

PRORAČUN LOKALNIH NAPONA U ISPUPČENOM DANCU VERTIKALNE POSUDE POD PRITISKOM USLED OPTEREĆENJA OSLONCEM – “SUKNJOM” PREMA EN 13445-3:2014

CALCULATION OF LOCAL LOADS IN TORISPHERICAL END OF VERTICAL VESSEL WITH SKIRT ACCORDING TO EN 13445-3:2014

Stručni rad / Professional paper

UDK /UDC: 62-988

Rad primljen / Paper received: 20.03.2016.

Adresa autora / Author's address:

¹) TehnoCAD d.o.o., Belgrade, Serbia

²) University of Belgrade, Faculty of Mech. Engng., Belgrade, email: asedmak@mas.bg.ac.rs

³) Union Nikola Tesla University, Faculty for Strategic and Operational Management, Belgrade, Serbia

⁴) State University Novi Pazar, Department of Technical Sciences, Serbia

⁵) D'Appolonia Italy (ENI IRAQ), Iraq Energy City, Iraq

Ključne reči

- posuda pod pritiskom
- vertikalni oslonac
- lokalni napon

Izvod

U radu su prikazane osnovne jednačine za određivanje lokalnih napona u ispupčenom dancu vertikalne posude pod pritiskom usled opterećenja osloncem prema standardu EN 13445-3:2014.

UVOD

Ovim radom predstavljen je proračun lokalnih napona u elementima vertikalne posude pod pritiskom, usled opterećenja osloncem tipa „suknje“. Sledeći proračun može se primeniti za proveru lokalnih napona u zidu vertikalne posude pod pritiskom u području oslonca. Povišenje napona naročito se očekuje kod vitkih posuda (visina/prečnik > 5) visina preko 10 m. Dodatno dokazivanje napona može biti potrebno kod tankozidnih posuda ili velikih dodatnih težina. Proračunava se radno stanje pogona posude, stanje bez pritiska bez punjenja, kao i montažno stanje, sa odgovarajućim opterećenjem. Ukoliko postoje, u izraze treba uvrstiti i dodatna opterećenja, na primer zemljotresom, cevovodima i skelama.

ANALIZA OPTEREĆENJA

Posuda je projektovana tako da se suprotstavi dejstvu statičkih opterećenja izazvanih dejstvom unutrašnjeg pritiska i dodatnih opterećenja, /1-5/. U ovom primeru od dodatnih opterećenja u analizu uvrstavamo dejstvo seizmičkih sila, sl. 1.

Konstrukcije objekata visokogradnje proračunavaju se na delovanje horizontalnih seizmičkih sila najmanje u dve međusobno ortogonalne ravni. Seizmički proračun konstrukcija sprovodi se primenom metode ekvivalentnog statičkog opterećenja.

Ukupna horizontalna seizmička sila je:

$$S_h = F_G \cdot K = 55,94 \text{ kN}$$

gde je: F_G —težina prazne posude, a K —ukupni seizmički koeficijent za horizontalni pravac.

Keywords

- pressure vessel
- vertical support
- local stress

Abstract

Fundamental equations for determining local stresses in a convex lid of a vertical pressure vessel due to loading from the support are presented, according to standard EN 13445-3:2014.

Težina prazne posude proračunava se prema obrascu:

$$F_G = m_G \cdot g = 699,24 \text{ kN}$$

gde je $m_G = 71\,278 \text{ kg}$ – masa prazne posude.

Ukupni seizmički koeficijent za horizontalni pravac određuje se prema izrazu:

$$K = K_0 \cdot K_S \cdot K_d \cdot K_p = 0,08$$

gde su: $K_0 = 1,0$ —koeficijent kategorije objekta, II kategorija; $K_S = 0,05$ —koeficijent seizmičkog intenziteta, VIII st. MCS; $K_d = 1,0$ —koeficijent dinamičnosti; $K_p = 1,6$ —koeficijent duktilnosti i prigušenja.

