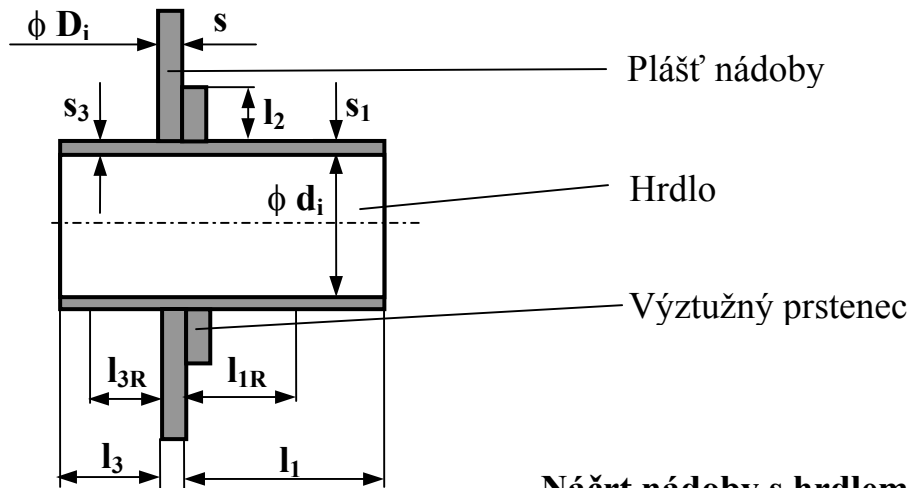


## Příklad ZSPZ

### Vyztužení otvoru v plášti válcové nádoby zatížené vnějším přetlakem

(podle ČSN 690010, část. 4.12)



#### Zadané hodnoty:

Vnější průměr nádoby	$D_e = 1500 \text{ mm}$
Vnitřní průměr nádoby	$D_i = 1486 \text{ mm}$
Tloušťka stěny nádoby provedená	$s = 7 \text{ mm}$
Tloušťka stěny nádoby výpočtová	$s_R = 5,25 \text{ mm}$
Součet přídavků na korozi atp.	$c = 1 \text{ mm}$
Vnější průměr hrdla	$d_e = 630 \text{ mm}$
Vnitřní průměr hrdla	$d_i = 620 \text{ mm}$
Tloušťka stěny hrdla	$s_1 = s_3 = 5 \text{ mm}$
Součet přídavků na korozi atp.	$c_s = 1 \text{ mm}$
Dovolené namáhání materiálu nádoby	$[\sigma_D] = 140 \text{ MPa}$
Dovolené namáhání materiálu hrdla	$[\sigma_{D1}] = 140 \text{ MPa}$
Délka venkovní části hrdla	$l_1 = 300 \text{ mm}$
Délka vnitřní části hrdla	$l_2 = 0 \text{ mm}$

## Výpočet vyztužení

Pro válcovou část se uvažuje výpočtový průměr  $D_R = D_i = 1486$  mm. Výpočtový průměr otvoru ve stěně skořepiny, jehož osa je totožná s normálou k povrchu je

$$d_R = d_i + 2 * c_s = 620 + 2 * 1 = 622 \text{ mm}$$

Svar skořepiny je vzdálený více jak  $3 * s = 3 * 7 = 21$  mm od hrdla, t.zn. že můžeme uvažovat součinitel svaru pláště  $\varphi = 1$ . Rovina procházející svarem skružovaného hrdla a osou hrdla svírá s rovinou proloženou osou válcové nádoby úhel cca  $90^\circ$ , který je větší jak  $60^\circ$ . Proto můžeme uvažovat součinitel svaru hrdla  $\varphi_1 = 1$ .

Výpočtová tloušťka stěny válcové nádoby zatížené vnějším přetlakem byla určena v příslušném příkladu. Bylo určeno  $s_R = 5,25$  mm (viz zadání).

