

8 Škrupiny zaťažené vonkajším tlakom

8.1 Účel

Táto kapitola poskytuje požiadavky na navrhovanie škrupín vystavených zaťaženiu vonkajším tlakom. Požiadavky platia pre vystužené a nevystužené valcovité a kužeľovité, guľovité škrupiny a klenuté dna.

Tam, kde pôsobia významné zaťaženia, dodatočné spevnenie sa zabezpečí buď zväčšením hrúbky škrupiny, alebo pomocou výstuže. Predpisy neplatia v oblasti tečenia/krípu materiálov, iba podľa požiadaviek v kapitole 19 a predpokladá sa, že odchýlka sa upraví počas krípu pod nadmerné odchýlky citované v EN 13445-4: 2009.

8.2 Špecifické definície

Nasledujúce definície platia okrem tých, ktoré sú uvedené v kapitole 3.

8.2.1 nominálna medza pružnosti (angl. **nominal elastic limit**): medza pružnosti, ktorá platí v tejto kapitole na navrhovanie pri zaťažení vonkajším tlakom

8.2.2 masívna výstuha (angl. **heavy stiffener**): obvodová výstuha, ktorú navrhne projektant ako masívnu/hrubostennú tak, aby platili špeciálne požiadavky tejto kapitoly

8.2.3 ľahká výstuha (angl. **light stiffener**): obvodová výstuha, ktorú navrhne projektant ako ľahkú/tenkostennú tak, aby platili špeciálne požiadavky tejto kapitoly

8.2.4 preborenie medzi výstuhami (angl. **interstiffener collapse**): zrútenie – kolaps časti valca medzi dvoma vystužovacími prstencami alebo medzi vystužovacím prstencom a dnom nádoby

8.2.5 celkové preborenie (angl. **overall collapse**): zrútenie – kolaps časti valca, ktorý zahŕňa ľahkú alebo masívnu výstuhu

8.2.6 rovina hlavnej podpery (angl. **plane of substantial support**): dno nádoby alebo rovina rozdeľujúca nádobu na dve časti, z ktorej každá sa posudzuje samostatne pri navrhovaní od vonkajšieho tlaku

8.2.7 súčiniteľ bezpečnosti (angl. **safety factor**): pomer dolného medzného predpokladaného tlaku do preborenia/zrútenia a výpočtového tlaku

8.2.8 vybočenie výstuhu (angl. **stiffener tripping**): bočné zakrivenie výstuhu okolo svojho prípojného bodu k plášťu

8.3 Špecifické značky a definície

Nasledujúce špecifické značky a skratky platia okrem tých, ktoré sú uvedené v kapitole 4.

a	je dĺžka plášťa pokrytá vyhrievacou/chladiacou cievkou, pozri obrázky 8.5-11a 8.5-12;
A_e	prierez výstuhu a voľná dĺžka plášťa, pozri rovnicu (8.5.3-30);
A_f	prierez príruby výstuhu;
A_m	modifikovaný prierez výstuhu, pozri rovnicu (8.5.3-17);
A_s	prierez výstuhu;
A_w	prierez steny;
B	parameter výpočtu preborenia/zrútenia medzi výstuhami, pozri rovnicu (8.5.3-18);
C	súčiniteľ výpočtu vybočenia výstuhu, pozri rovnice (8.5.3-50) a (8.5.3-51);
CG_s	vyjadruje polohu ťažiska výstuhu;
CG_c	vyjadruje ťažisko výstuhu plus voľnú dĺžku plášťa;
\bar{d}	vzdialenosť ku koncu výstuhu, pozri rovnicu (8.5.3-40);
d	radiálna výška výstuhu medzi prírubami, pozri obrázky 8.5-14, 8.5-15, 8.5-16 a 8.5-17;
e_f	hrúbka príruby výstuhu;
e_w	hrúbka steny výstuhu;
G	parameter výpočtu preborenia/zrútenia medzi výstuhami, pozri rovnicu (8.5.3-22);
h, h', h''	sú vonkajšie výšky klenutých dien, pozri obrázky 8.5.1 a 8.5.2;
I_e	moment zotrvačnosti plochy zloženého prierezu výstuhu a voľnej dĺžky plášťa pôsobiacej s ňou (I_e) okolo osi rovnobežnej s osou valca prechádzajúcej cez ťažisko zloženého prierezu, pozri rovnicu (8.5.3-26);
I_{est}	predbežne vypočítaný moment zotrvačnosti plochy výstuhu;
I_f	moment zotrvačnosti plochy príruby okolo jej ťažiska;

I_s	moment zotrvačnosti plochy prierezu výstuhu okolo osi prechádzajúcej cez ťažisko rovno- bežne s osou valca;
I_w	moment zotrvačnosti plochy steny okolo jej ťažiska;
L	nepodopretá dĺžka plášťa;
L_{cyl}	dĺžka valca medzi dotýčnicami;
L_{con}	axiálna dĺžka kužeľa, pozri obrázok 8.5-2;
L_e	voľná dĺžka plášťa pôsobiaca s ľahkou výstuhou, pozri rovnicu (8.5.3-34);
L_{eH}	voľná dĺžka plášťa pôsobiaca s masívnou výstuhou udanou v 8.5.3.7;
L_H	vzdialenosť medzi masívnymi výstuhami, pozri tabuľku 8.5-1;
L'_H, L''_H, \dots	sú jednotlivé dĺžky medzi masívnymi výstuhami, pozri obrázok 8.5-7;
L_s	stredná dĺžka dvoch polí plášťa priliehajúcich k ľahkej výstuhe, pozri tabuľku 8.5-1;
L_{sH}	stredná dĺžka dvoch polí plášťa priliehajúcich k masívnej výstuhe, pozri 8.5-1;
L'_s, L''_s, \dots	sú jednotlivé dĺžky medzi ľahkými výstuhami, pozri obrázky 8.5-6 a 8.5-8;
N	parameter výpočtu preborenia/zrútenia medzi výstuhami, pozri rovnicu (8.5.3-21) a tabuľku 8.5-2;
n	počet obvodových vln pre vystužený valec;
n_{cyl}	počet obvodových vln pre nevystuženú časť valca, pozri 8.5.2.2;
P	požadovaný vonkajší návrhový tlak;
P_C	návrhový tlak vo vyhrievacom/chladiacom kanáli tak, ako je použitý v 8.5.3.5;
P_g	teoretický tlak elastickej nestability výstuhu na valci, pozri rovnicu (8.5.3-24), alebo na kuželi, pozri rovnicu (8.6.4-1);
P_H	teoretický tlak elastickej nestability na masívnu výstuhu, pozri rovnicu (8.5.3-42);
P_m	teoretický tlak elastickej nestability na preborenie/zrútenie perfektného valcovitého, kuželovi- tého alebo guľovitého plášťa, pozri rovnice (8.5.2-5), (8.6.3-2) a (8.7.1-2);
P_r	vypočítaný dolný medzný tlak na preborenie/zrútenie získaný z obrázka 8.5-5;
P_y	tlak, pri ktorom stredné obvodové napätie vo valcovitom alebo kuželovitom plášti v strede medzi výstuhami alebo v guľovitom plášti dosiahne medzu klzu, pozri rovnice (8.5.2-4), (8.6.3-1) a (8.7.1-1);
P_{ys}	tlak spôsobujúci obvodový sklz vo výstuhe na valci, pozri rovnicu (8.5.3-38), alebo na kuželi, pozri rovnicu (8.6.4-6);
R	stredný polomer valcovitého alebo guľovitého plášťa alebo stredný polomer prstenca torosfé- rického dna;
R_i	polomer pre časť výstuhu, ktorá sa nachádza najďalej od plášťa (pozri obrázky 8.5-14 až 8.5-17);
R_s	polomer ťažiska prierezu výstuhu;
$R_{p0,2T,s}$	dohovorená medza klzu pri $p = 0,2\%$ pri teplote T pre výstuhu;
r_i	polomer bodu na stene výstuhu najbližšie k plášťu, okolo ktorého sa predpokladá rotácia pri vybočení/vyšmyknutí výstuhu (pozri obrázky 8.5-14 až 8.5-17);
S	súčiniteľ bezpečnosti použitý v tejto kapitole, pozri rovnicu (8.4.4-1);
S_f	súčiniteľ závisiaci od metódy výroby výstuhu – rovnice (8.5.3-32) a (8.5.3-33);
u	parameter použitý vo výpočte L_e , pozri rovnice (8.5.3-36);
w_i	celková šírka výstuhu i v kontakte s plášťom, pozri rovnicu (8.5.3-39) a (pozri obrázky 8.5-14 až 8.5-17);
w_l	prečnievajúca šírka pásnice výstuhu (pozri obrázky 8.5-14 až 8.5-17);
w'_i, w''_i	sú čiastkové šírky výstuhu i v kontakte s plášťom (pozri obrázok 8.5-8);
X_e	parameter výpočtu celkového preborenia/zrútenia, pozri rovnicu (8.5.3-27);
X_{eH}	parameter výpočtu celkového preborenia/zrútenia, pozri rovnicu (8.5.3-44);
Y_1, Y_2, Y_3	sú súčinitele použité vo výpočte L_e , pozri 8.5.3.6.3;