Moment savijanja od horizontalne seizmičke sile u preseku 1-1 (sl. 1) proračunava se prema obrascu:

$$M_1 = \left(\frac{2}{3} H - h \right) S_h = 735,04 \text{ kNm}$$

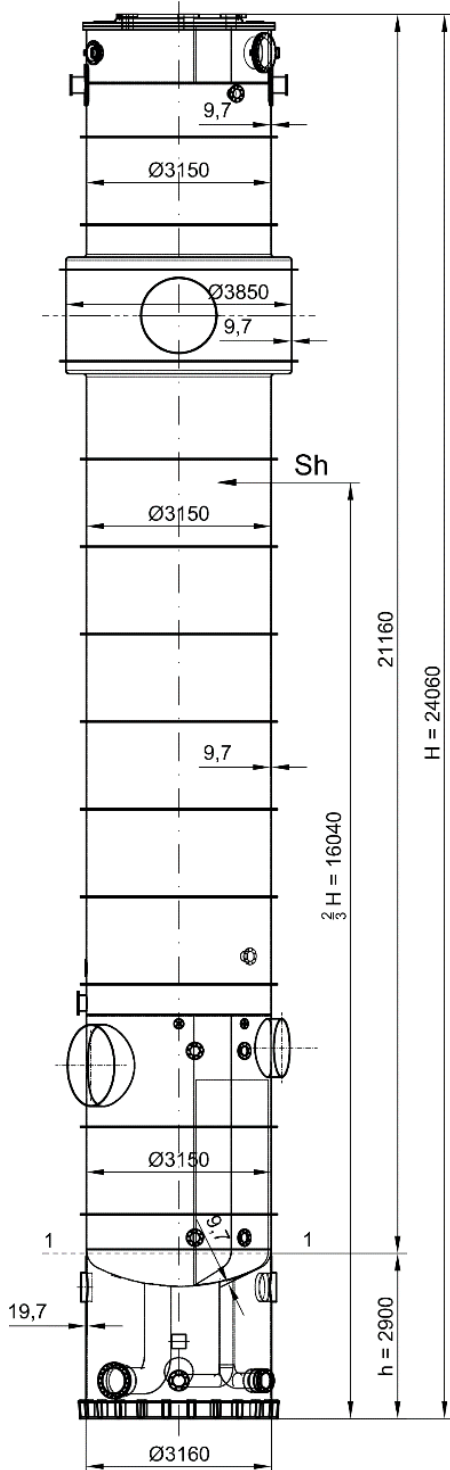
PRORAČUN

Proračun je rađen za oblik konstrukcije B, spoj sa suknjicom u području torusa, sl. 2. Posuda je izrađena od materijala X2CrNiMo17-12-2 brojne oznake 1.4404, dok je suknjica izrađena od materijala S355J2.

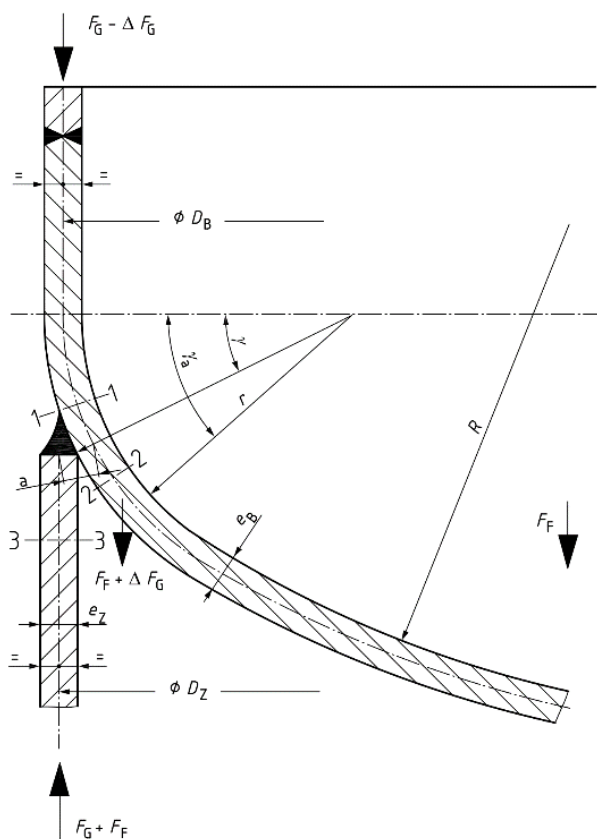
Ulazni podaci za proračun:

- srednji prečnik omotača posude $D_B = 3140,3 \text{ mm}$;
- debljina zida posude $e_B = 9,7 \text{ mm}$;
- srednji prečnik suknjice $D_Z = 3140,3 \text{ mm}$;
- debljina zida suknjice $e_Z = 19,7 \text{ mm}$;
- unutrašnji poluprečnik oboda na torisferičnom dancu $r = 315 \text{ mm}$;
- ugao torusnog dela ispupčenog danca $\gamma_a = 45^\circ$;
- težina prazne posude $F_G = 699,24 \text{ kN}$;

- težina posude ispod preseka 2-2 $\Delta F_G = 51,43$ kN;
- težina sadržaja $F_F = 755,12$ kN;
- globalna dodatna aksijalna sila na preseku 1-1 $F_1 = 0$ kN;
- rezultujući moment usled spoljašnjih opterećenja na preseku 1-1 iznad spoja $M_1 = 735,04$ kNm;
- proračunski pritisak $p = 0,5$ bar (0,05 MPa);
- hidrostatički pritisak $p_H = 1$ bar (0,1 MPa);
- proračunska temperatura $t = 110$ °C;
- proračunski napon posude $f = 142,0$ MPa;
- proračunski napon suknjice $f_Z = 195,833$ MPa.



Slika 1. Vertikalna posuda pod pritiskom.



Slika 2. Oblik konstrukcije B, spoj sa suknjicom u području torusa

Sledeći proračun može se primeniti na oslonce cilindričnog ili koničnog oblika (sa uglom nagiba $\leq 7^\circ$ prema uzdužnoj osi), neposredno zavarene na eliptično ili torisferično dance u području $0^\circ \leq \gamma \leq 20^\circ$. Pored navedenog za primenu proračuna potrebno je ispuniti uslov odnosa debljina zidova $0,5 \leq eB/eZ \leq 2,25$.

Provera u području spoja (preseki 1-1, 2-2 i 3-3)

Vertikalna sila F_Z u posmatranoj tački na suknjici p i q :

- p – tačka u posmatranom preseku, u kojoj globalni moment prouzrokuje najveću zateznu silu u suknjici

$$F_{Zp} = -F_1 - F_G - F_F + 4 \frac{M_1}{D_Z} \text{ (kN)}$$

- q – tačka u posmatranom preseku 1-1, u kojoj globalni moment prouzrokuje najveću pritisnu silu u suknjici

$$F_{Zq} = -F_1 - F_G - F_F - 4 \frac{M_1}{D_Z} \text{ (kN)}$$

Lokalni moment savijanja od vertikalne sile F_Z u posmatranoj tački na suknjici p, q :

- moment savijanja od vertikalne sile F_{Zp}

$$M_p = a F_{Zp} \text{ (kNm)}$$

- moment savijanja od vertikalne sile F_{Zq}

$$M_q = a F_{Zq} \text{ (kNm)}$$

gde je a – krak delovanja vertikalne sile.

Krak delovanja vertikalne sile proračunava se prema:

$$a = \frac{1}{2} \sqrt{e_B^2 + e_Z^2 + 2e_B e_Z \cos \gamma} \text{ (mm)}$$

pri čemu je kosinus ugla dodira oslonca i danca:

$$\cos \gamma = 1 - \frac{D_B + e_B - D_Z + e_Z}{2(r + e_B)}$$

Membranski napon u presecima 1-1, 2-2 i 3-3

Da bi bio zadovoljen uslov čvrstoće, apsolutne vrednosti membranskih napona u preseku 1-1 ne smeju biti veće od proračunskog napona posude f .

- presek 1-1, membranski napon u posmatranoj tački preseka p

$$\sigma_{1p}^m = \frac{F_{Zp} + \Delta F_G + F_F}{\pi D_B e_B} + \frac{p D_B}{4 e_B} \text{ (MPa)}$$

- presek 1-1, membranski napon u tački q

$$\sigma_{1q}^m = \frac{F_{Zq} + \Delta F_G + F_F}{\pi D_B e_B} + \frac{p D_B}{4 e_B} \text{ (MPa)}$$

Da bi bio zadovoljen uslov čvrstoće, apsolutne vrednosti membranskih napona u preseku 2-2 ne smeju biti veće od proračunskog napona posude f .

