

## API/EN STANDARDI I ZAVARIVANJE U IZGRADNJI VERTIKALNIH CILINDRIČNIH NADZEMNIH ČELIČNIH SPREMNIKA

## API/EN STANDARDS AND WELDING ON ERECTION OF VERTICAL ,CYLINDRICAL ABOVE GROUND STEEL STORAGE TANKS

Goran Vručinić

TPK-Zavod d.o.o., Zagreb,Slavonska avenija 20

**Ključne riječi:** izgradnja,skladišni spremnici,API/EN standardi, zavarivanje

**Key words:**erection,storage tanks,API/EN standards,welding

### Sažetak:

Brojni nadzemni vertikalni skladišni spremnici za naftu, mazut, goriva, građeni od prije četrdesetak i više godina pa do danas, projektirani su uglavnom po API 650 standardu, a u zadnje vrijeme po HRN EN 14015 standardu. Zavarivanje takvih spremnika je u domeni izvođača, osim bitnih zahtjeva, preporuka koje su u obje norme istaknute. U radu se prikazuju neke razlike u tehničkim specifikacijama za materijal, kontrolu bez razaranja, zavarivanje i izgradnju, te iskustvena rješenja iz područja zavarivačke prakse.

### Abstract:

Most of above ground vertical storage tanks, fabricated prior to forty years and more, until today are designed accordance to API 650 std., and or HRN EN 14015 std. Welding references of the erector

are basis for efficacy of job, but some requirements are part of this standards.In this article some differences are reviewed in technical specifications for materials, non destructive testing, welding and erection, and experiential solutions in welding technology.

## 1. UVOD

Neke od većih lokacija sa spremnicima za tekućine (nafta, benzin, mazut...) su : JANAF (više lokacija), INA skladišna mjesta, Rafinerija Sisak, Rafinerija Rijeka, TE Sisak, TE Rijeka.

Veliki broj tih spremnika izgrađen je po API standardu (API 650 – Welded Steel Tanks for Oil Storage).

Europska zajednica koristi EN normu (EN 14015 – Specification for the design and manufacture of site built,vertical,cylindrical,flat-bottomed,above ground,welded,steel tank for the storage of liquids at ambient temperature and above), te se ta norma primjenjuje i u Republici Hrvatskoj.

Oba standarda obrađuju:

- materijale
- konstrukciju
- izradu
- montažu
- ispitivanja

Kupac se može odlučiti po kojem će se standardu graditi spremnik, no za Europu će i drugi , ekonomski faktori vjerovatno utjecati na primjenu europske norme.

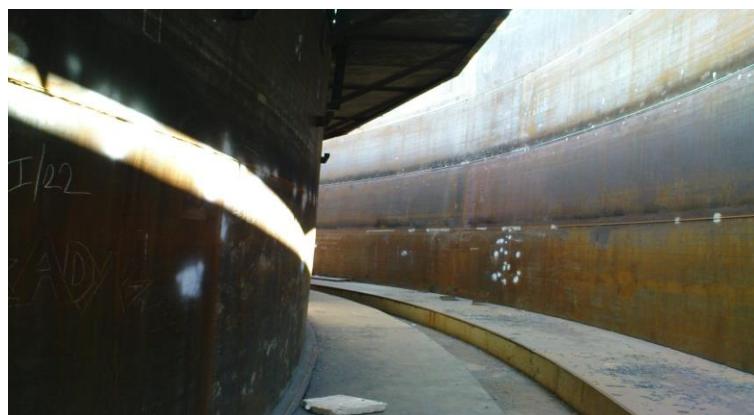
U radu se izlažu i uspoređuju neka područja koja norme obrađuju . Također se prikazuju neke montažno – zavarivačke aktivnosti , rješenja iz prakse pri izgradnji spremnika. Norme daju osnovne upute i ograničenja za montažu i zavarivanje. Izvedbu prepustaju Izvođaču sa iskustvom na ovim poslovima kako to ističe API norma.