α	polovičný vrcholový uhol kužela (stupne) (pozri obrázok 8.5-2);
β	získaný z obrázka 8.5-13, alebo vypočítaný z rovnice (8.5.3-25);
δ	parameter pri navrhovaní výstuh, pozri rovnice (8.5.3-19) a (8.5.3-20);
ε	stredná elastická obvodová deformácia pri preboreni/zrútení, pozri 8.5.2.2;
ε'	modifikovaná stredná elastická obvodová deformácia pri zrútení pre kuželovitý plášť;
λ	parameter závisiaci od umiestnenia výstuhu, pozri rovnice (8.5.3-28) a (8.5.3-29);
σ_e, σ_{es}	sú nominálne medze pružnosti pre plášť alebo výstuhu, pozri 8.4;
σ_H	maximálne napätie v masívnej výstuhe, pozri rovnicu (8.5.3-47);
σ_I	napätie nestability pre bočné vyšmyknutie/vybočenie výstuhu, pozri rovnice (8.5.3-49) a (8.5.3-54);
σ_s	maximálne napätie v ľahkej výstuhe, pozri rovnice (8.5.3-37) a (8.6.4-5).

8.4 Všeobecne

8.4.1 Hrúbka komponenta od zaťaženia vonkajším tlakom nesmie byť menšia ako hrúbka požadovaná touto normou pod tým istým tlakom pôsobiacim ako vnútorný tlak so súčiniteľom spoja 1,0.

8.4.2 Pre plášte zhotovené z neaustenitickej ocele nominálna medza pružnosti musí byť daná:

$$\sigma_e = R_{p0,2/T} = 223 \text{ MPa} \quad (8.4.2-1)$$

a pre výstuhu z rovnakého materiálu:

$$\sigma_{es} = R_{p0,2/T,s} = 223 \text{ MPa} \quad (8.4.2-2)$$

8.4.3 Pre plášte zhotovené z austenitickej ocele nominálna medza pružnosti musí byť daná:

$$\sigma_e = \frac{R_{p0,2/T}}{1,25} \quad (8.4.3-1)$$

a pre výstuhu z rovnakého materiálu:

$$\sigma_{es} = \frac{R_{p0,2/T,s}}{1,25} \quad (8.4.3-2)$$

POZNÁMKA. – Ak hodnota $R_{p0,2}$ nie je k dispozícii, bezpečným odhadom je $R_{p2,0}/1,3$.

8.4.4 Minimálny súčiniteľ bezpečnosti, ktorý platí v celom rozsahu tejto kapitoly, je daný:

Pre podmienky navrhovania

$$S = 1,5 \quad (8.4.4-1)$$

Pre podmienky skúšania

$$S = 1,1 \quad (8.4.4-2)$$

8.5 Valcovité plášte

8.5.1 Hranice kruhovitosti

8.5.1.1 Tolerancia kruhovitosti

Požiadavky 8.5.2 a 8.5.3 platia pre valce, ktoré sú kruhové do 0,5 % polomeru (t.j. 0,005R) meraný zo skutočného stredu. Tolerancia musí byť uvedená na výkrese nádoby.

Metódy overenia tvaru nádob sú uvedené v prílohe D. Postup stanovenia skutočného stredu súboru meraní polomeru a následne stanovenia odchýlky od skutočného kruhu valca je opísaný v prílohe E.

7 Škrupiny zaťažené vnútorným tlakom

7.1 Účel

Táto kapitola stanovuje požiadavky na navrhovanie proti vnútornému tlaku osovo symetrických plášťov – valcov, gúl, častí guľovitých škrupín, klenutých dien, kuželovitých škrupín a prieniky kužela valcom. Existujú aj metódy navrhovania šikmých kuželov spájajúcich dva valce a pre hrdlá zasahujúce do oblých (anuloidových) oblastí klenutých dien.

7.2 Špecifické definície

Nasledujúce definície platia spolu s definíciami v kapitole 3.

7.2.1 valec (angl. cylinder): priamy kruhový valec

7.2.2 torosférické dno (angl. torispherical end): klenuté dno skladajúce sa z guľovitého úseku (klenutá časť), toroidného zaoblenia (anuloidový prechod) a valcovitého plášťa (lemu), pričom všetky tri časti majú spoločné dotyčnice v mieste stretnutia

7.2.3 Kloepperov model (angl. Kloepper type): torosférické dno pre ktoré $R/D_e = 1,0$ a $r/D_e = 0,1$

7.2.4 Korbbogenov model (angl. Korbbogen type): torosférické dno pre ktoré $R/D_e = 0,8$ a $r/D_e = 0,154$

7.2.5 eliptické dno (angl. ellipsoidal end): klenuté dno zhotovené zo skutočného elipsoidického tvaru

7.3 Špecifické značky a skratky

Nasledujúce značky a skratky platia navyše s tými, ktoré sú uvedené v kapitole 4.

D_e je vonkajší priemer plášťa;

D_i vnútorný priemer plášťa;

D_m stredný priemer plášťa;

r vnútorný polomer zakrivenia zaoblenia anuloidového prechodu.

7.4 Valcovité a guľovité plášte

7.4.1 Podmienky použitia

Požiadavky v 7.4.2 a 7.4.3 sú platné pre e/D_e nie väčšie ako 0,16. Požiadavky na guľovité plášte platia aj pre guľovité časti plášťov, polguľovitých dien, centrálnych oblastí torosferoidálnych dien a tú časť gule, ktorá sa používa na spojenie kužela a valca (zaoblenie $r/D_i = 0,5$).

POZNÁMKA 1. – Požiadavky podľa 7.4.2 a 7.4.3 možno použiť aj pre väčšie pomery ak je návrh doplnený podrobným výpočtom na únavu

POZNÁMKA 2. – Hrúbka udaná pre túto časť je minimálna. Hrúbku možno zväčšiť v stykoch s ostatnými časťami alebo zabezpečiť dodatočné vystuženie na hrdlách alebo otvoroch, alebo vytvoriť netlakové zaťaženie.

7.4.2 Valcovité plášte

Požadovaná hrúbka sa musí vypočítať z jednej z nasledujúcich dvoch rovníc:

$$e = \frac{P \cdot D_i}{2f \cdot z - P} \quad (7.4-1)$$

alebo

$$e = \frac{P \cdot D_e}{2f \cdot z + P} = \frac{0,1 \cdot 2200}{2 \cdot 148,7 \cdot 1 + 0,1} = 0,144 \text{ mm} \quad (7.4-2)$$

$$e_a = 0,8 \text{ mm}$$

29

$$e_{min} = 0,8 + 1 = 1,8 \text{ mm}$$

Je prípustné zmierniť toleranciu, ak je k dispozícii nadmerná hrúbka. Táto záležitosť je obsiahnutá v 8.5.1.2.

8.5.1.2 Tolerancia kruhovitosti pre valce s nadmernou hrúbkou

Ak dovolený tlak P_r/S stanovený v 8.5.2.2 je väčší ako navrhnutý tlak, potom požadovaná tolerancia pre valec sa môže byť zvýšiť na:

$$\text{Tolerancia} = 0,005 \frac{P_r}{P \cdot S} \quad (8.5.1-1)$$

Pre výstupy sa musí splniť rovnica (8.5.3-37) s požadovanou zväčšenou toleranciou dosadenou na miesto 0,005.

8.5.1.3 Dovoľený tlak, ak kruhovitosť prevýši toleranciu 0,5 %

Príloha F udáva postup, ktorým možno vypočítať povolený tlak pre valce, pri ktorých sa po výrobe zistilo, že ich kruhovitosť prevyšuje toleranciu 0,5 %.

POZNÁMKA. – V praxi sa zistilo, že vo väčšine prípadov, kde nie je splnená tolerancia kruhovitosti valca, použitím prílohy F sa musí preukázať, že skutočný tvar je prijateľný. To sa však nesmie predpokladať bez dodržania postupu prílohy F.