Výpočtová tloušťka stěny hrdla zatíženého vnitřním či vnějším přetlakem

$$s_{1R} = \frac{p * (d_i + 2 * c_s)}{2 * [\sigma_{D1}] * \varphi_1 - p} = \frac{0,1 * (620 + 2 * 1)}{2 * 140 * 1 - 0,1} = 2,22 \text{ mm}$$

Potřebná tloušťka  $s_1 = s_{1R} + c_s = 2,22 + 1 = 3,22$  mm. Provedená tloušťka  $s_1 = 5$  mm vyhovuje.

Výpočtové délky hrdel (uvažováno pro méně příznivý případ průlezu kdy  $l_3 = 0$ , pro vstupní hrdlo je  $l_3 = 500$  mm).

$$l_{1R} = \text{Min}\{l_1; 1,25 * \sqrt{(d + 2 * c_s) * (s_1 - c_s)}\}$$

$$l_{1R} = \text{Min}\{300; 1,25 * \sqrt{(620 + 2 * 1) * (5 - 1)} = 62,3\}$$

$$l_{1R} = 62,3 \text{ mm}$$

$$l_{3R} = \text{Min}\{l_3; 0,5 * \sqrt{(d + 2 * c_s) * (s_3 - c_s - c_{s1})}\}$$

$$l_{3R} = \text{Min}\{0; 0,5 * \sqrt{(620 + 2 * 1) * (5 - 1 - 1)} = 21,6\}$$

$$l_{3R} = 0 \text{ mm}$$

(u vnitřní části hrdla se uvažuje koroze z vnitřní i vnější strany → c se odečítá se 2x)

$$l_{2R} = 0 \text{ mm}$$

(není instalován žádný výztužný prstenec)

Výpočtová šířka oblasti vyztužení pro skořepiny

$$L_0 = \sqrt{D_R * (s - c)} = \sqrt{1486 * (7 - 1)} = 94,4 \text{ mm}$$

Protože v místě připojení hrdla není vyhrdlení, uvažuje se výpočtová šířka  $l_R = L_0 = 94,4 \text{ mm}$ .

Poměry dovolených namáhání

Protože je plášť nádoby, vnější i vnitřní část hrdla ev. výztužný límeček ze stejného materiálu a uvažujeme i stejnou výpočtovou teplotu bude  $\sigma_{D1} = \sigma_{D2} = \sigma_{D3} = \sigma_D = 140 \text{ MPa}$ . Potom budou poměry dovolených namáhání pro:

$$\text{vnější část hrdla} \quad \kappa_1 = \text{Min}\left\{1; \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_D}\right\} = 1$$

vnitřní část hrdla  $\kappa_3 = \text{Min} \left\{ 1; \frac{\sigma_{D3}}{\sigma_D} \right\} = 1$

výztužný límec  $\kappa_2 = \text{Min} \left\{ 1; \frac{\sigma_{D2}}{\sigma_D} \right\} = 1$

Pomocný výpočtový průměr

$$d_{0R} = 0,4 * \sqrt{D_R * (s - c)} = 0,4 * \sqrt{1486 * (7 - 1)} = 37,8 \text{ mm}$$

Výpočtový průměr osamocenému otvoru, který nepotřebuje vyztužení

$$d_0 = 2 * \left( \frac{s - c}{s_R} - 0,8 \right) * \sqrt{D_R * (s - c)}$$

$$d_0 = 2 * \left( \frac{7 - 1}{5,25} - 0,8 \right) * \sqrt{1486 * (7 - 1)} = 65 \text{ mm}$$

Jestliže je výpočtový průměr osamocenému otvoru  $d_R \leq d_0$ , není zapotřebí otvor kontrolovat na vyztužení.

$$d_R = 622 > d_0 = 65$$

**Je nutno provést kontrolu na vyztužení trubkovou výztuhou, t.zn. přivařeným hrdlem.**

Vyztužení otvorů v tlakové nádobě zatížené vnějším přetlakem

Dovolený vnější přetlak

$$[p] = \frac{[p]_P}{\sqrt{1 + \left( \frac{[p]_P}{[p]_E} \right)^2}}$$

kde  $[p]_P$  je dovolený vnější přetlak v plastickém oboru a  $[p]_E$  je dovolený vnější přetlak v elastickém oboru. Určí se pomocí následujících vztahů:

$$[p]_P = \frac{2 * K_1 * (s - c) * \varphi * [\sigma_D]}{D_R + (s - c) * v} * v$$

Pro válcové a kuželové luby je  $K_1 = 1$ .