U Europi se zadnjih petnaestak godina grade spremnici sa :

- dvostrukom podnicom
- dvostrukom podnicom i dvostrukim plaštem (tank i tankvana)
- podnicom i dvostrukim plaštem.

Oba standarda prikazuju rješenja sa dvostrukom podnicom. Kod izvedbe sa dvostrukim plaštem, tank i tankvana su spojeni kompenzatorom po opsegu. Rješenja su posljedica sve veće brige za zaštitu okoline od procurivanja, ali i uštedom na prostoru , te se za primjer u Njemačkoj grade spremnici sa dvostrukom podnicom i dvostrukim plaštem.

U nas postoje tankovi sa dvostrukim plaštem ali jednom podnicom. Praksa je pokazala da su podnice kritičniji dio spremnika ( trošenje materijala sa donje strane naročito ), tako da narušavanjem propusnosti donje podnice integritet objekta nije ugrožen jer imamo i gornju podnicu, no stvar je Investitora/vlasnika za koju će se opciju odrediti.



*Slika 1. Tank, tankvana i kompenzator*

## **2. MATERIJALI**

U tablici 1 prikazani su neki materijali koji se mogu koristiti kod izgradnje skladišnih spremnika.

*Tablica 1 Materijali za spremnike*

API 650 ,	grupa	HRN EN 14015,	tip
A 283 C	I	S 235 J2G3	III
A 36	II	S 275 J2G3	III
A 516 Gr 70	V	S 355 J2G3	VII

U nastavku, obrađivati će se materijali debljine t=30mm, što bi približno odgovaralo debljinama limova prvoga voja spremnika promjera cca 60m .U tablici 2 prikazana su mehanička svojstva navedenih čelika.

**Tablica 2. Mehanička svojstva materijala**

Materijal	Rm /MPa/	Rp min/MPa/	Izduženje% min	CHV /J/	Cmax %
A 283 C	380 - 515	205	25	Dodat.ispitivanja	0.24
A 36	400 - 500	250	23	Dodat.ispitivanja	0.25
A 516 Gr 70	485 - 620	260	21	20J/-40°C	0.28
S 235 J2G3	360 - 510	225	24	27J/-20°C	0.19
S 275 J2G3	410 - 560	265	21	27J/-20°C	0.21
S 355 J2G3	470 - 630	345	22	27J/-20°C	0.23

<sup>1</sup>EN čelici isporučeni u normaliziranom stanju,potpuno umiren;

A 516 Gr 70 – potpuno umiren

Prema normi API 650, materijale (t=30mm) možemo koristiti :

A 283 C - na sobnoj temperaturi bez dodatnih ispitivanja

A 36 - do -1°C bez dodatnih ispitivanja

A 516 Gr 70 - do -12°C bez dodatnih ispitivanja

Prema normi HRN EN 14015 materijale (t=30mm) možemo koristiti :

S 235 J2G3 – u isporučenom stanju do -7°C

S 275 J2G3 - u isporučenom stanju do -7°C

S 355 J2G3 - u isporučenom stanju do cca 3°C

Dijagram HRN EN 14015, slika 1 nerazumljiviji je za inženjera zavarivanja, u poređenju sa sličnim dijagramom u API 650 (dijagram 2.1).

Za naše uvjete, gdje je minimalna temperatura metala u većini slučajeva -20°C, prema dijagramu na slici 1 , svaka isporučena ploča debljine 30mm mora biti ispitana na žilavost , te zadovoljiti kriterij prema tablici 2, odnosno atesti materijala moraju biti tipa 3.1 ili 3.2 (specifična inspekcija).

Razmatrajući API zahtjeve po pitanju žilavosti, ipak postoji mala razlika – API Std dozvoljava kupcu izbor :

Svaka ploča se mora ispitati na žilavost pri projektnoj temperaturi. Najdeblja ploča iz svake šarže se mora ispitati na žilavost na projektnoj temperaturi.

