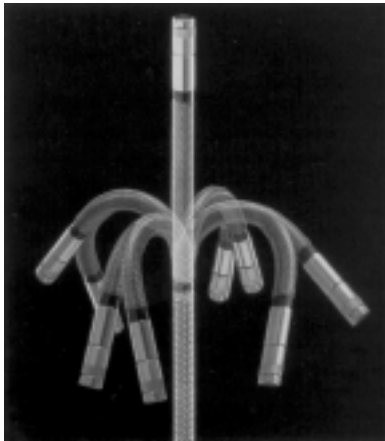
Integrirani mikrofoni omogućuje da se uz video zapis ili sliku doda i audio zapis, bilo kao komentar o uočenim greškama ili kao pomoć pri obuci novih rukovaoca opremom.

Zaštita samog "creva" je izvedena sa četiri sloja mehaničke zaštite i zaštite na vodonepropusnost. Jedinstveni "tapered flex" (savitljiva pletenica) dizajn pomaže korisniku pri ubacivanju instrumenta u teško dostupne ispitne oblasti. Fleksibilnost instrumenta je najveća odmah iza "artikularnog" dela a najveća krutost je izvedena kod ispitnog dela, obezbeđujući visoku torzionu čvrstoću da bi se pomoglo ubacivanje instrumenta (bez da se instrument uvija), ali omogućujući istovremeno da se instrument navodi kroz uske krivine.



Kontrola kretanja je unapređena uz pomoć ergonomski dizajniranih kontrola na tankoj i lakoj "ručici" koja omogućava operateru da "vodi" adapter-glavu u svim pravcima; 150° gore,

dole, levo i desno. Takođe ima ugrađen sistem za fina podešavanja radi dobijanja što kvalitetnijih slika i preciznijih podataka prilikom ispitivanja.

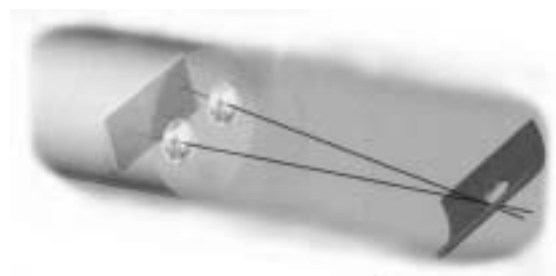
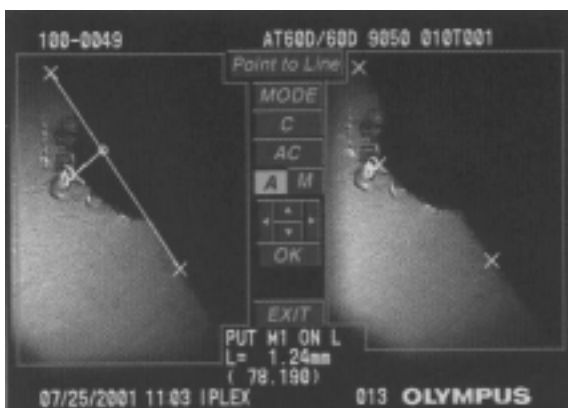
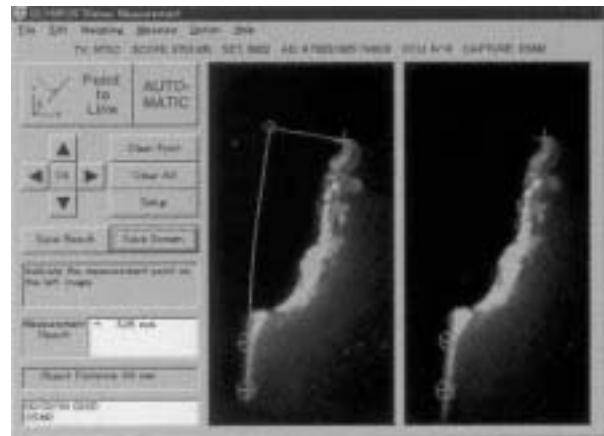


Da bi se prilikom ispitivanja i dijagnostike stanja uočenih nedostataka dobila što preciznija procena, razvijen je i sistem merenja grešaka. To je omogućeno korišćenjem "stereo" adaptera. Softverski i hardverski su razvijeni sledeći načini merenja:

- Merenje dužine; možemo meriti dužinu između dveju specifičnih tačaka na slici,
- Merenje dubine; možemo meriti dubinu ili visinu objekta;
- Merenje "tačka do linije"; koje omogućava merenje udaljenosti između proizvoljno nacrtane referentne linije u vidnom polju i bilo koje specifične tačke na slici.

Ovo je posebno interesantno jer omogućuje kvalitetnu procenu veličine oštećenja pri kontroli lopatica turbina na kojima su delovi odlomljeni.

Takođe treba pomenuti i funkciju "premeravanja" koja se zasniva na već poznatim merama nekog elementa u sklopu koji se ispituje, a zatim se u odnosu na njega kontrolišu ostali elementi sklopa.



### Karakteristični uzorci iz prakse

Ispitivanja elemenata i opreme u naftnoj i petrohemijskoj industriji se pretežno zasnivaju na otkrivanju grešaka u zavarenim spojevima, otkrivanja oštećenja izazvanih kavitacijom, erozijom, korozijom i stvaranje taloga. Po svojoj konstrukciji i gabaritima takva oprema zahteva korišćenje videoskopa radnih dužina preko 7m. Svako ispitivanje specifične opreme zahteva obraćanje pažnje na pojedine detalje odnosno osobenosti grešaka.



Ispitivanje opreme pod pritiskom takođe ima svojih specifičnosti, što zavisi naravno od tipa opreme (rezervoari, kotlovi, reaktori, kolone, peći, izmenjivači toplote i cevovodi).

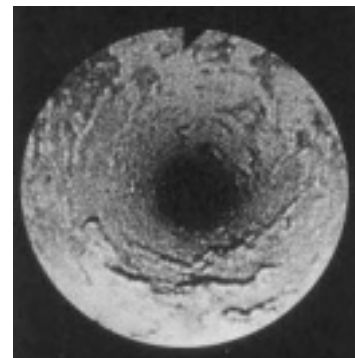
Pojedini tipovi opreme poput peći, kotlova i reaktora imaju na unutrašnjim zidovima termoizolacionu masu koja se vremenom usled raznoraznih oscilacija u "vođenju" procesa oštećuje i otpada, pa je u toku zastoja u radu, upotrebom videoskopa lakše otkriti takva oštećenja.

Kod kotlova je takođe vrlo primenjivo videoskopsko ispitivanje ekranskih cevi.

Prilikom ispitivanja cevovoda uz kontrolu zavarenih spojeva, stepena korozije i eventualnih erozivnih i kavitacionih oštećenja, kontrolišu se i armature (ventili i slavine).



Pri ispitivanju zavarenih spojeva izmenjivača toplote pažnja se obraća na kvalitet zavarenih spojeva unutar plašta izmenjivača, zavarene spojeve nepokretne cevne ploče i zaptivne zavarene spojeve priključaka. Takođe se kontrolišu da ne postoji bilo kakvo curenje unutar cevnog snopa izmenjivača. Kod kontrole cevnog snopa izmenjivača toplote kontrolišu se stepen korozije i količina taloga unutar cevi kao i eventualna pojava prslina.



Kod kontrole rotacione opreme kao što su kompresori, pumpe i turbine ispitivanje se odnosi na kontrolu stranja pokretnih delova i postoje li kakva mehanička oštećenja sklopova. Kontrolišu se zaptivni elementi, elementi za podmazivanje, klizne površine kao i sistemi hlađenja.

### **Primena videoskopije po granama industrije**

*Vodo-industrija/ kanalizacija:* Za lociranje korozije i zapreka u vodovodnim sistemima.

*Elektrane:* Za održavanje cevi izmenjivača toplote, kompresora i turbina u nuklearnim, termo i hidroelektranama.

*Čeličane:* Za održavanje postrojenja kao i za kontrolu cevnih proizvoda.

*Avio industrija:* Za ispitivanje avio konstrukcija, ispitivanje turbinskih lopatica i komora za sagorevanje, kao i za istraživanje, razvoj i proizvodnju raketnih motora.

*Mašinska industrija:* Za kontrolu kvaliteta i održavanje motora, kotlova, izmenjivača toplote i mašinskih alata.

*Vojska/ Obezbeđenje:* Za održavanje mlaznih motora, kao i za otkrivanje narkotika kao i drugih krijumčarenih stvari, i za lociranje zatrpanih u raznim nepogodama i nesrećama.

*Arhitektura/ Građevina:* Za ispitivanje zidova, kanala, prolaza, spojeva konstrukcija, kao i za razgledanje unutar maketa.

*Gasovodi:* Za nadgledanje korozije na i unutar cevi, za otkrivanje prisustva vode i nečistoća i za održavanje gasnih turbina.

*Rafinerije/ Hemijska postrojenja:* Za redovnu i hitnu kontrolu procesnih linija, rezervoara, posuda pod pritiskom, izmenjivača toplote, kotlova,...

*Auto industrija:* Za kontrolu kvaliteta motora, hidrauličnih komponenti, injektorskih otvora kao i za završnu kontrolu sklopova.

*Železnica / Brodarstvo:* Za rutinsku kontrolu motora, turbina, dizel agregata, cevovoda, itd.

*Elektro oprema / Elektro industrija:* Za nadgledanje operacija elektro sklopova pri izvršavanju funkcija, instalacija i pri pozicioniranju elemenata.

*Edukacija / Istraživanje:* Za proučavanje životinja i insekata, korenih sistema biljaka, itd. Isto tako i za istorijsko- arheološka ispitivanja unutrašnjosti statua i grobnica.

### **Umesto zaključka**

U radu su predstavljene osnove industrijske videoskopije i karakteristični primeri njene primene na uzorcima u praksi. Dat je pregled karakteristika savremenih videoskopskih uređaja i prikazane prednosti koje njihova primena omogućuje u odnosu na klasično vizuelno ispitivanje.



19

## YU NACIONALNA ŠEMA KVALIFIKACIJE I CERTIFIKACIJE OSOBLJA ZA IBR:

### Stanje, mogućnosti i perspektive

Jano Kurai dipl.ing, "CertLab.Co" Pančevo, Centar za certifikaciju  
Aleksandar Bređan dipl.ing. NIS - Rafinerija nafte Pančevo, Služba  
Kontrole

#### Rezime

*U radu je dat prikaz dosadašnjih aktivnosti na uspostavljanju nacionalne šeme kvalifikacije i certifikacije osoblja za IBR, shodno zahtevima standarda EN 473:2000. Prezentiran je postupak jednokratne certifikacije nivoa 3 za potrebe obezbeđenja kadrova za izvršavanje zadataka koje nameće usvojena šema kvalifikacije i certifikacije.*

*U drugom delu rada naglašen je značaj certifikacionog tela u šemi kvalifikacije i certifikacije i opisani osnovni zadaci certifikacionog tela, uz pregled predstojećih aktivnosti na razvoju nacionalne šeme kvalifikacije i certifikacije osoblja za IBR.*

#### Ključne reči:

IBR osoblje, certifikacija, kvalifikacija, kvalitet

## YU NATIONAL PLAN FOR NDT PERSONNEL QUALIFICATIONS AND CERTIFICATIONS: Presentstate, possibilities and prospects

#### Abstract:

*This paper presents the activities aimed at establishing the National plan for NDT personnel qualifications and certifications in compliance with EN 473:2000 standard. It also specifies the single certification procedure level 3, concerning the personnel who will perform the tasks imposed by the adopted qualification and certification plan.*

*The second part of this paper emphasizes the importance of certification body within the qualification and certification plan and defines the basic certification body tasks as well as the review of future activities concerning the development of the National qualification and certification plan for NDT personnel.*

#### Key words:

NDT personnel, certification, qualification, quality

#### UVOD

Zbog značaja koji oblast IBR ima u novom konceptu akreditacije i certifikacije procesa, proizvoda i usluga, od velike je važnosti da oni kadrovi koji rade u oblasti IBR, budu visokoprofesionalni i kompetentni za obavljanje svojih zadataka. Zato se, pogotovo u zadnjih nekoliko godina, velika pažnja posvećuje kvalifikaciji i certifikaciji osoblja čija je osnovna delatnost IBR, prema jedinstvenom, usaglašenom i standardizovanom modelu.

Radi lakšeg razumevanja daje se nekoliko osnovnih termina, koji pojašnjavaju ovu problematiku:

Pod **kvalifikacijom** se podrazumevaju dokazi o obuci, profesionalnom znanju, veštini i iskustvu, kao i o fizičkoj sposobnosti, koji omogućavaju da osoblje za IBR uspešno izvršava zadatke.

**Certifikacija** je procedura koja se koristi da se prikaže kvalifikacija osoblja za metodu IBR, nivo i industrijski sektor i koja dovodi do izdavanja sertifikata.

**Certifikat** je dokument izdat po pravilima certifikacionog sistema definisanog standardom EN 473, koji pokazuje da postoji dovoljna pouzdanost, da je imenovana osoba kompetentna da izvršava zadatke IBR definisane certifikatom.

**Certifikaciono telo** je telo koje primenjuje procedure za certifikaciju osoblja za IBR u skladu sa zahtevima standarda EN 473:2000 i ispunjava zahteve standarda EN 45013.

Da bi se i naša zemlja uključila u ovaj proces, na inicijativu UO SDIBR, imenovana je Radna grupa koja je osmislila nacionalnu šemu kvalifikacije i certifikacije u oblasti IBR čiji je nosilac certifikaciono telo.

**YU-šema za kvalifikaciju i certifikaciju kadrova u oblasti IBR** obuhvata obuku, kvalifikaciju i certifikaciju kadrova na način koji je utvrđen odgovarajućim međunarodnim standardima za kvalifikaciju i certifikaciju kadrova u ovoj oblasti. Nosilac sistema je certifikaciono telo (Centar za certifikaciju) i ono upravlja sistemom.

Osnovni cilj konstituisanja Centra za certifikaciju (CzC) je stvaranje uslova za uspostavljanje sistema kvalifikacije i certifikacije kadrova u oblasti IBR, prema svim zahtevima međunarodnih standarda iz ove oblasti, njegovo održavanje i razvoj.

## **1. KRATKA GENEZA SVETSKOG PROCESA KVALIFIKACIJE I CERTIFIKACIJE U OBLASTI IBR**

Potreba za kvalifikacijom osoblja za IBR i njeno potvrđivanje izdavanjem sertifikata je u znatnijem obimu iskazana šezdesetih godina XX veka. Istočnoevropske zemlje su uglavnom izgrađivale sistem kvalifikacije i certifikacije (KiC) na nivou države, centralistički, dok su u zapadnim zemljama prvi sistemi KiC bili u osnovi decentralizovani, iz čisto proizvodnih potreba. Suština je bila želja proizvođača da se osigura od štete koja može nastati kada njegov proizvod ne zadovoljava zahteve specificirane od strane kupca (naručioca). U takvim slučajevima, pomoću metoda IBR, određuju se zahtevane karakteristike i potvrđuju certifikatom proizvoda. Osoblje koje sprovodi certifikaciju moglo je da potiče od proizvođača (certifikat/certifikaciono telo proizvođača ili prve strane), od naručioca (certifikat/certifikaciono telo naručioca ili druge strane), ili od treće strane (certifikat/certifikaciono telo nezavisne strane). Naravno troškovi certifikacije su najveći za slučaj nezavisne (treće) strane, ali je u tom slučaju, pouzdanosti i tačnost sadržaja najveća, te je u zahtevnim industrijskim sektorima (npr. nuklearna industrija), certifikacija preko treće strane počela da bude tražena i propisima.

Dovoljna pouzdanost navoda u certifikatu proizvoda mogla se garantovati samo kada je potvrđeno da je osoblje koje proverava osobine proizvoda, dovoljno kvalifikovano i savesno za rad u tom industrijskom sektoru. Ovo se potvrđuje certifikatom za osoblje t.j. ličnim/personalnim certifikatom o kompetentnosti.

U SAD kao klasičnoj zemlji slobodnog preduzetništva, certifikat prve strane je bio prvo u obliku Preporuka Američkog društva za IBR (ASNT), poznate kao SNT-TC-1A, koje su 1968. godine i standardizovane. Ova certifikacija ispitivača od strane poslodavca (certifikat poslodavca), kasnije je usmerena prema eksternoj nezavisnoj strani.

Pristup SNT-TC-1A je bio rasprostranjen širom sveta sa aspekta karakteristika kvalifikacije za certifikaciju (stručna obuka i iskustvo, stručno zvanje, telesna sposobnost), ali u mnogim pisanim praktikumima, razni poslodavci su različito definisali zahteve za pojedine nivoce certifikacije. Ovo je imalo za posledicu da su mnogi sistemi poslodavaca imali znatno

kraće i manje sadržajne programe kvalifikacije i bili ograničeni. Sa stanovišta troškova to je imalo prednost, ali za certifikovanu osobu koja je želela da promeni radno mesto, to je bilo ograničavajuće.

U narednoj fazi razvoja sistema KiC načinjen je pomak ka centralizovanoj certifikaciji, odnosno certifikaciji preko treće strane, i prvi pokušaji da se definišu minimalni zahtevi za KiC.

Prvi centralizovani sistem certifikacije koji je priznat širom sveta bila je certifikacija nivoa 3 sprovedena od ASNT. Naime, na početku primene dokumenta SNT-TC-1A pokazale su se suštinske slabosti, jer nije postojao ni jedan ispitivač nivoa 3, koji bi mogao preuzeti kvalifikacione ispite kandidata za nivo 1 i 2, ili drugih kandidata za nivo 3. Zbog toga je SNT-TC-1A, do izdanja 1984. godine, predvideo da poslodavac za svoje kandidate za nivo 3, može izdati certifikat bez ispita, što je naravno otvorilo mogućnosti za krajnje subjektivan pristup i zloupotrebe. Zato je ASNT postavio oštrije uslove za priznavanje nivoa 3: min. 15 godina iskustva u IBR, certifikaciju bez kvalifikacionog ispita, ali posle preispitivanja od nezavisnog Komiteta i ocene po jedinstvenim kriterijumima.

U poslednjoj fazi došlo se do potpuno centralizovanog sistema KiC, definisanog standardima ISO 9712 i EN 473, preko nezavisnog tela za certifikaciju osoblja.

ISO 9712 je zatim prihvaćen u mnogim vanevropskim zemljama, u kojima su radila nacionalna certifikaciona tela po nalogu organizacije za standardizaciju.

U Jugoslaviji je takođe donet standard JUS ISO 9712:1993 koji je primenjivan polovično, odnosno nepotpuno, jer iako su obrazovni centri usklađivali svoje programe sa odredbama standarda, nije bio uspostavljen sistem certifikacije, posebno za nivo 3.

U Evropi, u sklopu političkog i ekonomskog ujedinjavanja, činjeni su i koraci ka uvođenju jedinstvenih tehničkih standarda i stvaranju jedinstvenog sistema KiC osoblja. Jedan od projekata CEN-TC-138 bio je da se u svim zemljama Evrope izrade istovetni sistemi certifikacije osoblja za IBR [8], koji su nezavisni od poslodavca. Za ovo su postavljeni i standardizovani (EN 45013) jedinstveni kriterijumi za rad nezavisnih certifikacionih tela za osoblje.

## **2. YU - NACIONALNA ŠEMA KVALIFIKACIJE I CERTIFIKACIJE OSOBLJA ZA IBR**

Jugoslavija se, gotovo poslednja priključuje Evropskom procesu KiC osoblja za IBR, ali je zato mogla da koristi mnoga pozitivna iskustva zemalja koje su sistem KiC potpuno uspostavile i razvile.

### **2.1. Iniciranje postupka uspostavljanja sistema KiC**

Prvi konkretni koraci ka savremenom evropskom konceptu KiC načinjeni su tek zadnjih godina XX veka.

Postavljanje YU nacionalne šeme KiC inicirano je od strane Upravnog Odbora SDIBR. Na Savetovanju "IBR-2000", usvojena je nacionalna šema sistema KiC (slika 1). Određena je Radna grupa pri SDIBR da bi, na osnovu usvojene šeme, uradila osnovne postavke i definisala Pravila sistema, neophodne elemente za funkcionisanje i razvoj šeme KiC.

Ove aktivnosti pratila je odluka da se kao osnova YU sistema certifikacije usvoje standardi ISO 9712 i EN 473, te da se u slučajevima gde postoje razlike, primeni EN 473. Jak argument za ovo bila je i činjenica da je 2000. godine izdata nova verzija standarda EN 473:2000, pa se sa uspostavljanjem sistema KiC, moglo krenuti od početka po najnovijim zahtevima standarda. Ovo je i bila naša prednost u odnosu na druge Evropske zemlje, koje su morale da do aprila 2001. godine usklade svoje već postojeće sisteme KiC, sa zahtevima novog izdanja standarda.

## **2.2. Certifikacija kandidata za nivo 3, pre uspostavljanja sistema KiC**

Prva aktivnost na uspostavljanju YU šeme bila je obezbeđenje certifikacije kadrova nivoa 3. Po uzoru na iskustva razvijenih zemalja koje su već uspostavile sistem KiC, na predlog Radne grupe, UO SDIBR doneo je Odluku, da se organizuje Kvalifikacioni ispit, po posebno definisanim uslovima, koji su propisani u Pravilima CES 01/2001 [3]. Ova Pravila zasnivala su se, kako na svetskim iskustvima (na primer: 15 godina staža), tako i na odredbama, tada već poznatog, standarda EN 473:2000. Odstupanje u odnosu na odredbe standarda EN 473 bilo je samo to što nije polagan praktični ispit, prevashodno zbog nepostojanja adekvatnih ispitnih uzoraka, koje standard zahteva. Zato je uveden još jedan dodatni uslov - predkvalifikacija, u vidu polaganja ulaznog kolokvijuma (test od ASNT pitanja za nivo 2 i izabrane metode IBR), a sve u cilju izbegavanja subjektivnosti i zloupotreba, kako je to u početku bilo u opisanim slučajevima u svetu.

Ispit, prethodno najavljen javnim oglasom, na koji su mogli konkurisati svi koji su ispunjavali uslove za kvalifikaciju propisane u Pravilima, organizovan je u septembru i oktobru 2001. godine, Kako je Pravilima bilo predviđeno ispit je sprovedla komisija sastavljena od nepristrasnih (nezainteresovanih) lica: imalac certifikata za nivo 3 dobijen u inostranstvu (T. Samardžić) i predstavnik SDIBR (G. Sofronić). Pravilima je bilo predviđeno učešće u Komisiji i predstavnika JUAT-a, koje nije realizovano zbog odustajanja JUAT-a.

Sistemom ocenjivanja ispita obuhvaćene su sve odredbe standarda EN 473:2000 koje važe za ocenjivanje kvalifikacionog ispita i recertifikaciju osoblja nivoa 3. Ovo je imalo za cilj da se vrednuje i kontinuirani doprinos kandidata za nivo 3, a ne samo rezultati na ispitu.

Na ispit je izašlo 11 kandidata, uglavnom renomiranih stručnjaka (magistara i inženjera) iz oblasti IBR, sa kontinuiranim delovanjem u IBR-u najmanje 15 godina. Približno 85% kandidata posedovalo je i višegodišnje iskustvo predavača na kursovima za pojedine metode IBR. Devet kandidata je zadovoljilo i na kolokvijumu i na kvalifikacionom ispitu i njima su izdati privremeni certifikati za metode IBR za koje su položili ispit. Nakon akreditacije CzC ovim kadrovima će biti zvanično priznati privremeno dodeljeni certifikati t.j. biće prevedeni u zvanične certifikate.

## **2.3. Karakteristike YU- sistema KiC osoblja za IBR**

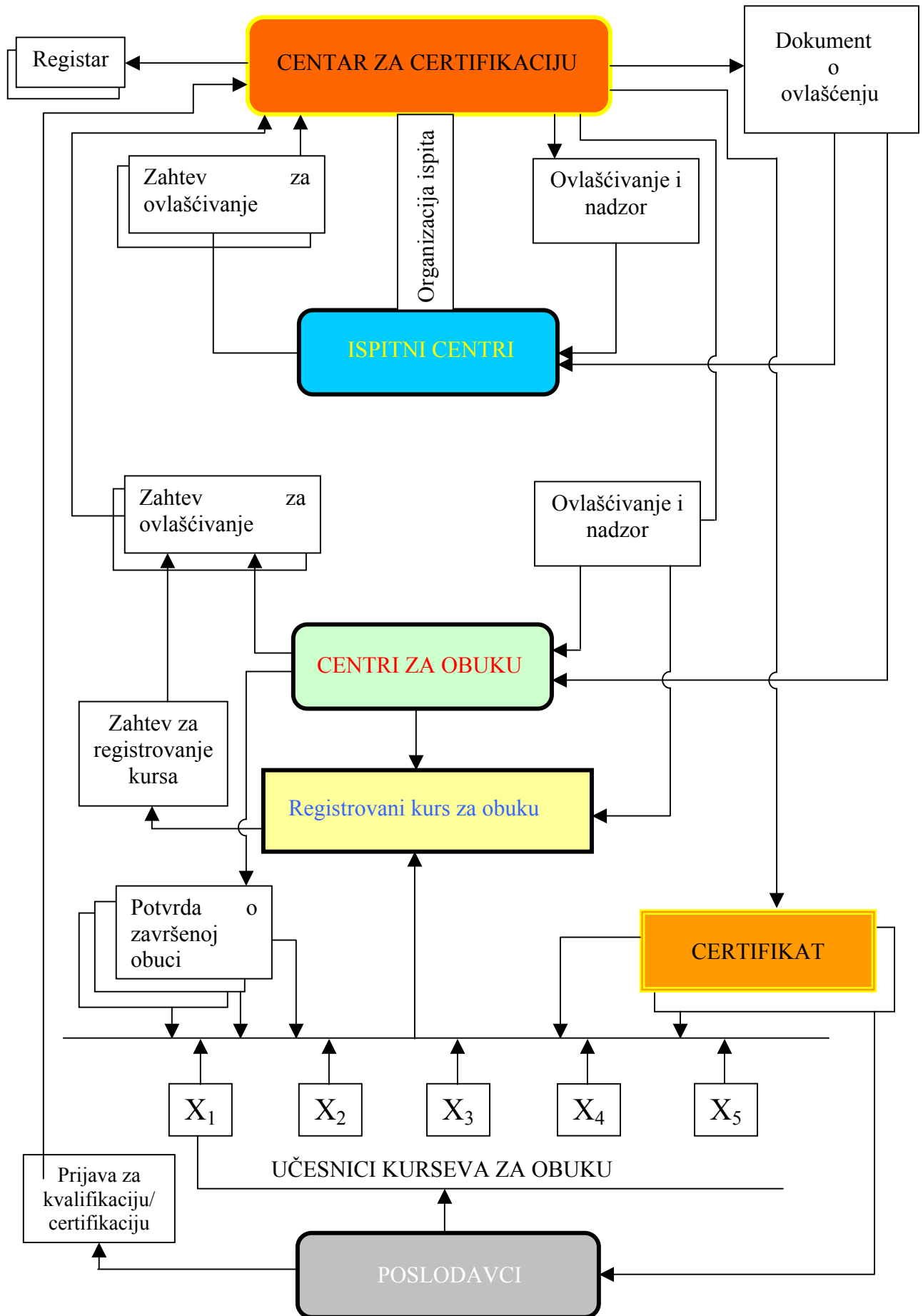
YU šema je postavljena tako da zadovolji sve zahteve standarda za KiC osoblja za IBR.

Potrebno je napomenuti, da za razliku od pojedinih Evropskih zemalja, YU-šema obuhvata i obrazovne centre, kao meritorne učesnike u sistemu KiC.

*Nosilac sistema* za KiC kadrova u oblasti IBR je Centar za certifikaciju. On upravlja sistemom shodno odredbama standarda EN 473:2000 i EN 45013, i za to poseduje odgovarajuću organizacionu strukturu i uspostavljen sistem kvaliteta sa odgovornim licima za njegovo održavanje i unapređenje.

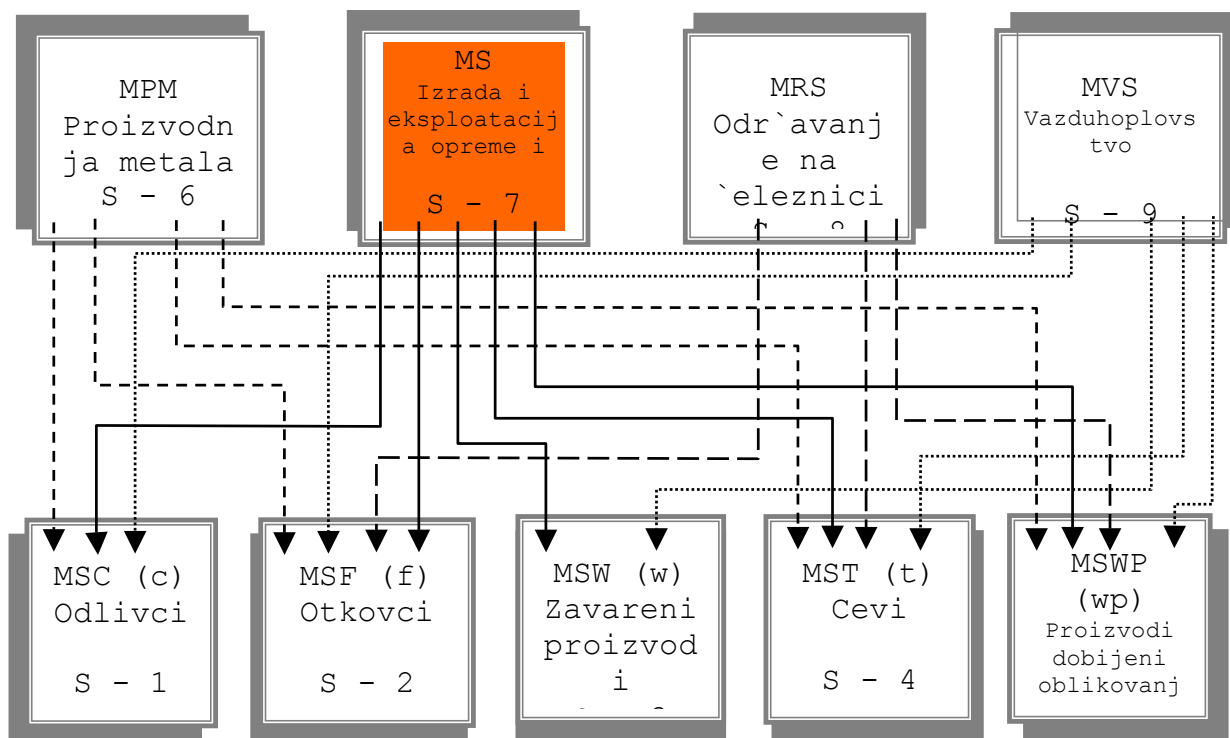
Osnovni zadaci CzC su:

- Propisivanje sektora u kojima će se primenjivati metode IBR i za koje će se organizovati KiC osoblja (slika 2);
- Ovlašćivanje organizacija koje ispunjavaju zahteve za obučavanje kandidata za primenu metoda IBR (ovlašćeni obrazovni centri) i priznavanje i ovlašćivanje centara koji ispunjavaju propisane uslove da bi se u njima mogli sprovesti kvalifikacioni ispiti (ovlašćeni ispitni centri). O ovim centrima CzC vodi *Registar ovlašćenih Centara*.
- Kandidati koji prema opisanim uslovima sistema ispune uslove za kvalifikaciju i polože kvalifikacioni ispit, dobijaju od strane CzC, odgovarajući certifikat (slika 3). Svi certifikovani kandidati, takođe će biti upisani u *Registar certifikovanih kandidata*.



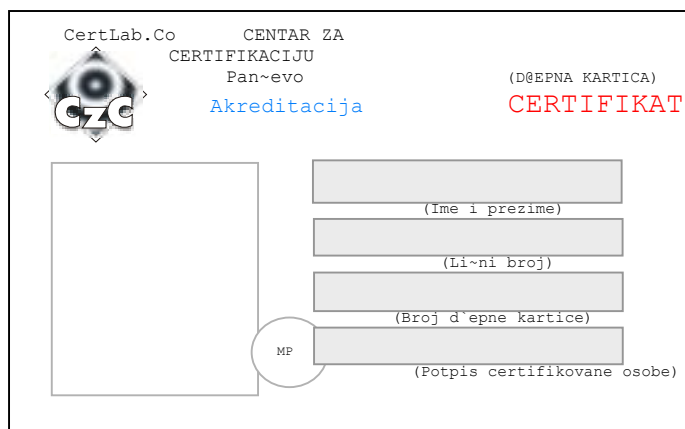
Slika 1. YU šema sistema KiC osoblja za IBR

**MULTI SEKTORI**



**MONO SEKTORI**

Slika 2. YU industrijski sektori

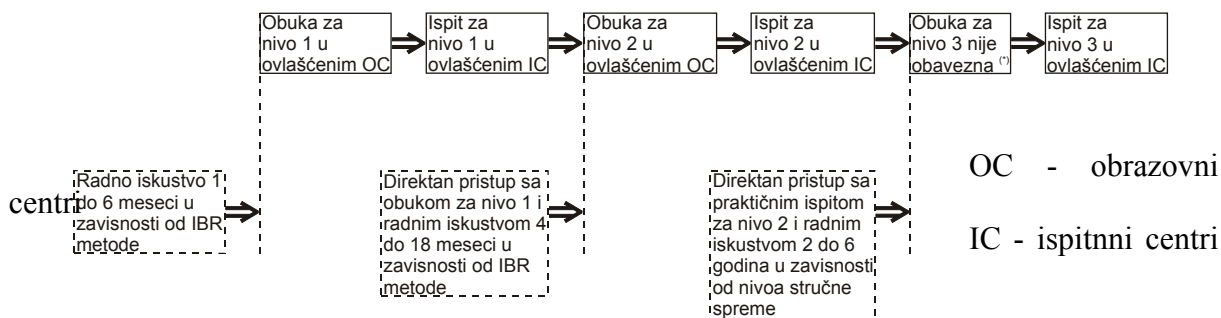


Slika 3. Izgled džepne kartice

Metoda IBR	Nivo 1		Nivo 2		Nivo 3	
	Sektor	Certifikat važi do	Sektor	Certifikat važi do	Sektor	Certifikat važi do
AT						
LT						
ET						
PT						
MT						
UT						
RT						

Legenda: S-1: odlivci S-2: otkovci S-3: zavareni proizvodi S-4: cevi S-5: oblikovani proizvodi  
S-6: proizvodnja metala S-7: eksploatacija opreme  
S-8: održavanje na železnici S-9: vazduhoplovstvo Direktor  
Centra za certifikaciju

Da bi kandidat mogao da bude certifikovan mora, pre kvalifikovanja i polaganja kvalifikacionog ispita, da završi odgovarajuću obuku na kursevima koji se organizuju u ovlašćenim centrima za obuku (slika 4).



Slika 4. Pristup za kvalifikacioni ispit (važi za bilo koju standardizovanu metodu IBR)

Uz ovu sliku potrebna su dodatna objašnjenja:

- Standard EN 473:2000 predviđa da je obuka obavezna samo za kandidate koji se kvalifikuju za certifikaciju u nivou 1 i 2, dok kandidati za nivo 3, obuku mogu steći na različite načine. Shodno odredbama standarda EN 473:2000 ostavlja se mogućnost kandidatima za nivo 3 imajući u vidu njihove stručne i tehničke mogućnosti, da pripremu za kvalifikaciju nivoa 3, urade na jedan od sledećih načina:
  - a) pohađanjem kurseva obuke u ovlašćenim centrima ili CzC-u
  - b) prisustvom na konferencijama ili seminarima koje organizuju nezavisna strukovna udruženja
  - c) samostalnim učenjem iz knjiga, časopisa ili drugih dostupnih materijala
- Kandidati koji su se za primenu metoda IBR osposobljavali do momenta uspostavljanja sistema KiC, **ne mogu se smatrati certifikovanim kandidatima**, jer nisu polagali kvalifikacioni ispit. Kandidati su samo završili odgovarajuću obuku i stekli potrebno iskustvo da bi se mogli kvalifikovati u CzC za polaganje kvalifikacionog ispita i dobijanje sertifikata.

Dosadašnja praksa je bila da su centri za obuku, po isteku određenog perioda za koji je izdato uverenje o završenom kursu obuke, organizovali proveru znanja i izdavali nova uverenja (tzv. reatestacija). Za ovim postupkom više nema potrebe, jer se na taj način ne obezbeđuje sertifikat zahtevan odredbama EN 473.

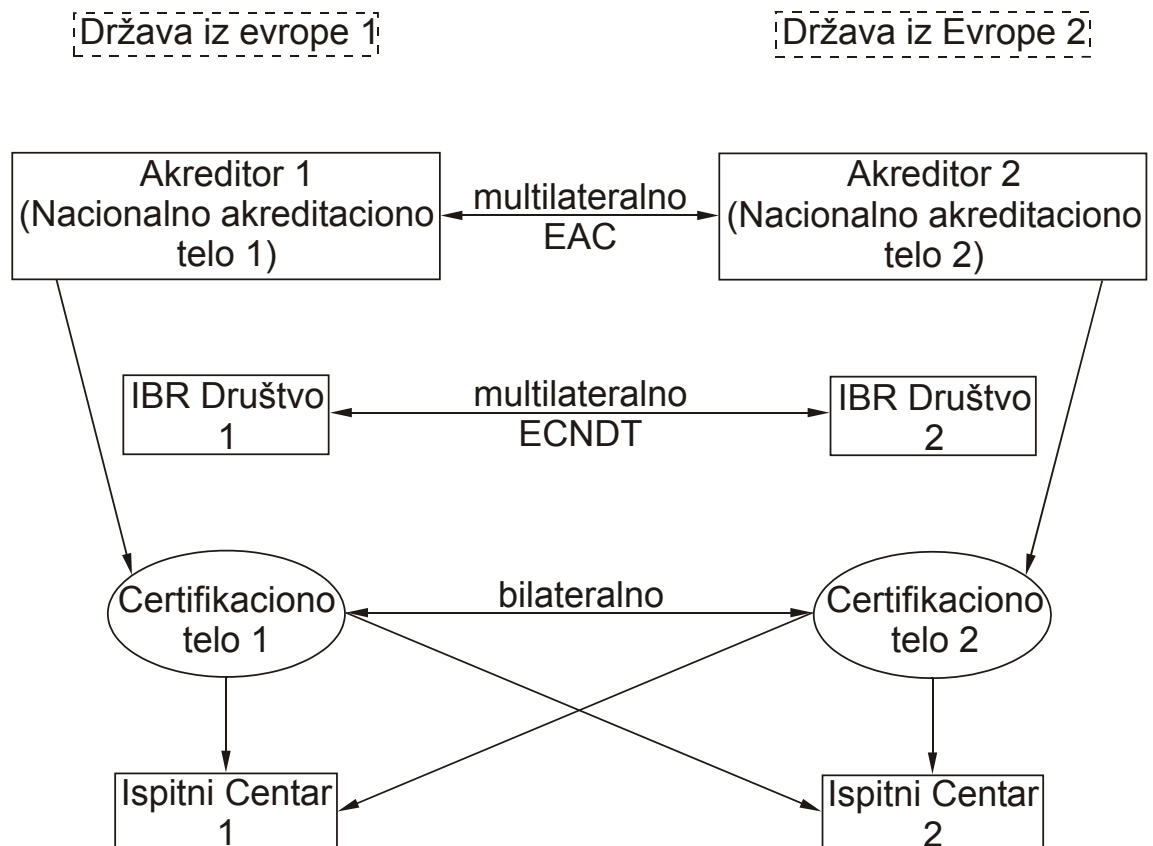
Jasno je da kandidat koji želi da dobije sertifikat mora da ispuni sve ostale uslove za kvalifikaciju (stručno obrazovanje, iskustvo u IBR-u i dokaz o sposobnostima vida) i certifikaciju (položen kvalifikacioni ispit shodno odredbama standarda EN 473). Preporučuje se svim kandidatima da pristupe kvalifikaciji u CzC radi dobijanja odgovarajućeg sertifikata, pri čemu će se u narednih 5 godina priznavati kao validan dokaz o završenoj obuci, uverenja izdata od obrazovnih centara, stečena u periodu do uspostavljanja sistema KiC.

Pretpostavka je da bi u prelaznom periodu od 5 godina trebalo zanoviti sva izdata uverenja o stručnoj obuci, a to je najpraktičniji način da se, umesto produženja uverenja, posle kvalifikacije i polaganja kvalifikacionog ispita stekne odgovarajući sertifikat.

Detaljnije o karakteristikama YU - sistema za KiC može se videti u Pravilniku sistema... [6], kojima su, pored standardima utvrđenih zahteva, propisani i drugi potrebni uslovi koje certifikaciono telo može da postavi za uspostavljanje i razvoj sistema KiC kadrova u oblasti IBR.

### 3. AKREDITACIJA CzC I MEĐUNARODNO PRIZNANJE YU CERTIFIKATA ZA IBR OSOBLJE

Jasno je definisano zakonskom regulativom i propisima da sva certifikaciona tela moraju dobiti za svoj rad odobrenje (akreditaciju) od nezavisne akreditacione organizacije. Takođe, Evropski certifikacioni proces forsira harmonizaciju primene standarda EN 473:2000 u Evropi, preko Izvršnog certifikacionog komiteta, što će omogućiti međusobno priznavanje nacionalnih certifikata u Evropi (slika 5).



Slika 5. Harmonizacija po sistemu reciprociteta; Šema međusobnog priznavanja IBR certifikata u Evropi

Akreditor (u našem slučaju JUAT), mora biti potpisnik Sporazuma o razumevanju i međusobnom priznavanju akreditacije certifikacionih tela za osoblje (EA MRA memorandum), što kod JUAT-a momentalno nije slučaj. Ovaj problem bi se mogao relativno lako rešiti tim pre što je JUAT najavio skorašnje potpisivanje ovog sporazuma.

Međutim pred JUAT-om, a i nama, ostaje mnogo veći problem koji bi trebalo rešiti. Naime, zbog nedorečenosti naše zakonske regulative blokiran je i prolongiran postupak akreditacije certifikacionog tela (Centra za certifikaciju). Uverili smo se da ne postoji baš mnogo dobre volje, da subjekti koji su za to odgovorni, obezbede potrebne uslove za potpunu primenu sistema akreditacije i certifikacije u svim relevantnim oblastima. Ovim bi se omogućila verifikacija naše šeme kvalifikacije i certifikacije osoblja u oblasti IBR i, što je za nas mnogo važnije, međunarodno priznavanje YU certifikata.



#### 4. ZAKLJUČCI

Kada je na prošlom savetovanju prezentirana YU šema obećali smo da će pripadnici strukovne organizacije u oblasti IBR (SDIBR) sve učiniti da naša šema zaživi i zavredi međunarodnu verifikaciju.

Uradili smo sve što je od nas zavisilo, formirali certifikaciono telo, uspostavili sistem kvaliteta, pripremili sve uslove za akreditaciju certifikacionog tela, a samim tim, i funkcionisanje šeme kvalifikacije i certifikacije u oblasti IBR. U svim razmišljanjima i aktivnostima rukovodili smo se time da uspostavimo sistem koji će biti zasnovan na odredbama međunarodnih standarda, što bi omogućilo da naša šema kvalifikacije i certifikacije bude priznata i na međunarodnom planu. Najnovije aktivnosti koje se vode pod okriljem EFNDT potvrđuju da smo na pravom putu i da se bez problema možemo uključiti u Evropski certifikacioni proces.

Ipak, kako smo i predvideli, najveći problem ostalo je nerazumevanje i teško prihvatanje savremenih trendova u oblasti akreditacije, certifikacije i provere usaglašenosti, od strane nadležnih državnih institucija koje još uvek nisu, u dovoljnoj meri, pripremile sve uslove za primenu i razvoj sistema. Najavljene izmene u zakonskoj regulativi već dugo se pripremaju. Nadamo da će uskoro biti usvojene. Obećavaju da nećemo više "tapkati u mestu".

Samo da ne izgubimo strpljenje i nadu.

#### LITERATURA

- [1] EN 473:2000, IBR - kvalifikacija i certifikacija osoblja - Opšti principi (eqv.pr. JUS EN 473:2002);
- [2] EN 45013:1989, Opšti kriterijumi za organizacije za atestiranje koje rade na atestiranju kadrova;
- [3] J. Kurai: "Pravila za certifikaciju osoblja za IBR, nivo 3" - Dokument SDIBR, br. CES.01/2001 (Beograd, jun 2001. godine);
- [4] A. Bređan: "Kvalifikacija i certifikacija kadrova u oblasti IBR-a - Predlog Jugoslovenske šeme"; Referat sa savetovanja "IBR 2000: Standardizacija, obrazovanje, sertifikacija, praksa i razvoj" (Zlatibor, 11-15.12.2000. god.);
- [5] Zapisnik SDIBR - Zaključci sa okruglog stola "Kvalifikacija i certifikacija kadrova u oblasti IBR" na Savetovanju IBR 2000 (Zlatibor 15.12.2000. godine);
- [6] Centar za certifikaciju, Pančevo: Pravila sistema za kvalifikaciju i certifikaciju kadrova u oblasti IBR (PS. CzC.01,02,03,04,05,06,07,08 - izdanje, avgust 2002. godine);
- [7] R. Roche: The History of the Certification of NDT Personnel; 7<sup>th</sup> European Conference on non-destructive testing (Copenhagen, 26-29 may 1998);
- [8] General information on the European Certification process (EFNDT Conference; Paris, sept.2002.).



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**

20

## ISPITIVANJE OTPORNOSTI MATERIJALA NA KAVITACIONU EROZIJU PRIMJENOM METODA BEZ RAZARANJA

Dr Ankica Koprivica, dipl.ing.met\*, Mladen Mirković, dipl.ing.met\*, \*  
Institut za crnu metalurgiju AD, Nikšić

### Rezime

Na Peltonovom kolu ( $\Phi 2710\text{mm}$ , 18 lopatica) u HE »Perućica«, izrađenom livenjem martenzitnog čelika CA6NM (ASTM A 743), poslije samo 4850 časova rada pojavila su se eroziona oštećenja u središnjem dijelu većeg broja lopatica (zona III prema normi CCH 70-3). Da bi se utvrdio uzrok oštećenja obavljena je vizuelna kontrola, zatim ispitivanje površinske tvrdoće i ispitivanje mikrostrukture korišćenjem replika. Utvrđeno je da su oštećenja dubine 0.2-25mm prisutna na desnim šoljama kod svih, a na lijevim kod 10 lopatica. Veća oštećenja imaju karakterističan izgled u obliku saća. U centralnom dijelu oštećenih i neoštećenih šolja došlo je do deformacionog ojačavanja, što se manifestuje povećanjem prosječne površinske tvrdoće osnovnog materijala sa 265HB na 315HB. Mikrostrukturu u osnovi čini grubozrni otpušteni martenzit uz prisustvo slobodnog ferita. Posredno je dokazano prisustvo zaostalog austenita i neotpuštenog martenzita. Mala otpornost ispitivanog materijala na kavitacionu eroziju je posljedica grube i nestabilne mikrostrukture.

### Ključne riječi:

Peltonova turbina, martenzitni čelik, kavitaciona erozija, eformaciono ojačavanje.

### Abstract

On HE "Perucica" Pelton wheel ( $\Phi 2710\text{mm}$ , 18 blades), made by casting of martensitic CA6MN steel, after only 4850 working hours erosion damages in central part (zone III according CCH 70-3 norm) where appeared. To establish a reason of damages visual control, surface hardness testing and microstructure investigation using replicas were performed. All right and 10 left blades were with damages of 0.2-25mm depth. Larger damages have characteristic honeycombed appearance. Work hardening of central part damaged and non-damaged blades manifesting in hardness increasing from 265 to 314HB was registered. Microstructure was composed of coarse-grained tempered martensite with some free ferrite. Indirectly was demonstrated presence of retained austenite and non-tempered martensite. Bad resistance of investigated material on cavitation erosion was consequence of coarse and unstable microstructure.

### Key words:

Pelton wheel, martensitic steel, cavitation erosion, work-hardening.

## UVOD

Pod pojmom erozija tečnošću podrazumijeva se progresivno uklanjanje materijala sa površine impulsnim opterećenjima koja se ponavljaju na mikroskopski malim površinama [1].

Jedan od mehanizama erozije tečnošću obuhvata stvaranje a zatim kolaps (urušenje) mjehura unutar tečnosti, što je poznato pod nazivom kavitacija [2]. Kavitaciona oštećenja se javljaju na propelerima brodova, hidrauličnim pumpama i turbinama.

U dugogodišnjoj praksi HE "Perućica", gdje se koriste Peltonove turbine izrađene od čelika CA6NM javljala su se kavitaciona oštećenja, ali prvi put su registrovana na unutrašnjoj (radnoj) strani lopatica (zona III prema normi CCH 70-3) i to kod Peltonovog kola 6A, poslije samo 4 850 časova rada.

Poznato je [1] da intenzitet kavitacionih oštećenja zavisi od dinamike tečnosti i otpornosti materijala na kavitaciona oštećenja. Cilj ovoga rada je karakterizacija materijala Peltonovog kola 6A sa stanovišta otpornosti na kavitaciona oštećenja.

## EKSPERIMENTALNI POSTUPAK

### Materijal, termička obrada i mehaničke osobine

Peltonovo radno kolo 6A izrađeno je livenjem od visokolegiranog martenzitnog čelika CA6NM (ASTM A 743). Rafinacija čelika izvedena je u konvertoru AOD (argon-oxygen decarbonization) postupkom, tipa GF (norma CCH 70-3). Hemijski sastav šarže AOD, od koje je izrađeno Peltonovo kolo 6A, prikazan je u Tabeli 1

TABELA 1 Hemijski sastav, mas%

Proizvod	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo
ASTM A 743	Max 0.060	max 1.00	max 1.50	max 0.030	max 0.040	3.5 4.5	11.5 14.0	0.40 1.00
Norma CCH 70-3	≤0.05	≤1.0	≤1.50	≤0.015	≤0.025	3.5 5.0	12.0 13.5	≤0.70
Šarža AOD	0.029	0.55	0.63	0.001	0.030	4.3	12.3	0.46

Prema dokumentaciji Proizvođača, odlivak je normalizovan sa temperature 1055<sup>0</sup>C i otpuštan na 615<sup>0</sup>C. Sa obje temperature hlađenje je izvedeno duvanjem vazduha. Nakon prve popravke livačkih grešaka zavarivanjem odlivak je ponovo otpuštan 8 časova na 610<sup>0</sup>C, a nakon druge 10 časova na 600<sup>0</sup>C. U oba slučaja poslije popravke zavarivanjem hlađenje sa temperature otpuštanja bilo je veoma lagano (≤25<sup>0</sup>C/h) do oko 200<sup>0</sup>C, a zatim na vazduhu.

Mehaničke osobine su kod Proizvođača ispitivane na livačkoj probi koja je termički obrađivana zajedno sa odlivkom (normalizacija + otpuštanje: proba N+O) i na livačkoj probi koja je dodatno otpuššana da bi se simuliralo otpuštanje poslije zavarivanja (proba: N+O+O). Rezultati su prikazani u Tabeli

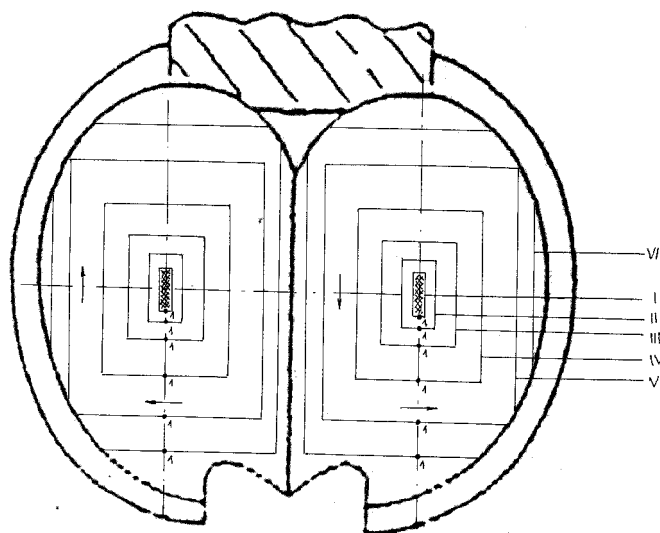
TABELA 2 Mehaničke osobine šarže AOD čelika CA6MN

Specifikacija	Rp <sub>0.2</sub> , MPa	Rm, MPa	A, %	Z, %	KV(20 <sup>0</sup> C), J	Tvrdoća HB
ASTM A 743	>550	>755	>15	>35	-	-
CCH 70-3	540-710	730-840	>15		>90	
Proba (N+O)	675	815	19.4	68.7	170;160;158	268
Proba (N+O+O)	637	792	23.8	69.6	146;134;142	

## Metode ispitivanja

U ovom radu korišćene su sljedeće metode bez razaranja: vizuelni pregled, ispitivanje površinske tvrdoće i ispitivanje mikrostrukture pomoću replika. Pažnja je fokusirana na ispitivanje unutrašnje strane lopatica (zona III prema normi CCH 70-3) «novog» Peltonovog kola 6A (radilo 4850 časova) i «starih» Peltonovih kola drugih proizvođača (rezervno i rashodovano), koja su radila 80 000 i 150 000 časova, respektivno, bez oštećenja unutrašnje strane lopatica

Ispitivanje Brinelve tvrdoće obavljeno je aparatom IMPACT™ TH 130, prema šemi mjernih mjesta prikazanoj na slici 1. Kod «novog» Peltonovog kola 6A ispitana je tvrdoća na lopatica br. 9 i 14, koje imaju velika oštećenja na desnim i lijevim šoljama i na lijevim šoljama lopatica br.8 i br.2, kod kojih nije bilo mjerljivih oštećenja u centralnom dijelu. Radi poređenja «novog» i «starog» Peltonovog kola, ispitana je tvrdoća unutrašnje strane na po jednoj lopatici (lijeva šolja) kod rezervnog i rashodovanog Peltonovog kola. Mjerne zone pri ispitivanju tvrdoće su u vidu koncentričnih krugova, pri čemu zonu I predstavlja područje u neposrednoj blizini oštećenja šolja, slika 1.



SLIKA 1 Šema mjerenja tvrdoće lopatica »novog« i «starih» Peltonovih kola

Kao uzorak za ispitivanje mikrostrukture korištene su replike, uzete iz centralnog dijela šolja u blizini kavitacionih oštećenja. Uzimanja replika obavljeno je prema JUS C.A7.091. Pripremljena površina je nagrizana u Vilella reagensu (No 80 prema ASTM E 407-70). Folija-replika je ispitivana na svjetlosnom mikroskopu JENAVERT, koji je preko kamere povezan sa PC računarom.

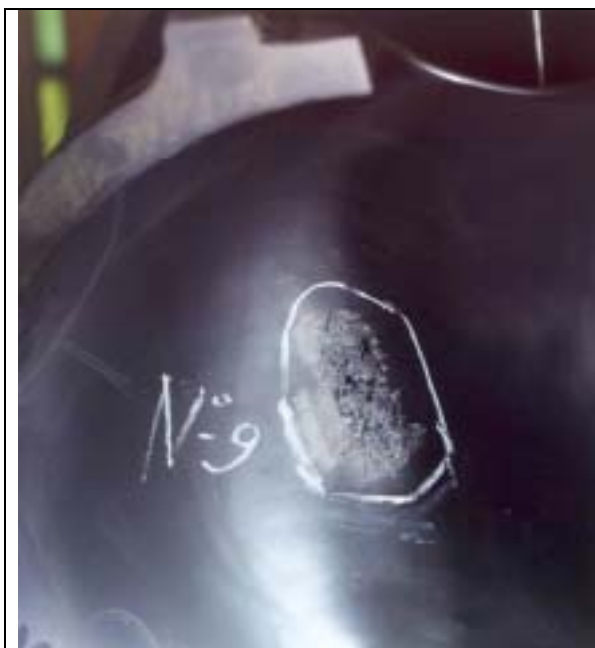
## REZULTATI

### Vizuelna kontrola

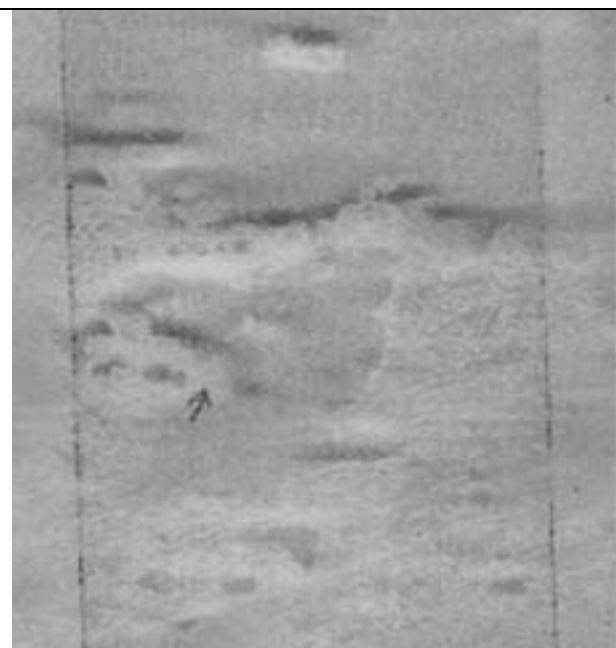
Vizuelnim pregledom Peltonovog kola 6A utvrđeno je da su oštećenja na desnoj šolji prisutna kod svih 18 lopatica, a na lijevoj kod 10 lopatica. Izražena oštećenja, približne dubine 20-25mm, prisutna su na desnoj šolji lopatica br. 1, 9, 10 i 14, a na lijevoj kod lopatic br.14. Oštećenja u opsegu 9-16 mm dubine prisutna su na desnim šoljama br.4, 7, 8, 12, 13 i 18 i na lijevoj šolji br. 12. Kod nekih lopatica (br. 5, 6, 15, 16) plitka oštećenja (0.2-3mm) prisutna su kod obje šolje ili pak samo na desnoj šolji (lopatice br. 2, 3 i 11). Kod lopatica br. 1, 8 i 10 na desnoj šolji su velika oštećenja, a na lijevoj nema mjerljivih oštećenja. Izgled oštećenja desne šolje lopatic br.9 prikazan je na slici 3. Oštećenje ima izgled u obliku saća, a na pojedinim mjestima došlo je do značajnog prodora u unutrašnjost šolje.

Oštećenja, koja su veća na desnim šoljama, ne mogu se dovesti u direktnu vezu sa zavarivanjem površinskih grešaka na lopaticama kod Proizvođača u toku izrade Peltonovog kola 6A, npr. lopatica br. 14 nije imala površinskih grešaka, a oštećenja su znatna na obje šolje. Ipak se mora istaći da su greške, koje su popravljane zavarivanjem, bile prisutne na 13 desnih i 5 lijevih šolja.

Iako lijeve šolje pojedinih lopatica (npr. br.2, 3 i 4) nemaju mjerljivih oštećenja, proces oštećenja je otpočeo, što je utvrđeno direktnim uzimanjem replike (bez pripreme i nagrizanja površine metala) sa lijeve šolje lopatice br.2, slika 3. Sa slike 3 se može pratiti proces oštećenja - prvo nastaju pojedinačne sitne pore, koje se sa napredovanjem procesa spajaju, proširuju i produbljuju. Na pojedinim mjestima pore imaju određenu usmjerenost (označeno strelicom na slici 3) u pravcu vidljivih tragova mašinske obrade.



SLIKA 2 Izgled oštećenja desne šolje lopatice br.9 Peltonovog kola 6A.



SLIKA 3 Početak oštećenja (kavitacije) na lijevoj šolji lopatice br.2 Peltonovog kola 6A (replika uzeta direktno, tj. bez prethodne pripreme i nagrizanja metalne površine).

### Tvrdoća

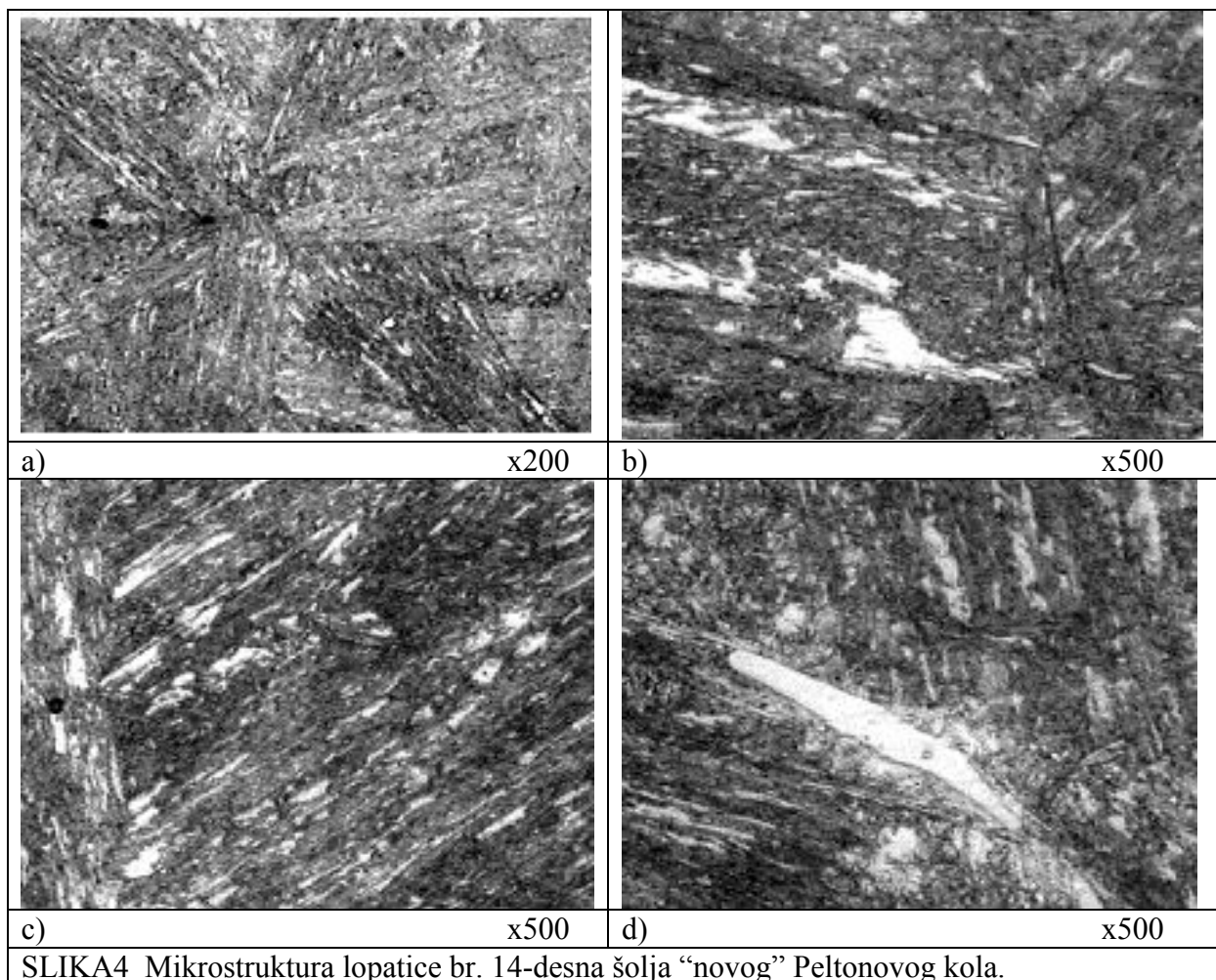
Prosječne vrijednosti tvrdoće (HB) po zonama, slika 1, za lopatice «novog» Peltonovog kola 6A, i «starih» Peltonovih kola prikazane su u Tabeli 3. Kod «novog» Peltonovog kola 6A tvrdoća obje šolje lopatica br.9 i br.14 u mjernim zonama I-II, koje su u blizini oštećenja i tvrdoća u istim zonama lijevih šolja lopatica br.8 i br.2, koje nemaju mjerljivih oštećenja, je oko 45HB veća u odnosu na tvrdoću mjernih zona IV-V, Tabela 3. Tvrdoća u mjernim zonama IV-V je na nivou izmjerene kod Proizvođača, Tabela 2. Kod «starih» Peltonovih kola tvrdoća je ujednačena po svim mjernim zonama, Tabela 3. Nivo tvrdoće je sličan kao kod «novog» kola 6A u zonama IV-V.

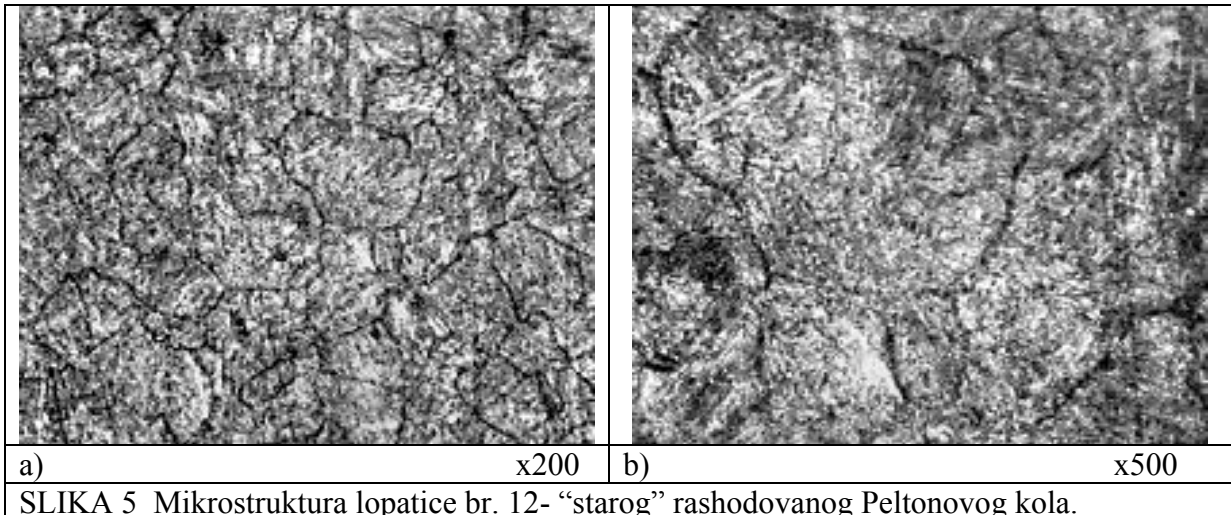
TABELA 3 Prosječne tvrdoće po zonama lopatica «novog» i «starih» Peltonovih kola

Zona	»Novo« Peltonovo kolo 6A						«Staro» rezervno	«Staro» rashodovano
	Lopatica br.9		Lopatica br.14		Lop. 8	Lop. 2	Lop. .5	Lop. 12
(sl. 1)	Desna	Lijeva	Desna	Lijeva	Lijeva	Lijeva	Lijeva	Lijeva
I	307	308	314	315	320	318	261	267
II	302	305	309	292	309	301	264	266
III	279	282	276	273	271	279	253	261
IV	267	276	263	261	265	265	247	260
V	267	269	263	256	266	263	248	264

### Mikrostruktura

Mikrostrukturu «novog» Peltonovog kola 6A čini grubozrnj otpušteni martenzit, slika 4, uz lokalno prisustvo ferita po granicama zrna (bijela izolovana polja na sl.4d).. Ne može se isključiti prisustvo zaostalog austenita i neotpuštenog martenzita o čemu će biti više riječi u diskusiji. Mikrostruktura «starog»-rashodovanog Peltonovog kola je sitnozrnj otpušteni martenzit, slika 5.





## DISKUSIJA

Prema Godfrey [2] otpornost materijala na kavitaciona oštećenja se povećava kada je veća tvrdoća i zatezna čvrstoća, veća sposobnost deformacionog ojačavanja i manja veličina zrna.

Tipična tvrdoća čelika CA6MN poslije hlađenja na vazduhu sa temperature iznad 955°C i otpuštanja na temperaturama u opsegu 590-620°C iznosi 269HB [3]. Prosječne tvrdoće "starih" Peltonovih kola su ujednačene po mjernim zonama i iznose 255HB za rezervno kolo i 264HB za rashodovano kolo, Tabela 3. Kod "novog" Peltonovog kola u centralnom dijelu lopatica u zonama I i II koje su u neposrednoj blizini kavitacionog oštećenja i na istim pozicijama kod lopatica bez mjerljivog oštećenja, prosječna tvrdoća iznosi 314HB, a u ostalim zonama (IV-VI) 265HB, Tabela 3. Ova posljednja se može smatrati tvrdoćom osnovnog materijala. Utvrđeno je [4] da je zatezna čvrstoća zavarenog spoja za oko 80 MPa (23HB) veća u odnosu na osnovni materijal. Međutim, prema dokumentaciji Proizvođača, npr. na unutrašnjoj strani lopatice br.14 nije bilo popravki livačkih grešaka zavarivanjem, a tvrdoća u zoni oko kavitacije iznosi 315HB, što nameće zaključak da je povećanje tvrdoće u centralnom dijelu oštećenih i neoštećenih lopatica "novog" Peltonovog kola posljedica deformacionog ojačavanja.

