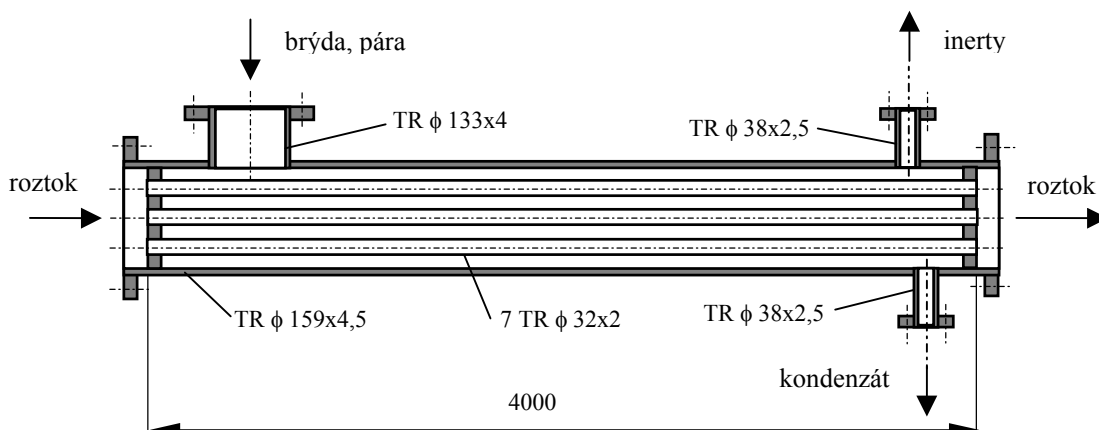


Pevnostní výpočet tlakové nádoby podle ČSN 690010

STV PK – kontrolní výpočet podle nové ČSN (původní výpočet byl proveden v 3/1987 podle staré ČSN)

Příklad na ZSVZ – P. Hoffman; 12/2000

Náčrt stavebnicového trubkového výměníku pára – kapalina



Pracovní podmínky tlakové nádoby:

Název tlakové nádoby: Stavebnicový trubkový výměník pára – kapalina L = 4 m

Číslo výkresu sestavení: 0-CZ-0359

Výrobce: Cukrovarnický průmysl, koncern, Praha

Tlakový prostor	parní	šťávní
Druh pracovní látky	syťá pára / brýda	cukerné roztoky
Výpočtový přetlak / podtlak (MPa)	0,4 / - 0,1	0,4
Nejvyšší pracovní přetlak / podtlak (MPa)	0,4 / - 0,1	0,4
Zkušební přetlak vodou (MPa)	0,5	0,5
o zkušební teplotě (°C)	20	20
Teplota pracovní látky nejvyšší (°C)	152	90
Teplota pracovní látky nejnižší (°C)	30	25
Přídavek na korozi (mm)	1	
Přídavek na výrobní tolerance (mm)	0,2	
Součinitel hodnoty svarových spojů	0,7	
Objem tlakového prostoru	48	18
Počer najíždění na pracovní přetlak a teplotu (cyklů)	5000	
Velikost, druh a výkon pojistného zařízení:	Jištěno v potrubí	
Popis nádoby	Výměník pro ohřev šťáv a sirobů vakuovými nebo tlakovými parami	

1. Válcový plášť DN 150 – vnitřní přetlak (pracovní tlak 0,4 MPa)

Tvořený bezešvou trubkou TR ϕ 159x4,5; vnitřní průměr $D = 150$ mm, délka $L \approx 4000$ mm, dovolené namáhání válcové skořepiny $[\sigma_D] = 130$ MPa, součinitel hodnoty svaru $\varphi_p = 1$. Přídavek na korozi a výr. tolerance $c = 1,2$ mm.