Kriterij prihvatljivosti je slijedeći :

- A 283C - 20J, uzdužno

- A 36 - 20J, uzdužno

- A 516 Gr 70 - 41J, uzdužno

Razmotrimo proračunske debljine spremnika promjera 60m = D, visine tekućine H = 20m (specifična težina vode 1kg/l, nafte 0.85kg/l ) prema API i EN normi.

**Tablica 3. Debljine prvoga voja prema HRN EN 14015<sup>1</sup>**

	S235J2G3	S275J2G3	S355J2G3	A283C	A36	A516Gr70
e <sub>c</sub> /mm/	34	29	23	37	31	30
e <sub>t</sub> /mm/	35	30	23	38	31	30

<sup>1</sup>e<sub>c</sub> – računska debljina ; e<sub>t</sub> – testna debljina (hidrostatski test)

*Tablica 4. Debljine prvoga voja prema API 650<sup>1</sup>*

	S235J2G3	S275J2G3	S355J2G3	A283C	A36	A516Gr70
t <sub>d</sub> /mm/	34	29	24	37	31	30
t <sub>t</sub> /mm/	35	30	25	38	31	30

<sup>1</sup> t<sub>d</sub> – računska debljina ; t<sub>t</sub> – testna debljina

Kada bi koristili materijal S355J2G3 , imali bi izvjesnu uštedu na materijalu ( 2mm tanji lim ) prema europskoj normi.

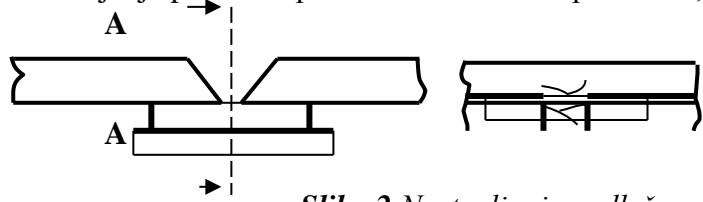
### 3. ZAVARIVANJE

U oba standarda je napomena da se zavarivanje izvodi na način da su deformacije što manje. No postoje razlike.

Europska norma ne navodi koji se dodatni materijali moraju koristiti u određenim situacijama dok američki standard je tu određen pri zavarivanju plašta, prstena podnice, spoja plašt – prsten podnice, moraju se koristiti bazične elektrode (REL postupak) za sve debljine kada se koristi materijal grupe V; također kada su debljine veće od 12.5mm i za materijale grupe I – III vrijedi isto. Svi priključci , stalni ili privremeni, imaju se zavarivati bazičnim elektrodama , kada su u pitanju materijali grupe IV-VII.

U praksi se američki navodi više uzimaju u obzir i kada se izvode radovi po europskoj normi.

Kako se ne obrađuju situacije sa dvostrukim plaštom niti u jednom standardu, u praksi se jedan detalj često zanemaruje : nastavljanje podložne pločice (situacija kada se nastavljaju podložne pločice npr. kod spoja prsten podnice - kompenzator , ili prsten tankvane – kompenzator). Postoji podatak iz Njemačke (firma Noel) o havariji na spremniku gdje je pukotina propagirala od mesta nastavljanja podložne pločice , preko prstena pa kroz prvi voj spremnika. Utvrđilo se da je nastavljanje podložne pločice izvedeno bez podloske , te se je dobio neprovareni zavareni spoj.