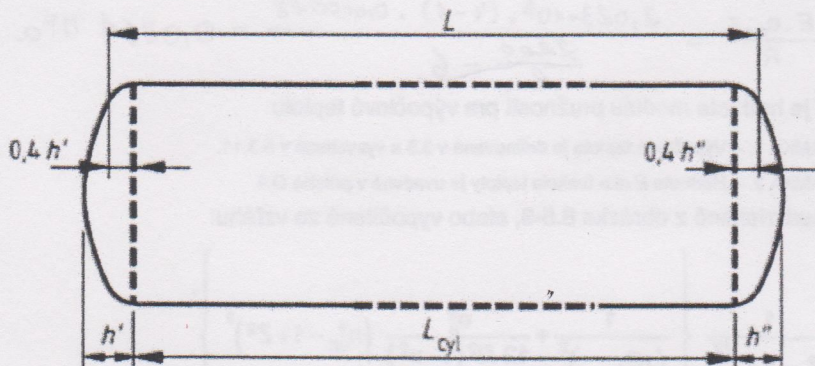
8.5.2 Nevystužené valce

8.5.2.1 Nepodopretá dĺžka

Na obrázku 8.5-1, L je dané:

$$L = L_{\text{cyl}} + 0,4h' + 0,4h'' = 5000 + 0,4 \cdot 563,6 + 0,4 \cdot 563,6 = 5450,9 \quad (8.5.2-1)$$

*✓ VONKAJŠIA VÝŠKA
563,6 + 7 = 563,6*



Obrázok 8.5-1 – Valec s dnami

Na obrázku 8.5-2, L je dané:

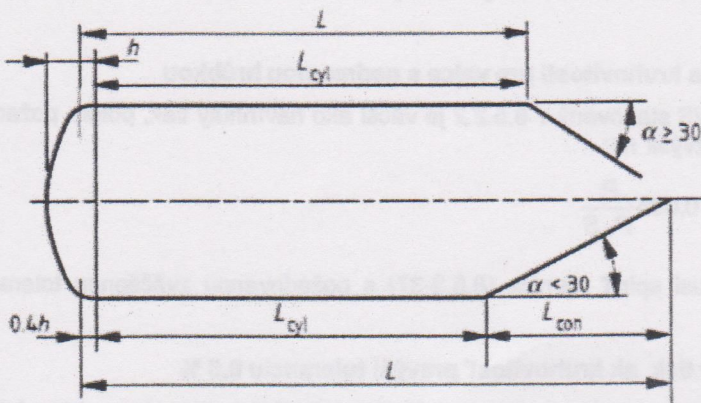
keď $\alpha \geq 30^\circ$.

$$L = L_{\text{cyl}} + 0,4h \quad (8.5.2-2)$$

keď $\alpha < 30^\circ$.

L je dané:

$$L = L_{\text{cyl}} + 0,4h + L_{\text{con}} \quad (8.5.2-3)$$



POZNÁMKA. – Pre priesečníky kužeľa/valca pozri 8.6.5.

Obrázok 8.5-2 – Valec s dnom a kužeľovou časťou

8.5.2.2 Hrúbka valca

Hrúbka valca nesmie byť menšia ako hrúbka stanovená podľa nasledujúceho postupu :

a) zvolí sa hodnota pre e_a a vypočítame P_y takto:

$$P_y = \frac{\sigma_e \cdot e_a}{R} = \frac{223 \cdot (4-1)}{\frac{2200}{2} - 6} = 1,217 \text{ MPa} \quad (8.5.2-4)$$

b) vypočíta sa P_m z nasledujúcej rovnice použitím rovnakej zvolenej hodnoty pre e_a :

$$P_m = \frac{E \cdot e_a \cdot \varepsilon}{R} = \frac{2,1023 \cdot 10^5 \cdot (4-1) \cdot 0,01000078}{\frac{2200}{2} - 6} = 0,0864 \text{ MPa} \quad (8.5.2-5)$$

kde E je hodnota modulu pružnosti pre výpočtovú teplotu

POZNÁMKA 1. – Výpočtová teplota je definovaná v 3.5 a vysvetlená v 5.3.11.

POZNÁMKA 2. – Hodnota E ako funkcia teploty je uvedená v prílohe O.4.

ε buď získané z obrázka 8.5-3, alebo vypočítané zo vzťahu:

$$\varepsilon = \frac{1}{n_{cyl}^2 - 1 + \frac{Z^2}{2}} \left\{ \frac{1}{\left(\frac{n_{cyl}^2}{Z^2} + 1 \right)^2} + \frac{e_a^2}{12 R^2 (1 - \nu^2)} (n_{cyl}^2 - 1 + Z^2)^2 \right\} \quad (8.5.2-6)$$

kde n_{cyl} je celé číslo získané z obrázka 8.5-4, alebo vypočítané na minimalizovanie hodnoty P_m ;

$$Z = \frac{\pi \cdot R}{L} \quad (8.5.2-7)$$

v ktorom L je stanovené podľa 8.5.2.1.

POZNÁMKA. – Obrázok 8.5-3 je nakreslený podľa rovnice (8.5.2-6).

c) vypočítame $\frac{P_m}{P_y}$ a stanovíme $\frac{P_r}{P_y}$ z krivky 1) na obrázku 8.5-5.

$$\frac{P_m}{P_y} = \frac{0,0864}{1,217} = 0,070$$

Musí sa splniť nasledujúca podmienka:

$$P < P_r / S \quad (8.5.2-8)$$

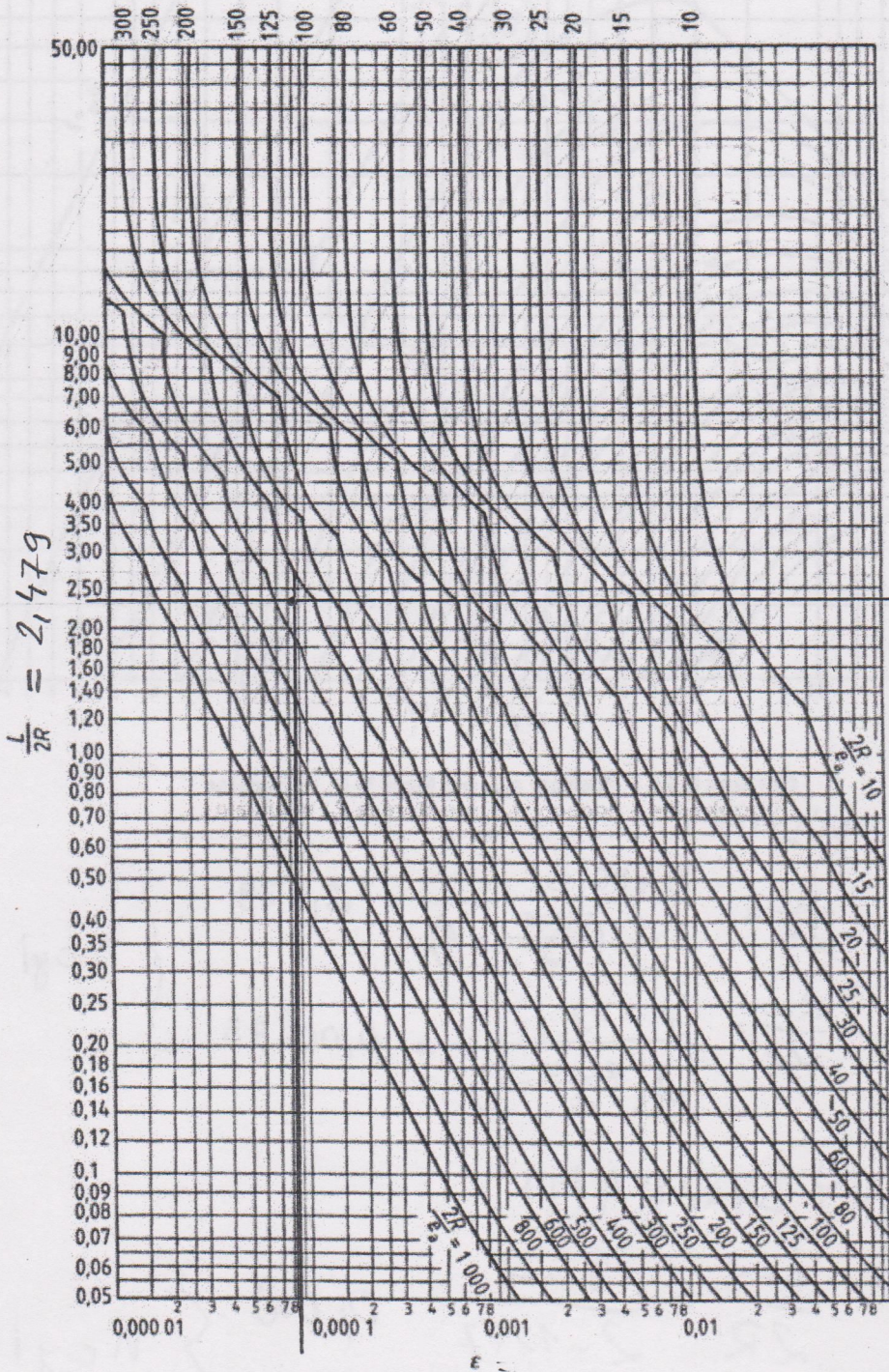
Ak P_r je veľmi malý, hrúbka sa musí zväčšiť alebo sa musí zabezpečiť výstuha a postup sa musí zopakovať.