Podle části 4.5. čl. 3.1. je výpočtová tloušťka stěny pláště bez přídavků

$$s_R = \frac{p * D}{2 * [\sigma_D] - p} = \frac{0,4 * 150}{2 * 130 - 0,4} = 0,23 \text{ mm}$$

Provedená tloušťka stěny pláště

$$s \geq s_R + c = 0,23 + 1,2 = 1,43 \text{ mm}$$

Provedená tloušťka stěny je $s = 4,5$ mm vyhovuje

Kontrola pro zkušební přetlak se nemusí provádět pokud platí

$$p_Z \leq p * 1,35 * \frac{[\sigma_{D20}]}{[\sigma_D]}$$

$$0,5 \leq 0,4 * 1,35 * 135 / 130 = 0,54 \text{ MPa} \quad \text{..... vyhovuje}$$

2. Válcový plášť DN 150 – vnější přetlak (pracovní podtlak 0,1 MPa)

Jedná se o maximální teoretický pracovní podtlak v mezitrubkovém prostoru.

$$p = 0,1 \text{ MPa}; \quad t = 30 \text{ }^\circ\text{C}; \quad E = 2,1 * 10^5 \text{ MPa}; \quad [\sigma_D] = 130,8 \text{ MPa}$$

Podle čl. 3.2. je výpočtová tloušťka stěny pláště

$$s_R = \text{Max} \left\{ K_2 * D * 10^{-2}; \frac{1,1 * p * D}{2 * [\sigma_D]} \right\}$$

$$s \geq s_R + c$$

Pro $K_3 = L / D = 4000 / 150 = 26,7$

a $K_1 = (n_U * p) / (2,4 * 10^{-6} * E) = (2,4 * 0,1) / (2,4 * 10^{-6} * 2,1 * 10^5) = 0,48$

kde $n_U = 2,4$ souč. bezpečnosti proti ztrátě stability v mezích pružnosti (podle části 4.2)

určíme z diagramu 3: $K_2 = 0,81$

Potom bude

$$K_2 * D * 10^{-2} = 0,81 * 150 * 10^{-2} = 1,22 \text{ mm}$$

$$1,1 * p * D / 2 * [\sigma_D] = 1,1 * 0,1 * 150 / 2 * 130,8 = 0,063 \text{ mm}$$

$$s_R = \text{Max} \{1,22; 0,063\} = 1,22 \text{ mm}$$

$$s \geq 1,22 + 1,2 = 2,42 \text{ mm} \dots\dots \text{ provedená tloušťka } s = 4,5 \text{ mm vyhovuje}$$

Dovolený vnější přetlak se určí podle čl. 3.2.2.

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

kde dovolený přetlak v plastickém oboru je

$$[p_P] = \frac{2 * [\sigma_D] * (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 * 130,8 * (4,5 - 1,2)}{150 + (4,5 - 1,2)} = 5,63 \text{ MPa}$$

a dovolený přetlak v elastickém oboru je

$$[p_E] = \frac{20,8 * 10^{-6} * E}{n_U * B_1} * \frac{D}{L} * \left[\frac{100 * (s - c)}{D}\right]^2 * \sqrt{\frac{100 * (s - c)}{D}}$$

kde je

$n_U = 2,4$ souč. bezpečnosti proti ztrátě stability v mezích pružnosti pro provozní podmínky (část 4.2.)

$$B_1 = \text{Min} \left\{ 1,0; 9,45 * \frac{D}{L} * \sqrt{\frac{D}{100 * (s - c)}} \right\} = \text{Min} \left\{ 1,0; 9,45 * \frac{150}{4000} * \sqrt{\frac{150}{100 * (4,5 - 1,2)}} \right\}$$

$$B_1 = \{1,0; 0,24\} = 0,24$$

Potom bude

$$[p_E] = \frac{20,8 * 10^{-6} * 2,1 * 10^5}{2,4 * 0,24} * \frac{150}{4000} * \left[\frac{100 * (4,5 - 1,2)}{150}\right]^2 * \sqrt{\frac{100 * (4,5 - 1,2)}{150}} = 2,04 \text{ MPa}$$

Maximální dovolený vnější přetlak je

$$[p] = \frac{[5,63]}{\sqrt{1 + \left(\frac{[5,63]}{[2,04]}\right)^2}} = 1,92 \text{ MPa} > p_{\text{provozní}} = 0,1 \text{ MPa}$$

Z hlediska vnějšího přetlaku plášť výměníku vyhovuje.

