

UPOREDNI PRIKAZ PRORAČUNA I ANALIZA REZULTATA ZA POSUDE POD PRITISKOM PREMA SRPSKIM I EVROPSKIM STANDARDIMA – CILINDRIČNI OMOTAČI

COMPARATIVE DISPLAY OF CALCULATION AND RESULT ANALYSIS FOR PRESSURE VESSELS ACCORDING TO SERBIAN AND EUROPEAN STANDARDS – CYLINDRICAL SHELLS

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK /UDC: 006.44: 66-988

Rad primljen / Paper received: 20.10.2012.

Adresa autora / Author's address:

¹) University of Belgrade, Innovation Centre of the Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia, jnikolic@mas.bg.ac.rs

²) University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia

Ključne reči

- posuda pod pritiskom
- cilindrični omotač
- proračun
- standardi

Izvod

U radu su prikazani proračuni cilindričnih omotača posuda pod pritiskom prema srpskom standardu SRPS M. E2.253 i prema evropskom harmonizovanom standardu EN 13445 koji potpada pod Direktivu o opremi pod pritiskom (Pressure equipment directive PED 97/23). Prikazane su uporedna analiza toka proračuna cilindričnih omotača i analiza rezultata za delove izrađene od istog materijala i iste geometrije. Prikazani su uporedni proračuni po domaćem i evropskom standardu za dva različita tipa posuda.

UVOD

U okviru rada prikazan je proračun cilindričnih omotača, izloženih dejstvu unutrašnjeg pritiska prema standardima SRPS M.E2.253:1991 i EN 13445-3:2009. Primer proračuna cilindričnog omotača, realne geometrije pri radnim uslovima dat je za dva različita tipa posuda.

Uporedni proračun cilindričnog omotača je rađen za sledeće podatke:

Posuda A – vertikalni rezervoar za vodu sa jednim otvorom:

- spoljašnji prečnik $D_s = 508$ mm;
- priključak: DN20 ($\text{Ø}25 \times 2$) mm;
- proračunski pritisak je 4 bar;
- radna temperatura 120°C;
- materijal omotača: Č0361 (S235 JRG2);
- zapremina posude: 300 l.

Posuda B – horizontalni rezervoar za vodu sa jednim otvorom:

- spoljašnji prečnik $D_s = 1600$ mm;
- priključak: DN500 ($\text{Ø}522 \times 11$) mm;
- proračunski pritisak je 2 bar;
- radna temperatura 20°C;
- materijal omotača: Č0361 (S235 JRG2);
- zapremina posude: 16000 l.

Keywords

- pressure vessel
- cylindrical shell
- design
- standards

Abstract

The paper illustrates the calculation of pressure vessel cylindrical shells, according to Serbian standard SRPS M. E2.253 and according to the harmonized European standard EN 13445 that is subject to Pressure equipment directive PED 97/23. Also illustrated is a comparative analysis of calculation procedures for cylindrical shells and results for parts constructed from the same material and geometry. Presented are comparative calculations for two pressure vessel types, according to the domestic and European standard.

STANDARD SRPS M.E2.253:1991

SRPS M.E2.253:1991 je standard za proračunavanje potrebnih debljina cilindričnih omotača izloženih unutrašnjem pritisku.

Debljina zida cilindričnog omotača izračunava se prema formuli:

$$s_e = \frac{D_s p}{20 \frac{K}{S} v + p} + C_1 + C_2, \text{ (mm)}$$

U slučaju kada nema priključka na posudi, koeficijent valjanosti zavarenog spoja ($v = v_v$) određuje se u zavisnosti od Klase posude pod pritiskom i vrste zavarenog spoja /2/. Kada postoji priključak, koeficijent valjanosti zavarenog spoja računa se na sledeći način:

$$v = \min(v_v; v_A)$$

Standard SRPS M.E2.256 definiše dijagrame pomoću kojih se određuje koeficijent oslabljenja usled prisustva otvora (v_A), /9/.

Koeficijent oslabljenja se određuje pomoću pomenutih dijagrama na osnovu zadatih gabaritnih mera cilindričnog omotača i pretpostavljene debljine zida istog.

$$v_A = f \left(\frac{d_u}{\sqrt{(D_u + s_A - C_1 - C_2)(s_A - C_1 - C_2)}}, \frac{(s_s - C_{1s} - C_{2s})}{(s_A - C_1 - C_2)} \right)$$

Sa ovim dimenzijama se ulazi u iterativni proces proračuna koji definiše SRPS M.E2.253. Iteracije se vrše dok se izračunata vrednost debljine zida ne poklopi sa pretpostavljenom vrednošću.