$$P = 0,1 < \frac{0,0428}{1,5} = 0,0285$$

NEVYKONUJE \Rightarrow POTREBNÉ SÚ VÝSTUHY

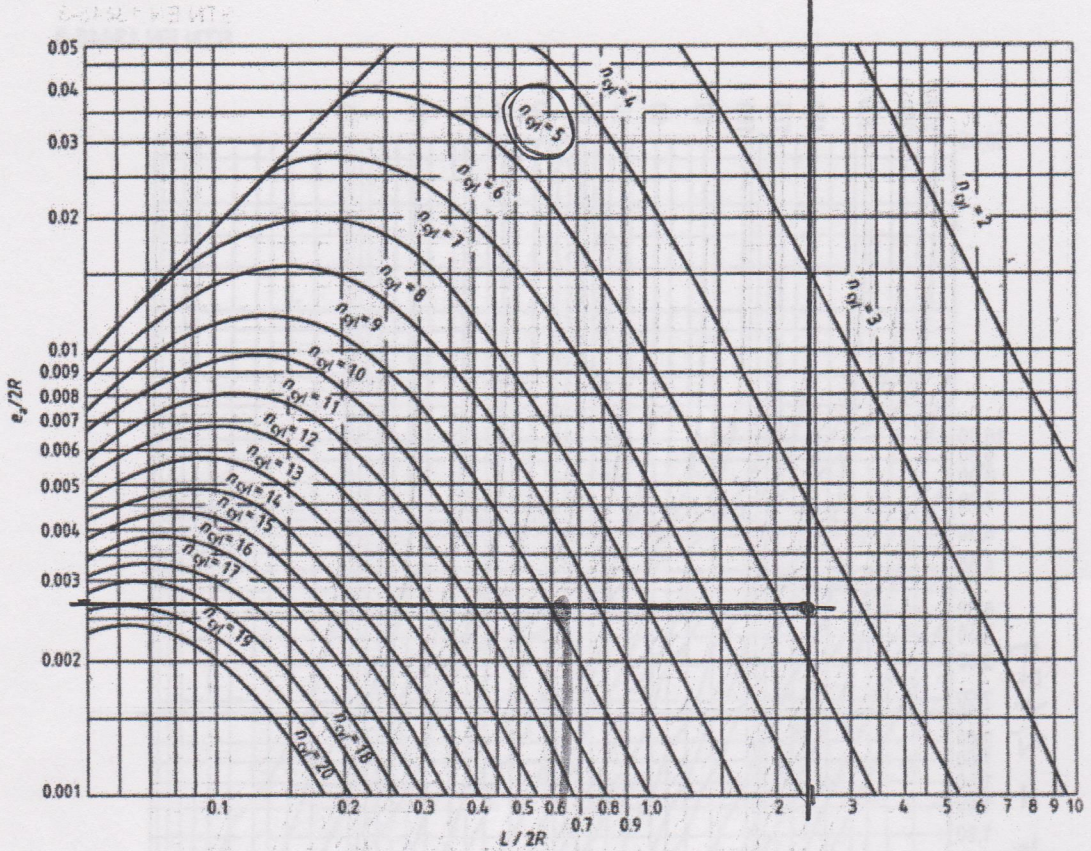
$$\frac{P_r}{P_y} = 0,0352$$

$$P_r = 0,0352 \cdot 1,217 = 0,0428$$

Obrázok 8.5-3 – Hodnoty ϵ

Musíme použiť hodnotu n_{cyl} zodpovedajúcu najbližšej krivke, ale v prípade pochybností musíme posúdiť obidve hodnoty n_{cyl} .

$$\left. \begin{array}{l} \frac{L}{2R} = 2,479 \\ \frac{2R}{e a} = 366 \end{array} \right\} \Rightarrow \epsilon = 0,000078$$

Obrázok 8.5-4 – Hodnoty n_{cyl} , pre ktoré je P_m minimálne

BEZ VÝSTUHY

$$\frac{L}{2R} = \frac{5450,9}{2 \cdot \left(\frac{2200}{2} - 1\right)} = 2,479$$

$$\frac{e_a}{2R} = \frac{(7 - 1)}{2 \cdot \left(\frac{2200}{2} - 1\right)} = 0,00273$$

} $n_{cyl} = 5$

S VÝSTUHAMÍ

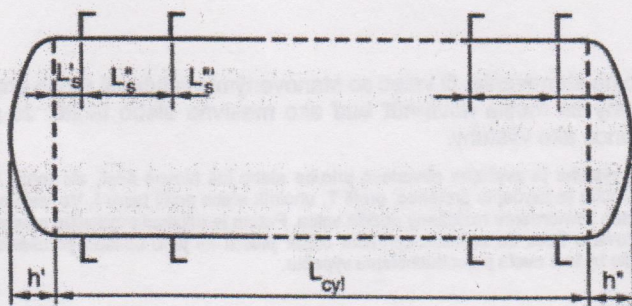
$$\frac{L_s}{2R} = \frac{1362}{2 \cdot 1097} = 0,62$$