- presek 2-2, membranski napon u tački p

$$\sigma_{2p}^m = \frac{\Delta F_G + F_F}{\pi D_B e_B} + \frac{p D_B}{4 e_B} \text{ (MPa)}$$

- presek 2-2, membranski napon u tački q

$$\sigma_{2q}^m = \frac{\Delta F_G + F_F}{\pi D_B e_B} + \frac{p D_B}{4 e_B} \text{ (MPa)}$$

Da bi bio zadovoljen uslov čvrstoće, apsolutne vrednosti membranskih napona u preseku 3-3 ne smeju biti veće od proračunskog napona suknjice F_Z .

- presek 3-3, membranski napon u tački p

$$\sigma_{3p}^m = \frac{F_{Zp}}{\pi D_Z e_Z} \text{ (MPa)}$$

- presek 3-3, membranski napon u tački q

$$\sigma_{3q}^m = \frac{F_{Zq}}{\pi D_Z e_Z} \text{ (MPa)}$$

Naponi savijanja u presecima 1-1, 2-2 i 3-3

Korekcionni faktor C , unutar granica:

$$0,5 \leq \frac{e_B}{e_Z} \leq 2,25$$

proračunava se prema:

$$C = 0,63 - 0,057 \left(\frac{e_B}{e_Z} \right)^2$$

Prethodni izraz određen je numerički – metodom konačnih elemenata. Zbog velikog broja parametara izvršena su određena pojednostavljenja, što za posledicu može imati predimenzionisanje delova posude, na primer, dubokog danca.

- presek 1-1, napon savijanja u tački p

$$\sigma_{1p}^b(a) = C \frac{6M_p}{\pi D_B e_B^2} \text{ (MPa)}$$

- presek 1-1, napon savijanja u tački q

$$\sigma_{1q}^b(a) = C \frac{6M_q}{\pi D_B e_B^2} \text{ (MPa)}$$

- presek 2-2, napon savijanja u tački p

$$\sigma_{2p}^b(a) = C \frac{6M_p}{\pi D_B e_B^2} \text{ (MPa)}$$

- presek 2-2, napon savijanja u tački q

$$\sigma_{2q}^b(a) = C \frac{6M_q}{\pi D_B e_B^2} \text{ (MPa)}$$

- presek 3-3, napon savijanja u tački p

$$\sigma_{3p}^b(a) = C \frac{6M_p}{\pi D_Z e_Z^2} \text{ (MPa)}$$

- presek 3-3, napon savijanja u tački q

$$\sigma_{3q}^b(a) = C \frac{6M_q}{\pi D_Z e_Z^2} \text{ (MPa)}$$

Dodatni napon savijanja usled pritiska proračunava se prema:

$$\sigma_1^b(p) = \sigma_2^b(p) = \frac{(p + p_H) D_B}{4 e_B} \left(\frac{\gamma}{\gamma_a} \alpha - 1 \right) \text{ (MPa)}$$

gde je α – faktor pojačanja napona.

Faktor pojačanja napona proračunava se prema:

- plitko dance

$$1. \text{ za } \frac{e_B}{D_B} > 0,008 \text{ važi}$$

$$\alpha = 9,3341 - 2,2877 \cdot \gamma + 0,33714 \cdot \gamma^2$$

$$2. \text{ za } \frac{e_B}{D_B} < 0,008 \text{ važi}$$

$$\alpha = 6,37181 \cdot 2,71828^{-16,1 \cdot \gamma} + 3,6366 \cdot 2,71828^{-1,61536}$$

gde je γ proračunska međuvrednost koja se određuje prema:

$$\gamma = 125 \frac{e_B}{D_B}$$

Ukupni napon u presecima 1-1, 2-2 i 3-3

Ukupni napon u preseku 1-1, u tački p , na unutrašnjoj površini i , i na spoljašnjoj površini o :

$$\sigma_{1pi}^{tot} = \sigma_{1p}^m - \sigma_{1p}^b(a) + \sigma_1^b(p) \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{1po}^{tot} = \sigma_{1p}^m - \sigma_{1p}^b(a) - \sigma_1^b(p) \text{ (MPa)}$$