Materijal CA6MN posjeduje najbolje osobine kada je struktura potpuno martenzitna; preporučuje se pažljiva eliminacija  $\delta$ -ferita [4]. Mikrostrukturu centralnog dijela lopatice "starog"-rashodovanog Peltonovog kola čini sitnozrni, otpušteni martenzit, slika 5, za razliku od grubozrne strukture otpuštenog martenzita uz prisustvo slobodnog ferita "novog" Peltonovog kola, slike 4, što svakako predstavlja jedan od uzroka različitog ponašanja u eksploatacionim uslovima, tj. male otpornosti na kavitaciona oštećenja materijala "novog" Peltonovog kola, s obzirom na to da granice zrna usporavaju transkristalni zamorni lom [2]

Prema Fredericku i dr. [1] kavitaciona erozija često se mjeri kao gubitak težine ili zapremine u jedinici vremena. Prema istom autoru, kod većine materijala gubitak težine se zapaža tek poslije inkubacionog perioda, koji se poklapa sa vremenom potrebnim za stvaranje podpovršinskog, deformacijom ojačanog sloja, što predstavlja uvod za gubitak materijala zamorom ili lomom. Rezultati dobijeni u ovom radu podržavaju nalaze Fredericka, Tabela 3 i slika 3. U ovom vremenu, na površini se javljaju pojedinačne pore uz vrlo mali gubitak mikroskopski malih čestica na široko odvojenim lokacijama na površini. Rezultat dužeg izlaganja je produbljivanje postojećih pora, lom isturenih grebena između susjednih pora i lokalno odlamanje površinskog sloja, slika 3. Uznapredovala erozija se karakteriše oštećenom



površinom u obliku saća, slika 2, čime se mijenja kontura unutrašnjosti šolje, a samim tim i hidro-dinamički uslovi koji proizvode eroziju.

Termička obrada velikog odlivka Peltonovog kola, izrađenog od čelika CA6MN, u velikoj mjeri utiče na njegove metalurške karakteristike [4,5]. Velike odlivke treba hladiti lagano sa temperature otpuštanja i sa temperatura popravki zavarivanjem sa stanovišta stvaranja pukotina i zaostalih naprezanja [5]. Međutim, lagano hlađenje izaziva degradaciju žilavosti, što je posljedica stvaranja veće količine zaostalog austenita u odnosu na ubrzano hlađenje, koji se plastičnom deformacijom lako transformiše u martenzit izazivajući klasičan intergranularni lom [5].

“Novo” Peltonovo kolo je kod Proizvođača poslije dvije popravke zavarivanjem sa temperatura otpuštanja hlađeno veoma sporo, čime su stvoreni uslovi da u strukturi bude prisutna veća količina zaostalog austenita, raspoređenog duž granica martenzitnih lamela [5]. Rezultati Proizvođača, Tabela 2, potvrđuju prisustvo zaostalog austenita pošto se poslije otpuštanja livačke probe, čime je simulirano otpuštanje odlivka poslije popravke zavarivanjem, žilavost smanjila za 13%. Zaostali austenit se najvjerojatnije kavitacionim udarima transformisao u martenzit, izazivajući povećanjem tvrdoće središnjeg dijela šolja sa 265HB na 314HB, Tabela 3. (Mogućnost kavitacijom indukovane transformacije utvrđena je od strane Woodforda [6]). Prisustvo neotpuštenog martenzita i zaostala naprezanja izazvana samom martenzitnom transformacijom su dovoljan uslov da i kavitacioni udari manjeg intenziteta izazovu kavitaciona oštećenja na lopaticama Peltonovog kola 6A.

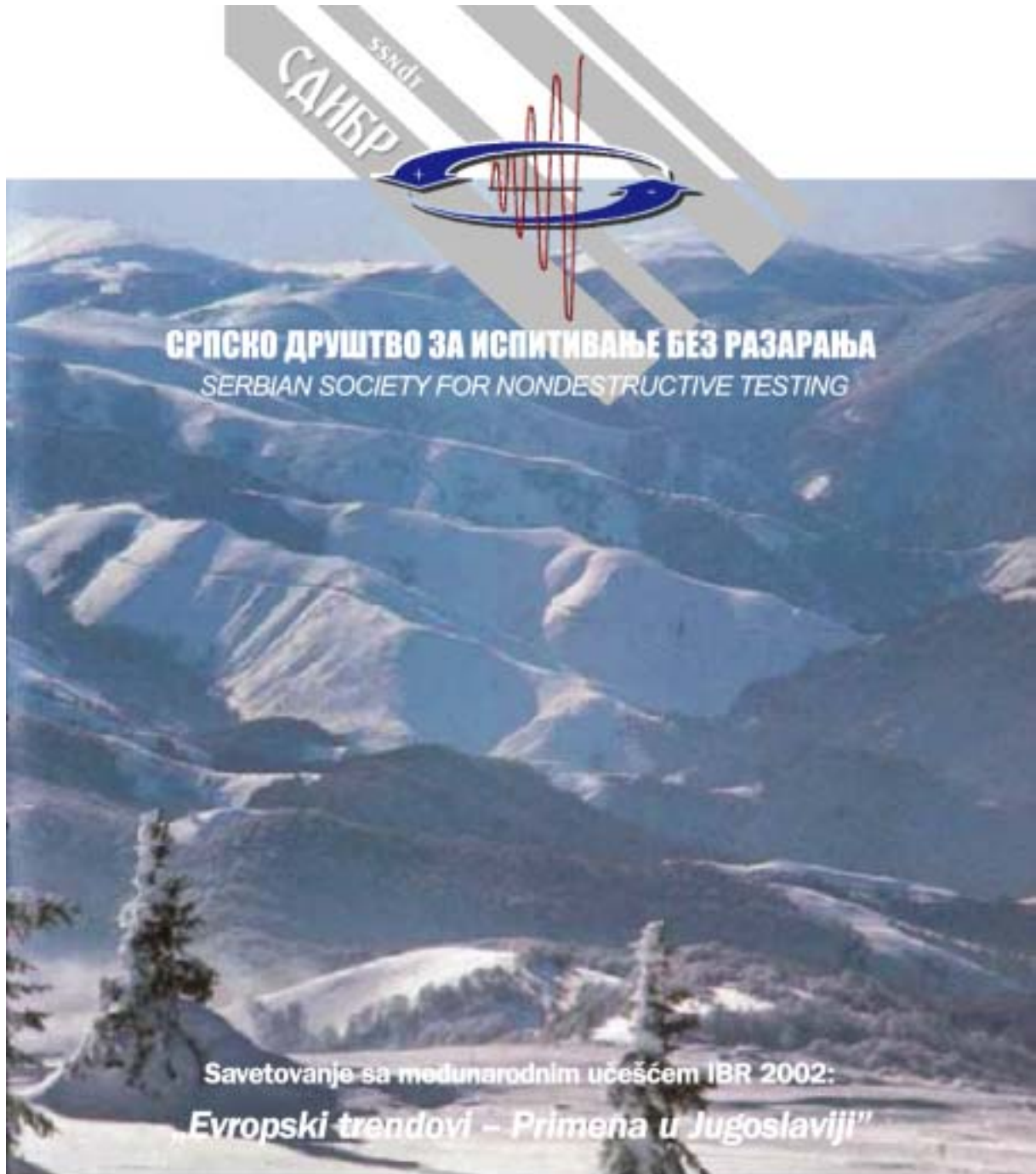
## ZAKLJUČAK

Na osnovu analize raspoložive dokumentacije o “novom” Peltonovom kolu 6A i rezultata dobijenih u ovom radu ispitivanjem unutrašnje strane lopatica (zona III prema normi CCH 70-3) “novog” i “starog” Peltonovog kola mogu se izvući sljedeći zaključci o otpornosti materijala na kavitacionu eroziju:

- Kod “starog”-rashodovanog Peltonovog kola sitnozrna, stabilna mikrostruktura otpuštenog martenzita omogućila je zadržavanje ujednačene prosječne tvrdoće od 264HB po svim mjernim zonama i rad od 150 000 sati bez kavitacionih oštećenja unutrašnje strane lopatica.
- Kod “novog” Peltonovog kola 6A grubozrna struktura otpuštenog martenzita uz prisustvo slobodnog ferita sama po sebi posjeduje malu otpornost na zamor od kavitacionih udara. Pored toga, prisustvo zaostalog austenita, kao posljedica sporog hlađenja sa temperatura otpuštanja poslije popravke zavarivanjem i njegova deformacijom indukovana transformacija u martenzit doveli su do porasta prosječne tvrdoće sa 265HB na 314HB u centralnom dijelu neoštećenih i oštećenih lopatica, što predstavlja uvod za gubitak materijala zamorom i lomom.

## LITERATURA

- [1] Frederick Hammitt and Frank Heyman in *Metals Handbook, Vol. 10, Failure Analysis and Prevention*, 8<sup>th</sup> Edition, ASM, Metals Park, Ohio (1975) pp 160-167.
- [2] D.J. Godfrey in *COROSION, Volume 1, Metal/Environment Reactions*, Ed. by L.L. Shreir, NEWNES-BUTERWORTHS, London-Boston (1979) pp8:124-8:132.
- [3] *Metals Handbook, Ninth Edition, Volume 3, Properties and Selections Stainless Steels, Tool Materials and Special-Purpose Metals*, ASM, Metals Park, Ohio (1980), p. 104.
- [4] W. Gysel, E. Gerber and A. Trautwein, in *Stainless Steel Castings, ASTM Special Technical Publication 756*, Ed. by V.G. Behal and A.S. Melilli, Philadelphia (1982), p.403.
- [5] Y. Iwabuchi and S. Sawada, in Ref.4 p. 332.
- [6] D.A. Woodford, *Met. Trans*, Vol.3 (May 1972), pp. 1137-1145.



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**

21

# POSTUPAK SPROVOĐENJA IBR-a PRI ODRŽAVANJU OPREME ZA ISTRAŽIVANJE I EKSPLOATACIJU NAFTE, GASA I GEOTERMALNIH VODA

Milošević Dušan, dipl.maš.ing.  
NIS NAFTAGAS Pogon "ODRŽAVANJE" ZRENJANIN

## Rezime

*Standardi i tehničke preporuke API predviđaju obim i vrste IBR-a, koja se vrše na navedenoj opremi, pre, u toku eksploatacije, kao i prilikom njihovog remonta.*

*U radu je opisan postupak sprovođenja IBR-a od prijema naloga za kontrolisanje do formiranja zapisa o izvršenim ispitivanjima, izveštavanja i arhiviranja zapisa, što omogućuje dugoročno praćenje stanja i funkcionalnosti opreme.*

## Ključne reči

Ispitivanje, oprema, tehnička preporuka, standard, izveštaj

## NDT PROCEDURE IMPLEMENTATION DURING THE MAINTENANCE OF THE EQUIPMENT FOR OIL, GAS AND GEOTHERMAL WATER EXPLORATION AND PRODUCTION

## Abstrats

*In API Standards and Recommended Practices the number and kinds of NDTs are defined, which are intended to be carried out on the above mentioned equipment, before and during production, as well as in the cases of overhauling.*

*The work describes NDT procedures implementation, from the inspection order receiving to the property carried out records writing, records retention, which enables a long time equipment state and function control.*

## Keywords

Inspection, equipment, recommended practice, standard, report

## UVOD

U procesu istraživanja, eksploatacije i proizvodnje nafte i gasa, koristi se veoma specifična i složena oprema velike vrednosti, koja radi u teškim uslovima. Zbog toga je veoma značajno da se redovno održavanje i periodični pregledi izvode u skladu sa preporukama proizvođača kao i prema standardima, specifikacijama i tehničkim preporukama koje definišu ovu oblast. Pošto je u pitanju, uglavnom, oprema stranih proizvođača, najčešće su u primeni API standardi, specifikacije ili preporuke.

U navedenoj tehničkoj regulativi, osim postupaka održavanja, u potpunosti se definišu i metode IBR za sve značajnije elemente, podsklopove i sklopove opreme. Značajno je napomenuti da su u navedenoj regulativi definisani period ispitivanja, mesta na kojima se vrše, kao i kriterijumi prihvatljivosti za svaki od metoda ispitivanja,

Kada je na ovakav način definisano održavanje opreme, kao i metode ispitivanja, onda je neophodno u preduzeću uspostaviti jasne odnose između organizacionog dela koji se bavi održavanjem ili remontom opreme i organizacionog dela koji se bavi poslovima kontrolisanja i ispitivanja, kako bi se uz potpunu koordinaciju ova dva dela i naravno uz saradnju korisnika, oprema održavala u stanju pune funkcionalnosti.

U Pogonu Održavanje postoje dokumenti sistema kvaliteta koji opisuju ovaj proces. U dokumentima sistema kvaliteta definisane su, između ostalog, odgovornosti pojedinaca i zapisi koji nastaju nakon izvršenih kontrolisanja i ispitivanja. Osnovni principi funkcionisanja poslova kontrolisanja i ispitivanja utvrđeni u navedenim dokumentima dati su u ovom radu.

## **POSTUPAK**

### **Prijem Naloga za kontrolisanje i ispitivanje**

Organizaciona jedinica, odnosno lice koje je zaduženo za održavanje opreme ili vođenje poslova remonta, definiše Nalog za kontrolisanje i ispitivanje Službi kontrole kvaliteta. Služba kontrole kvaliteta Pogona "Održavanje" je organizacioni deo ovlašćen i odgovoran za poslove kontrolisanja i ispitivanja.

Nalog za kontrolisanje i ispitivanje mora da sadrži sve elemente koji definišu objekat koji se ispituje : naziv objekta, naziv sklopa u koji se ugrađuje, oznaku ili identifikacioni broj objekta, broj komada, broj crteža, standard, ili neku drugu tehničku specifikaciju koja opisuje objekat i / ili određuje postupke kontrolisanja i ispitivanja i / ili kriterijume prihvatljivosti.

Nalog se dostavlja rukovodiocu Službe kontrole kvaliteta ili licu koje ga zamenjuje.

### **Razmatranje Naloga za kontrolisanje i ispitivanje**

Lice koje je primilo Nalog razmatra ga sa ciljem da utvrdi da li su navedeni svi elementi koji definišu objekat koji treba ispitati i ukoliko je nešto nejasno ili nedovoljno definisano, to razrešava sa nalogodavcem.

### **Evidentiranje Naloga i određivanje kontrolora**

Svi prispeli Nalozi evidentiraju se u Knjigu evidencije naloga za kontrolisanje i ispitivanje.

Na osnovu predviđenih postupaka kontrolisanja i ispitivanja, lice koje je primilo Nalog određuje kontrolora koji će biti odgovoran za njihovo izvođenje.

Važno je napomenuti da u Pogonu postoje izrađeni Planovi kontrolisanja i ispitivanja, za značajan broj objekata koji se redovno ispituju. Za objekte koji se ređe ili prvi put ispituju, nalogodavac u saradnji sa kontrolorom izrađuje Plan kontrolisanja i ispitivanja.

Svi kontrolori koji sprovode ispitivanja bez razaranja poseduju važeća Uverenja o osposobljenosti za metode koje primenjuju. U zavisnosti od stepena složenosti objekta koji se ispituje, kontrolor koji vrši ispitivanje izrađuje pisani postupak izabrane metode IBR.

### **Obezbeđenje uslova za kontrolisanje i ispitivanje**

Da bi se postupak kontrolisanja i ispitivanja mogao kvalitetno i bezbedno sprovesti, neophodno je obezbediti optimalne uslove. To podrazumeva :

- a ) pripremu objekta za kontrolisanje i ispitivanje : pranje, čišćenje, odmašćivanje, odstranjivanje antikorozijske zaštite ako je to potrebno, pripremu mernih mesta itd,
- b) pripremu prostora za sprovođenje kontrolisanja i ispitivanja : pristup objektu, osvetljenost, izvor električne energije, dovod vazduha, provetravanje itd, u zavisnosti od objekta koji se ispituje i okoline koja ga okružuje.

Poslove pripreme objekta i prostora za ispitivanje, u Pogonu Održavanje, vrši radna jedinica koja je naručilac posla, a nadzor nad tim poslovima vrši kontrolor odgovoran za izvođenje ispitivanja.

c) pripremu odgovarajuće opreme i sredstava kojima se vrši kontrolisanje i ispitivanje  
Pripremu opreme, proveru njene ispravnosti, povezivanje, kalibraciju i ostale radnje neophodne za ispravan rad vrši kontrolor.

d) obezbeđenje odgovarajuće zaštitne opreme, kao i protivpožarne zaštite  
Kontrolori poseduju odgovarajuću zaštitnu opremu za redovne radne zadatke, ali se za posebne slučajeve ( rad u rezervoarima, cisternama, u blizini lako zapaljivih objekata itd.) konsultuju stručna lica iz Sektora zaštite na radu.

### **Izvođenje ispitivanja**

Ispitivanje se izvodi u skladu sa važećom tehničkom regulativom i pisanim postupkom. Kad je god to moguće, praktikuje se da ispitivanja izvode dva kontrolora. Obično su to kontrolori različitog nivoa osposobljenosti i iskustva. Na ovaj način mlađi kontrolori stiču neophodno iskustvo i upoznaju se sa specifičnom tehničkom regulativom i opremom koja se ispituje.

### **IZRADA IZVEŠTAJA**

Posle obavljenog kontrolisanja i ispitivanja kontrolor popunjava izveštaj za svaku od primenjenih metoda ispitivanja posebno. Za tu svrhu formirani su posebni obrasci, za svaku od metoda, a primer jednog dat je u prilogu.

Svi izveštaji se izrađuju u dva primerka.

Izveštaj potpisuje i overava svojim pečatom kontrolor koji je izvršio ispitivanje, a u slučaju da su u ispitivanju učestvovali i drugi kontrolori tada ga i oni potpisuju. Izveštaj na kraju potpisuje i odgovorno lice Službe kontrole kvaliteta.

### **Arhiviranje i distribucija izveštaja**

Svi izveštaji se upisuju u Knjigu evidencije izveštaja, gde dobijaju svoj redni broj . Na ovaj način obezbeđuje se njihova identifikacija i sledljivost.

Jedan primerak izveštaja arhivira se u Službi kontrole kvaliteta, a drugi se dostavlja nalogodavcu.

U zavisnosti od vrste zapisa u dokumentima sistema kvaliteta definisan je i period njihovog čuvanja.

### **ZAKLJUČAK**

Zajedničkim, koordinisanim radom organizacionih delova koji se bave održavanjem ili remontom opreme za istraživanje i eksploataciju nafte i gasa i organizacionog dela koji se bavi poslovima kontrolisanja i ispitivanja postiže se brzo dovođenje opreme u stanje pune funkcionalnosti i osiguranje bezbednog rada opreme. Primenom u praksi proverenih i dokaznih postupaka ispitivanja, definisanih u tehničkoj regulativi, može se pratiti stanje opreme i eliminisati neželjeni zastoji.

### **LITERATURA**

- Dokumenti sistema kvaliteta Pogona "Održavanje" Zrenjanin

<b>NIS NAFTAGAS POGON ODRŽAVANJE" ZRENJANIN</b>	<b>IZVEŠTAJ O ULTRAZVUČNOM ISPITIVANJU / ULTRASONIC EXAMINATION REPORT</b>	IZVEŠTAJ Br./REPORT No.:  LIST/PAGE      OD/OF
NARUČILAC / COSTUMER:	PREDMET ISPITIVANJA / ITEM:	OBJEKAT / ASSEMBLY:
OZNAKA/BROJ / ITEM No.:	BROJ CRTEŽA / DRAWING No:	RADNI NALOG / ORDER No:
GABARIT. MERE/GROSS DIMENSION:	OSNOVNI MATERIJAL / MATERIAL:	POSTUPAK IZRADE/TYPE OF PRODUCTION:
STANJE POVRŠINE/ SURFACE CONDITION	STANJE OBRADE/ STATUS OF PRODUCTION	DEBLJINA MATERIJALA/ THICKNESS (mm)
ČETKANO/ SCRAPED <input type="checkbox"/>	ŽARENO/ ANNEALED <input type="checkbox"/>	PRE ZAVARIVANJA/ BEFORE WELDING <input type="checkbox"/>
PESKARENO/ SHOT BLASTED <input type="checkbox"/>	NORMALIZOVANO/ NORMALIZED <input type="checkbox"/>	POSLE ZAVARIVANJA/ AFTER WELDING <input type="checkbox"/>
BRUŠENO/ GRINDED <input type="checkbox"/>	KALJENO/ QUENCHED <input type="checkbox"/>	POSTUPAK ZAVARIVANJA WELDING PROCEDURE
MAŠINSKI OBRADENO/ MACHINED <input type="checkbox"/>	POBOLJŠANO/ QUENCH/TEMPER <input type="checkbox"/>	DODATNI MATERIJAL/ ADD. MATERIAL
HEMIJSKI OBRADENO/ PICKLED <input type="checkbox"/>	ZAVRŠNO ISPIT./ FINAL TESTING <input type="checkbox"/>	OBLIK ŽLJEBIŠAVA/ WELDING SEAM
STANDARD ZA ISPITIVANJE/ EXAMINATION PROCEDURE:	KRITERIJUM PRIHVATLJIVOSTI PREMA/ ACCEPTANCE CRITERIA ACC. TO:	
UREĐAJ / PROIZVOĐAČ/ UNIT / MANUFAKTURER:	ISPITNA GLAVA/ TESTHEAD:	UPADNI UGAO GLAVE/ HEAD ANGLE OF INCIDENCE:
KONTAKTNI MEDIJUM/ CONTACT MEDIUM:	PODEŠAVANJE UREĐAJA/UNIT ADJUSMENT:	OSETLJIVOST ISPITIVANJA/ TESTING SENSITIVITY
FREKVENCIJA/ FREQUENCY:	METODA ISPITIVANJA/TESTING METHOD:	OPSEG ISPITIVANJA/TESTING RANGE:
REZULTATI ISPITIVANJA/ RESULT EXAMINATION:		
<p>OM - OSNOVNI METAL / BASIC METAL      ZUT - ZONA UTICAJA TOPLOTE / TEMPERATURE      Š - METAL ŠAVA / SEAM METAL      EFFECTIVE ZONE</p>		
DATUM/MESTO / DATE/PLACE	ISPITAO / EXAMINER:	KBR NIVO / NDT LEVEL:
/		OVERIO /SUPERVISOR:

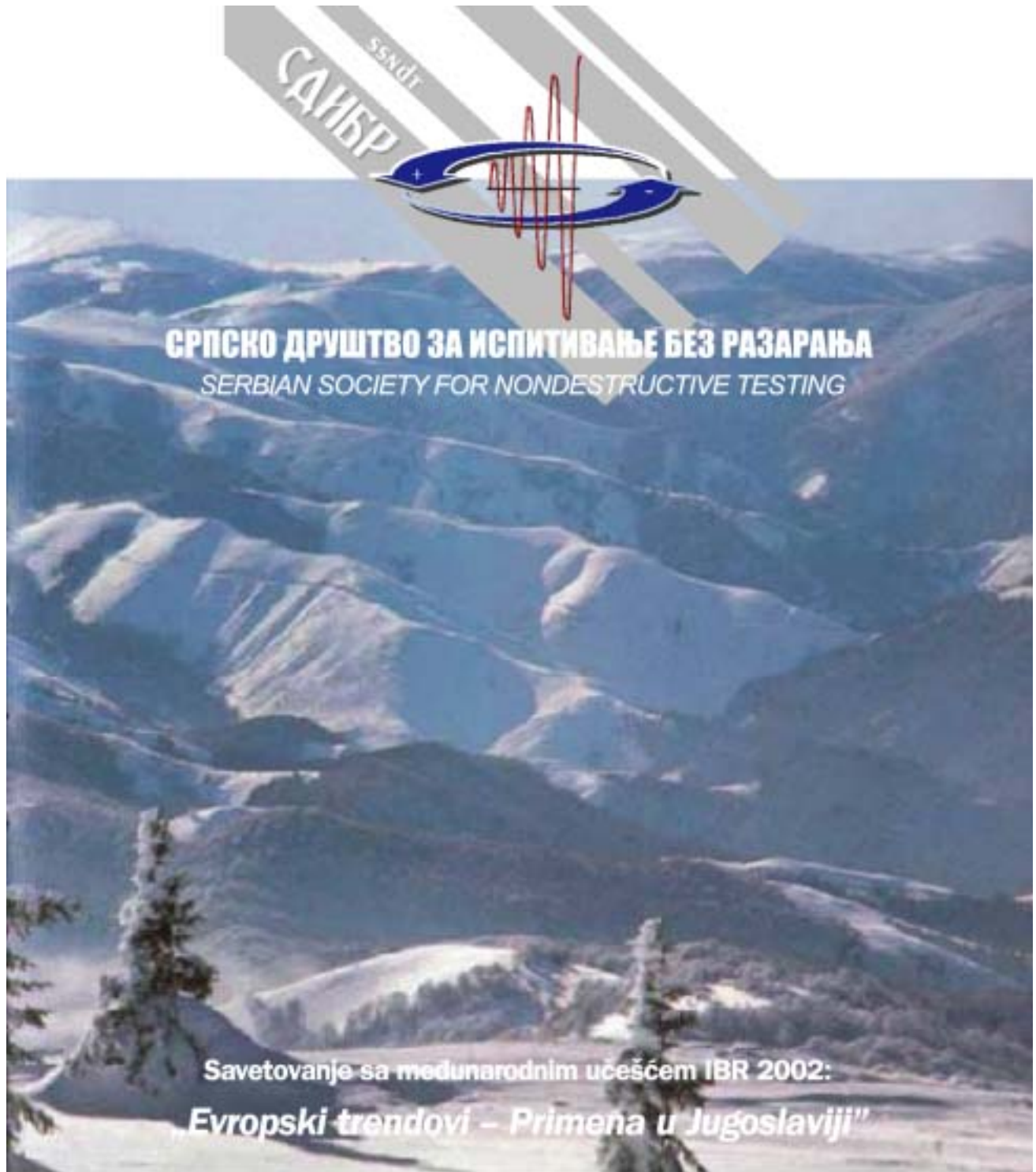
Q.10.45.3.01-1

SKICA/ TEHNIC SKETCH:

KOMENTAR/ COMMENT:

PRIHVATLJIVO/ ACCEPTABLE     NEPRIHVATLJIVO/ UNACCEPTABLE

ODGOVORNO LICE/  
SUPERVISOR



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**



22

## PRIMENA IBR U DOKUMENTOVANOM SISTEMU KVALITETA JUS ISO 9001

Zoltan Jonaš dipl. maš. inž. NIS Naftagas pogon, "Održavanje"  
Zrenjanin

### Rezime

*Nezavisno od toga dali je u pitanju prijemno, procesno ili završno kontrolisanje, metode IBR su u NIS NAFTAGAS Pogon Održavanje preko Radnih uputstava uključena u sistem kvaliteta ispunjavajući sve zahteve sistema.*

### Ključne reči:

IBR, sistem kvaliteta, plan, ispitivanje, zapisi.

## NDT IMPLEMENTATION IN DOKUMENTED JUS ISO 9001 QUALITY SYSTEM

### Abstract

*In NIS NAFTAGAS Pogon Održavanje, in the casis of acceptance, proces and final inspection, NDT methods have been included in the quality system, trough work instructions, meeting all the system requirements.*

### Kee words:

NDT, quality system, plan, testing, records.

### UVOD

Jugoslovenski standard JUS ISO 9001 od 1996 godine koji se odnosi na sisteme kvaliteta, u tački 4.10 definiše zahteve u odnosu na kontrolisanje i ispitivanje.

Prema opštem delu te tačke, isporučilac mora da uspostavi i održava dokumentovane postupke (procedure, uputstva) za aktivnosti kontrolisanja i ispitivanja. U daljem tekstu u nekoliko podtački razradjeni su zahtevi u odnosu na prijemno, procesno i završno kontrolisanje i ispitivanje, kao i o formiranju zapisa o istima.

Standard JUS ISO 9001 od 2001 godine sa nazivom Sistemi menadžmenta kvalitetom, koji zamenjuje prethodni standard od 1996. godine, nema posebnu tačku koja se odnosi na zahteve za kontrolisanje i ispitivanje, nego su oni smešteni u podtačke tačke 7 sa nazivom "Realizacija proizvoda" (7.1.c i d, 7.4.3, 7.5.3) i tačku 8 sa nazivom "Merenje, analize i poboljšavanja" (8.1.a, 8.2.4). Obim teksta koji se odnosi na ove aktivnosti je smanjen, ne postoji eksplicitni zahtev da se moraju izraditi i održavati dokumenti sistema ( procedure, uputstva ), ali se to i ne sprečava. Bez obzira što se u standardu eksplicitno ne zahtevaju pisane procedure, suština zahteva prema kontrolisanju i ispitivanju ostala je da se za sve faze procesa proizvodnje kontrolisanje i ispitivanje mora planirati, realizovati sa kompetentnim i ovlašćenim kadrovima, prema jasno definisanim kriterijumima prihvatljivosti i da se o svemu tome sačinjavaju zapisi kao dokaz o usaglašenosti sa zahtevima.

NIS NAFTAGAS Pogon "Održavanje" je sertifikovan 2001 godine i ima dokumente sistema kvaliteta po kojima se izvode kontrolisanja i ispitivanja i sačinjavaju zapisi.

### **DOKUMENTI SISTEMA KVALITETA**

Dokumenti sistema kvaliteta sačinjeni su u skladu sa JUS ISO 9001 od 1996 god., pa i dokumenti za zahteve iz grupe 4.10 Kontrolisanje i ispitivanje.

Sačinjene su tri procedure:

- Procedura za prijemno kontrolisanje i ispitivanje
- Procedura za procesno kontrolisanje i ispitivanje
- Procedura za završno kontrolisanje i ispitivanje.

Podršku procedurama daju tri Uputstva i 21 Radno uputstvo. Od Radnih uputstava 7 se odnosi direktno na ispitivanja bez razaranja, ali se ono indirektno primenjuje i u drugim Radnim uputstvima, jer su ona definisana za ispitivanje pojedinih proizvoda (ispitivanje čeličnih limova, prirubnica, šipkastog materijala i sl).

Sva ispitivanja i kontrolisanja pokreću se pisanim putem i o svakom se mora sačiniti zapis. Iskustvo od preko 1000 zapisa godišnje govori da se ispitivanja rade često i uvežbano. Planiranje kontrolisanja i ispitivanja vrši se preko planova kvaliteta i planova kontrolisanja. Planiranje se vrši u zavisnosti od vrste proizvoda:

- U Službi razvoja i projektovanja za proizvode koji se projektuju i izradjuju u Pogonu
- U Radnoj jedinici gde se proizvod popravlja za proizvode stranih proizvođača

I u jednom i u drugom slučaju za planiranje kvaliteta konsultuju se radnici iz Službe kontrole kvaliteta zbog boljeg poznavanja metoda ispitivanja i regulative kojom je ona uređena.

Radna uputstva sadrže elemente potrebne za realizaciju ispitivanja kao što su: veza sa odgovarajućim eksternim standardom, opis opreme i pribora, pripremu za ispitivanje, način sprovođenja ispitivanja, određivanje veličine defekata, održavanje opreme i pribora i zaštitu na radu.

Metode ispitivanja bez razaranja primenjuju kadrovi osposobljeni na kursevima koji su u našoj zemlji dostupni, i imaju odgovarajuća uverenja i potvrde ( uglavnom II nivo ).

## ZAPISI

Obrasci zapisa definisani su tako da izvršioce vode kroz proces kontrolisanja i ispitivanja. Realizacijom ispitivanja i ispunjavanjem svih rubrika u zapisu ispitivač je završio predviđene aktivnosti. Ne može da se desi da je neki podatak zaboravljen.

Zapisi sadrže podatke:

A. Zaglavlje:

- Naziv organizacije, naziv izveštaja, broj pod kojim je izveštaj zaveden.

B. Podaci o naručiocu i delu koji se ispituje:

- Naručilac, predmet ispitivanja, objekat sa kojeg je predmet ispitivanja, oznaka predmeta, broj crteža, radni nalog, gabarit dela, osnovni materijal dela i postupak izrade dela.

C. Bliži podaci o delu koji se ispituje:

- Stanje površine, stanje obrade, debljina materijala.

D. Tehnička regulativa za izvodjenje i ocenjivanje:

- Propisi ili standardi prema kojima se vrši ispitivanje, kao i kriterijumi prihvatljivosti po kojima se vrši ocenjivanje

E. Podaci o tehničkim sredstvima, ili ispitnim sredstvima sa kojima se vrši ispitivanje:

- Ovi podaci se razlikuju od metode do metode, ali se u principu definišu svi podaci koji mogu da obezbede sledljivost i ponovljivost ispitivanja od naziva proizvođača, tipa uredjaja, broja uredjaja do broja šarže ispitnog sredstva.

F. Podaci o rezultatima ispitivanja:

- Ove podatke upisuje ispitivač opisujući nadjene indikacije i njihove dimenzije.

G. Podaci o verifikaciji ispitivanja:

- Datum, potpis ispitivača, IBR nivo koji poseduje, verifikacija lica koje je odgovorno i ovlašćeno za definisanje statusa proizvoda

H. Mesto za skicu, ukoliko ona jasnije definiše rezultate ispitivanja

I. Mesto za komentar ukoliko je on potreban

J. Mesto za evidentiranje statusa proizvoda i njegovu usaglašenost sa postavljenim zahtevima

K. Ponovna verifikacija odgovornog lica za podatke koji su na drugoj strani.

Primer obrasca zapisa dat u prilogu

## ZAKLJUČCI

Ispitivanje bez razaranja planira se i sprovodi u skladu sa usvojenim dokumentima sistema kvaliteta, a o ispitivanjima se sačinjavaju zapisi koji obezbedjuju jasnu identifikaciju, sledljivost i ponovljivost prema definisanim kriterijumima prihvatljivosti. Prema JUS ISO 9001:2001 nema novih zahteva van onih koje već primenjujemo pa razvoj IBR u sistemu menadžmenta kvalitetom vidim samo u redovnim preispitivanjima i otklanjanju eventualno nadjenih ispravki ili korektivnih mera.

## LITERATURA:

JUS ISO 9001:1996

JUS ISO 9001:2001

JUS ISO 9004:2001

Dokumenti sistema kvaliteta NIS NAFTAGAS, Pogon održavanje  
Zrenjanin

**IBR 2002: Evropski trendovi – Primena u Jugoslaviji**

<b>NIS NAFTAGAS POGON "ODRŽAVANJE" ZRENJANIN</b>		<b>IZVEŠTAJ ISPITIVANJA MAGNETSKIM ČESTICAMA/ MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION REPORT</b>		IZVEŠTAJ Br./ REPORT No:  LIST/PAGE      OD/OF	
NARUČILAC / COSTUMER:		PREDMET ISPITIVANJA / ITEM:		OBJEKAT / ASSEMBLY:	
OZNAKA/BROJ / ITEM No.:		Br. CRTEŽA / DRAWING No.:		RADNI NALOG / ORDER No.:	
GABARIT. MERE/GROSS DIMENSION:		OSNOVNI MATERIJAL / MATERIAL:		POSTUPAK IZRADE/ TYPE OF PRODUCTION:	
STANJE POVRŠINE/ SURFACE CONDITION		STANJE OBRADE/ STATUS OF PRODUCTION		DEBLJINA MATERIJALA/ THICKNESS (mm)	
ČETKANO/ SCRAPED <input type="checkbox"/>		ŽARENO/ ANNEALED <input type="checkbox"/>		PRE ZAVARIVANJA/ BEFORE WELDING <input type="checkbox"/>	
PEŠKARENO/ SHOT BLASTED <input type="checkbox"/>		NORMALIZOVANO/ NORMALIZED <input type="checkbox"/>		POSLE ZAVARIVANJA/ AFTER WELDING <input type="checkbox"/>	
BRUŠENO/ GRINDED <input type="checkbox"/>		KALJENO/ QUENCHED <input type="checkbox"/>		POSTUPAK ZAVARIVANJA WELDING PROCEDURE	
MAŠINSKI OBRADENO/ MACHINED <input type="checkbox"/>		POBOLJŠANO/ QUENCH/TEMPER <input type="checkbox"/>		DODATNI MATERIJAL/ ADD. MATERIAL	
HEMIJSKI OBRADENO/ PICKLED <input type="checkbox"/>		ZAVRŠNO ISPIT./ FINAL TESTING <input type="checkbox"/>		OBLIK ŽLJEBIŠAVA/ WELDING SEAM	
STANDARD ZA ISPITIVANJE/ EXAMINATION PROCEDURE:			KRITERIJUM PRIHVATLJIVOSTI PREMA/ ACCEPTANCE CRITERIA ACC. TO:		
NAČIN MAGNETIZACIJE / WAY OF MAGNETIZATION		APARAT / EQUIPMENT		ČESTICE / PARTICLES	
JARAM / YOKES <input type="checkbox"/>		MARKA / BRAND NAME: HELING		MARKA / BRAND NAME:	
POKRETNI KONTAKT / PROD CONTACTS <input type="checkbox"/>		MODEL: TSW 1000		BROJ ŠARŽE / BATCH No.:	
INDUKCIJOM / <input type="checkbox"/> INDUCED CURRENT		SERIJSKI Br. / SERIAL No: 8523313		BOJA / COLOR: CRNA	
CENTRALNI PROVODNIK / <input type="checkbox"/> CENTRAL CONDUCTOR		RAZMAK POLOVA / LEG SPACING:		BELA OSNOVA / DA/YES <input type="checkbox"/> WHITE BACKGROUND NE/NO <input type="checkbox"/>	
ZAVOJNICOM / COILS <input type="checkbox"/>		JAČINAPOLJA / FIELD INTENSITY: 1000 A		TEČNI/SPREJ / <input type="checkbox"/> LIQUID/SPRAY	
PROPUSANJEM STRUJE / <input type="checkbox"/> DIRECT CONTACT		STRUJA / CURRENT AC <input checked="" type="checkbox"/> DC <input type="checkbox"/>		SUVE ČESTICE / <input type="checkbox"/> DRAY PARTICLES	
DEMAGNETIZACIJA DA / YES <input type="checkbox"/> DEMAGNETIZE NE / NO <input type="checkbox"/>		TEMPERATURA OKOLINE / OBJECT TEMPERATURE (C°)			
ČIŠĆENJE NAKON ISPITIVANJA/ POST EXAMINATION CLEANING DA/YES <input type="checkbox"/> NE/NO <input type="checkbox"/>		TEMPERATURA KOMADA / ENVIRONMENT TEMPERATURE(C°)			
SREDSTVO ČIŠĆENJA / CLEANING MEANS:			OPSEG ISPITIVANJA / TESTING RANGE		
REZULTATI ISPITIVANJA / RESULT EVALUATION:					
DATUM/MESTO / DATE/PLACE		ISPITAO / EXAMINER:		IBR NIVO / NDT LEVEL:	
/					
				OVERIO / SUPERVISOR:	

Q.10.45.3.17-1

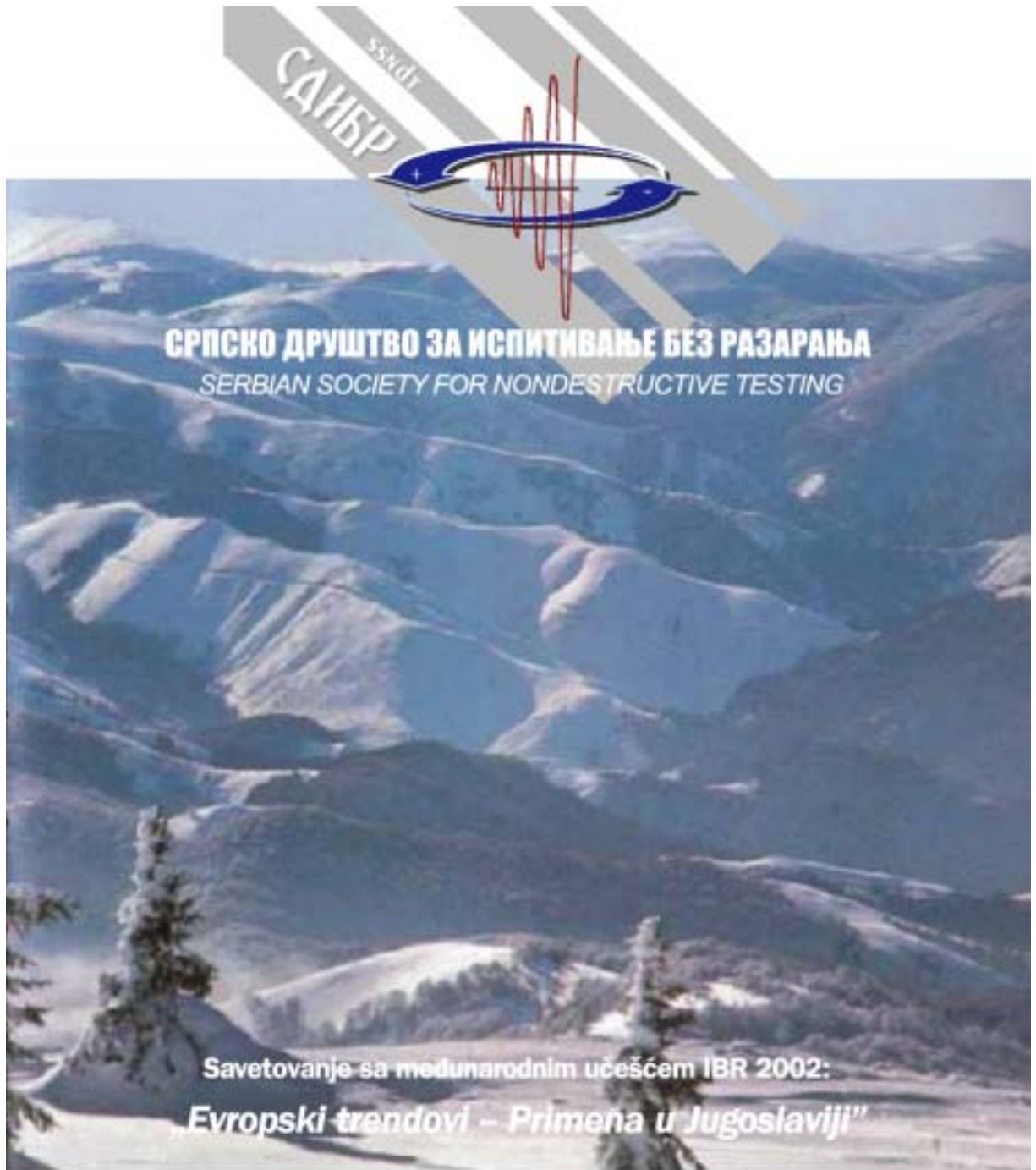
SKICA / TEHNIKUE SKETCH:

KOMENTAR / COMMENTARY

PRIHVATLJIVO / ACCEPTABLE     NEPRIHVATLJIVO / UNACCEPTABLE

SUPERVISOR

ODGOVORNO LICE /



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**

23

## KARAKTERIZACIJA MIKROSTRUKTURE PLAŠTA VALJKA ZA PRERADU GLINE PRIMENOM METODE REPLIKE

Dragan Rajnović, dipl. ing., Prof. Dr. Leposava Šiđanin,  
Dejan Stojaković, dipl. ing., Mr. Julija Fišl, Mr. Vladimir Bajić  
Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad

### Rezime

*Tokom pripreme gline za izradu crepa, smeša gline mora da prođe kroz set valjaka, sa ciljem postizanja veće homogenosti i dovođenja priprema na zahtevanu debljinu. Za taj proces, od materijala plašta valjaka koji je u direktnom kontaktu sa glinom, zahteva se visoka otpornost na habanje, dimenziona preciznost i postojanost, kao i zadovoljavajuća dinamička izdržljivost, što se može postići jedino adekvatnim izborom materijala i mikrostrukturom. U radu su prikazani rezultati ispitivanja različitih plašteva valjaka za preradu gline, velikih dimenzija. Ispitivani su: novi plaševi, plaševi koji su bili uključeni u rad i havarisani. Kod svih plašteva izvršena je karakterizacija mikrostrukture primenom metalografskog ispitivanja površine metodom replike tzv. površinska metalografija. Za neke plaševe ispitan je hemijski sastav materijala i merena je tvrdoća, konvencionalno i pomoću prenosnog uređaja. Konstatovano je da su plaševi valjaka izrađeni od različitih materijala sa različitim mikrostrukturama, što je uticalo na njihovo ponašanje u eksploataciji.*

### Ključne reči:

plašt valjka, mikrostruktura, metoda replike, tvrdoća

## THE MICROSTRUCTURE CHARACTERIZATION OF ROLLER MANTLE FOR CLAY PRODUCTION BY REPLICA METHOD

### Summary

*In the process of clay-tile manufacturing, clay has to pass through set of rollers in order to achieve higher homogeneity and exact thickness. Thus, it is expected from roller mantle to have high wear resistance, dimension accuracy and stability, and satisfactory dynamical strength. This can be only achieved by appropriate material and microstructure. This paper presents the results of different roller mantles study of great dimensions. The investigations were performed on: new roller mantles, mantels in exploitation and some used. To characterize the microstructure of all mantels materials, a replica method was used. The chemical composition was determined and hardness test (classical method and by portable device) were performed, also. It was found that all roller mantles were made from different materials with different microstructures which influenced their behaviour during exploitation.*

### Key words:

roller mantle, microstructure, replica method, hardness

## UVOD

Zadatak metalografskog ispitivanja je da se mikrostruktura materijala indentifikuje i dokumentuje fotografijom. Površinska metalografija je poseban oblik ispitivanja mikrostrukture materijala. Ispituju se replike odnosno, otisci mikrostrukture uzetih sa površine materijala koja je prethodno metalografski pripremljena. Uzimanje otiska omogućuje ispitivanje mikrostrukture materijala bez razaranja i oštećenja površine ispitivanog dela.

U radu su komentarisane mikrostrukture na ispitivanim plaštevima valjaka za preradu gline. To su delovi velikih dimenzija, visoke tvrdoće, koji se ne smeju oštetiti jer su namenjeni za eksploataciju u proizvodnji. Cilj ispitivanja je bio da se odabere najpogodniji materijal u odgovarajućem stanju koji bi najbolje zadovoljio uslove u eksploataciji sa dužim vekom trajanja.

## EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

Ispitivani su plaštevni valjaka velikih dimenzija za preradu gline. U eksploataciji je uvek prisutan par valjaka koji su u sprezi na propisanom odstojanju. U toku rada jedan valjak je nepodešljiv dok se drugim valjkom reguliše propisani zazor (podešljiv valjak). Ispitivani su plaštevni u radu (oznake 1 i 2), havarisani (oznake 3 i 4) i nekorišćeni plaštevni (oznake 5 i 6).

Kod svih plaštevna izvršena je karakterizacija mikrostrukture primenom metalografskog ispitivanja površine metodom replike koja je osvojena u Laboratoriji za materijale, na Institutu za proizvodno mašinstvo, Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu. Otisci su uzimani sa radne površine plašta i po bočnoj površini na više mesta do najveće dubine od 90 mm.

Identifikacija materijala hemijskom analizom izvršena je kod uzoraka kod kojih je mogla da se napravi strugotina pošto je hemijska analiza vršena klasičnim, mokrim, metodama.

Merenje tvrdoće je u zavisnosti od mogućnosti vršeno u laboratoriji konvencionalnim metodama odnosno na licu mesta prenosnim uređajem.

## REZULTATI I DISKUSIJA

### Plaštevni u radu (oznake 1 i 2)

Plaštevni sa oznakama 1 i 2 čine par valjaka koji su u sprezi na rastojanju od 0,4 mm. Periodičnom kontrolom veličine rastojanja ustanovljeno je neravnomerno habanje po radnoj površini podešljivog valjka, što je prikazano na slici 1a,b.

Hemijskom analizom je utvrđeno da materijal plašta spada u grupu legiranih livenih gvožđa otpornih prema habanju sa oznakom po JUS-u LG 300 Cr Mo 15 3. Rezultati ispitivanja prikazani su u tabeli 1.

Rezultati mikrostrukture duž radne i bočne površine plašta su indentični i sastoji se od eutektičkih karbida tipa  $(CrFe)_7C_3$  radijalne i intradendritske orijentacije i martenzitne osnove nastale iz prethodnog austenita koji je imao dendritsku orijentaciju, sl.2a,b. Uočena je neujednačenost veličine eutektičkih karbida koja je najizraženija na mestima intezivnog habanja. Ovakva neujednačenost negativno utiče na otpornost plaštevna prema habanju.

### Havarisani plaštevni (oznake 3 i 4)

Ispitivanje plaštevna 3 i 4 vršeno je na kraju eksploatacionog veka.

Plašt 3 je izrađen od čeličnog liva sa hemijskim sastavom datim u tabeli 1. Prema hemijskom sastavu materijal plašta najpribližnije odgovara čeličnom livu sa oznakom po JUS-u ČL.4750.

Na radnoj i bočnoj površini mikrostruktura je tipično livačka i ima dendritsku orijentaciju, sl.3a. Mikrostruktura se sastoji iz mreže eutektičkih ledeburitnih karbida tipa  $(CrFe)_7C_3$  koji



su smešteni u osnovi otpuštenog martenzita sa fino dispergovanim sekundarnim karbidima, sl.3b. Veličina eutektičkih karbida je ujednačena na svim mestima ispitivanja i odgovara standardnoj veličini karbida karakterističnim za ovaj tip mikrostrukture.

Rezultati tvrdoće merene Rokvel C metodom na radnoj površini su ujednačeni, srednja vrednost tvrdoće iznosi 60 HRC.

Hemijski sastav plašta 4 je prikazan u tabeli 1. Uzorak je ispitivan u poliranom i nagriženom stanju, pri čemu je utvrđeno da u uzorku postoje dve zone. Zonu 1 čini radna površina plašta i deo bočne površine, dok zonu 2 čini deo bočne površine bliže unutrašnjem prečniku plašta. U zoni 1 nije prisutan grafit, sl.4a, dok su u zoni 2 indentifikovane rozete sa lamelarnim grafitom, sl.4b. Mikrostruktura metalne osnove zone 1 i zone 2 je tipično livačka i ima dendritnu orijentaciju, sl.5. Zona 1 ima mikrostrukturu sastavljenu od perlita, ledeburita i Fe<sub>3</sub>C (cementita), sl.6a, a zona 2 od eutektičkih ćelija perlita u kojima se nalaze lamele grafita, ledeburita i Fe<sub>3</sub>C, sl.6b.

Rezultati tvrdoće merene Rokvel C metodom na radnoj površini su ujednačeni, srednja vrednost tvrdoće iznosi 47 HRC, a prevedena vrednost u Brinelve jedinice iznosi 470 HB.

Na osnovu dobijenih rezultata, materijal plašta predstavlja tvrdokorni liv sa perlitno-karbidnim radnim slojem i prema katalogu Železare Štore odgovara tvrdokornom livu sa oznakom TTL, odnosno valjcima od livenog gvožđa sa oznakom T-NEM (tvrđi valjci za nemetalnu industriju) sa tvrdoćom od 430 do 500 HB. Debljina bele kore se kod ovih valjaka kreće od 10-20 mm.

### Novi plaševi (oznake 5 i 6)

Radna i bočna površina plašta 5 metalografski je ispitivana u poliranom i nagriženom stanju. Na radnoj površini prisutan je grafit u obliku nodula. Step en sferodizacije nodula grafita je iznad 90% sa prosečnom veličinom nodula od 18 μm i brojem nodula od 20/mm<sup>2</sup>, sl.7a. Po debljini plašta uočava se nepravilnost u obliku i veličini nodula. Veličina nodula raste od 18 μm na radnoj površini do veličine 100 μm u blizini unutrašnje površine, sl.7b. Mikrostruktura metalne osnove je tipično livačka i ima dendritnu orijentaciju. Morfološki gledano, mikrostruktura je veoma slična tvrdokornom livu i sastoji se iz martenzita i eutektičkih karbida tipa Fe<sub>3</sub>C, sl.7c,d.

Tvrdoća je merena prenosnim aparatom Mitutozo Hardmatik HH140. Srednja vrednost na radnoj površini iznosi 54HRC (prevedena vrednost u vikersovim jedinicama je 580 HV), a na bočnoj površini 52 HRC (u vikersovim jedinicama 545 HV).

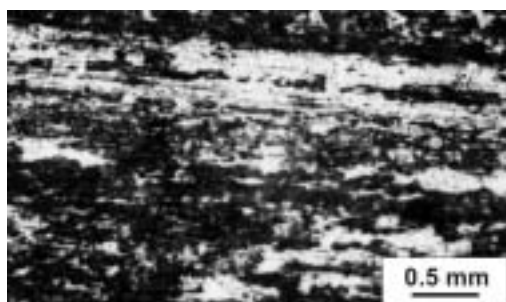
Na osnovu pratećeg atesta za plašt sa oznakom 6 utvrđeno je da materijal plašta spada u grupu livenih legiranih gvožđa (termički obrađena bela livena gvožđa) otpornih na habanje sa oznakom prema katalogu Železarne Štore LG Ni Cr 4 2. Mikrostruktura materijala plašta se sastoji od martenzita dendritske orijentacije i interdendritskog eutektikuma sastavljenog iz martenzita i karbida tipa Fe<sub>3</sub>C, sl.8.

## ZAKLJUČAK

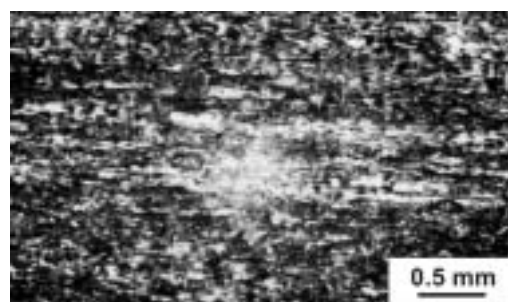
Razmatrajući uslove eksploatacije i rezultate ispitivanja smatra se da plašt sa oznakom 6 najoptimalnije odgovara nameni.

Tabela 1: Hemijski sastav plašteva valjaka

Oznaka plašta	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo%	S %	P %
2	2,89	0,74	0,88	13,76	1,31	0,58	0,027	0,25
3	1,85	0,63	0,87	12,18	1,62	0,58	0,011	0,024
4	3,68	0,63	0,53	0,31	0,45		0,20	0,49

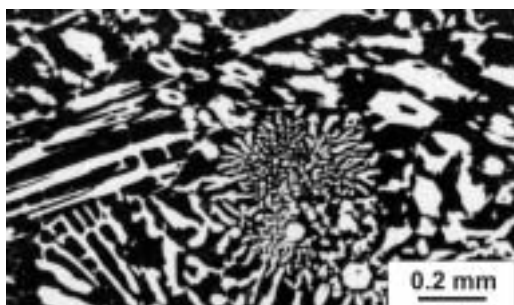


a) veća hrapavost

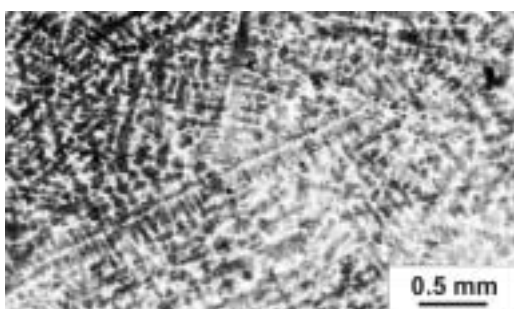


b) manja hrapavost

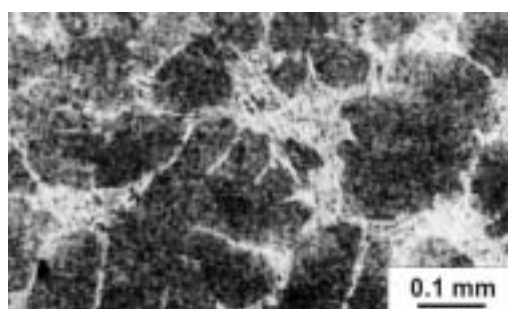
Slika 1. Tragovi hrapavosti na radnoj površini plašta



Slika 2. Mikrostruktura radne i bočne površine plašta



a) radna površina

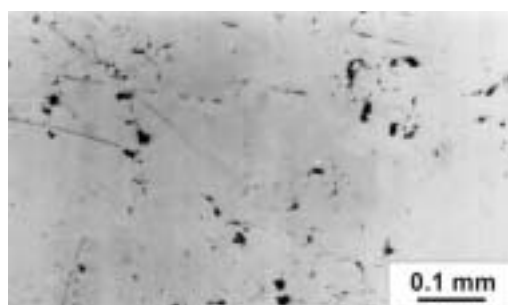


b) bočna površina

Slika 3: Mikrostruktura radne i bočne površine plašta 3

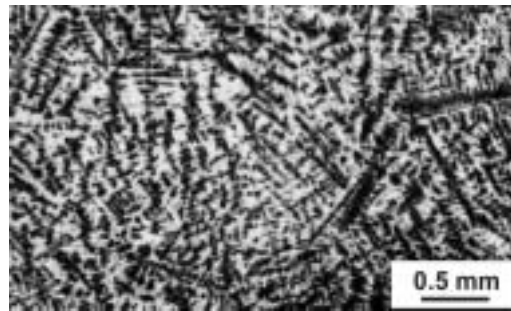


a) zona 1

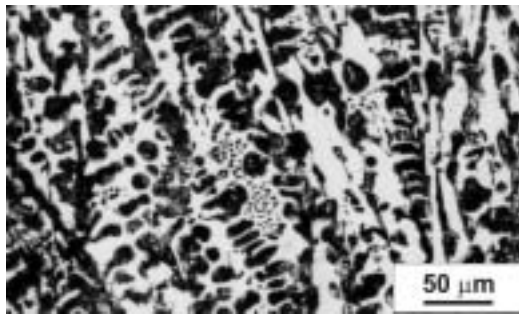


b) zona 2

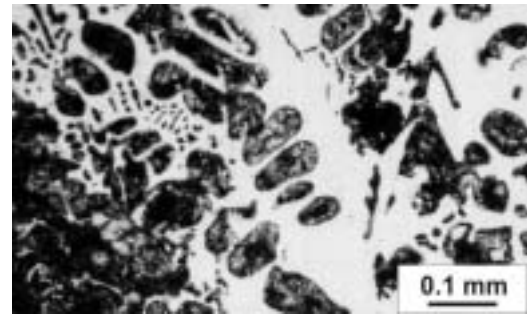
Slika 4: Mikrostruktura radne i bočne površine plašta 4



Slika 5: Mikrostruktura metalne osnove zone 1 i zone 2

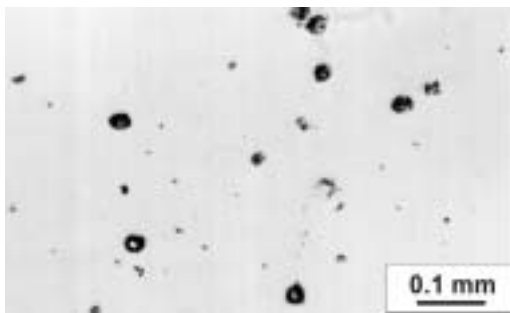


a) zona 1



b) zona 2

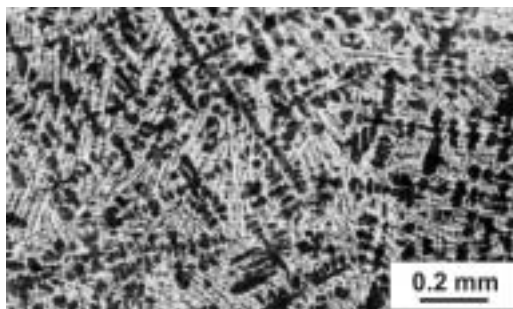
Slika 6: Mikrostruktura zone 1 i 2



a) nenagriženo



b) nenagriženo

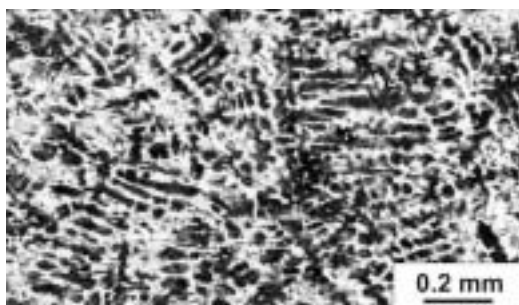


c) nagriženo



d) nagriženo

Slika 7a-d. Mikrostruktura radne i bočne površine plašta 5



Slika 8. Mikrostruktura radne površine plašta 6

**LITERATURA:**

- [1] Metals Handbook, 8<sup>th</sup> edition, vol. 7, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys, 1972.
- [2] JUS standardi

24

## PRIKAZ STANDARDA EN 1435 RADIOGRAFSKO ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA

Mr Đurđija Čašić

Institut za nuklearne nauke »Vinča« Centar za permanentno  
obrazovanje

### Rezime

*Standardom EN 1435 su opisane osnovne tehnike radiografije predmeta koje omogućavaju ekonomično dobijanje zadovoljavajućih i ponovljivih rezultata ispitivanja.*

*Ovaj standard se primenjuje za radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva metalnih materijala.*

*Opisane tehnike mogu se primeniti na zavarene spojeve na pločama, cevima kao i na drugim cilindričnim telima i posudama pod pritiskom.*

*Standard je podudaran sa EN 444 – Opšti principi za radiografsko ispitivanje metalnih materijala X i gama zracima.*

*Standardom nisu opisani kriterijumi prihvatljivosti.*

### Ključne reči

IBR, radiografsko ispitivanje, zavareni spojevi, kontrola kvaliteta, standardizacija,

## RADIOGRAPHIC EXAMINATION OF WELDED JOINTS

### Abstract

*This European Standard specifies fundamental techniques of radiography with the object of enabling satisfactory and repeatable results to be obtained economically.*

*This standard applies to the radiographic examination of fusion welded joints in metallic materials.*

*It applies to the joints of plates or pipes and other cylindrical bodies and pressure vessels.*

*This standard complies with EN 444 - General principles for radiographic examination of metallic materials by X-and gamma-rays. This standard does not specify acceptance levels of the indications.*

### Key words

NDT, radiographic testing, welded joints, quality control, standardization

## UVOD

Radiografska metoda ispitivanja bez razaranja primenjuje se u mnogim industrijskim sektorima za otkrivanje grešaka u unutrašnjosti i na površini materijala. Zasniva se na registrovanju promena u intenzitetu jonizujućih zračenja pri prolasku kroz materijal i analizi promena koje u sebi sadrže informaciju o homogenosti prozračenog materijala. Za ispitivanje se koriste različite vrste jonizujućih zračenja kao što su: X zračenje, gama zračenje i neutronska zračenje.

Pri prolasku jonizujućih zračenja kroz materijal dolazi od slabljenja intenziteta zračenja usled interakcije zračenja i materijala. Ukoliko je materijal konstantne debljine i bez unutrašnjih i površinskih grešaka, detektorom zračenja se utvrđuje približno konstantna raspodela intenziteta zračenja iza predmeta kontrole. Na mestima odstupanja od homogenosti ili debljine materijala, slabljenje zračenja je drugačije pa će se intenzitet zračenja iza tih delova materijala razlikovati od intenziteta zračenja iza homogenog dela. Kod radiografske metode za beleženje informacija o homogenosti predmeta koji se ispituje koristi se rendgen film. Predmet koji se ispituje se prozračava a sa strane suprotne izvoru zračenja postavlja se kasetna sa rendgen filmom. Rendgen film je detekcioni sistem koji beleži površinsku raspodelu intenziteta zračenja na mestu filma. Posle hemijske obrade eksponiranog filma razlika u vrednostima intenziteta zračenja manifestuje se kao razlika u gustini zacrnljenja na radiogramu definišući oblik greške.

Za ispitivanje materijala koriste se različite tehnike radiografije. Osetljivost radiografske metode, zavisno od primenjene tehnike je u opsegu od 0,5% do 5% debljine materijala.

## RADIOGRAFSKO ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA EN 1435

### Klasifikacija radiograskih tehnika

Standardom EN 1435 su radiografske tehnike podeljene na dve klase i to

- klasa A – osnovne tehnike,
- klase B – poboljšanje tehnike.

Tehnike klase B se koriste kada tehnike klase A ne daju zahtevanu osetljivost. Mogu se primenjivati i tehnike osetljivije od tehnika klase B ali se one moraju posebno definisati Ugovorom zainteresovanih strana.

### Opšti zahtevi

- Pri korišćenju X ili gama zračenja za radiografsko ispitivanje moraju se preduzeti mere zaštite u skladu sa Zakonom o zaštiti od jonizujućih zračenja.
- Ako površinske nepravilnosti i prevlake ometaju izvođenje radiografije, površinu treba glatko izbrusiti i prevlaku ukloniti.
- Ukoliko nije drugačije određeno radiografija se vrši nakon završne faze proizvodnje, npr. nakon brušenja ili termičke obrade.
- Identifikacija radiograma i obeležavanje na predmetu ispitivanja vrše se na način definisan standardima koji se već koriste (JUS ISO 1106-1,2,3 i JUS ISO 5579).
- Preklapanje filmova u ovom standardu nije precizirano. Mora se radiografisati celo kritično područje tako da preklapanje filmova može biti i veće od 10 mm ako je neophodno.

## Tipovi i pozicije indikatora kvaliteta slike

Kvalitet radiograma se potvrđuje indikatorom kvaliteta slike – IKS u skladu sa EN 462-1 ili EN 462-2.

Poželjno je da IKS bude postavljen na predmetu sa strane izvora zračenja u središtu površine koja nas interesuje na osnovnom materijalu pored zavarenog spoja. IKS treba da bude u neposrednom kontaktu sa površinom predmeta. Njegovo lociranje se vrši na delu ravnomerne debljine gde je i zacrnenje radiograma ravnomerno.

Koriste se dva tipa IKS i to:

- a) žičani indikatori
- b) stepenasti indikatori sa rupama.

Žičani IKS se postavlja tako da žice budu usmerene normalno na zavaren spoj i treba ga locirati tako da se bar 10 mm neprekidne dužine žice pokaže na delu ravnomernog zacrnenja a to je obično osnovni materijal neposredno uz zavaren spoj.

Stepenasti IKS sa rupama se postavlja tako da traženi broj rupe bude lociran blizu zavarenog spoja.

Kod eksponiranja cevi prečnika do 100 mm odgovarajući IKS se može postaviti ili na predmet sa strane izvora zračenja ili na kasetu sa filmom. Ako se IKS postavlja na kasetu sa filmom u blizini IKS se stavlja oznaka "F" i to se zapisuje u izveštaju. Kvalitet radiograma se utvrđuje poređenjem radiograma dobijenog eksponiranjem, sa IKS na predmetu sa strane izvora zračenja, i radiograma dobijenog sa IKS postavljenim na kaseti sa suprotne strane izvora zračenja.

Za eksponiranje cevi prečnika 200 mm i više, izvorom postavljenim u centru cevi, mora se postaviti najmanje tri IKS –a po obimu cevi na jednakim rastojanjima.

## Ocena kvaliteta radiograma

Radiogrami se pregledaju u skladu sa EN 25580.

Za određivanje kvaliteta radiograma utvrđuje se broj najtanje žice žičanog IKS ili rupe najmanjeg prečnika (stepenastog kontrolnika). Slika žice se prihvata ako je neprekidna dužina te žice bar 10 mm jasno vidljiva na delu ravnomernog zacrnenja. Kod stepenastog IKS-a sa rupama moraju se videti dve rupe istog prečnika, da bi se stepen smatrao vidljivim. Dobijeni kvalitet radiograma se upisuje u Izveštaj o radiografskom ispitivanju. Korišćeni tip indikatora pored toga što je naznačen u Izveštaju mora biti i vidljiv na radiogramu. Minimalne vrednosti žica ili rupa korišćenih IKS za različite materijale date su u dodatku ovog standarda.

## Kvalifikacija osoblja

Osoblje koje vrši ispitivanje bez razaranja u skladu sa ovim standardom mora biti kvalifikovano saglasno evropskoj normi 473 odgovarajućeg nivoa kvalifikacije u odgovarajućem industrijskom sektoru.

## Radiografske tehnike

Ovim standardom opisane su tehnike radiografije:

- sučeono zavarenih spojeva,
- ugaonih spojeva i
- zavarenih spojeva materijala različite debljine ( sa više filmova).

Prozračavanje se vrši kroz jedan zid ili kroz dva zida. Površine koje se prozračavaju mogu biti ravne ( npr. zavarene ploče) i zakrivljene ( npr. cevi, cilindrični sudovi itd.). Kod zavarenih spojeva na elementima sa zakrivljenim površinama, zavisno od dimenzija predmeta koji se ispituje, pristupačnosti, vrste i veličine izvora zračenja i tipa očekivane greške, mogu se koristiti različite tehnike prozračavanja.

Treba napomenuti da tehniku "elipse"(dvostruki zid - dvostruka slika) ne treba koristiti ako je spoljašnji prečnik cevi  $D_e > 100$  mm, debljina zida  $t > 8$  mm i širina zavara  $D_e/4$ . Dve ekspoziције pomerenе za ugao od  $90^\circ$  su dovoljne ako je  $t/D_e < 0,12$ .

Kada je teško izvesti tehniku "elipse" kod  $D_e \geq 100$  mm preporučena je i normalna tehnika prozračavanja. U tom slučaju potrebne su tri ekspoziције pomerenе za ugao  $120^\circ$  ili  $60^\circ$ .

Za prozračavanje sučeono zavarenih spojeva na cevima prečnika većih od 100 mm, detaljno su opisane tehnike prozračavanja kroz dva zida i kroz jedan zid i preporučен najmanji broj radiograma za svaku tehniku kako bi se osiguralo ispitivanje celog zavarenog spoja.

Prikazane su tehnike prozračavanja ugaonih spojeva kroz dva zida pri čemu se i izvor i film nalaze van predmeta ispitivanja.

Ukoliko se prozračavaju različite debljine materijala tada se primenjuje posebna tehnika sa više filmova različitih osetljivosti.

### Izbor izvora zračenja za radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva

Za radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva ovim standardom su preporučeni izotopski izvori zračenja kao što su: Tm - 170, Yb - 169, Se - 75, Ir - 192, Co - 60 i rendgen uređaji energije do 12 MeV. Izbor izvora zračenja se bira na osnovu vrste i debljine materijala a za određenu klasu radiografske tehnike. Preporuke za izbor izvora zračenja za različite materijale i određene klase radiografskih tehnika date su u tabeli 1.

**Tabela 1:** Debljine koje se mogu prozračavati izvorima gama zračenja i rendgen uređajima s energijom od 1 MeV i više za čelik, bakar i legure na bazi nikla.

