

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 dná.

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 výstuhy (angl. **stiffener tripping**): bočné zakrivenie výstuhy 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 výstuhy a voľná dĺžka plášťa, pozri rovnicu (8.5.3-30);
A_r	prierez príruby výstuhy;
A_m	modifikovaný prierez výstuhy, pozri rovnicu (8.5.3-17);
A_s	prierez výstuhy;
A_w	prierez steny;
B	parameter výpočtu preborenia/zrútenia medzi výstuhami, pozri rovnicu (8.5.3-18);
C	súčiniteľ výpočtu vybočenia výstuhy, pozri rovnice (8.5.3-50) a (8.5.3-51);
CG_s	vyjadruje polohu ťažiska výstuhy;
CG_c	vyjadruje ťažisko výstuhy plus voľnú dĺžku plášťa;
\bar{d}	vzdialenosť ku koncu výstuhy, pozri rovnicu (8.5.3-40);
d	radiálna výška výstuhy medzi prírubami, pozri obrázky 8.5-14, 8.5-15, 8.5-16 a 8.5-17;
e_r	hrúbka príruby výstuhy;
e_w	hrúbka steny výstuhy;
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 výstuhy 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 výstuhy;
I_t	moment zotrvačnosti plochy príruby okolo jej ťažiska;

I_s	moment zotrvačnosti plochy prierezu výstuhu okolo osi prechádzajúcej cez ťažisko rovnobežne s osou valca;
I_w	moment zotrvačnosti plochy steny okolo jej ťažiska;
L	nepodopretá dĺžka plášťa;
L_{cyl}	dĺžka valca medzi dotyčnicami;
L_{con}	axiálna dĺžka kužela, 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 prifahlých k ľahkej výstuhe, pozri tabuľku 8.5-1;
L_{sH}	stredná dĺžka dvoch polí plášťa prifahlých 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 vlín pre vystužený valec;
n_{cyl}	počet obvodových vlín 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, kužefovitého alebo gufovitého 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 kužefovitom plášti v strede medzi výstuhami alebo v gufovitom 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 gufovitého plášťa alebo stredný polomer prstenca torosférického dna;
R_f	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_f	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 kužeľovitý 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:

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

a pre výstuhu z rovnakého materiálu:

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

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 $R_{p1,0}/1,3$.

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.

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 prevyší 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 %.

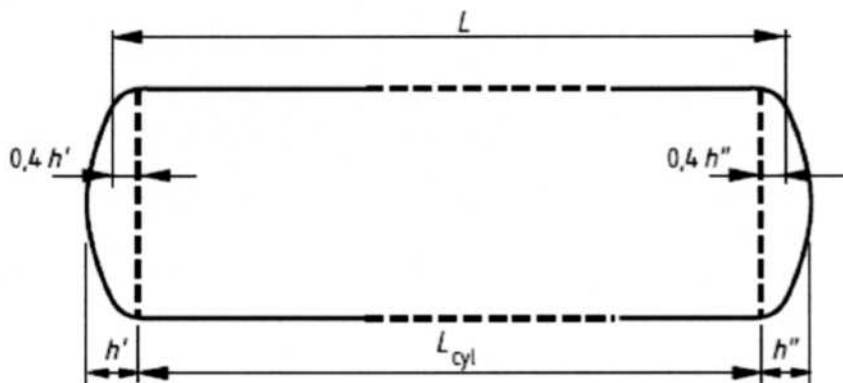
POZNÁMKA. – V praxi sa zistilo, že vo väčšine prípadov, kde nie je splnená tolerancia kruhovitosti valca, použitím prílohy F sa musí preukázať, že skutočný tvar je prijateľný. To sa však nesmie predpokladať bez dodržania postupu prílohy F.

8.5.2 Nevystužené valce

8.5.2.1 Nepodopretá dĺžka

Na obrázku 8.5-1, L je dané:

$$L = L_{\text{cyl}} + 0,4h' + 0,4h'' \quad (8.5.2-1)$$



Obrázok 8.5-1 – Valec s dnami

Na obrázku 8.5-2, L je dané:

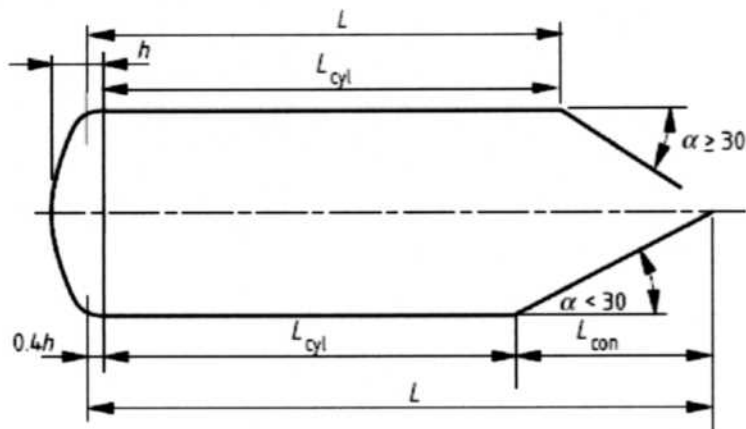
keď $\alpha \geq 30^\circ$.

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

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;

$$P_y = \frac{\sigma_e \cdot e_a}{R} \quad (8.5.2-4)$$

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

$$P_m = \frac{E \cdot e_a \cdot \varepsilon}{R} \quad (8.5.2-5)$$

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.