Kontrola dovoleného vnějšího přetlaku podle zjednodušeného vztahu a použitím diagramu

$$[p] = 2,4 * \frac{K_1 * 10^{-6} * E}{n_U} \quad \text{kde pro parametry}$$

$$K_2 = \frac{100 * (s - c)}{D} = \frac{100 * (4,5 - 1,2)}{150} = 2,2$$

$$K_3 = \frac{L}{D} = \frac{4000}{150} = 26,7$$

určíme z diagramu 3 $K_1 = 9,9$. Tato hodnota leží nad čerchovanou čarou

$$\frac{10^3 * [\sigma_D]}{E} = \frac{10^3 * 130,8}{2,1 * 10^5} = 0,62$$

a proto lze použít výše uvedený zjednodušený vztah. Potom je

$$[p] = 2,4 * \frac{9,9 * 10^{-6} * 2,1 * 10^5}{2,4} = 2,08 \text{MPa} > p_{\text{provozní}} = 0,1 \text{MPa}$$

3. Kontrola vyztužení otvorů

V plášti TR ϕ 159x4,5 je hrdlo přívodu páry DN 125 (TR ϕ 133x4). Výpočet je proveden podle části 4.12. Určíme výpočtový průměr osamoceného otvoru, který nevyžaduje vyztužení ani provedení pevnostní kontroly vyztužování.

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

$s = 4,5 \text{ mm}$

$c = 1,2 \text{ mm}$

$D_R = D = 150 \text{ mm}$

$s_R =$

provedená tloušťka stěny pláště

přídavky na korozi atp.

vnitřní průměr pláště

výpočtová tloušťka stěny pláště

a) Pro vnitřní přetlak jsme v kap.1 určili $s_R = 0,23 \text{ mm}$

Potom bude

$$d_0 = 2 * \left(\frac{4,5 - 1,2}{0,23} - 0,8 \right) * \sqrt{150 * (4,5 - 1,2)} = 603 \text{mm} \geq 133 \text{mm}$$

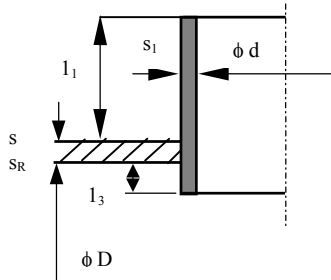
Otvor se z hlediska vnitřního přetlaku nemusí vyztužovat.

b) Pro vnější přetlak jsme v kap.2 určili $s_R = 1,22 \text{ mm}$

Potom bude

$$d_0 = 2 * \left(\frac{4,5 - 1,2}{1,22} - 0,8 \right) * \sqrt{150 * (4,5 - 1,2)} = 85 \text{ mm} < 133 \text{ mm}$$

Z hlediska vnějšího přetlaku musíme provést kontrolu vyztužení otvoru trubkou hrdla DN 125.



Výpočtové délky, které se účastní vyztužení určíme ze vztahů:

$l_3 = l_{3R} = 0$ hrdlo je zároveň s vnitřním pláštěm

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

kde $c_s = 1,2 \text{ mm}$ přídatky na korozi atp.