Izvor zračenja	Prozračavana debljina, w u mm	
	Klasa ispitivanja A	Klasa ispitivanja B
Tm -170	$w \leq 5$	$w \leq 5$
Yb -169 <sup>1)</sup>	$1 \leq w \leq 15$	$2 \leq w \leq 12$
Se -75 <sup>2)</sup>	$10 \leq w \leq 40$	$14 \leq w \leq 40$
Ir -192	$20 \leq w \leq 100$	$20 \leq w \leq 90$
Co 60	$40 \leq w \leq 200$	$60 \leq w \leq 150$
Rendgen uređaj s energijom od 1 MeV do 4 MeV	$30 \leq w \leq 200$	$50 \leq w \leq 180$
Rendgen uređaj s energijom od 4 MeV do 12 MeV	$w \geq 50$	$w \geq 80$
Rendgen uređaj s energijom iznad 12 MeV	$w \geq 80$	$w \geq 100$

<sup>1)</sup> Za aluminijum i titan, prozračavana debljina materijala je  $10 \text{ mm} < w < 70 \text{ mm}$  za klasu A i  $25 \text{ mm} < w < 55 \text{ mm}$  za klasu B.

<sup>2)</sup> Za aluminijum i titan, prozračavana debljina materijala je  $35 \text{ mm} < w < 120 \text{ mm}$  za klasu A.



### Sistemi filma i folije

Za radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva preporučene su klase sistema filma i folija u skladu sa evropskom normom EN 584-1. Za različite izvore zračenja minimalne klase sistema filma i folija date su u tabelama 2 i 3.

**Tabela 2:** Klase sistema filmova i metalnih folija za radiografiju čelika, bakra i legura na bazi nikla

Izvor zračenja	Prozračavana debljina w	Klasa sistema filma <sup>1)</sup>		Vrsta i debljina metalnih folija	
		Klasa A	Klasa B	Klasa A	Klasa B
Napon X zračenja ≤ 100 kV				Nema ih ili do 0,03mm olovne folije s prednje i zadnje strane	
Naponi X zračenja >100 kV do 150 kV		C5	C3	Do 0,15 mm olovne folije s prednje i zadnje strane	
Naponi X zračenja >150 kV do 250 kV			C4	0,02 mm do 0,15 mm olovne folije s prednje i zadnje strane	
Yb -169 Tm -170	w < 5mm	C5	C3	Nema ih ili do 0,03 mm olovne folije s prednje i zadnje strane	
	w ≥ 5mm		C4	0,02mm do 0,15 mm olovne folije s prednje i zadnje strane	
Naponi X zračenja >250 kV do 500 kV	w ≤ 50 mm	C5	C4	0,02 mm do 0,2 mm olovne folije s prednje i zadnje strane	
	w > 50mm		C5	0,1 mm do 0,2 mm olovne folije s prednje i zadnje strane <sup>2)</sup> 0,02 mm do 0,2 mm olovne folije sa zadnje strane	
Se -75		C5	C4	0,1 mm do 0,2 mm olovne folije s prednje i zadnje strane	
Ir -192		C5	C4	0,02 mm do 0,2 mm olovne folije sa prednje strane	0,1mm do 0,2 mm olovne folije s prednje strane <sup>2)</sup>
				0,02mm do 0,2 mm olovne folije sa zadnje strane	
Co- 60	w ≤ 100mm	C5	C4	0,25mm do 0,7 mm čelične ili bakarne folije s prednje i zadnje strane <sup>3)</sup>	
	w > 100mm		C5		
Uređaj sa energijama X zračenja od 1 MeV do 4 MeV	w ≤ 100mm	C5	C3	0,25 mm do 0,7 mm čelične ili bakarne folije s prednje i zadnje strane <sup>3)</sup>	
	w > 100mm		C5		

Izvor zračenja	Prozračavana debljina w	Klasa sistema filma <sup>1)</sup>		Vrsta i debljina metalnih folija	
		Klasa A	Klasa B	Klasa A	Klasa B
Uređaj sa energijama X zračenja od 4 MeV do 12 MeV	w ≤ 100mm	C4	C4	Do 1 mm bakarne, čelične ili folije od tantala s prednje strane <sup>4)</sup>	
	100mm < w ≤ 300mm	C5	C4	Čelične ili bakarne folije do 1mm i folije od tantala do 0,5 mm sa zadnje strane <sup>4)</sup>	
	w > 300mm		C5		
Uređaji sa energijama X zračenja iznad 12 MeV	w ≤ 100mm	C4	-	Folija od tantala do 1mm s prednje strane <sup>5)</sup>	
	100mm < w ≤ 300 mm	C5	C4	Nema folije sa zadnje strane	
	w > 300mm		C5	Folija od tantala do 1mm s prednje strane <sup>5)</sup> Folija od tantala do 0,5 mm sa zadnje strane	

<sup>1)</sup> Mogu se koristiti i bolje klase sistema filma.  
<sup>2)</sup> Gotovi pakovani filmovi s folijom s prednje strane do 0,03 mm mogu se koristiti ako se postavi dodatna olovna folija od 0,1 mm između predmeta i filma.  
<sup>3)</sup> U klasi A mogu se takođe koristiti olovne folije od 0,5 mm do 2,0mm.  
<sup>4)</sup> U klasi A mogu se takođe koristiti olovne folije od 0,5 mm do 1mm ako se takav dogovor postigne između ugovornih strana.  
<sup>5)</sup> Uz dogovor mogu se koristiti i volframske folije

**Tabela 3:** Klase sistema filmova i metalnih folija za aluminijum i titan

Izvor zračenja	Klasa sistema filma <sup>1)</sup>		Vrsta i debljina pojačavajućih folija
	Klasa A	Klasa B	
Napon X zračenja ≤ 150 kV	C5	C3	Nema ih ili su do 0,03 mm prednja i do 0,15 mm zadnja folija od olova
Napon X zračenja > 150 kV do 250 kV			0,02 mm do 0,15 mm prednja i zadnja folija od olova
Napon X zračenja > 250 kV do 500 kV			0,1 mm do 0,2 mm prednja i zadnja folija od olova
Yb - 169			0,02 mm do 0,15 mm prednja i zadnja folija od olova
Se - 75			0,02 mm prednja i <sup>2)</sup> 0,1 mm do 0,2 mm zadnja folija od olova

<sup>1)</sup> Mogu se takođe koristiti i bolje klase sistema filmova.  
<sup>2)</sup> Umesto 0,2 mm olova mogu se koristiti folije od 0,1 mm sa dodatnim filterom od 0,1 mm

### Najveća površina koja se prozračava

Veličina površine koja se ispituje uključuje zavar i zone uticaja toplote. U principu oko 10 mm osnovnog materijala se mora ispitivati sa svake strane zavora. Preporuke za broj radiograma pri ispitivanju zavarenih spojeva date su ovim standardom u dodatku A.

### Zacrnljenje radiograma

Uslovi eksponiranja treba da budu takvi da je minimalno zacrnjenje radiograma veće ili jednako onom datom u tabeli 4. Ako se traži pregled dvostrukog radiograma zacrnjenje svakog pojedinačnog radiograma ne sme biti manje od 1, 3.

**Tabela 4:** Zacrnjenje radiograma

Klasa	Zacrnjenje <sup>1)</sup>
A	$\geq 2,0$ <sup>2)</sup>
B	$\geq 2,3$ <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Dozvoljena je tolerancija merenja od  $\pm 0,1$ .  
<sup>2)</sup> Može se smanjiti posebnim dogovorom između ugovornih strana na 1,5.  
<sup>3)</sup> Može se smanjiti posebnim dogovorom između ugovornih strana na 2,0

### Izveštaj o ispitivanju

Nakon radiografskog ispitivanja zavarenih spojeva piše se Izveštaj o ispitivanju koji mora sadržati najmanje sledeće informacije:

- ime tela koje vrši ispitivanje,
- predmet,
- materijal,
- termička obrada,
- geometrija zavarenog spoja,
- debljina materijala,
- proces zavarivanja,
- specifikacija ispitivanja uključujući zahteve prihvatljivosti,
- radiografska tehnika i klasa, potrebna IKS osetljivost u skladu sa ovim standardom,
- geometrija prozračavanja u skladu sa 6.1
- korišćeni sistem obeležavanja,
- plan položaja filmova,
- izvor zračenja, vrsta i veličina fokusa i identifikacija upotrebene opreme,
- film, folije i filtri,
- korišćeni napon i struja ili aktivnost izvora,
- vreme ekspozicije i rastojanje izvor-film,
- hemijska obrada; ručna/automatska,
- vrsta i položaj indikatora kvaliteta slike,
- rezultati ispitivanja uključujući podatke o zacrnjenju radiograma, očitavanju IKS,
- bilo kakvo odstupanje od ovog standarda, prema posebnom dogovoru,

- ime, sertifikat ispitivača i sertifikat odgovorne osobe(a)
- datum(i) eksponiranja i izveštaja o ispitivanju.

## **ZAKLJUČAK**

Standard EN 1435 po svom sadržaju i obimu predstavlja veoma koristan materijal za ispitivanje zavarenih spojeva metalnih materijala .

- Može da zameni do sada primenjivane standarde JUS ISO 1106 1,2,3 a podudaran je i sa JUS ISO 5579.
- U skladu je i sa standardom EN 444 i mnogim drugim evropskim normama neophodnim za radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva metalnih materijala.
- Detaljnim opisivanjem tehnika ispitivanja i zahteva za kvalitetom radiograma, može:
  - da olakša radiografsko ispitivanje,
  - obezbedi dobijanje kvalitetnih radiograma i
  - omogući da se na osnovu analize i ocene radiograma donese prava odluka o podobnosti predmeta ispitivanja za dalju upotrebu.
- Može da se koristi kao opšta Procedura za radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva i da se na osnovu njega pišu Uputstva za ispitivanje zavarenih spojeva različitih metalnih materijala.

Da bi se ovaj standard primenjivao u potpunosti neophodno je obezbediti i primenjivati i druge evropske norme koje su pomenute u ovom standardu.

25

## STANDARDIZACIJA U OBLASTI ISPITIVANJA VRTLOŽNIM STRUJAMA

Tatjana Samardžić, dipl. maš. ing., JAT

### Rezime

*Rad daje prikaz standarda iz oblasti ispitivanja vrtložnim strujama kojima trenutno raspolaže SZS. Cilj rada je informisanje potencijalnih korisnika o sadržaju i mogućnostima primene ovih standarda, radi utvrđivanja prioriteta i dinamike kod usvajanja JUS standarda iz ove oblasti.*

### Ključne reči:

standardizacija, vrtložne struje, verifikacija, curenje fluksa

## STANDARDIZATION IN EDDY CURRENT TESTING METHOD

### Abstract

*The article offers review of eddy current testing method standards that are currently available to our National Standardization Institution. Purpose of the article is to inform potential users about content and application opportunities of these standards, in order to establish priority and dynamics of JUS standards adoption in this area.*

### Key words:

standardization, eddy current, verification, flux leakage

## UVOD

U procesu uključivanja naše zemlje u evropske i svetske tokove nakon višegodišnje izolacije, uvođenje evropskih standarda u sve grane industrije predstavlja važan segment. U okviru zajedničke Komisije SZS/SDIBR, oformljena je grupa za standarde iz oblasti ispitivanja metodom vrtložnih struja. U daljem tekstu su dati standardi iz ove oblasti kojima trenutno raspolaže Savezni Zavod za standardizaciju, i koji treba da pristupe procesu usvajanja u formi JUS standarda.

- EN 1284 i ISO 15549 – Ispitivanje vrtložnim strujama – Opšti principi
- EN 1330-5 – Ispitivanje vrtložnim strujama – Izrazi koji se koriste u ispitivanju vrtložnim strujama
- EN 1711 – Ispitivanje zavarenih spojevaova vrtložnim strujama analizom kompleksne ravni
- ISO 9304 - Bezšavne i zavarene (osim cevi zavarenih EPP postupkom) čelične cevi za potrebe rada pod pritiskom – Ispitivanje vrtložnim strujama radi otkrivanja nedostataka
- ISO 9302 - Bezšavne i zavarene (osim cevi zavarenih EPP postupkom) čelične cevi za potrebe rada pod pritiskom – Elektromagnetno ispitivanje radi verifikacije nepropusnosti (hydraulic leak-tightness)
- ISO 9598 – Bezšavne čelične cevi za potrebe rada pod pritiskom – Potpuno periferno ispitivanje metodom magnetnog odašiljača/curenje fluksa za otkrivanje poprečnih nedostataka
- ISO 9402 – Bezšavne i zavarene (osim cevi zavarenih EPP postupkom) čelične cevi za potrebe rada pod pritiskom – Potpuno periferno ispitivanje metodom magnetnog odašiljača/curenje fluksa za otkrivanje podužnih nedostataka
- ISO 15548-1 – Ispitivanje vrtložnim strujama – Oprema – I deo: Karakteristike instrumenta i verifikacija
- ISO 15548-2 – Ispitivanje vrtložnim strujama – Oprema – II deo: Karakteristike sonde i verifikacija
- ISO 15548-3 – Ispitivanje vrtložnim strujama – Oprema – III deo: Karakteristike sistema i verifikacija

## STANDARDI VEZANI ZA METODU ISPITIVANJA VRTLOŽNIM STRUJAMA

Prvu grupu čine osnovni standardi vezani za metodu, i zbog svoje opšte primene, oni su već u procesu usvajanja u sistemu JUS standarda. Iako je u našoj industriji danas ova metoda veoma malo zastupljena, njeno prisustvo u proizvodnji i eksploatacionom održavanju u evropskoj i svetskoj industriji je izraženo, i sve više postaje alternativa magnetnom, penetrantskom, u nekim slučajevima radiografskom i ispitivanju nepropusnosti. Zahvaljujući opremi za ispitivanje koja može biti prenosna, malih pripremnih radova pred ispitivanje u poređenju sa ostalim metodama, brzine ispitivanja, mogućnosti trenutnog očitavanja rezultata i velike preciznosti, metoda ispitivanja vrtložnim strujama može biti interesantna za upotrebu i u našim industrijskim sistemima.

EN 1284 i ISO 15549 – Ispitivanje vrtložnim strujama – Opšti principi

Ovaj standard definiše opšte principe koji se primenjuju kod ispitivanja vrtložnim strujama proizvoda i materijala u cilju obezbeđivanja definisanog i ponovljivog ispitivanja. Standard daje osnovu za izradu procedure ispitivanja i izveštaja, a to su obavezni elementi procesa ispitivanja.

Ekvivalent EN 1284 je ISO 15549 standard, koji se po sadržaju ne razlikuje bitno od EN 1284, ali kako je odluka zajedničke Komisije SZS/SDIBR da pri usvajanju domaćih standarda prioritiet imaju evropske norme nad ISO standardima, osnova za izradu JUS standarda koji definiše opšte principe za ispitivanje vrtložnim strujama je EN 1284.

EN 1284 i ISO 15549 traže funkcionalanu verifikaciju jednom godišnje.

EN 1330-5 – Ispitivanje vrtložnim strujama – Izrazi koji se koriste u ispitivanju vrtložnim strujama

Ovaj standard je deo paketa standarda sa istom oznakom EN 1330. Standard je napravljen u formi rečnika izraza koji se koriste kod ispitivanja vrtložnim strujama.

EN 1711 – Ispitivanje zavarenih spojeva vrtložnim strujama analizom kompleksne ravni  
Standard definiše tehnike ispitivanja vrtložnim strujama za otkrivanje površinskih i defekata blizu površine, i to u metalu šava, zoni uticaja toplote i osnovnom materijalu. Obuhvaćeno je ispitivanje tokom proizvodnje i eksploatacije na svim pristupačnim površinama i na zavarenim spojevima gotovo svih konfiguracija. Ovaj standard je interesantan, zato što, između ostalog daje i algoritam za utvrđivanje najpovoljnije tehnike za ispitivanje zavarenog dela.

### **STANDARDI VEZANI ZA ISPITIVANJE DETEKTOVANJEM CURENJA FLUKSA**

Zbog bliskosti u fizičkim principima na kojima se zasniva, ispitivanje detektovanjem curenja fluksa (MFL) se tretira kao specifična primena metode ispitivanja vrtložnim strujama. Ovakva vrsta ispitivanja se koristi kod testiranja visoko permeabilnih legura kao što su ugljenični čelici. Zbog velike magnetičnosti, prodiranje vrtložnih struja u ispitivani materijal je ograničeno, pa se ova metoda ne može koristiti za otkrivanje dubinskih defekata. Najširu primenu ovakva vrsta ispitivanja ima u petrohemiji, energetici i ispitivanju čeličnih užadi. Trenutno raspoložemo sledećim standardima iz ove oblasti:

ISO 9304 - Bezšavne i zavarene (osim cevi zavarenih EPP postupkom) čelične cevi za potrebe rada pod pritiskom – Ispitivanje vrtložnim strujama radi otkrivanja nedostataka  
Standard daje principe za ispitivanje cevi spoljnog prečnika  $\geq 4$  mm. Opisana je metoda ispitivanja, referentni standardi i dati su kriterijumi za otkrivanje defekata prema dva nivoa prihvatljivosti.

ISO 9302 – Bezšavne i zavarene (osim cevi zavarenih EPP postupkom) čelične cevi za potrebe rada pod pritiskom – Elektromagnetno ispitivanje radi verifikacije nepropusnosti  
Dat je opis metode ispitivanja, dimenzije definisane referentnim standardom, definisana je kalibracija opreme i dati su uslovi sertifikovanja osoblja koje se bavi ovom vrstom ispitivanja.

ISO 9598 – Bezšavne čelične cevi za potrebe rada pod pritiskom – Potpuno periferno ispitivanje metodom magnetnog odašiljača za otkrivanje poprečnih nedostataka  
Standard se odnosi, pre svega, na ispitivanje cevi po završetku svih operacija proizvodnog procesa. Opisana je metoda ispitivanja i kriterijumi prihvatljivosti.

ISO 9402 – Bezšavne i zavarene (osim cevi zavarenih EPP postupkom) čelične cevi za potrebe rada pod pritiskom – Potpuno periferno ispitivanje metodom magnetnog odašiljača/curenje fluksa za otkrivanje podužnih nedostataka  
Standard obrađuje iste teme kao i ISO 9598, i jedina razlika je u tome što obrađuje otkrivanje nedostataka u podužnom pravcu.

## **STANDARDI VEZANI ZA VERIFIKACIJU OPREME ZA ISPITIVANJE**

Oprema za ispitivanje vrtložnim strujama, ali i sva ostala oprema za ispitivanje bez razaranja, podleže periodičnoj verifikaciji. Dokaz o periodičnoj proveri opreme je jedan od uslova za sticanje ovlašćenja za rad laboratorije za ispitivanje bez razaranja, što daje ovom paketu standarda veliki značaj.

Sledeću grupu čine standardi vezani za verifikaciju opreme za ispitivanje.

ISO 15548-1 – Ispitivanje vrtložnim strujama – Oprema – I deo: Karakteristike instrumenta i verifikacija

Svrha ovog standarda je da naznači funkcionalne karakteristike opšte primene opreme za ispitivanje vrtložnim strujama i da definiše metode za njihovo merenje i verifikaciju. Procena ovih karakteristika daje dobro definisan opis i uporedivost uređaja. Ovaj standard ne daje kriterijume prihvatljivosti za određene karakteristike jer se one nalaze u dokumentima za primenu uređaja.

ISO 15548-2 – Ispitivanje vrtložnim strujama – Oprema – II deo: Karakteristike sonde i verifikacija

Ovaj standard daje funkcionalne karakteristike sonde i povezujućih elemenata (kablova, produžetaka, konektora, rotirajućih glava itd.) i obezbeđuje metod za njihovo merenje i verifikaciju. Definisani su i nivoi verifikacije, kao i odgovarajući intervali u kojima se verifikacija vrši.

ISO 15548-3 – Ispitivanje vrtložnim strujama – Oprema – III deo: Karakteristike sistema i verifikacija

Standard se bavi definisanjem i davanjem parametara za proveru sistema za ispitivanje vrtložnim strujama. Pod sistemom se podrazumevaju sledeće karakteristike:

- Fizičke
- Karakteristike vezane za kalibraciju
- Funkcionalne karakteristike

Na kraju, važno je spomenuti da osoblje koje se bavi ispitivanjem vrtložnim strujama (a to važi i za ostale metode ispitivanja bez razaranja) treba da bude sertifikovano u skladu sa JUS EN 473, u za to ovlašćenim ustanovama.

## **ZAKLJUČAK**

Prikazani standardi predstavljaju samo deo paketa standarda vezanih za metodu ispitivanja vrtložnim strujama. Cilj ovog rada je poziv na saradnju čitaocima, radi utvrđivanja prioriteta kod usvajanja naših nacionalnih standarda. Takođe, ako postoje standardi vezani za neku aplikaciju koja nije ovde navedena, a potrebni su za rad u nekoj grani industrije, moguće ih je uključiti u proces usvajanja.



26

## VIBRODIJAGNOSTIČKI METOD ODREĐIVANJA KRITIČNOG BROJA OBRTAJA VRATILA

Mr Svetislav Lj. Marković, Viša tehnička škola,  
Svetog Save 65, 32000 Čačak  
Mr Radovan Ćirić, Viša tehnička škola,  
Svetog Save 65, 32000 Čačak

### Rezime

*Pri poklapanju frekvencije obrtanja vratila na kome su postavljeni rotirajući elementi sa sopstvenom učestanošću vratila u odnosu na savijanje nastaje kritično stanje, odnosno rezonancija. Broj obrtaja koji odgovara pojavi rezonancije naziva se kritičnim. Prema tome, radno područje brojeva obrtaja treba da bude izvan kritičnog. Za praktično određivanje kritičnog broja obrtaja konstruisan je i napravljen ispitni uređaj. U laboratorijskim uslovima su vršena ispitivanja kritičnog broja obrtaja vratila menjajući rastojanje između ležajeva. Dati su proračun dinamičke stabilnosti vratila, opis rada uređaja i rezultati eksperimentalnih ispitivanja.*

### Ključne reči:

vratilo, kritični broj obrtaja, rezonancija, uređaj, ispitivanja.

## VIBRO-DIAGNOSTIC METHOD OF THE SHAFT CRITICAL ROTATION NUMBER DETERMINATIONS

### Abstract

*When rotary frequencies of the shaft with mounted rotary elements overlap with the frequency of the shaft itself, in relation to bending, a rather critical state, i.e. resonance, may occur. The number of rotations going with the onset of resonance is referred to as the critical one. Being so, the working area of rotations number ought to be beyond the critical one. For practical determinations of the critical number of rotations, a probe appliance has been constructed and manufactured. The critical number of the shaft rotations has been studied in laboratory conditions with the distance among the bearings being changed. The estimates of the shaft dynamic stability, the description of how the appliance operates as well as the experimental results, are presented in the paper.*

### Key words:

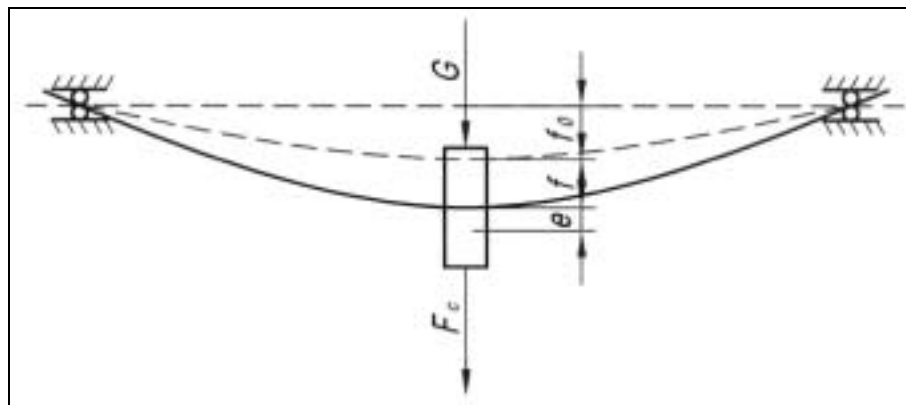
shaft, rotations number, resonance, appliance, assay.

## 1. UVOD

Vratila predstavljaju nosače mašinskih delova. Sa elementima koji se na njima nalaze čine rotacionu celinu koja je u toku rada napadnuta radijalnim i aksijalnim silama i obrtnim momentima. Periodične promene veličina ovih opterećenja izazivaju periodično promenljive deformacije, odnosno vibracije celog sistema. Pri slaganju frekvencija prinudnih i sopstvenih vibracija dolazi do pojave rezonancije.

Jake vibracije u slučaju rezonancije se prenose na druge delove mašina, povezane sa posmatranim sklopom i cela mašina počinje da vibrira. Pri tome se u delovima javljaju naprezanja promenljivog predznaka koja mogu izazvati njihov lom. Ugaona brzina koja odgovara pojavi rezonancije naziva se kritičnom. Analogno, broj obrtaja obrtnih delova pri kojima nastupa rezonancija naziva se kritičnim. Vratila mogu biti izložena uzdužnim, obrtnim i poprečnim vibracijama. Najčešće se kod mašina javljaju poprečne vibracije, koje su rezultat dejstva poprečnih periodično promenljivih sila. U tim uslovima, pri nedovoljno krutom vratilu može se javiti rezonancija čak i u slučaju kada broj obrtaja vratila nije veliki.

Pojave koje proističu pri vibraciji vratila, moguće je pokazati na jednostavnom primeru. Vibrirajući sistem predstavljen je vratilom konstantnog poprečnog preseka sa pričvršćenim neuravnoteženim diskom (slika 1). Pod dejstvom težine diska ( $G$ ) vratilo se savija za veličinu  $f_0$  (statički ugib). Dalje, pri obrtanju vratila pod dejstvom centrifugalne sile javlja se dopunski (dinamički) ugib  $f$ .



Slika 1. Vratilo sa neuravnoteženim diskom

Centrifugalna sila koja izaziva dinamički ugib se računa kao:

$$F_c = \frac{G}{g} \cdot (e + f) \cdot \omega^2 = m \cdot (e + f) \cdot \omega^2 \quad (1)$$

gde je:

- g - ubrzanje zemljine teže,
- e - odstupanje centra diska od geometrijske ose obrtanja (ekscentritet),
- f – dopunski (dinamički) ugib,
- $\omega$  - ugaona brzina vratila,
- m - masa diska.

Pošto centrifugalna sila pri obrtanju vratila menja svoj pravac, u vratilu se javljaju harmonijske vibracije. Odnos centrifugalne sile i ugiba predstavlja krutost vratila  $C$ .

$$F_c = m \cdot (e + f) \cdot \omega^2 = C f \quad (2)$$

odakle je:

$$f = \frac{m\omega^2 e}{C - m\omega^2} \quad (3)$$

Ugaona brzina vratila može dostići takvu vrednost pri kojoj razlika  $(C - m\omega^2)$  teži nuli. Tada ugib teži beskonačnom i dolazi do pojave rezonancije. U tom slučaju kritična ugaona brzina vratila je:

$$\omega_{kr} = \sqrt{\frac{C}{m}} = \frac{\pi \cdot n_{kr}}{30} \quad (4)$$

Kritičan broj obrtaja je:

$$n_{kr} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{C}{m}} \quad (5)$$

Pošto je:

$$C = \frac{F_c}{f} = \frac{G}{f_0} \quad \text{i} \quad m = \frac{G}{g}$$

$$n_{kr} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{f_0}} = 29,9 \sqrt{\frac{1}{f_0}} \quad [o/\text{min}] \quad (5')$$

Ukoliko se u obrazac (5')  $f_0$  unese u centimetrima dobija se:

$$n_{kr} = 299 \sqrt{\frac{1}{f_0}} \quad [o/\text{min}] \quad (5'')$$

Pri daljem povećanju broja obrtaja (većeg od kritičnog) imenioc jednakosti (3) pretvara se u nejednakost:

$$C - m\omega^2 < 0$$

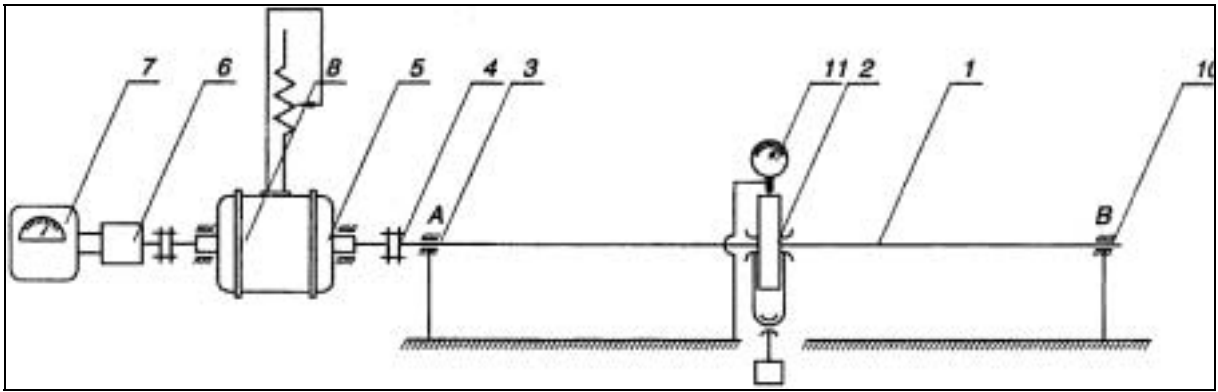
Tada će ekscentritet imati negativan predznak, pri čemu je dinamički ugib:

$$f = \frac{m\omega^2 e}{m\omega^2 - C} = \frac{e}{1 - \frac{C}{m\omega^2}} = \frac{e}{1 - \frac{\omega_{kr}^2}{\omega^2}} \quad (6)$$

Iz jednakosti (6) sledi da pri povećanju ugaone brzine iznad kritične, dinamički ugib se smanjuje.

## 2. OPIS RADA UREĐAJA

Za eksperimentalno određivanje kritičnog broja obrtaja vratila konstruisan je i napravljen uređaj čija je šema prikazana na slici 2. Uređaj se sastoji od: ispitivanog vratila konstantnog poprečnog preseka (1), čeličnog diska (2), ležajeva (3) i (10), od kojih je ovaj drugi aksijalno pomerljiv, elastične spojnice (4), pokretačkog elektromotora (5) sa potenciometrom (8). Broj obrtaja se meri pomoću elektronskog tahometra (7), a ugib pomoću komparatora (11).



Slika 2. Šema uređaja

### 3. EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperiment je vršen na punom vratilu konstantnog poprečnog preseka  $\phi 40$  mm. Vratilo je izrađeno od konstruktivnog čelika Č.0545. Rastojanje između oslonaca je menjano tako što je u prvom slučaju bilo  $l=1$  m, a u drugom  $l=0,8$  m. U oba eksperimenta čelični disk dimenzija  $\phi 350 \times 40$  mm nalazio se na sredini raspona između ležajeva.

Masa diska je:

$$m_D = \frac{d^2 \pi}{4} h \gamma = \frac{0,35^2 \pi}{4} \cdot 0,04 \cdot 7850 = 30,2 \text{ [kg]}$$

Mase vratila u oba eksperimenta su:

$$m_v = \frac{d^2 \pi}{4} h \gamma = \frac{0,04^2 \pi}{4} \cdot 1 \cdot 7850 = 9,8 \text{ [kg]}$$

$$m_{v1} = \frac{d^2 \pi}{4} h \gamma = \frac{0,04^2 \pi}{4} \cdot 0,8 \cdot 7850 = 7,9 \text{ [kg]}$$

Težine vratila sa diskom su:

$$G = (m_D + m_v)g = (30,2 + 9,8) \cdot 9,81 = 392 \text{ [N]}$$

$$G = (m_D + m_{v1})g = (30,2 + 7,9) \cdot 9,81 = 374 \text{ [N]}$$

Modul elastičnosti vratila:

$$E = 2,1 \cdot 10^9 \text{ [Pa]}$$

Aksijalni moment inercije vratila:

$$I = \frac{R^4 \pi}{4} = \frac{0,02^4 \pi}{4} = 125,66 \cdot 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]}$$

U konkretnim slučajevima, kada je vratilo oslonjeno na dva ležaja sa opterećenjem na sredini statički ugib se računa kao:

$$f_0 = \frac{G l^3}{48 E I} = \frac{392 \cdot 1^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^9 \cdot 125,66 \cdot 10^{-9}} = 30,95 \cdot 10^{-3} \text{ [m]} = 30,95 \text{ [mm]}$$

$$f_{01} = \frac{G_1 \cdot l_1^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{374 \cdot 0,8^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^9 \cdot 125,66 \cdot 10^{-9}} = 15,11 \cdot 10^{-3} [m] = 15,11 [mm]$$

Kritični brojevi obrtaja u odnosu na savijanje su:

$$n_{kr} = 299 \sqrt{\frac{1}{f_0}} = \sqrt{\frac{1}{3,095}} = 170 [o/min]$$

$$n_{kr1} = 299 \sqrt{\frac{1}{f_{01}}} = \sqrt{\frac{1}{1,511}} = 243 [o/min]$$

Prema tome, kritične brzine vratila sa diskom na sredini su:

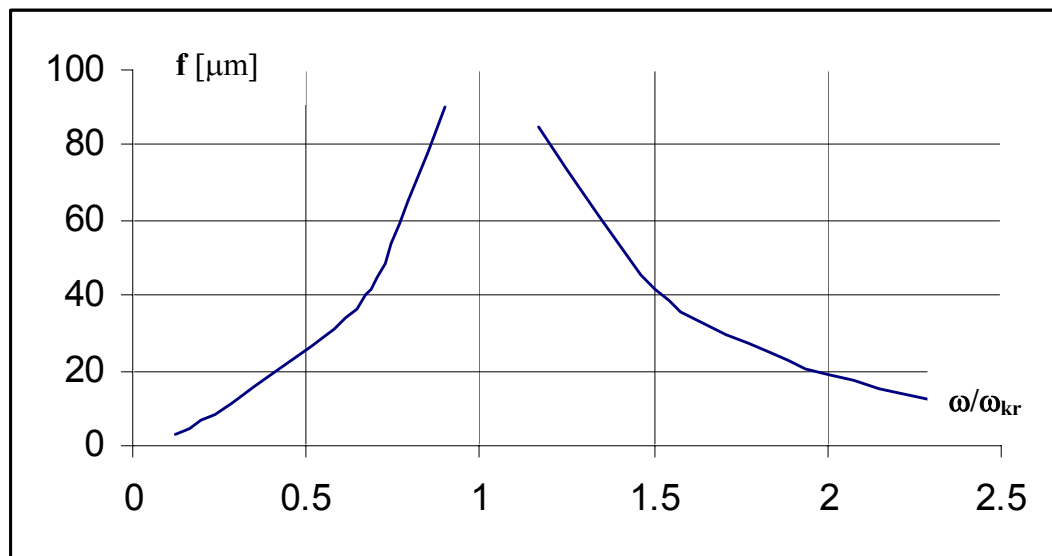
$$\omega_{kr} = \frac{\pi \cdot n_{kr}}{30} = \frac{\pi \cdot 170}{30} = 17,8 [s^{-1}]$$

$$\omega_{kr1} = \frac{\pi \cdot n_{kr1}}{30} = \frac{\pi \cdot 243}{30} = 25,5 [s^{-1}]$$

Pri promeni broja obrtaja vratila (koji je registrovan beskontaktnim magnetnim davačem firme HOTTINGER tipa 'HBM – MAI') dolazilo je do povećanja ili smanjenja njegovog dinamičkog ugiba. Pomoću koparatora ('TESA') mereno je oscilovanje vratila, odnosno dinamički ugib. Rezultati su prikazani u tabelama 1 (sa rasponom između ležajeva  $l = 1000 \text{ mm}$ ) i 2 (sa rasponom između ležajeva  $l = 800 \text{ mm}$ ), kao i na dijagramima prikazanim na slikama 3 i 4.

Tabela 1. Rezultati merenja broja obrtaja i ugiba na vratilu ( $l = 1000 \text{ mm}$ )

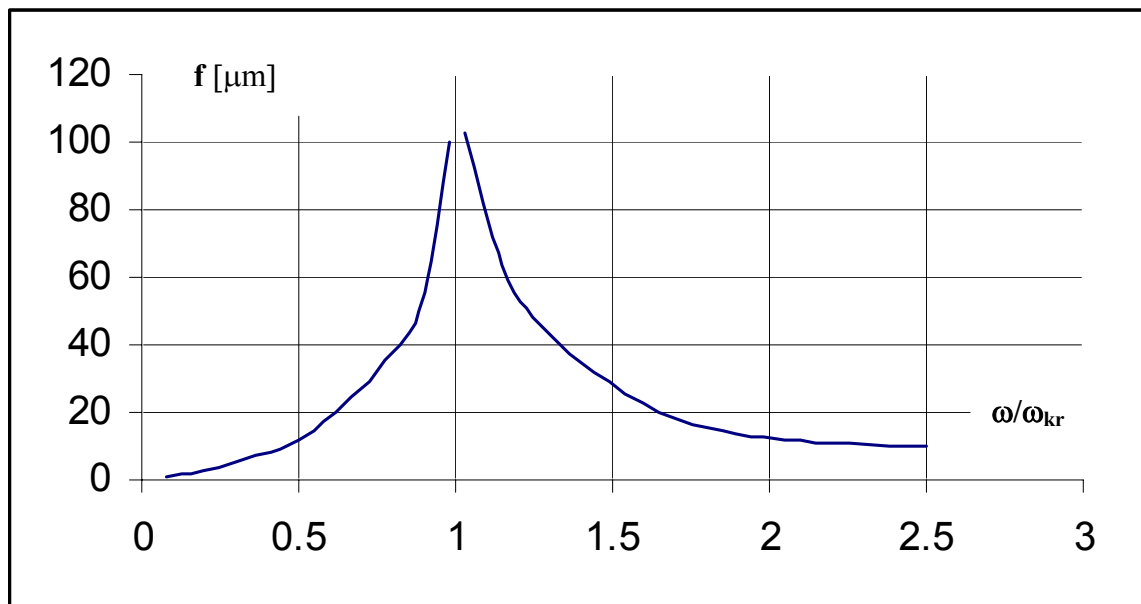
n [min <sup>-1</sup> ]	20	50	100	120	150	200	250	300	350	400
$\omega$ [s <sup>-1</sup> ]	2,09	5,23	10,4	12,56	15,7	20,9	26,2	31,4	36,6	41,9
$\omega/\omega_{kr}$	0,12	0,29	0,58	0,7	0,9	1,17	1,5	1,77	2	2,3
f [μm]	3	11	31	45	90	85	42	27	19	12



Slika 3. Grafički prikaz zavisnosti ugiba vratila od odnosa  $\omega/\omega_{kr}$

Tabela 2. Rezultati merenja broja obrtaja i ugiba na vratilu ( $l = 800 \text{ mm}$ )

$n \text{ [min}^{-1}\text{]}$	20	50	100	120	150	200	220	240
$\omega \text{ [s}^{-1}\text{]}$	2,09	5,23	10,4	12,56	15,7	20,9	23	25,1
$\omega/\omega_{kr}$	0,08	0,2	0,41	0,5	0,62	0,82	0,9	0,98
$f \text{ [}\mu\text{m]}$	1	3	8	12	20	40	55	100
$n \text{ [min}^{-1}\text{]}$	250	280	300	320	350	400	450	500
$\omega \text{ [s}^{-1}\text{]}$	26,2	29,3	31,4	33,5	36,6	41,9	47,1	52,3
$\omega/\omega_{kr}$	1,03	1,15	1,23	1,3	1,44	1,65	1,85	2,05
$f \text{ [}\mu\text{m]}$	103	64	51	43	32	20	15	12



Slika 4. Grafički prikaz zavisnosti ugiba vratila od odnosa  $\omega/\omega_{kr}$

#### 4. ZAKLJUČAK

Vratila sa elementima koji se na njima nalaze čine elastičan sistem opterećen promenljivim radijalnim i aksijalnim silama i obrtnim momentima. Pri poklapanju učestanosti promene opterećenja sa frekvencijom slobodnih vibracija vratila dolazi do pojave rezonancije, odnosno kritičnog stanja. Do kritičnog stanja može doći i bez promene intenziteta spoljašnjeg opterećenja. Neuravnoteženost masa na vratilu dovodi do pojave inercijalnih sila, čija frekvencija odgovara učestanosti obrtanja vratila. Ukoliko se učestanost obrtanja poklopi sa sopstvenom frekvencijom vratila u odnosu na savijanje nastaje rezonancija.

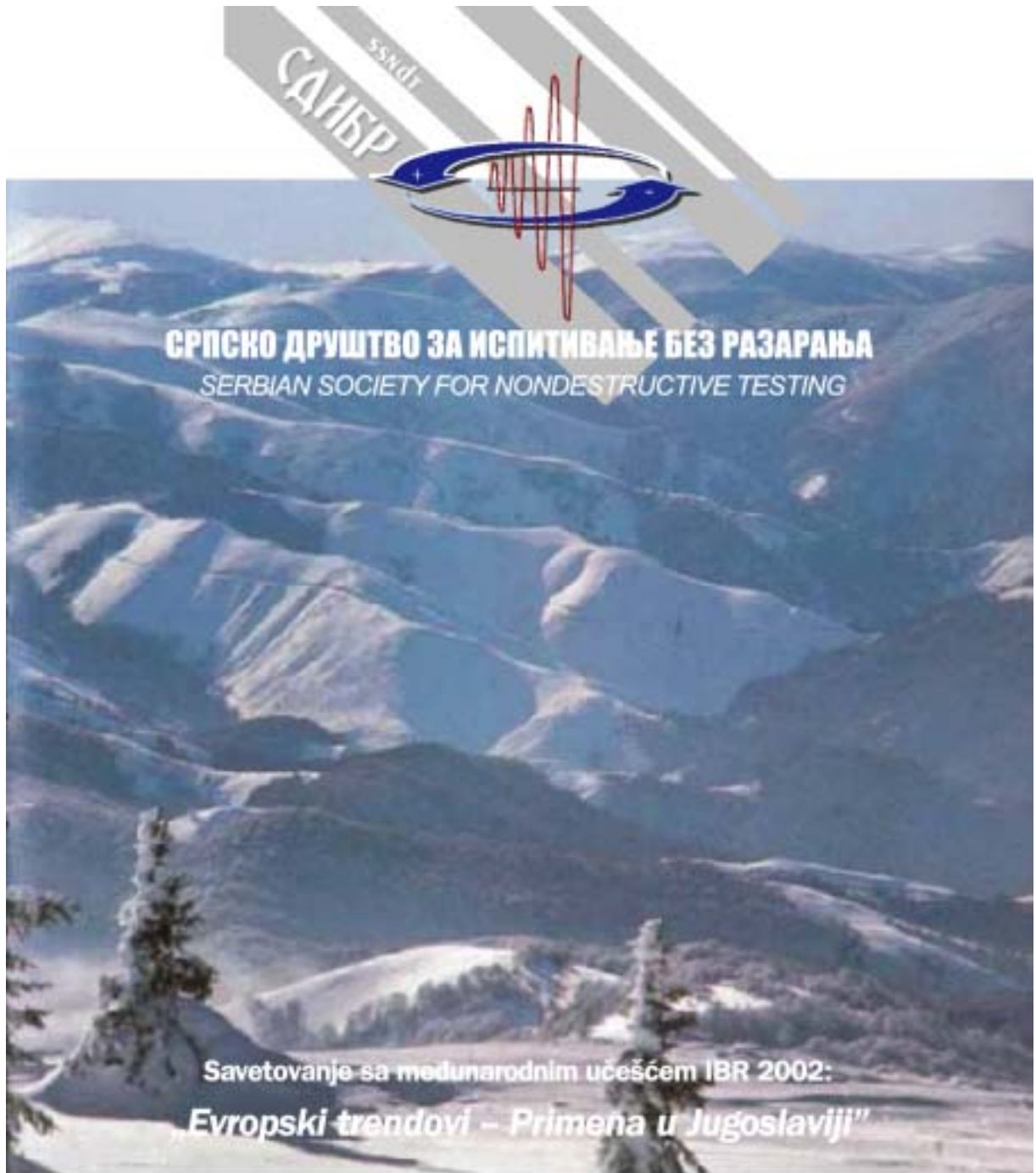
Za vratila, koja zajedno sa na njima postavljenim delovima čine složeni vibrirajući sistem, određivanje kritičnog broja obrtaja povezano je sa većim teškoćama zbog složenosti određivanja ugiba i navedene krutosti. U takvim slučajevima je moguće koristiti jednu od približnih metoda.

Pri radu vratila koja rade sa brojevima obrtaja iznad kritičnog potrebno je da se prolaz kroz kritično područje ostvari brzo. Iznad kritičnog područja dolazi do smanjenja amplituda vibriranja tako da vratilo ponovo radi u dinamički stabilnijim uslovima. Radna ugaona brzina treba da se razlikuje od kritične za najmanje  $\pm 30 \%$  [1].

Opisani uređaj i metod određivanja imaju praktičnu primenu pri izvođenju laboratorijskih vežbi studenata u cilju određivanja kritičnog broja obrtaja vratila merenjem statičkog i dopunskog (dinamičkog) ugiba. Tada se kao promenljivi parametri uzimaju dimenzije poprečnog preseka vratila, materijali od koga su izrađena i raspon između ležajeva.

## 5. LITERATURA

- [1] Aleksandrov L. I., Artemenko N. P., Feljdmann L. M.: *Detalji mašin – laboratorne radovi*, G.U. 'A. M. Gorkij', 1966.
- [2] Marković S.: *Izveštaj o izvršenim ispitivanjima*, VTŠ, Čačak, 2002.



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**



## ZAKONSKA REGULATIVA U OBLASTI ZAŠTITE OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

Za ispitivanje materijala radioaktivnom metodom koriste se zatvoreni izvori jonizujućeg zračenja.

**Jonizujuće zračenje je elektromagnetsko ili čestično zračenje koje može da jonizuje materiju i da izazove oštećenje ćelija živih organizama.**

Da nebi došlo do neželjenih efekata po zdravlje lica koja rade sa izvorima zračenja i stanovništva, moraju se preduzeti sve mere zaštite od jonizujućeg zračenja u skladu sa Zakonom o zaštiti i pratećim pravilnicima i odlukama.

### I OSNOVNE ODREDBE

**Sistem mera zaštite od jonizujućih zračenja zasniva se:**

- 1) opravdanosti primene izvora jonizujućih zračenja;
- 2) optimizaciji zaštite od štetnog dejstva jonizujućih zračenja;
- 3) granicama ekvivalentne i efektivne doze.

Primena određenog izvora jonizujućih zračenja smatra se opravdanim ako daje pozitivnu neto-korist.

Sistem mera zaštite od jonizujućih zračenja treba da obezbedi da izloženost jonizujućim zračenjima bude toliko niska koliko je to moguće s obzirom na društvene i ekonomske faktore.

**U sprovođenju zaštite od jonizujućih zračenja preduzimaju se sledeće mere:**

- 1) otkrivanje prisustva i određivanje aktivnosti radionuklida u životnoj sredini i merenje jačine apsorbovane doze gama zračenja u vazduhu;
- 2) određivanje uslova za proizvodnju, promet i korišćenje izvora jonizujućih zračenja;
- 3) obezbeđivanje i korišćenje opreme i sredstava za zaštitu od jonizujućih zračenja i kontrola efikasnosti te zaštite;
- 4) ograničenje ili zabrana proizvodnje, prometa i korišćenje proizvoda, sirovina i reproduktivnog materijala kontaminiranih radionuklidima;
- 5) vođenje evidencije o izvorima jonizujućih zračenja;
- 6) vođenje evidencije o izloženosti jonizujućim zračenjima lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja, pacijenata i stanovništva;
- 7) utvrđivanje uslova rada, kontrola i praćenje zdravstvenog stanja lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja i sprovođenje propisanih mera zaštite na radu od štetnog dejstva jonizujućih zračenja;
- 8) obrazovanje i stručno usavršavanje kadrova u oblasti zaštite od jonizujućih zračenja;
- 9) lična i kolektivna zaštita ljudi od jonizujućih zračenja;
- 10) sprovođenje i primena mera iz plana za delovanje u vanrednom događaju;
- 11) sakupljanje, čuvanje i skladištenje radioaktivnog otpadnog materijala;

- 12) obezbeđivanje materijalnih, tehničkih i drugih uslova za sprovođenje sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini (monitoring) i sprovođenje plana u slučaju vanrednog događajasprovođenje programa mera osiguranja i kontrole kvaliteta mera zaštite od jonizujućih zračenja.

**Zabranjuje se rad sa izvorima jonizujućih zračenja:**

- 1) licima mlađim od **18** godina, osim za vreme redovnog školovanja;
- 2) ženama za vreme trudnoće;
- 3) ženama za vreme dojenja deteta ako rade sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja.

Zabranjeno sistematsko rendgensko snimanje lica mlađih od **16** godina i sistematsko rendgensko snimanje dojki.

**Sa izvorima jonizujućih zračenja ne mogu raditi lica koja:**

- 1) boluju ili su bolovala od malignih bolesti,
- 2) imaju hematološka oboljenja,
- 3) imaju evolutivna oboljenja očnog sočiva,
- 4) boluju od sistemskih bolesti imunog sistema,
- 5) boluju od težih endokrinih bolesti,
- 6) boluju od težih duševnih bolesti i bolesti zavisnosti,
- 7) boluju od težih nervnih oboljenja,
- 8) boluju od težih oboljenja kože,
- 9) boluju od drugih funkcionalnih ili organskih oboljenja.

**Korisnik izvora jonizujućih zračenja dužan je da obezbedi proveru ispunjenosti zdravstvenih uslova lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja, i to:**

- 1) pre stupanja na rad,
- 2) u toku rada (periodični zdravstveni pregledi),
- 3) u slučaju vanrednog događaja,
- 4) nakon prestanka sa radom,
- 5) u drugim slučajevima kada za to postoje medicinske indikacije.

**Korisnik izvora jonizujućih zračenja dužan je da obezbedi periodičnu obnovu znanja lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja, i to:**

- 1) za lica sa najmanje **VII** stepenom stručne spreme - svakih **10** godina,
- 2) za lica sa najmanje **IV** stepenom stručne spreme - svakih **5** godina.

**Kontrolisana zona** je radijaciona zona u kojoj se zahteva primena specifičnih zaštitnih mera i poštovanje sigurnosnih procedura radi kontrole normalnog izlaganja jonizujućem zračenju i sprečavanja širenja kontaminacije u normalnim radnim uslovima, kao i prevenciju i ograničavanje potencijalnih izlaganja.

**Nadgledna zona** je radijaciona zona koja nije označena kao kontrolisana zona i u kojoj se ne zahteva primena specijalnih zaštitnih mera i poštovanje specijalnih sigurnosnih procedura, iako su uslovi profesionalnog izlaganja jonizujućem zračenju kontrolisani.

Profesionalno izlaganje je izlaganje lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja ili se u procesu rada nalaze u poljima jonizujućih zračenja - **profesionalno izložena lica**.

**Granica efektivne doze za profesionalno izložena lica** iznosi **20 mSv** godišnje, izražena kao prosečna vrednost za period od pet uzastopnih godina, uz dodatno ograničenje da ni u jednoj godini efektivna doza ne pređe vrednost od **50 mSv**.

**Granice ekvivalentnih doza** za ograničavanje izlaganja pojedinih organa profesionalno izložena lica su:

- 1) za očno sočivo **150 mSv** godišnje,
- 2) za kožu **500 mSv** godišnje,
- 3) za delove ekstremiteta (šake, podlaktice, stopala i gležnjeve) **500 mSv** godišnje.

**Granica efektivne doze za lica između 16 i 18 godina**, koja u toku školovanja koriste izvore ili rade u poljima jonizujućih zračenja je **6 mSv** godišnje.

**Granice ekvivalentnih doza** za ograničavanje izlaganja pojedinih organa lica između **16 i 18 godina** su:

- 1) za očno sočivo **45 mSv** godišnje,
- 2) za kožu **150 mSv** godišnje,
- 3) za delove ekstremiteta (šake, podlaktice, stopala i gležnjeve) **150 mSv** godišnje.

**Granica efektivne doze za pojedince iz stanovništva** iznosi **1 mSv** godišnje.

**Granice ekvivalentnih doza** za ograničavanje izlaganja pojedinih organa za pojedince iz stanovništva su:

- 1) za očno sočivo **15 mSv** godišnje,
- 2) za kožu **50 mSv** godišnje,
- 3) za delove ekstremiteta (šake, podlaktice, stopala i gležnjeve) **50 mSv** godišnje.

**Profesionalno izložena lica klasifikuju se prema uslovima rad i nivoima izlaganja jonizujućim zračenjima u dve kategorije:**

- 1) kategorija **A**: lica koja profesionalno rade u kontrolisanoj zoni i ona koja mogu da prime efektivne doze veće od **6 mSv** godišnje ili ekvivalentne doze veće od **3/10** propisanih granica doza za pojedine organe kod profesionalno izloženih lica,
- 2) kategorija **B**: lica koja profesionalno ili povremeno rade u nadglednoj zoni ili povremeno u kontrolisanoj zoni.

Periodični zdravstveni pregledi profesionalno izloženih lica kategorije **A** obavljaju se jednom godišnje, a profesionalno izloženih lica kategorije **B** jednom u tri godine.

Stepen spoljašnjeg izlaganja profesionalno izloženih lica kategorije **A**, meri se ličnim termoluminiscentnim dozimetrima, sa periodom očitavanja od **mesec** dana.

Stepen spoljašnjeg izlaganja profesionalno izloženih lica kategorije **B**, procenjuje se na osnovu rezultata termoluminiscentnih dozimetara i odgovarajućih dozimetrijskih mernja u radnoj sredini, radnih podataka i usvojenih modela.

Period očitavanja termoluminiscentnih dozimetara kategorije **B** ne može biti duži od **tri** meseca.

U kontrolisanoj zoni, kada su procenjeni nivoi izlaganja veći od **25  $\mu$ Sv** dnevno obavezno je i korišćenje ličnih elektronskih dozimetara sa direktnim očitavanjem.

## II ZATVORENI IZVORI JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

Uređaj sa zatvorenim izvorom jonizujućih zračenja mora biti otporan na mehanička, termička i druga dejstva i mora odgovarati tehničkim uslovima korišćenja.

Uređaji sa zatvorenim izvorima jonizujućih zračenja moraju se koristiti u uslovima koji su predviđeni tehničkom dokumentacijom.

Zatvoreni izvori jonizujućih zračenja ne mogu se koristiti ako su mehanički oštećeni ili ako postoji mogućnost curenja zračenja.

Uređaj sa zatvorenim izvorom jonizujućih zračenja mora da poseduje sigurnosni mehanizam koji omogućuje prevođenje izvora iz radnog položaja u položaj kad se ne koristi.

Pri korišćenju uređaja sa zatvorenim izvorima jonizujućih zračenja izvan posebno namenjenih prostorija moraju se preduzeimati sledeće mere zaštite:

- 1) zabrana prisustva lica koja ne rade sa izvorima jonizujućih zračenja u okolini tih izvora gde je nivo zračenja takav da se može prekoračiti granica efektivne doze zračenja propisana za pojedinca iz stanovništva;
- 2) postavljanje oznaka upozorenja OPASNOST ZRAČENJE i uređaja za zvučno i svetlosno upozoravanje o opasnosti od zračenja;
- 3) korišćenje pokretnih i drugih zaklona;
- 4) korišćenje izvora jonizujućih zračenja u uslovima najvećeg mogućeg udaljenja izvora od osoblja koje rukuje uređajem i drugih lica;
- 5) usmeravanje snopa zračenja, treba vršiti prema podu ili u stranu gde nisu prisutni ljudi.

Jačina ekvivalentne doze zračenja na spoljnim površinama stacionarnih uređaja sa zatvorenim izvorima jonizujućih zračenja ne sme biti veća od 1 mSv/h, a na rastojanju od 1 m, ne sme biti veća od 0,02 mSv/h.

Jačina ekvivalentne doze gama zračenja na spoljnoj površini prenosnih uređaja sa zatvorenim izvorima jonizujućih zračenja ne sme biti veća od 0,5 mSv/h, a na rastojanju od 1 m, ne sme biti veća od 0,01 mSv/h.

Izvori jonizujućih zračenja koji se koriste za industrijsku radiografiju čuvaju se i koriste u kontejneru defektoskopa koji je zaključan kada se izvor zračenja nalazi u njemu.

Ključevima od kontejnera defektoskopa i spremišta za njihovo čuvanje mogu raspolagati samo lica koja ispunjavaju propisane uslove za rad sa izvorima jonizujućih zračenja u industrijskoj radiografiji.

Defektoskop sa izvorom jonizujućih zračenja može izneti samo spremišta i kruga korisnika samo lica koje je zaduženo za obavljanje određenog posla, uz potpis o preuzimanju defektoskopa.

Navedeno lice je odgovorno za mere zaštite predviđene u toku prenosa, prevoza, i korišćenja defektoskopa.

Ozračivanje u industrijskoj radiografiji vrše najmanje dva lica koja ispunjavaju uslove za rad sa tim izvorima i koja moraju biti prisutna za svo vreme rada defektoskopa.

Posle završetka rada sa defektoskopom mora se pomoću instrumenata za merenje zračenja, proveriti da li se izvor nalazi u defektoskopu, a zatim defektoskop zaključati.

**Pravna lica i preduzetnici mogu proizvoditi, vršiti promet i koristiti izvore jonizujućih zračenja ako ispunjavaju sledeće uslove:**

- 1) da objekti i prostorije u kojima proizvode i skladište izvori jonizujućih zračenja ili s njima rade odgovaraju tehničkim, sigurnosnim, zdravstvenim i drugim propisanim uslovima koji obezbeđuju zaštitu ljudi i životne sredine od jonizujućih zračenja;
- 2) da licima koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja obezbede odgovarajuća sredstva za zaštitu od jonizujućih zračenja, kao i opremu za merenja zračenja;
- 3) da obezbede da sa izvorima jonizujućih zračenja rade lica koja imaju propisanu stručnu spremu i da ispunjavaju propisane zdravstvene uslove pre i u toku rada sa izvorima jonizujućih zračenja;
- 4) da preduzmu sve propisane mere kojima se sprečava da radioaktivni otpadni materijal prouzrokuje kontaminaciju životne sredine iznad propisanih granica;
- 5) da obezbede radioaktivni materijal, rendgen aprate i druge uređaje koji proizvode jonizujuća zračenja, u skladu sa propisanim uslovima za njihov promet i korišćenje.

**Pravna lica i preduzetnici koji koriste izvore jonizujućih zračenja, moraju da imaju:**

- 1) odgovarajuće prostorije propisane važećim standardom za bezbedan rad sa izvorima jonizujućih zračenja i za njihovo bezbedno čuvanje,
- 2) zaposlena lica koja ispunjavaju propisane uslove za rad sa određenom vrstom izvora jonizujućih zračenja,
  - 1) zaposleno lice koje je osposobljeno za sprovođenje mera zaštite od jonizujućih zračenja, i koje ima najmanje **VII** stepenom stručne spremlje, za korišćenje izvora jonizujućih zračenja u medicinske i naučno istraživačke svrhe, odnosno najmanje **IV** stepenom stručne spremlje, za korišćenje izvora jonizujućih zračenja u ostale svrhe,
  - 2) uputstvo o merama zaštite od jonizujućih zračenja i o postupku u slučaju akcidenta, vidno istaknuto u prostorijama u kojima se nalaze izvori jonizujućih zračenja,
  - 3) monitor zračenja i kontaminacije, osim za izvore u rendgen dijagnostici, koji odgovara vrsti izvora jonizujućih zračenja i koji ispunjava propisane metrološke uslove za korišćenje u zaštiti od jonizujućih zračenja.

Korisnik je dužan da za svaki izvor jonizujućeg zračenja obezbedi redovnu **godišnju** kontrolu, a za otvorene izvore jonizujućih zračenja **polugodišnju** dozimetrijsku kontrolu.

Korisnik je dužan da svake godine obezbedi dozimetrijsku kontrolu uslova korišćenja sledećih izvora jonizujućih zračenja:

- 1) aparata i uređaja koji sadrže radioaktivne materije sa kojima nije moguć direktan kontakt ili je onemogućeno njihovo nekontrolisano oslobađanje a koji na rastojanju od 0,1 m od bilo koje tačke na spoljnoj površini ne daju jačinu ekvivalentne doze zračenja već od 1  $\mu\text{Sv/h}$ ,
- 2) generatora jonizujućih zračenja i uređaja koji u toku normalnog rada ne uslovljavaju vrednost jačine ekvivalentne doze zračenja u vazduhu veću od 1  $\mu\text{Sv/h}$  na rastojanju od 0,1 m od bilo koje pristupačne tačke na spoljnoj površini,
- 3) uređaja koji u toku rada proizvode jonizujuće zračenje, ukoliko pri normalnom radu na rastojanju 0,1 m od bilo koje pristupačne tačke na spoljnoj površini jačina ekvivalentne doze zračenja u vazduhu nije veću od 1  $\mu\text{Sv/h}$ ,
- 4) generatora jonizujućih zračenja kod kojih energija proizvedenog zračenja nije veću od 5 keV,
- 5) verifikovanih radnih etalona radioaktivnih izvora jonizujućih zračenja koji se koriste za kalibraciju merne opreme.

Korisnik mora imati i zaposleno lice koje je osposobljeno za sprovođenje mera zaštite od jonizujućih zračenja

Zatvoreni i otvoreni izvori jonizujućih zračenja, kao i uređaji sa ugrađenim izvorima jonizujućih zračenja u vreme kad se ne koriste, čuvaju se u spremištu.

Lokacija i konstrukcija spremišta mora biti takva da obezbeđuje zaštitu od požara i da ispunjava uslove važećih standarda.

Ako se pri čuvanju izvora jonizujućih zračenja oslobađaju radioaktivni gasovi, pare i aerosoli spremište mora da ima ventilaciju sa odgovarajućim filterima.

Ako korisnici izvora jonizujućih zračenja ne planiraju njihovo dalje korišćenje, obavestiće **Savezni sekretarijat za rad, zdravstvo i socijalno staranje**.

Izvore jonizujućih zračenja korisnik u svom spremištu može čuvati najviše 3 godine, a po isteku navedenog perioda izvori se smatraju radioaktivni otpadom.

Rešenjem nadležnog saveznog organa određuju se pravna lica i preduzetnici koji ispunjavaju navedene uslove.

Kaznene odredbe: **krivična dela, privredni prestupi i prekršaji**.

Nadležni savezni organ - **Savezni sekretarijat za rad, zdravstvo i socijalno staranje**.

## **Prilog 1.**

**Zakon** o zaštiti od jonizujućih zračenja

*( "Službeni list SRJ", broj 46/96 )*

**Odluka** o stručnoj spremi i zdravstvenim uslovima lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja

**Odluka** o evidencijama o izvorima jonizujućih zračenja i o ozračenosti stanovništva, pacijenata i lica koja su pri radu izložena dejstvu jonizujućih zračenja

**Odluka** o sistematskom ispitivanju sadržaja radionuklida u životnoj sredini

**Odluka** o uslovima koje moraju ispunjavati pravna lica za vršenje merenja radi procene stepena izloženosti jonizujućim zračenjima lica koja rade sa izvorima zračenja, pacijenata i stanovništva

*( "Službeni list SRJ", broj 45/97 )*

**Pravilnik** o načinu primene izvora jonizujućih zračenja u medicini

**Pravilnik** o uslovima koje moraju ispunjavati pravna lica za vršenje sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini

**Pravilnik** o uslovima za promet i korišćenje radioaktivnih materijala, rendgen aparata i drugih uređaja koji proizvode jonizujuća zračenja

**Pravilnik** o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima

*( "Službeni list SRJ", broj 32/98 )*

**Pravilnik** o uslovima koje moraju ispunjavati pravna lica za vršenje dekontaminacije

**Pravilnik** o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije

**Pravilnik** o načinu i uslovima, sakupljanja, čuvanja, evidentiranja, skladištenja, obrađivanja i odlaganja radioaktivnog otpadnog materijala

( *"Službeni list SRJ", broj 9/99* )

**Rešenja** za pravna lica koja ispunjavaju propisane uslove za obavljanje poslova u oblasti zaštite od jonizujućih zračenja

( *"Službeni list SRJ", broj 39/2001, 19/2002, 21/2002, 49/2002* )

## **Prilog 2.**

**Rešenja** za pravna lica koja ispunjavaju propisane uslove za obavljanje poslova u oblasti zaštite od jonizujućih zračenja

( *"Službeni list SRJ", broj 39/2001, 19/2002, 21/2002* )

1. Institut za nuklearne nauke "Vinča" - Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita", Beograda, Mihajla Petrovića-Alasa 12-14,
2. Institut za nuklearne nauke "Vinča" - Medicinska zaštita, Beograda, Mihajla Petrovića-Alasa 12-14,
3. Klinički centar Srbije - Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović", Beograd, Deligradska 29,
4. Institut bezbednosti Ministarstva unutrašnjih poslova Republike Srbije, Beograd, Kraljice Ane bb,
5. Prirodno-matematički fakultet - Institut za fiziku, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 4,
6. Institut za primenu nuklearne energije "INEP", Zemun-Beograd, Banatska 31b,
7. Naučni institut za veterinarstvo Srbije - Laboratorija za radijacionu higijenu, Beograd, Autoput 3,
8. VMA - Zavod za preventivnu medicinu, Beograd, Crnotravska 17,
9. Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika "Niš", Niš, Vojislava Ilića bb.

Savezni sekretarijat za rad, zdravstvo i socijalno staranje

Grupa za inspeksijske poslove u oblasti zaštite od jonizujućih zračenja

Telefon : 011) 311-75-92

### Prilog 3.

UPUTSTVO  
ZA DOSTAVLJANJE DOKUMENTACIJE RADI DOBIJANJA REŠENJA  
ZA KORIŠĆENJE IZVORA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA U INDUSTRIJI (RADIOGRAFIJA)

**Neophodno je dostaviti sledeće (zaokruženo):**

1. Zahtev za korišćenje izvora jonizujućih zračenja.  
(Adresa: Bulevar Lenjina br. 2, 11 070 Novi Beograd)
2. Priznanica (**original**) o uplaćenju taksi od **2 000.00** dinara na žiro račun broj:

**40818-840-928-31460**

**Svrha doznake:** Savezne administrativne takse

**Primalac:** Javni prihodi saveznog buxeta

3. Rešenje o registraciji i ispunjenosti uslova za obavljanje delatnosti (**overena fotokopija**).
4. Izveštaj ovlašćene institucije o dozimetrijskoj kontroli izvora zračenja sa mišljenjem o ispunjenosti propisanih mera zaštite od jonizujućih zračenja (**original, važi 1 godinu**).
5. Tehnička dokumentacija o izvoru jonizujućeg zračenja (**samo za nove aparate**).
6. Za profesionalno izložena lica - lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja:
  - a) spisak profesionalno izloženih lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja (**sa potpisom direktora**)
  - b) dokaz o zapošljavanju lica koja će raditi sa izvorima jonizujućih zračenja (**overena fotokopija**)
  - c) diploma odgovarajuće stručne spreme (**najmanje IV stepen, overena fotokopija**)
  - d) uverenje o osposobljenosti za rad sa izvorima jonizujućih zračenja i sprovođenje mera zaštite od jonizujućih zračenja (**važi 5 ili 10 godina, overena fotokopija**)
  - e) uverenje o zdravstvenoj sposobnosti lica za rad sa izvorima jonizujućih zračenja (**original ili overena fotokopija, važi 1 ili 3 godine**)
7. Imenovati zaposleno lice koje je osposobljeno za sprovođenje mera zaštite od jonizujućih zračenja (**najmanje IV stepen, overena fotokopija**).
8. Dokaz o posedovanju monitora zračenja i kontaminacije, koji odgovara vrsti izvora jonizujućih zračenja i koji ispunjava propisane metrološke uslove za korišćenje u zaštiti od jonizujućih zračenja (**original ili overena fotokopija**).
9. Projektna dokumentacija - skica prostora u kome se radi sa izvorima jonizujućih zračenja i vlasnički list ili ugovor o zakupu (**na uvid ili overena fotokopija**). Ova obaveza ne važi za terenska snimanja.
10. Uputstvo o korišćenju izvora jonizujućih zračenja, merama zaštite od jonizujućih zračenja i o postupku u slučaju akcidenta - vidno istaknuto u prostorijama u kojima se koriste izvori jonizujućih zračenja (**izdaje ovlašćeno pravno lice, original ili overena fotokopija**).



28

## PRIMENA TERMOVIZIJE U KONTROLI OPREME U EKSPLOATACIJI

Boško Aleksić, dipl.ing.  
DP "HIP-Azotara" Pančevo

### Rezime

*Nevidljivo infracrveno zračenje, za ljudsko oko, koje emituje ispitivani objekat prenosi se putem infracrvenog optičkog sistema u detektor infracrvenog zračenja koji je smešten u kameri. Ovaj detektor - poluprovodnik prevodi infracrveno zračenje u vidni signal. Na ekranu uređaja "Petroscaner" dobija se u sivom tonu slika, termogram objekta.*

*U radu je dat pristup kontrole infracrvenog zračenja katalitičkih cevi reformera u pogonu amonijaka.*

### Ključne reči:

infracrveno zračenje, termogram, reformer, cevi

## AN APLICATION THERMOVISION IN CONTROL EQUIPMENT IN EXPLOITATION

### Summary

*Invisible infrared radiation emitted by examined object is transmitted to an infrared radiation detector, located in camera, by infrared optical sistem. This detector semiconductor converts infrared radiation in to a video signal which is led through amplifier to display unit. On the display appears in gray tone termical picture - Termogram of examined object.*

*The paper presents control infrared radiation catalytic tubes of amonia plant reformer.*

### Key words:

infrared radiation, thermogram, reformer, tubes

## 1. UVOD

Objekti u našem okruženju emituju toplotu koju neprestano apsorbuju i emituju. Ako se zna da je elektromagnetni spektar manje više proizvoljno podeljen na izvestan broj "traka", onda nema bitne razlike u zračenju različitih traka elektromagnetnog spektra, već naprotiv, sva ova zračenja podležu istim zakonima a jedine razlike su u talasnim dužinama. U termografiji se koristi infracrveni deo spektra i on omogućava da se preko određene aparature ovaj deo pretvori u vidni signal, sliku, omogućujući njegovu dalju interpretaciju.

