



Dragan Mitić¹ dipl.maš.inž. IWE, IWI, Mr Miloš Ristić² dipl.maš.inž

SANACIJA ZAVARIVANJEM PRSLINA SFERNOG REZERVOARA ZA ETILEN

WELDING REPAIR OF CRACKS ON SPHERICAL TANK FOR ETHYLENE STORAGE

Stručni rad / Professional paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa savetovanja „ZAVARIVANJE 2016“ održanog na Srebrnom jezeru 14-17. Septembra 2016

Rad primljen / Paper received:

Januar 2018.

Adresa autora / Author's address:

1 NIVAR DOO NIŠ, Čarnojevića 11/1, 18000 Niš
2 Visoka Tehnička škola strukovnih studija, A.Medvedeva 20, 18000 Niš

Ključne reči: sferni rezervoar, prslina, sitnozrni čelik, sanacija.

Abstract: spherical storage tank, crack, microalloyed steel, rebuilding/repairs

Rezime:

Posuda pod pritiskom, sfernog oblika, radne zapremine 3000m³ u koji se smešta etilen, izrađena je od fino-zrnog čelika Nioval 47 – P460NL1 (EN 10028:3), debljine zida 18mm i konstrukcijski je rešena sa 12 nosećih stubova. Redovnim pregledima se proveravaju svojstva zavarenih spojeva ali i rezervoara. Redovnim pregledom obavljena su ispitivanja bez razaranja (vizuelno, ispitivanje magnetnim česticama, ispitivanje ultrazvukom) i uočene su indikacije poput: zajeda, gnezda pora, nedostatka zavara, kratera nastalog prilikom izrade posude. Ono što je veoma bitno a ne radi se sa dovoljno pažnje proteklih petnaestak godina, je vizuelno ispitivanje osnovnog materijala sfernog rezervoara, gde su uočene indikacije tipa prslina u ukupnoj dužini preko 6000 mm i dubine od 6 do 12 mm (ispitivano ultrazvukom), koje nisu uočene prilikom ranijih pregleda. U radu je prikazan tehnološki postupak sanacije zavarivanjem 111 postupkom, kao i ispitivanje zavarenih spojeva nakon sanacije. Rezervoar je uspešno saniran i ispitan. Rezultati ovog rada ukazuju na potrebu za detaljnijim ispitivanjem osnovnog materijala.

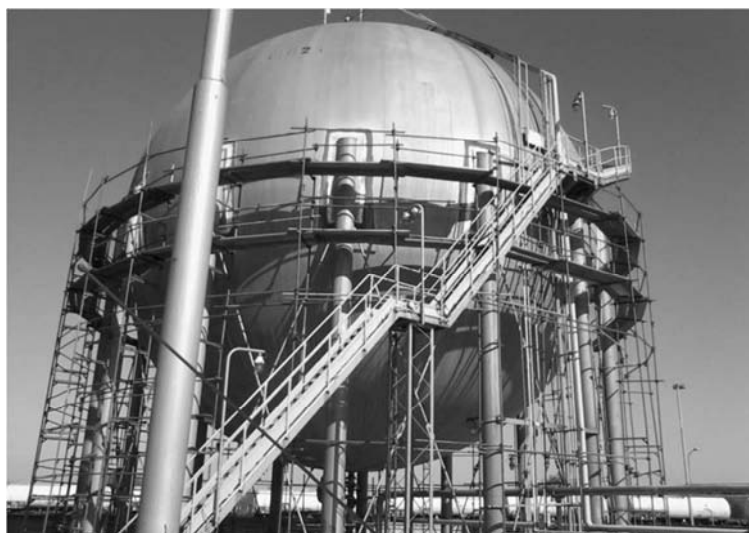
Abstract:

Pressure vessel, spherical, of 3000 m³ working volume, where ethylene is placed, is made of microalloyed steel Nioval 47 - P460NL1 (EN 10028: 3), with wall thickness 18mm and welded on 12 supporting pillars. Regular tests were performed by non-destructive methods (visual, magnetic particle testing, ultrasonic testing) and the indications such as undercuts, group of pores, the lack of weld, craters formed during vessel manufacturing. What is very important but has not been paid enough attention to over the past fifteen years is the visual inspection of the base material of the spherical storage tank, where the indications such as cracks with a total length of over 6000 mm and a depth of 6 to 12 mm (examined by ultrasound) were observed, which were not observed during previous inspection. This paper presents the technological process of repairing of tank using 111 welding process, as well as testing of welded joints after repair. Tank is successfully repaired and tested. Results of this work indicate the need for more detailed testing of base metal in future.