$$\frac{e_a}{2R} = 0,00273$$

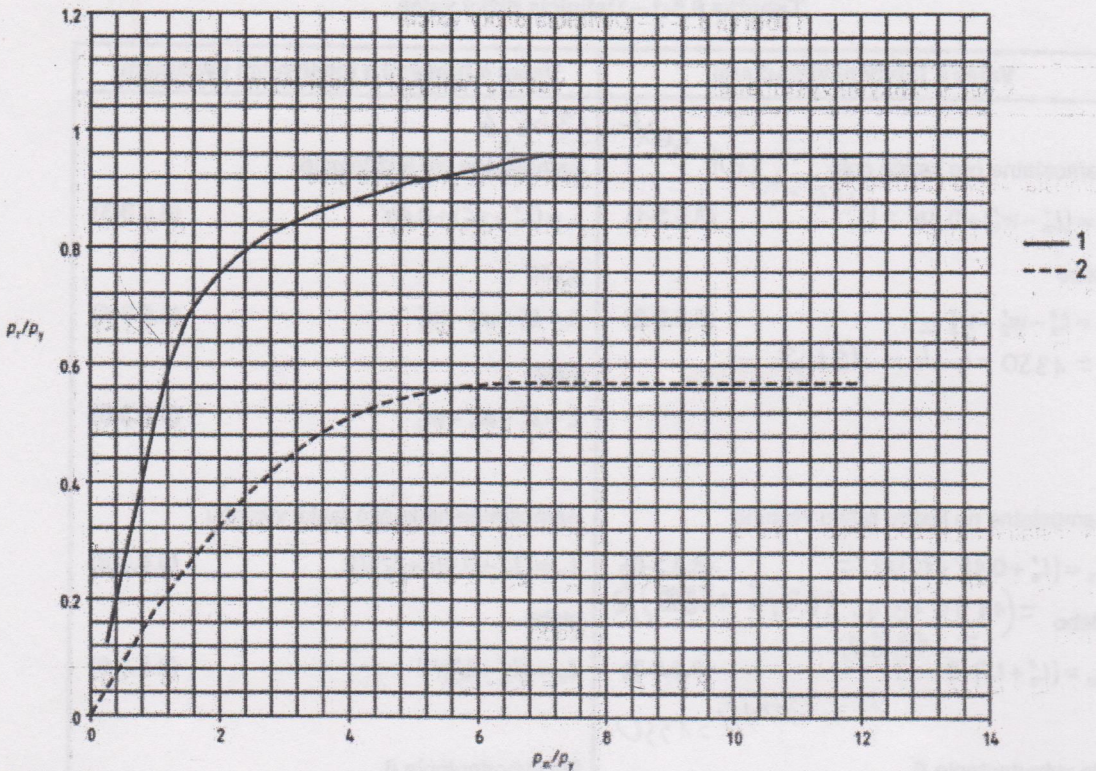
} $n_{cyl} = 9$

Tabuľka 8.5-1 – Definícia dĺžky valca

Valec s fahkými výstuhami	Valec s fahkými a masívnymi výstuhami
<p>Samostatne pre každé pole</p> $L = (L'_s - w'_1) + 0,4h' = (1150 - 4) + 0,4 \cdot 563,6 = 1368,6 \quad (8.5.3-1)$ <p>alebo</p> $L = L'_s - w'_2 - w'_2 = 1350 - 4 - 4 = 1342 \quad (8.5.3-2)$	<p>Samostatne pre každé pole</p> $L = (L'_s - w'_1) + 0,4h' \quad (8.5.3-3)$ <p>alebo</p> $L = L'_s - w'_2 - w'_2 \quad (8.5.3-4)$ <p>alebo</p> $L = L'_s - w'_3 - w'_3 \quad (8.5.3-5)$
<p>Samostatne na každú fahkú výstuhu</p> $L_s = (L'_s + 0,4h' + L''_s) / 2 = (1150 + 0,4 \cdot 563,6 + 1350) / 2 = 1362 \quad (8.5.3-6)$ <p>alebo</p> $L_s = (L'_s + L''_s) / 2 = (1350 + 1350) / 2 = 1350 \quad (8.5.3-7)$	<p>Samostatne na každú fahkú výstuhu</p> $L_s = (L'_s + 0,4h' + L''_s) / 2 \quad (8.5.3-8)$ <p>alebo</p> $L_s = (L'_s + L''_s) / 2 \quad (8.5.3-9)$
<p>Na vyhodnotenie β</p> $L_H = L_{cyl} + 0,4h' + 0,4h'' = 5000 + 0,4 \cdot 563,6 + 0,4 \cdot 563,6 = 5451 \quad (8.5.3-10)$	<p>Na vyhodnotenie β</p> $L_H = L'_H + 0,4h' \quad (8.5.3-11)$ <p>Alebo</p> $L_H = L''_H \quad (8.5.3-12)$
	<p>Na každú masívnu výstuhu</p> $L_{sH} = (L'_H + 0,4h' + L''_H) / 2 \quad (8.5.3-13)$ <p>alebo</p> $L_{sH} = (L'_H + L''_H) / 2 \quad (8.5.3-14)$



Obrázok 8.5-6 – Valec s fahkými výstuhami



Legenda

1 – Valce a kužele

P_m/P_y	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5
P_i/P_y	0	0,125	0,251	0,375	0,5	0,605	0,68	0,72	0,755	0,78	0,803	0,822	0,836	0,849	0,861
P_m/P_y		3,75	4,0	4,25	4,5	4,75	5,0	5,25	5,5	5,75	6,0	6,25	6,5	6,75	$\geq 7,0$
P_i/P_y		0,87	0,879	0,887	0,896	0,905	0,914	0,917	0,923	0,929	0,935	0,941	0,947	0,953	0,959

2 – Gule a klenuté dná

P_m/P_y	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3,0	3,5	4	4,5	5,0	5,5	6	$\geq 6,5$
P_i/P_y	0	0,09	0,18	0,255	0,324	0,386	0,435	0,479	0,51	0,533	0,548	0,565	0,567	0,57

Obrázok 8.5-5 – Hodnoty P_i/P_y ako funkcie P_m/P_y

8.5.3 Vystužené valce

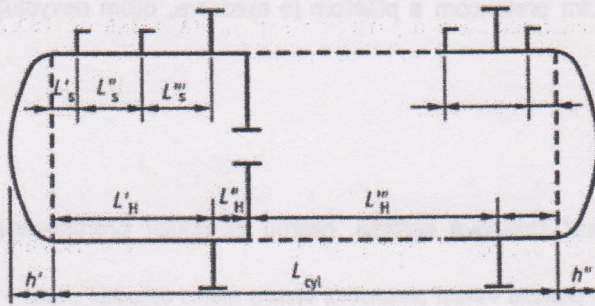
8.5.3.1 Úvod

Článok 8.5.3 udáva postup na stanovenie, či valec so stanovenými výstuhami môže prenášať navrhovaný vonkajší tlak. Všetky výstupy sa musia navrhnuť buď ako masívne alebo ľahké. Je prípustné nepovažovať malé obvodové prstence ako výstupy.

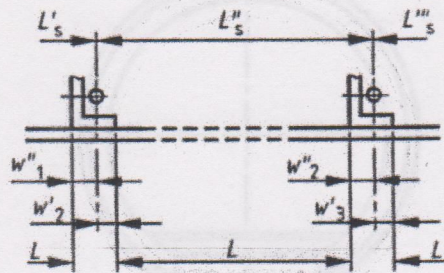
POZNÁMKA. – Masívna výstuha je zvyčajne obvodová príruha alebo iná hlavná časť, ale môže ňou byť predovšetkým bežná výstuha. Ľahká výstuha je zvyčajne prstenec, profil T, uholník alebo profil tvaru I. Vo väčšine praktických prípadov musí byť určitý počet výstuh rovnomerne rozložený pozdĺž valca. Potom je najekonomickejšie navrhnuť všetky výstupy ako ľahké, lebo výpočet celkového tlaku do zrútenia zohľadní odpor plášte na jeho spôsob porušenia, ale ak by sa všetky navrhli ako masívne, viedlo by to k oveľa jednoduchšiemu výpočtu.

8.5.3.2 Nevystužená dĺžka

Nevystužené dĺžky valca s výstuhami musia byť v súlade s tabuľkou 8.5-1. Rozmery sú uvedené na obrázkoch 8.5-6, 8.5-7 a 8.5-8.



Obrázok 8.5-7 – Valec s ľahkými a masívnymi výstuhami

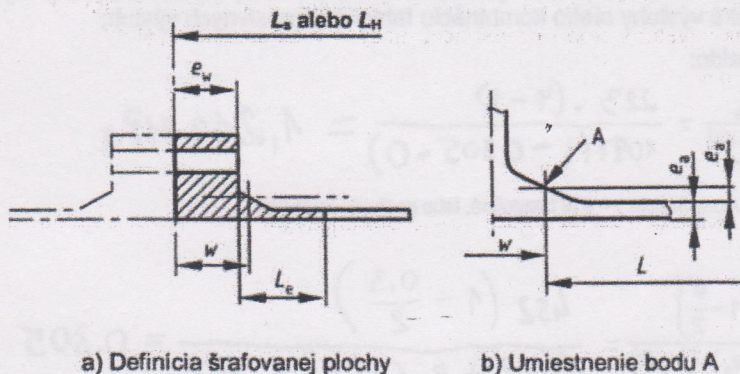


Obrázok 8.5-8 – Podrobné rozmery

Kde príruby fungujú ako masívne výstuhy, šrafovaná plocha musí byť stanovená tak, ako vidieť na obrázku 8.5-9 a). Bod « A » musí byť umiestnený tak, ako vidieť na obrázku 8.5-9 b) a musí sa stanoviť w .

A_s jednej príruby sa musí vypočítať zo šrafovej plochy mínus $e_w(e_w + L_e)$.

Spojenie A_s a L_e oboch prírub sa musí zväžiť pri vyhodnocovaní ich primeranosti ako výstuhy.



a) Definícia šrafovej plochy

b) Umiestnenie bodu A

Obrázok 8.5-9 – Príruby ako masívne výstuhy

8.5.3.3 Navrhovanie výstuh

Keď výstuhy majú formu účelovo zabudovaných prstencov obopínajúcich plášť, takéto prstence sa môžu umiestniť do vnútra, vonku alebo čiastočne vnútorne a čiastočne zvonka k plášťu nádoby. Prstence môžu spĺňať aj prevádzkové požiadavky ako napríklad podpera etážového zásobníka vo frakčných kolónach, ktorá odoláva vonkajšiemu tlaku. Musia spĺňať požiadavky 8.5.3 a byť primerané prevádzkovým zaťaženiám procesu.

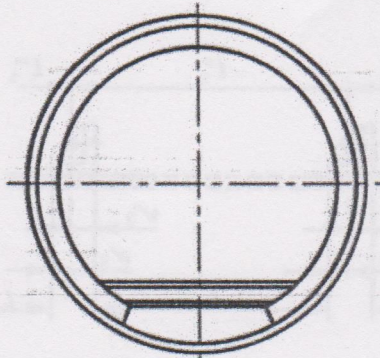
Tam, kde medzi vystužovacím prstencom a plášťom je medzera, dĺžka nevystuženého plášťa nesmie prevýšiť:

$$\frac{\text{obvod nádoby}}{4n_{\text{cyl}}}$$

Pozri obrázok 8.5-10.

Tam, kde sa môže vyskytnúť štrbinová korózia, nesmú sa použiť prerušované zvary na upevnenie takýchto prstencov na plášť.

POZNÁMKA. – Začiatočnú približnú veľkosť prstencovej výstuhy možno odhadnúť použitím 10 % plochy plášťa medzi výstuhami.



Obrázok 8.5-10 – Vnútrotný výstužný prsteneč, ktorý nie je v úplnom kontakte s plášťom

8.5.3.4 Preborenie/Zrútenie medzi výstuhami

Každá časť vystuženého valca sa musí prekontrolovať z hľadiska preborenia/zrútenia medzi výstuhami. Postup je podobný ako v 8.5.2.2 pre nevystužené valce, ale L sa stanoví z tabuľky 8.5-1 v závislosti od toho, či má valec fahké výstuhy alebo kombináciu fahkých a masivných výstuh;

a) vypočítame P_y takto:

$$P_y = \frac{\sigma_e \cdot e_a}{R(1-\gamma \cdot G)} = \frac{223 \cdot (4-1)}{1097(1-0,305 \cdot 0)} = 1,219 \text{ MPa} \quad (8.5.3-15)$$

POZNÁMKA 1. – Aproximácia $\gamma = 0$ je bezpečná, lebo podhodnocuje tlak.