U ovom radu opisana je primena termovizijske kontrole opreme pogona za proizvodnju amonijaka u sekciji reforminga. Ova sekcija predstavlja najvitalniji deo svakog pogona za proizvodnju amonijaka čije je pravilno funkcionisanje prioritetan zadatak. Zbog toga je rad reformera predmet posebnih kontrola ispitivanja bez razaranja, posebno zbog ekstremnih uslova pod kojima se odvijaju procesi unutar primarnog reformera. Uvođenjem termovizije (termografije) kao metode ispitivanja bez razaranja dobio se pouzdan instrument za praćenje rada reformera.

Termovizija se, kao što je poznato, zasniva na merenju intenziteta infracrvenog zračenja posmatranog objekta (u ovom slučaju cevi) i na osnovu toga dobijaju se temperature objekta, odnosno relativni temperaturni odnosi hladno-toplo-vrelo. Primena ovakvog ispitivanja omogućava dobijanje sledećih rezultata:

1. Optimizaciju procesa sagorevanja u odnosu na različita opterećenja reformera.
2. Detekciju vrelih tačaka ili zona, na cevima primarnog, odnosno na glavi i telu sekundarnog reformera.
3. Utvrđivanje pravilnog funkcionisanja temperatura dobijenih merenjem termoparovima i optičkim pirometrom.

Za termografska ispitivanja u "HIP-Azotari" se koristi aparatura pod komercijalnim nazivom "Petroscanner" koja u sebi uključuje sledeće komponente:

1. Kameru za registrovanje infracrvenog zračenja sa ugrađenim plamenim filtrom.
2. Monitor na kome se vrši vizuelizacija registrovanog zračenja sa ugrađenim plamenim filtrom.
3. Ostalu opremu potrebnu za rad aparata (teleobjektiv, sonde, izvor napajanja itd.).

"Petroscanner"-om se mere temperature do apsolutne vrednosti od 1500<sup>0</sup>C. Na termogramu svetlija mesta predstavljaju zone sa povišenim temperaturama.

Osmatranje unutrašnjosti reformera vrši se sa platformi kroz otvore na ozidu peći bez direktnog kontakta sa atmosferom peći. Raspored ovakvih otvora na raznim kotama reformera služe da bi se kontrolom mogle obuhvatiti sve cevi.

## 2. UTVRĐIVANJE TERMIČKE MAPE

Utvrđivanje termičke mape unutrašnjosti reformera tj. sposobnost da se sazna temperatura kako onih cevi u blizini plamena tako i udaljenih delova u odnosu na različita opterećenja, kao i početno stanje za vreme starta pogona ili pred izvođenje remontnih radova i po završetku istih, omogućava dobijanje potrebnih informacija za optimizaciju toplotnog režima. Ove termičke mape treba obavezno uraditi pri startovanju novog postrojenja jer su od neprocenjivog značaja kada se vrši upoređenje sa početnim stanjem temperatura unutrašnjosti reformera posle određenog broja sati rada.

## **2.1. UTVRĐIVANJE PRISUSTVA KOKSA NA UNUTRAŠNJOJ STRANI CEVI**

Uvođenje vodene pare, pored onog osnovnog odvijanja hemijske reakcije leži i u činjenici da se time sprečava stvaranje čađi (koksa) po unutrašnjoj strani cevi. Ukoliko do toga dođe dolazi do ograničene razmene toplote između fluida unutar cevi i zida cevi. Temperatura zida cevi u tom slučaju lokalno mogu da pređu vrednosti koje nisu u skladu sa mehaničkim karakteristikama materijala cevi. Podizanje temperature cevi je proporcionalno debljini naslage koksa. Termografsko ispitivanje omogućava brzo utvrđivanje prisustva koksa kao i efikasno praćenje operacije njegovog uklanjanja pomoću vodene pare.

## **2.2. KONTROLA TEMPERATURA DOBIJENIH MERENJEM TERMOPAROVIMA I OPTIČKIM PIROMETROM**

U praksi su oba sistema podjednako u primeni. Međutim, može se desiti da temperature dobijene termovizijskom kontrolom imaju više desetina stepeni veće vrednosti od temperatura izmerenih termoparovima. Kako su krajevi termopara zavareni za cev on meri i temperaturu deponovanih naslaga na unutrašnjoj površini cevi koje uvek imaju višu temperaturu od površine cevi. Treba napomenuti da usled ograničene mogućnosti za postavljanje termoparova na svakoj cevi i celom njenom dužinom, termovizijska metoda pruža daleko veće pogodnosti za kontrolu rada peći.

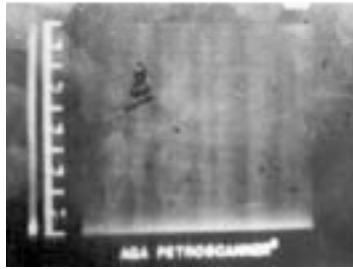
Glavnu teškoću kod merenja temperatura cevi unutar reformera pirometrima predstavlja činjenica da su cevi reformera i sam pirometar razdvojeni plamenom i atmosferom raznih gasova. Ovo znači da energija emitovana od strane cevi može biti velikim delom apsorbirana od gasova. Shodno tome temperatura koju registruje optički pirometar neće biti proporcionalna temperaturi cevi.

Da bi se otklonila ova prepreka "Petroscanner" u svojoj kameri za infracrveno snimanje ima ugrađen filter koji ne dozvoljava prolaz energije zračenja talasnih dužina manjih od 3,6  $\mu\text{m}$  i većih od 4,1  $\mu\text{m}$ . Ovaj interval je odabran prema apsorpcionom spektru gasa u kome postoji samo jedan "prozor" koji propušta parcijalno apsorbiranu energiju izraženu od strane cevi. U cilju zaštite sočiva kamere od indirektnog dejstva plamena koristi se azbestni toplotni štitnik na kome se nalazi kružni otvor pokriven laminatom kvarca. Kvarc je transparentan za infracrveno zračenje talasnih dužina manjih od 4,5  $\mu\text{m}$  i služi kao dodatni filter za energiju zračenja viših talasnih dužina. Sve ovo omogućuje dobijanje daleko pouzdanijih temperatura pomoću "Petroscanner"-a nego što je to slučaj kada se koriste optički pirometri.

## **3. ZAKLJUČAK**

Termografsko ispitivanje cevi reformera, u toku rada pogona, kao tehnika ispitivanja bez razaranja pokazala se kao važan elemenat pouzdanosti vođenja procesa. Od velike je važnosti postojanje saradnje između pogonskog osoblja i službe kontrole prilikom obavljanja termografskog ispitivanja radi pravilne interpretacije dobijenih rezultata. U cilju efikasnijeg obavljanja termovizijske kontrole na nekim delovima reformera izvršene su manje izmene u konstrukciji, u smislu postavljanja novih otvora za posmatranje kao i postavljanja dodatnih platformi u cilju boljeg pristupa kontroli.

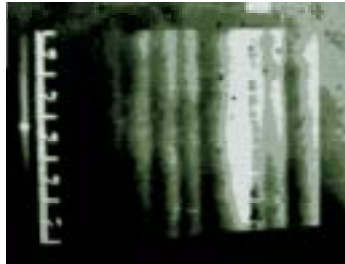
Treba pomenuti da pored kontrole odvijanja procesa unutar reformera, termografska kontrola se široko primenjuje u inspekciji spoljašnjih delova reformera radi utvrđivanja stanja vatrostalnog ozida u cilju sprečavanja energetske gubitaka.



Slika 1. Ravnomerni nivo temperatura na reformerskim cevima.



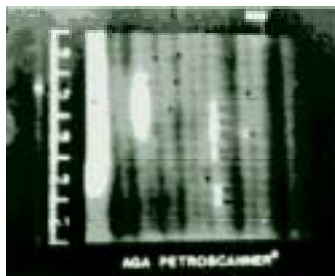
Slika 5. Fordžing sinteze amonijaka. Povišenje temperature za 146°C u gornjoj zoni u odnosu na donju.



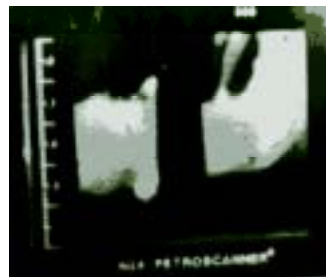
Slika 2. Povećan nivo temperatura na tri reformerske cevi.



Slika 6. Sekundarni reformer. Uniformno stanje temperatura južnog zida reformera.



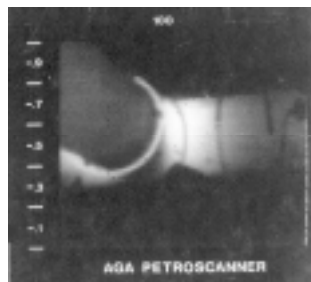
Slika 3. Cevi sa slike 2 snimljene iz drugog ugla sa detaljima povećanog nivoa temperatura.



Slika 7. Topla mesta na horizontalnom delu i kolenu transfer linije.



Slika 2. Povećan nivo temperatura na cevima pre prođavanja vodenom parom.



Slika 8. Desni krak transfer linije. Oblik polja povišene temperature sa slike 7.

## BIBLIOGRAFIJA

1. AGA-Petroscannes. Instruction and Application Manual
2. Izveštaji termovizijske kontrole Službe "Kontrola kvaliteta opreme i materijala" - HIP-Pančevo
3. N.Gligorijević: Nova polja primene termovizijske kontrole u procesu proizvodnje veštačkih đubriva, VII Tehničko savetovanje, Herceg Novi 1986. god.
4. B.Aleksić: Primena termovizije u kontroli opreme u eksploataciji, Zlatibor 2000. god.

29

## EKSPERIMENTALNO PRAĆENJE DEFORMACIJSKOG I NAPONSKOG STANJA NA ROTORNOM BAGERU U EKSPLOATACIJI

Dr Zijah Burzić, dipl. inž.\*, Mr Milorad Zrilić, dipl. inž.\*\*,  
Dr Miodrag Obradović, dipl. inž.\*\*\*, Dragan Marinković\*

\* Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

\*\* Tehnološko-Metalurški fakultet, 11000 Beograd, Karnegijeva 4

\*\*\* Manex-Co, 11000 Beograd

### Rezime

U radu su prikazani rezultati eksperimentalnog određivanja deformacijskog i naponskog stanja na nosećoj konstrukciji rotornog bagera tenzometrijskom metodom. Urađen je i proračun naponskog stanja noseće konstrukcije rotornog bagera metodom konačnih elemenata.

### Ključne reči:

rotorni bager, tenzometrijska merenja, konačni elementi

## EXPERIMENTAL MONITORING OF DEFORMATION AND STRESS STATE IN EXPLOITATION WITH ESCAVATOR

### Abstract

In this paper the results of experimental determination of the deformation and stress state in carrying structure of excavator of tensometric method were presented. The working is numerical analysis of finite elements method of stress state of the carrying structure of excavator.

### Key words:

excavator, tensometric measurements, finite elements

### UVOD

Rotorni bager SRs 1200/630 KW - 22/2 proizvođača "LAUHAMER" - DDR (Glodar-1), namenjen je za kopanje uglja na površinskom kopu Polje "D" JP RB "KOLUBARA" Lazarevac. Nakon 35 godina rada rotornog bagera, konstatovano je da bi bilo neophodno adekvatnim ispitivanjima proceniti stanje njegovih vitalnih konstrukcijskih delova (pre svega strele bagera). Naime, usled dugogodišnjeg rada bagera dolazilo je do određenih kvarova i havarija koje su rezultat kako objektivnih tako i subjektivnih slabosti. Sve to je imalo za rezultat slabljenje čelične konstrukcije na vitalnim delovima bagera, a u pojedinim slučajevima je dolazilo i do značajnih oštećenja. To je iziskivalo određene rekonstrukcije u cilju ojačavanja čelične konstrukcije, a to je opet dovodilo do promene naponskog i deformacijskog stanja u ostalim delovima čelične konstrukcije. Imajući u vidu radne uslove, kao i lokaciju saniranih delova, posle završenih remontnih radova predviđena su i tenzometrijska ispitivanja čelične konstrukcije rotornog bagera.

Tenzometrijska ispitivanja čelične konstrukcije rotornog bagera su rađena u cilju:

- ◆ Određivanja deformacijskog i naponskog stanja u čeličnoj konstrukciji rotornog bagera opterećenog samo sopstvenom težinom (horizontalni položaj strele pri mirovanju).
- ◆ Određivanja deformacijskog i naponskog stanja u čeličnoj konstrukciji rotornog bagera opterećenog sopstvenom težinom i kopanjem uglja u horizontalnom položaju strele.

Radi sagledavanja sveukupnog naponskog stanja u čeličnoj konstrukciji rotornog bagera, prvo je urađen proračun naponskog stanja metodom konačnih elemenata. Cilj izrade ovakvog proračuna je da se na osnovu tehničke dokumentacije i opterećenja koje je rezultat sopstvene težine i kopanja uglja, jasno definišu mesta sa maksimalnim naponima, odnosno da se definišu merna mesta za tenzometrijska ispitivanja.

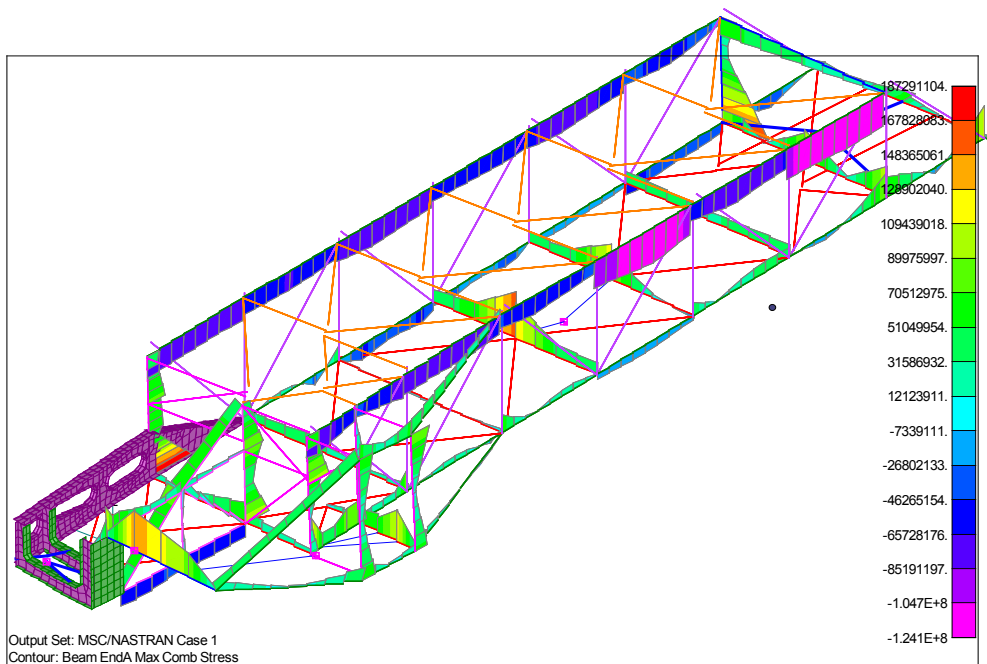
## REZULTATI ISPITIVANJA

### Proračun naponskog stanja metodom konačnih elemenata

Proračun čelične konstrukcije metodom konačnih elemenata je rađen u cilju određivanja naponskog stanja na strukturi bagera u referentnom slučaju opterećenja (dejstvo sopstvene težine u horizontalnom položaju strele pri mirovanju), kao i naponskog stanja na strukturi bagera za slučaj opterećenja u radu. Isto tako cilj izrade proračuna naponskog stanja metodom konačnih elemenata je i da se definišu merna mesta za tenzometrijska ispitivanja.

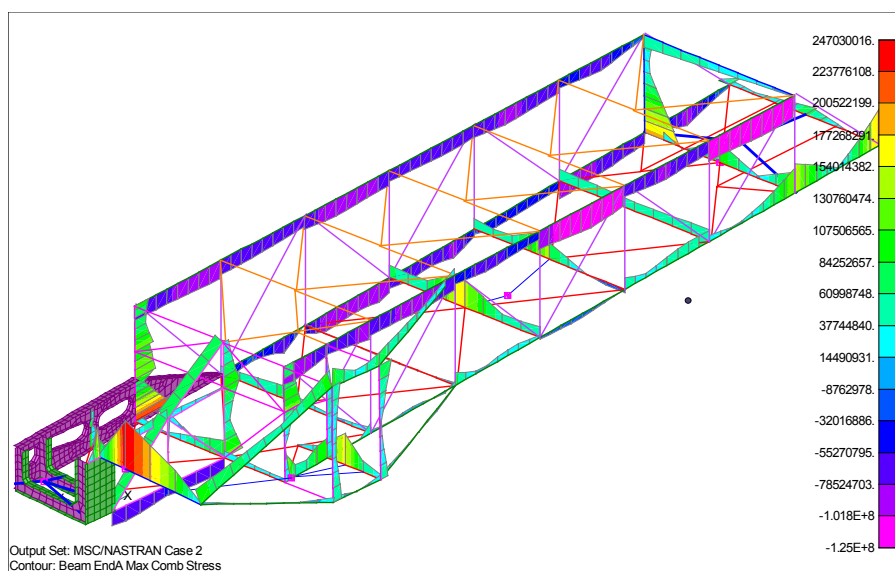
Delovi strukture obuhvaćeni ovim proračunom su: zatega strele (lamela), kompletna struktura strele bagera, i struktura konstrukcije koja nosi protivteg. Proračun je urađen metodom konačnih elemenata u programu MSC-NASTRAN. Čelična konstrukcija rotornog bagera je urađena od čelika St 52-3 (Č0563 prema JUS standardu). Struktura je idealizovana konačnim elementima tipa ljuski, greda i štapova. Nestrukturnalni elementi su pretstavljeni masenim elementima (koncentrisane mase) povezane za osnovnu strukturu *rigid-body* elementima, odnosno unošenjem nestrukturnalne mase u pojedine elemente strukture (grede i štapove) koji te distribuirane mase inače i prihvataju. Deo strukture nosača protivtega predstavljen je masenim i veznim elementima, izuzev korenog dela koji je od značaja za proveru napona. Kompletna struktura je oslonjena na mestu gde se stubovi oslanjaju na pokretnom delu bagera.

Referentni slučaj opterećenja obuhvata dejstvo gravitacije na strukturalnu masu sklopa bagera u stanju mirovanja dok mu je strela u horizontalnom položaju. Opterećenje na strukturu je uvedeno kao *body-load* i deluje preko ubrzanja  $g_z = -9.81 \text{ m/s}^2$  na sve strukturalne i nestrukturnalne mase modela konačnih elemenata. Na streli bagera je uvedena i sila koja potiče od zatezanja transportne trake broj 1  $F_a=160 \text{ kN}$ . Primer grafičkog prikaza proračunom dobijenih maksimalnih napona na streli rotornog bagera je dat na sl. 1.



Slika 1. Maksimalni naponi u grednim elementima; slučaj opterećenja br. 1-sopstvena težina

Slučaj opterećenja kopanja u potpunosti obuhvata sva opterećenja definisana u prethodnom (referentnom) slučaju opterećenja; dejstvo gravitacije i sile zatezanja transportne trake broj 1, kao i opterećenje na vratilu radnog točka od sile rezanja  $F_z = 235$  kN i bočne sile pomoćnog kretanja točka  $F_y = -100$  kN. Tipičan primer grafičkog prikaza proračunom dobijenih maksimalnih napona na streli rotornog bagera u režimu kopanja je dat na sl. 2.



Slika 2. Maksimalni naponi u grednim elementima; slučaj opterećenja br. 2-sopstvena težina + sila kopanja

### Određivanje naponskog i deformacijskog stanja tenzometrijskom metodom

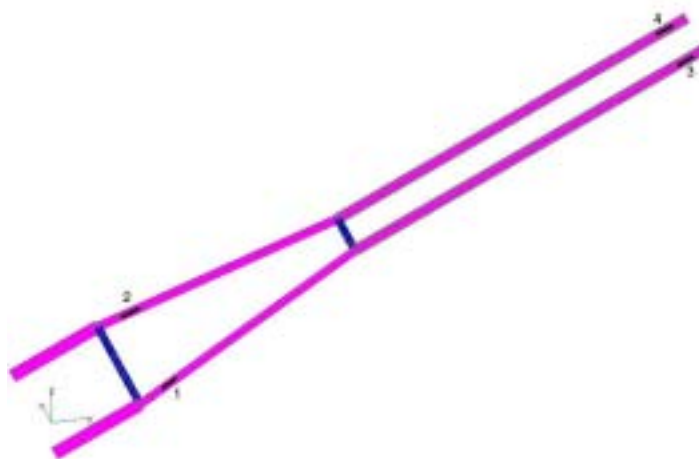
Deformacijsko i naponsko stanje na komponentama čelične konstrukcije rotornog bagera je rađeno primenom tenzometrijske metode. Korišćene su rozete 10/120 RY 11 i pojedinačne merne trake 10/120 LY 11 i 10/350 LY 11. Rozete i merne trake su zalepljene prema shemi datoj na sl. 3, 4 i 5. Za eliminisanje neželjenih efekata kao što su promene temperature korišćene su kompenzacione merne trake 10/120 LY 11 i 10/350 LY 11. Merna mesta su izabrana tako da

daju uvid u deformacijsko i naponsko stanje na karakterističnim mestima čelične konstrukcije rotornog bagera. Definisane su sledeće celine a u okviru njih merna mesta:

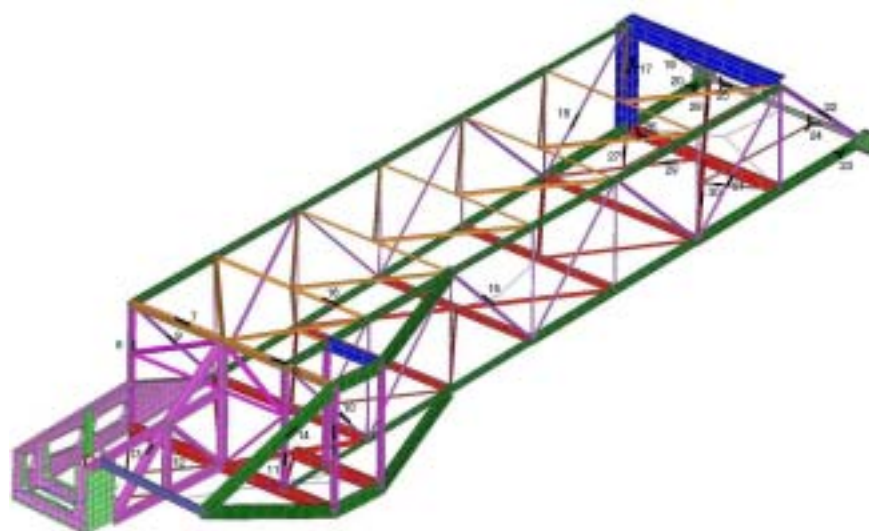
- Zatega strele rotornog bagera;
- Strela rotornog bagera;
- Čelična konstrukcija noseće strukture strele rotornog bagera.

Merna mesta na kojima su postavljene merne trake i rozete, su zaštićena od atmosferskih uticaja kao i od mehaničkih oštećenja, što treba da omogući proveru naponskog stanja i posle određenog vremena.

Na mernim mestima gde se znao pravac delovanje glavnih napona, a na osnovu izmerenih mikrodeformacija izračunati su normalni naponi u pravcu merne trake  $\sigma_1$ , a na mernim mestima gde se nije mogao pretpostaviti pravac delovanja glavnih napona postavljene su rozete i na osnovu izmerenih mikrodeformacija na trakama u rozeti izračunati su glavni normalni naponi,  $\sigma_1$  i  $\sigma_2$ , najveći tangencijalni napon,  $\tau_{1,2}$  i pravac delovanja glavnog napona  $\alpha$ . Imajući u vidu da se radi o kompleksnoj čeličnoj konstrukciji, a na osnovu poznatih glavnih normalnih napona,  $\sigma_1$  i  $\sigma_2$ , izračunat je i efektivni naponi  $\sigma_{ef}$ , koji upotpunjava sliku naponskog stanja na deformisanim mestima.

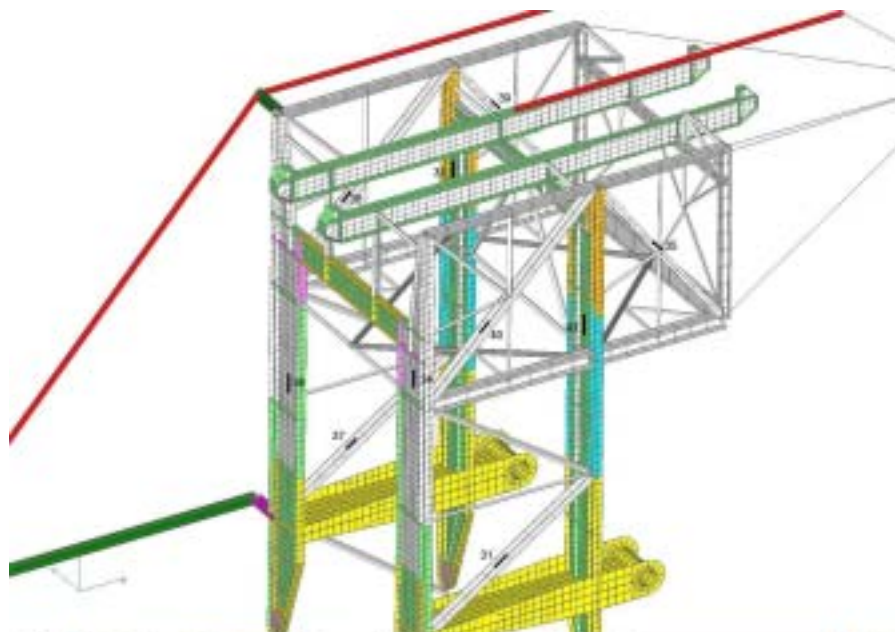


Slika 3. Shema rasporeda mernih mesta na zategama strele rotornog bagera



Slika 4. Shema rasporeda mernih mesta na streli rotornog bagera





Slika 5. Shema rasporeda mernih traka na centralnoj čeličnoj konstrukciji noseće strukture strele rotornog bagera

Kako je u napred navedeno, cilj ovih ispitivanja je bio da se izmeri stvarno deformacijsko i izračuna naponsko stanje na karakterističnim mestima rotornog bagera, koji su na osnovu tehničko-tehnološke dokumentacije i iskustva stručnjaka sa površinskih kopova najopterećeniji.

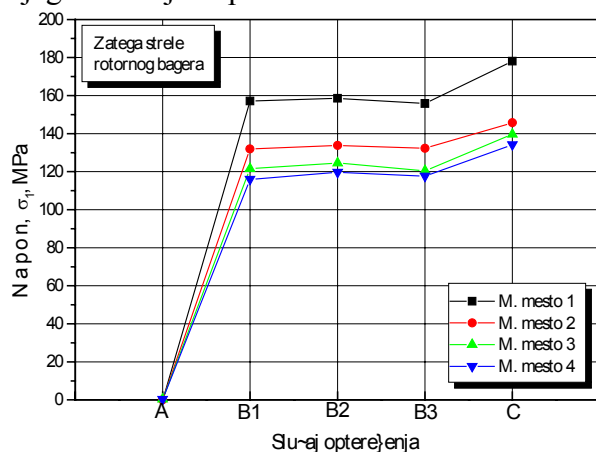
Samo ispitivanje, odnosno određivanje deformacijskog stanja je rađeno u nekoliko faza.

Faza A - Nulto stanje, odnosno stanje kada je čelična konstrukcija rotornog bagera bila na podupiračima, i kada je strela rotornog bagera bila spuštena u nulti položaj i oslonjena na podupirač.

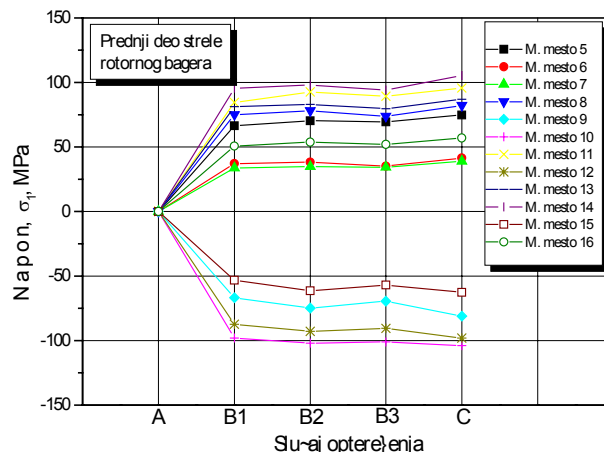
Faza B - Rotorni bager spreman za rad, konstrukcija bez podupirača opterećena sopstvenom težinom sa položajem strele rotornog bagera u horizontali (B1-strela u položaju levo, B2-strela u položaju pravo, i B3-strela u položaju desno).

Faza C - Rotorni bager u radu, konstrukcija bez podupirača, opterećenja sopstvenom težinom i kopanjem uglja sa položajem strele rotornog bagera u horizontali.

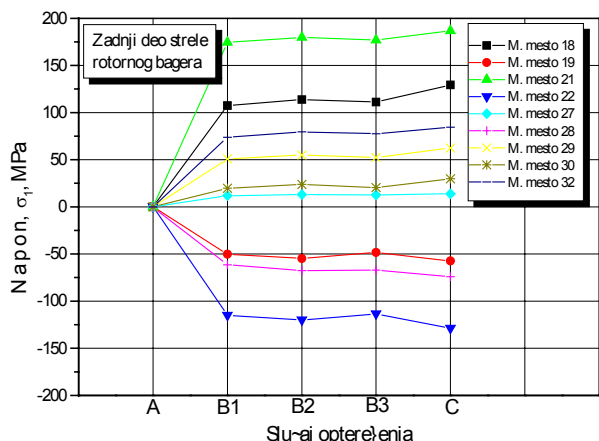
Dobijeni rezultati merenja i izračunate vrednosti napona su predstavljeni grafički u obliku dijagrama koji su prikazani na sl. 6 - 11. .



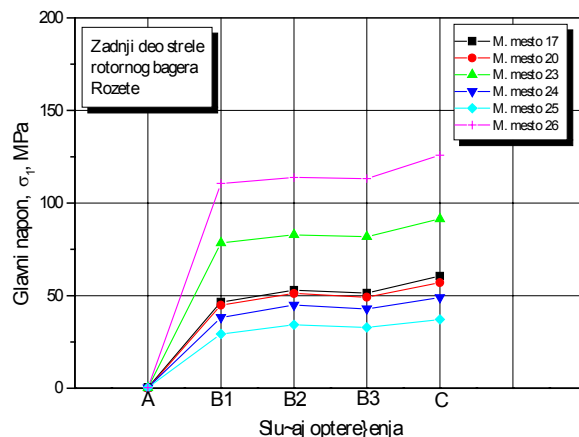
Slika 6. Zavisnost napon-slučaj opterećenja za merna mesta na zategi strele



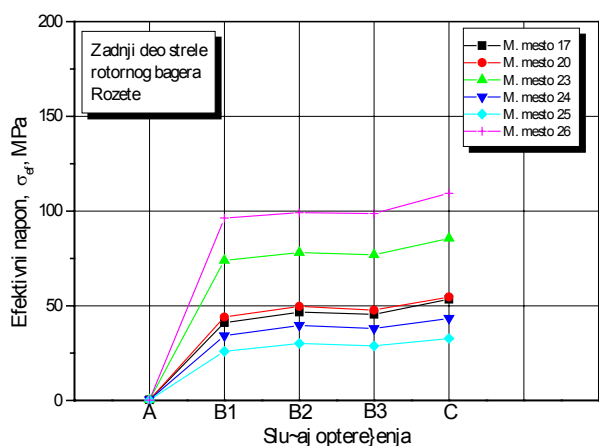
Slika 7. Zavisnost napon-slučaj opterećenja za merna mesta na prednjem delu strele



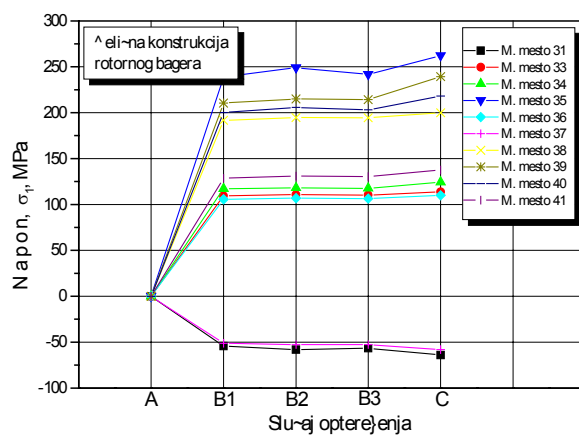
Slika 8. Zavisnost napon-slučaj opterećenja za merna mesta na zadnjem delu strele



Slika 9. Zavisnost napon-slučaj opterećenja za merna mesta na zadnjem delu strele-rozete



Slika 10. Zavisnost efektivni napon-slučaj opterećenja za merna mesta na zadnjem delu strele - rozete



Slika 11. Zavisnost napon-slučaj opterećenja za merna mesta na čeličnoj konstrukciji rotornog bagera

## ANALIZA REZULTATA I ZAKLJUČAK

Izmerene mikrodeformacije na mernim trakama postavljenim na zategama strele rotornog bagera i izračunati naponi ukazuju na to da ni na jednom mernom mestu nije prekoračen napon tečenja, odnosno naponi su u linearno elastičnom području. Najveći izračunati glavni naponi na zategama strele rotornog bagera je na mernom mestu 1 (178,1 MPa). Merno mesto 1 je bliže osi radnog točka, odnosno sopstvena težina reduktora i radnog točka više opterećuje levu od desne zatege. I ostali izračunati naponi u zategama su relativno visoki, ali još uvek u linearno elastičnom području.

Što se tiče izmerenih deformacija i izračunatih napona na mernim mestima strele rotornog bagera uočljiva je razlika u nivoima napona vrha strele i kraja strele, odnosno mernih mesta u zoni radnog točka i mernih mesta bliskim vezi sa čeličnom konstrukcijom rotornog bagera. Naime, ispitivanja su pokazala da su najveće izmerene deformacije i izračunati naponi na mernim mestima bliskim vezi strele sa čeličnom konstrukcijom (kraj strele) i da se kreću do 142,7 MPa u zoni horizontalnog nosača ispod transportne trake (merno mesto 26), a najveće je u zoni dijagonalnog nosača sa leve strane bliskoj uški glavnog nosača (merno mesto 21) i iznosi 186,7 MPa.

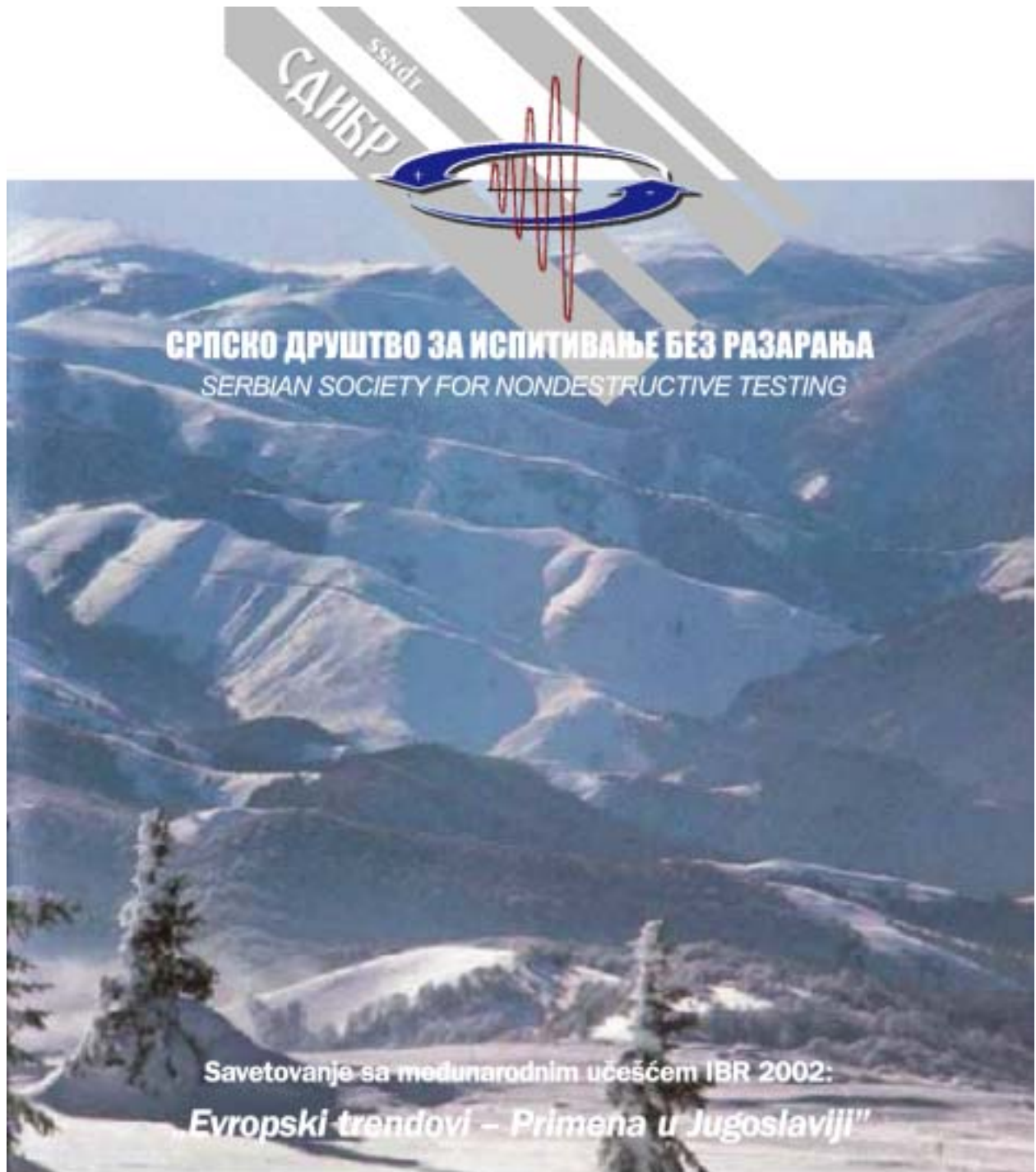
Generalno, sva merna mesta na levoj strani pokazuju veću opterećenost, odnosno, izmerene deformacije i izračunati naponi su znatno veći nego na desnoj strani. Ova pojava je u direktnoj vezi sa položajem reduktora i radnog točka strele rotornog bagera. Za analizu rezultata je interesantna pojava da svi štapovi u vertikalnim stranama čelične konstrukcije strele rotornog bagera koji su nagibom okrenuti prema vrhu strele (merno mesto 18 i 21) pokazuju zatezna opterećenja (napone), dok svi štapovi koji su okrenuti nasuprot vrhu strele (merno mesto 9, 10, 19, 22) pokazuju pritisna opterećenja (napone).

Analizirajući deformacijsko i naponsko stanje na mernim mestima čelične konstrukcije rotornog bagera sRS 1200 može se konstatovati da su i ovde naponi u linearno elastičnom području. Najveći naponi su registrovani na dijagonalama sa leve i desne strane protivtega (merno mesto 35, 38, 39 i 40). I u ovom slučaju primetna je razlika u nivou napona leve i desne strane, odnosno naponi na levoj strani su za oko 10% veći nego na desnoj strani. Čelične dijagonale bliže kontrategu su više opterećene (merno mesto 35 - 262,1 MPa, merno mesto 39 - 239,2 MPa) od čeličnih dijagonala koje su bliže streli rotornog bagera (merno mesto 40 - 218,2 MPa, merno mesto 38 - 200,1 MPa)

Proračun metodom konačnih elemenata je obuhvatio naponsku analizu zatega strele, celokupne strukture strele rotornog bagera, stubova na okretnoj platformi kao i čelične konstrukcije koja nosi protivteg. Naponska analiza je pokazala da su dobijene vrednosti napona proračunom metodom konačnih elemenata nešto niže u odnosu na eksperimentalno dobijene vrednosti napona tenzometrijskom metodom. Bez obzira što se u proračun ušlo sa stvarno izmerenim debljinama na pojedinim mestim čelične konstrukcije, određena razlika je evidentna. Eksperimentalno izmerene vrednosti mikrodeformacija i izračunatih napona predstavljaju stvarno naponsko stanje u materijalu što podrazumeva stvarne debljine materijala i stvarne mehaničke osobine. U konkretnom slučaju se gotovo sigurno radi o razlici u mehaničkim osobinama koje su date u tablicama i stvarnih mehaničkih osobina koje ima korišćeni materijal.

## **LITERATURA**

- [1] Z. Burzić, M. Zrilić, M. Obradović, S. Smiljković, "Izveštaj o ispitivanju rotornog bagera SRs 1200/630 KW - 22/2 proizvođača LAUHAMER - DDR (Glodar-1) u eksploataciji", 2001.
- [2] M. Arsić, S. Sedmak, B. Ćirković, "Primena tenzometrijskih ispitivanja u oceni integriteta odgovornih nosećih konstrukcija rotornih bagera", IBR u funkciji obezbeđenja kvaliteta, Bečići, str. 141-144, 1998.
- [3] Z. Burzić, B. Aleksić, S. Arsić, B. Vujović-Đorđević, M. Maravić, Primena akustične emisije i tenzometrijskih ispitivanja za praćenje deformacijskog procesa na sfernom rezervoaru, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Vol. 42, No. 3, str. 225-233, Beograd, 1997.



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**

30

## PRIMENA NOVIH METODA ZA ODREĐIVANJE PARAMETARA RASTA ZAMORNE PRSLINE KOD ZAVARENIH SPOJEVA

Dr Zijah Burzić, dipl. inž.\*, Mr Meri Burzić, dipl. inž.\*,  
Jelisav Čurović, dipl. inž.\* Mr Milorad Zrilić, dipl. inž.\*\*

\* Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

\*\* Tehnološko-metalurški fakultet, 11000 Beograd, Karnegijeva 4

### Rezime

U radu su prikazani rezultati eksperimentalnog određivanja parametara rasta zamorne prsline kod zavarenog spoja čelika Č4730 korišćenjem specijalnih mernih traka (folija).

### Ključne reči:

Rast zamorne prsline, ispitivanje materijala, mehanika loma, zavareni spoj, merna traka - folija

## APPLICATION OF NEW METHODS OF INVESTIGATIONS FOR DETERMINATION FATIGUE CRACK GROWTH PARAMETERS OF WELDED JOINTS

### Abstract

In this paper the results of experimental determination of fatigue crack growth parameters welded joint steel Č4730 strain gages - foil were presented.

### Key words:

Fatigue crack growth, testing of materials, fracture mechanics, welded joint, strain gage - foil

### UVOD

Praktičnoj primeni zavarenih konstrukcija treba da prethodi detaljno proučavanje njihovih mehaničkih i eksploatacijskih svojstava, kako bi se sigurnost zavarenih spojeva, a time i zavarene konstrukcije u celini, obezbedila u potpunosti na nivou već dostignute sigurnosti, ili čak i poboljšala.

Kao polazni podatak o kvalitetu i primenljivosti zavarenog spoja služe karakteristike koje se dobijaju zateznim ispitivanjem (napon tečenja, zatezna čvrstoća, izduženje pri lomu, modul elastičnosti). Ove karakteristike opisuju globalno mehaničko ponašanje zavarenog spoja, koje se dobija ispitivanjem prema JUS EN 299-3 [1]. Dopunski podaci o ponašanju zavarenog spoja se dobijaju udarnim ispitivanjem (energija loma epruvete sa zarezom), ali se ta karakteristika koristi samo kao uporedna veličina pri izboru materijala i ne može se direktno koristiti za proračun napona. Ona opisuje lokalno ponašanje materijala, na koje utiče koncentracija napona u vidu zareza.

Za eksploatacijsku sigurnost zavarenih konstrukcija najvažnije su karakteristike, koje opisuju pojavu i rast prslina pod uticajem promenljivog opterećenja. Pojavu zamornih prslina na konstrukcijski glatkim i homogenim oblicima usled lokalne koncentracije napona na neizbežnim konstrukcijskim prelazima i promenama poprečnih preseka još uvek nije moguće opisati nekim jednostavnim zavisnostima opterećenja, napona, karakteristika materijala i veličine poprečnog preseka, pa se koriste empirijski izvedene zavisnosti, po pravilu uslovljene obimnim eksperimentalnim i laboratorijskim ispitivanjima.

Inicijacija i rast prsline izazvane zamorom, predmet su mnogih istraživanja. Parisov zakon rasta prsline, koji uspostavlja zavisnost delujućeg promenljivog opterećenja, odnosno njegovog opsega i odgovarajućeg opsega faktora intenziteta napona, i rasta prsline po ciklusu, je danas opšte prihvaćen, jer načelno opisuje mikromehaničko ponašanje rastuće prsline. Međutim, veliki broj uticajnih faktora mikromehaničkog aspekta čini zakon Parisa nedovoljno detaljnim, što je dovelo do razvoja velikog broja zavisnosti, uglavnom iskustvenim proširenjem Parisove jednačine. Tome u prilog govori i mikromehanička karakteristika materijala, nazvana "prag zamora", čijom se veličinom opisuje nivo opsega opterećenja, odnosno opsega faktora intenziteta napona, pri kome nema rasta postojeće prsline. Ova karakteristika ukazuje na područje u kome zakon Parisa ne važi, već se tada moraju tražiti drugačije zavisnosti u okviru mikromehaničkog aspekta, s obzirom da singularitet na vrhu prsline već postoji. Primena nove metode određivanja parametara rasta zamorne prsline, koja se bazira na korišćenju jedne vrste merne trake (folije) prikazano je u ovome radu.

## **PRIMENA MEHANIKE LOMA PRI PROUČAVANJU ZAMORA**

Osnovni napredak koji je mehanika loma napravila u sferi zamora materijala je u analitičkom rasčlanjavanju fenomena loma usled zamora na period inicijacije, u kome zamorna prslina nastaje, i na period rasta ili širenja koji mu sledi i u kome se nastala prslina povećava do kritične veličine pri kojoj dolazi do naglog loma. Time se ukupan broj ciklusa,  $N_u$ , posle koga dolazi do loma, deli na broj ciklusa potrebnih da zamorna prslina nastane,  $N_i$ , i broj ciklusa da ona poraste do kritične veličine za lom,  $N_p$ .

$$N_u = N_i + N_p \quad 1.$$

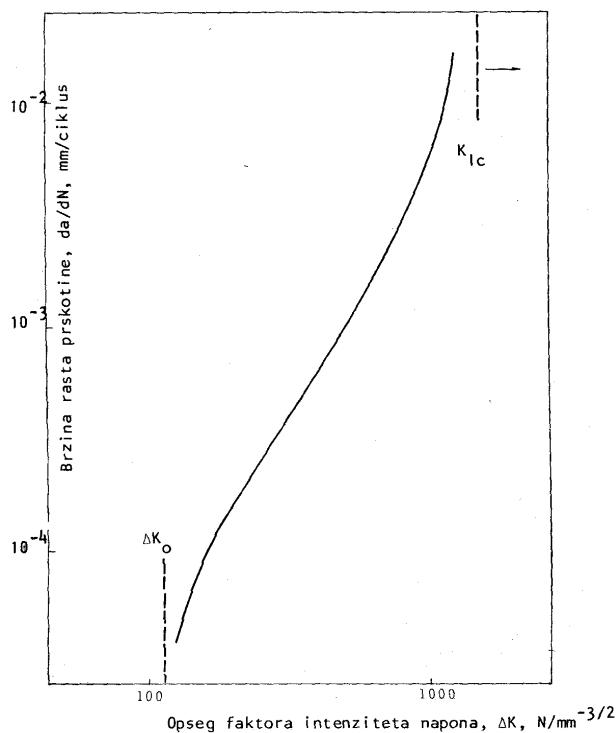
Razvoj u proučavanju ponašanja materijala pri dejstvu promenljivog opterećenja je omogućen paralelnim uvođenjem eksperimentalnog i teorijskog pristupa, jer samo teorijski pristup ne može da potpuno objasni nastanak i rast zamorne prsline. Danas se intenzivno istražuje koji sve faktori utiču na zavisnost  $da/dN = f(\Delta K)$ , u tzv. nisko cikličnom zamoru, kada se u petlji histerezisa jednog ciklusa uspostavlja plastična deformacija. Analiza stanja napona i deformacija na vrhu rastuće zamorne prsline postupcima linearno-elastične mehanike loma (LEML) je dovela do formulisanja Parisove jednačine [4] za sve metale i legure, koja dovodi u vezu brzinu rasta zamorne prsline sa opsegom faktora intenziteta napona na vrhu prsline:

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^m \quad 2.$$

Iako Parisova jednačina rasta prsline ne važi u čitavom području, između malih brzina u blizini praga zamora ( $\Delta K_{th}$  na sl. 1), i visokih brzina ( $K_{Ic}$ ) veliki linearni srednji deo krive pokriven Parisovom relacijom se sa praktične tačke gledanja pokazao daleko najvažnijim jer istovremeno dopušta da se napravi razlika između inicijacije i rasta zamorne prsline.

Primena Parisove jednačine se pokazala naročito plodonosnom u području zamora šavova i zavarenih konstrukcija. Za razliku od homogenih materijala i od njih izrađenih delova, kod kojih broj ciklusa potreban za stvaranje zamorne prsline dominantno učestvuje u ukupnom

broju ciklusa do loma, kod šavova je ubrzo nakon formulisanja Parisove jednačine zapaženo da je ukupan broj ciklusa do loma uglavnom određen rastom zamorne prsline. Provere koje su usledile su potvrdile, da broj ciklusa potreban za inicijaciju prsline kod raznih vrsta šavova i materijala ne prelazi 25% od ukupnog broja ciklusa do loma. Razlog za ovo leži u geometrijskoj nehomogenosti šavova i u postojanju, posebno na prelazu između nadvišenja i osnovnog metala, dovoljno sitnih površinskih neravnina u vidu intruzija ili uključaka troske dubine ne veće od 0,02-0,04 mm, na kojima zbog koncentracije napona dolazi do brzog stvaranja početne zamorne prsline [5].



Slika 1. Tipičan izgled krive brzine rasta zamorne prsline u funkciji od  $\Delta K$

### Ispitivanje brzine rasta zamorne prsline

Iz oštrog koncentratora napona će u uslovima promenljivog opterećenja posle određenog broja ciklusa doći do inicijacije prsline i do njenog rasta ako je prekoračen prag zamora  $\Delta K_{th}$ . Kako konstrukcija pod određenim uslovima neće biti ugrožena dok prsline ne dostigne kritičnu veličinu, može se, uz prethodne analize, dopustiti eksploatacija konstrukcije sa prsline i u periodu rasta prsline. Bitan podatak za odluku o daljoj eksploataciji je poznavanje brzine rasta prsline i njene zavisnosti od delujućeg opterećenja. Standard ASTM E647 [6] propisuje merenje brzine rasta zamorne prsline  $da/dN$ , koja se razvija iz postojeće prsline i proračun opsega faktora intenziteta napona,  $\Delta K$ . To znači da epruveta treba da ima zamornu prsline. Dva su bitna ograničenja u standardu ASTM E647: brzina rasta mora da je veća od  $10^{-8}$  m/ciklus da bi se izbeglo područje praga zamora,  $\Delta K_{th}$ , a opterećenje treba da bude konstantne amplitude.

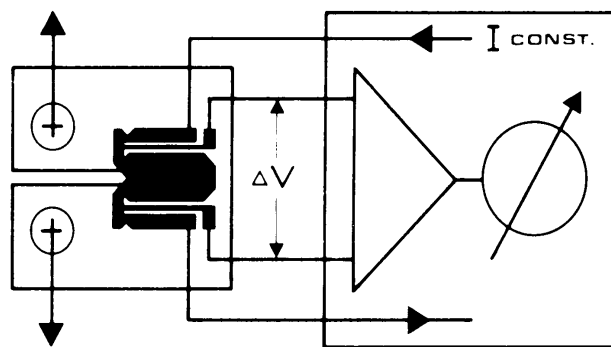
Ispitivanje u cilju određivanja brzine rasta zamorne prsline  $da/dN$  i praga zamora  $\Delta K_{th}$  izvedeno je na standardnim šarpi epruvetama metodom savijanja epruvete u tri tačke na rezonantnom visokofrekventnom pulzatoru CRACKTRONIC, sl. 2. Samo ispitivanje je rađeno u kontroli sile.

Na mehanički pripremljene epruvete su zalepljene merne trake RUMUL RMF A-5 merne dužine 5 mm, pomoću kojih je praćen rast prsline (sl. 3) uređajem FRACTOMAT [7],

baziranom na električnom potencijalu trake i povezanom sa instrumentima. Traka tanka otporna merna folija zalepljena na epruvetu na isti način kao i klasične merne trake za merenje deformacije. Kako zamorna prslina raste ispod merne folije, ova se cepa prateći vrh zamorne prsline, čime se električni otpor folije menja linearno sa promenom dužine prsline.



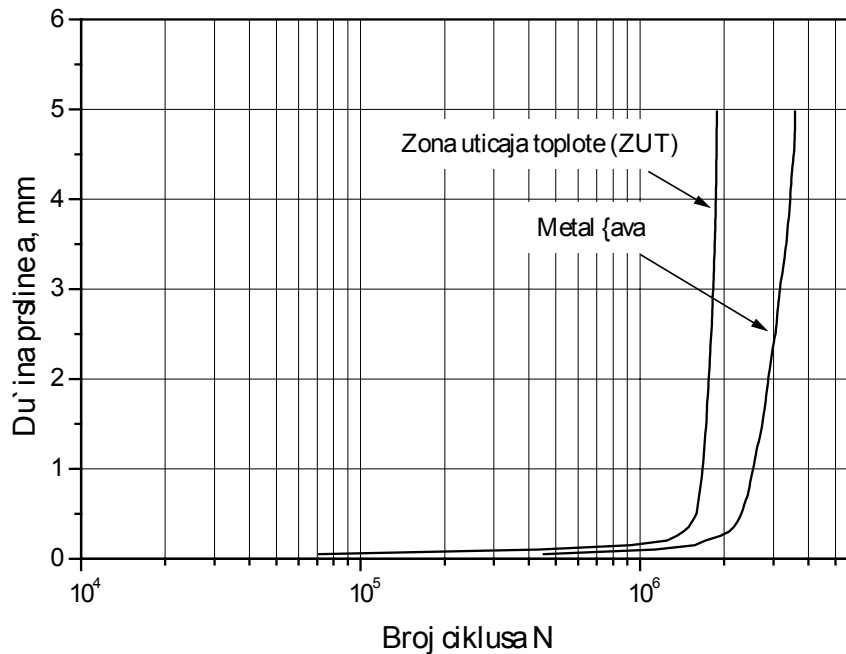
Slika 2. Sistem za ispitivanje CRACKTRONIC



Slika 3. Shema merne folije i načina registrovanja rasta prsline

Brzina rasta zamorne prsline je određivana posredno. U toku eksperimenta je automatski zapisivan broj ciklusa za svakih 0,05 mm rasta prsline. Na osnovu tih zapisa nacrtani su dijagrami a - N, sl. 4. Krive zavisnosti a - N se koriste kao podloga za određivanje brzine rasta zamorne prsline, da/dN.





Slika 4. Eksperimentalno dobijena zavisnost  $a-N$ , MŠ i ZUT

Određivanje zavisnosti brzine rasta zamorne prsline po ciklusu  $da/dN$  i opsega faktora intenziteta napona  $\Delta K$  se svodi na određivanje koeficijenta  $C$  i eksponenta  $m$  u jednačini Parisa. Brzini rasta zamorne prsline treba za trenutnu dužinu prsline,  $a$ , pripisati opseg faktora intenziteta napona,  $\Delta K$ , koji zavisi od geometrije epruvete i dužine prsline, i od opsega promenljive sile,  $\Delta P = P_g - P_d$ .

Za određivanje opsega faktora intenziteta napona koristi se formula

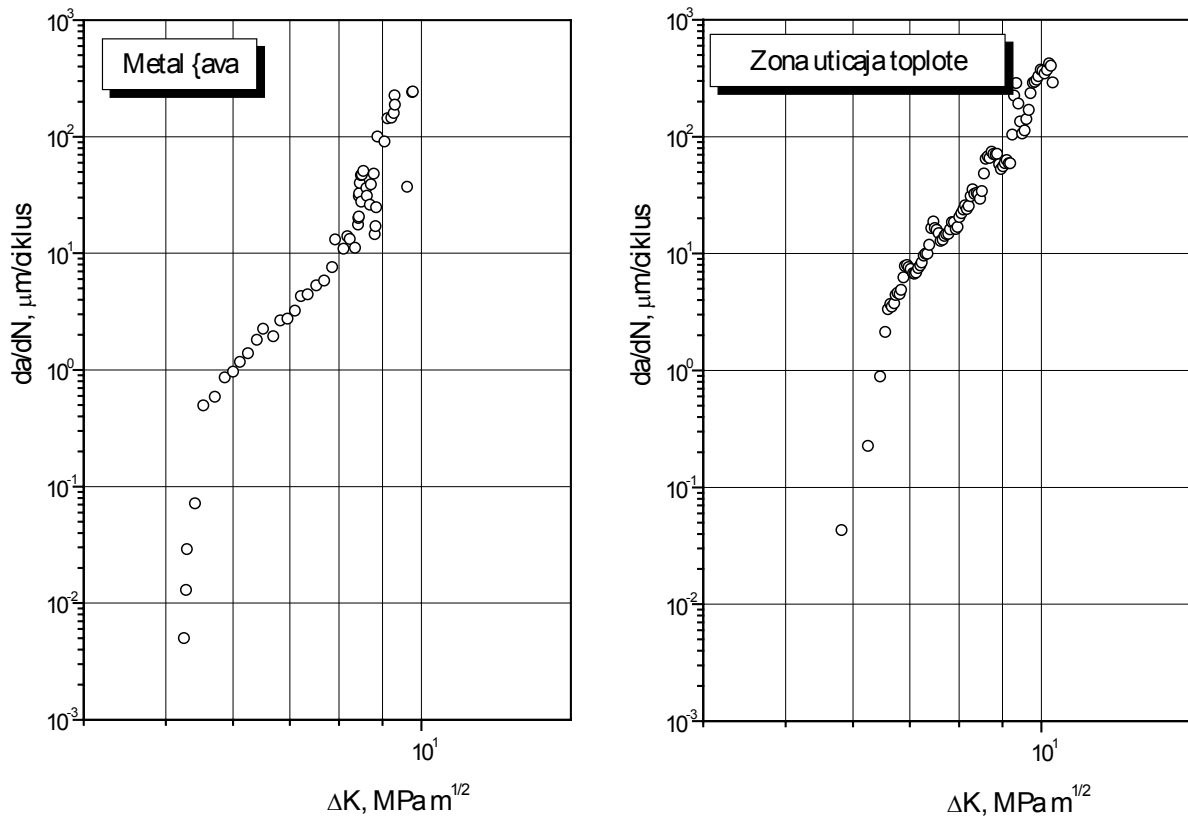
$$\Delta K = \frac{\Delta P \cdot L}{B\sqrt{W^3}} \cdot f(a/W) \quad 3.$$

gde je

$$f(a/W) = \frac{3 \cdot \sqrt{\frac{a}{W}}}{2 \left(1 + 2 \frac{a}{W}\right) \left(1 - \frac{a}{W}\right)^{3/2}} \left[ 1,99 - \frac{a}{W} \left(1 - \frac{a}{W}\right) \left( 2,15 - 3,93 \frac{a}{W} + 2,7 \left(\frac{a}{W}\right)^2 \right) \right] \quad 4.$$

- $L$  - raspon oslonaca, mm;
- $B$  - debljina epruvete, mm;
- $W$  - širina (visina) epruvete, mm, i
- $a$  - dužina prsline.

Na osnovu toka ispitivanja izračunate su i nacrtane zavisnosti  $\log da/dN - \log \Delta K$ . Tipični dijagrami zavisnosti  $da/dN$  od  $\Delta K$  su dati na sl. 5 za epruvetu sa zarezom u metalu šava (MŠ) i zoni uticaja toplote (ZUT).



Slika 5. Dijagram zavisnosti  $da/dN - \Delta K$   
a) Metal šava, b) ZUT

## ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati ispitivanja materijala i konstrukcija promenljivim opterećenjem u laboratorijama Vojnotehničkog instituta VJ. Opisan je novi, savremeni sistem za praćenje rasta zamorne prsline koji se bazira na promeni otpornosti merne folije pri rastu prsline. Sistem je kompatibilan osnovnim postavkama standarda ASTM E 647-89 koji se odnosi na određivanje brzine rasta zamorne prsline, dosta je praktičan, jer pored računarskog praćenja rasta zamorne prsline, to omogućava i manuelno.

## LITERATURA

- [1] JUS EN 299-3 Specifikacija i kvalifikacija tehnologija zavarivanja metalnih materijala Deo 3: Kvalifikacija tehnologije za elektrolučno zavarivanje čelika, Zbirka standarda Obezbeđenje kvaliteta u zavarivanju, Beograd, 1996.
- [2] A. Radović, Mogućnosti korišćenja kriterijuma mehanike loma u oceni sigurnosti zavarenih spojeva, Letnja škola mehanike loma - Mehanika loma zavarenih spojeva, Arandjelovac, 1984
- [3] Z. Burzić, Određivanje parametara mehanike loma na zavarenim spojevima, IMS, Beograd, 2000.
- [4] Paris, P. C. and Erdogan, F., A Critical Analysis of Crack Propagation Laws, Trans. ASME, Journal Basic Eng., Vol. 85, No. 4, Str. 528.
- [5] Paris, C. P. and Hayden, B. R., A New System for Fatigue Crack Growth Measurement and Control, ASTM Symposium on Fatigue Crack Growth, Pittsburg, 1979.
- [6] E647-86 : Standard Test Method for Constant-Load-Amplitude Fatigue Crack Growth Rates Above  $10^{-8}$  m/cycle, Annual Book of ASTM Standards 1986, Vol. 03. 01, p. 714.
- [7] Đ. Dobi, Žilavosna proba i mehanika loma, Četvrta letnja škola mehanike loma, Perspektive razvoja mehanike loma, 23-27 juni 1986, Dubrovnik, str. 367-374.

31

## OPREMA ZA DALJINSKO VIZUELNO ISPITIVANJE (DVI) I NJENA PRIMENA U POJEDINIM INDUSTRIJSKIM SEKTORIMA

Jano Kurai, dipl.ing., Zastupnik firme Everest VIT za Jugoslaviju  
Pančevo, E-mail: jkurai@panet.co.yu

### Rezime:

*Daljinsko vizuelno ispitivanje (DVI) je vrsta vizuelnog ispitivanja. Posebnost opreme za ovu podvrstu IBR je što ona omogućuje osmatranje sa udaljenih i, za ljudsko oko, nedostupnih lokacija. Sofisticirana oprema za DVI je unapredila dijagnostiku, bilo da se zahteva identifikacija problema radi procene stanja, ili je u pitanju rutinsko održavanje ili sanacija. Ova IBR oprema je siguran alat koji štedi novac i vreme.*

*U ovom radu je dat kratak opis karakterističnih vrsta DVI opreme počev od starijih modela pa do savremenih uređaja koji obezbeđuju preciznost, pokretljivost (upravljivost), kvalitet slike i jednostavnost korišćenja.*

*U drugom delu referata su date preporuke za izbor najoptimalnije varijante DVI uređaja za specifične slučajeve kod pojedinih industrijskih sektora.*

### Ključne reči:

IBR, DVI oprema, dijagnostika, industrijski sektor

## REMOTE VISUAL INSPECTION (RVI) EQUIPMENT AND ITS APPLICATION TO DIFFERENT INDUSTRIAL SECTORS

### ABSTRACT

*Remote Visual Inspection (RVI) is a subcategory of Visual Testing. The specialty of this category of Nondestructive Testing (NDT) equipment allows viewing capabilities from a remote location.*

*Sophisticated RVI tools are improving diagnostics, whether assessment is required to identify problems, for routine maintenance or as part of construction. These NDT tools are safe and provide savings of both cost and time. In this paper, several applicable RVI tools will be discussed, from early models to the cutting-edge equipment that has recently become more accurate, portable, easy-to-use and with improved image quality. In the second paper's part, recommendations are made on identifying the best RVI tools available for specific industrial's sectors needs..*

### Key words:

NDT, RVI equipment, diagnostics, industrial sector

## **Uvod**

Glavna svrha primene metoda IBR je istraživanje integriteta materijala predmetnog objekta. Mnogo drugih kontrolnih aktivnosti, merenja i testova (napr. radioastronomija, reometrija, merenje napona i jačine struje, merenje protoka,...) su po karakteru nerazarajuće ali ne služe za određivanje specifičnih osobina materijala ispitivanog objekta, te se ne smatraju vrstom IBR-a [3]. Cilj primene metoda IBR je da se na praktičan način utvrde funkcionalnost i dalja upotrebljivost objekta ispitivanja (t.j. proceni potreba za sanacijom - interventnim održavanjem), kao i dinamika daljih periodičnih ispitivanja (t.j. preventivnog održavanja).

**Vizuelno ispitivanje (VI)** se primenjuje u cilju otkrivanja površinskih grešaka i oštećenja (napr. koroziona i eroziona oštećenja, zaprljanja, oštećenja kod zavarenih, zalemljenih i rastavljivih spojeva, oštećenja izolacije i ozida,...), kao i određivanja kvaliteta završne obrade površina. Najčešća primena je u cilju otkrivanja grešaka tipa površinskih prslina i naprsnuća jer su to uglavnom nedozvoljene greške koje dovode do strukturne degradacije materijala t.j. loma. Ova metoda se koristi čak i u slučaju da su nakon njenog izvođenja predviđene i neke druge metode IBR jer se otkrivanjem nedozvoljenih grešaka pomoću VI smanjuju troškovi ispitivanja t.j. skuplje IBR metode se ne moraju primeniti. Pomoću VI se određuju i tkz. kritična mesta konstrukcije- objekta u eksploataciji, kojima se tokom daljeg ispitivanja metodama IBR posvećuje povećana pažnja. Izbor tehnike VI zavisi od vrste objekta- proizvoda koji se ispituje (napr. posuda pod pritiskom, cevovod, odlivak,...), industrijskog sektora za koji je objekat namenjen (napr. procesna industrija, vazduhoplovstvo, vodovod i kanalizacija,...), kao i vrste površinskih grešaka koje se žele otkriti. VI se može primenjivati bez primena posebne opreme (osmatranje- pregled golim okom), dok je za slučaj udaljenih zona ispitivanja nedostupnih ljudskom oku, slučaj potrebe stvaranja trajnih zapisa (fotografskog, video ili arhiviranja na HDD-u PC-ja) i slučaj potrebe za kvalitativnom analizom i merenjem, dodatna oprema neophodna.

**Daljinsko vizuelno ispitivanje (DVI)** je vrsta VI. Posebnost opreme za DVI je što ona omogućuje osmatranje sa udaljenih i, za ljudsko oko, nedostupnih lokacija. Izbor opreme za DVI zavisi od svakog pojedinačnog slučaja primene; rastojanja operatera od zone objekta koja se ispituje, mogućnosti pristupa t.j. dostupnosti zone ispitivanja (napr. prečnik ulaznog otvora), ambijenta (napr. prisustvo vode ili opasnih materija u objektu koji se ispituje ili odsustvo svetlosti)...

Značaj primene DVI za dati objekat ispitivanja je utoliko veći ako je period eksploatacije objekta duži i/ili zahtevi bezbednog i sigurnog rada objekta (imperativ današnjice) strožiji.

Ovi zahtevi uglavnom zavise od industrijskog sektora kojem predmetni objekat pripada.

**Industrijski sektor** je posebna oblast industrije ili tehnologije gde se pri ispitivanju metodama IBR koriste specijalizovana znanja, veštine, oprema i obuka. Sektor se može tumačiti kao proizvod (zavareni spoj, odlivak,...) ili neka industrija (vazduhoplovna, železnička, vodovod i kanalizacija,...).

**Oprema za DVI** se primenjuje u više industrijskih sektora i podsektora i omogućuje povećanje produktivnosti; "čuva" vreme i novac, održava bezbednost rada i obezbeđuje kvalitet prikaza i nadzora. Sa aspekta primene opreme za DVI postoji sledeća opšta podela industrijskih sektora:

*Vazduhoplovstvo* Obuhvata sve vrste vazduhoplovnih motora i konstrukcija u fazama izrade, preventivne dijagnostike i kod utvrđivanja havarijskih oštećenja izazvanih dejstvima stranih tela.

*Energetika* Primena DVI opreme u ovom sektoru obuhvata nuklearnu industriju, postrojenja fosilne i termo energetike, hidrocentrale, postrojenja za proizvodnju pare i njihove osnovne elemente (turbine, konstrukcije, elemente pod dejstvom pritiska i povišenih temperatura,...).

*Procesni sektor* Obuhvata DVI posuda, cevovoda i drugih elemenata izloženih dejstvu pritiska, povišenih temperatura i/ili drugih opterećenja u proizvodnji hrane, farmaceutske industriji, rafinerijama, hemijskoj i petrohemijskoj industriji.

*Sigurnosno-bezbednosni sektor* Obuhvata primenu DVI opreme u cilju zaštite ljudi, materijalnih sredstava, životne sredine kroz delatnost policijskih, antiterorističkih i kriminalističkih službi; carinskih službi; službi nadzora različitih javnih objekata i građevina; komunalnih službi u gradovima (napr. vodovod, kanalizacija,...).

U ovom radu mi ćemo se više baviti opremom za DVI koja se primenjuje u prva tri spomenuta sektora.

### **Glavne vrste opreme za DVI**

\* **Endoskopi** se koriste u gotovo svim spomenutim sektorima. Najčešće se koriste za male prečnike jednostavnih i zatvorenih cevi/posuda ili osmatranje nedostupnih delova (napr. turbinskih lopatica kod avio motora, unutrašnjosti rotacione opreme i slično- videti tabelu 1).