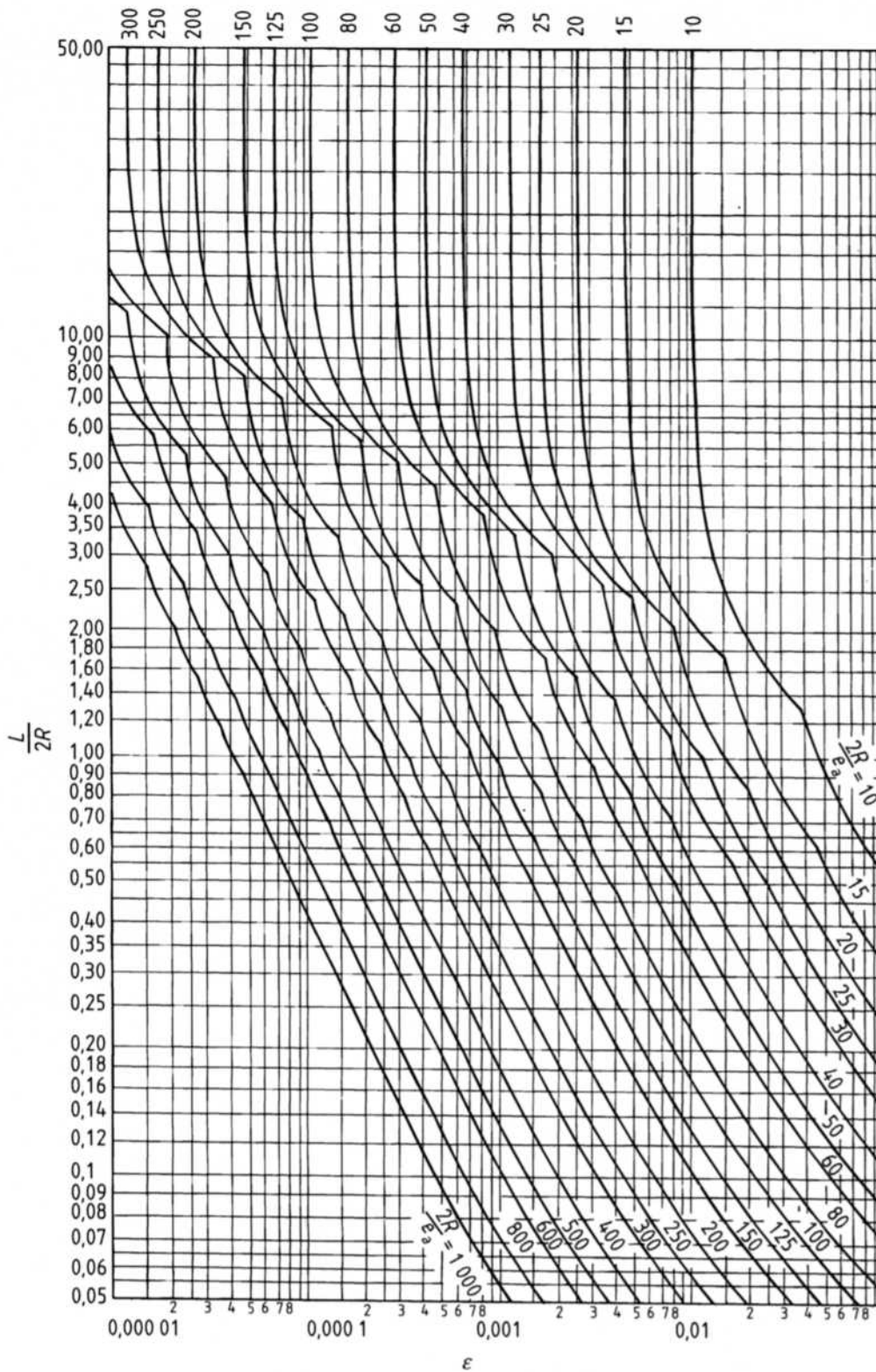
POZNÁMKA. – Obrázok 8.5-3 je nakreslený podľa rovnice (8.5.2-6).

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

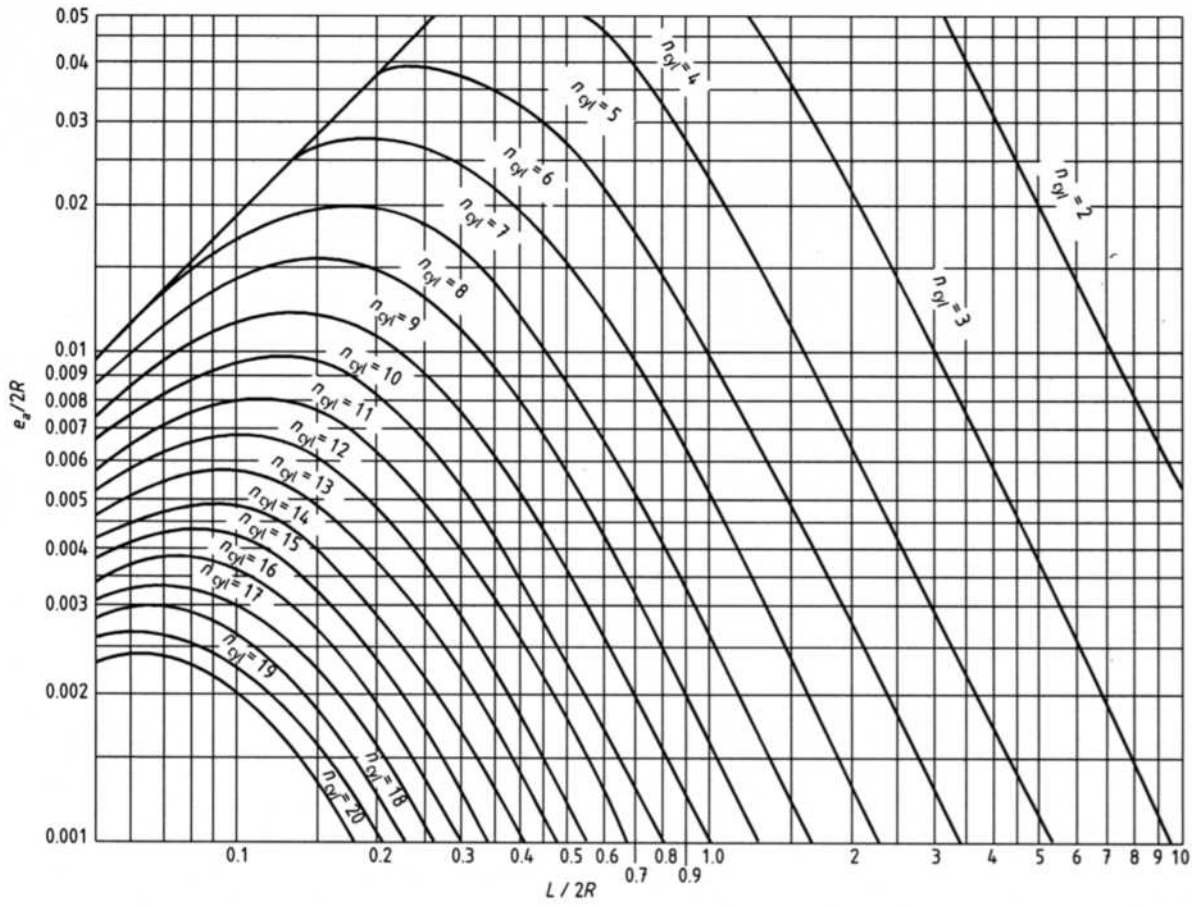
Musí sa splniť nasledujúca podmienka:

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

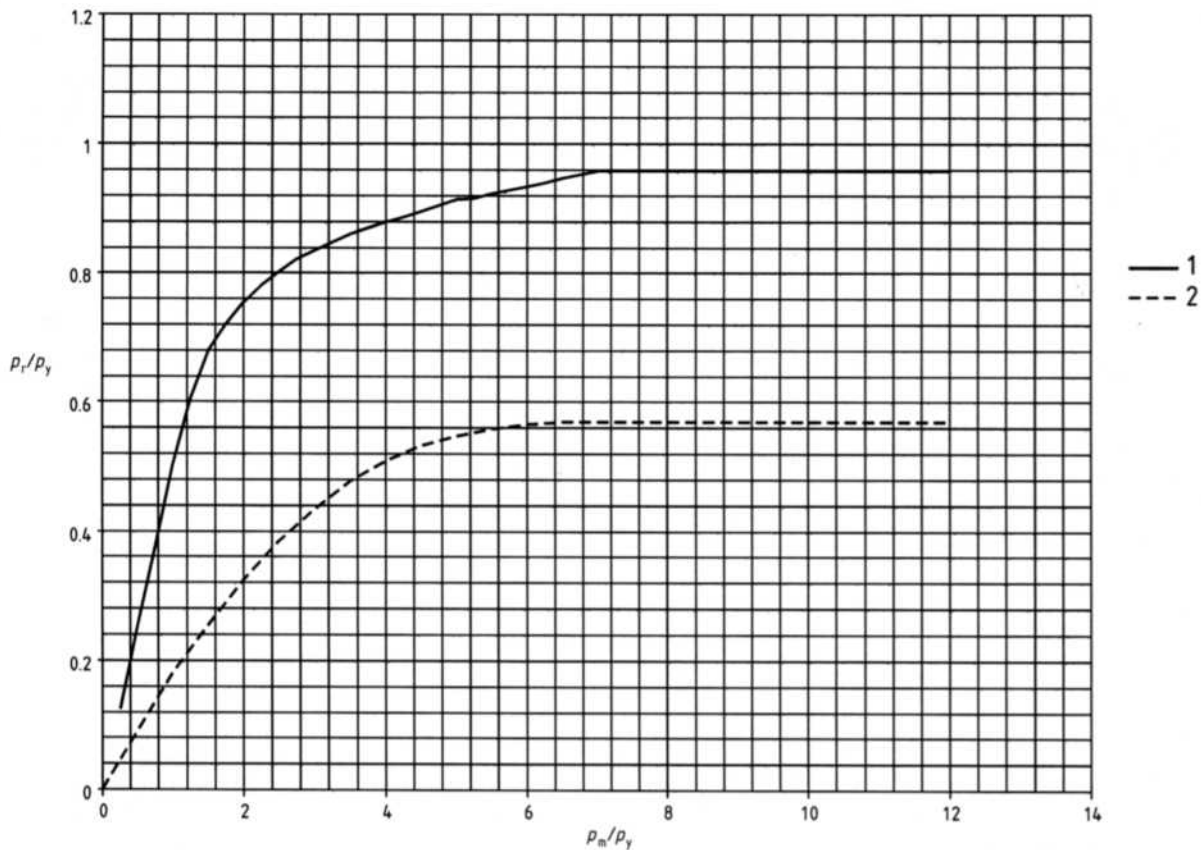
Ak P_r je veľmi malý, hrúbka sa musí zväčšiť alebo sa musí zabezpečiť výstuha a postup sa musí zopakovať.

Obrázok 8.5-3 – Hodnoty ε

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



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



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 výstuhy sa musia navrhnuť buď ako masívne alebo ľahké. Je prípustné nepovažovať malé obvodové prstence ako výstuhy.

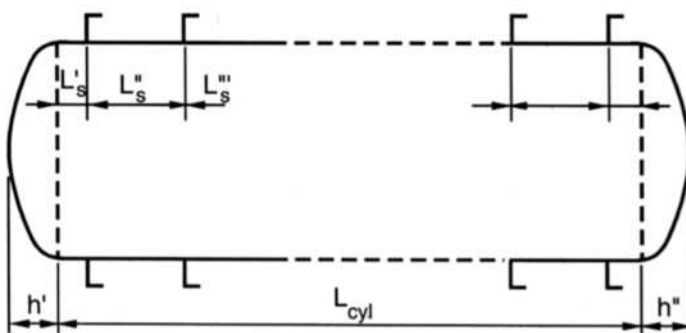
POZNÁMKA. – Masívna výstuha je zvyčajne obvodová prírubá alebo iná hlavná časť, ale môže ňou byť predovšetkým bežná výstuha. Ľahká výstuha je zvyčajne prstenec, profil T, uholník alebo profil tvaru I. Vo väčšine praktických prípadov musí byť určitý počet výstuh rovnomerne rozložený pozdĺž valca. Potom je najekonomickejšie navrhnuť všetky výstuhy ako ľahké, lebo výpočet celkového tlaku do zrútenia zohľadní odpor plášťa 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

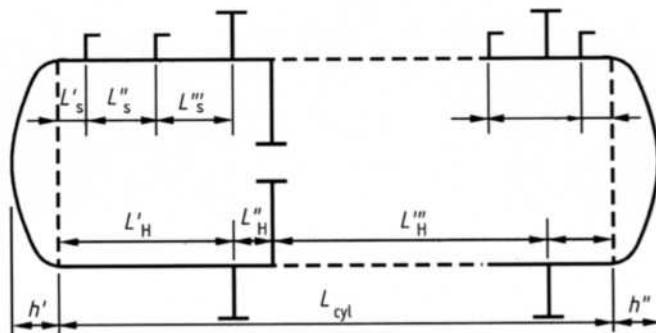
Nevystužené dĺžky valca s výstuhami musia byť v súlade s tabuľkou 8.5-1. Rozmery sú uvedené na obrázkoch 8.5-6, 8.5-7 a 8.5-8.