1. UVOD

Periodična kontrola sfernih rezervoara za skladištenje etilena obuhvata ispitivanje zavarenih spojeva i osnovnog metala metodama bez razaranja, uz uobičajeno veću pažnju posvećenu zavarenim spojevima.

Ispitani sferni rezervoar, slika 1, proizvođača "Đura Đaković", Slavonski Brod, SFRJ, proizveden 1974.godine, je namenjen za skladištenje frakcije C4, a osnovne tehničke karakteristike su prikazane u tabeli 1. Rezervoar je zavaren na 12 nosača, čiji spojevi su obeleženi brojevima B1-B24.



Slika 1. Sferni rezervoar za skladištenje etilena

<i>Radni medijum</i>	<i>Frakcija C4</i>
<i>Zapremina rezervoara</i>	<i>3000 m³</i>
<i>Materijal rezervoara</i>	<i>Nioval 47</i>
<i>Projektni pritisak</i>	<i>5,51 bar</i>
<i>Ispitni pritisak</i>	<i>10 bar</i>
<i>Projektna temperatura</i>	<i>50oC</i>
<i>Maksimalna radna temperatura</i>	<i>40oC</i>
<i>Debljina rezervoara</i>	<i>18 mm</i>
<i>Unutrašnji prečnik rezervoara</i>	<i>17900 mm</i>
<i>Godina proizvodnje</i>	<i>1974</i>

Tabela 1. Tehnički podaci o sfernom rezervoaru za etilen

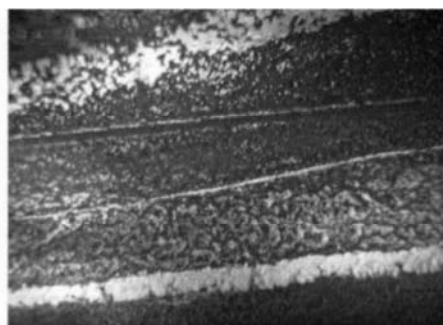
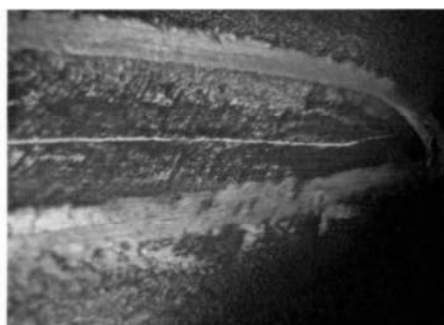
Ispitivanja metodama bez razaranja sfernog rezervoara obavila je akreditovana Laboratorija Zavoda za zavarivanje, Beograd u periodu od 12÷25.09.2015.godine [1-4]. Rezultati ispitivanja su dati u izveštajima o ispitivanjima bez razaranja, koji su podloga za donošenje odluke o sanaciji. U izveštajima o ispitivanjima bez razaranja sfernog rezervoara TK1102A, fabrički br. V-4488, konstatovane su sledeće neprihvatljive indikacije: Uočeno i potvrđeno je prisustvo prslina i to (položaj, veličina i orijentacija uočenih indikacija, dati su u tabeli 2, tipični izgled je dat na slici 2.):

1. zona između zavarenog spoja B3 i B4 , prslina dužina 2100mm

2. zona između zavarenog spoja B9 i B10 , prslina dužine 2400mm

3. zona između zavarenog spoja B15 i B16 , prslina dužine 700mm

Vizuelnim ispitivanjem [1] zavarenih spojeva sfernog rezervoara sa unutrašnje strane, nisu uočene linijske indikacije tipa prslina, ali su uočene indikacije tipa zajeda, gnezda pora, nedostatak zavara, kraterska oštećenja i sl., koja su nastala prilikom izrade posude, a koje ne zadovoljavaju zadati kriterijum prihvatljivosti (SRPS EN ISO 5817 nivo kvaliteta C).



Slika 2. Tipični izgled otkrivenih prslina u osnovnom materijalu; (a) osnovni materijal – nalaz MT8; (b) osnovni metal – nalaz MT9



Ultrazvučnim ispitivanjem [2] su konstatovane indikacije prslina na osnovnom materijalu

segmenata koji se nalaze na sredini pojasa između dva oslonca i izmerene dubine prslina.