Endoskop je u stvari dugačak cevast optički uređaj koji osvetljava i omogućava pregled (osmatranje) površina unutar složenih delova objekta ili teško dostupnih prostora. Cev (kabl) može biti kruta ili savitljiva, te razlikujemo krute boroskope (sl.1a) i fleksibilne fiberskope (sl.1b), sa širokim dijapazonom dužina i prečnika. Cev obezbeđuje neophodnu optičku vezu između kraja za osmatranje (okulara) i udaljenog vrha endoskopa (objektiva).

\* **Video endoskopi** (videoskopi) se najčešće koriste u energetici, procesnoj industriji i vazduhoplovstvu (cevi posude, kotlovi i izmenjivači, automobilski i avio motori,...) zahvaljujući mogućnosti dubokog prodiranja (prolaska) krutog kabla kroz mesta malog prečnika. Osim vrlo kvalitetne slike i mogućnosti merenja unutar objekta, videoskopi uz korišćenje posebne pomoćne opreme mogu obezbediti i vađenja zaboravljenih predmeta (napr. izolacija, šlemovi, alat,..., čije prisustvo u objektu može ugroziti start postrojenja ili funkcionalnost nekog od podsistema) ili depozita iz objekta koji se ispituje (videti sliku 2a i 2b).

*Videoskopi sa CCD* (charge- coupled device) sondama imaju elektronski prenos crno-bele ili slike u boji do video monitora. Udaljeni kraj elektronskog videoskopa sadrži CCD-čip koji se sastoji od nekoliko hiljada elemenata osetljivih na svetlost, raspoređenih po redovima i kolonama šablona. Sočiva objektiva formiraju sliku objekta na površini CCD-čipa, gde se svetlost pretvara u elektronske signale koji se smeštaju u spomenutim elementima, ili pikselima CCD-a. Napon koji je proporcionalan broju elektrona u svakom pikselu se određuje elektronski a zatim pojačava, filtrira i šalje na ulaz video monitora.

CCD nije ništa drugo nego vizuelni senzor koji prima svetlost kroz svoja sočiva i prevodi svetlosni signal u električni. Kada se koristi DPD (data-processing device), kao što je na primer mikrokompjuter, ovi električni signali se obrađuju i analiziraju čime se omogućuje interpretacija prizora koji je generisao signale. Ova informacija se dalje koristi kao osnova za procenu situacije i potrebe za daljim aktivnostima (izgled i kvalitet slike, njena analiza i donošenje odluke o stanju ispitivanog objekta).

Kod videoskopa (kao i kod krutih i fleksibilnih endoskopa), osetljivost zavisi od veličine polja osmatranja i rastojanja objekta od sočiva, jer ove dve veličine direktno utiču na uvećanje. U opštem slučaju videoskopi daju bolju osetljivost od fleksibilnih endoskopa (fiberskopa) ali fiberskopi sa malim prečnikom vlakana (fibera) mogu biti itekako konkurentni videoskopima. Međutim, prednosti videoskopa su i:

- veća dužina radnog dela (t.j. DVI se može vršiti sa većih udaljenosti- videti tabelu 1),
- displej umanjuje mogućnost zamora očiju (obično je to kod novijih uređaja LCD - Liquid Crystal Display),
- nema neregularnosti u pogledu iskrivljivanja (distorzije) slike,
- elektronski oblik signala slike omogućuje digitalizaciju i povećanje slike i čini videoskope pogodnim za integraciju u automatizovane sistema za ispitivanje,

- displej omogućuje stvaranje mreža na ekranu i time mogućnost merenja (tačka do tačke).

Svi endoskopski sistemi (kruti, fleksibilni i video) su konstruisani da izdrže različite uslove okolne sredine t.j. ambijenta u kojem se vrše ispitivanja (obično su to radne temperature do 65°C, nepropusnost tečnosti,...).

Postoje i sistemi posebno konstruisani za specifičnu namenu (napr. radna temperatura do 1900°C, mogućnost korišćenja u sredinama sa natpritiskom ili u prisustvu radijacije,...[1]).

\* **Robotizovano vozilo za DVI** (videti sliku 3) je posebno daljinski upravljano vozilo opremljeno kamerama i sopstvenim svetlima koje se jednostavno ubacuje i kreće kroz dugačke horizontalne cevi i druge objekte (napr. za otpadne, široko otvorene vodovodne cevi, procesne cevovode, ventilacione cevi,...videti tabelu 1) izdržavajući pri tome određene promene ambijenta na koje nailaze u cevi (napr. zaprljanost, delimične ispunjenosti cevi tečnostima, talozima i slično).

Standardnim veličinama vozila se mogu ispitati cevi unutrašnjeg prečnika orijentaciono 150 do 1500 mm. Vozilo je visokoupravljlivo i obično je za ispitivanje pomoću njega dovoljan jedan operater. Vozilom se može upravljati na 100, 200 i više metara udaljenosti od objekta.

Vrsta opreme za DVI	Prečnik (*) radnog dela (mm)	Dužina (*) radnog dela (m)	Glavni atribut primene
Boroskopi (kruti)	2-10 (20)	0,06-0,65	Jednostavni za korišćenje, dobar kvalitet slike.
Fiberskopi (savitljivi)	2-9 (12)	0,5-2,7 (6,0)	Savitljivost- prilagođavanje objektu; Veća dužina radnog dela.
Videoskopi	5-9	1,5-7,5 (15)	Direktno video osmatranje; Mogućnost zapisa (video, foto, PC).
Prenosne (potisne) video kamere	20-50	30-45 (90)	Direktno video osmatranje na veće dužine i detaljna ispitivanja velikih površina i podzemnih cevovoda; Znatne video i mogućnosti slike.
Robotizovana vozila za DVI	(30) 50-150 (225)	90-200 (450)	Najbolja oprema za ispitivanje podzemnih cevovoda i drugih objekata; Autonomno svetlo, mogućnost ispitivanja uz delimično prisustvo fluida i nečistoća.
(*) Podaci su orijentacioni i promenljivi su u zavisnosti od vrste uređaja i proizvođača DVI opreme.			

Tabela 1: Pregled glavnih vrsta opreme za DVI; Opšte karakteristike i preporuke za izbor

\* **Tiganjasta nagibna zum kamera** (videti sliku 4) je ustvari prenosna video kamera koja se može postaviti na kraj teleskopskog štapa i tako vršiti brzo osmatranje (pregledanje) kroz ulazni otvor šaftova, procesnih posuda pod pritiskom i nuklearnih reaktora, cevovoda velikih prečnika t.j. ispitivanje unutrašnjih površina objekata koje su nedostupne za čoveka. Idealna je i za podvodna ispitivanja.

\* **Potisne video kamere** (videti slike 5 i 6) su nastale provlačenjem kamere malog prečnika pomoću krutog kabla kroz cevi kotla. Nakon toga je razvijeno više tipova ovih uređaja za raznolike primene (napr. za uranjanje u linije gradske kanalizacije, za DVI dugačkih procesnih cevovoda...[2], uključujući i ispitivanje zavarenih i drugih spojeva i slično), što ih čini tipičnim predstavnikom višenamenske i višefunkcijske DVI opreme.

*Prve potisne kamere* (do kasnih 80-tih godina prošlog veka) su funkcionisale na osnovu crno-bele "cevne tehnologije", koju je kasnije zamenila nova kolor CCD kamera se tehnologijom izrade istom kao kod prvih kamkordera. Uvođenje čvrstih CCD senzora kod potisnih kamera doprinelo je čvrstini sistema kamera i, u opštem slučaju, omogućilo da iste izdrže jače udare i čvršće rukovanje. Što je CCD-kamera čip ili senzor postajao manji i jeftiniji stvarane su mogućnosti za proizvodnju potisnih kamera prečnika glave ispod 75 mm (zajedno sa svetlima-farovima). Manji prečnici kamera su omogućili savladavanje krivina (kolena) i od 90°, kod cevovoda malih prečnika, što je otvorilo širi opseg mogućnosti primene.

Na slici 7 vidljivo je koliko relativni odziv CCD senzora pokriva šire područje talasnih dužina svetlosti, u odnosu na ljudsko oko i kameru starije generacije (tkz. "Vidicon" kamera, koja je ranije korišćena kod stacionarnih TV sistema).

*Druga generacija potisnih kamera.* Sredinom 90-tih godina prošlog veka proizveden je novi model kamere sa prečnikom glave manjim od 30 mm, čime je otvorena mogućnost navođenja kroz višestruke krivine (kolena) od 90°, i cevi prečnika 50 mm. Ovo je poboljšalo mogućnosti primene potisnih kamera u ekologiji, industriji i zaštiti čovekove sredine. Ovom generacijom potisnih kamera dobijen pouzdan "alat" za primenu i kod cevi malog prečnika u građevinarstvu (stambene zgrade) vodovodu i kanalizaciji,... [2]. Kako se oprema razvijala, CCD senzori su otvorili mogućnost za automatizovano (kompjuterizovano) osmatranje i memorisanje slike iz unutrašnjosti cevi i drugih objekata.

## **Aktuelna poboljšanja i razvoj opreme za DVI**

*Potisne kamere i videoskopiji najnovije generacije* (slike 2 i 6). Skorašnje inovacije (softverske i hardverske) uvećavaju korisnost ove opreme u smislu formiranja boljih vizuelnih datoteka, lakšeg i bržeg ispitivanja i obezbeđenja boljih mogućnosti primene bez većih troškova. Današnja oprema ne zahteva obaveznu obuku operatera. Operater može njome brzo i lako rukovati zahvaljujući unapređenim mogućnostima kao što su ergonomski oblik, upravljivost, poboljšan kvalitet softvera za editovanje i obradu slike, mogućnostima merenja i trajnosti opreme i arhiviranog video i foto materijala.

U sklopu adaptacije novih procesora projektovanih za unapređenje video slike, DVI oprema sada poseduje poboljšane mogućnosti manipulacije slike i mogućnosti memorisanja. Na primer, signal slike ili video signal se digitalizuje i odmah dopunjuje zvukom (glasom) i zabeleškama, i razvija se (za razliku od ranije opreme opremljene VHS-om) na HDD, "Flash" karticu, disketu ili E-mail-om. Na video zapisu ili digitalnoj fotografiji se mogu pomoću specijalnog softvera vršiti precizna merenja i obeležavanja a rezultati upisati direktno na sliku.

Nova oprema poseduje veliku prilagodljivost i trajnost u širokom spektru primene. Otkako je video prikaz kompjuterizovan, moguće su softverske nadogradnje koje se lako instaliraju i obezbeđuju sukcesivno praćenje novorazvijenih tehnologija.

*Budućnost DVI sistema* i njihov razvoj prati trendove vezane za pokretljivost, prilagodljivost i nadogradnju ("Upgrade") baznih verzija. U budućnosti ćemo verovatno imati jedan kabl koji će biti zamenljiv za više DVI sistema, ili aplikacije bez znatnijih poboljšanja hardvera. Rotacione i druge specijalne kamere za posebne primene će verovatno biti unapređene i priključene na nove inteligentne sisteme. Veštačka inteligencija je osnova na kojoj će se zasnivati smanjenje dimenzija softvera i hardvera, smanjenje cena koštanja, povećanja snage, povećanje mogućnosti identifikacije defekata putem sistema kamere, izvođenja ispitivanja bez operatera i/ili kombinacija sa drugim razvijenim tehnologijama u cilju prikupljanja što više podataka o ispitivanju. Mogućnosti su zaista neograničene a dobre vesti su da treba očekivati da ove unapređene karakteristike omogućće da DVI oprema postane opštije dobro a time i jeftinije.

## Karakteristični primeri primene DVI opreme u praksi

Na slikama 8, 9 i 10 dati su primeri [1] primene tipične DVI opreme (robotoizovano vozilo, zum kamera i videoskop) za rešavanje karakterističnih problema u pojedinim industrijskim sektorima (energetski sektor i procesni sektor- hemijska industrija).

## Zaključak

Daljinsku vizuelnu kontrolu omogućuje i podržava širok spektar video i optičke opreme koju priznaje više sektora u industriji, u bezbednosnom (ekološkom), ekonomskom i produktivnom smislu. Kako su video sistemi postali raspoloživi u kasnijim 80-tim godinama prošlog veka, DVI se razvila kao standardna praksa u više industrijskih sektora razvijenih zemalja. Imajući u vidu široko polje primene i obim ispitivanja tipičan za dati industrijski sektor, pri izboru najoptimalnije vrste DVI opreme treba uskladiti potrebe i raspoloživa novčana sredstva.

Video tehnologija se konstantno razvija i unapređuje shodno potrošačkim, komercijalnim i opštim uslovima koji zahtevaju što bolji kvalitet slike iz što manjeg, lakšeg i jeftinijeg uređaja. Formati slika koji se mere mega-pikselima (kao kod digitalnih kamera i aparata i sličnih uređaja visoke osetljivosti), imaju opseg signala i mogućnosti memorisanja podataka koji daleko prevazilaze VHS ili S-VHS format, pri čemu se koriste alternativni uređaji za smeštaj podataka, tipa DV trake, DVD-a ili "Flash memory" kartice. Dodatna prednost kombinacije ovakve slike sa zapisom koji se ne zasniva na klasičnom video formatu, je i kvalitet slike (direktna slika i mogućnost ponavljanja slike), koji je nekoliko puta bolji od video slike. Takođe, digitalno memorisanje podataka je bolje sa aspekta kopiranja, prenosa i direktnog pristupa podacima o ispitivanju kao i sa aspekta prenosa podataka internetom/intranetom.

## Literatura

- [1] B. A. Pellegrino, Everest VIT comp. "Remote Visual Testing technology and its application to powerplant inspection and maintenance tasks" Jun 1999, USA
- [2] J. Kurai: "Daljinsko vizuelno ispitivanje podzemnih cevovoda", Referat sa savetovanja "Vodovod i kanalizacija 2002", Mataruška Banja, 16.-18.10.2002.
- [3] ASM Handbook, Volume 17: Nondestructive Evaluation and Quality control- Visual inspection; 1996, USA
- [4] Prospektni materijal firme EVEREST-VIT, 2002, USA



Prilog



a)



b)

Sl. 1: Endoskopi; a) Kruti boroskop, b) Fiberskop



Sl. 2a



Sl. 2b



Sl. 3

Sl. 2a: Videoskop (video endoskop);  
Sl. 2b: Pomoćna oprema za videoskop;  
Sl. 3 : Robotizovano vozilo za DVI



Sl. 4

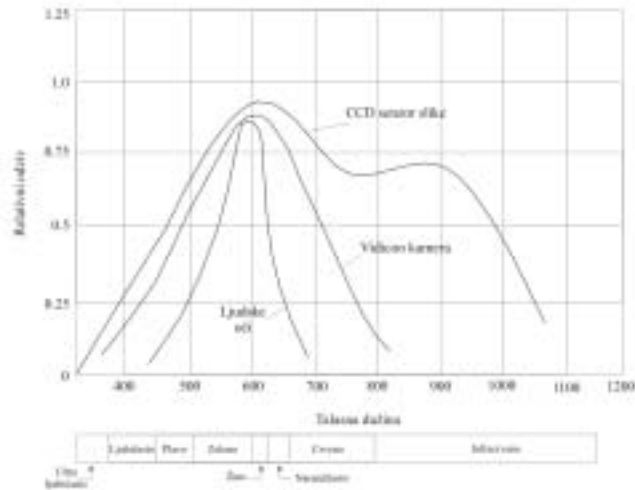


Sl. 5



Sl. 6

Sl. 4: Tiganjasta nagibna zum kamera  
Sl. 5: Potisna kamera  
Sl. 6: Potisna kamera najnovije generacije



Sl. 7

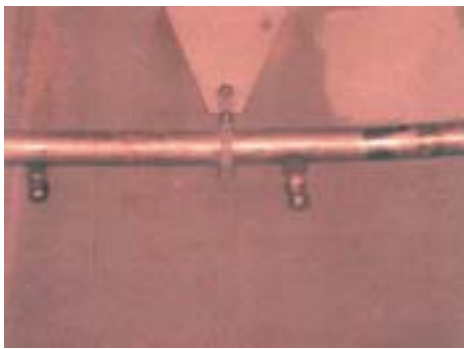
Sl. 7: Spektralni odziv za ljudske oči, kameru starije generacije i za CCD senzor



Sl. 8: Prsline na bubnju kotla (heder pare Ø400x14000 mm), registrovane video kamerom na robotizovanom vozilu (digitalna slika)



Sl. 9: Višestruki lom cevi zagrejača napojne vode visokog pritiska, registrovan videoskopom kroz otvor na cevnom nosaču i oštećenu cev



Sl. 10: Osmatranje zum kamerom unutrašnjosti rezervoara velike zapremine u cilju precizne lokacije malih grešaka na cevi malog prečnika, sa rastojanja od 14 m (kamera locirana na gornjem manlohu rezervoara)

# 32

## TIV (Gledanje kroz utiskivač) Nove mogućnosti mobilnog merenja tvrdoće

Dr. Stefan Frank  
Agfa NDT GmbH, Robert-BoschStraße 3, D-50354 Hürth  
(<http://www.AgfaNDT.com>)

### 1. Uvod

U vremenu pritiskajućih troškova i visokih zahteva u pogledu kvaliteta, mobilno merenje tvrdoće predstavlja brzu i pre svega, ekonomičnu dopunu stacionarnog merenja tvrdoće u okviru modernog procesa proizvodnje. Mogućnosti primene su višestruke – ovo se primenjuje i na velike i na male komponente, a naročito na teško pristupačnim mestima. Dva različita fizička metoda su naročito zahvalna u praksi : statički UCI i dinamički odskočni metod merenja tvrdoće.

Ovaj članak ne samo što diskutuje osnovne principe funkcionisanja ova dva metoda na praktičnim primerima, već se izlaže i jedan nov metod koji menja polje mobilnog merenja tvrdoće. Razvijen je mobilni optički metod merenja tvrdoće sa gledanjem kroz utiskivač (TIV), koji prvi put omogućava automatsko određivanje veličine otiska merenjem dužine dijagonala od Vikersovog dijamanta<sup>1</sup> pod opterećenjem. Optički sistem sa CCD kamerom koristi se za “gledanje” kroz utiskivač i na taj način se određuje tvrdoća pod opterećenjem.

Pošto je Vikersova tvrdoća definisana kao količnik ispitnog opterećenja i veličine otiska dijamanta, može se neposredno odrediti za primenjeno ispitno opterećenje na bazi dijagonala izmerenih pomoću TIV metoda. Živa slika otiska na LCD ekranu omogućava da se odmah proveriti kvalitet otiska dijamanta i donesu zaključci s obzirom na pouzdanost izmerene vrednosti. Mereći otisak kroz dijamant pod ispitnim opterećenjem, TIV metod ne zavisi od ispitivanog materijala i otuda otvara mnoge nove primene. Fizički metod, zasnovan na određivanju tvrdoće prema Vikersu – omogućava merenje tvrdoće različitih materijala bez potrebe za dodatnom kalibracijom instrumenata.

### 2. Ispitivanje tvrdoće

#### 2.1. Šta je “tvrdoća” ?

U vezi sa metalnim materijalima, tvrdoća je bila (i još je) mnogo diskutovana tema među metalurzima, inženjerima i istraživačima materijala. Otuda nije čudnovato što postoji veliki broj različitih definicija za izraz tvrdoća. Otpornost na habanje, deformaciono ponašanje, zatezna tvrdoća, kao i moduo elastičnosti su između ostalog u vezi sa izrazom tvrdoća.

---

<sup>1</sup> Prim. prevod.: Reč je o dijamantu u obliku prizme koji se koristi za merenje tvrdoće po Vikersu.

Određivanje tvrdoće je skoro bez razaranja i služi u mnogim slučajevima za određivanje karakterističnih veličina ili parametara koji mogu da se koriste za razikovanje i opisivanje materijala. Vrednosti tvrdoće daju recimo informaciju o mehaničkim osobinama (kao čvrstoća) materijala po niskoj ceni. U opšte, tehnička tvrdoća treba da se razume kao otpornost materijala prema prodiranju utiskivača načinjenog od tvrdog materijala.

Međutim, da bi se imala tehnički upotrebljiva vrednost tvrdoće, potrebno je dati tačan opis metoda ako bi neko hteo da upotrebi dobijene numeričke rezultate sa drugim. Međutim, ako numerička vrednost zavisi od metoda, potrebno je ispravan zaključak da tvrdoća u pitanju nije fizička veličina, već da ona mora da bude karakteristična veličina.

Prema tome, tvrdoća nije fudamentalna veličina materijala, već odziv materijala na izvesno opterećenje ili ispitni metod. Vrednost tvrdoće se zatim izračunava iz ovog odziva materijala na ovo specifično ispitivanje.

Ovo znači da se zavisno od metoda ispitivanja, određuju druge numeričke vrednosti koje su definisane ili karakterisane oblikom i materijalom utiskivača, kao i tipom i veličinom ispitnog opterećenja.

Različiti ispitni metodi mogu da se podele u dve klase u gruboj kvalifikaciji :

a) Statički metodi ispitivanja

U ovim metodama opterećenje je statično ili kvazi-statično. Vrednost tvrdoće se definiše pomoću stalno ispitnog utiskivača posle uklanjanja ispitnog opterećenja kao količnik ispitnog opterećenja i površine ili projekcije određenog utiskivača (Brinell, Vickers, Knoop). Kada se ispituje prema Rokvelu, tvrdoća se određuje korišćenjem permanentne dubine otiska tela uvedenog pomoću ispitnog opterećenja.

b) Dinamički ispitni metodi

Suprotno statičkim metodima, opterećenje se primenjuje bacajući telo (utiskivač) na površinu – tvrdoća se određuje gubitkom energije utiskivača.

## **2.2. Zašto se ispituje tvrdoća ?**

U proizvodnji i kompletiranju proizvoda, tvrdoća materijala ili komponenti se uglavnom ispituje iz dva razloga : prvo, da se definišu karakteristike novih materijala i drugo da se osigura kvalitet ispunjavanjem propisanih zahteva.

## **2.3. Kako se izvodi ispitivanje tvrdoće ?**

U slučaju konvencionalnih uređaja za merenje tvrdoće, kao što su Rokvel, Brinell ili Vickers, u principu je potrebno doneti objekt ispitivanja do uređaja. Pošto ovo nije uvek moguće iz praktičnih, ali pre sve geometrijskih razloga, proizvedeni su mali i prenosni instrumenti za ispitivanje tvrdoće koji omogućuju brzo ispitivanje komponente na terenu.

Različiti metodi se primenjuju u ovim slučajevima. Najuspešniji prenosni ispitivači tvrdoće su oni koji koriste UCI i odskočni metodi.

## **3. Mobilno ispitivanje tvrdoće na terenu**

### **3.1. Proveren UCI metod**

U slučaju metoda ultrazvučne kontaktne impedance (Ultrasonic Contact Impedance – UCI), tvrdoća materijala se određuje na bazi veličine ispitnog otiska zaostalog u materijalu od Vickersovog dijamanta posle primene tačno određenog otiska, slično kao kod ispitivanja tvrdoće po Vickersu. Za razliku od stacionarnih instrumenata, dijagonale otiska se ne određuju optički kod UCI metoda, već se veličina njegove površine indirektno meri elektronskim putem određivanjem promene ultrazvučne učestanosti.

UCI sonda se uglavnom sastoji od Vickersovog dijamanta učvršćenog na kraju metalne šipke (molimo videti Sliku 1.). Ovu oscilujuću šipku pobuđuju piezoelektrični kristali da osciluje u podužnom pravcu na rezonantnoj učestanosti oko 70 kHz. Ako se koristi definisano

opterećenje UCI sonde priloženo preko metalne opruge i ono deluje na ispitivani materijal, dolazi do promene rezonantne učestanosti. Ispitivanje tvrdoće metodom UCI je zasnovano na relaciji između promene frekvenice i tvrdoće ispitivanog materijala.

Promena frekvencije određena pomoću UCI sonde je proporcionalna kontaktnoj površini Vikersovog dijamanta sa ispitanim materijalom i shodno tome veličini ispitnog otiska stvorenog dijamantom pod ispitnim opterećenjem. Što je “mekši” ispitivani materijal, dijamant prodire dublje. Sa druge strane, velika kontaktna površina izaziva veliku promenu frekvencije. Različito od konvencionalnog Vikersovog metoda, dijagonale ispitnog otiska se ne određuju optički za vrednost tvrdoće posle uklanjanja opterećenja, već se veličina njegove površine elektronski detektuje za sekundu.

### **3.2. Standardizovan metod odskoka**

Kada se primenjuje metod odskoka (Libov metod), tvrdoća materijala se meri indirektno pomoću gubitka energije udarnog tela u momentu kada udara u ispitivani materijal. Udarno telo sa loptastim vrhom od karbida metala, se ubrzava silom opruge prema ispitnoj površini zadanom brzinom. Zbog udara i plastične deformacije površine metala, kinetička energija udarnog tela je smanjena, tako da je ono odbije nazad u suprotnom smeru i manjom brzinom. Brzine udara i odskoka mere se induktivno na beskontaktn način (molimo videti Sliku 2.).

Količnik indukovanog napona pre i posle udara, udgovara količnik brzina u prvoj aproksimaciji. Otuda sledi prema definiciji Libove tvrdoće

$$HL = (V_B / V_A) 1000$$

da je vrednost HL moguće odrediti na osnovu indukovanog napona izmerenog pre udara  $V_A$  i vrednosti određene posle udara  $V_B$ , uzimajući u obzir promenu znaka i faktor 1000.

Međutim, određivanje količnika brzina nije sasvim trivijalno ako se zahteva velika tačnost zato što ubrzanje usled gravitacije i trenja udarnog tela pri letu utiču na oblik krive indukovanog napona. Ova zavisnost od nagiba udarnog mehanizma, ili od ugla pod kojim se vrši merenje tvrdoće, iziskuje uvođenje korekcionih faktora, u odnosu na merače tvrdoće koji primenjuju odskočni metod, kako bi se kompenzovala gravitaciona sila i izbegle nepravilno izmerene vrednosti.

Ovi potencijalni uzroci grešaka se eliminišu patentiranim metodom koji je razvio AgfaNDT/Krautkrämer. Više nije potrebno ručno zadavanje korekcionih faktora za pravac, ugao nagiba udarnog mehanizma se automatski uzima u obzir.

Instrumenti koji ne zavise od pravca se reije DynaMIC i DynaPOCKET optimiziraju i takođe pojednostavljaju primenu odskočnog metoda. Eliminirane su potencijalne greške, dokumentovanje ispitnih rezultata prema direktivama ISO 9000 je znatno jednostavnije.

### **3.3. Ova metoda u praksi**

Dva različita metoda su primenjena u meračima tvrdoće MIC 10 i DynaMIC, (Slike 3. i 4.) koja imaju zajedniči instrumentalni koncept. Ovaj koncept je omogućio mnoge prednosti UCI metoda (MIC 10) da se primene na odskočni metod (DynaMIC).

Na primer, ispitivanje koje ne zavisi od pravca : Odskočni merač tvrdoće DynaMIC sam prepoznaje pravac udara pomoću patentirane obrade signala i automatski vrši korekciju: Laka i brza kalibracija koja je moguća pri UCI ispitivanjima, usvojena je i kod DynaMIC; standardne tabele za izvesne materijale su već zadane i instrument se može kalibrisati za bilo koji drugi materijal za tren oka.

Osim mogućnosti prikazivanja rezultata ispitivanja prema uobičajenim skalama tvrdoće (pretvaranje u druge skale) standardizacija odskočnog metoda (ASTM A 956-00) uglavnom je osigurala da se ovaj metod ispitivanja šire prihvati na terenu, naročito u slučaju odskočnih merača tvrdoće DynaMIC i DynaPOCKET.

## 4. Metod TIV (Gledanje kroz utiskivač)

### 4.1. TIV metod

TIV je prenosiv instrument<sup>2</sup> za optičko ispitivanje tvrdoće prema Vickersu pod ispitnim opterećenjem. Optički sistem uključujući CCD kameru omogućuje posmatranje “kroz dijamant” (Gledanje kroz utiskivač). Ovaj nov metod omogućava po prvi put direktno posmatranje procesa penetracije Vickersovog dijamanta u ispitivani materijal na ekranu.

Zahvaljujući optičkom metodu merenja, TIV tehnologija omogućava merenje tvrdoće različitih materijala bez dodatne kalibracije. Šta više, statička primena ispitnog opterećenja takođe omogućava merenja na tankim i malim objektima, kao i na prevlakama.

Čim se dotignu ispitno opterećenje, određuju se dužine dijagonala i otiska i pretvaranju tvrdoće prema definiciji koju je ostavio Vickers. Ovo ocenjivanje može da bude i ručno i automatizovano.

Tablice prema DIN 50150<sup>3</sup> i ASTM E 140 su unete i TIV instrument i mogu da se izaberu da bi se izmerene vrednosti pretvorile u druge skale.

Prikazivanje otiska ili Vickersovog dijamanta na ekranu omogućava da se odmah oceni i analizira kvalitet izmerene vrednosti, kao i da se diskretno utvrdi stanje utiskivača (Vickersov dijamant).

### 4.2. Primene

Zahvaljujući optičkom metodu merenja tvrdoće, TIV može da se primeni za otvaranje novih oblasti primene za mobilno merenje tvrdoće u kojima konvencionalni instrumenti ne bi mogli zasad da daju pouzdane rezultate.

“Gledanje kroz utiskivač” omogućava merenje tvrdoće:

- nezavisno od pravca,
- na različitim materijalima, bez ikakve kalibracije (nezavisno od materijala),
- na tankim i lakim komponentama,
- na elastičnim materijalima.

TIV je prvi mobilni merni instrument<sup>4</sup> koji ne određuje veličinu otiska Vickersovog dijamanta i konsekvantno indirektno tvrdoću materijala, već direktno: “Gledanje kroz utiskivač” znači da se istovremeno može pratiti povećavanje otiska Vickersovog dijamanta na površini ispitivanog objekta dok je primenjeno ispitno opterećenje. Ovo je omogućeno specijalnom kombinacijom optičkih sočiva uključujući CCD kameru koja digitalizuje sliku otiska. Čim se dostigne ispitno opterećenje, slika otiska ili dijamanta je preneti iz sonde u instrument i automatski vrednovana.

Koristi se poseban softver i kao prvi korak se određuju ivice otiska. Konačno, određuju se dužine dveju dijagonala otiska na osnovu presečnih tačaka na ivicama Vickersovog dijamanta (ugao ivice – krova 136<sup>0</sup>) prikazanih na ekranu. Srednja vrednost dužina dijagonala se zatim koristi za izračunavanje tvrdoće prema Vickersu. Automatsko ocenjivanje se ne samo brzo upoređuje sa konvencionalnim korišćenjem mernog mikroskopa, već se subjektivni efekti korisnika takođe isključuju, koji naročito dolaze do izražaja kod ručnog ocenjivanja Vickersovog otiska.

Slika 7. pokazuje rezultat merenja tvrdoće primenom metoda TIV. Jedino optička verifikacija oblika otiska dopušta pouzdane zaključke u pogledu kvaliteta merenja. Dovoljan je jedan pogled na ekran da se prepozna eventualan uticaj kvaliteta površine, mikrostrukture materijala ili drugih efekata.

---

<sup>2</sup> Prim. prevod.: U uvodu je TIV definisano kao metod (na slici 5 to je merač)

<sup>3</sup> Prim. prevod.: Trebao bi se navesti evropski umesto nacionalnog standarda

<sup>4</sup> Prim. prevod.: Isto kao pod 2

Osim automatskog merenja, instrument omogućava i ručno određivanje Vickersovog otiska. Ivice udubljenja se ručno podešavaju na povećanoj slici na ekranu. Dužine dijagonala se automatski ažuriraju i prikazuje se odgovarajuća vrednost tvrdoće na ekranu<sup>5</sup>. Slika Vickersovog dijamanta pruža dodatnu mogućnost neposredne kontrole stanja utiskivača. Bilo kakav efekt na utiskivaču, kao na primer, oštećenje ivica, se odmah identifikuje, tako da se na samom početku mogu izbeći pogrešna merenja.

Rezultati niza merenja mogu da se grafički predstavljaju kao kriva, ili u obliku tabele sa statističkim podacima (videti Slike 8. i 9.). Svi potrebni podaci, kao srednja vrednost, pojedinačna vrednost ili statistički podaci, daju se na ekranu ili se ažuriraju za vreme merenja.

## 5. Nove primene mobilnog merenja tvrdoće

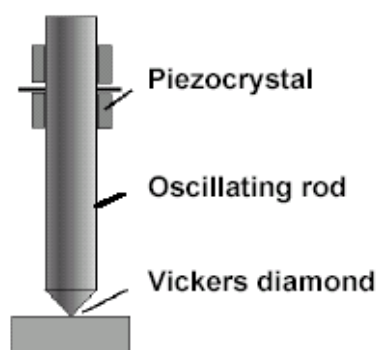
Glavno preimućstvo metoda gledanja kroz utiskivač (mobilno merenje tvrdoće prema Vickersu pod opterećenjem) potiču od statičke primene ispitnog opterećenja i neposrednog kao i automatskog dužina dijagonala otiska Vickersovog dijamanta :

- a) TIV omogućava mobilno i terensko merenje tvrdoće različitih materijala bez da treba izvoditi dodatna podešavanja i procedure kalibrisanja (videti Sliku 10.).
- b) Zahvaljujući primeni ispitivanja statističkim opterećenjem, TIV takođe omogućava merenja na tankim i malim komadima, kao što su na primer koturovi, trake i drugo.
- c) “Živa” slika otiska na slici na ekranu dopušta da se odmah analizira kvalitet merenja.
- d) TIV je opremljen automatskim određivanjem Vickersovog otiska, tj. dužina dijagonala određuje se direktno i automatski.
- e) Slika ivica dijamanta na ekranu omogućava direktnu kontrolu stanja utiskivača.

TIV dopušta otvaranje različitih novih polja primene, koje nisu bile dostupne za mobilne merače tvrdoće.

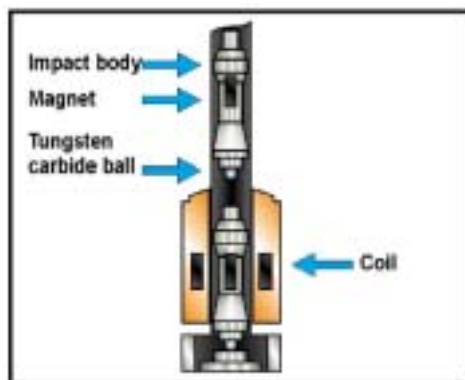
Merenja tvrdoće, ne samo što su nezavisna od mernog mesta i pravca, već i od materijala ispitnog objekta i mase ili geometrije.

## DODATAK



Slika 1. Shematska struktura UCI sonde.

<sup>5</sup> Prim. prevod.: Na ekranu se osim toga može očitati i dubina otiska



Slika 2. Shematska struktura udarnog mehanizma.



Slika 3. Ispitivanje tvrdoće pomoću UCI instrumenta (MIC 10) na zupčaniku pogonskog vratila.



Slika 4. Ispitivanje tvrdoće pomoću odskočnog merača (DynaMIC) na pogonskom točku hidrauličkog ekskavatora).

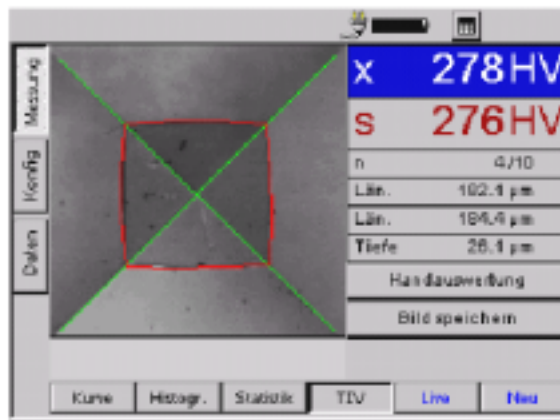


Slika 5. Ispitivač tvrdoće TIV.

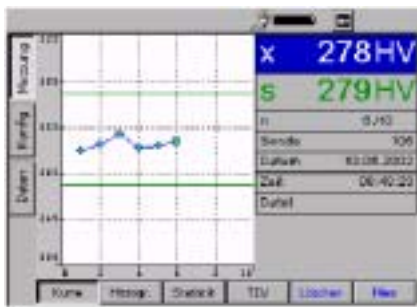




Slika 6. Praktična primena.



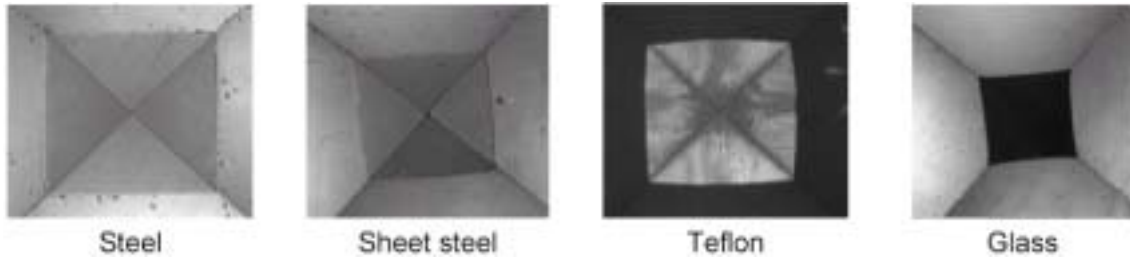
Slika 7. Merenje tvrdoće primenom TIV. Otisak Vikersovog dijamanta je prikazan na ekranu i automatski se ocenjuje.



Slika 8. Grafički prikaz ispitnih rezultata u vidu krive.



Slika 9. Tabelarni prikaz ispitnih rezultata uključujući statističke podatke, kao na primer opseg, standardno odstupanje i minimum ili maksimum.



Slika 10. Merenje tvrdoće različitih materijala pomoću metoda TIV



## TEHNIKE DETEKCIJE I ODREĐIVANJA VELIČINE PRSLINA PO UNUTRAŠNJEM PREČNIKU

Dragan Karišić, tehn.

### Rezime

*Upadnim uglom u materijal ispod prve totalne refleksije, generišu se i egzistiraju sve tri vrste talasa istovremeno. Radom se prezentuje razrada i praktična primena tehnike detekcije i određivanja veličine prslina na unutrašnjoj strani zida.*

### Ključne reči:

ispitivanje ultrazvukom, tehnika ID puzećih talasa, prslina na unutrašnjem prečniku, Određivanje veličine

## DETECTION AND SIZING TECHNIQUES OF ID CONNECTED CRACKING

### Abstract

*Incident angle in material under first totally reflection, generation and exist all three types wave at one time. In the paper are presented elaboration and practical use of detection and sizing techniques of ID connected cracking.*

### Key words:

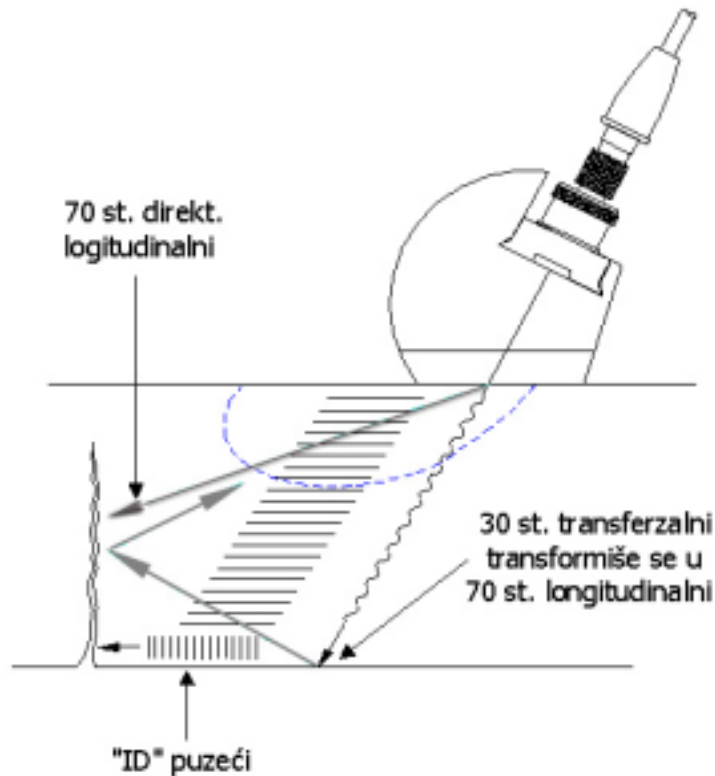
Ultrasonic testing, Tehnika ID Creeping Wave, Cracks inner surface, Defining size

### UVOD

Ova tehnika daje osnovu za detekciju, karakterizaciju i procenu veličine prslina (naponske korozije, interkristalne i zamorne) bilo da su tehnološkog ili eksploatacionog porekla, a locirane su na unutrašnjem prečniku ("ID"=Inner-Diameter).

Sumnja u postojanje prslina otkrivene opštom instrukcijom, podrazumeva njenu kvalifikaciju. Bliža procena signala amplitude, skopčana je sa dodatnom analizom oblika, opadanja i dinamike ehoa. Neophodno je razlikovati prisustvo sumnjivih signala geometrije donje površine, zareza, korena, od jedne stvarne greške – prslina.

Druga metoda koja može biti iskorišćena za bliže određivanje postupka uključuje upotrebu pretvarača ID puzećih talasa. Ova tehnika je popularna zato što je jednostavna i zato što može dati preliminarni odgovor o veličini detektovane greške.



## PRINCIP

Pretvarač za ispitivanje tehnikom ID puzećih talasa priređen je tako da upadni ugao snopa od  $30^0$  (ispod prve totalne refleksije) omogući postojanje i stvaranje novih modova talasa. U zavisnosti od propagacije greške na unutrašnjoj površini ispitivanog materijala, menjaće se i uslovi za refleksiju svake komponente. Razlika u vremenu prispeća omogućiće prepoznavanje tipa signala i dati preliminarnu procenu veličine reflektora.

Prikaz A-slike će sadržati jedan od tri različita oblika:

- **Direktni longitudinalni talas**

Nastao kao prateća komponenta na granici medija pleksi/čelik. Uočljiv je samo onda kada je prslina veoma duboka

- **Smičući talas (30-70-70)**

Osnovna komponenta–transferzalni talas, pod upadnim uglom od  $30^0$ , odbija se od unutrašnjeg zida i transformiše u longitudinalni pod uglom od  $70^0$ , koji se ponovo, pod istim uglom, odbija od površine reflektora i vraća u pretvarač. Sinonim za ovaj mod trostrukog puta je “30-70-70”. Ovaj signal će biti prisutan kada su u pitanju prsline dubine poluzida.

- **ID puzeći talas**

Ovaj tip talasa je u suštini podpovršinski longitudinalni talas koji se prostire po unutrašnjoj površini ispitivanog materijala. Signal ID puzećeg talasa biće intenzivan i uočen kao potvrda prisustva greške na strani donjeg zida.

## KALIBRACIJA

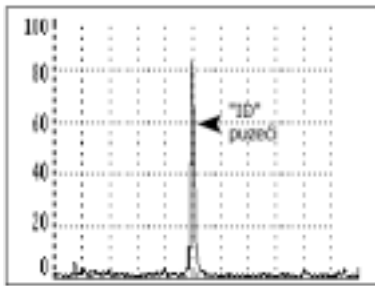
Relativno laka primena tehnike puzećih talasa može se pripisati činjenici da su kalibracija i ocena signala u najvećem stepenu zasnovani na prostom konceptu prepoznavanja modela uzorka. Načelno, signali koji se stvaraju pomoću tri vrste talasa biće ili ne, prisutni na displeju A-slike, zavisno od prirode i geometrije reflektora.

Kalibracija se izvodi pozicioniranjem ehoa dva od tri talasa; ID puzećeg talasa sa unutrašnje strane zida i signala povratnog transformisanog talasa “30-70-70”. Preporučuje se da se kalibracija izvede na kalibracionom bloku iste debljine, geometrije i identičnih akustičkih svojstava kao i ispitivani materijal. U cilju aproksimacije prslina koje se očekuju pri ispitivanju, moraju se na kalibracionom bloku izrezati zarezi u opsegu 20-80% dubine zida. Strana bloka koja se koristi za kalibraciju mora biti u mogućnosti da proizvede indikacije nastale od sve tri vrste talasa. Razlika u vremenu prispeća svakog signala biće ista na referentnom bloku i ispitnom materijalu, kada su oni jednake debljine (i naravno jednake brzine). Pri kalibraciji signal reflektovanog talasa “30-70-70” pozicionira se na 40. podelku, a signal puzećeg talasa na 50. podelku skale ekrana.

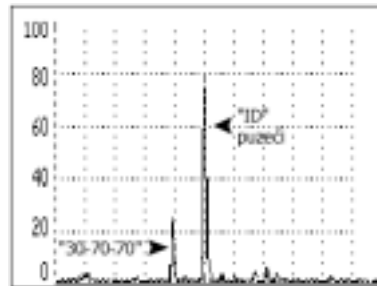
Kada se jednom ovaj odnos ustanovi, proces detekcije i razlikovanje signala, korišćenjem sonde ID puzećeg talasa, može da počne. Zbog relativno visokog nivoa energije zadržanog u modelu ID puzećeg talasa i činjenici da se prostire relativno zatvoreno prema unutrašnjoj površini, on je izuzetno osetljiv na prsline po unutrašnjem prečniku. Međutim zato što nije stvarni površinski talas i ne prati geometriju površine, biće manje osetljiv na reflektore kao što je koren šava koji daje ostru indikaciju pri primeni pretvarača sa smičućim talasima.

Pretvarač sa ID puzećim talasom takođe omogućava korisniku da dobije preliminarnu informaciju o veličini (dubini) indikacije, jer se svaka vrsta talasa može pojaviti samo pod određenim uslovom. Relativna dubina reflektora će diktirati koje će tipove signala primiti pretvarač.

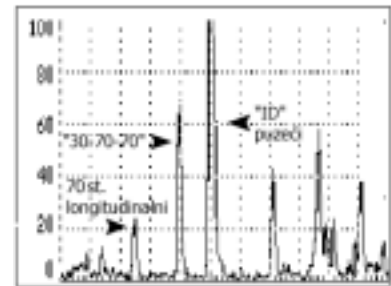
Prikaz oblika ehografa u A-slici za osnovne slučajeve u zavisnosti od dubine prsline:



*signal ID puzećeg talasa sa unutrašnjeg zida. Indikacija: prisustvo plitke (površinske) greške.*



*signali ID puzećeg i dvostruko odbijenog talasa “30-70-70”. Indikacija: prslina na poludubini zida.*



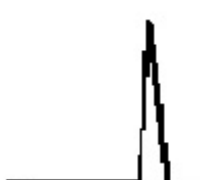

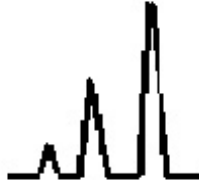
*sva tri signala: ID puzeći, dvostruko odbijeni “30-70-70” i direktni longitudinalni. Indikacija: duboka prslina.*

Kao i kod drugih ultrazvučnih tehnika i ovde postoje ograničenja. Signali odbijeni od tri vrste talasa mogu imati različite amplitude čiji međusobni odnos zavisi od frekvence pretvarača, karakteristika opadanja, veličine elementa i debljine ispitivanog materijala. Šta više tip ispitivanog metala ili geometrije površine spoljnjeg prečnika mogu izmeniti upadni ugao i time menjati odnos amplituda ehoa.

## TEHNIKE ODREĐIVANJA VELIČINE-SKICA TOKA

Moguća promenljivost je takođe razlog što se ova tehnika smatra kvalitativnom. Međusobni odnos ehoa daje dobre indikacije za približnu dubinu greške, ali se za verifikaciju dubine reflektora, moraju koristiti naredne tehnike određivanja veličine.

Rezultati dobijeni korišćenjem tehnike ID puzećih talasa mogu se zbirno prikazati na skicama toka određivanja veličine. Korisne su za usmeravanje kontrolora u korektnom korišćenju tehnika tokom određivanja faza kontrolisanja.

	Procena ID puzećeg talasa		
IZGLED SIGNALA			
ANALIZA SIGNALA	<i>plitka greška</i>	<i>greška srednje dub.</i>	<i>duboka greška</i>
PRIMARNA TEHNIKA ODREĐIVANJA VELIČINE	difrakcije	bimodalna	podužnog L-talasa

### Tehnika difrakcije

Ova metoda se koristi za određivanje dubine plitkih prslina, približno 5-35% debljine zida. Kod ove metode, koristi se vreme prispeća signala sa vrha prsline. Radi uprošćavanja ovog procesa, instrument se kalibriše tako da svaki podelak na skali ekrana odgovara pojedinoj dubini greške. Obično se biraju tako da prvih 50 podeoka predstavljaju 20% debljine materijala. Selekcijom signala od donjeg zida i signala ugaone refleksije moguće je vrlo tačno utvrditi dubinu prsline.

U cilju obezbeđenja dobre rezolucije signala sa vrha prsline obično se koriste pretvarači smičućeg talasa pod uglom od 45<sup>0</sup> ili 60<sup>0</sup> i 5MHz. Korišćenjem RF (radio-frekventnog) moda displeja lakše se očitava signal sa vrha prsline za slučaj lošijeg odnosa signal-šum.

### Bimodelna tehnika

Ova metoda se koristi za određivanje prslina u opsegu približno 30-70% debljine zida. Obično se koristi dvojni element 3MHz–tandem pretvarač. Ova sonda emituje ispravljeni podužni talas pod 50<sup>0</sup> i odgovarajući smičući talas sa fronta kristala, a prima vrste talasa zadnjom stranom kristala.

Za kalibraciju i upotrebu ovog pretvarača, osnova je kombinacija tehnika difrakcije na vrhu i puzećeg talasa. Kao i kod tehnike difrakcije na vrhu, uređaj se kalibriše tako da signal sa vrha prsline pristiže na odgovarajući podeok ekrana.

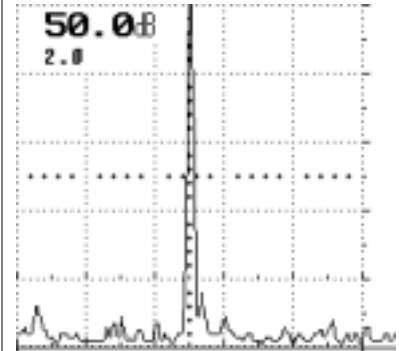
### Tehnika podužnog talasa

Koristi se za određivanje veličine prslina opsega dubine približno 60-95% debljine zida. Metoda takođe koristi signal prispeća od vrha prsline kao indikaciju dubine. Signali sa prsline koje su locirane blizu površine kalibrišu se u nekoliko prvih polja dok se dublje indikacije kalibrišu prema daljim poljima. Na taj način indikacije pokazuju udeo dobrog materijala koji je ostao u ispitivanom uzorku, a ne stvarnu dubinu prsline. Za ovu tehniku preporučena je upotreba pretvarača podužnih talasa pod velikim uglom.

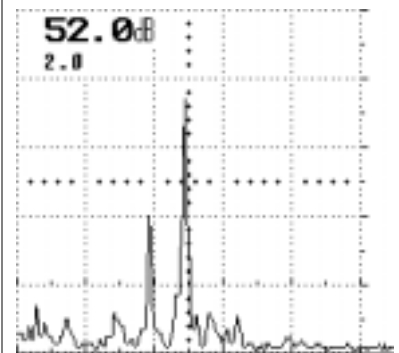
## PRAKTIČNA PRIMENA TEHNIKE

Ova tehnika primenjena je pri ispitivanju bandažnih prstenova na centrifugi u prehrambenoj industriji. Cilj ispitivanja sastojao se u kategorizaciji već detektovanih prslina na unutrašnjem prečniku prstenova, i ocene zastupljenosti prslina izražene dubine (do poluzida).

*Za ispitivanje ovom tehnikom korišćen je ultrazvučni uređaj Krautkramer USM25S, sonda MB2/4MHz sa priređenim nastavkom pleksi klina. Izrađen je kalibracioni blok za zarezima. Ehografi su obrađeni programom Ultra Doc*



*Postignuta je zadovoljavajuća osetljivost detekcije. Ehoi su prihvatljivi i lako uočljivi. Na uzorku prstena (deblj.40 mm) potvrđena je indikacija prslina na unutrašnjem zidu, dubine 6mm.*



## ZAKLJUČAK

Najznačajniji aspekt ovih tehnika je njihova jednostavnost. Ponašanje zvučnog snopa je poznato, tako da proces detekcije i određivanje veličine defekata vezanih za unutrašnji prečnik postaju deo kalibracije i prepoznavanja uzorka modela. Dodatno, tehnike određivanja veličine su bitno tačnije jer su zasnovane na vremenu prispeća ehoa, dok su tradicionalne tehnike koje koriste signal amplitude, izložene velikoj dilemi zbog promenljivosti uslova spajanja-kontakta. Uticaj ovih promenljivih se smanjuje ili eliminiše korišćenjem tehnika zasnovanih na proticanju vremena.

### Literatura:

Russ Minkwitz, "Detection and sizing techniques of ID connected cracing"  
Panametrics NDT Division, 1985.



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**



## FREKVENCIJA PONAVLJANJA I "FANTOM EHO"

Dragan Karišić

### Rezime:

Signal "fantom eho" (zakasnele refleksije) je posledica neoptimizovane frekvencije ponavljanja (PRF) u odnosu na područje ispitivanja. Radom je predstavljen slučaj ove pojave u praksi, uz uporedni pregled ove funkcije kod ultrazvučnih uređaja serije USN/USM (Krautkramer)

### Ključne reči:

ispitivanje ultrazvukom, frekvencija ponavljanja (PRF), fantom eho, optimizovana frekvencija

## PULSE REPETITION FREQUENCY (PRF) AND "PHANTOM ECHO"

### Abstract:

Phantom echo signal (late reflection signal) is consequence of non optimized repetition frequency (PRF) related to testing range. The article represents this phenomenon in practice, with comparative view of this function with USN/USM series of ultrasonic equipment manufactured by Krautkramer.

### Key words:

Ultrasonic testing, Repetition frequency (PRF), Phantom echo, Optimized frequency

### UVOD

Pri ispitivanju ultrazvukom slika na displeju uređaja često biva praćena signalima (ehoima) koji ne potiču od refleksije grešaka u ispitivanom uzorku. Takve signale nazivamo lažnim indikacijama. "Fantom eho" je jedan od njih.

Razlog za podsećanje na ovaj fenomen, karakterističnim primerom za lažnu indikaciju, ogleda se u činjenicama:

- Ova pojava, iako poznata, u praksi je relativno retka, pa su previdi i pogrešna interpretacija pri ispitivanju mogući,
- Pojava fantom eho u velikoj meri zavisi od izabrane frekvencije ponavljanja, dakle, funkcije ultrazvučnih uređaja,
- Relativno ograničena mogućnost primene ispitivanja ultrazvukom raznovrsne složenosti, uslovljena ukupnim stanjem okruženja, negativno je uticala na razvoj i nivo saznanja iz ove oblasti na nove generacije kadrova u IBR.

## FREKVENCIJA PONAVLJANJA (PRF)

Prema definiciji frekvencija (učestanost) ponavljanja predstavlja broj inicijalnih impulsa u jedinici vremena. Razlikujemo dve osnovne vrste frekvencije:

- **frekvencija pretvarača (f)**, koja se odnosi na broj impulsa pretvarača, pobuđenih da proizvedu impuls akustične energije. Izborom odgovarajuće sonde–pretvarača utiče se na karakteristike snopa (talasna dužina, bliže područje, fokus, divergencija) i
- **frekvencija ponavljanja -PRF** (pulse repetition frequency) koja predstavlja broj inicijalnih impulsa koje proizvede pobuđivač ultrazvučnog uređaja.

Funkcija regulatora frekvencije ponavljanja je kod ultrazvučnih uređaja rešena je kao:

- a) **Povezana frekvencija ponavljanja**, kada uređaj automatski povezuje frekvenciju ponavljanja sa izborom ispitnog područja,
- b) **Slobodni izbor frekvencije ponavljanja**, pružajući mogućnost individualne kombinacije frekvencije ponavljanja / ispitno područje. Neoptimizovanost ovog odnosa na može rezultirati nedovoljnom **gustinom ispitivanja** i mogućnošću pojave **fantom eho**. U oba slučaja moguća je pogrešna interpretacija A-slike.

### Gustina ispitivanja

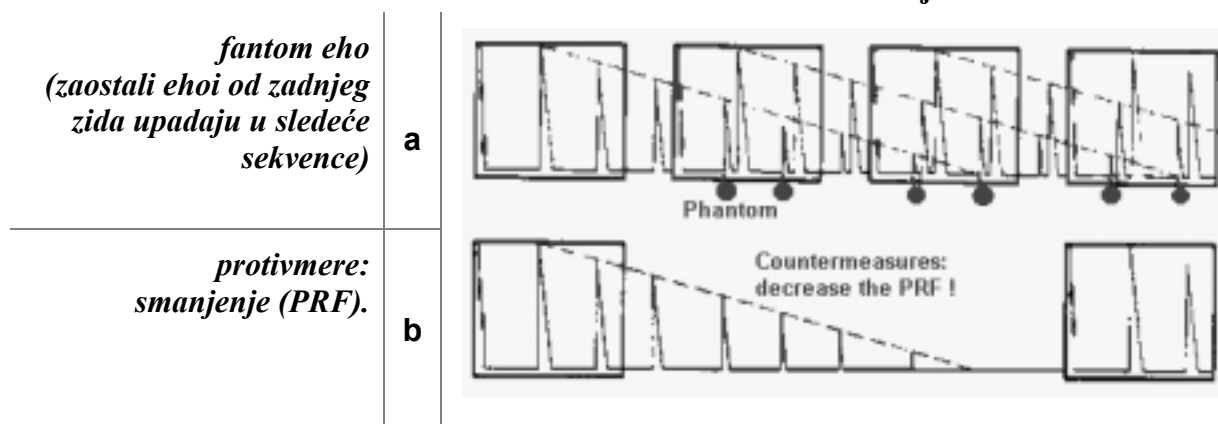
Gustina ispitivanja je faktor u ultrazvučnom ispitivanju kojim se obezbeđuje da se objekat ispitivanja potpuno i ravnomerno pokrije zvučnim snopom sonde. Pri skeniranju objekta sondom uniformnom brzinom kretanja, ispitna gustina će biti mala pri maloj frekvenciji ponavljanja, a odgovarajuće velika pri većim frekvencijama ponavljanja. Kompletno ispitivanje zahteva odgovarajuće visoku frekvenciju ponavljanja pri zadatoj brzini ispitivanja i odgovarajuće malu ispitnu brzinu pri zadatoj sekvenci impulsa.

### Fantom eho

Eho koji nastaje iz emitovanog talasa, stvorenog u prethodnom ciklusu, vezan je za korišćenje vrlo visoke frekvencije ponavljanja impulsa. Može se zapaziti tokom ultrazvučnog ispitivanja i prepoznaje se kao indikacija dodatnog ehoa koji ne može biti koordiniran i/ili biti povećanje nivoa šuma. On se uglavnom javlja pri pretraživanju glavnim snopom i sa malim slabljenjem zvuka, odnosno u materijalima dobre ultrazvučne provodljivosti. Takođe se javlja na malim objektima ispitivanja sa niskom frekvencijom.

Dovoljno je frekvenciju smanjiti za 1/3 prvobitne vrednosti i interval između dve sukcesivne sekvence će biti dovoljno veliki da fantom eho izčezne (ili bar promeni svoj položaj).


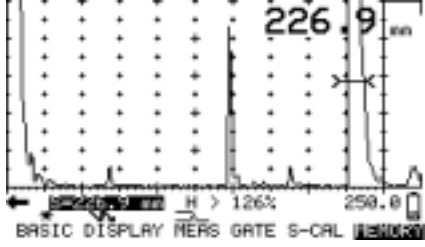
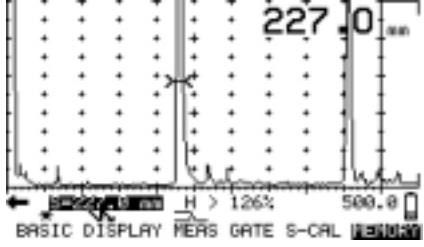
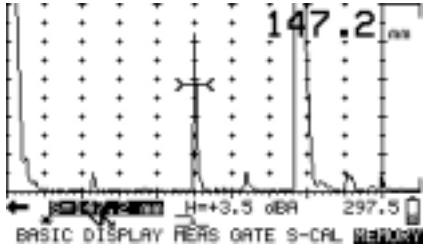
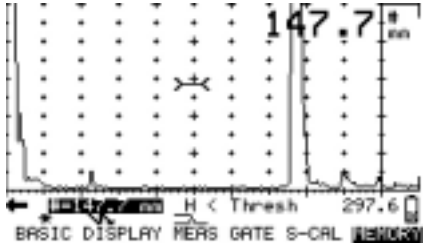
### Fantom indikacija



## FANTOM EHO U PRAKSI

Prikazan je primer pojave fantom ehoa pri ispitivanju vijaka kućišta regulacionih ventila, koji imaju tretman pozicija redovnog ispitivanja pri remontu turbina na termoelektranama. Kontrola se izvodi u montiranom stanju u cilju otkrivanja inicijala radijalnih prslina u zoni kritičnog preseka na granici stabla i navoja, a koje se javljaju kao posledica dinamičkog naprezanja.

Posledica zaključka o postojanju indikacija prslina je prevremena demontaža i zamena vijaka.

<p>Vijak kućišta regulacionog ventila, dimenzije <math>\phi</math> 48x227mm. Materijal 20XHF</p>  <p>Vijci ispitani uređajem USN 50 – Krautkramer, i sondom B4S.</p>	 <p><i>Uređaj je kalibrisan na 250 mm. Pređeni put do donjeg zida=226.9 mm. Uočava se eho indikacije greške u kritičnoj zoni vijaka.</i></p>	 <p><i>Uređaj je kalibrisan na 500 mm. Vidljivi su ehoi zadnjeg zida, prvi i ponovljeni. Nema indikacije greške.</i></p>
	 <p><i>Ispitno područje=297.5 mm. Prvi stepen PRF. Pojava fantom ehoa na 147.2 mm</i></p>	 <p><i>Ispitnoo područje=297.6 mm. Drugi stepen PRF. Nema fantom ehoa.</i></p>

Ehografi su prikaz A-slike pri ispitivanju homogenosti vijaka. Čeono-aksijalno prozvučavanje tela vijka izvršeno je pri identičnim uslovima pojačanja. Pri ispitnom području od 250 mm, automatskom regulacijom frekvencije ponavljanja i akustičkim svojstvima ispitivanog uzorka, stvorili su se uslovi za pojavu lažne indikacije (na 147.2 mm). Promenom ispitnog područja, iznad  $\approx 300$  mm (tačnije 297.5/297.6 mm) aktivira se naredni stepen automatskog povezivanja PRF sa izborom ispitnog područja. Vrednost frekvencije ponavljanja je smanjena što je rezultiralo da lažna indikacija greške – **fantom eho** nestane sa prikaza na displeju uređaja.

Uputno je da se pri ispitivanju materijala slične geometrije, karakteristika i ispitnog područja, a pre konačnog zaključka o postojanju greške, ispitivanje dopuni na sledeći način:

- potvrditi indikaciju na većem ispitnom području (višestrukom na pr.),
- proveriti podudarnost položaja signala prozvučavanjem sa suprotne strane uzorka (fantom eho će se pojaviti na istom podelku skale)
- ponoviti prozvučavanje pretvaračem različite (manje) frekvencije.

## FUNKCIJA PRF KOD UREĐAJA

Tabelom su prikazani kataloški podaci, vrednosti i način selektovanja, funkcije PRF kod ultrazvučnih uređaja serije **USN 50/52** i **USM 22/25** – **Krautkramer**, koji su poslednjih godina aktuelni na našem tržištu.

<i>tip uređaja</i> ▶ ▼ <i>funkcija</i>	<i>USN 50L/R</i>	<i>USN 52L/R</i>	<i>USM 22B/22F</i>	<i>USM 25</i> <i>/25DAC/25S</i>
<b>frekvencija ponavljanja (PRF)</b>	905 Hz maksimalno, kontrolisana automatski, izborom ispitnog područja	Selektivna, Niska i Visoka; promenljiva u odnosu na ispitno područje	400 Hz	promenljiva u 10 koraka: approx. 100-1000 Hz do 1.5m, čelik approx. 4-40 Hz iznad 1.5m čelik

Iz tabele se vidi da prva tri tipa uređaja ne poseduju mogućnost slobodnog izbora frekvencije ponavljanja (PRF), već je izbor automatski prema izabranom ispitnom području. Mogućnost individualnog izbora ugrađena je kod modela serije USM 25. Uređaji više klase (n.pr. USIP12) poseduju indikatore upozorenja zasićenosti mernog područja i moguće pojave fantom ehoa.

## ZAKLJUČAK

Razvoj elektronike i digitalizacije proizveo je, za naše prilike i uslove, čestu smenu modela ultrazvučnih uređaja. Nemogućnost praćenja i nabavke relativno skupih uređaja nove generacije je svakako hendikep za metodu i za IBR uopšte. Sa druge strane, proizvođači se trude da dostignuća i novine na planu elektronike što pre ugrade u svoje uređaje i ponude ih tržištu. Otuda pojava brojnih modela, koji se u osnovi razlikuju ugrađenom "dodatnom opremom". Jedna od tih funkcija je i regulator frekvencije ponavljanja (PRF).

Međutim, uspešnost u radu ovom metodom bazira na poznavanju svih relevantnih činioaca iz oblasti ultrazvuka. Fizika prostiranja ultrazvuka je nepromenjena, pa se, kada su uređaji u pitanju, može zaključiti da je svaki uređaj dobar i pouzdan, ako se zna šta se njim (ne)može.

Konačno, primenom i nadgradnjom predhodnih saznanja i iskustava, se takođe može uticati na kvalitet i pouzdanost ispitivanja ultrazvukom.

## Literatura:

- [www.ndt.net](http://www.ndt.net)  
Nondestructive Testing Encyclopedia,  
ultrasonic testing
- [www.Krautkramer.com](http://www.Krautkramer.com)  
ultrasonic flaw detectors-data sheet



## AUTOMATIZOVANO I RUČNO ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE ŽELEZNIČKOG MATERIJALA ZA PERMANENTNU UPOTREBU I ODRŽAVANJE

Udo Schlengermann, Gerhard Schmitz i Peter Speier  
AgfaNDT GmbH

### Rezime

*Sistem točak – šina zahteva pouzdanu kooperaciju šine, pokretnih delova i vozila. Ovo je razlog što delovi odgovorni za sigurnost treba da se ispituju metodama bez razaranja ( IBR ) u proizvodnji, ali i u toku održavanja.*

*Metod ispitivanja ultrazvukom je idealna tehnika inspekcije masivnih komponenti. Ovo se posebno primenjuje na šine i parove točkova; oni moraju da nose opterećenje koje se transportuje i da drže vozilo na pruzi, tako da prenose sile pogona i kočenja.*

*Zbog činjenice da ovi elementi samo zajedno funkcionišu, svaki kvar izazvaće veće oštećenje. Otuda, ispitivanje mora da bude efikasno i potpuno u toku celog radnog veka, od proizvodnje do kraja eksploatacije.*

*Zbog relativno krute veze šine i pogonskog točka, odnosno kočionog diska, bilo kakve nepravilnosti koje mogu da se dese u nekoj komponenti, brzo će uticati na ostale.*

*Osiguranje kvaliteta u održavanju zahteva kompatibilnost podataka uzastopnih periodičnih ispitivanja. Računarom podržano ispitivanje može da pomogne u upravljanju rezultatima ispitivanja.*

*U budućnosti ispitivanja u funkciji održavanja železničke opreme vršiće vlasnici, proizvođači ili posebna preduzeća za tu svrhu. Ove potrebe ujedinile su međunarodna pravila za ispitivanja u toku rada.*

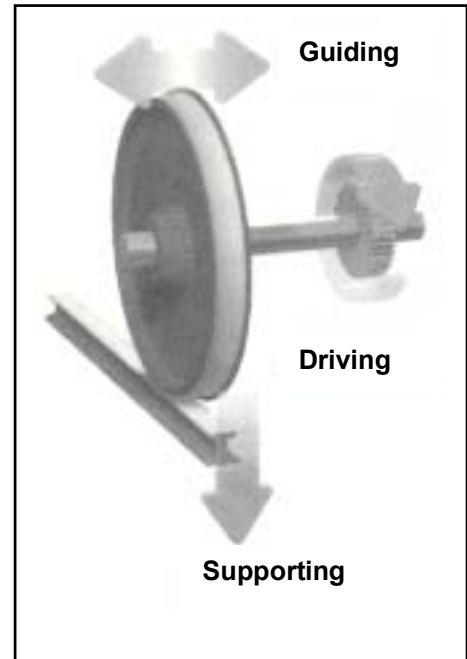
## 1. Uvod

Sistem točak – šina zahteva pouzdanu kooperaciju šine, pokretnih delova i vozila. Ovo je razlog što delovi odgovorni za sigurnost treba da se podvrgnu IBR u proizvodnji, ali i u toku održavanja.

Metod ispitivanja ultrazvukom je idealna tehnika za inspekciju masivnih komponenti. Ovo se naročito primenjuje na šine i parove točkova; oni moraju da nose opterećenje koje treba da se transportuje i moraju da drže vozilo na pruzi, kao i da prenose pogonske sile i sile kočenja (Slika 1).

Usled činjenice da ovi elementi samo zajedno funkcionišu, svi otkazi vodiće većem oštećenju. Otuda, ispitivanje mora da bude efikasno i potpuno u toku celog radnog veka, od proizvodnje do kraja aktivnog rada.

Zbog relativno čvrste veze šine i pogonskog točka, odnosno kočionog diska, bilo kakve nepravilnosti koje mogu da se dogode u komponenti brzo će se odraziti na ostale.



Slika 1. Sistem šina & točak.