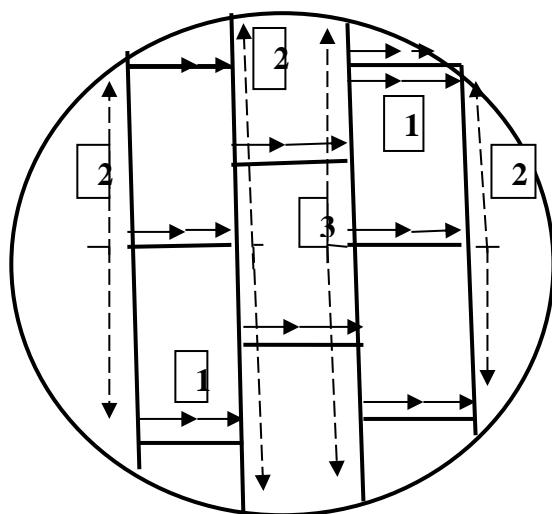


*Slika 2 Nastavljanje podložnog prstena podložnom pločicom*

Kod zavarivanja podnice, američka norma sugerira određeni redoslijed zavarivanja kako bi deformacije bile što manje; europska norma određuje max.deformaciju podnice od 100mm , odnosno 0.25% promjera.

U praksi, naročito kod malih spremnika, teže je zadržati se u okviru europskih kriterija.

Slikom 2 prikazan je redoslijed zavarivanja podnice spremnika.

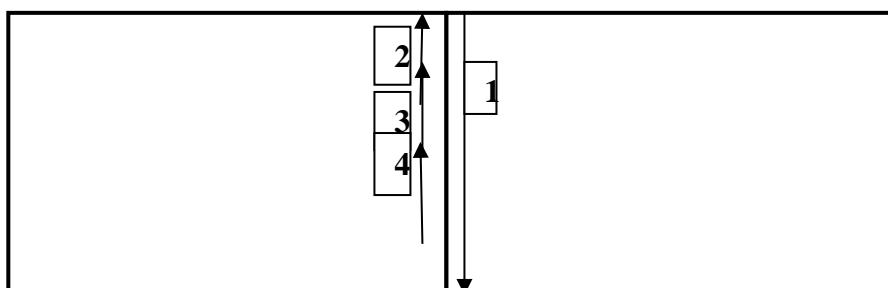


*Slika 3 Redoslijed zavarivanja podnice spremnika*

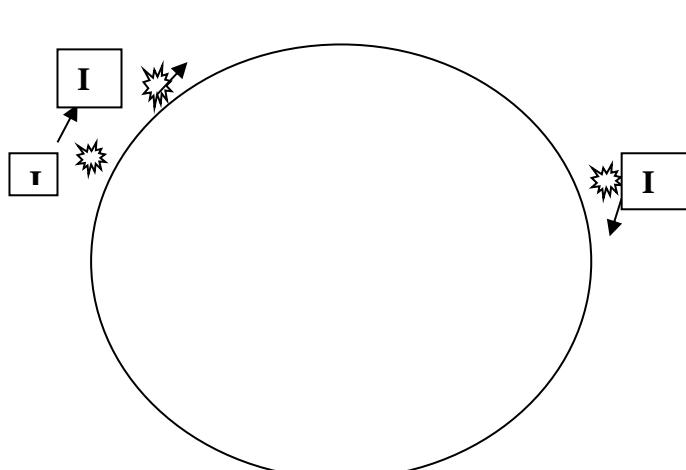
Povoljno je da srednji uzdužni spoj (br.3) bude zadnji zavaren od sredine prema krajevima.

Kod zavarivanja plića, u praksi je poželjno da zavarivači što manje prelaze sa unutarnje strane na vanjsku ili obrnuto, pogotovo na visinama, pri zavarivanju vertikalnih spojeva.

Lokalne deformacije kod vertikalnih i horizontalnih zavara se naravno pojavljaju, te se mjere šablonom : europska norma ograničava lokalne deformacije na max. 6mm ( za  $t \geq 25\text{mm}$  ), što je u praksi prilično teško ostvarivo. Američki standard dozvoljava max.13mm, što je za inženjere zavarivanja prihvatljivi, realniji iznos.