$l_1 = 150 \text{ mm}$ délka hrdla

$$l_{1R} = \text{Min} \left\{ 150; 1,25 * \sqrt{(150 + 2 * 1,2) * (4,5 - 1,2)} \right\} = \text{Min} \{ 150; 22,4 \} = 22,4 \text{ mm}$$

$l_{2R} = 0$ hrdlo nemá vyztužný prstenec ani vyhrdlení

Dovolený vnější přetlak je

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

Kde dovolený vnější přetlak v plastickém oboru je

$$[p_P] = \frac{2 * K_1 * (s - c) * \varphi * [\sigma_D]}{D_R + (s - c) * v} \quad \text{pro válec je } K_1 = 1 \text{ a souč. zeslabení je}$$

$$v = \text{Min} \left\{ 1; \frac{l_{1R} * (s_1 - c_s) * \kappa_1 + l_{2R} * s_2 * \kappa_2 + l_{3R} * (s_3 - c_s - c_{s1}) * \kappa_3}{l_R * (s - c)} \right\}$$

$$\left[1 + 0,5 * \frac{d_R - d_{0R}}{l_R} + K_1 * \frac{d + 2 * c_s * \varphi * l_{1R}}{D_R * \varphi_1 * l_R} \right]$$

a dále platí že $d_{0R} = 0,4 * \sqrt{D_R * (s - c)}$; $\varphi = 1$ (bezešvá trubka);

provedená šířka vyhrdlení nebo vyztužného prstence $l = 0$ (není vyhrdlení ani vyztužný prstenec)

$$\kappa_1 = \text{Min} \left\{ l; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} \quad \kappa_2 = \text{Min} \left\{ l; \frac{[\sigma]_2}{[\sigma]} \right\} \quad \kappa_3 = \text{Min} \left\{ l; \frac{[\sigma]_3}{[\sigma]} \right\}$$

Pokud předpokládáme, že je hrdlo i plášť ze stejného materiálu a mají stejnou provozní teplotu, budou stejné i hodnoty dovolených napětí vnější části hrdla $[\sigma]_1$, výztužného límce $[\sigma]_2$ a vnitřní části hrdla $[\sigma]_3$. Potom budou součinitele $\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa_3 = 0$ a následně součinitel zeslabení $v = 1$.

Pozn.: V ČSN 690010 části 4.12 je uvedena řada vztahů potřebných pro určení součinitele zeslabení v (v závislosti na konstrukčním řešení hrdla. Jak je zřejmé ze vztahu na předchozí straně, ovlivňuje souč. zeslabení hodnotu dovoleného přetlaku $[p]_p$ jen málo. Protože ve vztahu pro určení souč. zeslabení se bere minimum z vypočtené hodnoty a 1, musí být tato hodnota ≤ 1 . Pokud zvolíme 1 jsme vždy na straně bezpečnosti (pro $v < 1$ vychází dovolený vnější přetlak vyšší než pro $v = 1$). Např. pro náš případ vychází pro $v = 0$ dovolený vnější přetlak $[p]_p = 5,72$ MPa.

Pro kruhová hrdla kolmá na stěnu pláště je výpočtový průměr hrdla

$$d_R = d + 2 \cdot c_s = 150 + 2 \cdot 1,2 = 152,4 \text{ mm}$$

Potom je dovolený vnější přetlak v plastické oblasti

$$[p]_p = \frac{2 \cdot 1 \cdot (4,5 - 1,2) \cdot 1 \cdot 130}{150 + (4,5 - 1,2) \cdot 1} = 5,60 \text{ MPa}$$

Povolený vnější přetlak v elastické oblasti byl určen v kap.2 $[p]_E = 2,04$ MPa

Potom je povolený vnější přetlak na hrdlo DN 125 vyztužené trubkou hrdla

$$[p] = \frac{[p]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_p}{[p]_E}\right)^2}} = \frac{5,60}{\sqrt{1 + \left(\frac{5,60}{2,04}\right)^2}} = 1,92 \text{ MPa} > \text{provozní přetlak } 0,1 \text{ MPa}$$

Vyztužení hrdla trubkou (trubková výztuha) vyhovuje i na vnější přetlak.

4. Trubkovnice vevařená do pláště

Výpočet je proveden podle části 4.13.