Součinitel zeslabení se určí ze vztahu

$$v = \text{Min} \left\{ v_1 = 1; v_2 = \frac{1 + \frac{l_{1R}(s_1 - c_s)K_1 + l_{2R}s_2K_2 + l_{3R}(s_3 - c_s - c_{s1})K_3}{l_R * (s - c)}}{1 + 0,5 \frac{d_R - d_{0R}}{l_R} + K_1 \frac{d + 2c_s \varphi l_{1R}}{D_R \varphi l_R}} \right\}$$

$$v_2 = \frac{1 + \frac{62,3 * (5 - 1) * 1 + 0 + 0}{94,4 * (7 - 1)}}{1 + 0,5 \frac{622 - 37,8}{94,4} + 1 * \frac{620 + 2 * 1 * 1 * \frac{63,2}{94,4}}{1486}} = 0,329$$

$$v = \text{Min} \{1; 0,329\} = 0,329$$

$$[p]_P = \frac{2 * 1 * (7 - 1) * 1 * 140}{1486 + (7 - 1) * 0,329} * 0,329 = 0,371 \text{ MPa}$$

$[p]_E$  je dovolený vnější přetlak v elastické oblasti určený podle části 4.5, pro odpovídající válcovou část bez otvoru. V příkladu výpočtu válcové skořepiny

bylo určeno  $[p]_E = 0,137 \text{ MPa}$ . Potom je maximální dovolený vnější přetlak působící na nádobu s otvorem vyztuženým trubkovou výztuhou hrdla

$$[p] = \frac{0,371}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,371}{0,137}\right)^2}} = 0,129 \text{ MPa} = 129 \text{ kPa} \geq 100 \text{ kPa}$$

Takto vyztužený otvor vyhovuje, takže není nutné dělat výztužný límec.

## Výpočet vyztužení podle staré normy ČSN 690010

Rozsah platnosti vztahů (počítá se s vnějšími průměry !)

Pro válec musí být  $d_e / D_e = 630 / 1500 = 0,42 < 1$  .... vyhovuje

Stanovení největšího rozměru nevyztuženého otvoru

a) Zjednodušený případ – řešeno jako vnitřní přetlak

Stanovení součinitele zeslabení

$$v_A = \frac{D' * p}{2 * \sigma_D * (s - c)} = \frac{1500 * 0,100}{2 * 140 * (7 - 1)} = 0,0893$$

Pro válec je  $D' = D = D_e$ . Z diagramu 15 určíme pro  $(s_1 - c) / s - c = 0$  a vypočtenou hodnotu  $v_A = 0,0893$  hodnotu

$$\frac{d_{\max}}{\sqrt{D' * (s_v - c)}} = 7,1 \quad \text{z ní určíme max. průměr nevyztuženého otvoru}$$

$$d_{\max} = 7,1 * \sqrt{D' * (s_v - c)} = 7,1 * \sqrt{1500 * (7 - 1)} = 673 \text{ mm}$$

V tomto případě by nebylo třeba otvor vyztužovat.

### b) Přesnější případ – řešeno jako vnitřní přetlak s modifikovaným tlakem

Použijí se vztahy pro vnitřní přetlak, avšak za vnitřní tlak se dosadí hodnota  $p * \beta$ . Při výpočtu válcové části vyšlo  $\beta = 4,8$ . Potom bude hodnota modifikovaného tlaku  $p_{\text{mod}} = 100 * 4,8 = 480 \text{ kPa} = 0,48 \text{ MPa}$ . Další výpočet je stejný jako v předchozím

Stanovení součinitele zeslabení

$$v_A = \frac{D' * p * \beta}{2 * \sigma_D * (s - c)} = \frac{1500 * 0,100 * 4,8}{2 * 140 * (7 - 1)} = 0,428$$