Tabuľka 8.5-1 – Definícia dĺžky valca

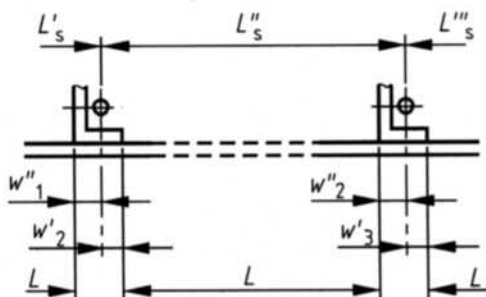
Valec s ľahkými výstuhami	Valec s ľahkými a masívnymi výstuhami
Samostatne pre každé pole	Samostatne pre každé pole
$L = (L'_s - w'_1) + 0,4h'$ (8.5.3-1)	$L = (L'_s - w'_1) + 0,4h'$ (8.5.3-3)
alebo	alebo
$L = L''_s - w'_2 - w''_2$ (8.5.3-2)	$L = L''_s - w'_2 - w''_2$ (8.5.3-4)
	alebo
	$L = L''_s - w'_3 - w''_3$ (8.5.3-5)
Samostatne na každú ľahkú výstuhu	Samostatne na každú ľahkú výstuhu
$L_s = (L'_s + 0,4h' + L''_s) / 2$ (8.5.3-6)	$L_s = (L'_s + 0,4h' + L''_s) / 2$ (8.5.3-8)
alebo	alebo
$L_s = (L''_s + L'''_s) / 2$ (8.5.3-7)	$L_s = (L''_s + L'''_s) / 2$ (8.5.3-9)
Na vyhodnotenie β	Na vyhodnotenie β
$L_H = L_{cyl} + 0,4h' + 0,4h''$ (8.5.3-10)	$L_H = L'_H + 0,4h'$ (8.5.3-11)
	Alebo
	$L_H = L''_H$ (8.5.3-12)
	Na každú masívnu výstuhu
	$L_{sH} = (L'_H + 0,4h' + L''_H) / 2$ (8.5.3-13)
	alebo
	$L_{sH} = (L''_H + L'''_H) / 2$ (8.5.3-14)



Obrázok 8.5-6 – Valec s ľahkými výstuhami



Obrázok 8.5-7 – Valec s ľahkými a masívnymi výstuhami

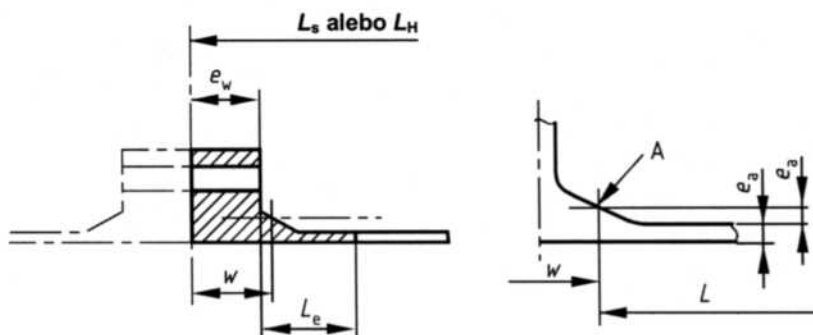


Obrázok 8.5-8 – Podrobné rozmery

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 $e_a(e_w + L_e)$.

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 zaťaženiam procesu.

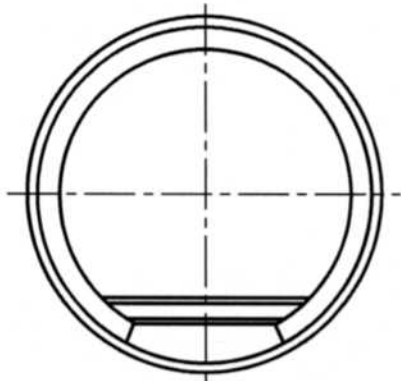
Tam, kde medzi vystužovacím prstencom a plášťom je medzera, dĺžka nevystuženého plášťa nesmie prevýšiť:

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

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 – Vnútorý 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 masívnych výstuh;

a) vypočítame P_y takto:

$$P_y = \frac{\sigma_e \cdot e_a}{R (1 - \gamma \cdot G)} \quad (8.5.3-15)$$

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

V ktorej

$$\gamma = \frac{A_m \left(1 - \frac{\nu}{2}\right)}{(A_m + w \cdot e_a) (1 + B)} \quad (8.5.3-16)$$

kde

$$A_m = \left(\frac{R^2}{R_s^2}\right) A_s \quad (8.5.3-17)$$

$$B = \frac{2 e_a \cdot N}{\delta (A_m + w \cdot e_a)} \quad (8.5.3-18)$$

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

z ktorej, ak $\nu = 0,3$

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

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

a

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

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

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.

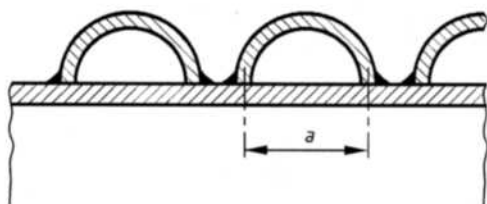
Hrúbka valca požadovaná na prenos tlaku v kanáloch je daná:

$$e = a \sqrt{\frac{P_c}{3f}} \quad (8.5.3-23)$$

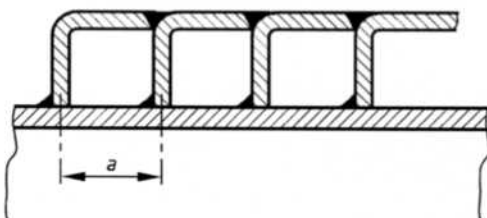
kde a je znázornená na obrázkoch 8.5-11 a 8.5-12.