Nejprve určíme podle čl. 3.1. geometrické charakteristiky trubkovnice. Trubky jsou umístěné do rovnostranného trojúhelníku čemuž odpovídá součinitel rozložení trubek $\Theta = 1,15$.

$s_T = 2 \text{ mm}$	tloušťka stěny trubek	$D_K = 150 \text{ mm}$	vnitřní ϕ pláště
$d_T = 32 \text{ mm}$	vnější průměr trubek	$s_K = 4,5 \text{ mm}$	tl. stěny pláště
$n = 7$	počet trubek	$d_0 = 32,6 \text{ mm}$	ϕ otvoru pro trubku
$t = 47 \text{ mm}$	rozteč trubek	$s_P = 20 \text{ mm}$	provedená tl. trubkovnice

$[\sigma]_T = 137,3 \text{ MPa}$ dovolené namáhání trubek

$[\sigma]_P = 111,3 \text{ MPa}$ dovolené namáhání trubkovnice

Výpočtový průměr otrubkované plochy se určí podle čl.3.1.2.

$$D_R = 2 * t * \sqrt{\frac{n_R}{\pi * \Theta}} = 2 * 45 * \sqrt{\frac{7}{\pi * 1,15}} = 125,3 \text{ mm}$$

Šířka neotrubkovaného okraje

$$b = \frac{D_H - D_R}{2} = \frac{150 - 125,3}{2} = 12,4 \text{ mm} \quad \text{kde } D_H = D_K$$

Bezrozměrná šířka neotrubkovaného okraje je

$$\lambda_B = \frac{2 * b}{D_R} = \frac{2 * 12,4}{125,3} = 0,197$$

Výpočtová rozteč trubek

$$t_R = t \sqrt{\frac{n_R}{n * \Theta}} = 45 * \sqrt{\frac{7}{7 * 1,15}} = 42,0 \text{ mm}$$

Pro jednochodý výměník je výpočtový počet trubek $n_R = n$

Součinitele vlivu přetlaku na trubkovnici

$$\eta_1 = 1 - \frac{\pi}{4} * \left(\frac{d_T}{t_R} \right)^2 = 1 - \frac{\pi}{4} * \left(\frac{32}{42,0} \right)^2 = 0,544$$

$$\eta_2 = 1 - \frac{\pi}{4} * \left(\frac{d_T - 2 * s_T}{t_R} \right)^2 = 1 - \frac{\pi}{4} * \left(\frac{32 - 2 * 2}{42,0} \right)^2 = 0,651$$

Pevnostní charakteristiky se určí podle čl.3.2. Pro vevařenou trubkovnici je síla od šroubů $F_B = 0$. Výpočet provedeme pro přetlak v mezitrubkovém prostoru $p_1 = 0,4$ MPa a tlak v trubkovém prostoru $p_2 = 0$ (nepříznivý případ, že v trubkách nebude roztok a v mezitrubkovém prostoru bude pára).

Efektivní přetlak $p_E = p_2 * \eta_2 - p_1 * \eta_1$ (při vakuu je příslušné znaménko p_1 či p_2 záporné).

Součinitel zeslabení trubkovnice (bez drážek pro přepážky)

$$\varphi_P = 1 - \frac{d_E}{t}$$

$$d_E = \text{Max} \left\{ d_0 - 2 * s_T * \frac{l_V + e + \sqrt{d_T * s_T}}{s_P} * \frac{[\sigma]_T}{[\sigma]_P}; d_T - 2 * s_T \right\}$$

$$l_V = 0$$

délka zaválcování

$$e \approx s_T = 2 \text{ mm}$$

délka svarového spoje trubky s trubkovnicí (podle obr. v ČSN)

