

# Анализа прорачуна делова посуда под притиском према српским и светским стандардима, Део 1: Данца

Ненад Митровић, Милош Милошевић, Александар Петровић

У оквиру рада су дате основне једначине за димензионисање торисферичних данаца, изложених дејству унутрашњег притиска према стандардима SRPS, EN и ASME. У наставку су дати примери прорачуна за конкретну геометрију данца и задате радне услове, као и табела са упоредним приказом добијених резултата, што је и презентовано на YUSK конференцији на Машинском факултету у Београду 2009. Поред тога, извршена је и напонска анализа данца исте геометрије под истим радним условима, која је потврдила валидност претходно извршених стандардних прорачунских процедура.

Упоредни прорачун плитког торисферичног данца, према SRPS, ASME VIII – 1 и EN стандарду и одговарајућим „shareware“ алаткама, је рађен за следеће податке: спољашњи пречник данца износи 1100 mm, радни притисак је 6 bar, радна температура 90°C, а материјал израде Č 0361 (S235 JRG2).

## SRPS M.E2.252/1991 [8]

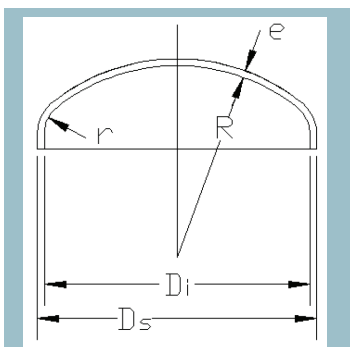
SRPS M.E2.252/1991 је стандард за прорачунавање дебљина торисферичних данаца изложених спољашњем и унутрашњем притиску. Овим стандардом се утврђују поступак прорачуна данаца, као саставних делова посуда под притиском, у експлоатацији изложених дејству спољашњег и унутрашњег притиска. Стандард важи за испупчена данца, и то плитка, дубока и полулоптаста,

## ASME Code [9]

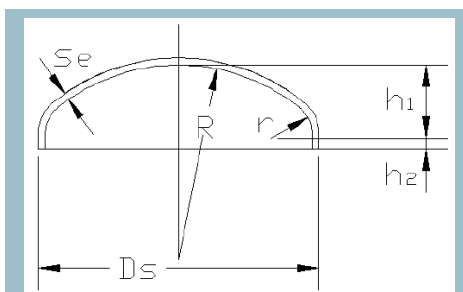
У ASME стандарду, једначине за прорачун свих врста данаца дате су у секцијама VIII-1 и VIII-2. Постоје знатне разлике између ових једначина, а у овом раду ми ћемо се позивати на једначине из секције VIII-1 под називом “ПРАВИЛА ЗА КОНСТРУКЦИЈУ ПОСУДА ПОД ПРИТИСКОМ”. У овој секцији дате су методе за прорачун сферичних, хемисферичних, елиптичних и торисферичних данаца.

Табела 1.

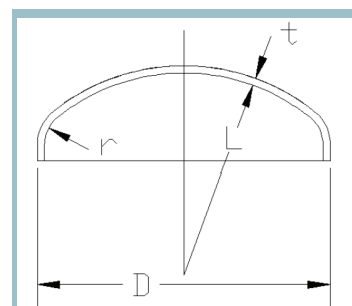
	EN 13445	SRPS M.E2.252	ASME Code VIII-1
Унутрашњи полупречник торусног дела	$r$ [mm]	$r$ [mm]	$r$ [inch]
Унутрашњи полупречник калоте данца	$R$ [mm]	$R$ [mm]	$L$ [inch]
Потребна дебљина данца	$e$ [mm]	$s$ [mm]	$t_r$ [inch]
Спољашњи пречник	$D_e$ [mm]	$D_s$ [mm]	$D_o$ [inch]
Унутрашњи пречник	$D_i$ [mm]	$D_u$ [mm]	$D$ [inch]
Прорачунски коефицијент	$\beta$ [ ]	$\beta$ [ ]	$M$ [ ]
Номинални прорачунски напон	$f$ [MPa; N/mm <sup>2</sup> ]	$K$ [MPa]	$S$ [psi ]
Прорачунски напон за једначину за деформације	$f_b = \frac{f \cdot 100}{1,5}$	/	/
Потребна дебљина да би се избегле пластичне деформације	$e_b$ [mm]	/	/
Потребна дебљина данца да би се ограничио мембрански напон у централном делу	$e_s$ [mm]	/	/
Потребна дебљина зглоба да би се избегло осносиметрично деформисање	$e_y$ [mm]	/	/
Коефицијент завареног споја	$z$ [ ]	$v$ [ ]	$E$ [ ]
Прорачунски притисак	$P$ [MPa; N/mm <sup>2</sup> ]	$p$ [bar ]	$p$ [psi ]
Висина данца (према слици)	$h_1$ [mm]	$h_r, h_1$ [mm]	/
Степен сигурности	/	$S$ [ ]	/



Слика 1. Торисферично плитко данце према EN 13445



Слика 2. Испупчено данце са прикључком SRPS M.E2.252



Слика 3. Торисферично данце према ASME

Табела 2.