Ukupni napon u preseku 1-1, u tački q , na unutrašnjoj površini i , i na spoljašnjoj površini o :

$$\sigma_{1qi}^{tot} = \sigma_{1q}^m - \sigma_{1q}^b(a) + \sigma_1^b(p) \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{1qo}^{tot} = \sigma_{1q}^m - \sigma_{1q}^b(a) - \sigma_1^b(p) \text{ (MPa)}$$

Ukupni napon u preseku 2-2, u tački p , na unutrašnjoj površini i , i na spoljašnjoj površini o :

$$\sigma_{2pi}^{tot} = \sigma_{2p}^m - \sigma_{2p}^b(a) + \sigma_2^b(p) \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{2po}^{tot} = \sigma_{2p}^m - \sigma_{2p}^b(a) - \sigma_2^b(p) \text{ (MPa)}$$

Ukupni napon u preseku 2-2, u tački q , na unutrašnjoj površini i , i na spoljašnjoj površini o :

$$\sigma_{2qi}^{tot} = \sigma_{2q}^m - \sigma_{2q}^b(a) + \sigma_2^b(p) \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{2qo}^{tot} = \sigma_{2q}^m - \sigma_{2q}^b(a) - \sigma_2^b(p) \text{ (MPa)}$$

Ukupni napon u preseku 3-3, u tački p , na unutrašnjoj površini i , i na spoljašnjoj površini o :

$$\sigma_{3pi}^{tot} = \sigma_{3p}^m - \sigma_{3p}^b(a) \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{3po}^{tot} = \sigma_{3p}^m + \sigma_{3p}^b(a) \text{ (MPa)}$$

Ukupni napon u preseku 3-3, u tački q , na unutrašnjoj površini i , i na spoljašnjoj površini o :

$$\sigma_{3qi}^{tot} = \sigma_{3q}^m - \sigma_{3q}^b(a) \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{3qo}^{tot} = \sigma_{3q}^m + \sigma_{3q}^b(a) \text{ (MPa)}$$

Uslov čvrstoće

Da bi bio zadovoljen uslov čvrstoće, apsolutne vrednosti ukupnih napona ne smeju biti veće od:

- presek 1-1

$$|\sigma_{1pi}^{tot}| \leq f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{1p}^m}{f} \right)^2 \right) \text{ (MPa)}$$

$$|\sigma_{1po}^{tot}| \leq f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{1p}^m}{f} \right)^2 \right) \text{ (MPa)}$$

$$|\sigma_{1qi}^{tot}| \leq f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{1q}^m}{f} \right)^2 \right) \text{ (MPa)}$$

$$|\sigma_{1qo}^{tot}| \leq f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{1q}^m}{f} \right)^2 \right) \text{ (MPa)}$$

- presek 2-2

$$|\sigma_{2pi}^{tot}| \leq f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{2p}^m}{f} \right)^2 \right) \text{ (MPa)}$$

$$|\sigma_{2po}^{tot}| \leq f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{2p}^m}{f} \right)^2 \right) \text{ (MPa)}$$

$$|\sigma_{2qi}^{tot}| \leq f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{2q}^m}{f} \right)^2 \right) \text{ (MPa)}$$

$$|\sigma_{2qo}^{tot}| \leq f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{2q}^m}{f} \right)^2 \right) \text{ (MPa)}$$

- presek 3-3

$$|\sigma_{3pi}^{tot}| \leq f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{3p}^m}{f} \right)^2 \right) \text{ (MPa)}$$

$$|\sigma_{3po}^{tot}| \leq f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{3p}^m}{f} \right)^2 \right) \text{ (MPa)}$$

$$|\sigma_{3qi}^{tot}| \leq f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{3q}^m}{f} \right)^2 \right) \text{ (MPa)}$$

$$|\sigma_{3qo}^{tot}| \leq f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{3q}^m}{f} \right)^2 \right) \text{ (MPa)}$$

gde je f_s proračunski napon u svakom delu.

Vrednosti dobijenih ukupnih i dopuštenih napona u posmatranim presecima prikazani su u Tab. 1.

- presek 1-1

Maksimalna vrednost ukupnog napona u preseku 1-1, u tački p , na unutrašnjoj površini i , iznosi $|\sigma_{1qi}^{tot}| = 179,243$ MPa, što je 15% od vrednosti najvećeg dozvoljenog ukupnog napona u preseku 1-1, u tački p , $\sigma_{1q}^d = 425,266$ MPa.