Stepen sigurnosti se različito definiše za različite materijale, za radne i ispitne uslove.

Ispitni pritisak se određuje:

$$p_i = 1,3 \cdot p_{rad}, \text{ (bar)}$$

Provera maksimalnog dozvoljenog radnog pritiska:

$$P_{max} = \frac{20 \frac{K}{S} v (s - C_1 - C_2)}{D_s - (s - C_1 - C_2)}, \text{ (bar)}$$

Uslov za primenu standarda po kojem je proračun izvršen:

$$\frac{D_s}{D_u} \leq 1,2 \Rightarrow \frac{D_u + 2s}{D_u} \leq 1,2$$

STANDARD EN 13445-3:2009

Standard EN 13445-3:2009 definiše kompletan proračun posuda pod pritiskom, koje nisu izložene direktnom plamenu.

Uslov koji mora biti ispunjen za validnost proračuna cilindričnih omotača prema standardu EN 13445-3:2009 je sledeći:

$$\frac{e}{D_e} < 0,16$$

Zahtevana debljina zida cilindričnog omotača izračunava se prema formuli:

$$e = \frac{P \cdot D_e}{2f \cdot z + P}, \text{ (mm)}$$

Prema EN 13445-5:2009, u radu su prikazani slučajevi cilindričnih omotača izrađeni od materijala Č0361 (S235 JRG2) koji ispunjavaju uslove ispitne grupe 4.

Za materijale iz četvrte ispitne grupe, kojoj pripada ova oprema pod pritiskom, vrednost dozvoljenog napona je f_d koji je definisan u standardu formulom:

$$f_d = \min \left(\frac{R_{p0,2/T}}{1,5}; \frac{R_{m/20}}{2,4} \right), \text{ (MPa)}$$

za ispitnu grupu 4, dobijenu vrednost nominalnog napona množimo sa 0,9.

Napon koji se koristi u proračunu prema EN standardu u sebi sadrži stepen sigurnosti, kao i uticaj tipa materijala i ispitne grupe posude /9/.

Koeficijent zavarenog spoja (z) prema EN standardu se usvaja na osnovu ispitne grupe koja je određena na osnovu materijala. Pri proračunu se uticaj zavarenog spoja uzima sa koeficijentom $z = 0,7$ (Tabela 1).

Tabela 1. Vrednost koeficijenta zavarenog spoja (z) prema EN 13445-3

Z	1	0,85	0,7
Ispitna grupa	1 ; 2	3	4

Prema evropskom standardu provera uticaja otvora na omotaču na debljinu omotača vrši se iz geometrijskih relacija datih na slikama u odeljku 9.4 standarda EN 13445-3, proverom najvećeg dozvoljenog pritiska formulom:

$$P_{max} = \frac{(A f_s + A f_w) \cdot f_s + A f_b \cdot f_{ob} + A f_p \cdot f_{op}}{(A p_s + A p_b + 0,5 A p_\phi) + 0,5(A f_s + A f_w + A f_b + A f_p)}, \text{ (MPa)}$$

U prethodnoj formuli figurišu elementarne površine (A), a indeksi (s, w, b, p) definišu za koje se delove izračunavaju.

Ukoliko je ispunjen uslov $P_{max} > P$ sledi da prethodno usvojena debljina cilindričnog omotača zadovoljava potrebnu debljinu usled postojanja otvora.

Provera maksimalnog dozvoljenog radnog pritiska ukoliko ne postoji otvor na cilindričnom omotaču:

$$P_{max} = \frac{2f \cdot z \cdot e_a}{D_m}, \text{ (MPa)}$$

Ispitni pritisak se izračunava prema formulama koje takođe definiše ispitna grupa 4, a vrednost ispitnog pritiska ne sme biti niža od vrednosti dobijene izrazom:

$$P_t = 2,2 P_s \cdot \frac{f_a}{f_t} \cdot \frac{e_{min}}{e_{min} - C}, \text{ (MPa)}$$

PROVERA KOEFICIJENTA ZAVAREN OG SPOJA

Dobijena vrednost maksimalnog radnog pritiska prema EN 13445-3, usled postojanja otvora na cilindričnom omotaču, iskorišćena je u formuli za izračunavanje debljine zida cilindričnog omotača prema SRP M.E2.253 radi provere koeficijenta valjanosti zavarenog spoja (v). Ovim načinom provere za obe posude za koeficijent (v) dobijene su vrednosti veće od 1, što SRPS standardom nije predviđeno. Iz ovoga se vidi da su kriterijumi po EN standardu drugačiji i da se uticaj postojanja otvora na omotaču manje uzima u obzir prilikom proračuna.