EN 13445	SRPS M.E2.252	ASME
$R = D_e = 1100 \text{ mm}$	$R = D_s$	$L_n = D_o$
$r = 0,1 \cdot D_e = 110 \text{ mm}$	$r = 0,1 \cdot D_s$	$r = 0,06 \cdot L_n$
$t_i = R \cdot \sqrt{\frac{P}{2 \cdot \sigma \cdot R + 2 \cdot \sigma \cdot r}}$	$h_2 = 0,1935 \cdot D_s - 0,455 \cdot D_s$	
	$0,001 \cdot \frac{D_s}{e} \leq \frac{D_s}{e} \leq 0,1$	

**EN 13445-3:2002 [7]**

Следећи услови морају бити испуњени, да би могле да се примене формуле за прорачун торисферичног данца према EN 13445-3:2002:

$$\begin{aligned}
 r &\leq 0,2 \cdot D_i & e &\leq 0,08 \cdot D_e \\
 r &\geq 0,06 \cdot D_i & e &\geq 0,001 \cdot D_e \\
 r &\geq 2 \cdot e & R &\leq D_e
 \end{aligned}$$

Потребна дебљина зида данца, према EN 13445-3:2002 се рачуна као максимална вредност добијена прорачуном на основу следећа три израза  $e_s$ ,  $e_y$  и  $e_b$ .

Дебљина зида дела калоте одређује се по обрасцу датом у стандарду SRPS M.E2.253/1991, тако што се калота третира као кугласти омотач

Табела 3.

Стандард	Дебљина зида данца	Провера максимално дозвољеног радног притиска
EN 13445	$e_s = 2 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot P}{\sigma} - 0,5 \cdot P}$	$P_s = \frac{\sigma \cdot e_s}{R + 0,5 \cdot e_s}$
	$e_y = \frac{b \cdot \sigma}{f}$	$P_y = \frac{b \cdot \sigma}{0,75 \cdot R + 0,2 \cdot D_i}$
	$e_b = 0,75 \cdot R + 0,2 \cdot D_i \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma} \cdot \frac{D_i}{r} \cdot 0,825 \cdot 1,5}$	$P_b = \frac{b \cdot \sigma}{0,75 \cdot R + 0,2 \cdot D_i} \cdot \frac{D_i}{D_i}$
	$e = \max(e_s, e_y, e_b)$	$e = \min(P_s, P_y, P_b)$
SRPS M.E2.252	Дебљина зида дела калоте одређује се по обрасцу:	/
	$S = \frac{K \cdot \sigma}{40 \cdot S} \cdot \sqrt{v + p} + C_1 + C_2$	
	Потребна дебљина (s) торусног дела рачуна се по изразу:	
ASME	$t_r = 2 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot P}{\sigma} - 0,2 \cdot P}$	$P = \frac{L \cdot \sigma}{M + 0,2 \cdot t_c} = 0,11$

Напомена: За дату геометрију, максимална вредност притиска  $P_{max}$  се узима као минимална вредност добијена прорачуном на основу следећа три израза за  $P_s$ ,  $P_b$  и  $P_y$ .

Табела 4.

	EN 13445	SRPS M.E2.252	ASME Code VIII-1
Коефицијент завареног споја	$z = 0,7$	$v = 0,7$	E
Прорачунски коефицијент (За прорачун дебљине данца)	$\beta = 1,01$ (dijagram)	$\beta = 3,5$ (dijagram)	$M = \frac{1}{4} \cdot 3 + \sqrt{1} = 1,5$
Прорачунски коефицијент (за макс. притисак)	$\beta = 0,95$ (dijagram)	/	
Прорачунски напон	$f_b = 1,5$	$K=250N/mm^2$	$S=167N/mm^2$
Додатак на дозвољено одступање димензија	/	$C_1=0,3mm$	$tol=0,3mm$
Додатак на корозију	/	$C_2=1,0mm$	$C_2=1,0mm$

Коефицијент завареног споја према EN 13445 се усваја на основу испитне групе којој припада данце које се прорачунава. Испитна група се одређује на основу табеле која је дата у EN 13445-3, и данце из овог примера припада испитној групи 4. За испитну групу 4 се не врши посебно испитивање заварених спојева, већ се оно спроводи кроз хидротест. Испитни притисак се рачуна према формулама које такође дефинише испитна група, а вредност испитног притиска је већа него за случајеве када се врши додатно испитивање заварених спојева, и око два пута је виша од вредности радног притиска.