## 2. Ispitivanje novih šina

Činjenica je da je ručno ispitivanje nesporno kada se šine ispituju na unutrašnje nepravilnosti. Automatski uređaji ispituju nove šine i to glavu, telo (ploču) i stopalo. Kontakt se tada može uspostaviti ili posredstvom mlaza vode, kao što je pokazano na Slici 2, ili direktnim kontaktom, prema Slici 3. Postoje međunarodni standardi za ispitivanje novih šina koji propisuju otkrivanje definisanih ispitnih reflektora. Višekanalni ispitni uređaji ili fazni raspored sondi se koriste zavisno od broja ispitnih reflektora. Slika 4 pokazuje višekanalno ocenjivanje.



Slika 2. Ispitivanje šine – spajanje mlazom vode.

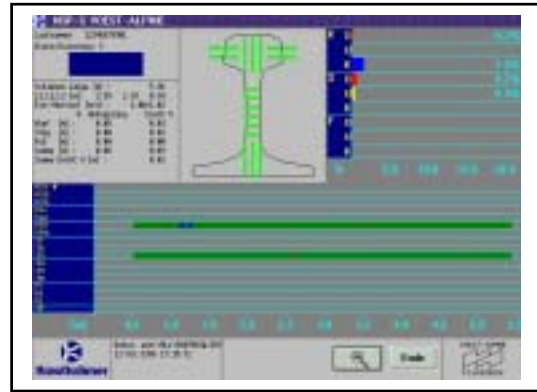


Slika 3. Direktan kontakt.

### 3. Ispitivanje novih točkova

Većina od bezbroj nacionalnih železničkih kompanija dovela je do mnogo vrsta točkova za železnicu. To je razlog što proizvođači točkova traže automatizovan uređaj koji se može brzo prilagoditi promenljivim specifikacijama. Slika 5 pokazuje ispitivanje monoblok točkova pomoću faznog rasporeda sonde.

Ispitivanje se vrši prema različitim specifikacijama, kao prema UIC specifikacijama, ISO standardima ili specifikacijama Američkih železnica.



Slika 4. Višekanalna dokumentacija.

### 4. Ispitivanje železničkih šina

Glavne pruge, budući da imaju veliko habanje šina, ispituju se ultrazvukom pomoću voza za ispitivanje. Sa druge strane, ispitivač šina SPG se koristi za ručno ispitivanje manjeg obima posla i na određenim mestima. Slike 6 i 7 pokazuju novi SPG 2, projektovan prema specifikacijama Nemačkih železnica AG, koji je poboljšana verzija uspešnog ispitivača šina SPG 80.



Slika 5. Ispitivanje novih monoblok točkova.

Stabilan okvir od čeličnih cevi je skraćen i načinjen lakšim. Nosači sonde su izrađeni od aluminijuma, da bi se smanjila težina. Oba nosača sonde sada se kreću sa ručkama koje ih vuku.



Slika 6. (gore) SPG 2 – Ovešanje sonde sa normalnim i sa snopom pod uglom.

Slika 7. (levo) Ispitivač šina SPG 2 sa ultrazvučnim detektorom USM25.

Novi, svestrano podesivi držači instrumenta, koji mogu da se postave u bilo koju poziciju, su razvijeni za digitalne ultrazvučne defektoskope USM 25. Poboljšani su i dovodi vode za kontakt. Fina regulacija protoka vode omogućava da se on brzo prekine ili uključi.

Svi delovi (sekcije) šine i komponente na određenim mestima mogu da se ispituju prema Direktivama Ril 907.0501 Nemačkih železnica AG pomoću SPG 2.

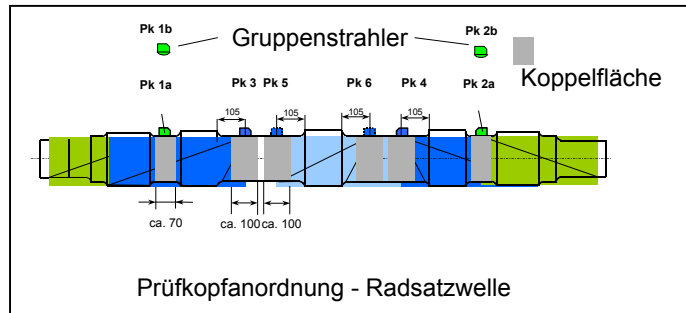
## 5. Ispitivanje točkova u paru u toku održavanja

Zbog velikog broja ispitivanih objekata, preporučuje se automatizovana tehnika ispitivanja osovina između para točkova i samih točkova. Slika 8 pokazuje shematski dijagram rasporeda sonde u ispitnom uređaju koji smo razvili zajedno sa BAM, Berlin, za Nemačke železnice AG.

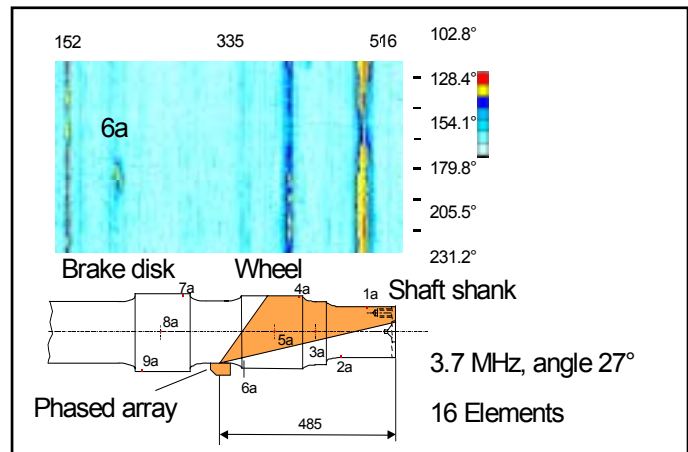
On koristi fazno uređene sisteme za obrtanje zvučnog snopa u ležištu (sedištu) točka i trupu osovine, kao i ugaone sonde sa nepromenljivim upadnim uglom za ispitivanje ležišta kočioničkih diskova.

A-slike dobijene u toku rotacije osovine se pretvaraju u B-sliku. Vreme preleta (ultrazvuka) u horizontalnom položaju, odnosno udaljenost od sonde se nanosi u pravcu ose, a položaj po obimu osovine (u stepenima) normalno na taj pravac.

Visina eha je označena bojom. Horizontalne neprekidne indikacije od izbočina (kolena) osovine, mogu da se prepoznaju kao i izolovane indikacije probnog relektora broj 6a.



Slika 8. Automatsko ispitivanje osovine između točkova sa fazno raspoređenim i ugaonim sondama.



Slika 9. B-slika od ispitivanja ležišta točka i nosećeg ležišta pomoću fazno raspoređenih sonde.

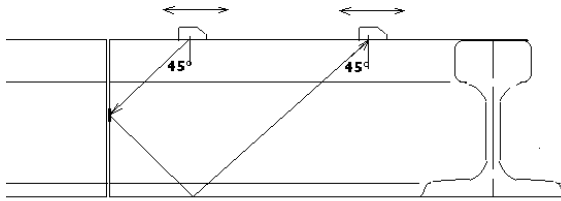
## 6. Ultrazvučno ispitivanje nedostatka spajanja u spojevima zavarenim u polju

Šine u pruzi su spojene bočno različitim vrstama zavarenih spojeva. U opštem slučaju, zazor od oko 25 mm ispunjava se zavarivačkim materijalom. Posle hlađenja struktura dodatnog materijala odgovara strukturi liva sa svim ograničenjima u pogledu mogućnosti ispitivanja ultrazvučnim talasima.

Ovde se za spojeve zahteva tehnika individualnog ispitivanja, koja se razlikuje od normalnog ispitivanja šina pomoću ispitivača šina SPG.



Najčešće, i za sigurnost najkritičnije nepravilnosti u zavarenim spojevima su nedostatak vezivanja, naročito u zonama velikih napona glave i stopala šine. Zbog činjenice da je nedostatak vezivanja normalan na gazeću površinu, preporučuje se, da se za detekciju primeni tandem tehnika sa ugaonim sondama. Kalibracija treba da se vrši na probnim greškama (rupa sa ravim dnom prečnika 5 mm ).



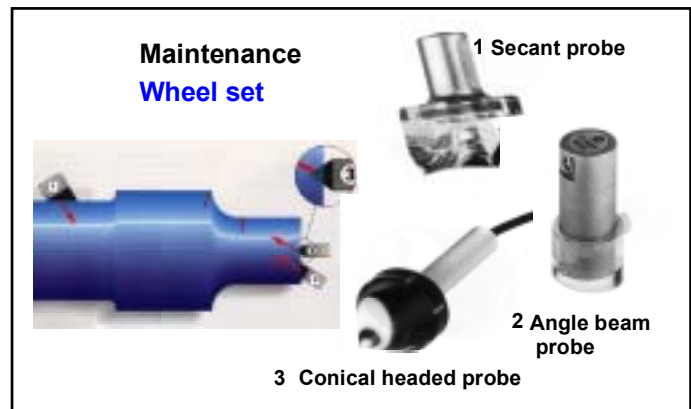
*2 Angle-beam probes, WB / SWB with 45 ° / 70 ° , in tandem configuration, positioned in a STH. The probes are moved horizontally on top of the rail*



Naravno, uprave za železnice imaju mnoge druge čelične konstrukcije, čija sigurnost, na primer spojeva, mora permanentno da se prati. Ovo se takođe uspešno realizuje poznatim ultrazvučnim tehnikama ispitivanja zavarenog spoja.

## 7. Specifikacije

Većina železnica danas rade kao nacionalni javni transportni sistemi, međutim, privatne kompanije se polako pojavljuju, mada u proizvodnji vozila i pribora postoji težak i dugotrajan proces selekcije. Kao posledica toga, pritisak na proizvođača sa svih strana da ispuni priznate tehničke uslove je mnogo veći nego za održavanje od nacionalnih železničkih uprava. Standardi za šine i vozni park biće harmonizovani širom sveta ( ISO ) bar u Evropi ( CEN ). Međutim, sa aspekta održavanja uslovi koji su samostalno izradili operatori na železnici, za sada se primenjuju. Privatni železnički operatori, ili bar proizvođači voznog parka ( vozila koja se iznajmljuju ), koriste iste serije vozila kao velike nacionalne železničke kopanije. Ispitivanje u toku održavanja tada mora da bude organizovano na promenljiv način, tako da odgovori zahtevima : sa sopstvenim osobljem, sa davaocem usluga ili čak sa proizvođačem.

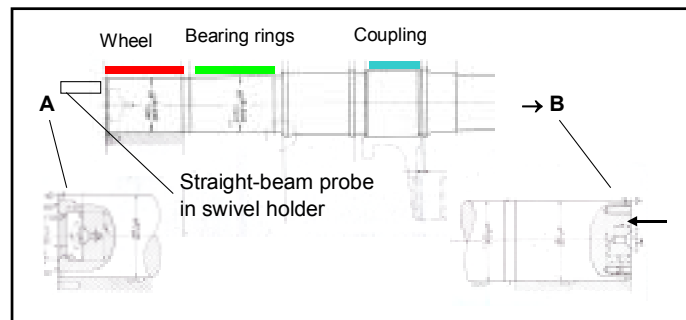


Slika 10. Sonde za ispitivanje osovina za parove točkova.

Nemačke železnice AG imaju sopstvene direktive za IBR železničke opreme za potrebe održavanja, modul familije 907.xxxx, koji sam uključuje 23 različite specifikacije za ultrazvučno ispitivanje u opsegu od šina do šipki za vučenje preko točkova i osovina. Specijalne sonde i komponente za prilagođavanje, koje odgovaraju dimenzijama para točkova, često su potrebne za potrebe ovih ispitivanja. Slika 10 pokazuje neke od njih.

## 8. Ispitivanje osovine za točkove na tramvajima

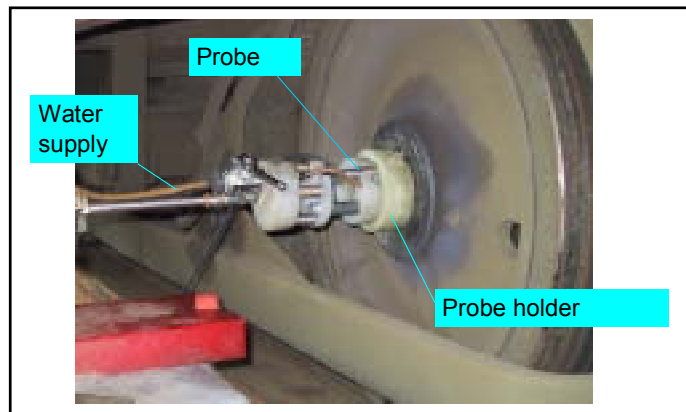
Oprema za kretanje na tramvajima i podzemnoj železnici je izložena značajnim amplitudama opterećenja usled čestih mesta spajanja i ukrštanja, kao i zbog malih radijusa krivine. U ovim slučajevima, nekoliko preloma osovina je pokazalo da operativna sigurnost može da se postigne samo periodičnim IBR. Međutim, to je moguće samo u sklopljenom stanju, kada se zahtevaju kratki intervali između ispitivanja u radu. Zajedno sa BAM iz Berlina kao konsultantom, posle mnogo proba, razvili smo koncept ispitivanja u radu za železnice Rajne AG u Dizeldorfu, kojim se ultrazvučno ispituje cela oblast osovine kod pogonskih točkova do ležišta kočionog diska, odnosno kavčila, samo sa prednjih strana osovine.



Slika 11. Osovina za točkove zglobnog šinskog vozila.

Rezultati ispitivanja se memorišu sa 720 A-slika po obrtaju i prikazuju se kao B-slike. Osovine za točkove tramvaja imaju unutrašnja ležišta, odnosno, točak je nasaden direktno na kraj osovine. Prstenovi ležaja su sa unutrašnje strane.

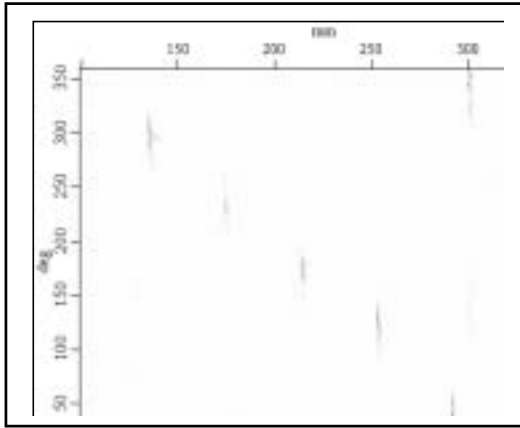
Krajevi osovine za točkove A i B se razlikuju : kontakt sa masom je na jednoj prednjoj strani, a tahometar na drugom kraju. Držači sonde moraju da budu projektovani na odgovarajući način. Zahvaljujući obimnim eksperimentima, utvrđeno je da prozvučavanje pod uglom ovog tipa osovine daje jake signale od komponenti postavljenih na osovini ( prstenovi ležaja, lavirint – prstenovi ), koji se ne mogu razdvojiti od prslina po obimu u istoj oblasti.



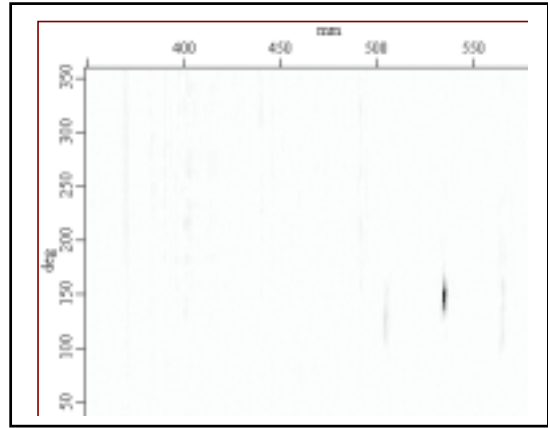
Slika 12. Sonda sa držačem na osovini za točkove.

Ovo je razlog što se prozvučava normalno na prednju stranu, tj. paralelno osi osovine. Zvučni snop taman dolazi do kružne površine osovine. Pri tome prslina daju utoliko veću indicaciju, što dublje ulaze u osovina, suprotno od prozvučavanja pod uglom kod koga brzo dolazi do zasićenja. Slika 12 pokazuje sondu u držaču koji može da rotira, a centrirana njen u rupi izbušenoj u osovini.

On rotira zahvaljujući stepenastom motoru kojim upravlja računar preko jedne osovine koja ima elemente sa oprugama. Da bi se obezbedila dovoljna moć razlaganja B-slike, vrše se dva snimanja sa oba kraja osovine. Prvo se vrši od 100 mm do 350 mm, a drugo od 350 do 600 mm ( udaljenost od prednje strane ). Slika 13 pokazuje indikacije od useka načinjenih tasterom koji su jednako raspoređeni po obimu u unutrašnjem ( zadnjem ) ispitanom području između udaljenosti 350 i 600 mm od kraja osovine. Slika 14 pokazuje neprihvatljivu indikaciju dobijenu od ugrađene osovine.



Slika 13. B-slika ureza testerom.



Slika 14. B-slika sa neprihvatljivom indikacijom.

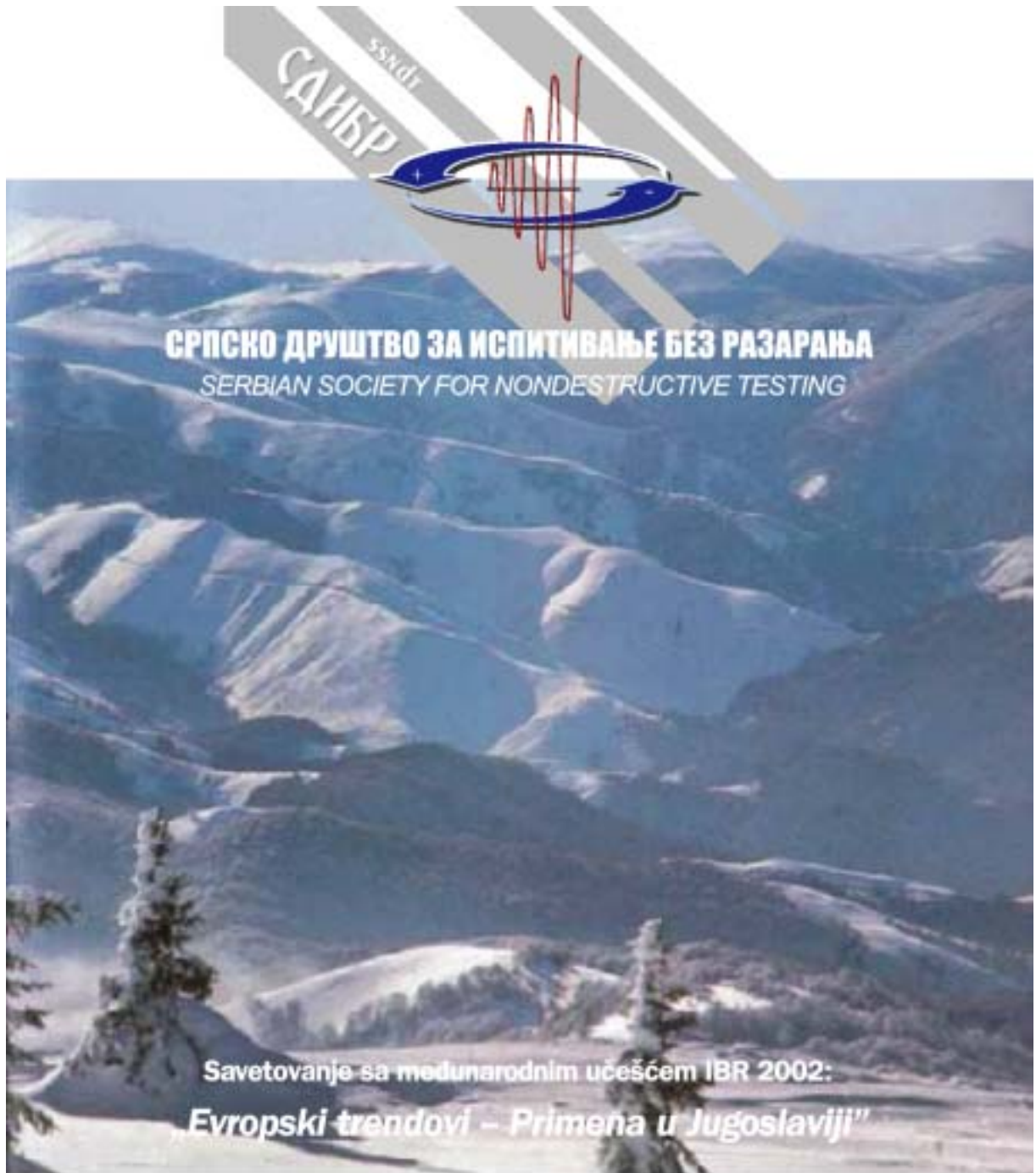
Za ispitivanje u održavanju, ceo voz se podiže do radnog nivoa pomoću platforme, Slika 15. Kontakti i tahometri osovine nisu skinuti, prednje površine osovine su mehanički očišćeni. Ispitni uređaj je pripremljen za izvođenje novog ispitivanja (poziva skupove podataka): Držač sonde je učvršćen i započinje zapisivanje novih podataka.



Slika 15. Ispitivanje zglobnog voza sa 4 nosača ispod vagona ( osam pari točkova ).

Cela ispitna naprava je montirana na transportnu trolu koja se pomera od točka do točka po dužini vozila. Memorisane digitalizovane RF-A slike se čuvaju zajedno sa stvarnim podacima, nazvane po broju vozila i ( rednog ) broja osovine sa točkovima, što se čuva za dalja upoređivanja ( četiri skupa podataka po osovini ).

Ovo znači da se kasnije mogu pozvati i drugi podaci osim B-slike, kao svaka pojedinačna A-slika, koja se može rekonstruisati u RF obliku. Posle ispitivanja svih osovine, ponovo se nanosi zaštitni premaz na prednje površine, a komponente koje su bile skinute ( odvojene ), vraćaju se ponovo u prvobitno stanje. Kada se platforma spusti na pod, voz je napušta svojom sopstvenom vučom.



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**

36

## INDUSTRIJSKA ENDOSKOPIJA VIZUELNI PREGLED SKRIVENIH PROSTORA

Dr VOJISLAV BOŽANIĆ, dipl. maš. inž.

### Rezime

*Predmet ovog članka je opis mogućnosti koje pružaju endoskopski pregledi kada se primene kod industrijskih uređaja i objekata. Tu su navedeni zahtevi u pogledu psihičkih i fizičkih osobina koje treba da ispuni pregledač. Takođe su pomenuti «logički alati» koje koristi pregledač prilikom analize viđenog stanja u cilju procene stanja objekta koji se pregleda. Pomenuti su neki od većih industrijskih objekata na kojima je ova metoda primenjena, naročito u elektranama. Ovi podaci potiču iz velikog iskustva autora koji ima preko 18 godina rada u oblasti industrijske endoskopije, sa 10 750 obavljenih pregleda.*

### Ključne reči:

Industrijska endoskopija, elektrane

## INDUSTRIAL ENDOSCOPY VISUAL INSPECTION HIDDEN SPACES

### Abstract

*Object of this paper is description of possibilities given from endoscope inspections applied in industrial equipment and plants. Paper contains requirements considering mental and physical attributes for inspector. Inspectors' "logical tools" that are used during analysis of screened condition, for the purposes of object – equipment and plant status assessment are also specified. Paper specifies relevant industrial plants, especially power plants, significant for this topic. These data result from authors' previous experience based on 18 years of work in industrial endoscope field, with 10750 inspections.*

### Key words:

Industrial endoscopies, power plants

## INDUSTRIJSKA ENDOSKOPIJA - VIZUELNI PREGLED SKRIVENIH PROSTORA -

### *Uopšte o vizuelnom pregledu i pregledaču*

**Vizuelni pregled** je metoda dijagnostike koja se često koristi u svim oblastima inženjerske prakse. Ova metoda predstavlja važan izvor informacija za stvaranje polazne osnove znanja o stanju delova sklopova i agregata.

Utvrđivanje stanja delova se sprovodi sa ciljem sprovođenja blagovremenih i adekvatnih radnji održavanja ili radi utvrđivanja uzroka i karakteristika neke neispravnosti koja se desila. Ovo poslednje se u praksi najčešće naziva defektaža i ekspertiza.

Defektaža i ekspertiza skoro uvek počinju vizuelnim pregledom, ali se vrlo često sa tim ne završavaju. U smislu utvrđivanja tehničke istine ili radi potvrđivanja pretpostavke o uzročniku neispravnosti primenjuju se i razne druge metode dijagnostikovanja stanja kao što je široki spektar metoda ispitivanja materijala bez razaranja i metode sa razaranjem.

Međutim, ono što se mora istaći je da vizuelni pregled, tamo gde se on može pri-

S obzirom na dominantnu ulogu koju ima **čulo vida** u formiranju fonda informacija kod čoveka na osnovu kojih se, uz pomoć intelektualne obrade i iskustva dolazi do saznanja, teško je ukratko i uopšteno reći šta se sve može utvrditi vizuelnim pregledom, međutim, kod uobičajenih inženjerskih vizuelnih pregleda delova u mašinstvu i elektrotehnici mogu se, generalno, uočiti sledeće promene na delovima:

- ⇒ **promene oblika** (usled deformacija, krivljenja i ostalih posledica delovanja sila i pritisaka)
- ⇒ **mehanička oštećenja** (ogrebotine, istrošenja kao posledica delovanja lokalnog suvog trenja ili pojava delića metala ili drugog materijala koji abrazivno deluje na tarućim površinama, erozija usled delovanja fluida ili čvrstih čestica nošenih fluidom)
- ⇒ **naslage** (naslage smole kao posledice promene u mazivima, naslage produkata sagorevanja, depoziti različitih vrsta praškastog i zrnastog materijala koji se nataložio na mestima promena preseka cevi i kanala za tečnosti - motorno ulje, rashladna tečnost, hidro ulje, trafo ulje i slično, naslage nečistoće nanete fluidom)
- ⇒ **promena boje metala** (usled pregrevanja od dejstva sagorevanja i drugih termičkih procesa, od dejstva procesa zavarivanja naročito u zoni uticaja toplote, od delovanja električne varnice, usled hemijskih uzročnika itd )
- ⇒ **koroziona oštećenja** (pojava oksidacije i elektrohemijske korozije, koroziona ispućanost površine, korozione "bubuljice", slojevita odvajanja delova površine - "ljuštenje" i slično)
- ⇒ **Pukotine i lomovi** ( oblik, pravac i veličina pukotina i lomova karakteristike i struktura preloma)

meniti, predstavlja vrlo **dobru orijentaciju** u smislu ocene karaktera neispravnosti (pregrevanje, oštećenje električnim lukom, pojava zamora površine, korozija, prelom, zaribavanje i slično), tako da se na osnovu rezultata vizuelnog pregleda mogu postaviti određene pretpostavke o uzročniku neispravnosti i usmeriti dalja ispitivanja.

S druge strane, vizuelni pregled, ukoliko ga vrši obučeno i rutinirano osoblje, koristeći pri tom razne vrste vizuelnih etalona (albumi fotografija karakterističnih oštećenja sa tumačenjem, setove listova sa bojama koje karakterišu različita oštećenja i slično) može da posluži i kao merni pregled tj **pregled koji je dovoljan da se dođe i do konačnog zaključka i dijagnoze stanja.**

Bez pretenzija da bi se jednim ovakvim globalnim sagledavanjem i pokušajem uopštavanja moglo da obuhvati sve ono što se kao saznanje o stanju može da dobije iz vizuelnog pregleda, treba naglasiti da se pri vizuelnom pregledu bogato koristi **znanje, iskustvo i ranija saznanja stručnjaka** koji vrši vizuelni pregled i postavlja pretpostavke o mogućim uzročnicima tog stanja.

Ili, obrnuto rečeno, ukoliko se u trenutku kada je potrebno da se izvrši neka defektaža ili ekspertiza ne raspolaže odgovarajućim stručnjakom koji ima verifikovano znanje i iskustvo koje je potrebno za traženi vizuelni pregled, tada pregled ne treba ni preduzimati dok se takav stručnjak ne pribavi, jer su rezultati obično kontraproductivni. U našoj praksi se pokadkad mogu susresti primeri gde se nedostatak znanja i iskustva potrebnog za

U smislu dobijanja što upotrebljivijih rezultata vizuelnog pregleda, a na osnovu posrednog i neposrednog opažanja, koriste se sledeći osnovni **logički prilazi** i "logički alati":

- # **sistem analogija** (upoređenje vizuelnog izgleda predmeta sa iskustvom i ranije stečenim saznanjima)
- # **sistem indukcije** (izvođenje zaključka na osnovu pojedinačnih neposrednih činjenica koje su međusobno saglasne)
- # **sistem dedukcije** (polazeći od kompletnog repertoara opštih pretpostavki o mogućem uzroku, sistemom redne eliminacije dolazi se do pretpostavki koje se ne mogu odbaciti - znači koje se usvajaju da bi se u daljem postupku dokazale ili odbacile)
- # **isključivanje putem sistema premisa** svrstanih po logičkom prioritetu

### *Industrijski endoskop*



*Metalni opiljak dimenzija 2x5 mm u prostoru za vodonično hlađenje generatora 210 MW*

1m, kao i zbog sferne aberacije slike što je

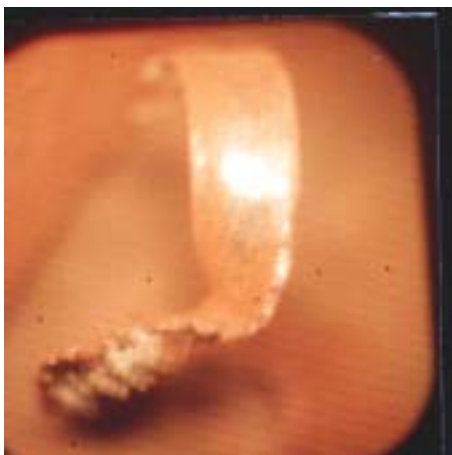
uspešno obavljanje vizuelnog pregleda pokušava nadoknaditi samo upotrebom savremenih uređaja za vizuelnih pregled - boroskopa i endoskopa pa makar i od strane neobučenog osoblja, što je dovelo do pogrešnih tehničkih odluka i skupih promašaja.

Kao što je već rečeno nakon **znanja** stečenih u školi i kroz obuku, za uspešno obavljanje vizuelnog pregleda potrebno je **iskustvo**. Međutim, pod iskustvom jedne osobe se ne podrazumeva niz ranijih događaja u kojima je ta osoba uzela učešća, već pre svega, **intelektualna obrada ranijih događaja, uz korišćenje predhodno stečenih znanja i postupaka logike**. Tek tako obrađeno iskustvo prerasta u novo znanje obogaćujući i proširujući fond polaznih znanja.

Endoskopi su uređaji koji se koriste za vizuelni pregled nepristupačnih mesta bez demontaže ili razaranja. Važna odlika endoskopa je da imaju sopstveni izvor jakog svetla tako da se mogu koristiti za preglede delova koji se nalaze u neosvetljenim prostorima kao što su turbine, parni kotlovi, generatori, cevovodi, zupčanici u prenosnicima, cilindri i ventili motora SUS i klipnih kompresora, sudovi pod pritiskom, unutrašnjost transformatora sa uljem, aksijalni kompresori, reaktivni motori kao i mnogi drugi prostori čija je konstrukcija takva da ih, bez demontaže, sakriva od pogleda.

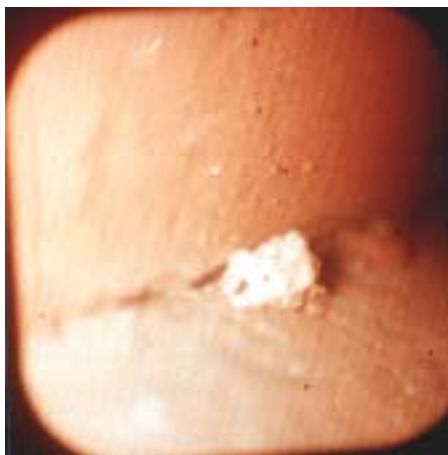
Endoskopi koji su se u svetu koristili do 1970-tih godina su bili kruti endoskopi - boroskopi i periskopi. Ovi endoskopi su imali nedostatke zbog velikog nivoa gubitaka svetla što im je ograničavalo dužinu na max onemogućavalo korišćenja boroskopa kao in-

strumenta za merenje.



*Metalni opiljak dimenzija 2x6 mm u prostoru za vodonično hlađenje u gornjem kanalu generatora 210 MW*

Otkrivanje mogućnosti prenosa svetla i slike pomoću snopova savitljivih staklenih vlakana omogućilo je otklanjanje nedostatke boroskopa, tako da su danas najčešće korišćeni endoskopi fleksibilni endoskopi - **fiberskopi** firme OLYMPUS iz Japana.

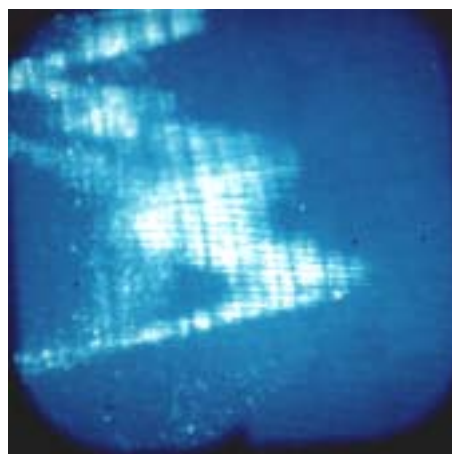


*Metalni opiljak dimenzija 2x3 mm zapao u procep prigušnog namotaja rotora generatora 210 MW*

Fleksibilna sonda ima savitljivu čeličnu oblogu preko koje je prevučeno visokootporno teflonsko crevo. Ukupna dužina endoskopa je 3 m od čega je aktivna dužina (deo koji se može zavući u skriveni prostor) 2,7 m, a preostala dužina od 0,3 m se odnosi na okular i rukohvat sa komandama za upravljanje vrhom. Minimalni prečnik otvora kroz koji se

pristupa skrivenom prostoru je  $\varnothing$  11 mm.

Izvor hladnog svetla je snabdeven halogenom lampom od 300 W (220 V), a dužina svetlosnog kabla koji povezuje izvor i endoskop je 1,1 m. Distalni kraj (vrh koji se ubacuje u skriveni prostor) omogućava gledanje u pravcu ose endoskopa, a uz pomoć specijalnog dodatka sa optičkom prizmom omogućeno je gledanje upravno na osu. Distalni kraj se može savijati komandama iz rukohvata do ugla od  $120^{\circ}$  u odnosu na osu sa radiusom krivine od 10 cm.



*Otvor rotora turbine srednjeg pritiska. Radijsijalna ogrebotina dimenzija 40x60 mm nastala najverovatnije kao posledica čišćenja (posle tretiranja magnetofluksnim rastvorom i dejstva magneta, pod kombinacijom belog i UV svetla)*

Posebnu pogodnost pružaju endoskopi sa "hladnim" izvorom svetla (izvor se nalazi van prostora koji se pregleda) kada se traži pregled unutrašnjih površina rezervoara za gorivo (benzin, nafta, kerozin, petrolej i slično), jer ovakvi unutrašnji prostori zadržavaju zapaljiva isparenja i posle višestrukih ispiranja što čini rizičnim pregled na neki drugi način.

U opremu endoskopa spada i fotoaparatus sa specijalnim adapterom koji ga optički i elektronski povezuje sa endoskopom. Time je omogućena foto registracija nađenih stanja.



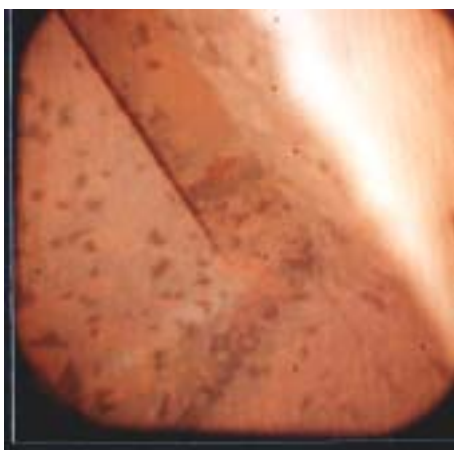
*Neki primeri korišćenja endoskopa u Jugoslaviji (sortirano hronološki)*

MESTO GDE JE VRŠEN EDOSKOPSKI PREGLED	NARUČILAC ISPITIVANJA	SKLOP KOJI JE PREGLEDAN	VRSTA ENDOSKOPSKOG PREGLEDA	GODINAM ESEC
Tvornica Diesel motora JUGOTURBINA Karlovac	JUGO TURBINA Karlovac	Cev magistralnog voda ulja za podmazivanje u motoru Pielstick 16 Asv-25	belo svetlo sa foto-registracijom	1984 05
Tvornica Diesel motora JUGOTURBINA Karlovac	JUGO TURBINA Karlovac	Vodovi za ulje u motoru Pielstick 16 Asv-25 Cev za ulje 402 Vodovi za ulje u motoru Pielstick 6 PA6 L 280	belo svetlo sa foto-registracijom	1984 06
Brodogradilište TITO - Kraljevica brod POLLUX	JUGO TURBINA Karlovac	Cev magistralnog voda ulja za podmazivanje u motoru Pielstick 12 Asv-25 M 1246	belo svetlo sa foto-registracijom	1984 06
Lokomotivski depo 15 april - Makiš	ŽTO Beograd OOUR ZOVS	Sklopovi snage dizel motora - dizelelektrične lokomotive JŽ serije 661-231	belo svetlo sa foto-registracijom	1984 11
Brodogradilište TITO - Kraljevica - ratni brod	JUGO TURBINA Karlovac	Sklopovi snage motora Pielstick 12 PA6 br. 8148 i br 8149	belo svetlo sa foto-registracijom	1984 12
Tvornica Diesel motora JUGOTURBINA Karlovac	JUGO TURBINA Karlovac	Kućište motor Pielstick 12 PA6 br.002 Kućište motor Sulzer tip 5B - 22	belo svetlo sa foto-registracijom	1984 12
Brodogradilište TITO - Kraljevica - skladište	JUGO TURBINA Karlovac	Sklopovi snage motora Pielstick 12 PA6 br. MP 003 i br MP 004	belo svetlo sa foto-registracijom	1985 12
Termoelektrana Nikola Tesla A Blok I	Institut IMS Beograd	Osni otvori rotora turbine <ul style="list-style-type: none"> <li>• visokog pritiska ,</li> <li>• srednjeg pritiska i</li> <li>• niskog pritiska</li> </ul>	belo svetlo, UV svetlo, penetranti, magnetni fluks, fotoregistracija	1987 06
Brod TULA-SSSR usidr.na Dunavu Veliko Gradište	JUGO TURBINA Karlovac	Glavni brodski motori licence SULZER proizv. JUGOTURBINA Karlovac, tip 6 ASL 25 H br.M 1357 i M 1358	belo svetlo sa foto-registracijom i vizuelni pregled	1987 11
Brod UDARNIK usidr.na Dunavu Pančevo	JUGO TURBINA Karlovac	Glavni brodski motori licen. SULZER proizv. JUGOTURBINA Karlovac, tip 6 ASL 25 D br.1396 i 1397	belo svetlo sa foto-registracijom i vizuelni pregled	1987 12
GENERAL-EXPORT Poslovna zgrada u Beogradu	Institut IMS Beograd	Centralni rashladni uređaj YORK - 3 - cevi za vodu	belo svetlo sa foto-registracijom	1989 03
Termoelektrana Nikola Tesla A Blok II	Institut IMS Beograd	Osni otvori rotora turbine <ul style="list-style-type: none"> <li>• visokog pritiska i</li> <li>• srednjeg pritiska</li> </ul>	belo svetlo, UV svetlo, penetranti, magnetni fluks, fotoregistracija	1989 04
Termoelektrana Nikola Tesla B Blok B1	Institut IMS Beograd	Parni kotao Refako Sulzer BB, broj kotla 874 - instalacija za pregrevanje i transport pregrevane pare	belo svetlo sa foto-registracijom	1989 04

MESTO GDE JE VRŠEN EDOSKOPSKI PREGLED	NARUČILAC ISPITIVANJA	SKLOP KOJI JE PREGLEDAN	VRSTA ENDOSKOPSKOG PREGLEDA	GODINA-MESEC
Termoelektrana Sisak Blok I	Institut IMS Beograd	Osni otvor rotora turbine <ul style="list-style-type: none"> <li>visokog pritiska</li> </ul>	belo svetlo, UV svetlo, penetranti, magnetni fluks, fotoregistracija	1989 05
Metalurški kombinat Smederevo	Termoelektr Beograd Tehnički centar	Energana br 2 - doboš kotla, isparivač pare, komora međupregrejača	belo svetlo sa foto-registracijom	1989 06
Termoelektrana Kosovo A blok 4	Institut IMS Beograd	Osni otvori rotora turbine <ul style="list-style-type: none"> <li>visokog pritiska ,</li> <li>srednjeg pritiska i</li> <li>niskog pritiska</li> </ul>	belo svetlo, UV svetlo, penetranti, magnetni fluks, fotoregistracija	1989 09
Metalurški kombinat Smederevo	Termoelektr Beograd Tehnički centar	Energana br 2 - Kondenzator kotla, Komora ovesnog cevovoda, Hladnjak pare, Sakupljač pare	belo svetlo sa foto-registracijom	1989 10
Termoelektrana TUZLA Blok IV	Institut IMS Beograd	Osni otvori rotora turbine <ul style="list-style-type: none"> <li>visokog pritiska ,</li> <li>srednjeg pritiska i</li> <li>niskog pritiska</li> </ul>	belo svetlo, UV svetlo, penetranti, magnetni fluks, fotoregistracija	1989 10
Termoelektrana Nikola Tesla B Pomoćna kotlarnica	Termoelektr Beograd Tehnički centar	Donji kolektor za grejače vode - kotao br 3. Ubodi i kolena cevi za dovoz pare u kolektor	belo svetlo sa foto-registracijom	1990 03
Reverzibilna hidroelektrana Bajina Bašta	Institut IMS Beograd	Motor Generator br 2 - prigušni kavez (Lablanov amortizator)	belo svetlo sa foto-registracijom i vizuelni pregled	1991 06
Reverzibilna hidroelektrana Bajina Bašta	Institut IMS Beograd	Turbina - Pumpa br.1 Gornji poklopac turbine	belo svetlo sa foto-registracijom i vizuelni pregled	1991 06
Termoelektrana Kosovo B blok 2	Institut IMS Beograd	Pregrejač pare niske temperature SBT-1 parnog kotla Stein industrie	belo svetlo sa foto-registracijom	1995 05
Termoelektrana Pljevlja	Institut IMS Beograd	Generator bloka 210 MW	belo svetlo sa foto-registracijom	1996 06
Termoelektrana Pljevlja	Institut IMS Beograd	Venturijeve cevi hladnjaka pare bloka 210 MW	belo svetlo sa foto-registracijom	1996 06
Termoelektrana Kostolac B blok 1	Institut IMS Beograd	Lopatice turbine visokog pritiska i srednjeg pritiska	belo svetlo sa foto-registracijom	1996 07
Termoelektrana Morava - Svilajnac	Institut IMS Beograd	Ekranse cevi i priključci bubnja kotla OP 380 B	belo svetlo sa foto-registracijom	1996 10
Termoelektrana Kostolac B blok 1 i blok 2	Institut IMS Beograd	Lopatice turbine visokog pritiska i srednjeg pritiska	belo svetlo sa foto-registracijom	1996 10
Termoelektrana "Oslomej" Kičevo	TE "Oslomej"	Ulaz.i izlaz.cevi parovoda + uljne cevi turboagregata	belo svetlo sa foto-registracijom	1997 07
Termoelektrana Kostolac B blok 1	Institut IMS Beograd	Lopatice turbine visokog pritiska i srednjeg pritiska	belo svetlo sa foto-registracijom	2000 06

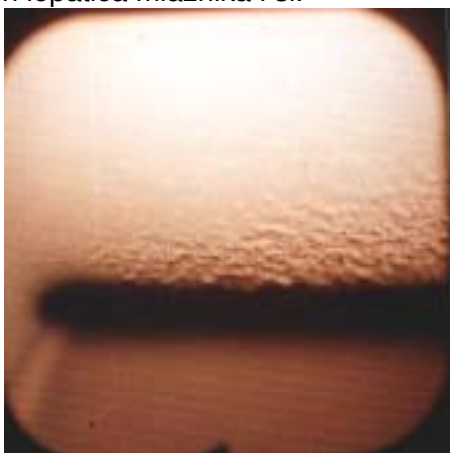
### Korišćenje endoskopa u elektrocentralama

U termoelektranama endoskopija traje približno jedan do tri dana, pošto se sklopovi predhodno ohlade na temperaturu nižu od 60°. Pregledi mogu blagovremeno da se planiraju, kao i potrebne mere za uspostavljanje tehnički ispravnog stanja u toku remonta.



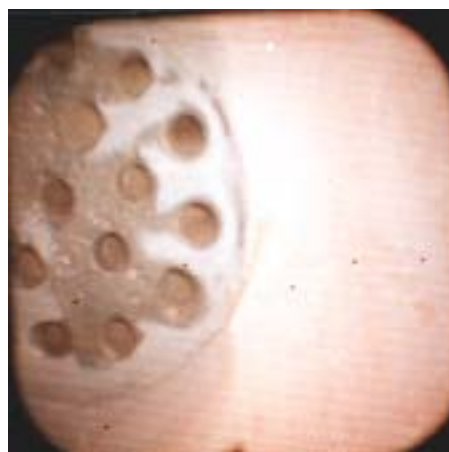
*Turbina srednjeg pritiska - izlazni red lopatica rotora - Karakteristično koroziono oštećenje u zoni vrha lista lopatice*

Endoskopija delova, zahvaljujući informacijama o vrsti i obimu oštećenja, upozorava rukovodstvo elektrana na mogućnost iznenednih većih oštećenja energetskih agregata, koji bi izazvali dugi zastoje. Pri izvođenju remonta većeg obima, endoskopija omogućava da se vrši potpuna kontrola delova od čeličnog liva, nepristupačnih za običan pregled, kao što su, na primer, u prstenastim ulaznim kanalima grupe mlaznika, između sedla regulacionog ventila do regulacionih lopatica mlaznika i sl.



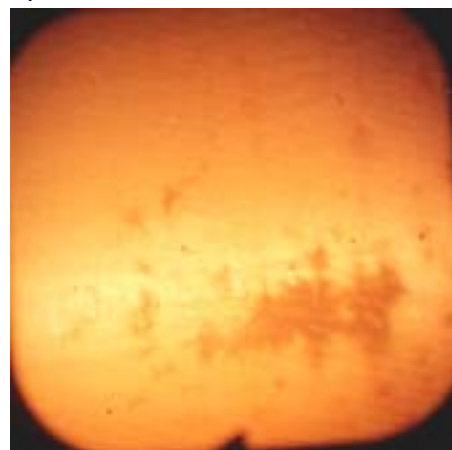
*Turbina srednjeg pritiska - izlazni red lopatica rotora - Karakteristično koroziono oštećenje u zoni vrha lista lopatice*

Mnoge velike parne turbine i industrijski turboagregati opremaju se, u fazi projektovanja i izrade, priključcima za endoskope u cilindrima visokog, srednjeg i niskog pritiska. Tako, na primer, priključci za endoskope u cilindrima visokog i srednjeg pritiska smeštaju se u prstenastom kanalu oduzimanja pare iza poslednjih delova lopatica, što omogućuje kontrolu sistema lopatica na pojedinim delovima.



*Venturijeva cev hladnjaka - na obodu brizgaljke ima malo blage korozije i nešto taloga od antikorozijske zaštite*

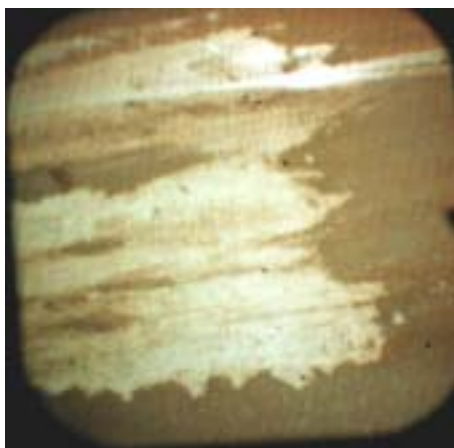
Endoskopija omogućava da se za vreme kraćih zaustavljanja bez otvaranja cilindra otkriju tragovi zadiranja lopatica usled radialnih i aksijalnih preklapanja zazora, pojave erozije na lopaticama i u cilindrima, oštećenja lopatica stranim telima, ukošenje lopatica usled pojave pukotine u korenu, kidanje bandažne trake pukotine na radnoj sredini lopatice i sl.



*Otvor rotora turbine - koroziono oštećenje dimenzija 15 x 20 mm dubine 0,3 do 0,5 mm*

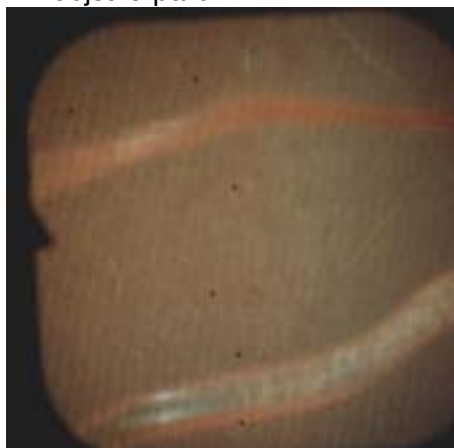
Do generalnog remonta, endoskopija sistema lopatica i vratila može da koristi naročito pri otkrivanju raznih pogoršanja, koja se sporo razvija, kao što su na primer, pomeranje i deformacija unutrašnjih kućišta, tragovi zakačinjanja, erozija, pomeranje lopatica brave i slično.

Na osnovu endoskopije dobija se dopunski materijal za određivanje rokova izvođenja generalnog remonta, njegovog obima i trajanja.



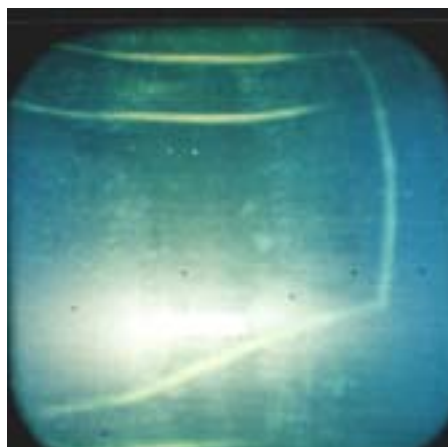
*Ogrebotine širine 25 do 30 mm i dubine 0,3 do 0,6 mm (pre čišćenja, pod belim svetlom)*

Pored turbinskog dela, endoskopija se u termoelektranama koristi za pregled cevovoda, pregrejača, hladnjaka i ostalih prostora izloženih dejstvu pare.



*Dve ogrebotine širine 4 do 5 mm i dubine 0,4 do 0,5 mm (pre čišćenja, pod belim svetlom)*

*Četiri radialne i aksijalne ogrebotine u dužini od 30 do 50 mm i dubine oko 0,2 mm (posle*



*tretiranja magnetno fluksnim rastvorom i dejstva magneta, pod kombinacijom belog i UV svetla)*

U svim elektranama (i termo i hidro) endoskopskim pregledom se može doći do važnih informacija vezanih za stanje rotora i statora generatora. Ova vrsta pregleda se smatra obaveznom u toku remonta generatora i vrlo poželjnom u toku njegove eksploatacije.

U generatorima pare, koji se nalaze na drugom mestu prema korišćenju endoskopa - odmah iza parnih turbina, glavno mesto pripada vizuelnoj kontroli opreme koja se nalazi pod pritiskom, kao što su, na primer, paroskupljači, hladnjaci, zagrejači, liveni delovi, cevovodi.

Endoskopija omogućuje da se prošire granice kontrola, koje su se do sada izvodile i doprinosi njihovom pojednostavljivanju. Tako, na primer, mlaznici i merne dijafragme mogu da se kontrolišu na habanje do i posle prijemnih ispitivanja. Ovde treba koristiti endoskope za kontrolu u teško pristupačnim zonama, između zaklona i ozida sa strane dimnih gasova, kao što su, na primer, mesta učvršćenja cevi.

### *Neki od ostalih primera upotrebe endoskopa*

Endoskop se vrlo uspešno primenjuje u pregledu motora SUS - kućišta motora, cilindarski prostori, prostori oko ventila, razvodni mehanizmi, ležišta, vodovi za ulje, za rashladnu tečnost, hidro ulje i slično .

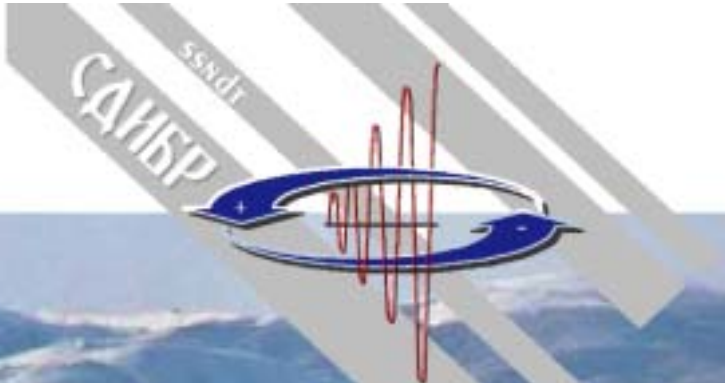
Mora se imati na umu da jedan broj od tih prostora, koji se mogu pregledati endoskopom, kao što su kanali unutar odlivaka i otkivaka, ne bi bio pristupačan pogledu ni posle

demontaže, tako da endoskopski pregled, ne samo da predstavlja brži i jeftiniji način pregleda već, ponegde, i jedini način.

Pregled savitljivim endoskopom omogućava uvid u stanje velikih transformatora kod elektro-lokomotiva gde se nakon izvlačenja trafo-ulja može pregledati stanje izolacije i naslaga kao i promena geometrije - sabijanje oslonca jezgra. Ovakav pregled se po direktnoj ceni i kroz imobilizaciju lokomotive razlikuje od klasične demontaže za više od deset puta.

Više o endoskopima može se naći u:

- Članak pod naslovom : Mr Vojislav Božanić, dipl.inž. "Industrijski endoskop - uređaj za pregled nepristupačnih prostora" objavljen u časopisu "ŽELEZNICA" 486 UDK 658.581:625.23.24.282.286:620.170. 179.1.6
- Autorizovana predavanja Mr Vojislav Božanića, dipl.inž. na kursu "**VIZUELNE KONTROLE**" I i II nivo - održano u Centru za permanentno obrazovanje INSTITUTA ZA NUKLEARNE NAUKE "VINČA" maj .1989
- Autorizovana predavanja Mr Vojislav Božanića, dipl.inž. na kursu "**VIZUELNO ISPITIVANJE MATERIJALA**" I i II nivo - održano u Centru za permanentno obrazovanje INSTITUTA ZA NUKLEARNE NAUKE "VINČA" 25.09 - 06.10 .1995
- **OLYMPUS CLV - Izvor hladnog svetla velikog inteziteta** (Uputstvo za rad) Prevod Mr Vojislav Božanić, dipl.inž.
- **OLYMPUS IF - 8D3/11D3 Industrijski fiberskop** (Uputstvo za rad) Prevod Mr Vojislav Božanić, dipl.inž.
- Dr Živoslav Adamović ODRŽAVANJE PREMA STANJU U MAŠINSTVU , Pro-nalazaštvo, Beograd 1990
- Asturio Baldin - Luciano Furlanetto LA MANUTENZIONE SECONDO CONDIZIONE, Editore: Franco Angeli, Milano, 1980



SDIBR  
SSNDT

**СРПСКО ДРУШТВО ЗА ИСПИТИВАЊЕ БЕЗ РАЗАРАЊА**  
*SERBIAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING*

Savetovanje sa međunarodnim učešćem IBR 2002:  
*Evropski trendovi – Primena u Jugoslaviji*

**25.-29.11.2002. god.**  
**Tara**

37

## ISPITIVANJE I KONTROLISANJE U FUNKCIJI OBEZBEĐENJA KVALITETA

Dr Slobodan S. GAJIN, dipl. ing.

NORTH Engineering d.o.o. Subotica, Kontrolno telo NORTH  
Control

Dr Siniša B. KUZMANOVIĆ, dipl. ing.

NORTH Engineering d.o.o. Subotica, Laboratorija za  
ispitivanje NORTH Lab

### Rezime

*U radu je prikazan način funkcionisanja akreditovanih organizacija za ispitivanje i kontrolisanje iz aspekta zahteva standarda serije EN 45000, odnosno ISO IEC 17000. Posebno je analiziran uticaj rada akreditovanih organizacija na tradicionalan odnos kupac – prodavac.*

*Pokazano je da prelazak na indirektni način preuzimanja novih ili servisiranih mašina i opreme, uz angažovanje akreditovanih organizacija, pruža kupcu sigurnost, a u krajnjoj liniji smanjuje i troškove.*

### Ključne reči:

Akreditovana laboratorija, akreditovano kontrolno telo, troškovi nabavke, troškovi održavanja, obezbeđenje kvaliteta.

## TESTING AND INSPECTION IN FUNCTION OF QUALITY REQUIREMENT

Slobodan S. GAJIN, Ph D

NORTH Engineering Co., Ltd., Inspection Body NORTH  
Control

Sinisa B. KUZMANOVIC, Ph D

NORTH Engineering Co., Ltd., Testing Laboratory NORTH  
Lab

### Summary

*This paper represents a survey of how an accredited organizations for testing and inspection work according to EN 45000 and ISO IEC 17000 standard series. The influence which accredited organizations have on a traditional relationship between a buyer and a salesman is given special attention.*

*It is shown that the transition to an indirect takeover of machines and equipment by employing accredited organizations not only guarantees safety to the buyer, but also costs.*

### Keywords:

Accredited laboratory, accredited inspection body, costs of supply, maintenance costs, quality requirement.

## UVODNE NAPOMENE

Otkad je onih koji prodaju i onih koji kupuju, interesi su im bili suprotstavljeni. Prodavac, prirodno, uvek želi da ostvari što je moguće višu cenu za svoj proizvod, robu ili uslugu, dok kupac za taj isti proizvod želi da plati što je moguće nižu cenu. Između njih se kao regulator postavljaju tržište i država sa poznatim mehanizmima. Isto tako, kupac je oduvek u fazi kupovine na neki način vršio "ispitivanje" i/ili "kontrolisanje" proizvoda koji je bio predmet njegovog interesovanja. *Ispitivanje* je tehnička operacija za utvrđivanje jedne ili više karakteristika datog proizvoda, procesa ili usluge po određenom postupku, dok je *kontrolisanje* pregled, odnosno ispitivanje projekta nekog proizvoda, proizvoda, usluge procesa ili postrojenja i određivanje njihove usaglašenosti sa posebnim zahtevima ili, na osnovu stručnog mišljenja sa opštim zahtevima, od strane kompetentne organizacije. Ispitivanje realizuju *laboratorije za ispitivanje* i *laboratorije za etaloniranje*, dok kontrolisanje sprovode *kontrolne organizacije*, odnosno *kontrolna tela*. Razvojem tržišta, posebno porastom pojedinačne vrednosti roba i usluga, pojavila se potreba za sistematskim uređivanjem oblasti koju nazivamo standardizacija. Tako su nastali standardi, tehnički i drugi propisi, kao i drugi regulatori odnosa kupac - prodavac. Osnovna funkcija standarda i tehničkih propisa je da se obezbedi ono što se naziva "prihvatljiv kvalitet", tj. da se kupci zaštite od proizvoda koje ili ne zadovoljavaju njihova očekivanja, ili čak mogu direktno ili indirektno imati negativan uticaj na ljude i okolinu, odnosno prouzrokovati manju ili veću štetu po kupca. Prema tome, standarde i tehničke propise treba shvatiti kao prinudu koja obezbeđuje zaštitu kupaca od moguće kupovine nekvalitetnih proizvoda.

## AKREDITACIJA KAO PREDUSLOV ZA POVERENJE KLIJENATA

Današnji trendovi vezani za ispitivanje i kontrolisanje robe i usluga u svetu, posebno u Evropskoj Uniji, idu ka tome da se uspostavlja direktna korelacija između *kvaliteta*, s jedne strane, i *ispitivanja* i *kontrolisanja*, s druge. Iz tog razloga normativno je regulisan i rad organizacija koje se bave ispitivanjem, odnosno kontrolisanjem- *laboratorija za ispitivanje* i *kontrolnih tela*. U tu svrhu u poslednjih desetak godina zaokružena je serija standarda koji regulišu rad laboratorija za ispitivanje, kao i kontrolnih i sertifikacionih tela. U Evropi je to serija standarda EN 45000, a na planetarnom nivou serija standarda ISO IEC 17000. Tako npr., standard EN 45001 reguliše rad *akreditovanih laboratorija za ispitivanje*, dok se standard EN 45004 odnosi na delovanje *akreditovanih kontrolnih tela*, itd. U sklopu međunarodnog sistema standardizacije standard ISO IEC 17025 se odnosi na rad akreditovanih laboratorija, dok se standard ISO IEC 17020 odnosi na kontrolna tela. Poslednjih godina u toku je proces harmonizacije ova dva sistema, tako da sada imamo seriju EN ISO IEC 45000 i seriju EN ISO IEC 17000. Tendencija je da se ove dve serije stope u jednu.

*Akreditacija* je proces u kojem se organizaciji koja se bavi ispitivanjem ili kontrolisanjem pred nacionalnim organom za akreditaciju, nakon sprovedenog postupka akreditovanja, potvrđuje da je kompetentna za obavljanje određenih poslova definisanih obimom akreditacije. Gotovo sve evropske zemlje, među kojima je i SRJ, u poslednjih desetak godina oformile su svoja nacionalna akreditaciona tela. U našoj zemlji to je JUAT - *Jugoslovensko akreditaciono telo*, u Velikoj Britaniji je UKAS – *United Kingdom Accreditation Service*, u Nemačkoj DAR – *Deutscher Akkreditierungs Rat*, itd. Osnovni zahtevi koje mora da ispuni laboratorija i/ili kontrolno telo, ako žele da se uključe u nacionalni sistem akreditacije, odnosno da budu akreditovani, povezani su sa ispunjenjem određenih tehničkih, organizacionih i kadrovskih uslova. Tako npr., akreditovana laboratorija mora ispunjavati uslove standarda EN ISO IEC 17025 (kod nas je to JUS ISO IEC 17025:2001), dok za kontrolna tela važi standard EN 45004 (kod nas JUS EN 45004:1999). Akreditovana laboratorija, pored ostalog, mora da bude pravno identifikovana, tj. da bude pravno lice ili



njegov prepoznatljiv deo, mora da poseduje validnu etaloniranu opremu za ispitivanje, dokumentovane metode ispitivanja, kao i da ima uspostavljen sistem kvaliteta na bazi standarda ISO 9000.

Kontrolna tela, osim opštih zahteva koji se odnose na akreditovane laboratorije, moraju da zadovolje i tzv. zahtev *nezavisnosti*, tj. moraju dokazati da u procesu svoga rada ne može doći do sukoba interesa. To znači da kontrolno telo kao pravni subjekt ne može biti projektant, proizvođač, isporučilac, montažer, kupac, vlasnik, korisnik ili serviser predmeta koji se kontroliše.

## **STRATEGIJA ZAŠTITE PRAVA KUPACA**

Sa stanovišta zaštite prava kupca, ali i podsticaja za kvalitetnijim proizvodom prodavca, veoma je važna *nezavisnost* kontrolnih tela. U tu svrhu standard JUS EN 45004:1999 deklarise tri nivoa nezavisnosti: kontrolna tela tipa A, B i C. Saglasno naznačenom standardu kontrolno telo tipa A je nezavisna organizacija za kontrolisanje najvišeg stepena nezavisnosti, tzv. "kontrolisanje treće strane", dok su organizacije tipa B i C nižeg stepena nezavisnosti, tj. njihova je uloga kontrolisanje za sopsstvene potrebe, npr. ulazna kontrola repromaterijala i kontrola finalnih proizvoda. Prema tome, jedino su kontrolne organizacije tipa A ovlašćene da daju izveštaje i/ili sertifikate o kontrolisanju u koje imaju poverenje i kupac i prodavac. Naime, kontrolna tela tipa A, kao nezavisna i nezainteresovana za proizvod koji se kontroliše, ne mogu proizvesti sukob interesa, što se za kupca i prodavca, odnosno eventualno njihove kontrolne organizacije tipa B ili C ne može reći.

Prethodni stav u vezi sa nezavisnošću kontrolnih tela čini se sasvim prirodan i prihvatljiv, kako za kupca tako i za prodavca. Međutim, da li je u praksi koju poznajemo to baš tako? Odgovor je, nažalost, zasada negativan. Naime, svi smo bili svedoci situacije u kojoj proizvođač, posebno ako uživa ugled tzv. pouzdanog kupca - dobavljača (npr. SIEMENS, SEVER, itd.), u toku primopredaje vrši i ispitivanje i/ili kontrolisanje. Naravno da u tim slučajevima nije zadovoljen uslov o nezavisnosti onog koji vrši kontrolisanje. I površna analiza, a nažalost i potvrđena praksa, dokazuju da su i ti uslovno rečeno "pouzđani dobavljači", u situaciji kada bi negativan rezultat kontrolisanja (a činjenica je da i SIEMENS ili SEVER nekada "pogreše") prouzrokovao štetu po dobavljača, spremni da prodaju robu koja ne zadovoljava propisane zahteve. Naravno, postoji i institucija reklamacije, ali do njenog okončanja kupac trpi štetu, a i brzina rešavanja eventualnog spora u vezi sa reklamacijom u direktnoj je vezi sa time da li je primopredaja izvršena direktno po principu kupac – prodavac, ili je istu realizovalo nezavisno kontrolno telo.

Napred izneti pricip odnosi se na sve vrste proizvoda, od najsitnih nabavki do kapitalnih investicija. Naravno, to ne važi samo za nove proizvode. Ponekad čak ima više značaja za remontovane i/ili servisirane proizvode. Angažovanje kontrolnog tela u fazi nabavke novog proizvoda, a naročito u fazi kontrolisanja servisiranja, ima bar dva pozitivna efekta. Pre svega to je objektivno veća sigurnost da će kupac za svoj novac dobiti ono što je naručio, tj. da će broj grešaka, uočljivih ili skrivenih, biti sveden na najmanju moguću meru.

Imajući u vidu da kontrolnu organizaciju po pravilu angazuje kupac da bi zastupala njegove interese, ona će težiti da u procesu kontrolisanja identifikuje i najmanju neušaglasenost, tj. grešku, što rezultira kvalitetnim proizvodom. Drugi efekat koji proizilazi iz angažovanja kontrolne kuće je indirektan, tj. ima psihološki efekat na prodavca – dobavljača. Kada prodavac – dobavljač zna da će primopredaju vršiti kontrolna organizacija, što se definiše ugovorom, u fazi pripreme isporuke traženog proizvoda on će, statistika pokazuje, pažljivije pristupiti pripremi isporuke nego u slučaju kada je preuzimanje direktno, bez posredovanja

kontrolnog tela. Ovo naročito važi za domaće i druge dobavljače iz centralne i jugoistočne Evrope. Na kraju, nije nevažna ni činjenica da će u slučaju potraživanja premije od osiguravajućeg duštava, u slučaju nastanka štete, osiguravajuće društvo priznati samo nalaz izdat od akreditovane kontrolne organizacije.

## **DIJAGNOSTIKA STANJA I ODRŽAVANJE PO STANJU**

Kada se radi o mašinama, uređajima, opremi i objektima kao predmetima interesovanja, u tesnoj vezi sa ispitivanjem i kontrolisanjem je i *dijagnostika stanja*. Pod ovim pojmom u najširem smislu reči podrazumeva se identifikacija niza relevantnih parametara na osnovu kojih se u svakom trenutku dovoljno pouzdano može proceniti stanje relevantnog tehničkog sistema, njegova radna sposobnost, ispravnost, pouzdanost, sigurnost, preostali vek, itd. Uspostavljanjem stalnog praćenja relevantnih dijagnostičkih parametara, tj. njihovim nadziranjem, dolazimo do pojma *monitoringa* procesa i/ili postrojenja. Smatra se da je danas monitoring veoma moćno sredstvo na kojem se bazira savremeni menadžment, posebno u industriji i energetici. U najkraćem, dijagnostika stanja je veoma moćno sredstvo za optimizaciju troškova održavanja, posebno složenih tehničkih sistema kao što su termo i hidro elektrane, površinski kopovi, distributivna mreža, itd. Održavanje tehničkih sistema bazirano na dijagnostici stanja i monitoringu naziva se *održavanje po stanju*, a smatra se jednim od najviših dometa u tehnici održavanja danas.

Prirodno, može se postaviti i pitanje da li i u kojoj meri angažovanje nezavisne kontrolne organizacije poskupljuje nabavku. Iskustva u svetu, a posebno ono u Evropskoj Uniji, pokazuju da ovakav pristup u suštini pojeftinjuje nabavke, posebno kada se radi o krupnim kapitalnim investicijama ili troškovima za servisiranje objekata i opreme u energetici, rudarstvu, saobraćaju, itd. U prilog tome ide i činjenica da je kontrolisanje uvek samo usluga koju realizuje veoma ograničen broj izvršilaca – inspektora, neuporedivo manje od broja izvršilaca koji učestvuje u proizvodnji i/ili montaži, te da gotovo nema utoška materijala. Sve to za posledicu ima da se po pravilu cena ispitivanja/kontrolisanja iskazuje promilima, a samo izuzetno procentima nabavne cene onoga šta se kontroliše. Taj iznos se nasigurno može u celosti, ili bar u značajnijem delu prebaciti na prodavca – dobavljača u fazi ugovaranja, umanjujući mu ponuđenu cenu.