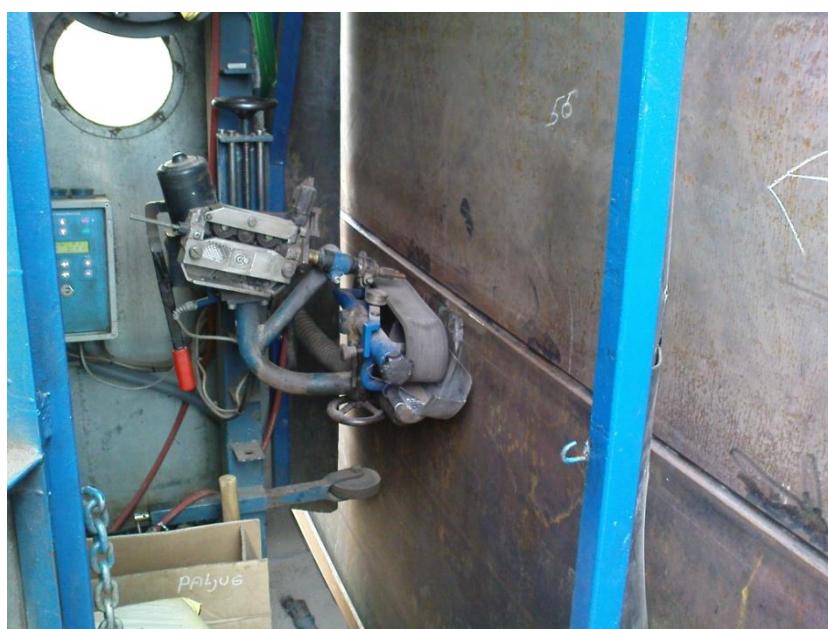


*Slika 4. Redoslijed zavarivanja prvoga i drugoga prolaza (2,3,4) – vertikale,REL*



I-start I automata  
II-start II automata  
Ip-pozicija I automata kada  
starta II automat

*Slika 4. Zavarivanje horizontale sa dva automata*



*Slika 4 Podešavanje kuta elektrodne žice kod zavarivanja horizontalnoga spoja*

#### 4. KONTROLA BEZ RAZARANJA

*Tablica 5. Kontrola bez razaranja (za plašt – prvi voj ,t=30mm)*

EN14015				API 650				
	PT	Vakum.	RT	PT	Vakum.	RT		
Podnica	100%	100%			100%			
Prsten		100%	25%/50%		100%	50%		
Plašt-vertikale			10% 20%			100%	<355MPa ≥355MPa	
Plašt-horizont.			2%,križevi 50%			≈0.3%,križ. 100%		

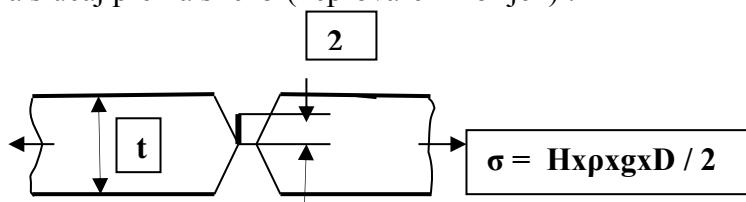
Kontrola bez razaranja predstavlja aktivnost gdje su uočljive razlike u opsegu ispitivanja radiografijom vertikalnih spojeva, te u metodama ispitivanja podnice spremnika. Svakako da je podnica spremnika vitalni dio, no ispitivanje podnice penetrantima 100% je pomalo neobičan zahtjev : nije poznat razlog uvođenja te metode, koja obzirom na dužine zavarenih spojeva ( i do 2000m) predstavlja mukotrpan, skup posao.

Ispravno izvedeno ispitivanje „vakumiranjem“ dovoljno je pouzdano . Postoji situacija gdje bi bilo ispravno kombinirati ispitivanje vakumiranjem i penetrantima : to su preklopna mjesta tri lima na podnici, naročito pri korištenju čvrćih čelika , te kod uočenoga lošeg izvođenja – prilagođavanja limova žigom i čekićem.