Maksimalna vrednost ukupnog napona u preseku 1-1, u tački q , na spoljašnjoj površini o , iznosi $|\sigma_{1qo}^{tot}| = 179,243$ MPa, što je 42% od vrednosti najvećeg dozvoljenog ukupnog napona u preseku 1-1, u tački q , $\sigma_{2p}^d = 425,67$ MPa.

- presek 2-2

Maksimalna vrednost ukupnog napona u preseku 2-2, u tački p , na spoljašnjoj površini o , iznosi $|\sigma_{3po}^{tot}| = 9,946$ MPa, što je 4,6% od vrednosti najvećeg dozvoljenog ukupnog napona u preseku 2-2, u tački p , $\sigma_{3p}^d = 587,475$ MPa.

Maksimalna vrednost ukupnog napona u preseku 2-2, u tački q , na spoljašnjoj površini o , iznosi $|\sigma_{3qo}^{tot}| = 45,893$ MPa, što je 30% od vrednosti najvećeg dozvoljenog ukupnog napona u preseku 2-2, u tački q , $\sigma_{3q}^d = 586,984$ MPa.

- presek 3-3

Maksimalna vrednost ukupnog napona u preseku 3-3, u tački p , na spoljašnjoj površini o , iznosi $|\sigma_{3po}^{tot}| = 9,946$ MPa, što je 1,7% od vrednosti najvećeg dozvoljenog ukupnog napona u preseku 3-3, u tački p , $\sigma_{3p}^d = 587,475$ MPa.

Maksimalna vrednost ukupnog napona u preseku 3-3, u tački q , na spoljašnjoj površini o , iznosi $|\sigma_{3qo}^{tot}| = 45,893$ MPa, što je 7,8% od vrednosti najvećeg dozvoljenog ukupnog napona u preseku 3-3, u tački q , $\sigma_{3q}^d = 586,984$ MPa.

Na osnovu uporednih vrednosti maksimalnih ukupnih i dopuštenih napona, vidi se da je uslov čvrstoće zadovoljen.

Tabela 1. Rezultat proračuna.