За материјале из четврте испитне групе, којој припада ова опрема под притиском, вредност ( $f_d$ ) се множи коефицијентом 0,9.

### КОЕФИЦИЈЕНТ ВАЉАНОСТИ ЗАВАРЕНОГ СПОЈА (v) ПРЕМА SRPS [8]

За данца за која се испитивањем докаже 100% искоришћења дозвољеног прорачунског напона, као и у случају напрезања услед спољашњег притиска, као и за једнополна данца, рачуна се са вредношћу  $v = 1$ . Такође за заварена испупчена данца, осим полулоптастих, независно од обима испитивања, рачуна се  $v = 1$ , уколико заварени шав сече данце на мање од  $0,6 D_s$

Прорачунски коефицијенти се за испупчена данца (пуна данца и данца са изрезима) одређују:

- а) за плитка данца,
- б) за дубока данца,

у зависности од:

$$\frac{e}{D_s} \text{ и } d_u/D_s$$

Овде важе криве са  $d_u/D_s > 0$  за неојчане изрезу у подручју торусног дела и изван подручја теменог дела калоте до  $0,6 D_s$ .

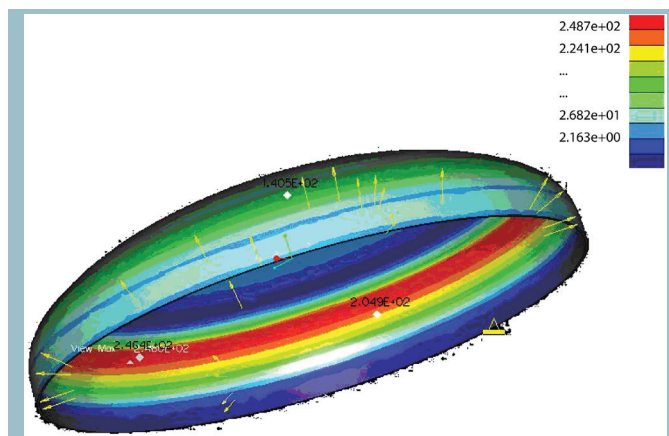
### ДОДАТАК НА КОРОЗИЈУ ПРЕМА ASME [9]

За разлику од SRPS стандарда, који прописује вредности додатка за корозију за различите дебљине челичног лима, ASME не даје тачне вредности за овај додатак, већ се ослања на препоруке пројектанта и произвођача опреме.

У поглављу APPENDIX E, дате су опште препоруке везане за одређивање додатка за корозију, а ограничења у погледу његових вредности дате су у оквиру одељака који се баве посудама под притиском израђених од одређеног материјала. Тако нпр. препоруке за додатак за корозију за посуде под притиском израђене од угљеничних челика, могу се наћи у одељку UCS-25 (Carbon and low alloy steel vessels).

### ПРОРАЧУН МЕТОДОМ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА

Методом коначних елемената прорачунато је напонско стање данца за податке коришћене у оквиру овога рада, под истим радним условима, а резултати прорачуна графички су приказани на слици 4, на којој се помоћу спектра боја приказује количина оптерећења у различитим зонама данца.



Слика 4.

Напонско стање добијено методом коначних елемената (бројчане вредности су вредности напона)

Дебљина анализираниог данца је 5 mm. Анализа је потврдила да је код данца изложених унутрашњем притиску, најкритичнија зона прелаза са калоте на торусни део. Напони у овој зони достижу максималну вредност  $248,7 N/mm^2$ , (слика 4) што је на самој граници течења за материјал израде данца.

### ЗАКЉУЧАК

Као што се може приметити за прорачун се користе сличне математичке релације и односи који у одговарајућим стандардима морају бити испуњени, укључујући пре свега однос дебљине лима и пречника данца. Основна процедура прорачуна по СРПС-у базирана је на итеративним поступцима, код којих се са претпостављеном дебљином зида данца улази у прорачун и проверава да ли може издржати прорачунско оптерећење. Уколико то није случај у прорачун се улази са новом претпостављеном

Табела 5.