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 zafažením 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_g pre $n = 2$ až $n = 6$ použitím:

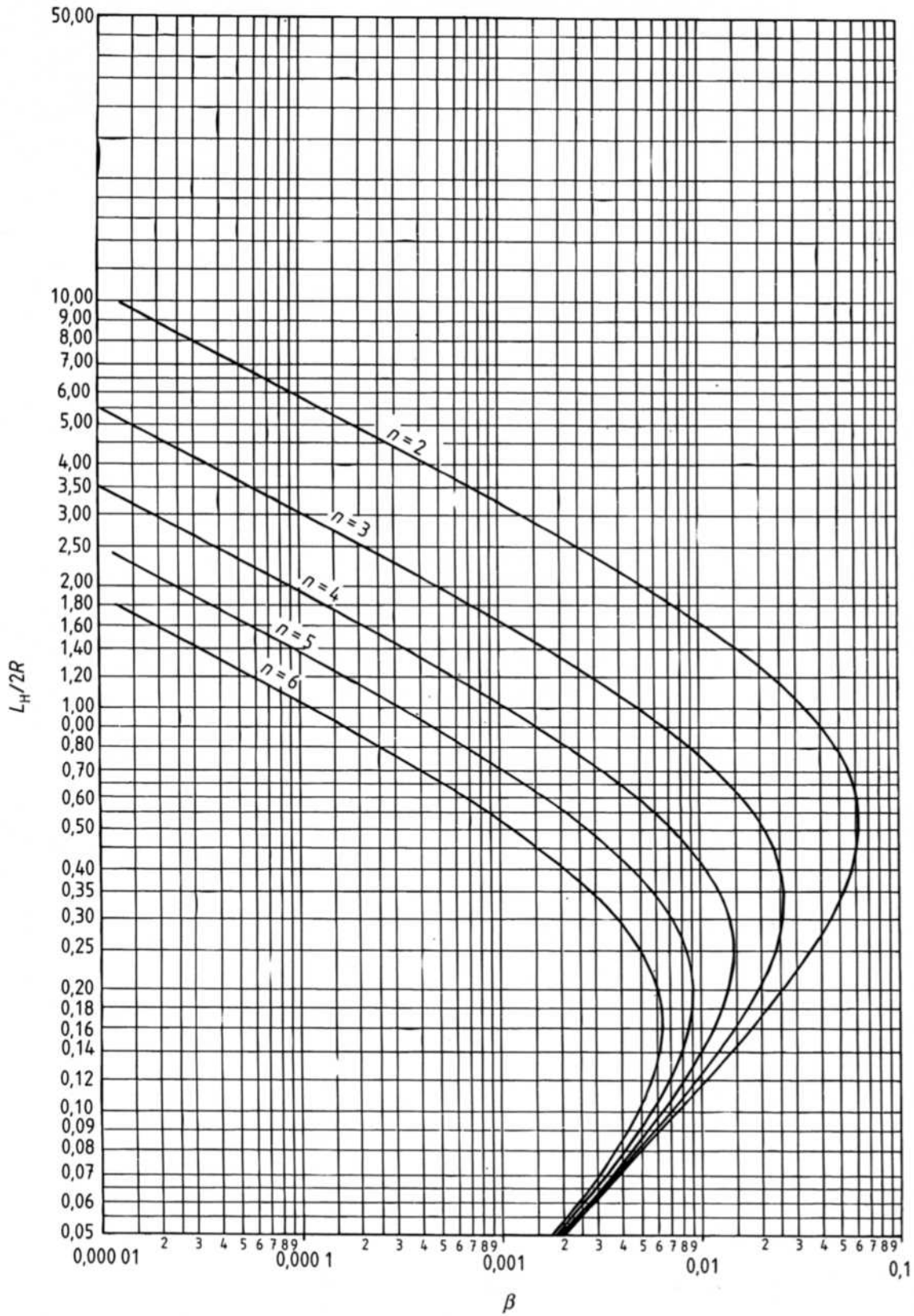
$$P_g = \frac{E \cdot e_a \cdot \beta}{R} + \frac{(n^2 - 1)}{R^3 \cdot L_s} E \cdot I_e \quad (8.5.3-24)$$

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

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

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.

Obrázok 8.5-13 – Hodnoty β

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

v ktorej

$$X_e = \frac{\left\{ \left(\frac{e_a^2}{2} \right) L_e + A_s \left[\frac{e_a}{2} + \lambda (R - R_s) \right] \right\}}{A_e} \quad (8.5.3-27)$$

kde pre vnútorné výstupy:

$$\lambda = +1 \quad (8.5.3-28)$$

a pre vonkajšie výstupy:

$$\lambda = -1 \quad (8.5.3-29)$$

$$A_e = A_s + e_a \cdot L_e \quad (8.5.3-30)$$

Hodnota L_e sa určí z 8.5.3.6.3.