Pro válec je  $D' = D = D_e$ . Z diagramu 15 určíme pro  $(s_1 - c) / (s - c) = 0$  a vypočtenou hodnotu  $v_A = 0,428$  hodnotu

$$\frac{d_{\max}}{\sqrt{D' * (s_v - c)}} = 2,2 \quad \text{z ní určíme max. průměr nevyztuženého otvoru}$$

$$d_{\max} = 2,2 * \sqrt{D' * (s_v - c)} = 2,2 * \sqrt{1500 * (7 - 1)} = 209 \text{ mm}$$

V tomto případě je nutno otvor vyztužit.

c) Přesnější případ – řešeno jako vnitřní přetlak s modifikovaným tlakem

V novější verzi této normy se uvádí, že pro případ vnějšího přetlaku je problém obtížně řešitelný a že se doporučuje použít vztahy pro vnitřní přetlak, ve kterých se za výpočtový tlak dosadí hodnota

$$p = \frac{2 * s_0 * \sigma_D}{D'} = \frac{2 * 5,25 * 140}{1500} = 0,98 MPa$$

Stanovení součinitele zeslabení

$$v_A = \frac{D' * p}{2 * \sigma_D * (s - c)} = \frac{1500 * 0,98}{2 * 140 * (7 - 1)} = 0,875$$

Pro válec je  $D' = D = D_e$ . Z diagramu 15 určíme pro  $(s_1 - c) / (s - c) = 0$  a vypočtenou hodnotu  $v_A = 0,875$  hodnotu

$$\frac{d_{\max}}{\sqrt{D' * (s_v - c)}} = 0,25 \quad \text{z ní určíme max. průměr nevyztuženého otvoru}$$

$$d_{\max} = 0,25 * \sqrt{D' * (s_v - c)} = 0,25 * \sqrt{1500 * (7 - 1)} = 23,7 mm$$

Protože je průměr otvoru 630 mm je nutno jej vyztužit. Uvažujeme jednostrannou trubkovou výztuhu. Určíme hodnotu

$$\frac{d}{\sqrt{D' * (s_v - c)}} = \frac{630}{\sqrt{1500 * (7 - 1)}} = 6,32$$

Z diagramu 15 určíme pro tuto hodnotu 6,32 a hodnotu  $v_A = 0,875$  poměr  $(s_1 - c) / (s_v - c) = 2,33$ . Z něj určíme potřebnou tloušťku trubkové výztuhy



$$s_1 = 2,33 * (s_v - c) + c = 2,33 * (7 - 1) + 1 = 15,0 \text{ mm}$$

Provedená tloušťka trubky hrdla nevyhovuje. Hrdlo je nutno v místě připojení zesílit na cca 15 mm, ev. je nutno přivařit výztužný límec.

### Výpočet vyztužení otvoru trubkovou výztuhou a výztužným límcem

Určíme pomocné parametry

$$Z = 1,41 * \frac{d}{D'} * \sqrt{\frac{\sigma_D}{p}} = 1,41 * \frac{630}{1500} * \sqrt{\frac{140}{0,98}} = 7,08$$

$$U = 2 * \frac{s_1 - c}{D'} * \frac{\sigma_D}{p} = 2 * \frac{5 - 1}{1500} * \frac{140}{0,98} = 0,762$$

Z diagramu 16 určíme hodnotu  $v_A = 0,30$ . Potřebná tloušťka stěny nádoby v místě u otvoru (vč. ev. výztužného límce) je

$$s_v = \frac{D' * p}{2 * \sigma_D * v_A + p} + c = \frac{1500 * 0,98}{2 * 140 * 0,30 + 0,98} + 1 = 18,3 \text{ mm}$$

(x skutečná tloušťka  $s = 7 \text{ mm}$ )

Pozn.:

Z těchto výpočtů je zřejmá větší přesnost výpočtů novější ČSN 690010 a z toho lepší využití pevnosti materiálu (nižší předimenzování). PKZ navržené podle zjednodušeného výpočtu staré ČSN (bez výztužného límce resp. bez zesíleného hrdla), které by podle upřesněného výpočtu staré ČSN neměly vyhovovat pracují cca 10 až 19 let bez problémů. Kontrolní výpočet podle nové ČSN potvrdil správnost návrhu.