Pro $[\sigma]_T / [\sigma]_P > 1$ se bere 1

$$d_E = \text{Max} \left\{ 32,6 - 2 * 2 * \frac{0 + 2 + \sqrt{32 * 2}}{20} * 1; 32 - 2 * 2 \right\} = \text{Max} \{30,6; 28\} = 30,6 \text{ mm}$$

$$\varphi_P = 1 - \frac{30,6}{45} = 0,235$$

Efektivní přetlak

$$p_E = 0 * 0,651 - 0,4 * 0,544 = -0,218 \text{ MPa}$$

Dovolené zatížení trubek namáhaných tahem podle čl.3.3.1.

$$[q^+] = \text{Min} \{ [q]_T; [q]_S \} \quad \text{kde}$$

$$[q]_T = \vartheta * \gamma * [\sigma]_T$$

$$\vartheta = \pi * \frac{(d_T - s_T) * (s_T - c_T)}{t_R^2} = \pi * \frac{(32 - 2) * (2 - 0,2)}{42^2} = 0,0306$$

$c_T = 0,2 \text{ mm}$ součet všech přídavek k výpočtové tloušťce trubky

$s_T = 2 \text{ mm}$ tloušťka stěny trubky

Pro výměník s pevnými trubkovnicemi platí

$$\gamma = 1 - \frac{(d_T - s_T) * |p_2 - p_1|}{2 * (s_T - c_T) * [\sigma]_T} = 1 - \frac{(32 - 2) * |0 - 0,4|}{2 * (2 - 0,2) * 137,3} = 0,976$$

$$[q]_T = 0,0306 * 0,976 * 137,3 = 4,100 \text{ MPa}$$

Pro přivařené trubky platí

$$[q]_{S2} = 0,7 * \pi * d_T * \frac{a * \text{Min} \{ [\sigma]_P; [\sigma]_T \}}{t_R^2}$$

kde $a = 2 \text{ mm}$.. rozměr svarového švu. Potom bude

$$[q]_{S2} = 0,7 * \pi * 32 * \frac{2 * \text{Min} \{ 111,3; 137,3 \}}{42^2} = 8,88 \text{ MPa}$$

$$[q^+] = \text{Min} \{ 4,100; 8,88 \} = 4,100 \text{ MPa}$$

Dovolené namáhání trubek namáhaných na vzpěr

$$[q^-] = \text{Min}\{[q]_T * \varphi_T; [q]_S\}$$

kde $[q]_T = 4,100 \text{ MPa}$ je určeno podle čl.3.3.1 pro $p_1 = 0$ (viz výše)

Součinitel vzpěrnosti

$$\varphi_T = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[0,81 * n_U * \frac{[\sigma]_T}{E_T} * \left(\frac{l_R}{d_T - s_T} \right)^2 \right]^2}}$$

Redukovaná délka trubky

$$l_R = \text{Min}\{0,5 * l_T; \text{Max}\{0,7 * l_1; l_2\}\}$$

kde $l_T = 4000 \text{ mm}$ celková délka trubky
 $l_1 = l_2 = 2000 \text{ mm}$ délka trubek mezi přepážkami a trubkovnicí
 (1 přepážka v mezitrubkovém prostoru)

$$l_R = \text{Min}\{0,5 * 4000; \text{Max}\{0,7 * 2000; 2000\}\} = \text{Min}\{2000; 2000\} = 2000 \text{ mm}$$

Součinitel bezpečnosti proti ztrátě stability $n_U = 2,4$ (jako v předchozím). Potom bude

$$\varphi_T = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[0,81 * 2,4 * \frac{137,3}{2,04 * 10^5} * \left(\frac{2000}{32 - 2} \right)^2 \right]^2}} = 0,169$$

$$a \quad [q^-] = \text{Min}\{4,100 * 0,169; 8,88\} = \text{Min}\{0,693; 8,88\} = 0,693 \text{ MPa}$$