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

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

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

$$S_f = 1,20 \quad (8.5.3-32)$$

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

$$S_f = 1,33 \quad (8.5.3-33)$$

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 $e/R > 0,0346$, potom L_e sa získa použitím vzorca so skutočnou hodnotou L_e/R ale pre $e_a/R = 0,0346$.

$$L_e/R = \frac{Y_1 \sqrt{e_a/R}}{\sqrt{Y_3 \cdot x + \sqrt{1 + Y_2 \cdot x^2}}} \quad (8.5.3-34)$$

kde

$$x = n^2 \left(\frac{e_a}{R} \right) \quad (8.5.3-35)$$

$$u = \frac{\frac{L_s}{R}}{\sqrt{\frac{e_a}{R}}} \quad (8.5.3-36)$$

Hodnoty Y_1 , Y_2 a Y_3 udáva tabuľka 8.5-3

Tabuľka 8.5-3 – Parametre na výpočet L_e

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	$0,75 + 1,0/u$
$4,1 \leq u < 5$	$1,556 + 0,183/u$		
$5 \leq u$			$0,65 + 1,5/u$

8.5.3.6.4 Maximálne napätia vo výstuhoch

σ_s sa musí vypočítať zo vzťahu:

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

kde

$$p_{ys} = \frac{\sigma_{es} \cdot e_a \cdot R_f}{R^2 \left(1 - \frac{\nu}{2} \right)} \left[1 + \frac{A_m}{w_i \cdot e_a + \frac{2 N \cdot e_a}{\delta}} \right] \quad (8.5.3-38)$$

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

$$\bar{d} = \max \left\{ \left[\lambda (R - R_f) - X_e + \frac{e_a}{2} \right]; X_e \right\} \quad (8.5.3-40)$$

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

P_g dané rovnicou (8.5.3-24).

Pre celý výpočet platí:

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

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

$$0 \leq \sigma_s \leq \sigma_{es} \quad (8.5.3-41)$$

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 výstuhy.

8.5.3.7 Navrhovanie masívnych výstuh

8.5.3.7.1 Stanovenie tlaku do preborenia/zrútenia (straty stability)

Pre každú masívnu výstuhu sa vypočíta:

$$P_H = \frac{3}{R^3 \cdot L_{sH}} E \cdot I_{eH} \quad (8.5.3-42)$$

kde L_{sH} je v súlade s tabuľkou 8.5-1;

$$I_{eH} = \frac{e_a^3 \times L_{eH}}{3} + I_s + A_s \left[\frac{e_a}{2} + \lambda (R - R_s) \right]^2 - A_e \times X_{eH}^2 \quad (8.5.3-43)$$

kde L_{eH} je stanovené z rovnice (8.5.3-34) s $L_s = L_{sH}$ v rovnici (8.5.3-36);

$$X_{eH} = \frac{\frac{e_a^2 \cdot L_{eH}}{2} + A_s \left[\frac{e_a}{2} + \lambda (R - R_s) \right]}{A_e} \quad (8.5.3-44)$$

λ je z rovnice (8.5.3-28) alebo (8.5.3-29);

$$A_e = A_s + e_a \times L_{eH} \quad (8.5.3-45)$$

Pre každú masívnu výstuhu sa požaduje, aby:

$$P \leq \frac{P_H}{S_f \times S} \quad (8.5.3-46)$$

kde S_f je dané rovnicou (8.5.3-32) alebo (8.5.3-33).

8.5.3.7.2 Stanovenie maximálneho napätia

Vypočítame σ_H takto:

$$\sigma_H = S \cdot S_f \frac{P \cdot \sigma_s}{P_{ys}} + \frac{E \cdot \bar{d} \cdot 0,015P \cdot S \cdot S_f}{R (P_H - P \cdot S \cdot S_f)} \quad (8.5.3-47)$$

kde P_{ys} je dané rovnicou (8.5.3-38)

POZNÁMKA. – To je rovnaký vzorec ako vzorec pre σ_s pri navrhovaní ľahkej výstuhu, ale s $n = 2$.

σ_H musí splniť požiadavku:

$$0 < \sigma_H < \sigma_{es} \quad (8.5.3-48)$$

Dodatočná výstuha, masívnejšia výstuha alebo zväčšená hrúbka plášťa sa musia zabezpečiť, ak nie je splnená rovnica (8.5.3-48).

8.5.3.8 Preborenie/Zrútenie výstuh

8.5.3.8.1 Pre výstuhu okrem tvaru plochej tyče

a) σ_l musí splniť požiadavku:

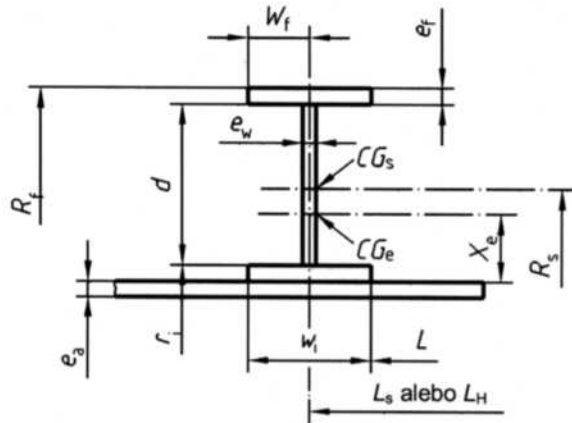
$$\sigma_l = E \cdot C \left(\frac{P_{ys}}{P} \right) > \sigma_{es} \quad (8.5.3-49)$$

Pre výstuhu znázornené na obrázkoch 8.5-14, 8.5-15 a 8.5-17, C sa musí vypočítať takto:

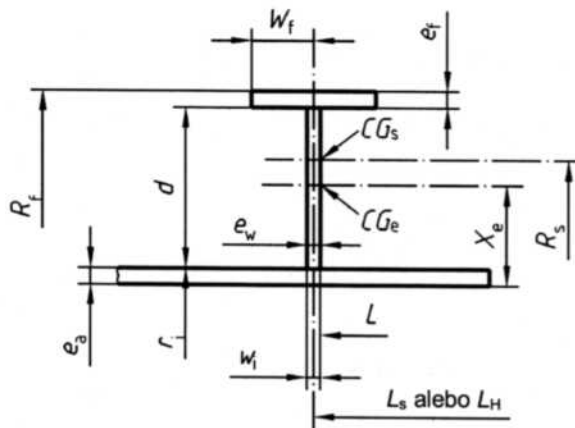
$$C = \frac{d \cdot e_w^3 + 8 e_f \cdot w_f^3}{r_i \left[6 d^2 \cdot e_w + 12 e_f \cdot w_f (2 d + e_f) \right]} \quad (8.5.3-50)$$

a pre výstuhu znázornenú na obrázku 8.5-16, C je:

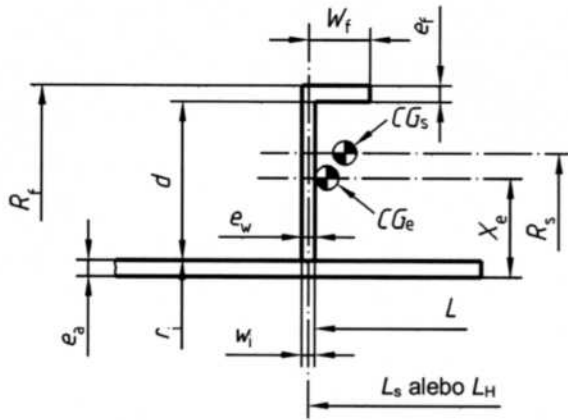
$$C = \frac{e_f \cdot w_f^3}{r_i \left[6 d^2 \cdot e_w + 6 e_f \cdot w_f (2 d + e_f) \right]} \cdot \left[\frac{4 d \cdot e_w + 8 w_f \cdot e_f}{d \cdot e_w + 3 w_f \cdot e_f} \right] \quad (8.5.3-51)$$



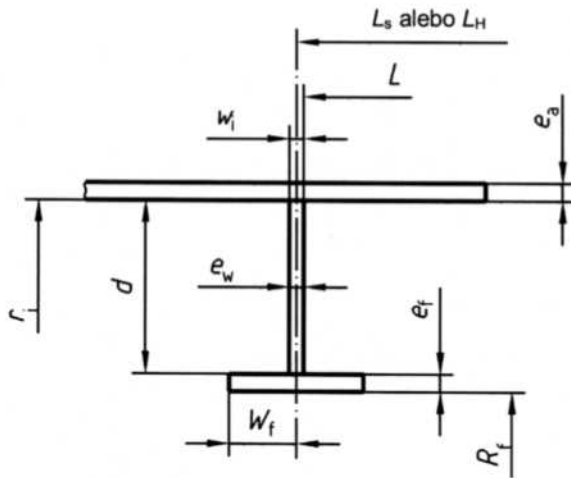
Obrázok 8.5-14 – Vonkajšia výstuha tvaru I



Obrázok 8.5-15 – Vonkajšia výstuha tvaru T



Obrázok 8.5-16 – Vonkajšia uholníková výstuha



Obrázok 8.5-17 – Vnútorňa výstuha tvaru T

b) Ak je výstuha tvorená pásnicou na okraji vzdialenom od plášťa nádoby, pomerné rozmery výstuh musia vyhovieť nasledujúcemu:

$$\frac{d}{e_w} \leq \max \left(1,1 \sqrt{\frac{E}{\sigma_{es}}}; 0,67 \sqrt{\frac{E \cdot P_{ys}}{\sigma_{es} \cdot P}} \right) \quad (8.5.3-52)$$

alebo

$$\frac{w_f}{e_f} \leq \max \left(0,5 \sqrt{\frac{E}{\sigma_{es}}}; 0,32 \sqrt{\frac{E \cdot P_{ys}}{\sigma_{es} \cdot P}} \right) \quad (8.5.3-53)$$

8.5.3.8.2 Pre výstuhu tvaru plochej tyče

$$\frac{\sigma_i}{4} > \frac{P \cdot \sigma_{es}}{P_{ys}} \quad (8.5.3-54)$$

σ_i sa musí získať z tabuľky 8.5-4 pre vnútorné výstupy alebo z tabuľky 8.5-5 pre vonkajšie výstupy použitím hodnoty n_{cyl} z obrázka 8.5-4.

Tabuľka 8.5-4 – Hodnoty $(\sigma_i/E)(d/e_w)^2$ pre vnútorné výstupy tvaru plochých tyčí

d/R n_{cyl}	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
2	0,0119	0,0236	0,0466	0,0691	0,0913	0,114	0,135	0,157	0,180	0,202	0,225
3	0,0239	0,0461	0,0865	0,123	0,156	0,187	0,217	0,247	0,276	0,305	0,334
4	0,0395	0,0734	0,130	0,176	0,216	0,252	0,286	0,319	0,353	0,386	0,421
5	0,0577	0,103	0,171	0,223	0,266	0,304	0,341	0,378	0,416	0,456	0,498
6	0,0778	0,132	0,208	0,262	0,306	0,347	0,387	0,428	0,472	0,517	0,570
7	0,0981	0,160	0,240	0,294	0,340	0,382	0,427	0,474	0,527	0,580	0,643
8	0,119	0,186	0,268	0,322	0,369	0,415	0,465	0,517	0,580	0,647	0,725
9	0,139	0,210	0,290	0,345	0,394	0,445	0,502	0,565	0,638	0,720	0,812
10	0,158	0,231	0,310	0,365	0,417	0,474	0,536	0,614	0,696	0,792	0,903
11	0,176	0,249	0,328	0,383	0,440	0,502	0,575	0,662	0,758	0,874	1,010
12	0,193	0,266	0,343	0,400	0,461	0,531	0,614	0,715	0,831	0,966	1,121
13	0,209	0,280	0,356	0,416	0,483	0,560	0,657	0,768	0,903	1,058	–
14	0,224	0,293	0,368	0,431	0,502	0,594	0,700	0,831	0,981	–	–
15	0,237	0,304	0,379	0,446	0,527	0,628	0,749	0,894	1,068	–	–
16	0,249	0,314	0,389	0,461	0,551	0,662	0,797	0,961	–	–	–
17	0,260	0,324	0,399	0,476	0,575	0,696	0,850	1,034	–	–	–
18	0,270	0,332	0,409	0,493	0,599	0,734	0,903	1,106	–	–	–
19	0,279	0,339	0,418	0,507	0,623	0,773	0,961	–	–	–	–
20	0,287	0,346	0,427	0,522	0,652	0,816	1,019	–	–	–	–

POZNÁMKA 1. – Keďže $(\sigma_i/E)(d/e_w)^2$ je limitované na maximálnu hodnotu 1,14, hodnoty výrazu nesmú byť extrapolované nad túto hodnotu.