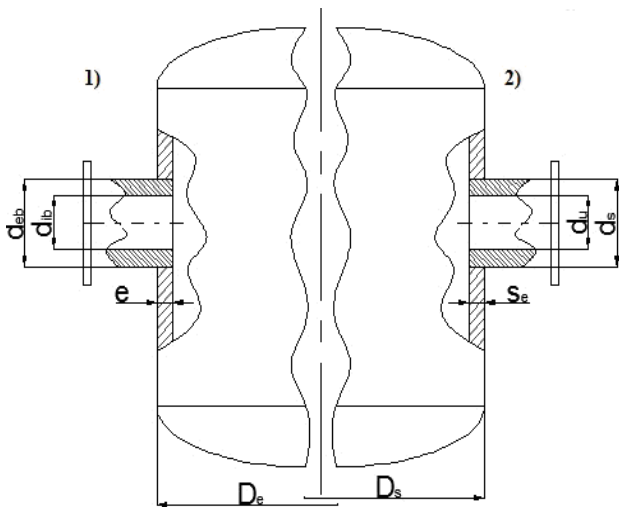
Pregled korišćenih oznaka

U tabeli 2 su prikazane oznake osnovnih veličina, korišćenih u ovom radu, kao uporedni pregled standarda EN 13445 i SRPS M.E2.253.

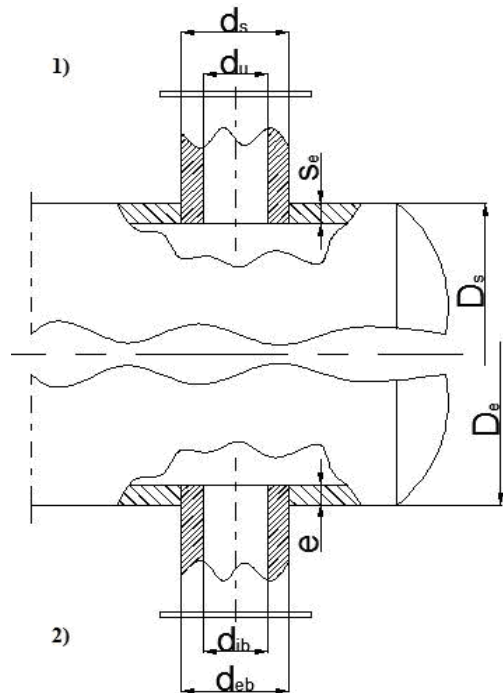
Tabela 2. Korišćene oznake

	EN 13445	SRPS M.E2.253
Potrebna debljina zida	e (mm)	s _e (mm)
Spoljašnji prečnik	D _e (mm)	D _s (mm)
Unutrašnji prečnik	D _i (mm)	D _u (mm)
Nominalni proračunski napon	f _d (MPa)	K (MPa)
Proračunski pritisak	P (MPa)	p (bar)
Koef. oslabljenja usled otvora	/	v _A (/)
Koef. valjanosti zavarenog spoja	z (/)	v _V (/)
Stepen sigurnosti	/	S (/)

Geometrijske veličine, čije su oznake prikazane u tab. 2, su označene na sl. 1 za vertikalne, a na sl. 2 za horizontalne posude pod pritiskom, takođe usporedno za standarde EN 13445 i SRPS M.E2.253 .