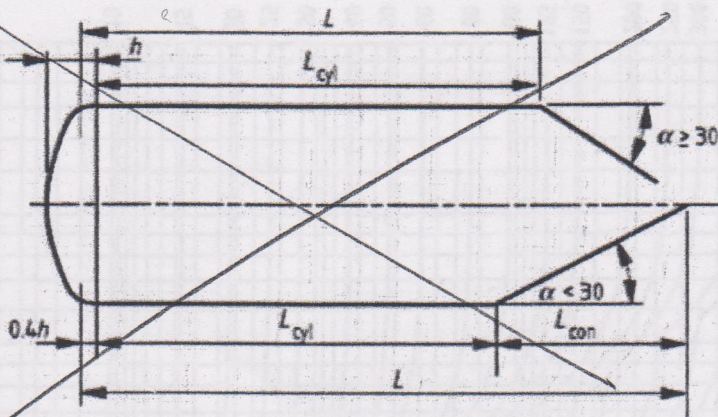
V ktorej

$$\gamma = \frac{A_m \left(1 - \frac{\nu}{2}\right)}{(A_m + w \cdot e_a)(1+B)} = \frac{452 \left(1 - \frac{0,3}{2}\right)}{(452 + 8 \cdot 6)(1 + 1,519)} = 0,305 \quad (8.5.3-16)$$

kde

$$A_m = \left(\frac{R^2}{R_s^2}\right) A_s = \left(\frac{1097^2}{(1100+30)^2}\right) \cdot 8 \cdot 60 = 452 \quad (8.5.3-17)$$

$$B = \frac{2e_a \cdot N}{\delta(A_m + w \cdot e_a)} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 1}{0,0158(452 + 8 \cdot 6)} = 1,519 \quad (8.5.3-18)$$



POZNÁMKA – Pre priesečníky kužeľa/valca pozri 8.6.5.

Obrázok 8.5-2 – Valec s dnom a kužeľovou časťou

8.5.2.2 Hrúbka valca

Hrúbka valca nesmie byť menšia ako hrúbka stanovená podľa nasledujúceho postupu :

a) zvolí sa hodnota pre e_a a vypočítame P_y takto;

~~$$P_y = \frac{\sigma_e \cdot e_a}{R}$$~~

~~(8.5.2-4)~~

b) vypočíta sa P_m z nasledujúcej rovnice použitím rovnakej zvolenej hodnoty pre e_a :

$$P_m = \frac{E \cdot e_a \cdot \varepsilon}{R} = \frac{2,023 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 0,0003}{1097} = 0,332$$

(8.5.2-5)

kde E je hodnota modulu pružnosti pre výpočtovú teplotu

POZNÁMKA 1. – Výpočtová teplota je definovaná v 3.5 a vysvetlená v 5.3.11.

POZNÁMKA 2. – Hodnota E ako funkcia teploty je uvedená v prílohe O.4.

ε buď získané z obrázka 8.5-3, alebo vypočítané zo vzťahu:

$$\varepsilon = \frac{1}{n_{cyl}^2 - 1 + \frac{Z^2}{2}} \left\{ \frac{1}{\left(\frac{n_{cyl}^2}{Z^2} + 1\right)^2} + \frac{e_a^2}{12 R^2 (1 - \nu^2)} (n_{cyl}^2 - 1 + Z^2)^2 \right\}$$

(8.5.2-6)

kde n_{cyl} je celé číslo získané z obrázka 8.5-4, alebo vypočítané na minimalizovanie hodnoty P_m :

$$Z = \frac{\pi \cdot R}{L}$$

(8.5.2-7)

v ktorom L je stanovené podľa 8.5.2.1.

POZNÁMKA. – Obrázok 8.5-3 je nakreslený podľa rovnice (8.5.2-6).

c) vypočítame $\frac{P_m}{P_y}$ a stanovíme $\frac{P_r}{P_y}$ z krivky 1) na obrázku 8.5-5.

$$\frac{P_m}{P_y} = \frac{0,332}{1,219} = 0,272 \Rightarrow$$

Musí sa splniť nasledujúca podmienka:

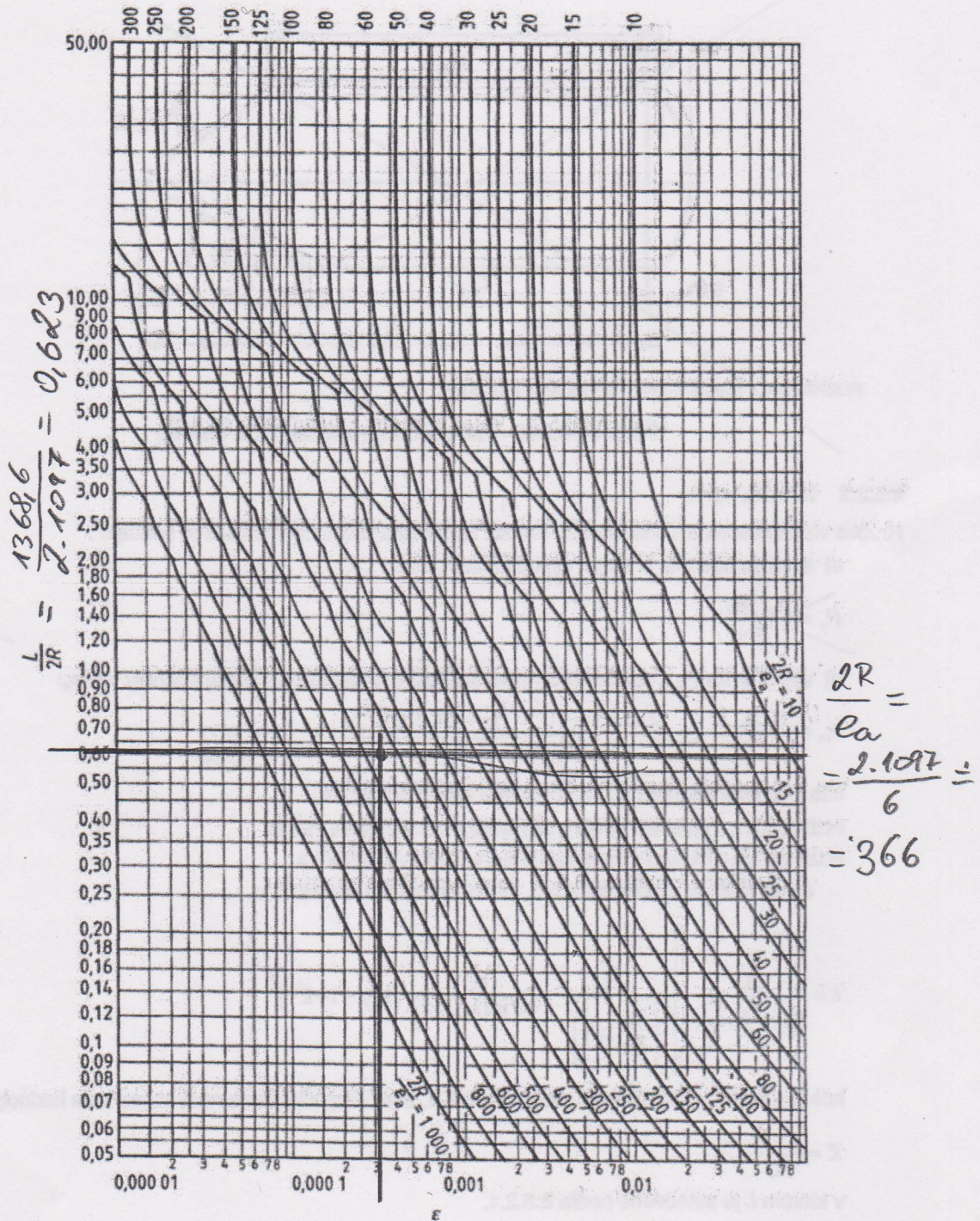
$$P < P_{1S}$$

(8.5.2-8)

Ak P_r je veľmi malý, hrúbka sa musí zväčšiť alebo sa musí zabezpečiť výstuha a postup sa musí zopakovať.

$$P = 0,1 < \frac{0,139 \cdot 1,219}{1,5} = \frac{0,113 \text{ MPa}}{50}$$

$$\Rightarrow \frac{P_r}{P_y} = 0,139 \Rightarrow P_r = 0,139 \cdot P_y$$

Obrázok 8.5-3 – Hodnoty ϵ

$$\epsilon = 0,0003$$

Musíme použiť hodnotu n_{cyl} zodpovedajúcu najbližšej krivke, ale v prípade pochybností musíme posúdiť obidve hodnoty n_{cyl} .

$$\delta = \frac{[3(1-v^2)]^{0,25}}{\sqrt{R \cdot e_a}} = \frac{[3(1-0,3^2)]^{0,25}}{\sqrt{1097,6}} = 0,0158 \quad (8.5.3-19)$$

z ktorej, ak $v = 0,3$

$$\delta = \frac{1,28}{\sqrt{R \times e_a}} \quad (8.5.3-20)$$

$$N = \frac{\cosh(\delta L) - \cos(\delta L)}{\sinh(\delta L) + \sin(\delta L)} = 1 \quad (\text{tab 8.5-2}) \quad (8.5.3-21)$$

a

$$G = \frac{2 \left[\sinh\left(\frac{\delta L}{2}\right) \cos\left(\frac{\delta L}{2}\right) + \cosh\left(\frac{\delta L}{2}\right) \sin\left(\frac{\delta L}{2}\right) \right]}{\sinh(\delta L) + \sin(\delta L)} = 0 \quad (\text{tab 8.5-2}) \quad (8.5.3-22)$$

POZNÁMKA 2. - Ak $L > 3\sqrt{R \cdot e_a}$ potom možno použiť $G = 0$.