Mesto		oznaka	Dužina, mm	Dubina, mm
između zavarenih spojeva B3-B4	OM	MT8	630	7,5
između zavarenih spojeva B3-B4	OM	MT10	1350+40	7,0
Između zavarenih spojeva B9-B10	OM	MT9	2400	10,0
između zavarenih spojeva B15-B16	OM	MT11	700	11,0

Tabela 2. Položaj, veličina i orijentacija uočenih indikacija

Takođe, merenjem debljine omotača sfernog rezervoara ultrazvukom [3] utvrđena je debljina omotača u opsegu 17,8mm do 18,9mm, te je zaključeno da je izmerena debljina zida omotača zadovoljila zahteve, veća je od minimalne potrebne debljine.

Ispitivanja tvrdoće osnovnog materijala i zavarenih spojeva [4] ukazuju da je tvrdoća u granicama očekivanih vrednosti.

Metalografskim ispitivanjem – metodom replika i to dve u donjoj kaloti-OM i na segmentu B11-B10-OM, utvrđeno je prisustvo fino-zrne feritno-perlitne strukture u kojoj nije došlo do promena u odnosu na polazno stanje.

Cilj ovog rada je da prikaže način sanacije prisutnih prslina u osnovnom materijalu ovog sfernog rezervoara za etilen.

2. SANACIJA

2.1. Osnovni materijal

Sferni rezervoar, V=3000 m³ f.br. 4488 je izrađen od sitnozrnog i normalizovanog čelika kvaliteta Nioval 47 ~ ČRN460, debljine limova 18 mm. Hemijski sastav i mehaničke karakteristike osnovnog materijala su date u tabelama 3 i 4 [5].

element	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Al	Nb+Ti+V
%	≤0,2	≤0,4	1.45	≤0,02	≤0,02	0,04	0,06	+	

Tabela 3. Hemijski sastav osnovnog materijala, tež.%

Napon tečenja	Zatezna čvrstoća	Izduženje	Žilavost	
N/mm ²	N/mm ²	%	J	°C
>461	559-735	18	24	-20

Tabela 4. Mehaničke karakteristike osnovnog materijala

2.2. Izbor postupka za zavarivanje

Na osnovu hemijskog sastava i mehaničkih karakteristika osnovnog materijala, a imajući u vidu: vrstu, dimenzije, kao i lokaciju uočenih grešaka, zavarljivost osnovnog materijala, energetska mogućnost postupka zavarivanja i ekonomičnost saniranja defekata, saniranje prslina je izvršeno ručnoelektrolučnim postupkom zavarivanja obloženom elektrodom (111-E).

2.3. Izbor dodatnog materijala

Na osnovu hemijskog sastava i mehaničkih karakteristika osnovnog materijala od koga je

izrađen sferni rezervoar, kao i odabranog postupka zavarivanja, izabran je sledeći dodatni materijal za zavarivanje:

Obložena elektroda sa bazičnom oblogom - EN ISO2560-A: E50 6 1Ni B42 H5 ili oznake prema standardu AWS A5.5.96: E8018-G, komercijalne oznake „EVN NI“ Ø3,25mm proizvođača Železara "Jesenice" - Slovenija. Hemijski sastav i mehaničke karakteristike dodatnog materijala su date u tabelama 5 i 6 [6].