Slika 1. Vertikalna posuda sa priključkom sa odgovarajućim oznakama: 1) prema EN 13445-3; 2) prema SRPS M.E2.253



Slika 2. Horizontalna posuda sa priključkom sa odgovarajućim oznakama: 1) prema SRPS M.E2.253; 2) prema EN 13445-3

UPOREDNI PRIKAZ I ANALIZA REZULTATA

Tabela 3. Usporedni prikaz proračunskih koeficijenata, vrednosti ulaznih parametara i rezultata proračuna

	Posuda A		Posuda B	
	SRPS M.E2.253	EN 13445	SRPS M.E2.253	EN 13445
Koef. valjanosti zavarenog spoja	$v = 0,9$	$z = 0,7$	$v = 0,85$	$z = 0,7$
Koef. valjanosti zavarenog spoja usled postojanja otvora	$v = 0,725$	/	$v = 0,85$	/
Proračunski napon	$K = 181,8 \text{ MPa}$	$f_d = 109,08 \text{ MPa}$	$K = 205 \text{ MPa}$	$f_d = 122,94 \text{ MPa}$
Dodatak na dozvoljeno odstupanje dimenzija	$C_1 = 0,3 \text{ mm}$	/	$C_1 = 0,3 \text{ mm}$	/
Dodatak na koroziju	$C_2 = 1,0 \text{ mm}$	/	$C_2 = 1,0 \text{ mm}$	/
Potrebna debljina cilindričnog dela bez dodataka	$s = (s_A - C_1 C_2) = (2,5 - 0,3 \cdot 1) = 1,2 \text{ mm}$	$e = 1,5 \text{ mm}$	$s = (s_A - C_1 C_2) = (3 - 0,3 \cdot 1) = 1,7 \text{ mm}$	$e = 2 \text{ mm}$
Maks. dozvoljeni pritisak usled postojanja otvora	$P_{max} = 0,42 \text{ MPa}$	$P_{max} = 0,66 \text{ MPa}$	$P_{max} = 0,25 \text{ MPa}$	$P_{max} = 0,43 \text{ MPa}$
Ispitni pritisak	$p_i = 0,52 \text{ MPa}$	$P_i = 0,88 \text{ MPa}$	$p_i = 0,26 \text{ MPa}$	$P_i = 0,44 \text{ MPa}$

Određene su i klase posuda pod pritiskom i prikazane u tabeli 4.

Tabela 4. Klase posuda

	PED 97/23		SRPS M.E2.150 SRPS M.E2.151	
	Posuda		Posuda	
	A	B	A	B
Kategorija posude pod pritiskom	II	III	IV	IV

ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodno izloženog vidimo da se za proračun prema EN i SRPS standardima koriste slične matematičke formule, kao i uslovi koji moraju biti ispunjeni za primenu standarda. Razlika u formulama je u koeficijentima zavarenog spoja i stepenu sigurnosti.

U SRPS standardu koeficijent zavarenog spoja se određuje u zavisnosti od Klase posude pod pritiskom i vrste zavarenog spoja. Ukoliko postoji otvor na omotaču koeficijent oslabljenja usled prisustva otvora se očitava sa dijagrama koji su dati standardom SRPS M.E2.256. Prema EN standardu koeficijent zavarenog spoja se određuje prema ispitnoj grupi i ne zavisi od postojanja otvora na omotaču.

Stepen sigurnosti se u SRPS standard uključuje u proračunske formule i različito definiše za različite materijale, radne i ispitne uslove, dok je u EN stepen sigurnosti obuhvaćen naponom /9/.

Došlo se do zaključka da je po EN standardu manji uticaj postojanja otvora u odnosu na SRPS standard koji više ne važi, pa se samim tim dobijaju viši maksimalni radni pritisci po EN standardu.

Neophodno je izvršiti proračun za radne i ispitne uslove prema oba standarda, jer se može dobiti da je potrebna debljina izračunata pri ispitnim uslovima veća od debljine pri radnim uslovima /9/.

U oba primera dobijene su slične potrebne debljine zida cilindričnog omotača prema standardima EN 13445-3 i SRPS M. E2.253 i zadovoljeni su svi uslovi postavljeni standardima.

SRPS M.E2.253:1991 je povučen i zamenjen sa EN standardom. Proračun je urađen jer je veliki broj posuda pod pritiskom koje su dimenzionisane prema SRPS M.E2.253 i dalje u eksploataciji.