	$p = 0$	p	
Vertikalna sila F_{Zp} , $F_{Zp} = -F_1 - F_G - F_F + 4 \frac{M_1}{D_Z}$	-518,09		kN
Vertikalna sila F_{Zq} , $F_{Zq} = -F_1 - F_G - F_F - 4 \frac{M_1}{D_Z}$	-2390,63		kN
Ugao dodira oslonca i danca, $\gamma = \arccos \left[1 - \frac{D_B + e_B - D_Z + e_Z}{2(r + e_B)} \right] \leq \gamma_a$	17,31		°
Ugao torusnog dela ispušćenog danca γ_a	45		°
Krak delovanja vertikalne sile, $a = \frac{1}{2} \sqrt{e_B^2 + e_Z^2 + 2e_B e_Z \cos \gamma}$	14,55		mm
Moment od vertikalne sile F_{Zp} , $M_p = aF_{Zp}$	-7,539		kNm
Moment od vertikalne sile F_{Zq} , $M_q = aF_{Zq}$	-34,789		kNm
Membranski napon u preseku 1-1, u tački p , $\sigma_{1p}^m = \frac{F_{Zp} + \Delta F_G + F_F}{\pi D_B e_B} + \frac{p D_B}{4 e_B}$	3,014	7,061	MPa
Membranski napon u preseku 1-1, u tački q , $\sigma_{1q}^m = \frac{F_{Zq} + \Delta F_G + F_F}{\pi D_B e_B} + \frac{p D_B}{4 e_B}$	-16,553	-12,506	MPa
Membranski napon u preseku 2-2, u tački p , $\sigma_{2p}^m = \frac{\Delta F_G + F_F}{\pi D_B e_B} + \frac{p D_B}{4 e_B}$	8,428	12,475	MPa
Membranski napon u preseku 2-2, u tački q , $\sigma_{2q}^m = \frac{\Delta F_G + F_F}{\pi D_B e_B} + \frac{p D_B}{4 e_B}$	8,428	12,475	MPa
Membranski napon u preseku 3-3, u tački p , $\sigma_{3p}^m = \frac{F_{Zp}}{\pi D_Z e_Z}$	-2,67		MPa
Membranski napon u preseku 3-3, u tački q , $\sigma_{3q}^m = \frac{F_{Zq}}{\pi D_Z e_Z}$	-12,301		MPa
Najveći dozvoljeni membranski napon f	142		MPa
Korekcionni faktor, $C = 0,63 - 0,057 \left(\frac{e_B}{e_Z} \right)^2$	0,62		-
Napon savijanja u preseku 1-1, u tački p , $\sigma_{1p}^b(a) = C \frac{6M_p}{\pi D_B e_B^2}$	-30,028		MPa
Napon savijanja u preseku 1-1, u tački q , $\sigma_{2q}^b(a) = C \frac{6M_q}{\pi D_B e_B^2}$	-138,559		MPa
Napon savijanja u preseku 2-2, u tački p , $\sigma_{2p}^b(a) = C \frac{6M_p}{\pi D_B e_B^2}$	-30,028		MPa
Napon savijanja u preseku 2-2, u tački q , $\sigma_{2q}^b(a) = C \frac{6M_q}{\pi D_B e_B^2}$	-138,559		MPa
Napon savijanja u preseku 3-3, u tački p , $\sigma_{3p}^b(a) = C \frac{6M_p}{\pi D_Z e_Z^2}$	-7,28		MPa
Napon savijanja u preseku 3-3, u tački q , $\sigma_{3q}^b(a) = C \frac{6M_q}{\pi D_Z e_Z^2}$	-33,593		MPa
Faktor pojačanja napona α , $\frac{e_B}{D_B} \leq 0,008$, $y = 125 \frac{e_B}{D_B}$ $\alpha = 6,37181 \cdot 2,71828^{-16,1y} + 3,6366 \cdot 2,71828^{-1,61536y} + 6,6736$	0,003 < 0,008 $y = 0,386$ $\alpha = 8,635$		-
Dodatni napon, $\sigma_1^b(p) = \sigma_2^b(p) = \frac{(p + p_H) D_B}{4 e_B} \left(\frac{\gamma}{\gamma_a} \alpha - 1 \right)$	18,786	28,178	MPa
Ukupni napon u preseku 1-1, u tački p , na unutrašnjoj površini i , $\sigma_{1pi}^{tot} = \sigma_{1p}^m - \sigma_{1p}^b(a) + \sigma_1^b(p) \leq \sigma_{1p}^d$	51,828	65,268	MPa
Ukupni napon u preseku 1-1, u tački p , na spoljašnjoj površini o , $\sigma_{1po}^{tot} = \sigma_{1p}^m - \sigma_{1p}^b(a) - \sigma_1^b(p) \leq \sigma_{1p}^d$	-45,799	-51,145	MPa