C%	Mn%	Si%	P%	S%	Ni%
0.06	1.3	0.4	0.015	0.010	0.9

Tabela 5. Hemijski sastav dodatnog materijala, tež.%



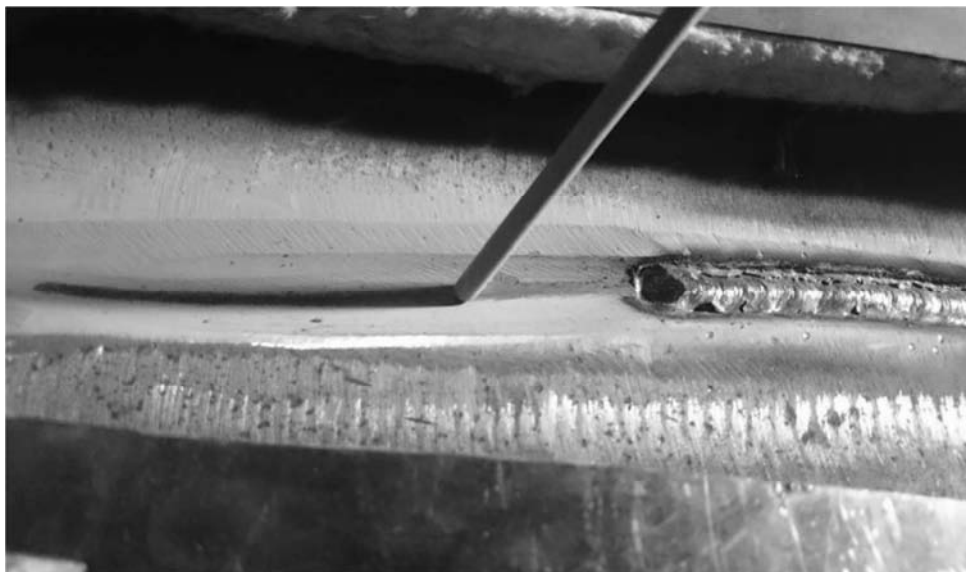
Rm (N/mm ²)	Rv (N/mm ²)	A (%)	žilavost na (J)
570-720	>500	> 22	-60°C>47

Tabela 6. Mehaničke karakteristike osnovnog materijala

2.4. Priprema žljeba za zavarivanje

Mehanička priprema žljeba, slika 3, podrazumeva otklanjanje prsline iz metala šava ili ZUT-a. Za prsline čija dubina ne prelazi 6mm priprema žljeba je izvršena brušenjem, a za sve ostale, većih dubina, otklanjanje je urađeno gorionikom za

žljebljenje, gasnim postupkom, a završna obrada brušenjem. Nakon pripreme žljeba, pripremljeno mesto je ispitano magnetskim česticama. Priprema žljeba i ispitivanje je rađeno više puta, do potpunog uklanjanja prsline.



Slika 3. Priprema žljeba

2.5. Priprema za predgrevanje

Predgrevanje mesta koja su zavarivana je rađeno elektrootpornim uređajem sa šest kanala. Termoparovi su postavljeni na udaljenost maksimalno do 50 mm od ivica žljeba, s jedne i druge strane žljeba, slika 4. Temperatura

predgrevanja je održavana u toku zavarivanja i jedan čas posle zavarivanja. Obezbeđen je trajni zapis sa termopisača uređaja, koji je sastavni deo atestno-tehničke dokumentacije o izvršenoj sanaciji. Maksimalna brzina porasta temperature predgrevanja je 80-100°C/h.



Slika 4. Predgrevanje elektrootpornim uređajem



Primena predgrevanja i temperatura predgrevanja pre zavarivanja zavise od faktora:

- temperature okoline zavarivanja;
- ugljeničnog ekvivalenta, sadržaja vodonika u metalu šava i količine unete toplote pri zavarivanju;
- debljine materijala.

Za određivanje temperature predgrevanja (T_p) preko uticaja hemijskog sastava izraženog veličinom ugljeničnog ekvivalenta, kod temperature okoline 0°C , koristi se metoda B koja uzima u obzir veličinu ugljeničnog ekvivalenta po formuli CET%. Izračunavanje T_p uzima u obzir zbir T_p usled svakog uticajnog faktora, prema jednačini:

$$T_p = T_{pcet} + T_{pd} + T_{phd} + T_{pq} \text{ (} ^\circ\text{C)} \\ T_p \text{ (} ^\circ\text{C)} = 697 \text{ CET} + 160 \tanh(d/35) + 62 \text{ HD } 0,35 \\ + (53 \text{ CET} - 32) Q - 328 \\ \text{koja iznosi} = 98 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Maksimalna dužina zavara zavarena jednom elektrodom prečnika $\varnothing 3,25$

$$S_1 = \frac{UIt}{Q} = \frac{18 \times 130 \times 60}{12800} = 10,98 \text{ cm}$$

Granična debljina lima za zavarivanje elektrodom prečnika $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$S_{gr} = \sqrt{\frac{Q_1 N^3}{2pc} \left(\frac{l}{500 - T_p} + \frac{l}{800 - T_p} \right)} \\ S_{gr} = \sqrt{\frac{12800 \cdot 0,75}{2 \cdot 7,6 \cdot 0,85} \left(\frac{1}{500 - 120} + \frac{1}{800 - 120} \right)} = 1,74 \text{ cm}$$

$d > S_{gr}$ $18 \text{ mm} > 17,4 \text{ mm}$
odvođenje toplote je troosno.