## **ZAKLJUČAK**

Na osnovu analize tradicionalnog odnosa kupac – prodavac pokazano je da kupac ne raspolaže prihvatljivim mehanizmima zaštite svojih prava. Ovo se naročito odnosi na nabavku i održavanje kapitalne opreme. Jedan od načina da se nivo te zaštite poveća je i prelazak na indirektan način preuzimanja robe i usluga od prodavca – dobavljača, uz angažovanje akreditovanih laboratorija i kontrolnih tela. Nezavisne akreditovane organizacije za kontrolisanje predstavljaju pouzdanog partnera i kupcu i prodavcu, a krajnji cilj je povećanje nivoa kvaliteta uz istovremeno smanjenje troškova.

## **KORIŠĆENA LITERATURA**

- [ 1.] **ISO/IEC 17020:** *General Criteria for the Operation of Various Types of Bodies Performing Inspection*, International Organization for Standardization, Geneva, CH, 1998.
- [ 2.] **ISO/IEC 17025:** *General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories*, International Organization for Standardization, Geneva, CH, 1999.
- [ 3.] **JUS ISO/IEC 17025:** *Opšti zahtevi za kompetentnost laboratorija za ispitivanje i laboratorija za etaloniranje*, Jugoslovenski standard, Savezni Zavod za standardizaciju, Beograd, YU, 2001.

- [ 4.] **JUS EN 45001:** *Opšti zahtevi za kompetentnost laboratorija za ispitivanje i laboratorija za etalo-niranje*, Jugoslovenski standard, Savezni Zavod za standardizaciju, Beograd, YU, 1992.
- [ 5.] **JUS EN 45004:** *Opšti zahtevi za rad različitih vrsta organizacija koje obavljaju kontrolisanje*, Jugo-slovenski standard, Savezni Zavod za standardizaciju, Beograd, YU, 1999.
- [ 6.] **JUS ISO/IEC Uputstvo 39:** *Opšti zahtevi za prihvatanje kontrolnih organizacija u sistemu atesti-ranja*, Jugoslovenski standard, Savezni Zavod za standardizaciju, Beograd, YU, 1992.



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**

38

## UTICAJ MODELIRANJA NA PROCENU PREOSTALOG RADNOG VEKA BUBNJA TERMOELEKTRANE

Dr Miroslav Živković, vanr. prof., Mašinski fakultet u Kragujevcu,  
JMZ@eunet.yu

Mr Snežana Vulović, istraživač saradnik, Kragujevac

Dr Miloš Kojić, red. prof. Mašinski fakultet u Kragujevcu

Vladimir Đorđević, dipl. inž., Kragujevac

Đorđi Biljanovski, dipl. inž., TENT A, JP EPS Obrenovac

Aleksandar Jakovljević, dipl. inž., Direkcija za razvoj i investicije,  
JP EPS Beograd

Branislav Kovačević, dipl. inž., Centar za kvalitet JP EPS, Beograd

### REZIME

*U ovom radu analiziran je uticaj modela konačnih elemenata na procenu radnog veka bubnja termoelektrane. Bubanj je modeliran elementima ljuske i 3D elementima. Izvršen je proračun naprezanja materijala bubnja sa termoelastoplastičnom analizom. Rađene su dve analize i to: prva, sa projektnim geometrijskim i materijalnim podacima, i druga, kada su korigovani debljina i napon tečenja. Pokazano je da je neophodno detaljno modeliranje zona visoke koncentracije napona, jer se adekvatnim modeliranjem dobija znatno manja maksimalna efektivna plastična deformacija i znatno veći broj mogućih ciklusa. Potvrđeno je da se značajna koncentracija napona javlja u zavarenim spojevima, na prelazu između materijala šava i materijala iz zone uticaja temperature, i da su 3D konačni elementi u tom slučaju pogodniji za modeliranje u odnosu na elemente ljuske.*

#### **Ključne reči:**

termoelektrana, bubanj, plastične deformacije, radni vek.

## MODELING INFLUENCE ON ASSESSMENT OF THE REMAINING LIFETIME OF THE DRUM IN THERMAL POWER PLANT

### SUMMARY

*In this paper influence of finite element model on assessment of the remaining lifetime of the drum in thermal power plant is analyzed. The drum is modeled by shell finite elements and 3D finite elements, too. Analysis of stress and thermal-elastic-plastic strain of the drum is performed. Two analyses are compared: first, with realized geometrical and material data of drum, and the other, with modified thickness and yield stress. It is necessary detailed modeling of zones of stress concentration, because adequate modeling gives less maximal effective plastic strain and major number of cycles. Significant stress concentration in welded joints in transition zone appears, and in that case 3D finite elements are superior comparing to shell finite elements.*

#### **Key words:**

steam power plant, boiler drum, plastic strain, life time.

## 1. UVOD

Pri prvoj proračunskoj proceni preostalog radnog veka bubnja TENT A-2, koja je data referencama /1-3/, nije analiziran uticaj zavarenog spoja bubnja i cevi na veličinu elastoplastičnih deformacija. U elaboratu /4/ date su analize uticaja na preostali radni vek bubnja usled promene debljine, karakteristika materijala, kao i načina modeliranja zavarenog spoja između spušnih cevi i bubnja. Pošto je u prethodnim proračunima, /1-3/, dobijena maksimalna koncentracija napona i efektivna plastična deformacija u okolini najvećih otvora na dnu bubnja, u novom modelu konačnih elemenata ljske modelirani su spojevi bubnja i spušnih cevi, kako bi se utvrdila veličina njihovog uticaja na smanjenje koncentracije napona i plastične deformacije, /4/. Pored ovog modela, napravljeni su i novi modeli sa 3D konačnim elementima koji tačnije opisuju stvarnu geometriju spoja bubnja i cevi i koji pružaju mogućnost realnijeg modeliranja zavarenog spoja uzimajući u obzir promenu materijalnih karakteristika u zoni vara.

Proračuni konstrukcije vršeni su programom PAK /7/, koji se koristi za opštu linearnu i nelinearnu analizu konstrukcija, provođenje toplote, mehaniku fluida, spregnute probleme i biomehaniku. Program se zasniva na metodi konačnih elemenata.

## 2. OPIS MODELA BUBNJA

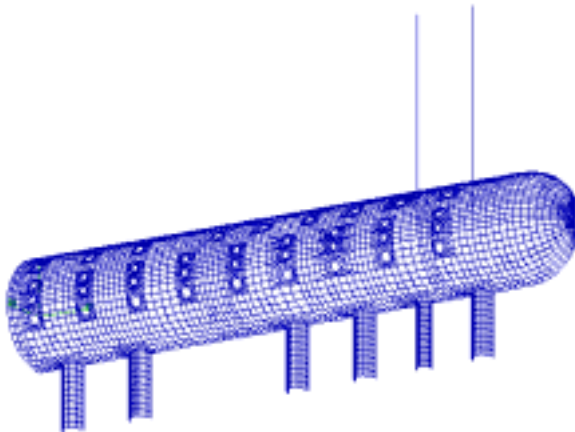
Analizom geometrije bubnja može se konstatovati da je konstrukcija približno simetrična u odnosu na uzdužnu vertikalnu ravan, i u odnosu na vertikalnu središnju poprečnu ravan. U analizi su uzeti u obzir otvori prečnika iznad debljine zida bubnja, a zanemareni su otvori manjih prečnika. Simetrija postoji i u pogledu oslanjanja, opterećenja težinom, težinom vode i pritiskom. Na osnovu merenja /1/, usvojeno je i da temperatursko polje ima simetriju.

U poglavlju 3, bubanj je modeliran elementima ljske, a u poglavlju 4, 3D elementima. U oba slučaja urađene su po dve analize i to: prva, sa projektnim geometrijskim i materijalnim podacima, i druga, kada su korigovani debljina (-2%) i napon tečenja (-20%).

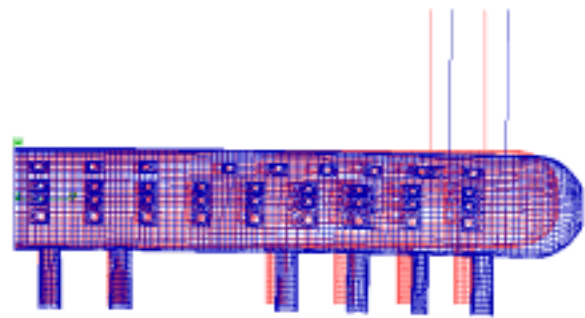
## 3. MODEL KONAČNIH ELEMENATA LJUSKE I GREDE

Korišćen je konačni element četvoročvorne ljske, sa poboljšanjima, u programu PAK, prema referencama /8-11/. Prikaz modela dat je na slici 1. Vidi se da je korišćena sitnija mreža u okolini otvora da bi se uzela u obzir koncentracija napona. Oslonci su modelirani grednim elementima (supergredni element sa tačkastim segmentom, reference /10-12/). Granični uslovi uzimaju u obzir usvojenu simetriju i uslove na mestima oslanjanja, koji podrazumevaju da bubanj može slobodno da se širi u svim pravcima.

Kao opterećenje zadati su sopstvena težina konstrukcije, težina vode, projektovani maksimalni radni pritisak i maksimalna radna temperatura, /1/.



Slika 1 Model konačnih elemenata bubnja



Slika 2 Deformisana konfiguracija

### 3.1. Termo-elasto-plastična analiza

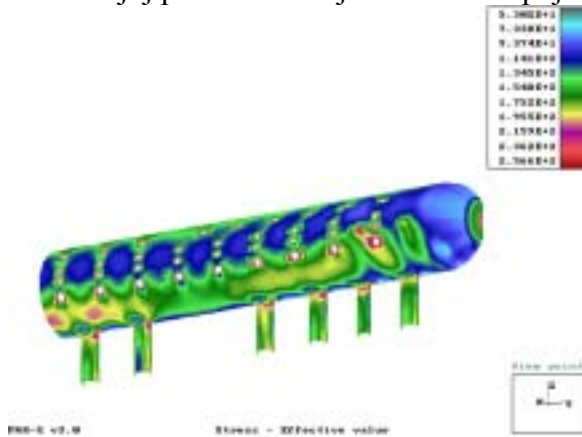
Analiza je urađena korišćenjem izotropnog termo-elasto-plastičnog modela čija je funkcija tečenja određena krivom, /13/,

$$\bar{\sigma} = \sigma_{yv} + C_y (M\bar{\epsilon}^p)^n$$

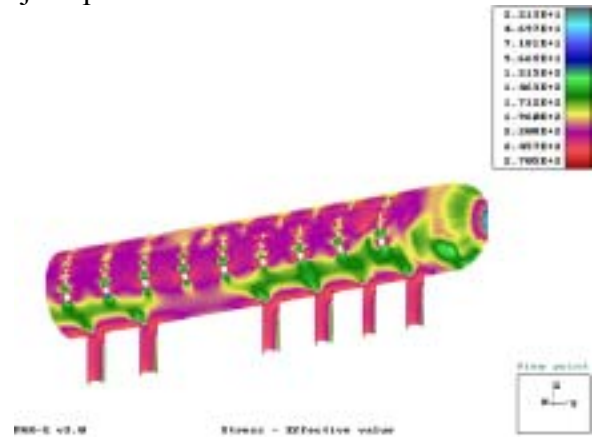
Ovde su  $\sigma_{yv}$  početni napon tečenja koji zavisi od temperature,  $C_y$  i  $n$  konstante,  $M$  - koeficijent mešovitog ojačanja, a  $\bar{\epsilon}^p$  - efektivna plastična deformacija.

Rezultati analize su pokazali da materijal ulazi u zonu plastičnog deformisanja na mestima koncentracije napona u okolini otvora. Najveća vrednost efektivne plastične deformacije, kada su istovremeno korigovani debljina i materijal, je  $\bar{\epsilon}_{max}^p = 3.063 \cdot 10^{-3}$ . Treba primetiti da su plastične deformacije na unutrašnjoj površini bubnja i cevi veće u odnosu na odgovarajuće plastične deformacije na spoljašnjoj površini.

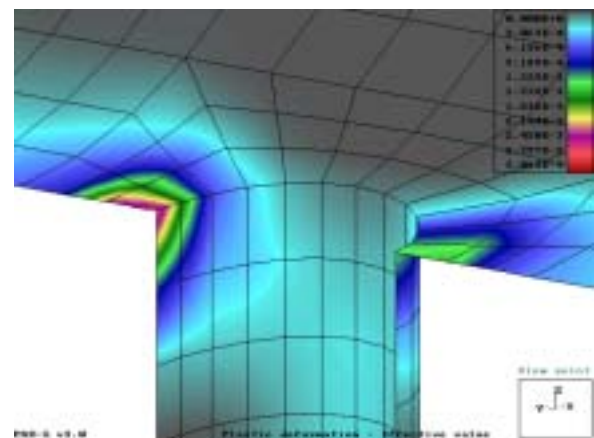
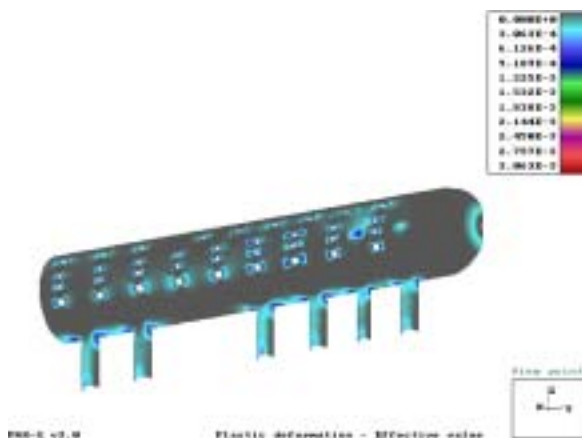
Deformisana konfiguracija je pokazana na slici 2, i vidi se da se konstrukcija slobodno deformiše a da su defracije savijanja male (maksimalno pomeranje je 45 mm). Polja efektivnog napona na spoljašnjoj i unutrašnjoj površini bubnja pokazana su na slikama 3 i 4. Vidi se da su naponi na unutrašnjoj strani veći, a maksimalni efektivni napon u konstrukciji iznosi  $\bar{\sigma}_{max} = 270.5$  MPa. Na slici 5 data su polja efektivne plastične deformacije na unutrašnjoj površini bubnja i u okolini spoja bubnja i spusne cevi.



Slika 3 Polje napona na spoljašnjoj površini



Slika 4 Polje napona na unutrašnjoj površini



Slika 5 Polje efektivne plastične deformacije na unutrašnjoj površini i u okolini spoja

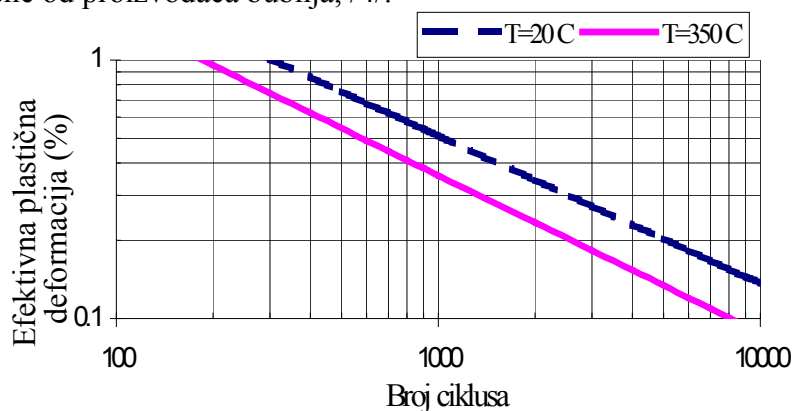
### 3.2. Procena veka trajanja konstrukcije

Pošto se radi o režimu niskocikličnog opterećenja u oblasti elastično-plastičnog deformisanja, za procenu veka trajanja konstrukcije može se koristiti zavisnosti broja ciklusa od

akumulirane efektivne plastične deformacije. Ova zavisnost ima karakter pokazan dijagramom na slici 6, a može se napisati u analitičkom obliku kao

$$e_p = c/N^m$$

gde su:  $e_p$  - veličina amplitude efektivne plastične deformacije,  $N$  - broj ciklusa,  $c$  i  $m$  - konstante dobijene od proizvođača bubnja, /4/.



Slika 6 Zavisnost broja ciklusa od efektivne plastične deformacije

U Tabeli 1 su date vrednosti proračuna maksimalnog efektivnog napona, odgovarajuće maksimalne efektivne plastične deformacije i broja ciklusa do razaranja, za prethodno opisane analize u poglavlju 2.

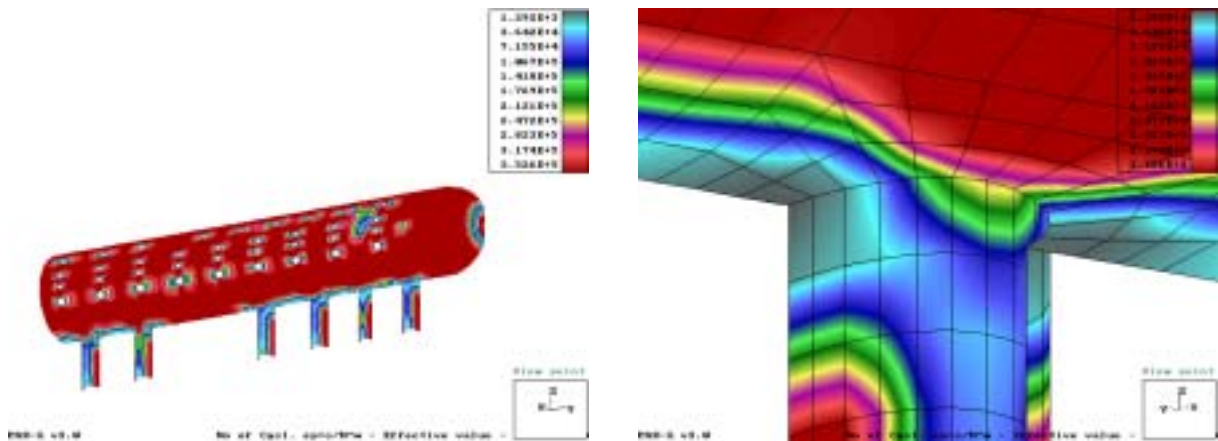
Tabela 1 Radni vek bubnja (broj ciklusa)

Tip analize	Maksimalni efektivni napon (MPa)	Maksimalna efektivna plastična deformacija (%)	Broj ciklusa
Projektovani model	312.7	0.1886	3598
Promenjen materijal (-20%) i korigovana debljina (-2%)	270.5	0.3063	1292

Rezultat prve analize, Tabela 1, očigledno pokazuje da je *neophodno modeliranje spoja bubnja i cevi većih prečnika*, jer je u tom slučaju izračunata vrednost maksimalne efektivne plastične deformacije manja za oko 50% u odnosu na vrednost dobijenu prethodnim proračunom /2/, dok je broj mogućih ciklusa povećan za više od 3.5 puta.

Rezultat druge analize pokazuje da smanjenje debljine za oko 2% i smanjenje napona tečenja za 20%, izaziva povećanje maksimalne efektivne plastične deformacije za 62% i smanjenje broja ciklusa za 2.8 puta. Očigledno da je u ovom slučaju dominantan uticaj promene karakteristika materijala na promenu maksimalne efektivne plastične deformacije i broja ciklusa. Na slici 7 prikazane su izračunate vrednosti broja ciklusa do razaranja za unutrašnju površinu bubnja, korišćenjem rezultata za efektivnu plastičnu deformaciju koji su prikazani na slici 5, kao i dijagrama na slici 6.





Slika 7 Broj ciklusa do razaranja na unutrašnjoj površini i u okolini spoja

#### 4. MODEL KONAČNIH ELEMENATA 3D I GREDE

Korišćen je osmočvorni 3D konačni element, sa poboljšanjima, u programu PAK, prema referencama /9-11/. Za plašt bubnja uzeta je ista gustina mreže kao u prethodnom modelu, slika 1, dok su po debljini korišćena 2 elementa. Oslonci, granični uslovi i opterećenja su isti kao u prethodnom modelu, poglavlje 3.

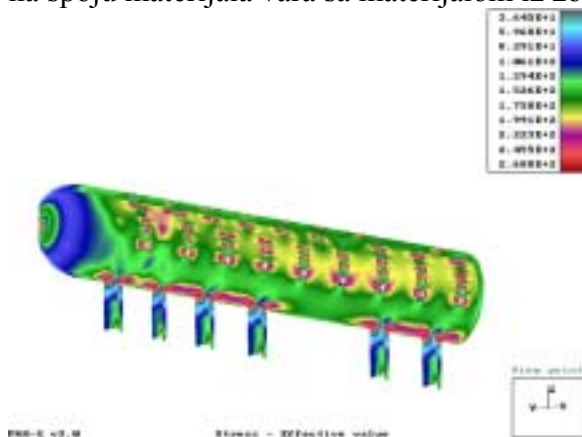
##### 4.1. Termo-elasto-plastična analiza

Analiza je urađena korišćenjem izotropnog termo-elasto-plastičnog materijalnog modela, čija funkcija tečenja data u poglavlju 3.1. Pored osnovnog materijala /5/, uvedena su još dva materijala u zoni zavarenih spojeva spušnih cevi i bubnja i to materijal zone uticaja temperature i materijal šava. U zoni uticaja temperature korišćene su materijalne karakteristike napona tečenja za 20% niže od osnovnog materijala, a u zoni materijala šava za 20% uvećane, /4/.

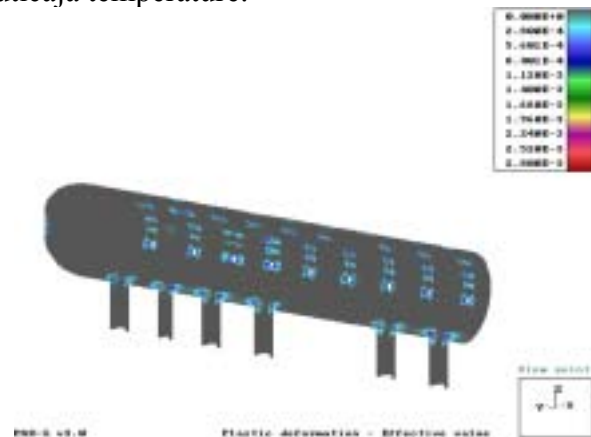
Rezultati proračuna za maksimalne vrednosti efektivnog napona i efektivne plastične deformacije dati su u Tabeli 2. Rezultati analize su pokazali da materijal ulazi u zonu plastičnog deformisanja na mestima koncentracije napona u okolini otvora, oštih ivica i na granici između zone uticaja temperature i materijala šava. Najveća vrednost efektivne plastične deformacije, kada su istovremeno korigovani debljina i materijal, je  $\bar{\epsilon}_{max}^p = 2.8 \cdot 10^{-3}$ , a maksimalna vrednost efektivnog napona je  $\bar{\sigma}_{max} = 268.8 \text{ MPa}$ .

Polja efektivnog napona i efektivne plastične deformacije na unutrašnjoj površini konstrukcije pokazana su na slikama 8 i 9, a u okolini spoja cevi i bubnja na slikama 10 i 11.

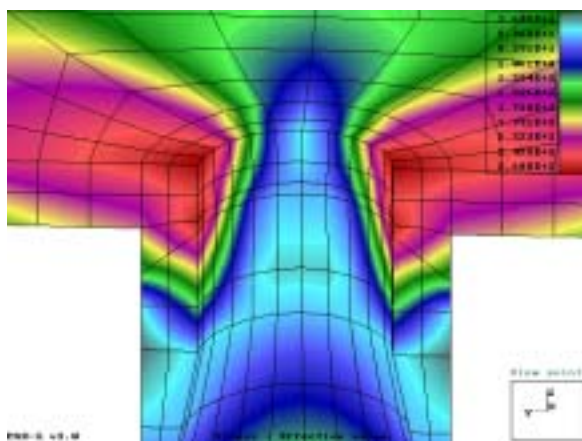
Ova analiza potvrdila je opravdanost modeliranja zavarenih spojeva, jer se jasno može uočiti sa slike 10, da se najveća koncentracija napona javlja osim u okolini oštne ivice otvora i na spoju materijala vara sa materijalom iz zone uticaja temperature.



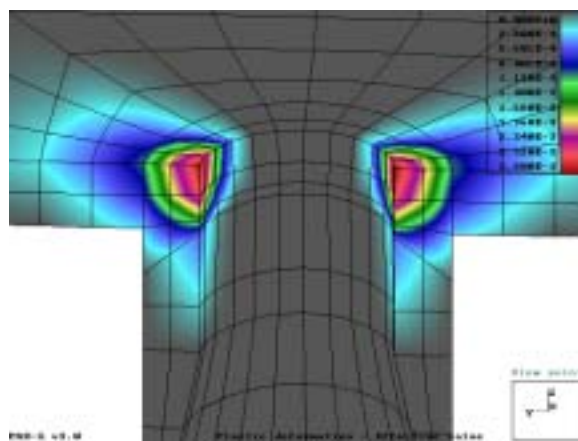
Slika 8 Polje napona na unutrašnjoj površini



Slika 9 Polje efektivne plastične deformacije



Slika 10 Napon u okolini zavarenog spoja



Slika 11 Polje efektivne plastične deformacije

#### 4.2. Procena veka trajanja konstrukcije

Za procenu veka trajanja konstrukcije primenjen je postupak opisan u poglavlju 3.2, gde je korišćena je zavisnost broja ciklusa od akumulirane efektivne plastične deformacije prikazana na slici 6.

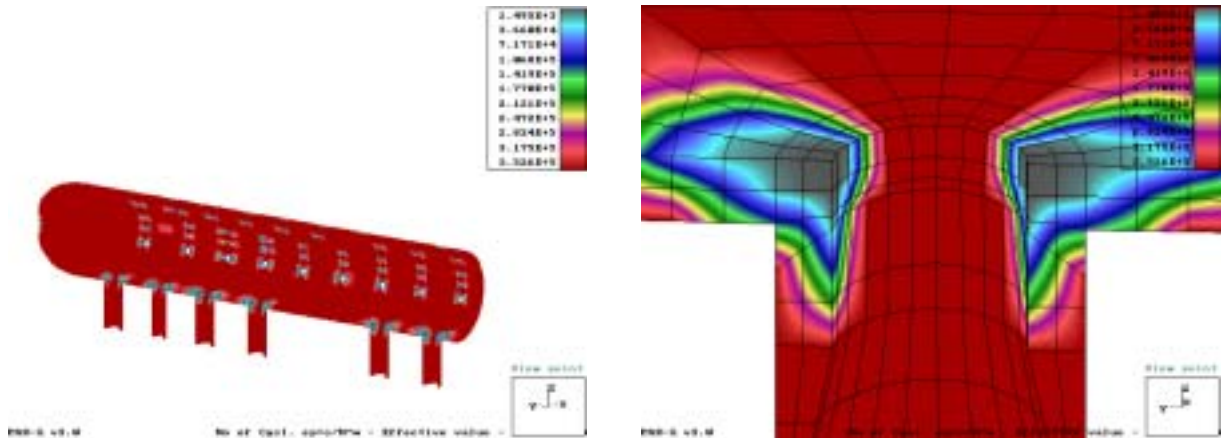
U Tabeli 2 su date vrednosti proračuna maksimalnog efektivnog napona, odgovarajuće maksimalne plastične deformacije i broja ciklusa do razaranja, za prethodno opisane analize u poglavlju 2.

Tabela 2 Radni vek bubnja (broj ciklusa)

Tip analize	Maksimalni efektivni napon (MPa)	Maksimalna efektivna plastična deformacija (%)	Broj ciklusa
Projektovani model	314.2	0.1912	2795
Promenjen materijal (-20%) i korigovana debljina (-2%)	268.8	0.2800	1495

Rezultat prve analize, Tabela 2, očigledno pokazuje da je neophodno modeliranje spoja bubnja i cevi većih prečnika, jer je u tom slučaju izračunata vrednost maksimalne efektivne plastične deformacije manja za oko 47% u odnosu na vrednost dobijenu prethodnim proračunom /2/, dok je broj mogućih ciklusa povećan za više od 2.7 puta. Upoređujući ove rezultate sa odgovarajućim dobijenim elementima ljuste, vidi se da su dobijene veće maksimalne efektivne plastične deformacije za 1.3%, a manji broj ciklusa za 22%. Takođe je očigledno da 3D elementi realnije opisuju geometriju spoja bubnja i cevi i da se zbog toga na unutrašnjoj oštroj ivici otvora i u zoni zavarenog spoja javlja maksimalna koncentracija napona, slika 10.

Rezultat druge analize pokazuje da smanjenje debljine za oko 2% i smanjenje napona tečenja za 20%, izaziva povećanje maksimalne efektivne plastične deformacije za 46% i smanjenje broja ciklusa za 1.9 puta. Očigledno da je i u ovom slučaju dominantan uticaj promene karakteristika materijala na promenu maksimalne efektivne plastične deformacije i broja ciklusa. Na slici 12 prikazane su izračunate vrednosti broja ciklusa do razaranja, korišćenjem rezultata za efektivnu plastičnu deformaciju, koji su prikazani na slikama 9 i 11, kao i dijagrama na slici 6.



Slika 12 Broj ciklusa do razaranja na unutrašnjoj površini i u okolini spoja

## 5. ZAKLJUČAK

Prethodne analize pokazuju da je neophodno detaljno modeliranje zona visokih koncentracija napona (otvori, oštre ivice, zavareni spojevi), kao što su mesta spoja cevi većih prečnika i bubnja, jer se dobija znatno manja maksimalna efektivna plastična deformacija i znatno veći broj mogućih ciklusa. To pokazuje prvi proračun 3D elementima, Tabela 2, koji realnije opisuju geometriju spoja bubnja i cevi, gde se dobija manja maksimalna efektivna plastična deformacija za 47% i veći broj mogućih ciklusa za 2.7 puta, u odnosu na vrednosti dobijene prethodnim proračunom /2/. Prvi proračun elementima ljuske, Tabela 1, daje manju maksimalnu efektivnu plastičnu deformaciju za 50% i veći broj mogućih ciklusa za 3.5 puta.

Promena debljine i promena napona tečenja približno proporcionalno menjaju maksimalnu efektivnu plastičnu deformaciju, Tabele 1 i 2, pri čemu se značajno menja broj ciklusa, zbog njihove eksponencijalne zavisnosti koja je prikazana na slici 6.

Na slici 7 može se videti da je minimalan broj ciklusa 1292, što je za oko 70% više od svih dosadašnjih zastoja bubnja, /1/. Na osnovu ovog kriterijuma moglo bi se zaključiti da bi bubanj mogao raditi još 70% vremena koje je do sada proveo u eksploataciji, pod uslovom da se pri remontima uklanjaju inicijalne prsline sa unutrašnje površine konstrukcije, a koje se javljaju u zonama visoke koncentracije napona u okolini otvora, oštih ivica i zavarenih spojeva.

Potvrđeno je da se značajna koncentracija napona javlja u zavarenim spojevima, na prelazu između materijala šava i materijala iz zone uticaja temperature, a što se jasno može videti na slici 9, pa se može zaključiti da je u budućim analizama neophodno modelirati zavarene spojeve bubnja i cevi većih prečnika.

## 7. LITERATURA

- [1] Vehauc A. sa saradnicima, Kojić M. sa saradnicima, Procena preostalog radnog veka bubnja TE “Nikola Tesla” A-2, 210 MW, Studija, maj 2000.
- [2] Vehauc A. sa saradnicima, Kojić M. sa saradnicima, Procena preostalog radnog veka bubnja TE “Nikola Tesla” A-2, 210 MW, - Dodatak elaboratu od maja 2000.
- [3] Vehauc A., Kojić M., Živković M., Jovanović Z., Procena preostalog radnog veka bubnja termoelektrane, *Tehnika*, TENT2000, 4/5, 81-84, (2000).
- [4] Živković M. sa saradnicima, Procena preostalog radnog veka bubnja kotla TE “Nikola Tesla” A-2, 210 MW, Studija II, januar 2002.
- [5] Československa Statni Norma, OCEL 15223 Mn-Mo, ČSN 41 5223, decembar 1977.
- [6] Slušny E., Statment of SES Tlmače concerning the Report 12-11b-12.04/2001, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, 7. decembar 2001.

- [7] Kojić M., Slavković R., Živković M., Grujović N. i dr., PAK - Program za linearnu i nelinearnu analizu konstrukcija, provođenje toplote, mehaniku fluida i biomehaniku, Laboratorija za inženjerski softver, Mašinski fakultet u Kragujevcu.
- [8] Bathe K. J. and Dvorkin E. N., 'A formulation of general shell elements-the use of mixed interpolation of tensorial components', *Int. j. numer. methods eng.*, 22, 697-722 (1986).
- [9] Slavković R., Živković M. and Kojić M., 'Enhanced 8-node three dimensional solid and 4-node shell elements with incompatible modes' *Communic. numer. methods eng.*, 10, 699-709, (1993).
- [10] Živković M., Konačni element grede sa deformabilnim presekom opšteg oblika za linearnu i nelinearnu analizu, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Kragujevac, (1996).
- [11] Kojić M., Slavković R., Živković M., Grujović N., Metod konačnih elemenata I - linearna analiza, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1998.
- [12] Živković M., Kojić M., Slavković R. and Grujović N., 'A general beam finite element with deformable cross-section', *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 190, 2651-2680, 2001.
- [13] Kojić M., Computational procedures in inelastic analysis of solid and structures, Center for Scientific Research of Serbian Academy of Sciences and Arts and University of Kragujevac & Faculty of Mechanical Engineering in Kragujevac, 1997.



## STANJE OPREME KAO PODLOGA ZA PRODUŽENJE RADNOG VEKA VELIKIH TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA

Dr. Slobodan V. Đekić, dipl. maš. inž.;  
Aleksandar D. Jakovljević, dipl. maš.inž.  
Elektroprivreda Srbije, Direkcija za razvoj i investicije, Beograd

### Rezime

*Produženje radnog veka termoenergetskih postrojenja predstavlja jednu od osnovnih, dugo odlaganih, aktivnosti Elektroprivrede Srbije. Stanje opreme sa procenom preostalog radnog veka vitalnih komponenti, utvrđeno po posebno pripremljenom kompleksnom programu, osnova je svih daljih planova i aktivnosti projekta produženja radnog veka (izrada investiciono-tehničke dokumentacije i drugo). Dobijeni rezultati ujedno služe za preduzimanje hitnih preventivno-korektivnih mera u cilju otklanjanja rizika u radu postrojenja do izvođenja zahvata produženja radnog veka termoenergetskog postrojenja.*

### Ključne reči:

termoenergetsko postrojenje, produženje radnog veka, ispitivanje stanja opreme, metal

## EQUIPMENT CONDITION AS A BASE FOR LIFE EXTENSION OF LARGE THERMAL POWER PLANT UNIT

Slobodan V. Djekic, Ph.D.mech.eng., Aleksandar D. Jakovljevic,  
B.Sc.mech.eng.  
Electric Power of Serbia, Development & Investment Division, Belgrade

### Abstract

*Life extension of thermal power units makes one of major, long time postponed, activity of Electric Power of Serbia. Conditions and remaining life assessment of major plant components, determined throughout realization of especially prepared investigation program, are base for all other plans and activities of the life extension (feasibility studies and other technical documentation). Obtained results are also base for urgent performance of preventive-corrective measures towards elimination of risks until life extension of plant performs.*

### Key words:

thermal power units, life extension, investigation of equipment, metal

## **UVOD**

Odnos prema termoenergetskim postrojenjima čiji je projektni radni vek istekao veoma je različit zavisno od zemlje u kojoj se postrojenje nalazi. U tržišno orijentisanim ekonomijama samo su veća ekološki prihvatljiva postrojenja sa konkurentnom cenom električne energije u produženom radnom veku bila predmet zahvata, naravno uz ispunjenje i ostalih neophodnih pretpostavki za rad postrojenja (kontinuitet u snabdevanju gorivom, vodom itd.). Jasno je da su uvažavani i ostali bitni uticaji koji proističu iz tadašnjeg stanja razvoja energetskih tehnologija, nivoa ekonomskog i industrijskog razvoja svake od zemalja, cene goriva u svetu i nizu drugih uticajnih faktora. Ostala postrojenja uglavnom manje snage i niske ekonomičnosti (uglavnom bez međupregreva pare) prevođena su u hladnu rezervu, promenjena im je namena ili su potpuno zamenjena novim. Na drugim mestima su poslovne odluke o sudbini postrojenja donošene sa ciljem zadovoljenja tekućih i kratkoročno sagledanih potreba za električnom energijom u datim, očito teškim, ekonomskim uslovima. Ovakvo šarenilo u osnovnom pristupu u svetu i presudni uticaj lokalnih uslova dovelo je do potrebe da se i kod nas razvije odgovarajući pristup produženju radnog veka velikih termoenergetskih postrojenja.

Osnovno obeležje u razvoju termoenergetskih postrojenja na fosilna goriva je skokovit rast jedinične snage i radnih parametara, a sve u cilju povećanja ekonomičnosti, pouzdanosti, raspoloživosti i boljoj zaštiti okoline. U suštini, primena jednostrukog ili dvostrukog međupregrevanja pare, značajan razvoj u domenu metalurgije čelika za rad na visokim temperaturama i primena savremenih tehničkih rešenja i opreme za merenje i regulaciju, učinili su bespredmetnom nameru produženja radnog veka svih onih starijih postrojenja koja nisu mogla da zadovolje ni jedan od gore navedenih zahteva (ekonomičnost odnosno cena proizvedene električne energije, zaštita okoline i dr.). Promenom namene termoenergetskih postrojenja, odnosno njihovom rekonstrukcijom za rad u kombinovanom režimu (proizvodnja električne energije, tehnološke pare, toplote za daljinsko grejanje) stvaraju se mogućnosti da neka od starih postrojenja pokažu ekonomsku opravdanost izvođenja zahvata produženja radnog veka. Kako ovo zavisi od niza drugih okolnosti prethodno se ne može uopštavati (pariteti cena energije, infrastruktura centralizovanog toplotnog snabdevanja, veličina toplotnog i tehnološkog konzuma energije, uslovi zaštite okoline i dr.).

Uvođenje oštih propisa o zaštiti okoline u industrijski razvijenim zemljama gotovo u potpunosti je promenilo sliku o celishodnosti produženja radnog veka termoenergetskih postrojenja. Pre svega neka postrojenja, zavisno od goriva i konstrukcije kotlovskih postrojenja prestala su da budu kandidati jer i pored neprihvatljivo visokih ulaganja ne mogu da ispune postavljene ciljeve produženja radnog veka. Kao dominantan pristup, proteklih desetak godina, primenjuje se kompletna zamena najvećeg dela postrojenja uz zadržavanje infrastrukturnih i dela građevinskih objekata. Pri tome se mora uzeti u obzir činjenica da je reč o bogatim zemljama predvodnicama u tehnološkom i ekonomskom razvoju sa definisanom politikom razvoja tehnologija. Uostalom, uvođenje oštih propisa o zaštiti okoline kao i drugih regulativa (grupa standarda ISO 9000), stvorilo je radikalno drugačije opšte privredne uslove kako u samim zemljama tako i u odnosu prema okruženju.

U elektroprivredama balkanskih zemalja (osim Grčke), kao i u najvećem broju država u svetu, nažalost nisu ni izdaleka prisutne neophodne pretpostavke za pristup produženju radnog veka na način koji se primenjuje u industrijski razvijenim zemljama. Ova elektroprivredna preduzeća se, po prvi put u svom razvoju, nalaze pred radikalno drugačijim zadacima od dobro poznatih kao što su izgradnja novih ili održavanje postojećih postrojenja. Prisutni pad industrijske proizvodnje a time i smanjena potreba za električnom energijom, tokom proteklih nekoliko godina, samo je zamaglio svu oštrinu degradacionih procesa na raspoloživim termoenergetskim postrojenjima. Očekivani zahtevi za povećanjem proizvodnje električne energije, ekonomičnijim radom i zaštitom okoline postaće gotovo nerešivi zadatak pred elektroprivrednim preduzećima Balkana u narednim godinama. Sigurno je da se ovi zahtevi

neće moći da ostvare sa postojećim postrojenjima čiji je rad praćen stalnim padom proizvodnje i ekonomičnosti i sve većim zagađenjem okoline kao osnovnim obeležjima blokova koji su kandidati za izvođenje zahvata produženja radnog veka. Dotrajalim termoenergetskim postrojenjima, kojih je sve više u elektroprivrednim preduzećima Balkana, mogu se uslovno smatrati ona koja su u pogonu preko 150.000 radnih sati ili 25 do 30 godina rada. Jasna granica ne postoji jer se postrojenja veoma razlikuju po: konstrukciji i karakteristikama ugrađenih materijala, osnovnom gorivu, uslovima rada i održavanja, mestu i ulozi u elektroenergetskom sistemu i brojnim drugim parametrima.

Očigledno je da se potreba za krupnim zahvatima produženja radnog veka ne može zameniti povećanim obimom održavanja. Naime, time se samo otklanjaju neposredni uzroci neraspoloživosti i na kratko odlažu radikalni zahvati. Ukoliko do tih zahvata ne dođe u kraćem vremenskom periodu neminovno dolazi do trajnog isključenja postrojenja iz pogona. Ovakav, često iznuđen, pristup ima za posledicu ukupno posmatrano veće troškove od onih koji bi bili potrebni da se produženju radnog veka pristupi pravovremeno.

### **Produženje radnog veka termoenergetskog bloka**

Uvažavajući lokalne specifičnosti razvijene su procedure i preporuke za realizaciju zahvata produženja radnog veka. Usaglašenost ove procedure i zakonske regulative (dozvole, saglasnosti i dr.) treba da bude potpuna kako ne bi došlo do neželjenog komplikovanja i usporavanja već i onako složenih poslova na produženju radnog veka postrojenja. Ne zalazeći u specifičnosti pristupa pripremi i izvođenju produženja radnog veka u svim procedurama elektroprivrednih preduzeća mogu se prepoznati neki opšti elementi, pre svega sledeći:

#### a) potrebne podloge i podaci

- gotovo svi elementi i podloge potrebne za izgradnju novog postrojenja praktično su potrebni i kod pripreme produženja radnog veka (podloga o osnovnom gorivu, prostorne mogućnosti šire i uže lokacije, mogućnosti vodosnabdevanja, mogućnost priključenja na mrežu, ekološka prihvatljivost objekta itd.);
- sve informacije o stanju postrojenja, istorijatu rada, svim značajnim ograničenjima i kvarovima,
- uticaj postrojenja na okolinu;
- relevantni ekonomski pokazatelji rada postrojenja (svedeni na objektivnu osnovu);
- svi elementi o planiranoj ulozi datog bloka u radu elektroenergetskog sistema i drugo;
- svi elementi razvoja elektroprivrednog preduzeća, cenama energije, povezivanju sa susednim preduzećima u elektroenergetskom sistemu i drugo;

#### b) potrebna dokumentacija i odluke

- Tehnička dokumentacija postojećih objekata.
- Nova investiciono-tehnička dokumentacija o izvodljivosti i ekonomskoj opravdanosti zahvata produženja radnog veka i to: prethodni radovi - program utvrđivanja stanja vitalne opreme bloka, procena karakteristika goriva (lignita pre svega) koji će se sagorevati tokom produženog radnog veka odnosno drugog radnog ciklusa (15-25 godina), prethodna studija opravdanosti sa analizom mogućih varijanti za donošenje prethodne odluke o nastavku rada na projektu, studija opravdanosti sa idejnim projektom za donošenje odluke o pristupanju realizaciji projekta.
- Svi izveštaji sa ispitivanja stanja vitalnih delova postrojenja, efikasnosti rada, emisije zagađujućih materija i dr..
- Sva dokumenta vezana za pripremu kao što je studija izvođenja (plan gradilišta i dr.).

#### c) planiranje i realizacija

- planiranje i organizacija izvođenja sa svim tehničkim i ekonomskim elementima;

d) ocena efekata izvedenih zahvata

- ocena efikasnosti ulaganja na osnovu stvarnih efekata (rezultati ispitivanja, stvarni troškovi i drugo);

Na slici 1. prikazan je opšti dijagram toka aktivnosti produženja radnog veka bloka.

### **Osnovni ciljevi produženja radnog veka termoenergetskog bloka**

Na osnovu dosadašnjih saznanja, osnovni ciljevi izvođenja zahvata produženja radnog veka u okviru JP EPS, mogu se u najkraćem svesti na sledeće:

- Nastavak rada bloka za najmanje 15-25 godina sa istom ili izmenjenom ulogom u EES i lokalnoj infrastrukturi.
- Povećanje sigurnosti, pouzdanosti i ekonomičnosti rada.
- Dovodjenje zaštite okoline u propisane okvire.
- Rešavanje prisutnih tehnoloških ograničenja u cilju dovodjenja bloka na nazivnu ili povećanu snagu bloka.
- Otlanjanje nedostataka i slabih mesta pripadajućeg dela pomoćnih sistema i uređaja termoelektrane.
- Korišćenje bloka kao toplotnog izvora za daljinsko grejanje i potrebe industrije za energetskom parom i toplotom gde god je to tehno-ekonomski opravdano.

## **MESTO I ULOGA PROGRAMA ISPITIVANJA STANJA OPREME I OBJEKATA**

Program utvrđivanja stanja predstavlja nezaobilaznu etapu Programa prethodnih radova za produženje radnog veka termoenergetskog bloka.

Tačnije, program detaljnih ispitivanja spada u fazu pripreme projekta za revitalizaciju i njegovo mesto u sledu aktivnosti revitalizacije termoelektrane je prikazano na slici 1.

Program utvrđivanja stanja se odnosi na utvrđivanje stanja materijala termo-mašinske i elektro opreme, betonskih i čeličnih konstrukcija glavnog pogonskog objekta i pomoćnih objekata.

Kao osnovna opredeljenja, pri definisanju svih delova Programa, usvojeno je sledeće:

- Program treba da obezbedi pouzdanu osnovu za definisanje stvarnog stanja datog objekta kontrole.
- Program treba da uvaži sve prethodne rezultate ispitivanja i u tom smislu primeni sadržaj i obim ispitivanja, te time postojeće i nove rezultate učini uporedivim i zajednički primenjivim pri definisanju i oceni stanja svakog od objekata kontrole.
- Sadržaj i obim Programa se dimenzioniše tako da bude u potpunosti ostvarljiv tokom planiranog zastoja bloka (nege, remont).
- Rezultati utvrđivanja stanja zajedno sa ostalim podacima o uslovima rada i istorijatom treba da omoguće jednoznačno definisanje osnovnih mehanizama degradacije i oštećenja materijala opreme i objekata.
- Rezultati utvrđivanja stanja sa pripadajućim ocenama (procenama) preostalog radnog veka treba jednoznačno da omoguće definisanje optimalnog sadržaja i obima zahvata produženja radnog veka bloka.
- Rezultati utvrđivanja stanja predstavljaju i osnovu za buduće praćenje stanja onog dela opreme i objekata kontrole koji nisu predmet zamena ili opsežnih zahvata u okviru Programa produženja radnog veka.



- Rezultati utvrđivanja stanja treba da omoguće i ocenu eventualne primenljivosti u slične ili neke druge svrhe onih delova, odnosno objekata kontrole koji podležu zameni u okviru programa revitalizacije.

Poseban značaj ispitivanja stanja imaju i za definisanje hitno potrebnih zahvata kojima se obezbeđuje nepohodna sigurnost i bezbednost rada postrojenja i osoblja, odnosno predupređuju veliki kvarovi i havarije.

## **OSNOVNI POSTUPCI, METODE I OPREMA ZA IZVOĐENJE ISPITIVANJA STANJA METALA**

Zajedničko za sve delove Programa utvrđivanja stanja opreme, betonskih i čeličnih konstrukcija i zgrada je, pored uvedenog strukovnog principa, podela na objekte i pod-objekte utvrđivanja stanja. Ovim se na sistematičan način, uz poštovanje funkcionalnog redosleda ili podele po funkcionalnim sistemima može na najbolji način izvršiti podela ovako kompleksnih i heterogenih industrijskih objekata kakvi su blokovi termoelektrana.

Pri definisanju sadržaja i obima kontrole vitalnih delova usvojeno je sledeće:

- Za objekte kontrole za koje se (na osnovu dosadašnjeg rada ili kao rezultat zamene) očekuje da rade i tokom produženog radnog veka, predviđa se značajan obim pregleda i ispitivanja uz primenu pretežno metoda bez razaranja materijala.
- Objekti kontrole za koje se, na osnovu dosadašnjeg negativnog uticaja po sigurnost i raspoloživost, očekuje da budu predmet zamene u okviru revitalizacije ispituju se u malom obimu ispitivanja i to uglavnom primenom metoda sa razaranjem materijala.
- Kod objekata kontrole koji se neizostavno zamenjuju iz bilo kog razloga (dotrajnost, modernizacija, rekonstrukcija i sl.) vrši se samo najmanji obim ispitivanja stanja materijala u cilju ocene eventualne upotrebljivosti u slične ili neke druge svrhe ili donošenje odluke o svrstavanju u otpadni materijal.

Na osnovu rezultata, za svaki od objekata kontrole stanja, definiše se i "novo nulto-polazno" stanje vitalnih delova, čime se stvaraju pretpostavke za uspešno praćenje stanja tokom produženog radnog veka bloka. Eventualno uočena nedopustiva stanja bila bi odmah i otklonjena u cilju obezbeđenja preko potrebne sigurnosti osoblja i opreme.

Pri izradi Detaljnog programa koriste se postojeća domaća i inostrana iskustva, pre svega, u cilju optimizacije obima i sadržaja ispitivanja stanja, jasno uz maksimalno moguće korišćenje rezultata prethodno izvedenih ispitivanja stanja.

Primenjene metode ispitivanja bez i sa razaranjem materijala svojstvene su opremi čije se stanje ispituje. Reč je pre svega o vizuelnim pregledima celina i delova svakog od sistema i pod-sistema, geometrijskim i geodetskim merama, karakterizaciji samog materijala (bilo da je beton, čelik ili neki drugi materijal) njegovoj strukturi, stepenu i mehanizmu oštećenja, oceni - proceni stepena degradacije i daljoj upotrebljivosti.

U cilju jasnog razumevanja Programom se definišu svi relevantni elementi i daje sva neophodna dokumentacija u sadržaju i obimu dovoljnom da se bez korišćenja bilo koje druge dokumentacije datog objekta zadatak može uspešno obaviti (obeležavanja, tabele, forma prikaza rezultata, mišljenja i predlozi zahvata i sl.). Reč je o definisanju sadržaja i obima, kao i mestu izvođenja odgovarajućih ispitivanja, odnosno primene određene metode, kao i definisanom obimu i načinu prikaza rezultata (tabele, skice, šeme). Naravno, ostavlja se sloboda ispitivaču da u slučaju otkrivanja zona sa većim oštećenjima, saglasno proceni, proširi obim predviđenih ispitivanja.

Izvođači utvrđivanja stanja, odnosno odgovarajući kompetentni instituti sa iskustvom na ovakvoj vrsti poslova u termoenergetskim objektima obavezni su da pri izvođenju ispitivanja na objektu ili laboratorijama koriste odgovarajuće postupke, metode i opremu za datu vrstu ispitivanja. Sva korišćena oprema mora biti sa odgovarajućim važećim atestima. Svi rukovaoci opreme moraju raspolagati odgovarajućim atestima-sertifikatima o kvalifikovanosti za primenu određenih metoda kontrole.

U okviru izveštaja o obavljenom utvrđivanju stanja osim unosa svih traženih podataka, saglasno zahtevu Programa, izvođači su dužni da navedu i sve podatke o korišćenoj opremi, metodama i postupcima, kao i da prilože odgovarajuće Ateste i Sertifikate za opremu i osoblje.

Svi postupci i metode kontrole, kao i oprema koja se koristi ne smeju ni u jednom trenutku da ugroze ili oštete opremu bloka. Kod uzimanja uzoraka predviđa se njihova zamena novim ili neki drugi propisni način sanacije.

Na osnovu izvršenih ispitivanja izvođač je dužan da jasno i nedvosmisleno da komentar o preostalom radnom veku odnosno daljoj upotrebljivosti ispitivanih elemenata i to na jednom od tri nivoa uz potrebna razjašnjenja:

- Neupotrebljiv ili upotrebljiv u kraćem vremenskom periodu uz popravke i/ili neophodna dodatna ispitivanja u periodu do njegove zamene;
- Upotrebljiv u sledećih nekoliko godina, ali ne i u predviđenom preostalom radnom veku;
- Upotrebljiv u predviđenom preostalom radnom veku.

Na osnovu rezultata prethodno izvedenih ispitivanja kao i iskustva na sličnim objektima izvođač je dužan da proceni preostali radni vek sistema u celini i to u skladu sa pomenutim nivoima uz sve dopunske napomene.

Stanje metala vitalnih delova opreme, odnosno objekata kontrole, utvrđuje se primenom gotovo svih raspoloživih postupaka i metoda ispitivanja bez i sa razaranja materijala. Osnovu čine sledeći postupci i metode: vizuelni pregled; dimenziona kontrola prečnika; debljina zida; tvrdoća materijala; penetrantsko ispitivanje; ispitivanje magnetskim česticama; ultrazvučno ispitivanje ; radiografsko ispitivanje; metalografsko ispitivanje površine metodom replike; stiloskopska kontrola; endoskopska kontrola; ispitivanje lutajućim strujama; zaptivnost sistema; čvrstoća materijala; žilavost materijala; metalografsko ispitivanje strukture; mikrotvrdoća; kontrola korozionog oštećenja; uzorkovanje; zaostali naponi; geometrija fazonskih komada i kolena i kontrola nagiba trasa linija.

Saglasno svim navedenim zahtevima i kriterijumima blok se deli na odgovarajuće osnovne objekte kontrole. Kroz dalju razradu svaki od objekata je podeljen na veći broj pod-objekata kontrole. Na primeru bloka 3 TE Kosovo A se daje osnovna podela po objektima kontrole:

- Kotlovsko postrojenje;
- Turbinsko postrojenje sa termičkom pripremom vode;
- Sistem cevovoda bloka;
- Sistem rashladne vode;
- Rezervoari za komprimovani vazduh;
- Rezervoari za tečno gorivo.

## **ELEMENTI PROGRAMA ISPITIVANJA STANJA KOTLOVSKOG POSTROJENJA BLOKA A3 U TE KOSOVO A KAO ILUSTRACIJA IZLOŽENIH PRINCIPA**

U okviru Programa ispitivanja kotlovskeg postrojenja bloka A3 izvršena je podela cevnog sistema na 18 objekata kontrole (slika 2). Objekti kontrole su poređani prema toku voda-para, stim što se objekti 10 i 11 odnose na sistem međupregrejjane pare. Šema kotla OP 650b sa označenim objektima kontrole data je na slici 2. Većina objekata kontrole je zbog svoje kompleksnosti podeljena na više pod-objekata, tako da je u okviru kotlovskeg postrojenja definisano ukupno 61 pozicija za kontrolu.

Pri izradi Programa uvažen je istorijat rada bloka, rezultati obavljenih ispitivanja u proteklom periodu, izveštaji o izvršenim zamenama na cevnom sistemu, tekuća problematika i mišljenje odgovornih ljudi za održavanje i eksploataciju kotlovskeg postrojenja.

Poseban akcenat je dat na delove cevnog sistema koji predstavljaju potencijalna kritična mesta (bubanj, spusne cevi, prestrujne cevi, komore pregrejjaja i međupregrejjaja, sabirne komore, itd.). Programom su takođe bili obuhvaćeni i delovi sistema koji do sada nisu bili predmet ispitivanja ili su ispitivani u vrlo malom obimu (ubrizgavanja, sigurnosni ventili, kolektori, drenaže, itd.), kao i delovi cevnog sistema koji su zamenjeni pre više godina.

Programom je ispoštovan princip dosadašnje kontrole postrojenja u pogledu nastavka sistematskog praćenja.

Programom je zadržan sistem obeležavanja koji se primenjuje u termoelektrani u cilju lakše identifikacije objekata i pozicija kontrole.

Kao primer u nastavku se daje prikaz dela programa ispitivanja bubnja.

Program je predvideo sledeća ispitivanja i preglede: vizuelno ispitivanje bubnja; debljina zida bubnja; tvrdoća tela bubnja; ispitivanje magnetofluksom; ultrazvučno ispitivanje i ispitivanje strukture materijala metodom replike.

Prikazani Program nije predvideo uzimanje uzoraka materijala plašta i izvođenje ispitivanja stvarnih mehaničkih i strukturnih karakteristika na mikro-epruветama i uzorcima jer za to nije postajala potreba. Međutim, kod starih bubnjeva (npr. radni vek preko 200.000 radnih sati) trebalo bi predvideti i uzimanje uzoraka radi izvođenja korektnih kontrolnih proračuna uz primenu stvarnih vrednosti čvrstoće materijala.

Procena preostalog radnog veka bubnjeva se vrši primenom dve različite metode i to:

- Procenom preostalog radnog veka bubnja na osnovu dobijenih rezultata izvedenih ispitivanja primenom odgovarajućih kontrolnih proračuna.
- Procenom preostalog radnog veka na osnovu merenja temperature plašta bubnja i pritiska u njemu za različite režime rada kotla primenom proračuna po metodi naponsko - deformacijskih stanja.

## **ELEMENTI IZVEŠTAJA O STANJU KOTLOVSKOG POSTROJENJA BLOKA A3 KAO POTVRDA IZLOŽENIH PRINCIPA**

Na osnovu svih izvršenih ispitivanja, saglasno programu, urađeno je 9 elaborata i izveštaja o stanju vitalnih delova postrojenja bloka A3 TE "Kosovo A", kao što su:

- Elaborati o stanju cevovoda visokih radnih parametara van kotla (linije RA, RB, RC i RL);
- Elaborat o stanju materijala turbine K-200-130 LMZ;

- Rezultati ispitivanja unutrašnjih naslaga u kotlovskim cevima;
- Ispitivanje stanja materijala vitalnih delova postrojenja;
- Kontrolni proračun čvrstoće objekata kontrole;
- Ispitivanje stanja materijala vitalnih delova postrojenja - remont 1998. - završna razmatranja;
- Procena preostalog radnog veka bubnjeva kotla.

## **TOK IZVOĐENJA ISPITIVANJA I PREDLOG MERA I ZAHVATA KAO PODLOGA ZA STUDIJU PRODUŽENJA RADNOG VEKA**

Tokom remonta 1997. godine, u manjoj meri, i remonta 1998. godine izvršena su ispitivanja stanja materijala vitalnih delova kotlovske postrojenja bloka 3 na TE "Kosovo A", Obilić.

Istovremeno, tokom remonta 1998. god., izvršena su ispitivanja turbine i glavnih parovoda. Uzimajući u obzir sva obavljena ispitivanja može se reći da su tokom remonta 1998. godine izvršena ispitivanja kompletnog bloka 3, što je do tada bio jedinstven primer kompleksnog pristupa ispitivanjima stanja materijala na termoenergetskim postrojenjima u zemlji.

Ispitivanja su izvršena na licu mesta metodama bez razaranja, a u laboratoriji su izvršena ispitivanja uzoraka metodama sa razaranjem. Nakon ispitivanja i izrade elaborata o izvršenim ispitivanjima izvršen je kontrolni proračun za određene objekte ispitivanja kod kojih se javila sumnja u zadovoljavajuće stanje za dalju eksploataciju, a istovremeno nisu očigledno bili za zamenu.

Na objektima kontrole na kojima nije bilo moguće kompletno ispitivanje u obimu i metodama predviđenih Programom ispitivanja (zbog neizvršene potrebne pripreme, nepristupačnosti itd.) pokušavano je da se sa smanjenim obimom ispitivanja ipak dobiju određeni podaci koji bi omogućili sticanje prave slike stanja materijala datog objekta kontrole.

Program nije realizovan u celosti, ali je odrađen njegov najznačajniji deo koji obezbeđuje dovoljno podataka o stanju vitalnijih delova postrojenja. Tokom ispitivanja dolazilo je do promena u obimu i mestima kontrole imajući u vidu uslove i dinamiku izvođenja ostalih remontnih aktivnosti. Veliki uticaj na proširenje obima ispitivanja na određenim pozicijama, imali su rezultati ispitivanja predviđenih programom, koji su otkrili nedostatke, koji su zahtevali sanacije i dodatna ispitivanja (na nekim mestima u obimu znatno većem od prvobitno planiranih ispitivanja).

Na osnovu analize kompletnih rezultata ispitivanja došlo se do sledećih zaključaka:

- Najveći defekti tipa prslina na kotlovskom postrojenju pronađeni su na izlaznim komorama konvektivnog pregrejača, komorama pregradnog pregrejača i komorama međupregrejača prvog i drugod stepena, kao i na ubodima u sve ove komore. Uzrok nastajanja prslina na svim ovim delovima kotla je uglavnom usled deformacije noseće krovne konstrukcije i dela prostora u kome se nalaze sve ove komore, što je izazvalo nedopustivo povećanje naprezanja. Najdrastičniji primer su sabirne komore iza međupregrejača prvog stepena, gde su otkrivene prsline duboke i do 22 mm, kolika je i debljina materijala na tom mestu.
- Na parovodnim linijama se uočava pojava makro prslina na jednom broju kolena i većem broju fazonskih komada ( na nekim pozicijama se te makroprsline ponavljaju iz godine u godinu).
- Posebno zabrinjavajuće stanje je na cevovodu napojne vode, gde su veliki naponi naprezanja usled lošeg nošenja u kombinaciji sa polaznim materijalom sa velikim brojem nizova uključaka i trakastom strukturom (samim tim i niskom tvrdoćom materijala),

doveli do stvaranja velikog broja prslina. Sanacije brušenjem na jednom od kolena, nisu dovedene do kraja jer se došlo do minimalne proračunske debljine cevi. Na T komadu, sanacija je morala biti izvedena navarivanjem (prslina su bile dubine i do 40 mm).

- Koroziona oštećenja su naročito izražena na cevima ekonomajzera (kiseonička i galvanska korozija - uzročnik elementarni bakar) i ekranskih cevi gde su mestimično oštećenja prošla kroz celu debljinu zida cevi. Oštećenja tipa *prozor* (na isparivaču) su se pojavila na mestima gde su sa unutrašnje strane zida cevi bili prisutni korozioni krateri promera 30 do 50 mm. Oštećenje tipa *prozor* znak su korozivnih prslina koje se najčešće javljaju u blizini zavarenih spojeva i znak su najtežeg oblika oštećenja isparivača.
- Vremenska istrošenost se pojavila na cevima isparivačkog sistema (u zoni recirkulacionih kanala usled duge eksploatacije na nešto višim temperaturama od radne - oštećenja tipa *riblja usta*), zidnog pregrejača (takođe usled lokalnih pregrevanja), kao i na cevima međupregrejača pare drugog stepena (iako su ove cevi u eksploataciji tek oko 50.000 sati). Jedan od mogućih uzroka prevremene degradacije strukture je i prisustvo mineralnih naslaga sa unutrašnjoj strane zida cevi - debelih preko 2 mm, koje prouzrokuju toplotno preopterećenje grejnih površina.

Na osnovu utvrđenog stanja, objekti koji su se pojavili kao najozbiljniji kandidati za zamenu su:

- Zagrejač vode - velika koroziona oštećenja i stanjenje zida cevi;
- usponske ekranske cevi - velika koroziona oštećenja, degradacija strukture materijala i nezadovoljavajuće mehaničke karakteristike u zoni recirkulacionih kanala;
- zidni pregrejač - vremenska istrošenost cevi;
- ulazna komora međupregrejača prvog stepena - veliko stanjenje zida i veliki broj površinskih prslina;
- izlazna komora međupregrejača prvog stepena - bubrenje;
- sabirne komore iza međupregrejača prvog stepena - veliki broj površinskih prslina;
- fazonski komadi i kolena na parovodima (RA, RB i RC), kao i većina delova na cevovodu napojne vode.

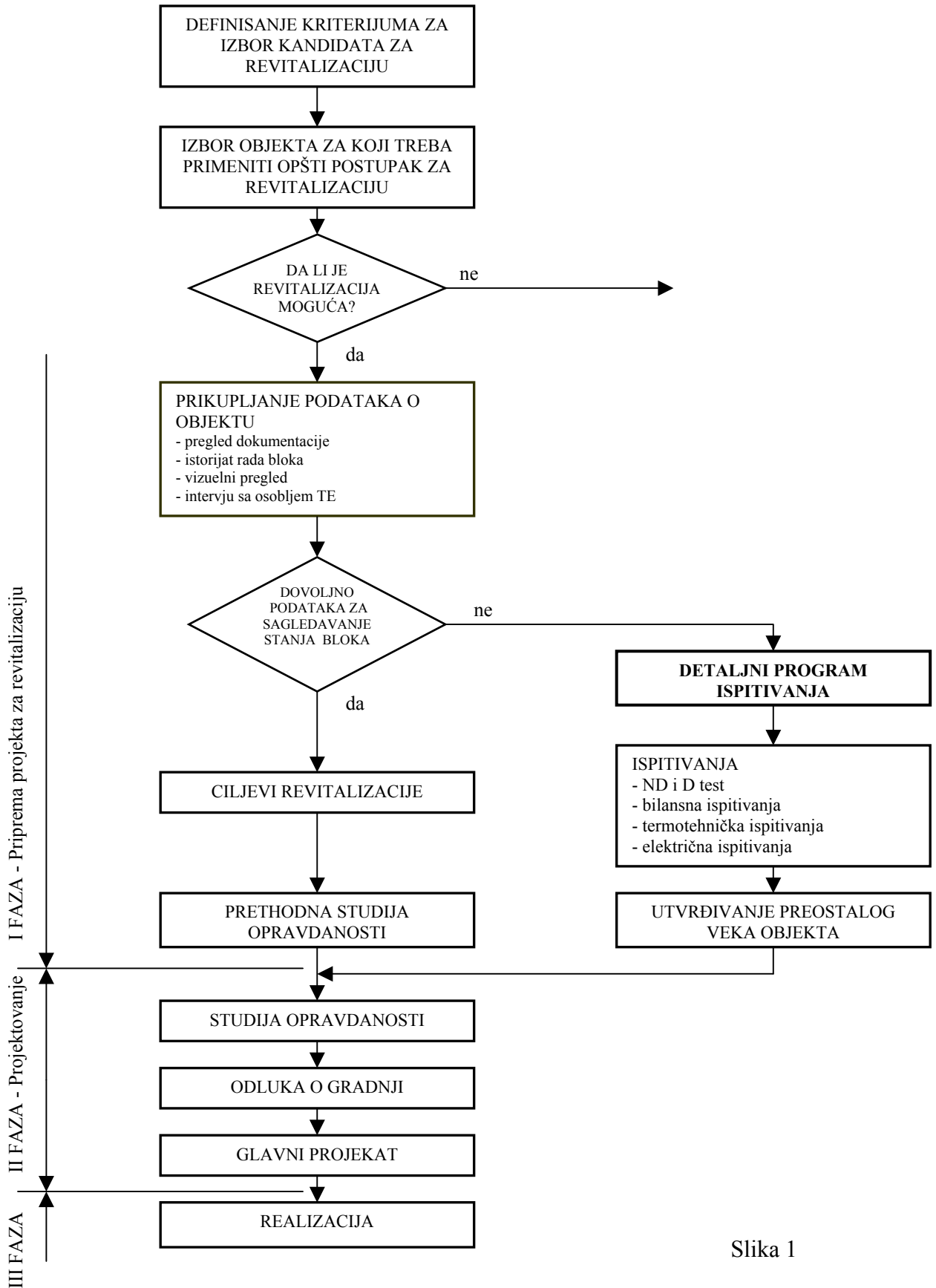
## LITERATURA

Na osnovu svih izvršenih ispitivanja urađeni su sledeći elaborati i izveštaji o stanju vitalnih delova postrojenja bloka A3, TE "Kosovo A":

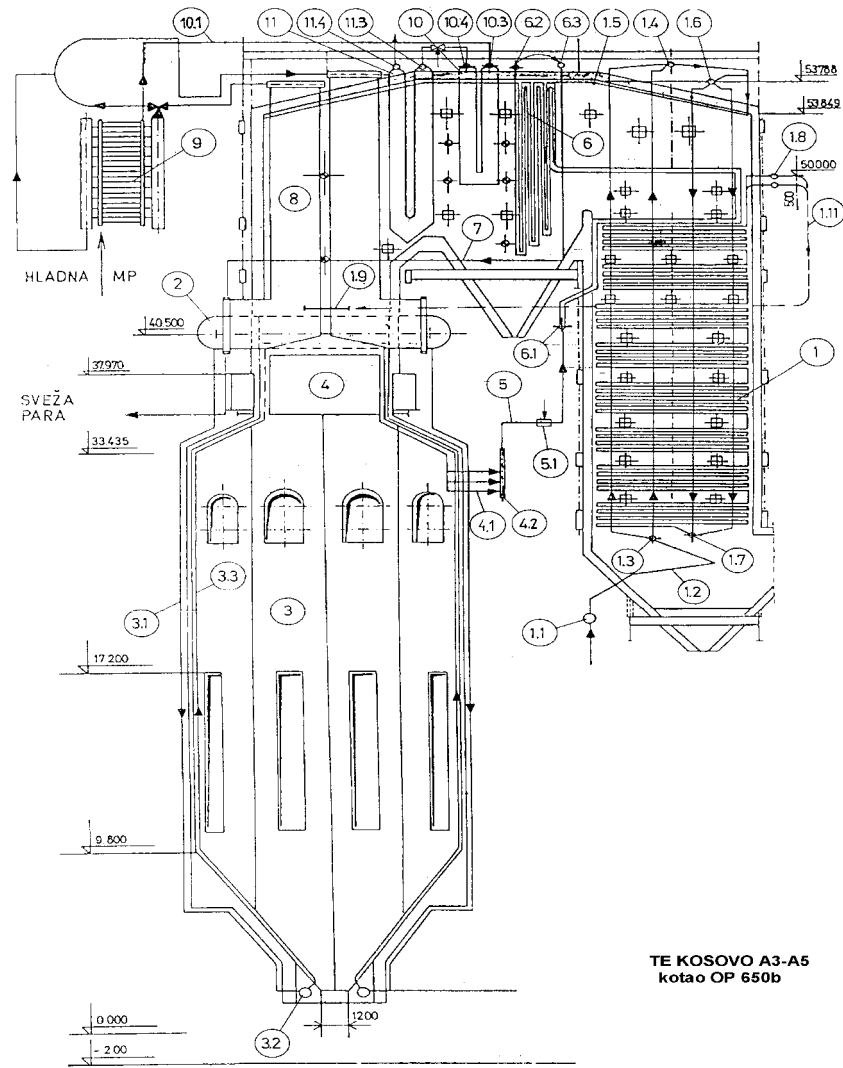
1. "Tehnički centar Termoelektro": Elaborat o stanju cevovoda visokih radnih parametara van kotla (linije RA, RB, RC i RL), blok 3 TE "Kosovo A" – Obilić, knjiga 1: Elaborat 221/98 - Ispitivanja stanja materijala parovoda visokih radnih parametara, linije RA, RB, RC i cevovoda napojne vode, linije RL
2. "Termoprojekt Termoelektro": Elaborat o stanju cevovoda visokih radnih parametara van kotla (linije RA, RB, RC i RL), blok 3 TE "Kosovo A" – Obilić, knjiga 2: Elaborat o snimanju stanja pomeranja i geometrije cevovoda, kontroli oslonaca i kontrolnim proračunima čvrstoće sa proračunima zamora cevovoda visokih radnih parametara van kotla (linije RA, RB, RC i RL), blok 3 TE "Kosovo A" – Obilić
3. "Tehnički centar Termoelektro": Elaborat o stanju materijala turbine K-200-130 LMZ blok 3 TE "Kosovo A" – Obilić, remont 1998.
4. АО НПО ЦКТИ: "Продление срока эксплуатации основных узлов турбины К-200-130 ЛМЗ и оказание технического содействия при капитальном ремонте турбины ст. №3 на ТЕ Косово в Союзной Республике Югославии"

5. Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za termotehniku i energetiku: Rezultati ispitivanja unutrašnjih naslaga u kotlovskim cevima termoelektrane "Kosovo A" blok 3
6. "Tehnički centar Termoelektro": Elaborat br. 220/98 - Ispitivanje stanja materijala vitalnih delova postrojenja bloka 3, TE "Kosovo A" – Obilić, remont 1998.
7. "Termoprojekt Termoelektro": Kontrolni proračuni čvrstoće objekata kontrole na bloku 3 TE "Kosovo A"
8. "Tehnički centar Termoelektro": Elaborat br. 220-A/98 - Ispitivanje stanja materijala vitalnih delova postrojenja bloka 3, TE "Kosovo A" – Obilić, remont 1998. – završna razmatranja
9. Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za termotehniku i energetiku: Procena preostalog radnog veka bubnjeva kotla TE "Kosovo A" blok 3, 200 MW.