Pro výměník s pevnými trubkovnicemi a trubkovnicí vevařenou do pláště určíme tloušťku trubkovnice podle vztahu

$$s_P \geq s_{PR} + c \quad \text{kde}$$

$$s_{PR} = 0,4 * H * \sqrt{\frac{3}{1 + \frac{H}{L} + \left(\frac{H}{L} \right)^2}} * \sqrt{\frac{|p_2 - p_1|}{[\sigma]_P}}$$

Protože v trubkovém svazku není žádné vybrání pro vstup páry, jsou rozměry oválu vepsaného do maximální neotrubkované plochy $H = 0$ a $L = 0$ (s_{PR} vychází = 0), takže se výpočtová tloušťka trubkovnice počítá podle vztahů pro neotrubkovaný okraj.

Pro tloušťku trubkovnice v neutrubkovaném okraji platí

$$s_{PR} = 0,70 * b * \sqrt{\frac{|p_2 - p_1|}{[\sigma]_P}} = 0,70 * 12,4 * \sqrt{\frac{|0 - 0,4|}{111,3}} = 0,52 \text{ mm}$$

Provedená tloušťka trubkovnice $s = 20$ mm byla zvolena z technologických hledisek (výroba, svařování, montáž atp.) a z pevnostního hlediska vyhovuje.

Kontrola pevnosti trubek

$$- [q^-] \leq - p_E - \lambda_B * (p_2 - p_1) \leq [q^+]$$

$$- p_E - \lambda_B * (p_2 - p_1) = - (-0,218) - 0,197 * (0 - 0,4) = 0,297 \text{ MPa}$$

$$- [q^-] = -0,693 \text{ MPa} \leq 0,297 \text{ MPa}$$

$$[q^+] = 4,100 \text{ MPa} \geq 0,297 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{ trubky pevnostně vyhovují}$$

Kontrola pevnosti pláště

$$- [F^-] \leq \frac{\pi * D_R^2}{4} * [p_2 * (1 + \lambda_B) + p_1 * \lambda_B] \leq [F^+]$$

Podle části 4.5. rovnice (14) je dovolená osová tlaková síla (vzpěr)

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

Dovolená osová síla v plastické oblasti

$$[F]_P = \pi * (D + s - c) * (s - c) * [\sigma_D] = \pi * (150 + 4,5 - 1,2) * (4,5 - 1,2) * 130,3 = 207086 \text{ N}$$

Dovolená osová síla v elastické oblasti

$$[F]_E = \text{Min}\{[F]_{E1}, [F]_{E2}\}$$

$$[F]_{E1} = \frac{310 * 10^{-6} * E}{n_U} * D^2 * \left[\frac{100 * (s - c)}{D}\right] * \sqrt{\frac{100 * (s - c)}{D}}$$

$$[F]_{E1} = \frac{310 * 10^{-6} * 2,1 * 10^5}{2,4} * 150^2 * \left[\frac{100 * (4,5 - 1,2)}{150}\right] * \sqrt{\frac{100 * (4,5 - 1,2)}{150}} = 1991527 \text{ N}$$

$$[F]_{E2} = \frac{\pi * (D + s - c) * (s - c) * E}{n_U} * \left(\frac{\pi}{\lambda_K} \right)^2$$

kde štíhlost $\lambda_K = \frac{2,83 * L_K}{D + s - c} = \frac{2,83 * 4000}{150 + 4,5 - 1,2} = 73,84$ a redukovaná délka $L_K = 4000$ mm.

$$[F]_{E2} = \frac{\pi * (150 + 4,5 - 1,2) * (4,5 - 1,2) * 2,1 * 10^5}{2,4} * \left(\frac{\pi}{73,84} \right)^2 = 251727 N$$

$$[F]_E = \text{Min}\{1991527; 251727\} = 251727 N$$

$$[F^-] = \frac{207086}{\sqrt{1 + \left(\frac{207086}{251727} \right)^2}} = 159924 N$$

Podle části 4.5. rovnice (13) je dovolená osová tahová síla