POZNÁMKA 3. - Tabuľku 8.5-2 možno použiť na vyhodnotenie G a N .

b) vypočíta sa P_m ako v 8.5.2.2 b) pričom naďalej sa bude používať L z tabuľky 8.5-1;

c) stanoví sa P , ako v 8.5.2.2 c) a skontroluje sa, či je splnená rovnica (8.5.2-8).

$$\delta \cdot L = 0,0158 \cdot 1368,6 = 21,62$$

Tabuľka 8.5-2 - Hodnoty G a N , ktoré možno predpokladať

$\delta \cdot L$	G	N	$\delta \cdot L$	G	N
0	1,000	0	3,2	0,411	1,090
0,2	1,000	0,100	3,4	0,335	1,085
0,4	1,000	0,200	3,6	0,264	1,077
0,6	0,999	0,300	3,8	0,200	1,066
0,8	0,996	0,400	4,0	0,144	1,054
1,0	0,990	0,497	4,2	0,095	1,042
1,2	0,979	0,593	4,4	0,054	1,032
1,4	0,961	0,685	4,6	0,019	1,023
1,6	0,935	0,772	4,7	0,004	1,019
1,8	0,899	0,851	(4,73)	0,000	1,018
2,0	0,852	0,921	4,8	0,000	1,015
2,2	0,795	0,979	5,0	0,000	1,009
2,4	0,728	1,025	5,2	0,000	1,005
2,6	0,653	1,058	5,4	0,000	1,001
2,8	0,573	1,078	5,5	0,000	1,000
3,0	0,492	1,088	> 5,5	0,000	1,000

8.5.3.5 Vyhrievacie/ochladzovacie kanály

Tento článok udáva požiadavky na hrúbku valca, na ktorý sú pripojené obvodové vyhrievacie/ochladzovacie kanály. Takéto kanály sú známe aj ako polkruhové alebo privárané hady. Dva typické príklady konštrukcie vidieť na obrázkoch 8.5-11 a 8.5-12.

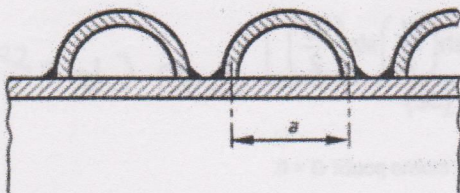
Hrúbka valca požadovaná na prenos tlaku v kanáloch je daná:

$$e = a \sqrt{\frac{P_c}{3f}} \tag{8.5.3-23}$$

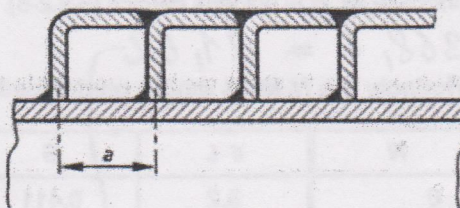
kde a je znázornená na obrázkoch 8.5-11 a 8.5-12.

Valec musí spĺňať aj požiadavky 7.4.2 (na vnútorný tlak), 8.5.3.6 alebo 8.5.3.7 (na vonkajší tlak) pri neuvažovaní tlaku v kanáloch. Kanály možno posudzovať ako výstuhy proti vonkajšiemu tlaku.

POZNÁMKA. – Rovnica (8.5.3-23) nezahŕňa tlak P , lebo ten sa prenáša membránovým zafixovaním valca.



Obrázok 8.5-11 – Duplikátory s vyhrievacími/ochladzovacími polkruhovými kanálmi



Obrázok 8.5-12 – Duplikátory s vyhrievacími/ochladzovacími komôrkovými kanálmi

8.5.3.6 Navrhovanie ľahkých výstuh

8.5.3.6.1 Všeobecne

Na zabránenie celkového preborenia/zrútenia sa musia navrhovať ľahké výstuhy v súlade s postupmi v článkoch 8.5.3.6.2, 8.5.3.6.3 a 8.5.3.6.4.

8.5.3.6.2 Navrhovanie proti elastickej nestabilite

Vypočíta sa P_0 pre $n = 2$ až $n = 6$ použitím:

$$P_0 = \frac{E \cdot e_a \cdot \beta}{R} + \frac{(n^2 - 1)}{R^3 \cdot L_s} E \cdot I_0 = \frac{2,023 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 0,00004^2}{1097} + \frac{(4^2 - 1) \cdot 2,023 \cdot 10^5 \cdot 466117}{1097^3 \cdot 1362} \tag{8.5.3-24}$$

$= 0,8333$

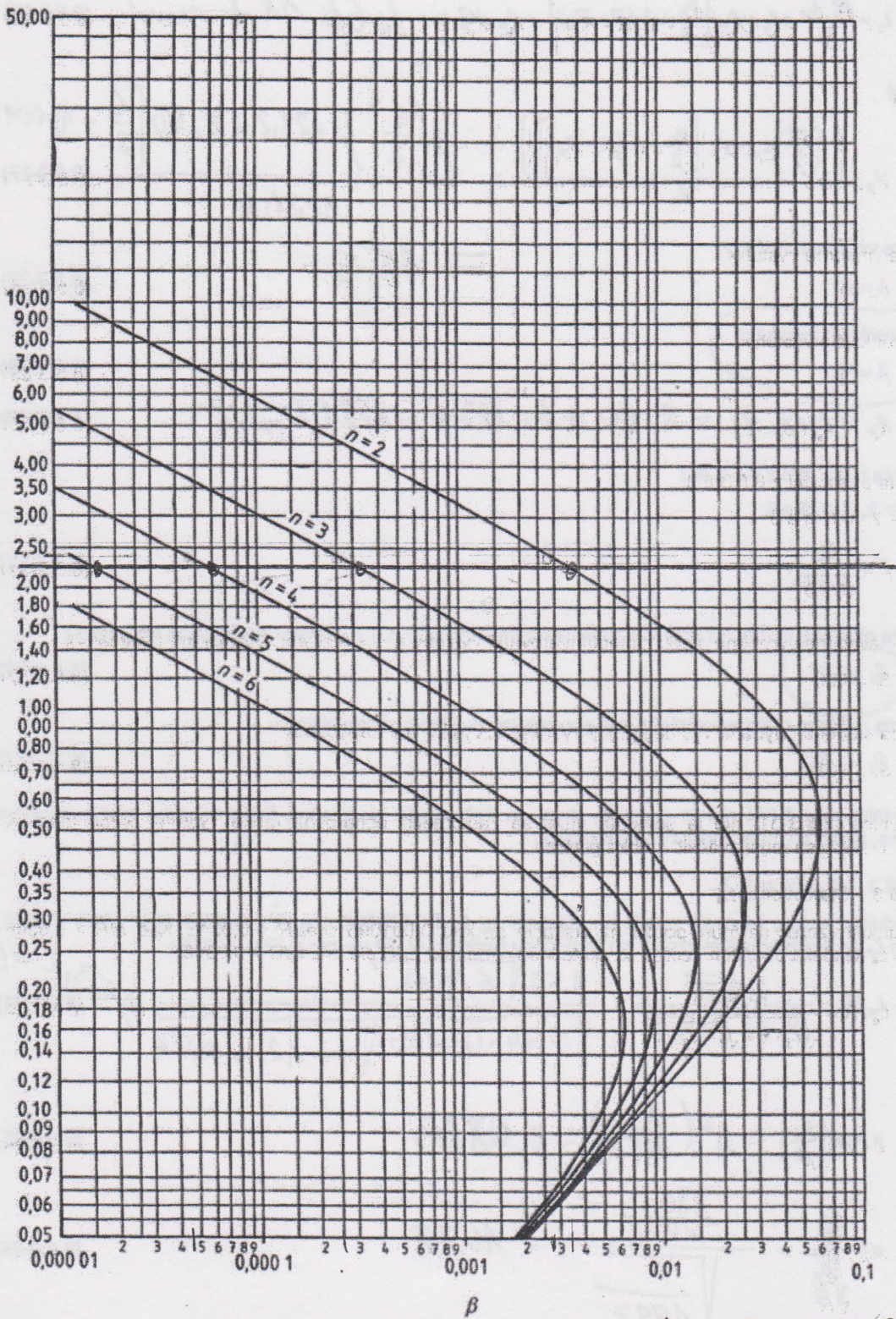
kde β je získané buď z obrázka 8.5-13, alebo vypočítané z:

$$\beta = \frac{1}{\left[n^2 - 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi R}{L_H} \right)^2 \right] \left[n^2 \left(\frac{L_H}{\pi R} \right)^2 + 1 \right]^2} \tag{8.5.3-25}$$

POZNÁMKA. – Obrázok 8.5-13 je nakreslený z rovnice (8.5.3-25).