LITERATURA – REFERENCES

1. Pravilnik o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom, Službeni glasnik Republike Srbije br. 87/11, 2011.
2. Pravilnik o tehničkim normativima stabilnih posuda pod pritiskom, Službeni glasnik RS br. 16/83, 1983.
3. Bogner, M., Petrović, A., Konstrukcije i proračuni procesnih aparata, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd 1991.
4. Sedmak, S., Nikolić, M., Vojnović, V., Priručnik za konstruisanje procesne opreme, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1994.
5. SRPS M.E2.253:1991 – Cilindrični i kuglasti omotači izloženi unutrašnjem pritisku – Proračun.
6. EN 13445-3:2002 – Posude pod pritiskom koje nisu izložene plamenu: proračun i konstruisanje.
7. EN 13445-2:2002 – Materijali za posude pod pritiskom koje nisu izložene plamenu.
8. EN 13445-5:2002 – Inspekcija i ispitivanje posuda pod pritiskom koje nisu izložene plamenu.
9. Mitrović, N., Petrović, A., Tomović, A., *Analiza proračuna delova posuda pod pritiskom prema srpskim i svetskim standardima, Deo 3: Konusni omotači*, Procesna tehnika, broj 1, godina 22, str.24-27, Beograd, 2010.

The Tenth International Conference on Multiaxial Fatigue & Fracture (ICMFF10)

Kyoto (Japan), 3-6 June, 2013 - Suzaku Campus, Ritsumeikan University

<http://www.ritsumei.ac.jp/~sakanem/ICMFF10-Home.html>

The aim of this conference is to exchange information on multiaxial fatigue and fracture research as well as the application of this research to industrial practice. Selected papers will be published in the:

- **International Journal of Fatigue:**

Special Issue on Multiaxial Fatigue and Fracture

- **Engineering Fracture Mechanics**

Special Issue on Multiaxial Fracture and Fracture

Topics

1. Loading
Constant amplitude (LCF, MCF, HCF); Variable amplitude and damage accumulation; Gigacycle fatigue; Thermal fatigue and creep; Contact fatigue; Proportional and non-proportional loading
2. Fracture Mechanics
Initiation and short crack growth; Mixed mode behavior; Multiaxial fracture
3. Materials
Metallic; Non-metallic; Defects and in homogeneities; Constitutive modeling; Damage mechanics
4. Testing and Applications
Design (notches and stress concentrations); Joined structures; Residual stresses; Case studies; Virtual simulation; Experimental verification

Conference Secretariat

Ms. Yuka Takada
Dept of Mechanical Engineering
Ritsumeikan University
Noji-higashi 1-1-1, Kusatsu-shi
525-8577 Shiga, JAPAN
Fax: +81 077 561 2665
E-mail: yta98020@se.ritsumei.ac.jp

Conference Chairmen

Andrea Carpinteri, Parma Italy
Masao Sakane, Kusatsu Japan
Shan-Tung Tu, Shanghai China

Local Organizing Committee

Nobuhiro Isobe (Hitachi Japan), Takamoto Itoh (Fukui Japan)
Shengde Zhang (Yokosuka Japan), Takaie Yamamoto (Oita Japan)

Key dates

- Abstracts: 15 July, 2012 (Extended)
- Abstract acceptance: 31 August, 2012
- Camera-ready papers and Extend abstracts: 31 Dec 2012

Scientific Committee

S. Beretta (Milan Italy), F.P. Brennan (Cranfield UK), X. Chen (Tianjin China), M. de Freitas (Lisbon Portugal), F. Ellyin (Vancouver Canada), M. Endo (Fukuoka Japan), A. Esderts (Clausthal-Zellerfeld Germany), A. Fatemi (Toledo USA), G. Glinka (Waterloo Canada), T. Itoh (Fukui Japan), M.N. James (Plymouth UK), P. Lazzarin (Padua Italy), J. Liu (Shanghai China), E. Macha (Opole Poland), G. Marquis (Helsinki Finland), M.R. Mitchell (Flagstaff USA), Y. Murakami (Fukuoka Japan), C. Navarro (Seville Spain), T. Ogata (Narashino Japan), I. Okawa (Koganei Japan), T. Palin-Luc (Bordeaux France), A. Pineau (Evry France), L.P. Pook (Sevenoaks UK), A. Shanyavskiy (Moscow Russia), D. Socie (Urbana USA), C.M. Sonsino (Darmstadt Germany), A. Spagnoli (Parma Italy), S. Stefanov (Sofia Bulgaria), R. Sunder (Bangalore India), L. Susmel (Sheffield UK), K. Tanaka (Nagoya Japan), M. Vormwald (Darmstadt Germany), J.R. Yates (Manchester UK), H. Zenner (Dresden Germany)