	EN 13445	SRPS M.E2.252	ASME	MKE
Спољашњи пречник данца D [mm]	1100			
Радни притисак P [MPa]	0,6			
Затезна чврстоћа Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	410			
Граница развлачења Re [N/mm <sup>2</sup> ]	250			
Коефицијент завареног споја [l]	z = 0,7	v = 0,7	E = 1	/
Потребна дебљина калоте данца	/	sk = 3,28 mm	/	/
Потребна дебљина торусног дела данца	/	st = 4,76 mm	/	/
Дебљина зида торисферичног дела данца	e = 4,2 mm	/	tr = 4,42 mm	/
Максимални дозвољени притисак	p = 0,76 MPa	/	P = 0,72 N/mm <sup>2</sup>	/
Израчунати напон R [N/mm <sup>2</sup> ]	/	/	/	R = 248,7 N/mm <sup>2</sup>
Дodataк за корозију	/	c <sub>2</sub> = 1,0 mm	c <sub>2</sub> = 1,0 mm	/
Толеранција димензионог одступања	/	c <sub>1</sub> = 0,3 mm	tol = 0,3 mm	/

вредношћу дебљине зида, и прорачун се спроводи док дебљина зида не задовољи прорачун. Прорачун се врши за сферни, торусни и цилиндрични део данца, а за дебљину зида се усваја највећа вредност од добијених. Код ASME се претпоставља номинална дебљина данца, а затим се на основу радних параметара и геометрије данца одређује неопходна дебљина материјала. Уколико је прорачуната дебљина већа од претпостављене, претпоставља се нова, већа дебљина зида и прорачун се спроводи док наведени услови не буду задовољени.

Упоредивањем анализираних прорачуна може се закључити да приликом ASME и EN стандарда степен сигурности индиректно користи из основних података о материјалу при одређивању номиналног прорачунског напона, док се код SRPS стандарда степен сигурности користи при прорачуну за добијене вредности дебљина лима за поједине делове данца.

Као што се у примеру може видети, прорачуном добијене дебљине данца су сличне према сва три стандарда што доводи до закључка да су стандарди базирани на истим законима отпорности материјала, с једином разликом у начину приступа и решавања проблема.

## ЛИТЕРАТУРА

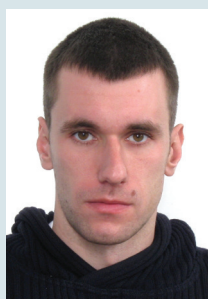
- [1] **Богнер, М., Петровић, А.:** *Конструкције и прорачун прцесних апарата*, Машински факултет Београд, Београд 1991
- [2] **Богнер, М.:** *Прописи и стандарди за стабилне и покретне посуде под притиском са коментарима и прилозима*, Машински факултет Београд, Београд 1992
- [3] **Jawad, M.:** *Theory and design of plate and shell structures*, Chapman & Hall, London 1994.
- [4] **Седмак, С., Николић, М., Војновић, В.:** *Приручник за конструисање процесне опреме*, Технолошко-Металуршки факултет Београд 1994.
- [5] **Чукић, Р., Ружић, Д.:** *Отпорност материјала таблице*, Машински факултет Београд 2000.
- [6] **Рашковић, Д.:** *Отпорност материјала*, Грађевинска књига Београд 1990.
- [7] *EN 13445-3:2002 – Посуде под притиском које нису изложене пламену: прорачун и конструисање.*
- [8] *SRPS M.E2.252/1991 – Данца изложена унутрашњем или спољашњем притиску.*
- [9] *ASME – Code VIII-1: Правила за конструисање посуда под притиском.*

## Аутори



**Александар Петровић**,  
Машински факултет  
Универзитета у Београду,  
Катедра за процесну  
технику, Краљице Марије  
16, 11000 Београд  
apetrovic@mas.bg.ac.rs  
Тел: 011 3302389

Бави се пројектовањем инсталација у области процесне индустрије, конструисањем и испитивањем опреме, са посебним освртом на пројектовање и конструисање ејектора и ејекторских инсталација. Од почетка свог рада на факултету објавио је више од 50 научних и стручних радова, те десетак наслова стручне и уџбеничке литературе



**Милош Милошевић**, Иновациони центар  
Машинског факултета у Београду Тел: 0656676866  
mmilosevic@mas.bg.ac.rs

Дипломирао 2008. године, докторант на Машинском факултету у Београду. Запослен као истраживач сарадник у Иновационом центру. Активно учествује на пројектима Министарства науке РС и сарадње са привредом. До сада објавио неколико радова.

**Ненад Митровић**, Иновациони центар Машинског  
факултета Тел: 063 319461 nmitrovic@mas.bg.ac.rs

Дипломирао 2008. године, докторант на Машинском факултету у Београду. Запослен као истраживач сарадник у Иновационом центру. Сарадник у настави на предметима Цевоводи и арматура и Технички прописи. До сада објавио 3 радова.