Proračun vremena hlađenja na osnovu granične debljine lima za prečnik elektrode $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$t_{8/5} = (4300 - 4,3T_o) \times 10^5 \times \frac{Q^2}{d^2} \times \left[\left(\frac{1}{500 - T_o} \right)^2 - \left(\frac{1}{800 - T_o} \right)^2 \right] \times F_2 \\ t_{8/5} = 16 \text{ s}$$

Očekivana tvrdoća za čisto martenzitnu strukturu
 $H_{vms} = 802xC + 305 = 802 \times 0,2 = 445,4HV$
 $C = 0,2\%$

$H_{vg} = 350C_E + 101 = 183,95HV$
Očekivana tvrdoća za čisto beinitnu strukturu

$$C_E = \frac{S_i\%}{11} + \frac{M_n\%}{8} + \frac{C_u\%}{9} + \frac{C_r\%}{5} + \frac{N_i\%}{17} + \frac{M_o\%}{6} + \frac{V\%}{3}$$

$$C_E = \frac{0,4}{11} + \frac{1,45}{8} + \frac{0,06}{3} = 0,237$$

Očekivana tvrdoća za martenzitno-beinitnu strukturu za prečnik elektrode $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$H_{VS} = 2019[C \cdot (1 - 0,5 \log t_{8/5}) + 0,3CE] + 66(1 - 0,8 \log t_{8/5})$$

$$H_{VS} = 2019[0,2 \cdot (1 - 0,5 \log 16) + 0,3 \cdot 0,345] + 66(1 - 0,8 \log 16)$$

$$H_{VS} = 2019[0,18 \cdot 0,347 + 0,1224] - 2,96$$

$$H_{VS} = 372HV$$

Parametarska jednačina hladnih prslina za izračunavanje temperature predgrevanja je

$$P_{hp} = P_{cm} + \frac{K}{40000} + 0,0015 \log \frac{H}{277}$$

$$K = 70 \times S = 70 \times 18 = 1260$$

$S = 18 \text{ mm}$ debljina zavarivanog materijala
 $H = 5-10 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$ sadržaj difundovanog vodonika u metalu šava

$$P_{cm} = C\% + \frac{S_i}{30} + \frac{(M_n + C_u + C_r)}{20} + \frac{N_i}{60} + \frac{(M_o + V)}{15}$$

$$P_{cm} = 0,2 + \frac{0,4}{30} + \frac{1,45}{20} + \frac{0,06}{15} = 0,2825$$

$T_p = 1600P_c - 308$
koja iznosi = 144°C

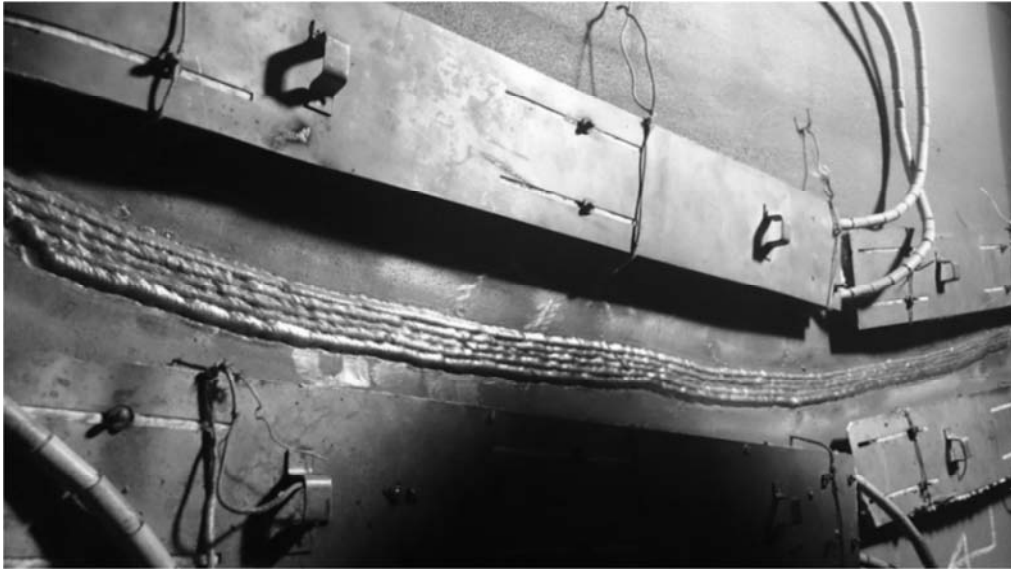
Na osnovu svega napred navedenog usvojena je temperatura predgrevanja $T_p = 120^\circ\text{C}$ sa kojom je i predgrevan osnovni materijal sfernog rezervoara prilikom sanacije zavarivanjem.