## DIJAGRAM TOKA AKTIVNOSTI REVITALIZACIJE TERMOELEKTRANE



Slika 1



TE KOSOVO A3-A5  
kotao OP 650b

redni broj	objekti kontrole	broj podobjekata ispitivanja u okviru objekta
1	Zagrejač vode	12
2	Bubanj	3
3	Isparivački sistem	3
4	Zidni pregrejač pare	2
5	Prestrujne cevi zidni pregrejač - konvektivni pregrejač	2
6	Konvektivni pregrejač pare	4
7	Prestrujne cevi konvektivni pregrejač - pregradni pregrejač	1
8	Pregradni pregrejač pare	13
9	Duofluks	2
10	Međupregrejač pare I	6
11	Međupregrejač pare II	6
12	Sistem cevovoda ubrizgavanja visokog pritiska	-
13	Sistem cevovoda ubrizgavanja srednjeg pritiska	-
14	Ozračenja	-
15	Drenaže	-
16	Odsoljenja i havarijski ispust iz bubnja	-
17	Cevovodi sistema oduzimanja za probe i analize vode i pare	-
18	Cevovodi sistema doziranja fosfata	-

Slika 2



40

## METODOLOGIJA PRIMENE ENDOSKOPSKE DIJAGNOSTIKE NA VAZDUHOPLOVNOM GASOTURBINSKOM MOTORU

Docent Dr. Stefan Janković, dipl.ing., VZ "Moma Stanojlović" 11273  
Batajnica, Nesvrstanih zemalja 130  
Miroљub Jovanović, dipl.ing., JP Aerodrom "BEOGRAD"

### Rezime

*Koncept održavanja prema stanju složenih tehničkih sistema u industriji, a posebno u vazduhoplovstvu, zahteva primenu tehničke dijagnostike. Jedna od izuzetno pouzdanih metoda tehničke dijagnostike sistema, koja ne zahteva njegovo rastavljanje, je endoskopska dijagnostika.*

*Cilj primene endoskopske dijagnostike, sa ostalim metodama bez razaranja, je povećanje pouzdanosti, efikasnosti i roka rada složenih tehničkih sistema u sitemu održavanja prema stanju.*

*U radu je prezentirana metodologija endoskopske dijagnostike vazduhoplovnog gasoturbinskog motora ASTAZOU XIV M. Primeri, prikazanih oštećenja delova vazduhoplovnog motora, uzeti su iz datoteke Dijagnostičkog centra Vazduhoplovnog zavoda "Moma Stanojlović"- Batajnica. Dijagnostika ovih oštećenja, bez obzira na iskusne specijaliste Zavoda nebi bila moguća bez posedovanja savremene endoskopske opreme. U radu je istaknuta mogućnost primene endoskopske dijagnostike na održavanju složenih tehničkih sistema prema stanju u industriji Jugoslavije.*

### Ključne reči:

dijagnostika, endoskopija, održavanje prema stanju

## APPLICATION OF ADVANCED ENDOSCOPIC DIAGNOSTICS ON AIRCRAFT GASTURBINE ENGINE

Docent Doctor Stefan Janković, B.Sc.Eng., Aeronautical Plant "Moma  
Stanojlović" 11273 Batajnica, Nesvrstanih zemalja 130  
Miroљub Jovanović, B.Sc.Eng., PC Airport "BELGRADE"

### Abstract

*The conception of on-condition maintenance of complex technical system in industry, and particularly in Air Force, requires the application of technical diagnostics. One of the most reliable methods of system technical diagnostics that does not require its disassembling, is endoscopic diagnostics. The purpose of the endoscopic diagnostics application, together with other non-destructive methods, is the working terms of complex technical system within the on-condition maintenance system*

*This paper presents the basic principles of the endoscopic diagnostic of the ASTAZOU XIV aircraft gas turbine engine. Examples of the indicated damages of the aircraft engine parts are taken from the Diagnostic Centre files of the Aeronautical Plant "Moma Stanojlović"- Batajnica. Diagnostics of these damages, regardless of experienced Aeronautical Plant experts, would not be possible without possession of advanced endoscopic equipment. The paper points out the possibility of applying the endoscopic diagnostics in on-condition maintenance of complex technical system in Yugoslav industry.*

### Key words:

diagnostics, endoscop, on-condition maintenance,

## 1. UVOD

Održavanje i revitalizacija industrijskih postrojenja zahteva velika ulaganja, odgovarajuće kadrove, opremu i tehnološka znanja. Saradnja u ovom procesu sa vazduhoplovnom industrijom, bila bi izuzetno tehnički i ekonomski korisna, zbog mogućnosti korišćenja različitih tehnologija koje se mogu uspešno primeniti i na složenim tehničkim sistemima u industriji. U tom cilju, upoznavanje sa *endoskopskom dijagnostikom* primenjenom u vazduhoplovstvu i njenim značajnim potencijalima, omogućiće njenu uspešnu primenu i u ostalim granama industrije Jugoslavije.

## 2. OSNOVE TEHNIČKE DIJAGNOSTIKE

*Tehnička dijagnostika* je naučna tehnička disciplina koja se bavi teorijom, metodama i opremom za otkrivanje uzroka otkaza tehničkih sistema, uz mogućnost njegove geneze i prognoze. Za rešavanje ovog zadatka koriste se postupci *dijagnostike objekata na ispitnim stolovima, programirana kontrola stanja objekta tokom rada* i *diferencirana kontrola stanja objekta u toku eksploatacije*.

*Postupci dijagnostike na ispitnom stolu* simuliraju eksploatacione režime rada objekta uz upotrebu specijalne opreme za registrovanje vitalnih parametara. Iz analize dobijenih parametara prognozira se verovatnoća stanja objekta, definiše njegov vek upotrebe i norme dozvoljene degradacije parametara.

*Programirana kontrola stanja objekta tokom rada* u osnovi predstavlja ugrađeni procesni računar koji snima, obrađuje i izdaje vitalne informacije za stanje objekta. Uobičajene informacije su definisane u obliku *"Ispravno", "Alarm", "Neispravno", "Isključen sistem" itd.*

*Diferencirana kontrola stanja objekta u toku eksploatacije* se bazira na specijalnoj dijagnostičkoj i računarskoj opremi, pomoću kojih se vitalni parametri analiziraju i donosi zaključak o tehničkom stanju i daljoj eksploataciji.

Primena *tehničke dijagnostike* na vazduhoplovnim gasnim turbinama u eksploataciji, svodi se na rešavanje sledećih zadataka:

- *Dobijanje objektivne informacije o parametrima turbine i njenih sistema,*
- *Obrada registrovanih vitalnih parametara gasne turbine i poređenje sa dozvoljenim normama,*
- *Zaključak o tehničkom stanju gasne turbine poređenjem sa dozvoljenim normama.*

Savremena metodologija *održavanja prema stanju* zahteva da se *pouzdanost i efikasnost* rada *tehničkih sistema* baziraju na različitim dijagnostičkim metodama i postupcima. U cilju ubrzavanja procesa *dijagnostike stanja* složenih tehničkih sistema, prisutna je stalna težnja da se vizuelno pregleda stanje njegove unutrašnjosti, ali bez rastavljanja. Ove zahteve ispunjava *endoskopska dijagnostika* uz upotrebu savremene *endoskopske opreme* i specijalizovanog kadra.

## 3. ENDOSKOPSKA DIJAGNOSTIKA

Termin *endoskopija* je kovanica dve grčke reči ENDO (unutrašnjost) i SKOPEIN (gledati), što u slobodnom prevodu predstavlja **"pregled iznutra"**.

Pravilnim izborom *endoskopske opreme* moguće je u zatvorenom, neosvetljenom i skućenom prostoru, pouzdano otkrivanje, merenje, registrovanje i arhiviranje oštećenja: *prskotine, zarez, deformacije, lomovi, korozije, erozije, izgorotine, gubitak zaštitnih prevlaka, naslage, promena boje itd.* Savremena oprema za *endoskopsku dijagnostiku*, u *Dijagnostičkom centru Zavoda*, uslovno je druga generacija u razvoju opreme.

Tri osnovne grupe *endoskopske opreme* su: *Boroskopi, Fiberskopi i Video endoskopi*. Posebno su značajni specijalni alati, koji su projektovani za povezivanje sa

opremom, čime se omogućava izvlačenje sitnijih delova iz unutrašnjosti složenih konstrukcija, bez njihovog rastavljanja.

**Dijagnostički centar VZ “Moma Stanojlović” (DC)** poseduje svu navedenu **endoskopsku opremu**, koja je modularno dizajnirana, što omogućava njeno povezivanje sa procersorskim **Video analizatorom**. Ovako povezana konfiguracija čini moćan dijagnostički sistem, što je pre par godina bilo neizvodljivo. Posedovanjem različitih modula moguće je formirati odgovarajuće konfiguracije koje omogućavaju da se svaki uočeni nedostatak memoriše (na hard disku Video analizatora), i presnimi na hard disk klasičnog PC. Dalje obrade registrovanih podataka i slika, za potrebe različitih dijagnostičkih Izveštaja, mogu se vršiti upotrebom postojećeg komercijalnog softvera.

Dalji pravac razvoja **endoskopske opreme** je zasnovan na integrisanju različitih modula u jednu mobilnu celinu (**Video analizator sa video endoskopom**), sa najnovijim softverom za upravljanje, merenje dimenzija, obradu, arhiviranje i modemska prosleđivanje registrovanih slika.

Osnovne tehničke karakteristike savremene **endoskopske opreme** su sledeće:

**Boroskopi** su najstariji predstavnici opreme za **endoskopsku dijagnostiku**. Danas su oni značajno unapređeni, tako da pored visokog kvaliteta optike, imaju i više dopunskih mogućnosti koje olakšavaju rad operatera (laka rotacija do 370°, mogućnost povezivanja kamere, dodaci za uvećanje slike, novi snažni izvori svetlosti itd). **Boroskopi** po konstrukciji predstavljaju sistem optičkih sočiva ugrađenih u krutu cev, kroz koju se istovremeno dovodi osvetljenje i gleda stanje unutrašnjosti. **DC Zavoda** raspolaže sa boroskope prečnika 6 i 8 mm, kao i specijalni mini boroskop prečnika 1,8 mm. Nove konstrukcije omogućavaju povezivanje specijalnih digitalnih mini kamera na okular **boroskopa** i time njegovo povezivanje u složeni sistem sa **Video analizatorom**, čime se značajno proširuju mogućnosti **endoskopske dijagnostike**.

**Fiberskopi** su moderniji predstavnici savitljivih endoskopa, koji se sastoje od snopa tankih staklenih vlakana, ugrađenih u savitljivu cev, kroz koju se istovremeno dovodi osvetljenje i gleda stanje unutrašnjosti. Posebna mogućnost komandovanog pomeranja optičkog vrha sonde, u dve ravni, omogućava operateru laku orijentaciju u prostoru tokom pregleda. **DC Zavoda** poseduje fiberskope prečnika od 6 mm, kao i specijalni mini fiberskop prečnika 2 mm.

**Video endoskopi** predstavljaju najsavremeniji sistem **endoskopske dijagnostike** ugrađen u savitljivu cev, kroz koju se istovremeno dovodi osvetljenje i snima unutrašnjost. Na vrhu savitljivog **video endoskopa** je ugrađena specijalna minijturna digitalna kamera - čip (CCD), tako da se dobijena slika (preko **Video analizatora**) može memorisati i prebaciti na hard disk klasičnog PC-a. Proizvođač **Video analizatora** obezbeđuje softver koji omogućava obradu, čuvanje, štampanje i distribuiranje slike (preko modema) *bez gubitka kvaliteta*. Posebne komande na **video endoskopu** omogućavaju operatoru da u željenom pravcu pomera vrh **endoskopa** (sa CCD čipom) tako da kamera “gleda” u željenom smeru. **Video analizatora** poseduje poseban softver za bez kontaktno merenje dužine nekog oštećenja (prskotine), prečnika cevi ili traženog rastojanja. Podaci, sačuvani na hard disku **Video analizatora** (ili PC-u), omogućavaju efikasno praćenje stanja tehničkog sistema u budućnosti, razvoj uočenih oštećenja (ako su dozvoljena u eksploataciji), ili pojavu novih. **DC Zavoda** koristi savitljivi **video endoskop** prečnika  $\Phi 6$  mm.

Da bi se pravilno i efikasno primenila **endoskopska oprema**, pre pristupanja dijagnostici, mora se definisati metodologija rada.

## 4. METODOLOGIJA PRIMENE ENDOSKOPSKE DIJAGNOSTIKE

Primer na kome je izložena metodologija primene *endoskopske dijagnostike* je vazduhoplovni gasoturbinski motor *ASTAZOU XIV M* koji je ugrađen na laki helikopter *GAZELLE SA-342*. (Slika 1). Kompletan postupak *endoskopske dijagnostike* se sprovodi na helikopteru, bez skidanja motora. U slučaju prihvatljivih oštećenja motor nastavlja eksploataciju sa helikopterom.

Metodologiju primene endoskopske dijagnostike čine sledeće faze:

### 1. Analiza konstruktivnog rešenja objekta dijagnostike

- Prvi korak za primenu endoskopske dijagnostike je upoznavanje sa konstrukcijom i održavanjem objekta dijagnostike. Za motor *ASTAZOU XIV M* je bilo neophodno upoznavanje sa delovima i sklopovima koji se pregledaju u pogledu: *materijala, površinske zaštite, tehnologije izrade, mesta kritičnih opterećenja, moguće vrste oštećenja ...*

### 2. Izbor pristupnih otvora za uvođenje endoskopa

- Analiza iskorišćenja postojećih otvora (druge namene) za uvođenje endoskopa u unutrašnjost modula motora (kompresor, komora sagorevanja, turbina...). Izabrani pristupni otvori za uvođenje endoskopa na motoru *ASTAZOU XIV M*, prikazani su na Sl. 2. U slučaju potrebe mogu se otvoriti i novi tehnološki otvori za uvođenje endoskopa.

### 3. Izbor endoskopske opreme

- Za efikasnu dijagnostiku, oprema se uvek bira prema odabranim otvorima kroz koje će se endoskopi uvoditi, kao i dužina uvođenja *endoskopa*. Oprema za dijagnostiku gasoturbinskog motora *ASTAZOU XIV M*, izabrana je prema mestima dijagnostike sa Sl. 2.

### 4. Definisane postupka endoskopske dijagnostike

- Prema definisanim kontrolnim mestima, u poseban obrazac se unose konstatacije o nađenom tehničkom stanju sa oznakama memorisanih slika.

Postupak *endoskopske dijagnostike* je definisan kontrolnim mestima na Sl. 2 i obrascem (Tabela 2) u koga se unose zapažanja tehničkog stanja po modulima motora (kompresor, komora sagorevanja, turbina)

Primeri memorisanih oštećenja motora *ASTAZOU XIV M* su prikazani na slikama u Prilogu 1. Na dve lopatice od kompresora i turbine su prikazane dimenzije oštećenja korišćenjem softverskog paketa u *Video analizatoru*. Memorisane slike oštećenja, u sistemu *održavanja prema stanju*, služe za praćenje propagiranja oštećenja između dve *endoskopske dijagnostike*.

### 5. Analiza dozvoljenih oštećenja

- Jedna od najvažnijih faza *endoskopske dijagnostike* je analiza konstatovanih oštećenja u cilju donošenja odluke o nastavku eksploatacije objekta dijagnostike. Za ocenu prihvatljivosti konstatovanog oštećenja najčešće se koristi metoda poređenja sa etalonskim (prihvatljivim) oštećenjima na odgovarajućem delu tehničkog sistema. Etalon može biti posebno pripremljeni deo, crtež, skica, fotografija, memorisana slika sa što preciznije definisanim kriterijumima oštećenja (dužina, dubina, površina, mesto, broj, oblik itd.).
- Memorisane slike oštećenja na delovima motora *ASTAZOU XIV M* koje su analizirane u pogledu dozvoljenih oštećenja prikazane su u Prilogu 1.

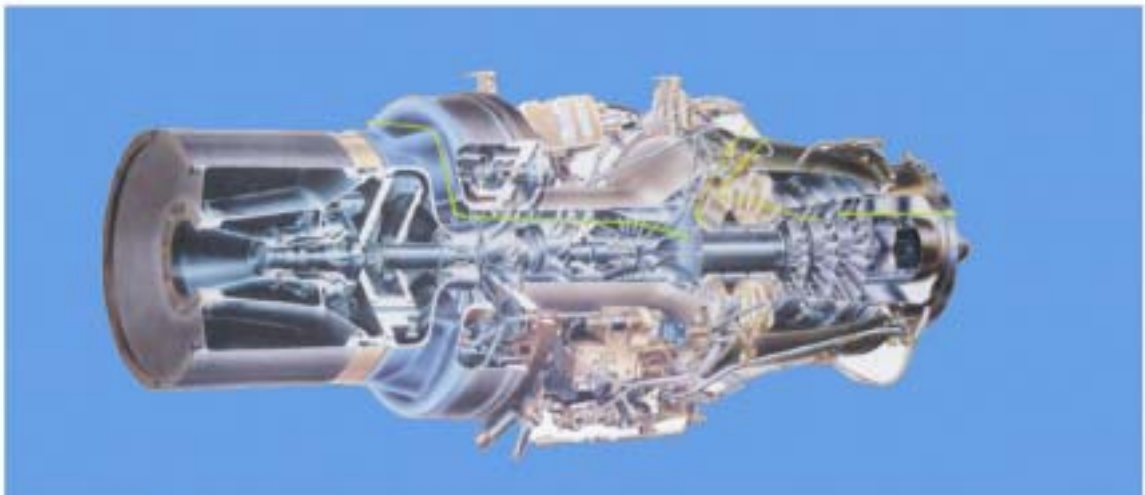
### 6. Izrada izveštaja

- Izveštaj o nađenom stanju predstavlja poslednju fazu metodologije *endoskopske dijagnostike* tehničkog sistema. U Izveštaju *endoskopske dijagnostike* se daje jasan zaključak sa predlogom mera o daljoj eksploataciji objekta dijagnostike. Prilog Izveštaja obavezno sadrži sve slike registrovanih oštećenja koja će se pratiti

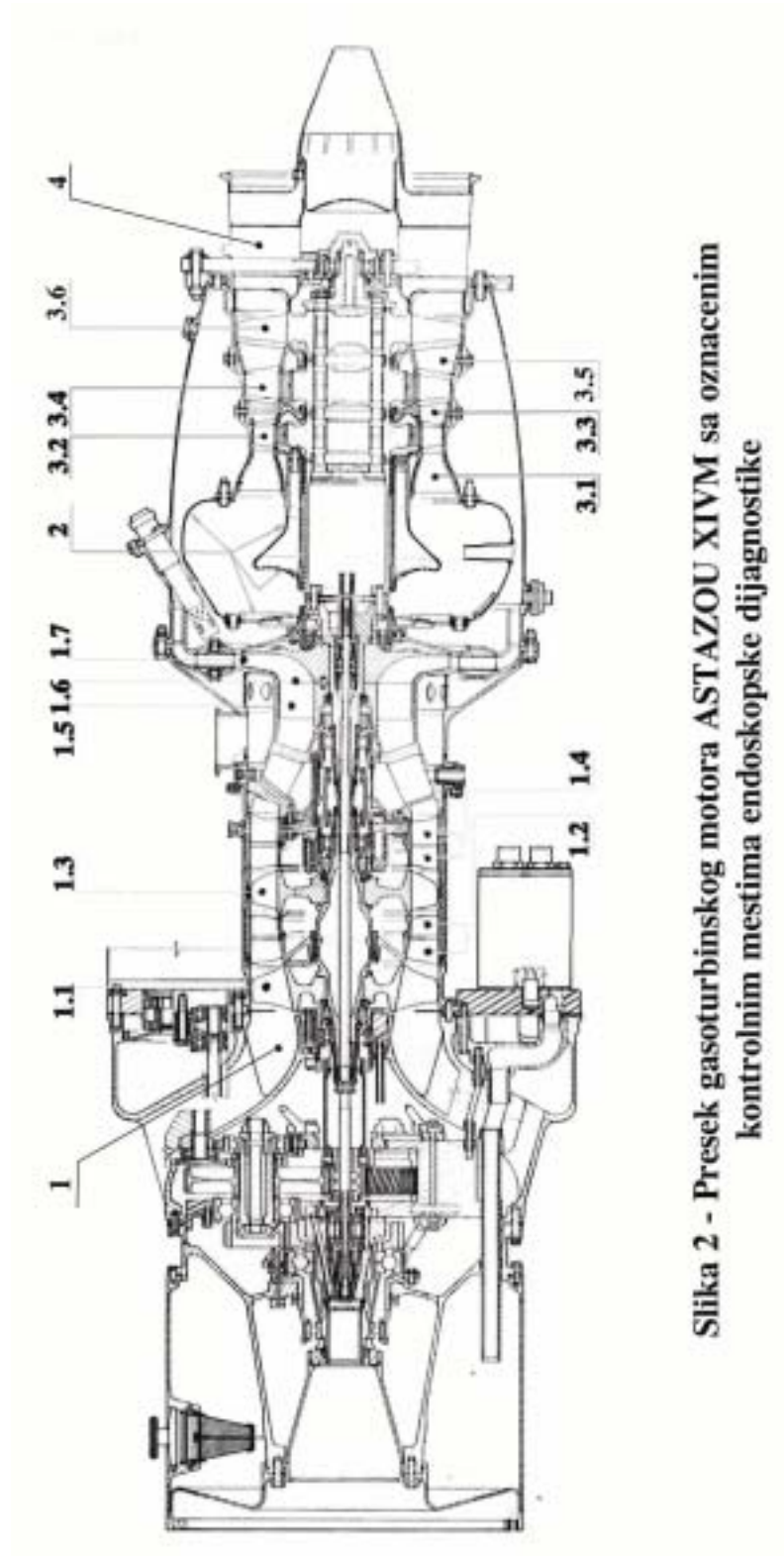
u sistemu **održavanja prema stanju**. U Prilogu 1 prikazane su slike otkrivenih oštećenja na motoru *ASTAZOU XIV M*.

## 5. ZAKLJUČAK

1. Cilj primene **endoskopske dijagnostike** je uvođenje sistema **održavanja prema stanju**, kroz kontinualne i povremene kontrole komponenti sistema. Ovakav tip održavanja, sa unapred definisanim preventivnim postupcima kontrole, obezbeđuje visoku pouzdanost i efikasnost u odnosu na klasičan sistem održavanja sa konstantnim rokovima rada (časovni ili kalendarski), uz značajne uštede.
2. Savremena **endoskopska dijagnostika** zahteva, pored sofisticirane opreme, iskusne specijaliste za dijagnostiku, koji moraju posedovati multidisciplinarna znanja o tehničkim sistemima, u pogledu:
  - a) konstrukcije i vitalnih elemenata sklopa,
  - b) tehnologija izrade i materijala elemenata i sklopova,
  - c) sistema automatske kontrole i regulacije sistema,
  - d) izbora i rukovanja dijagnostičkom opremom.
3. Bez obzira na cenu savremene **endoskopske opreme**, neophodno je stalno praćenje inovacija u ovoj oblasti, i permanentno doopremanje, jer su uštede u procesu **održavanja prema stanju** neuporedive. Pored navedenih pogodnosti treba imati u vidu i realnu mogućnost pružanja servisnih usluga drugima, što donosi dodatne finansijske efekte.
4. Već su izvedene inovirane konfiguracije endoskopske opreme (treća generacija) integrisane u mobilnu celinu (**Video analizator** sa **Video endoskopom**) sa novim softverima za upravljanje, merenje dimenzija (dužina, obim i površina), obradu, arhiviranje i modemska prosleđivanje memorisanih slika.
5. Metodologija **endoskopske dijagnostike**, primenjena na vazduhoplovnom gasoturbinskom motoru *ASTAZOU XIV M*, može se uspešno primeniti i u **dijagnostici** različitih složenih tehničkih sistema, kao što su: *Otto i Dizel motori, parne i gasne turbine, turbokompresori, pumpe, ventilatori, parni kotlovi sa instalacijama, sudovi pod pritiskom, izmenjivači toplote, elektro transformatori, rezervoari, cevovodi, reduktori, transmisona vratila, menjači, multiplikatori, diferencijali ...*



Slika 1 – Izgled lakog helikoptera GAZELLE SA342 sa delimičnim presekom motora ASTAZOU XIV M



Slika 2 - Presek gasoturbinskog motora ASTAZOU XIVM sa oznacenim kontrolnim mestima endoskopske dijagnostike

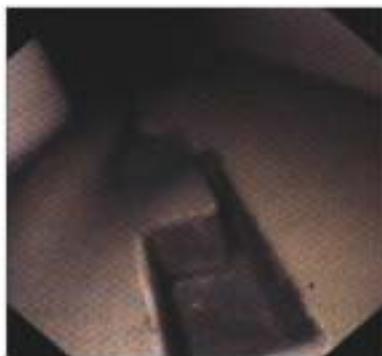
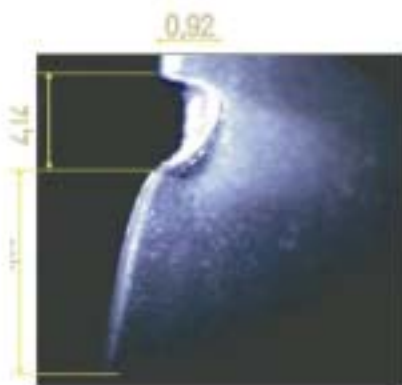
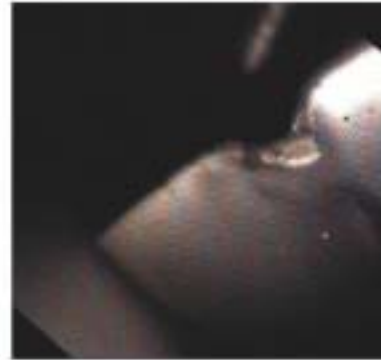
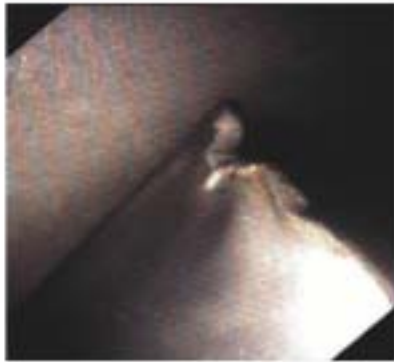
**Tabela 1 ENDOSKOPSKA DIJAGNOSTIKA MOTORA ASTAZOU XIVM**

<b>Izvršio:</b>		<b>Datum:</b>	
<b>Kontrola:</b>		<b>Mesto dijagnostike:</b>	

<b>Ser.br.</b>	
<b>Ev.br. helik</b>	

Redbr	Predmet	Slika br.	Nađeno stanje	Zaključak
1	UVODNIK			
1.1	ROTOR - I ST. AKS. KOMPRESORA - lopatice, radijalni i aksijalni zazor			
1.2	STATOR – I ST.AKS.KOMPRESORA - lopatice I i II venca			
1.3	ROTOR - II ST. AKS. KOMPRESORA - lopatice, radijalni i aksijalni zazor			
1.4	STATOR – II ST.AKS.KOMPRESORA - lopatice I i II venca			
1.5	CENTRIFUGALNO KOLO - lopatice uvodnog dela - radijalni zazor			
1.6	CENTRIFUGALNO KOLO			
1.7	- lopatice radijalnog dela - spoj lopatica uvodnog i radijalnog dela - radijalni zazor			
2	KOMORA SAGOREVANJA - spoljašnje i unutrašnje sekcije sa mešačima i otvorima sekundarnog vazduha			
3	SKLOP TURBINE - spoljašnje kućište turbine			
3.1	STATOR – I STEPEN TURBINE - lopatice			
3.2	ROTOR - I STEPENA TURBINE - lopatice, radijalni i aksijalni zazor			
3.3	STATOR – II STEPEN TURBINE - lopatice			
3.4	ROTOR - II STEPENA TURBINE - lopatice, radijalni i aksijalni zazor			
3.5	STATOR – III STEPEN TURBINE - lopatice			
3.6	ROTOR - III STEPENA TURBINE - lopatice, radijalni i aksijalni zazor			
4	PAOCI			





**Primeri memorisanih oštećenja na motoru  
ASATZOU XIV M**



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**

# DIJAGNOSTIKA STANJA GLAVA NAMOTAJA STATORA GENERATORA

41

Dr Slobodan S. GAJIN, dipl. ing.

Dr Zoltan JEGEŠ, dipl. ing.

NORTH Engineering d.o.o. Subotica, Kontrolno telo NORTH Control

**Rezime:** U radu je prikazana nekonvencionalna metoda dijagnostike stanja dinamičkih karakteristika glava kanura namotaja statora sinhronih generatora, na bazi ispitivanja spektralnih svojstava. Opisani su fizički osnovni metode, dijagnostički parametri, tehnologija ispitivanja i granične vrednosti prihvatljivosti na bazi internog standarda NES 1020-1:1999 (North Engineering Standard). Procedura je ilustrovana na primeru kontrolisanja sinhronog turbogeneratora od 250 MVA.

**Ključne reči:** Sinhroni generator, namotaj statora, glava kanure, dijagnostika stanja.

## 1. UVODNE NAPOMENE

Dijagnostika stanja glava kanura namotaja statora sinhronih generatora na bazi ispitivanja spektralnih svojstava bazira se na primeni originalne metode pod nazivom "Postupak za ispitivanje mehaničkih karakteristika namotaja statora sinhronih generatora", razvijene u toku 1996. godine u kompaniji **NORTH Engineering d.o.o. Subotica, NORTH Lab, Laboratorija za dijagnostiku mašina**. Metoda je patentno zaštićena od strane Saveznog zavoda za intelektualnu svojinu u Beogradu, patentna prijava P-35/98. Na međunarodnoj izložbi patenata i inovacija održanoj u u Budimpešti marta 1998. godine, pod nazivom "International Invention Exhibition - Genius '98", metoda je dobila specijalnu nagradu međunarodnog žirija i medalju "Genius '98. Prize".

Metodom je obuhvaćena procena *kompaktnosti* venca glava kanura i *osetljivosti* strukture na pobudu rezonantnih vibracija na frekvenciji elektromagnetnog polja. U periodu 1996./2001. godine, u saradnji sa korporacijom **SEVER Inženjering AD Subotica, Fabrika Remont električnih mašina**, metoda je verifikovana na objektima Elektroprivrede Srbije, i to na hidrogeneratorima do 45 MVA i turbogeneratorima do 250 MVA, kao i u sklopu dijagnostike stanja industrijskih turboagregata.

U radu je prikazana strategija dijagnostike stanja glava kanura namotaja statora iz aspekta kompaktnosti strukture venca glava kanura i osetljivosti te strukture na pobudu rezonantnih vibracija elektromagnetnog porekla, tj. procedura ispitivanja koja je definisana internim standardom NES 1020-1:1999. Dijagnostike stanja žlebnih klinova/letvi na bazi procene kompaktnosti strukture, nije predmet ovog rada, a opisana je u internom standardu NES 1020-2:1999.

## 2. RELEVANTAN TEHNIČKI PROBLEM

Nekompaktnost strukture venca glava kanura namotaja statora sinhronih generatora i neadekvatne dinamičke karakteristike te strukture mogu imati za posledicu pobudu intenzivnih rezonantnih vibracija delova namotaja, tako da neretko dolazi do mehaničkih oštećenja delova namotaja, u prvom redu izolacionog sistema, odnosno glava kanura i izvoda. Epilog ovakvog stanja je, po pravilu, električni proboj namotaja.

Mehanička oštećenja izolacionog sistema na aktivnim delovima štapova namotaja statora najčešće nastaju zbog nekompaktnosti namotaja, odnosno vibracionih pomeranja štapova u žlebovima, dok oštećenja glava kanura i izvoda namotaja statora nastaju kao posledica zamora materijala izazvanog intenzivnim rezonantnim vibracijama. Na osnovu iznetog sledi da je za pouzdanost i sigurnost rada sinhronog generatora od posebne važnosti identifikacija upravo ta dva stanja, odnosno :

- *kompaktnosti* strukture namotaja statora sinhronih generatora, uključujući i venac glava kanura, i
- *osetljivosti* strukture glava kanura i izvoda namotaja statora na pobudu rezonantnih vibracija.

## 3. FIZIČKA ZASNOVANOST METODE

Predložena metoda ispitivanja glava kanura namotaja statora generatora bazira se na uspostavljanju korelacije između određenog fizičkog stanja strukture i njenih spektralnih svojstava, odnosno prirodnih frekvencija.

Za procenu stanja kompaktnosti ma koje složene strukture može poslužiti rasipanje vrednosti prirodnih frekvencija delova te strukture. U slučaju venca glava kanura namotaja statora može se zaključiti da će struktura biti utoliko kompaktnija ukoliko su manja rasipanja vrednosti prirodnih frekvencija njenih delova - glava kanura.

Kod procene stanja venca glava kanura na osetljivost strukture ka pobudi rezonantnih vibracija elektromagnetnog porekla polazi se od poznate fizičke činjenice da je neka struktura utoliko osetljivija na pobudu rezonantnih vibracija ukoliko joj je prirodne frekvencija bliža frekvenciji pobude. Prema tome, bliskost prirodne frekvencije strukture i/ili njenog dela sa dominantnom frekvencijom pobude može biti merilo osetljivosti te strukture ka pobudi rezonantnih vibracija. U slučaju glava kanura namotaja statora frekvencija dominantne pobude elektromagnetnog porekla, tj. iznosi 100 Hz.

#### 4. DIJAGNOSTIČKI PARAMETRI

Na osnovu iznetog nedvosmisleno sledi da bi prirodna frekvencija delova ispitivanje strukture, glava kanura namotaja statora, mogla biti usvojena kao dijagnostički parametar.

Ima više razloga da se prirodna frekvencija relevantnih delova namotaja statora, u prvom redu glava kanura, uzme za dijagnostički parametar. Najznačajniji razlog za to je činjenica je da postoji direktna korelacija između spektra prirodnih frekvencija strukture i njenih relevantnih stanja strukture, kompaktnosti i osetljivosti prema pobudi rezonantnih vibracija. Nije nevažno ni to da se prirodna frekvencija može pouzdano i relativno jednostavno identifikovati čak i na mestu ugradnje.

Može se prihvatiti da je u slučaju glava kanura namotaja statora generatora prirodna frekvencija osnovni parametar koji se određuje eksperimentalno, direktnim merenjem na bazi modalnog testa. Međutim, pošto se radi o dva suštinski različita stanja strukture - kompaktnosti i osetljivosti ka pobudi rezonantnih vibracija, korisno je za kvalitativno i kvantitativno vrednovanje svakog od njih uvesti posebne parametre, *stepen kompaktnosti* i *stepen osetljivosti*.

##### 4.1. Stepen kompaktnosti strukture

Prema internom standardu NES 1020-1:1999, stepen kompaktnosti relevantnog dela strukture (npr. glave kanure namotaja statora), oznaka  $\lambda$ , definiše se relacijom :

$$\lambda = f / f_{sr} \quad (1)$$

gde je  $f$ , Hz prirodna frekvencija prvog tona glave kanure, dok je  $f_{sr}$ , Hz srednja vrednost prirodnih frekvencija strukture, svih glava koje čine venac glava kanura sa jedne strane statora.

##### 4.2. Stepen osetljivosti strukture

Prema internom standardu NES 1020-1:1999, stepen osetljivosti relevantnog dela strukture (npr. glave kanure namotaja statora), oznaka  $\mu$ , definiše se relacijom :

$$\mu = f / f_{dp} \quad (2)$$

gde je  $f$ , Hz prirodna frekvencija prvog tona glave kanure, dok je  $f_{dp}$ , Hz frekvencija dominantne pobude strukture. U slučaju glava kanura namotaja statora  $f_{dp} = f_{em}$ , gde je  $f_{em} = 100$  Hz frekvencija elektromagnetne pobude.

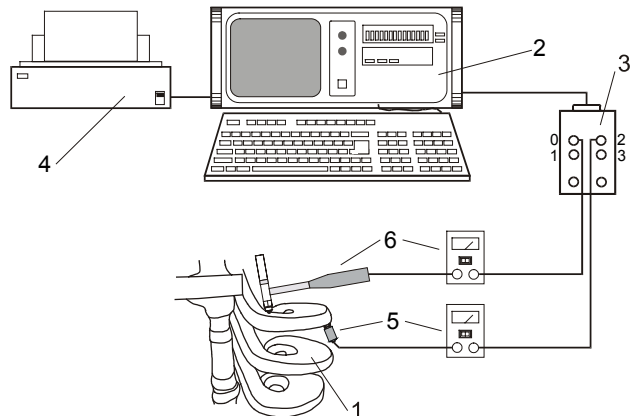
#### 5. REALIZACIJA ISPITIVANJA

Ispitivanje delova namotaja statora sinhronih generatora po predloženoj proceduri frekvencijskog odziva elemenata strukture, glava kanura i izvoda, vrši se u uslovima *in situ*, tj. na mestu ugradnje uređaja. Metoda ispitivanja je nedestruktivna i u principu ne zahteva vađenje rotora, što joj je jedna od osnovnih prednosti u odnosu na konvencionalne metode ispitivanja i kontrolisanja namotaja statora.

Za realizaciju ispitivanja neophodno je da uređaj bude izvan pogona, da postoji direktan pristup glavama kanura i izvodima namotaja, što se postiže skidanjem poklopaca generatora, kao i da dinamički uticaji okruženja na ispitivanom objektu ne indukuju vibracije i potrese koji bi ometali uspešnu realizaciju modalnog testa. Poslednji zahtev se najčešće svodi na to da u tačkama ispitivane strukture  $V_{rms}$  nije veće od cca 0.05 mm/s.

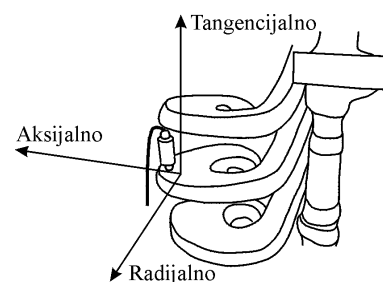
#### 5.1. Merni lanac i merne tačke

Za realizaciju ispitivanja dinamičkih karakteristika namotaja statora sinhronih generatora koristi se merni lanac prikazan na sl. 1. Pri tome je sa (1) označen objekat dijagnostike - glava kanure ili izvod namotaja statora, sa (2) višekanalni analizator dinamičkog signala, sa (3) je označen konektorski sklop, sa (4) štampač, (5) je akcelerometar sa pripadajućim pojačivačem, dok je sa (6) označen čekić za impulsnu pobudu, takođe sa odgovarajućim pojačivačem signala.



Slika 1 : Merni lanac za ispitivanje glava kanura

Merne tačke za realizaciju testa su na glavama, odnosno izvodima namotaja statora, a ispitivanje se po pravilu sprovodi za jedan od tri međusobno ortogonalna pravca, sl. 2, koji označavamo kao merodavan, a koji prvenstveno zavisi od konstrukcionih svojstava namotaja. Za većinu namotaja turbogeneratora taj pravac je tangencijalan, dok je kod hidrogeneratora najčešće merodavan radijalan pravac.



Slika 2 : Merna tačka i merni pravci

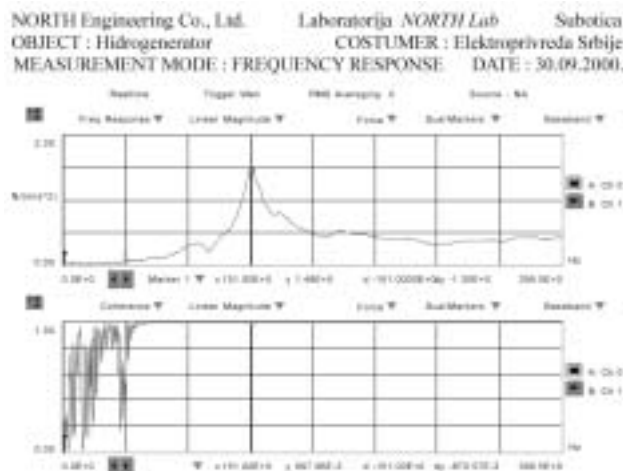
#### 5.2. Tehnologija ispitivanja

Realizacija ispitivanja glava kanura namotaja statora generatora po predloženoj proceduri počinje skidanjem poklopaca. Ispitivanje se sprovodi u skladu sa opštim zahtevima za realizaciju modalnog testa, u prvom redu saglasno sa ISO 7626-1:1986 i ISO 7626-5:1994, kao i internom standardu NES 1020-1:1999.

Ispitivanju se podvrgavaju sve glave i izvodi sa obe strane generatora, pri čemu se mora voditi računa o koraku namotavanja, sl. 3. Primarni produkt testa su funkcije frekvencijskog odziva glava kanura na impulsnu pobudu, odnosno spektri prirodnih frekvencija. Ponovljivost rezultata modalnog testa obezbeđuje se odgovarajućom funkcijom koherencije, sl. 4.



Slika 3 : Impulsna pobude glave kanure



Slika 4 : Funkcija frekvencijskog odziva glave kanure

## 5.2. Pehvatljivost rezultata ispitivanja

Interni standard *NES 1020-1:1999* : *Strukturalni parametri - Ispitivanje rotacionih električnih mašina metodom frekvencijskog odziva, Deo 1* : Glave kanura i izvodi namotaja statora, nastao je kao rezultat višegodišnjih ispitivanja realizovanih na objektima u sklopu Elektroprivrede Srbije i industrijskim turboagregatima.

Naznačenim standardom, pored ostalog, definisana je prihvatljivost rezultata ispitivanja glava kanura namotaja statora za dijagnostičke parametre *stepen kompaktnosti* i *stepen osetljivosti*. Saglasno standardu *NES 1020-1:1999*, vrednovanje rezultata ispitivanja vrši se u odnosu na dva kriterijuma, i to :

- kriterijum kompaktnosti strukture, i
- kriterijum osetljivosti strukture.

### Kriterijum kompaktnosti strukture

U zavisnosti od vrednosti parametra  $\lambda$  razlikuju se tri nivoa kompaktnosti, označeni sa *A*, *B* i *C*. Pri tome su naznačeni nivoi definisani na sledeći način :

- Nivo kompaktnosti strukture *A* : Preporučeno područje,  $0.70 \leq \lambda \leq 1.30$ .
- Nivo kompaktnosti strukture *B* : Nepreporučeno područje,  $\lambda > 1.30$ .
- Nivo kompaktnosti strukture *C* : Nedoželjeno područje,  $\lambda < 0.70$ .

U dijagnostičkom smislu, glava kanure namotaja statora na kojoj je identifikovan nivo kompaktnosti *C* iskazuje svojstvo razlabavljenosti, što znači da je podložna pobudi intenzivnih vibracijama.

### Kriterijum osetljivosti strukture

U zavisnosti od vrednosti parametra  $\mu$  razlikuju se tri nivoa osetljivosti, označeni sa *A*, *B* i *C*. Pri tome je :

- Nivo kompaktnosti strukture *A* : Preporučeno područje,  $\mu > 1.10$ .
- Nivo kompaktnosti strukture *B* : Nepreporučeno područje,  $\mu < 0.90$ .
- Nivo kompaktnosti strukture *C* : Nedoželjeno područje,  $0.90 \leq \mu \leq 1.10$ .

U dijagnostičkom smislu, glava kanure namotaja statora na kojoj je identifikovan nivo osetljivosti *C* osetljiva je ka pobudi rezonantnih vibracija i kao takva izložena riziku oštećenja, prvenstveno izolacije zbog zamora materijala.

Interni standard *NES 1020-1:1999* propisani su uslovi prihvatljivosti u trajnom pogonu. Pri tome se dozvoljavaju nivoi kompaktnosti i osetljivosti *A* i *B*, dok se nivo *C* po oba kriterijuma ne dozvoljava.

## 6. ISPITIVANJE GENERATORA 250 MVA

Nakon realizovanog preklinjavanja sinhronog generatora od 250 MVA, kao jedna od kontrolnih aktivnosti bila je i ispitivanje glava kanura namotaja statora.



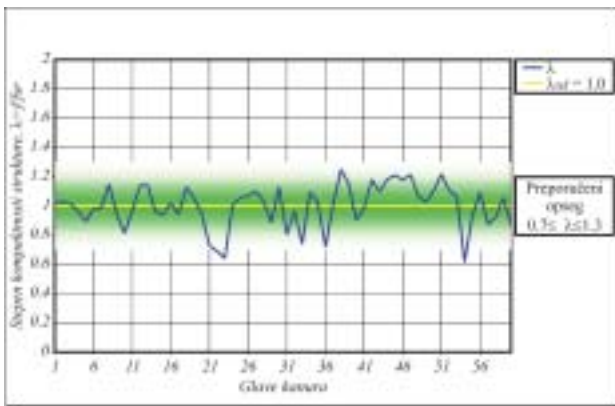
Slika 5 : Glave kanura sinhronog generatora 250 MVA



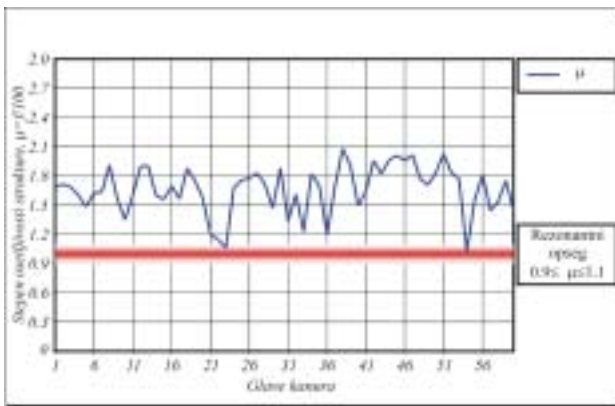
Slika 6 : Detalj u toku ispitivanja glava kanura

Slika 5 prikazuje glave kanura statora sinhronog generatora, gledano od strane budilice, dok je na slici 6 prikazan detalj u toku ispitivanja.

Na slici 7 dat je grafički prikaz rezultata ispitivanja glava kanura naznačenog generatora po kriterijumu kompaktnosti, a na slici 8 rezultati ispitivanja istog generatora po kriterijumu osetljivosti, sve u skladu sa standardom NES 1020-1:1999. Vidi se da od 60 ispitanih glava kanura namotaja statora kriterijum kompaktnosti nije zadovoljen kod ukupno 3 glave, oznake kanura 22, 23 i 54, a kriterijum osetljivosti kod 2 glave, oznake kanura 23 i 54. To znači da kod dve glave, oznake kanura 23 i 54, nisu bili zadovoljeni zahtevi oba kriterijuma, dok kod jedne glave, oznaka kanure 22, nije bio zadovoljen samo kriterijum kompaktnosti.



Slika 7 : Identifikovani stepeni kompaktnosti glava



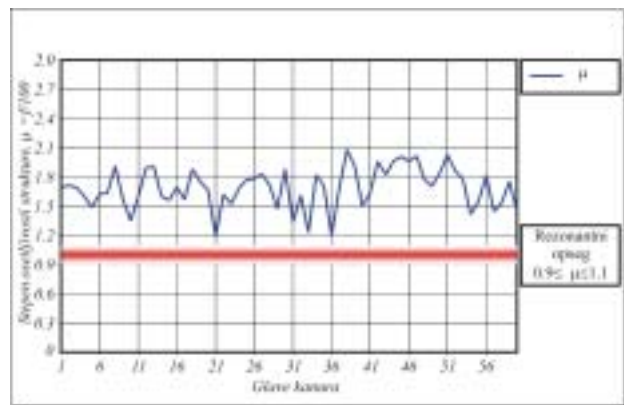
Slika 8 : Identifikovani stepeni osetljivosti glava

Kao korektivna mera za eliminisanje identifikovanih neusaglašenosti realizovano je dopunsko ukrućenje glava kanura namotaja statora koje nisu zadovoljile zahteve standarda NES 1020-1:1999. Dopunsko ukrućenje realizovano je povezivanjem naznačenih glava kanura sa unutrašnjim prstenom. Pri tome je na glavama kanura koje su bile predmet dopunskog ukrućenja došlo do značajnog povećanja krutosti. Tako npr., na glavi kanure čija je oznaka 54 prirodna frekvencija pre realizacije dopunskog ukrućenja iznosila je 102.50 Hz, dok je nakon ukrućenja njena vrednost povećana na 141.50 Hz. Slična situacija je bila i kod druge dve glave kanure na kojima je izvršena korektivna mera dopunskog ukrućenja. Naknadnim ispitivanjem, realizovanim posle dopunskog ukrućenja, pokazano je da sve glave kanura zadovoljavaju zahteve standarda NES 1020-1:1999.

Na slici 9 je prikazan detalj u toku realizacije dopunskog ukrućenja jedne od glava koja nije porošla test, oznaka kanure 54, dok je na slici 10 prikazan stepen osetljivosti glava kanura namotaja statora posle realizacije dopunskog ukrućenja.



Slika 9 : Detalj u toku ukrućenja glave kanure



Slika 10 : Stepni osetljivosti glava posle ukrućenja

## 7. ZAKLJUČAK

Na osnovu prikaza metode ispitivanja glava kanura namotaja statora sinhronih generatora, uključujući i kriterijume prihvatljivosti date u NES 1020-1:1999, sledi :

- predložena metoda ispitivanja može se koristiti kao jedna od metoda kontrole kvaliteta posle servisiranja uređaja, naročito nakon prekljinjavanja, ali i u toku redovnih dijagnostičkih pregleda generatora,
- metoda je do sada primenjivana na turbogeneratorima do 250 MVA, i hidrogeneratorima do 45 MVA, ali nema tehničkih ograničenja da se primenjuje i na mašinama većih snaga, i
- predložena metoda pun efekat daje u kombinaciji sa ispitivanjem žlebnih klinova/letvi prema zahtevima standarda NES 1020-2:1999.

## 8. KORIŠĆENA LITERATURA

- [1] S. Gajin, "Postupak za ispitivanje mehaničkih karakteristika namotaja statora sinhronih generatora", Savezni Zavod za zaštitu intelektualne svojine, Beograd, 1998., pat. prijava P-35/98.
- [2] NORTH Engineering d.o.o. Subotica, Dokumenti IN. 2.0564.1.0798, IL.2.0888.1.0601, NES 1020-1:1999 i NES 1020-2:1999.

## ПРОЦЕС АКРЕДИТОВАЊА

мр Драган Бадњар, начелник Одељења за акредитацију у ЈУАТ-у

### Резиме

*Поверење у акредитацију се остварује транспарентним системом управљања над акредитованим организацијама и обезбеђењем да акредитована организација испуњава критеријуме акредитације. То се остварује механизмима почетног оцењивања, надзорних активности, надзорним посетама и поновним оцењивањем.*

*У раду су дата нека искуства везано за поштовање Правила акредитације, односно прописаних услова за додељивање и одржавање акредитације.*

### Увод

Југословенско акредитационо тело (ЈУАТ) је државни орган који управља системом акредитације у СРЈ.

У оквиру система акредитације утврђује се компетентност организација за обављање послова оцењивања усаглашености, и то:

- 1) испитивања;
- 2) еталонирања;
- 3) контролисања;
- 4) сертификације производа, процеса и услуга;
- 5) сертификације система менаџмента квалитетом;
- 6) сертификације система менаџмента животном средином;
- 7) сертификације лица која обављају послове оцењивања усаглашености.

Наведени послови оцењивања усаглашености опредељују врсту акредитације (шему акредитације).

ЈУАТ остварује међународну сарадњу у области акредитације и оцењивања усаглашености и заступа југословенске интересе у области акредитације са циљем приступања регионалним и међународним системима акредитације које укључује потписивање и примену споразума о међусобном признавању.

ЈУАТ спроводи законе и прописе у којима су утврђени принципи и уређени системи акредитације и оцењивања усаглашености засновани на захтевима националних, европских и међународних стандарда и техничких прописа.

За обављање послова из свог делокруга ЈУАТ доноси и примењује акте којима се ближе уређују критеријуми, правила и поступци акредитације сагласно општим захтевима из серије хармонизованих стандарда EN 45000, које је донела Европска организација за стандардизацију (CEN) и међународних стандарда и упутстава из области оцењивања усаглашености које је донела Међународна организација за стандардизацију (ISO).

## Опште

За боље разумевање процеса акредитације користе се следећи термини:

1. АКРЕДИТАЦИЈА – званично признање којим национални орган за акредитацију након спроведеног поступка акредитације (акредитовања), потврђује да је организација компетентна за обављање одређених послова у дефинисаном обиму акредитације.
2. ПОСТУПАК АКРЕДИТАЦИЈЕ (АКРЕДИТОВАЊЕ) – поступак у коме национални орган за акредитацију утврђује да ли је организација компетентна за обављање одређених послова оцењивања усаглашености.
3. СИСТЕМ АКРЕДИТАЦИЈЕ – систем који има сопствена правила, поступке и менаџмент за спровођење поступка акредитације (акредитовања).
4. АКРЕДИТОВАНА ОРГАНИЗАЦИЈА – организација којој је додељена акредитација.
5. ОЦЕЊИВАЊЕ – Све активности у вези са акредитацијом организације, које ЈУАТ обавља да би утврдио да ли организација испуњава захтеве из Правила акредитације и докумената на која се Правила акредитације позивају. Оцењивање се врши у поступку додељивања и одржавања акредитације и укључује преглед документације, проверу на локацији организације и/или на локацији где организација обавља послове оцењивања усаглашености, припрему и разматрање извештаја о оцењивању и друге сходне активности које су неопходне за обезбеђење информација које се користе при одлучивању о акредитацији.
6. ОЦЕЊИВАЊЕ УСАГЛАШЕНОСТИ - свака активност коју обавља подносилац захтева за акредитацију, односно акредитована организација, којом се директно или индиректно утврђује да су одговарајући захтеви испуњени.
7. КРИТЕРИЈУМИ АКРЕДИТАЦИЈЕ – Захтеви из референтног стандарда/упутства, као и од стране ЈУАТ-а прописани услови за испуњавање тих захтева.

ЈУАТ додељује, одржава, суспендује и обнавља акредитацију у складу са релевантним националним, европским и међународним стандардима и упутствима и уз уважавање смерница ЕА\*, IAF\*\* и ILAC\*\*\* за одређене врсте акредитације.

Акредитација се додељује, одржава или обнавља организацији која:

- (а) задовољава захтеве референтних стандарда;
- (б) задовољава критеријуме и правила прописане од стране ЈУАТ-а;
- (в) надокнађује ЈУАТ-у прописане трошкове акредитације.

ЈУАТ је у документу Правила акредитације ближе уредио поступке које примењује при подношењу и решавању захтева за акредитацију, односно услове за доделу, одржавање и обнављање акредитације, као и услове под којима ће се акредитација одбити, суспендовати или одузети.

## Спровођење процеса акредитовања

Током процеса акредитовања утврђује се компетентност подносиоца захтева за обављање послова оцењивања усаглашености.

---

\* ЕА – European co-operation for Accreditation – Европска кооперација за акредитацију

\*\* IAF – International Accreditation Forum – Међународни акредитациони форум

\*\*\* ILAC – International Laboratory Accreditation cooperation – Међународна кооперација за акредитацију лабораторија



У оцењивању усаглашености производа учествују различите акредитоване организације (лабораторије за испитивање, контролне организације и сертификациона тела).

ЈУАТ континуирано прати рад акредитованих организација, обављајући надзорне активности, а периодично обавља надзорне посете како би се обезбедило да је акредитована организација континуирано усаглашена са свим критеријумима акредитације.

Процес акредитовања обухвата осам фаза.

Ф1: На почетку, на основу писма о намерама које упућује организација, ЈУАТ идентификује намеру да организација жели да буде акредитована за одређену врсту акредитације.

Ф2: У овој фази ЈУАТ информисхе организацију о поступку акредитације, остварује иницијални контакт са организацијом у који може да укључи посету представника ЈУАТ-а организацији са циљем јасне идентификације врсте акредитације која се жели, доставља јој образац Захтева за акредитацију и комплет докумената у којима су утврђени услови за акредитацију.

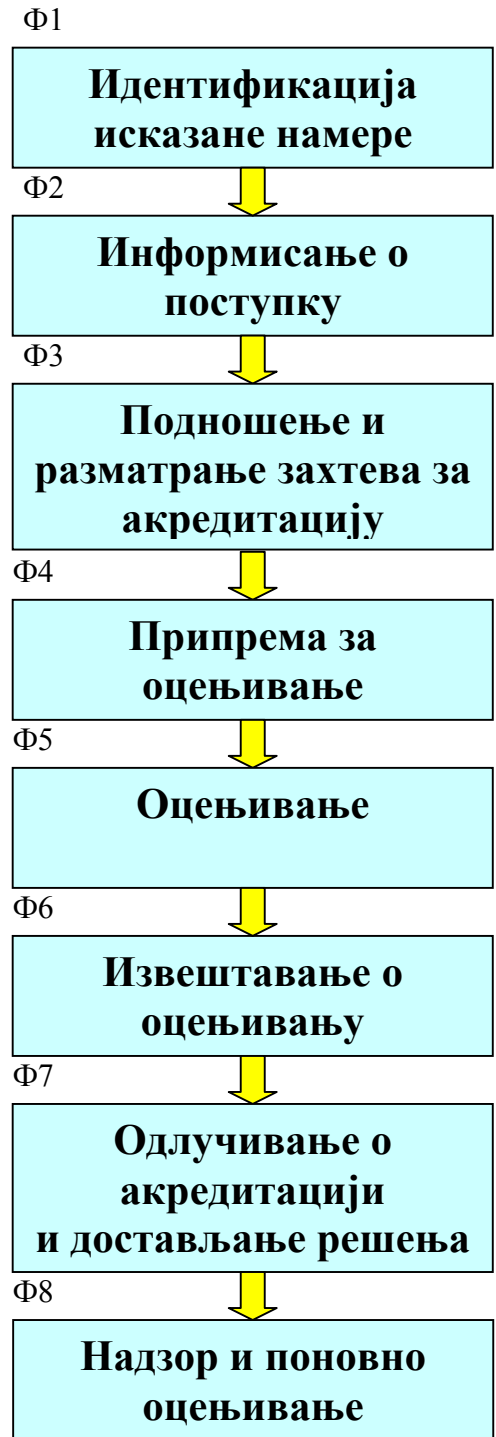
Ф3: Организација подноси Захтев за акредитацију и доставља документацију тражену Захтевом. ЈУАТ преиспитује Захтев, прегледа достављену документацију и тражи евентуалну допуну документације.

Ф4: ЈУАТ врши програмирање оцењивања, именује тим проверавача, тим прегледа документацију, остварује предоцењивачку посету и утврђује детаљан план провере организације.

Ф5: Тим проверавача ЈУАТ-а врши проверу и оцену задовољења захтева за организацију, систем квалитета и поступака оцењивања усаглашености и то како на локацији подносиоца захтева тако и на локацији где подносилац захтева врши оцењивање усаглашености

Ф6: Тим проверавача саставља и упућује ЈУАТ-у извештај о оцењивању са мишљењем о акредитацији, ЈУАТ доставља извештај о оцењивању оцењиваној организацији са назнаком неусаглашености које треба да буду отклоњене.

Ф7: На основу извештаја о оцењивању и других расположивих информација, које укључују мишљења обавештених заинтересованих страна за акредитацију, ЈУАТ одлучује о акредитацији и доноси решење о акредитацији, које доставља акредитованој организацији.



Ф8: У случају додељене акредитације, ЈУАТ прати да ли акредитована организација задовољава утврђене критеријуме и, после истека рока на које је решење издато, врши поновно оцењивање акредитоване организације.

### **Акредитација за ИБР**

Европска кооперација за акредитацију (ЕА) је марта 2002. издала завршну верзију документа о акредитацији организација за испитивање без разарања (ИБР).

ИБР активности се могу акредитовати према ISO/IEC 17025, Општи захтеви за компетентност лабораторија за испитивање и лабораторија за еталонирање и EN 45004, Општи захтеви за рад различитих врста организација које обављају контролисање.

Организација акредитована за обављање ИБР-а према ISO/IEC 17025 издаје извештај за следеће активности:

Испитивања дефинисана стандардима и поступцима, интерпретација (тумачење) резултата испитивања на основу примењених стандарда и оцена усаглашености.

Контролна организација акредитована за обављање ИБР-а према EN 45004 издаје извештај за следеће активности:

Испитивања дефинисана стандардима и поступцима, интерпретација (тумачење) резултата испитивања на основу примењених стандарда и оцена усаглашености.

и

Оцену значења нађених грешака, засновану на резултатима испитивања.

Споменути ЕА документ даје детаљна упутства за организације које обављају испитивање без разарања, које подносе захтев за акредитацију или су акредитоване за активности испитивања и контролисања коришћењем:

Вртложних струја,  
Течних пенетраната,  
Магнетних честица,  
Радиографије и  
Ултразвучних метода.

У односу на ISO/IEC 17025, споменути ЕА документ посебно дефинише захтеве за опрему за наведене методе ИБР. У прилозима су дате карактеристике за опрему, припрема за рад, провера елемената опреме, калибрација и интервал калибрације опреме за ИБР.

### **Закључна разматрања**

Акредитација, заснована на међународним стандардима и упутствима, представља објективно и независно утврђивање техничке компетентности организација/тела која оцењују усаглашеност производа и услуга.

Број издатих решења ЈУАТ-а:

ЛАБОРАТОРИЈЕ ЗА ИСПИТИВАЊЕ	40
ЛАБОРАТОРИЈЕ ЗА ЕТАЛОНИРАЊЕ	48
СЕРТИФИКАЦИЈА ПРОИЗВОДА	1
КОНТРОЛНЕ ОРГАНИЗАЦИЈЕ	4 (3 тип А и 1 тип Ц)
СЕРТИФИКАЦИЈА QMS	4
СЕРТИФИКАЦИЈА EMS	1

Решење о акредитацији важи 5 година.

Учесталост којом се обављају редовне надзорне посете одређује ЈУАТ. Прва надзорна посета, по правилу, се обавља 6 месеци након додељене акредитације, а наредне једанпут годишње.

До сада је обављено неколико надзорних посета при којима је потврђено да акредитована организација одржава додељену акредитацију у складу са условима за одржавање акредитације.

ЈУАТ задржава право да по потреби обави ванредне надзорне посете изван наведених интервала. Поновно оцењивање ради продужења односно обнављања акредитације се спроводи сваке пете године.

ЈУАТ води Регистар акредитованих организација. На свом веб сајту ЈУАТ одржава онлајн Регистар акредитованих организација

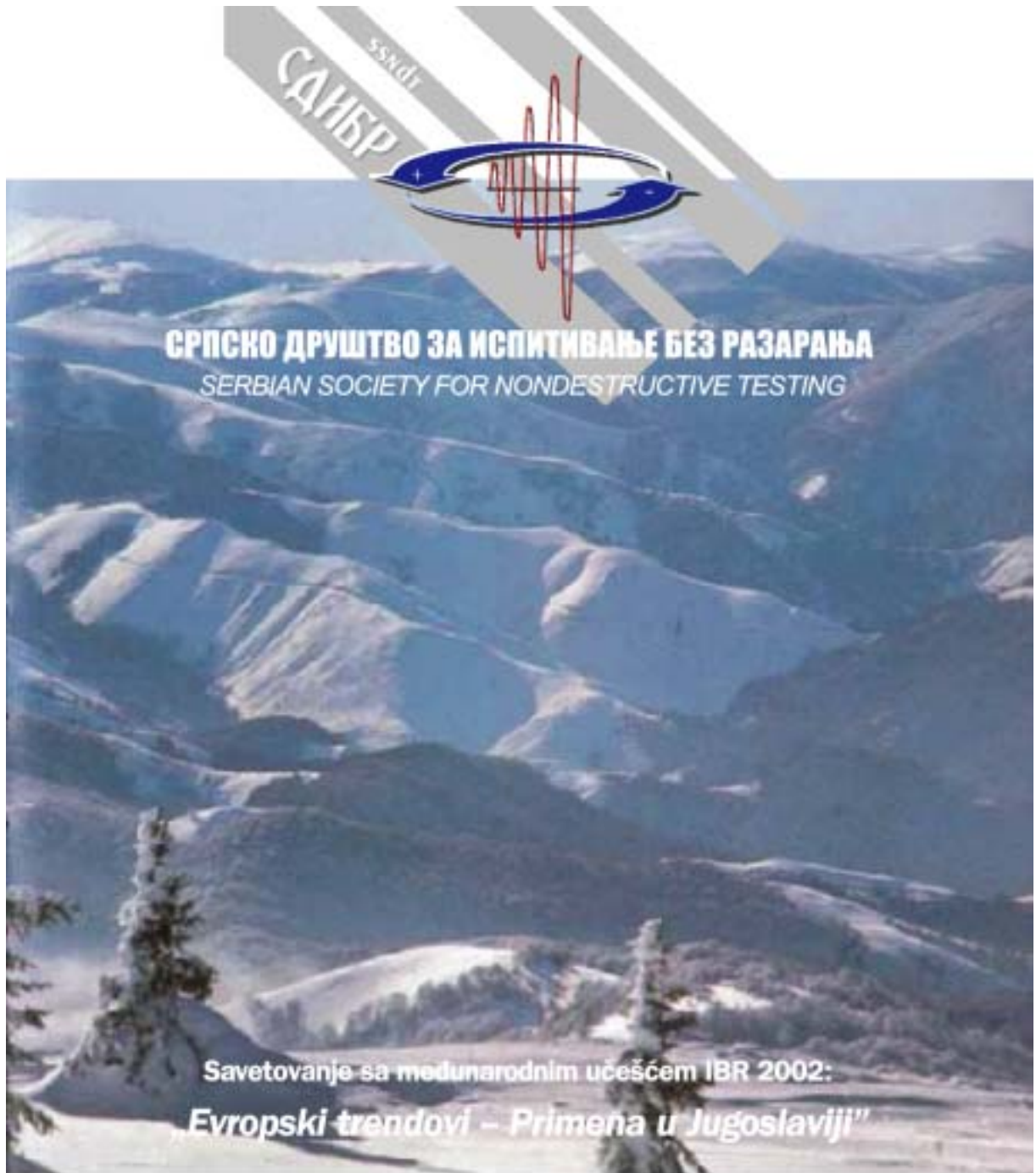
Знак акредитације је заштићени знак за који ЈУАТ даје право коришћења акредитованој организацији за све време трајања акредитације.

ЈУАТ је обучио прву класу од 35 оцењивача за потребе акредитације. Поред тога има око 110 техничких експерата.

Израђен је нацрт Закона о акредитацији и оцењивању усаглашености, коришћењем законских решења у земљама чланицама ЕУ. Пре свега су коришћена решења да у земљи постоји само једно национално признато акредитационо тело, да се процедура акредитације користи као средство за доказивање техничке компетентности како у областима које су покривене техничким прописима, тако и у областима које то нису, те да се при овлашћивању организација за потврђивање усаглашености са одређеним техничким прописом обавезно врши провера њихове компетентности на начин како је то урађено у серији стандарда EN 45000, односно коришћењем механизма акредитације.

## **Литература**

1. Правила акредитације (ЈУАТ-11-10-00-00)
2. Документа ЈУАТ-а
3. М. Јелић, Акредитација сертификационих тела – услов за поверење корисника услуга, Семинар ЈУГОИНСПЕКТА, Сутоморе, 2001.
4. Р. Николичкић, Акредитовање – неопходно потребна или добровољна процедура, 'КВАЛИТЕТ', Бр. 02/02, Београд, 2002.
5. Accreditation fo non-destructive testing, EA, Final Version, 28.march 2002.



**25.-29.11.2002. god.**

**Tara**