Vertikalni spojevi prvoga voja se kontroliraju prema API Std. U opsegu 100% . U praksi to znači da se 16 vertikalnih spojeva visine cca 2.5m ima „snimiti“ 100% što iznosi oko stotinjak velikih filmova , dok je to po europskoj normi dvije , odnosno četiri vertikale , što iznosi 13 odnosno 25 filmova. Od kuda tolike razlike u opsegu ispitivanja? Europska norma propisuje ispitivanje 50% križnih mjesta, dakle 16 lokaliteta. Ostaju neispitana 16 križnih mjesta i većina vertikalnih spojeva.

Imamo podatak o J-integralu /3/ za materijal A516Gr70, na -15°C :  
 $J_{IC} = 123 \text{ N/mm (J}_{\text{mat}}\text{)}$

Za slučaj prema slici 5 (neprovareni korijen) :



*Slika 5. Pozicija greške u zavaru vertikale prvoga voja*

Uz poznate uvjete :

$H=20m$  ,  $t = 30mm$  ,  $D= 60m$  , nafta,  $2a = 10mm$

dobivamo radijalno naprezanje približno 132 MPa. Uvrstimo li u relaciju 1 /4/ :

$$K_{\text{mat}}^2 = E J_{\text{mat}} / 1 - v^2 \dots\dots 1$$

$$K_{\text{mat}} = 4900 \text{ MPa mm}^{0.5}$$

Prihvatljiva veličina greške /4/ izražena je veličinom  $a_m$  prema izrazu 2 :

$$a_m = (K_{\text{mat}} / \sigma_{\text{max}})^2 \times 1/2\pi \dots\dots 2$$

$\sigma_{\text{max}} = 132 \text{ MPa} + \text{zavarivačke zaostale napetosti}$  (jednake približno  $R_p = 380 \text{ MPa}$  (5) za A516Gr70)

$$\sigma_{\text{max}} = 514 \text{ MPa}$$

$$a_m = (4900/514)^2 \times 1/2\pi$$

$$a_m = \sim 15 \text{ mm} \text{ (ekvivalentni parametar } a = \sim 6 \text{ mm} < a_m, S_r < 0.8)$$

U praksi bi dakle trebali „proizvesti“ dugačku grešku širine više od deset milimetara ( za ovaj konzervativni pristup ), da bi ugrozili objekt, što je nemoguće izvesti bilo kojim postupkom zavarivanja uz korektnu vizuelnu kontrolu od strane inženjera zavarivanja.

Ovaj ilustrativni primjer govori u prilog pristupu u europskoj normi, te znatno nižem opsegu kontrole.

## 5. ZAKLJUČAK

Europsku normu EN14015 bi trebalo dopuniti u dijelu koji obrađuje zavarivanje po pitanju korištenja dodatnih materijala, kao i podložnih pločica. Također bi trebalo razmotriti praktičnost strogih uvjeta/ veličine lokalnih deformacija što u praksi znači vrlo često ispravljanje vertikalnosti limova i značajno trošenje radnoga vremena . Kod kontrole bez razaranja, prema dosadašnjoj praksi, korisno je zadržati ispitivanje penetrantima preklope triju limova, ali ne i cijele podnice .

## 6. LITERATURA

- [1] John R.Buzek : Minimizing the risk of brittle fracture in existing liquid storage tanks
- [2] S. Al Laham: Stress intensity factor and limit load handbook , British energy Generation Ltd
- [3] Chang-Sung Seak: Effect of temperature on the fracture toughness of A516Gr70 steel,KSME International Journal, Vol.14,No.1,2000.
- [4] BS 7910: Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures  
Technical note – Fracture toughness of A516Grade 60 steel
- [5] EN 14015 – Specification for the design and manufacture of site built,vertical,cylindrical,flat-bottomed,above ground,welded,steel tank for the storage of liquids at ambient temperature and above
- [5] API 650 – Welded Steel Tanks for Oil Storage).