2.6. Zavarivanje

Parametri zavarivanja, kao i oblik pripreme žljeba, dati su u WPS listi, koja je sastavni deo tehnologije sanacije horizontalnog rezervoara. Zavari su polagani levo i desno uz ivicu žljeba, nakon toga su spajani navareni slojevi. Zavari su polagani tako da sledeći zavar pokriva trećinu prethodnog. Nakon zavarivanja ispune, navarena su po ivicama spoja dva navara (tehnološki zavari) za žarenje prethodno nanetog sloja. Popravljeni deo je podvrgnut dogrevanju na temperaturu predgrevanja u trajanju od 1 časa, a zatim je prekrivena izolacionim platnom i ostavljena da se polagano hladi. Posle 48 h izbrušeni su navari za žarenje do osnovnog metala.

2.7. Ispitivanje saniranih mesta

Sanirana mesta, slika 5, su ispitana vizuelno i magnetskim česticama. S obzirom da nije bilo površinskih indikacija prslina ili poroznosti, sanirano mesto je ispitano ultrazvukom.



Slika 5. Sanirano mesto nakon zavarivanja

Metalografskom analizom mikrostrukture materijala na mestima sanacije sfere (dve replike po saniranom mestu) u zonama između oslonaca i zavarenih spojeva, sa unutrašnje strane omotača na mestima uzimanja replike, konstatovano je :

- Mikrostruktura osnovnog materijala je sitnozrna feritno-perlitna sa neujednačenom raspodelom perlita.
 - Mikrostruktura zone uticaja toplote uz liniju stapanja je nehomogena, grubozrna feritno-perlitna sa manjim procentualnim udelom beinita u mikrostrukтури.
 - Mikrostruktura metala šava je perlitno-feritno-beinitna. Ferit je izdvojen po granicama primarnih austenitnih zrna.
- Na taj način je ispitivanjem potvrđena uspešnost izvedene sanacije.

LITERATURA

[1] Izveštaj o vizuelnom ispitivanju br.111.269, Zavod za zavarivanje, Beograd (2015).

[2] Izveštaj o ultrazvučnom ispitivanju br.117.119, Zavod za zavarivanje, Beograd (2015).

[3] Izveštaj merenja debljine omotača sfernog rezervoara ultrazvukom br.118.079, Zavod za zavarivanje, Beograd (2015).

3. ZAKLJUČAK

S obzirom na obim i veličinu saniranih zona, predlaže se ispitivanje metodama bez razaranja (vizuelno, magnetskim česticama, ultrazvukom i metalografsko-metodom replika) sa unutrašnje i spoljašnje strane sfernog rezervoara, na mestima sanacije, u roku od godinu dana..

Neophodno je da se za ispitivanje bez razaranja, posuda pod pritiskom-sfera peskari, po celoj unutrašnjosti posude, kao što je rađeno pre dvadesetak godina, a ne samo zavareni spojevi i zone neposredno uz njih. Ovo zbog toga, što postoji mogućnost pojave prslina i na osnovnom materijalu (npr. usled sleganja tla prilikom ispitivanja hladnim vodenim pritiskom).

Bez primene ovih preporuka, se sa pravom postavlja pitanje sveobuhvatnosti i pouzdanosti dobijenih rezultata ispitivanja u proteklom periodu.

[4] Izveštaj merenja tvrdoće osnovnog materijala i zavarenih spojeva br.119.033, Zavod za zavarivanje, Beograd (2015).

[5] Dodatni materijali za zavarivanje, Elektrode Jesenice (2010)

[6] Katalog Železara Jesenice (1985)

[7] Welding, Brazing, And Soldering, ASM Handbook vol.6, ASM International (1993)