L_s a L_H sú získané z tabuľky 8.5-1.

$L_{H2R} = 5451 / \sqrt{2} \cdot 10^{17} = 2,48$



152 m
 way urisio β , lebu Pg je vtedy way urisio

Obrázok 8.5-13 – Hodnoty β

- $n=2$ $\beta = 0,00265$
- $n=3$ $\beta = 0,000223$
- $n=4$ $\beta = 0,000039^2$
- $n=5$ $\beta = 0,0000103$
- $n=6$ $\beta = 0,0000034$

$$= \frac{6^3 \cdot 123,2}{3} + 144000 + 8 \cdot 60 \left[\frac{6}{2} - 1(1097 - 1130) \right]^2 - 1221,6 \cdot 15,9^2 =$$

$$\text{STN EN 13445-3} \quad \bar{I}_s = \frac{b h^3}{12} = \frac{8 \cdot 60^3}{12} = 144000 \text{ mm}^4$$

$$I_e = \frac{e_a^3 \cdot L_e}{3} + I_s + A_b \left[\frac{e_a}{2} + \lambda (R - R_s) \right]^2 - A_e \cdot X_e^2 = 466117 \text{ mm}^4 \quad (8.5.3-26)$$

v ktorej

$$X_e = \frac{\left\{ \left(\frac{e_a^2}{2} \right) L_e + A_b \left[\frac{e_a}{2} + \lambda (R - R_s) \right] \right\}}{A_b} = \frac{\left\{ \left(\frac{6^2}{2} \right) \cdot 123,2 + 8 \cdot 60 \left[\frac{6}{2} - 1(1097 - 1130) \right] \right\}}{1221,6} =$$

kde pre vnútorné výstupy:

$$\lambda = +1$$

$$= 15,9 \quad (8.5.3-28)$$

a pre vonkajšie výstupy:

$$\lambda = -1$$

(8.5.3-29)

$$A_b = A_s + e_a \cdot L_e = 8 \cdot 60 + 6 \cdot 123,6 = 1221,6 \text{ mm}^2 \quad (8.5.3-30)$$

Hodnota L_e sa určí z 8.5.3.6.3.

Pre $n = 2, 3, 4, 5$ a 6 :

$$P \leq \frac{P_g}{S_1 \times S} \quad (8.5.3-31)$$

kde pre osobitne vyrobené alebo za tepla tvarované výstupy (t. j. s nízkymi zvyškovými napätiami):

$$S_1 = 1,20$$

(8.5.3-32)

a pre za stúdena ohýbané výstupy (t. j. s vysokými zvyškovými napätiami):

$$S_1 = 1,33$$

(8.5.3-33)

Ak rovnica (8.5.3-31) nie je splnená, musí sa zabezpečiť dodatočná ľahká výstuha alebo masívna výstuha, alebo sa musí zväčšiť hrúbka plášťa.

8.5.3.6.3 Stanovenie L_e

Nasledujúci vzorec sa musí použiť na získanie L_e , keď $0,001095 \leq e_a/R \leq 0,0346$. Keď $e_a/R > 0,0346$, potom L_e sa získa použitím vzorca so skutočnou hodnotou L_e/R ale pre $e_a/R = 0,0346$.

$$L_e/R = \frac{Y_1 \sqrt{e_a/R}}{\sqrt{Y_3 \cdot x + \sqrt{1 + Y_2 \cdot x^2}}} = \frac{1,57 \sqrt{6/1097}}{\sqrt{0,174 \cdot 0,0875 + \sqrt{1 + 1,2 \cdot 0,0875^2}}} \Rightarrow 123,2 = L_e \quad (8.5.3-34)$$

kde

$$x = n^2 \left(\frac{e_a}{R} \right) = 4^2 \left(\frac{6}{1097} \right) = 0,0875 \quad (8.5.3-35)$$

$$u = \frac{L_s}{R} = \frac{1362}{1097} = 16,78 \quad (8.5.3-36)$$

Hodnoty Y_1 , Y_2 a Y_3 udáva tabuľka 8.5-3

$$\rightarrow \frac{e_a}{R} = \frac{6}{1097} = 0,0055$$

Tabuľka 8.5-3 – Parametre na výpočet L_s

Pre $u =$	$Y_1 =$	$Y_2 =$	$Y_3 =$
$u \leq 1$	$u/(1/1,098 + 0,03u^3)$	0	$0,6(1 - 0,27u)u^2$
$1 < u < 2,2$		$u - 1$	
$2,2 \leq u \leq 2,9$		1,2	
$2,9 < u < 4,1$	$1,2 + 1,642/u$	1,2	$0,75 + 1,0/u$
$4,1 \leq u < 5$	$1,556 + 0,183/u =$		$0,65 + 1,5/u =$
$(5 \leq u)$	$= 1,556 + 0,183/16,78 =$		

$$\sqrt{16,78} = 1,57$$

$$= 0,65 + 1,5/16,78 = 0,74$$

8.5.3.6.4 Maximálne napätia vo výstuchoch

σ_s sa musí vypočítať zo vzťahu:

$$\sigma_s = S \cdot S_1 \left(\frac{P \cdot \sigma_{es}}{P_{ys}} \right) + \frac{E \cdot \bar{d} \cdot 0,005 (n^2 - 1) P \cdot S \cdot S_1}{R (P_g - P \cdot S \cdot S_1)} \quad (8.5.3-37)$$

kde $= 1,5 \cdot 1,2 \left(\frac{0,11 \cdot 223}{2,366} \right) + \frac{2,023 \cdot 10^5 \cdot 50,1 (4^2 - 1) \cdot 0,1 \cdot 15 \cdot 1,2 \cdot 0,005}{1097 (0,833 - 0,1 \cdot 1,5 \cdot 1,2)} = 207,9 \text{ MPa}$

$$P_{ys} = \frac{\sigma_{es} \cdot e_a \cdot R_f}{R^2 \left(1 - \frac{\nu}{2} \right)} \left[1 + \frac{A_m}{w_i \cdot e_a + \frac{2N \cdot e_a}{\delta}} \right] = \frac{223 \cdot 6 \cdot 1160}{1097^2 \left(1 - \frac{0,3}{2} \right)} \left[1 + \frac{452}{8,6 + \frac{2 \cdot 1 \cdot 6}{0,018}} \right] \quad (8.5.3-38)$$

kde A_m je dané rovnicou (8.5.3-17);

δ dané rovnicou (8.5.3-19);

N dané rovnicou (8.5.3-21) alebo tabuľkou 8.5-2;

A pre každú výstuhu:

$$w_i = w'_i + w''_i \quad (8.5.3-39)$$

a

$$\bar{d} = \max \left\{ \left[\lambda (R - R_f) - X_e + \frac{e_a}{2} \right]; X_e \right\} = \max \left\{ \left[-1(1097 - 1160) - 15,9 + \frac{6}{2} \right]; 15,9 \right\} =$$

S_1 je dané rovnicou (8.5.3-32) alebo (8.5.3-33);

P_g dané rovnicou (8.5.3-24).

$$= \max \{ 50,1; 15,9 \} = 50,1$$

Pre celý výpočet platí:

- dĺžky L , L_s musí byť v súlade s tabuľkou 8.5-1;
- L_s sa získa z 8.5.3.6.3 pre každú hodnotu n .

Pre $n = 2, 3, 4, 5$ a 6 :

$$0 \leq \sigma_s \leq \sigma_{es} \quad 0 \leq 93,6 \leq \sigma_{es} = 223 \quad (8.5.3-41)$$

Ak nie je splnená rovnica (8.5.3-41) musí byť zabezpečená dodatočná výstuha, masívnejšia výstuha alebo zväčšená hrúbka plášťa.

POZNÁMKA. – Zjednodušenie $A_m = 0$ je vždy prístupné, ale vyvolá väčší prierez výstuhu.