Najveći dozvoljeni ukupni napon u preseku 1-1, u tački p , $\sigma_{1p}^d = f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{1p}^m}{f} \right)^2 \right)$	425,957	425,766	MPa
Ukupni napon u preseku 1-1, u tačku q , na unutrašnjoj površini i , $\sigma_{1qi}^{tot} = \sigma_{1q}^m - \sigma_{1q}^b(a) - \sigma_1^b(p) \leq \sigma_{1q}^d$	140,791	154,23	MPa
Ukupni napon u preseku 1-1, u tačku q , na spoljašnjoj površini o , $\sigma_{1qo}^{tot} = \sigma_{1q}^m - \sigma_{1q}^b(a) - \sigma_1^b(p) \leq \sigma_{1q}^d$	-173,897	-179,243	MPa
Najveći dozvoljeni ukupni napon u preseku 1-1, u tački q , $\sigma_{2p}^d = f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{2p}^m}{f} \right)^2 \right)$	425,714	425,266	MPa
Ukupni napon u preseku 2-2, u tački p , na unutrašnjoj površini i , $\sigma_{3pi}^{tot} = \sigma_{3p}^m - \sigma_{3p}^b(a) \leq \sigma_{2p}^d$	-2,814	10,625	MPa
Ukupni napon u preseku 2-2, u tački p , na spoljašnjoj površini o , $\sigma_{2po}^{tot} = \sigma_{2p}^m - \sigma_{2p}^b(a) - \sigma_2^b(p) \leq \sigma_{2p}^d$	19,671	14,325	MPa
Najveći dozvoljeni ukupni napon u preseku 2-2, u tački p , $\sigma_{2q}^d = f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{2q}^m}{f} \right)^2 \right)$	425,67	425,269	MPa
Ukupni napon u preseku 2-2, u tački q , na unutrašnjoj površini i , $\sigma_{2qi}^{tot} = \sigma_{2q}^m - \sigma_{2q}^b(a) - \sigma_2^b(p) \leq \sigma_{2q}^d$	-111,345	-97,905	MPa
Ukupni napon u preseku 2-2, u tački q , na spoljašnjoj površini o , $\sigma_{2qo}^{tot} = \sigma_{2q}^m - \sigma_{2q}^b(a) - \sigma_2^b(p) \leq \sigma_{2q}^d$	-128,201	122,855	MPa
Najveći dozvoljeni ukupni napon u preseku 2-2, u tački q , $\sigma_{2q}^d = f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{2q}^m}{f} \right)^2 \right)$	425,67	425,629	MPa
Ukupni napon u preseku 3-3, u tački p , na unutrašnjoj površini i , $\sigma_{3pi}^{tot} = \sigma_{3p}^m - \sigma_{3p}^b(a) \leq \sigma_{3p}^d$	4,614		MPa
Ukupni napon u preseku 3-3, u tački p , na spoljašnjoj površini o , $\sigma_{3po}^{tot} = \sigma_{3p}^m + \sigma_{3p}^b(a) \leq \sigma_{3p}^d$	-9,946		MPa
Najveći dozvoljeni ukupni napon u preseku 3-3, u tački p , $\sigma_{3p}^d = f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{3p}^m}{f_z} \right)^2 \right)$	587,475		MPa
Ukupni napon u preseku 3-3, u tački q , na unutrašnjoj površini i , $\sigma_{3qi}^{tot} = \sigma_{3q}^m - \sigma_{3p}^b(a) \leq \sigma_{3q}^d$	21,292		MPa
Ukupni napon u preseku 3-3, u tački q , na spoljašnjoj površini o , $\sigma_{3qo}^{tot} = \sigma_{3q}^m - \sigma_{3p}^b(a) \leq \sigma_{3q}^d$	-45,893		MPa
Najveći dozvoljeni ukupni napon u preseku 3-3, u tački q , $\sigma_{3q}^d = f_s \left(3 - \frac{1}{1,5} \left(\frac{\sigma_{3q}^m}{f_z} \right)^2 \right)$	586,984		MPa

ZAKLJUČAK

Prilikom proračuna lokalnih napona u ispupčenom dancu vertikalne posude pod pritiskom usled opterećenja osloncem, prema EN 13445-3:2014, korišćene su matematičke relacije u koje su zamenjene poznate vrednosti. Vrednosti lokalnih napona se dobijaju direktnim izračunavanjem. Potrebno je izvršiti proračun za radno stanje pogona posude, stanje bez pritiska bez punjenja, kao i montažno stanje.

U Tabeli 1 su prikazane proračunate vrednosti membranskih napona, napona savijanja, ukupnih i dopuštenih napona. Kao što se može videti, vrednosti ukupnih napona su znatno niže od vrednosti dopuštenih napona u analiziranim presecima 1-1, 2-2 i 3-3.

LITERATURA

1. SRPS EN 13445-3:2014 - Posude pod pritiskom koje nisu izložene plamenu: proračun i konstruisanje.
2. SRPS EN 13445-2:2014 - Materijali za posude pod pritiskom koje nisu izložene plamenu.
3. SRPS EN 10028-7:2007 - Pljosnati proizvodi od čelika za opremu pod pritiskom - Deo 7: Nerđajući čelici.
4. SRPS EN 10025-2:2005 - Toplovaljani proizvodi od konstrukcionih čelika - Deo 2: Tehnički zahtevi za isporuku nelegiranih konstrukcionih čelika.
5. Jawad, M.H., Farr, J.R., Structural Analysis & Design of Process Equipment, Wiley-Interscience, USA, 1988.