POZNÁMKA 2. – Pre medziľahlé hodnoty d/R , sa použije (desiatková) logaritmickej interpolácia.

PRÍKLAD

Pre $n_{cyl} = 2$, hodnota $(\sigma_i/E)(d/e_w)^2$ sa požaduje pre $d/R = 0,05$. Potom:

$$z = \lg(0,0466) + [\lg(0,0691) - \lg(0,0466)] \left[\frac{0,05 - 0,04}{0,06 - 0,04} \right]$$

$$(\sigma_i/E)(d/e_w)^2 = 10^z = 0,0567$$

Tabuľka 8.5-5 – Hodnoty $(\sigma/E) (d/e_w)^2$ pre vonkajšie výstuhy v tvare plochých tyčí

d/R n_{cyl}	0,01	0,011	0,012	0,015	0,02	0,025	0,03	0,04	0,045	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
2	0,012	0,0132	0,0144	0,0180	0,0241	0,0303	0,0366	0,0492	0,0557	0,0622	0,0755	0,103	0,133	0,164	0,198	0,236	0,277	0,324
3	0,0257	0,0284	0,0311	0,0374	0,0537	0,0687	0,0846	0,119	0,138	0,157	0,201	0,310	0,462	0,695	1,10	1,99*		
4	0,0466	0,0517	0,0570	0,0734	0,103	0,137	0,175	0,268	0,326	0,395	0,581	1,44*						
5	0,0768	0,0860	0,0955	0,126	0,187	0,263	0,361	0,679	0,965	1,46*								
6	0,120	0,136	0,153	0,211	0,340	0,537	0,881	1,44*										
7	0,183	0,211	0,242	0,356	0,677	1,48*												
8	0,279	0,331	0,390	0,648	1,92*													
9	0,438	0,541	0,676	1,49*														
10	0,736	0,998	1,42*															
11	1,49*																	

* Tieto hodnoty sú uvedené, aby bolo možné interpolovať medziahľé hodnoty.

POZNÁMKA 1. – Vydutie nemôže nastáť pre $n > 10$, $d/R > 0,01$ pod vonkajším tlakom.POZNÁMKA 2. – $(\sigma/E) (d/e_w)^2$ je limitované na maximálnu hodnotu 1,14.POZNÁMKA 3. – Na stanovenie medziahľých hodnôt d/R sa použije logaritmická interpolácia.

8.6 Kuželovitý plášť

8.6.1 Všeobecne

Táto kapitola stanovuje požiadavky na hrúbku kuželovitého plášťa s $\alpha \leq 75^\circ$.

Tolerancie musia byť ako pre valcovité plášte – pozri 8.5.1

POZNÁMKA. – Postup je podobný ako v prípade valcovitých plášťov.

8.6.2 Dodatočné označenie špecifické pre kužele

Nasledujúce značky a skratky platia okrem tých, ktoré sú uvedené v 8.3.

- d' je vzdialenosť od vonkajšieho konca výstuhu, pozri rovnicu (8.6.4-8);
- e minimálna hrúbka po celej dĺžke kužefa;
- I'_e moment zotrvačnosti plochy kombinovaného plášťa a výstuhu, pozri rovnicu (8.6.4-2);
- $I'_{e,i}$ kombinovaný moment zotrvačnosti plochy výstuhu i a plášťa vo vzdialenosti osi X_i od malého priemeru kužefa a prevzatím hodnôt pre e_a samostatne pre každé pole, pozri rovnicu (8.6.4-2 a 8.6.4-14);
- L'_e, L''_e sú voľné dĺžky plášťa prifahlého k výstuhe, pozri obrázok 8.6-1;
- N_Y počet polí medzi ľahkými výstuhami v dĺžke L_H ;
- R_i stredný polomer najtenšej časti kužefa meraný v rovine výstuhu i , pozri obrázok 8.6-6;
- R_{\max} maximálny polomer plášťa kužefa na kontrolu preborenia/zrútenia medzi výstuhami, pozri obrázky 8.6-2, 8.6-3 a 8.6-6;
- \bar{R}_{\max} maximálny polomer plášťa kužefa na kontrolu celkového preborenia/zrútenia, pozri obrázok 8.6-4 a 8.6-5;
- R_n stredný polomer plášťa kužefa na kontrolu preborenia/zrútenia medzi výstuhami, pozri obrázky 8.6-2, 8.6-3 a 8.6-6;
- \bar{R}_n stredný polomer plášťa kužefa pre kontrolu celkového zrútenia, pozri obrázok 8.6-4 a 8.6-5;
- X_w vzdialenosť od ťažiska steny k ťažisku kombinovanej výstuhu a plášťa, pozri obrázok 8.6-1;
- X_i vzdialenosť od ťažiska príruby k ťažisku kombinovanej výstuhu a plášťa, pozri obrázok 8.6-1;
- X'_s, X''_s sú vzdialenosti od ťažiska kombinovanej výstuhu a plášťa ku ťažisku efektívnych prierezov plášťa prifahlého k výstuhe, pozri obrázok 8.6-1;
- X_i osový rozstup výstuhu i , pozri obrázok 8.6-6;
- σ_1 maximálne obvodové napätie na styku bez vystuženia;
- σ_2 maximálne obvodové napätie vo valci, pozri rovnicu (8.6.5-1).

8.6.3 Preborenie/Zrútenie medzi výstuhami

Nasledujúci postup sa musí použiť na navrhovanie kuželov v súlade s obrázkom 8.6-2 na zabránenie preboreniu/zrúteniu medzi výstuhami:

- a) stanoví sa hodnota e_a a vypočíta sa

$$P_y = \frac{e_a \sigma_e \cos \alpha}{R_{\max}} \quad (8.6.3-1)$$

POZNÁMKA. – To je rovnaké ako rovnica (8.5.3-15) pre P_y nahradením $e_a \cos \alpha$ za e_a , R_{\max} za R a zvolením $\gamma = 0$.

- b) vypočíta sa

$$P_m = \frac{E e_a \varepsilon \cos^3 \alpha}{R_n} \quad (8.6.3-2)$$

ε sa musí stanoviť z obrázka 8.5-3 použitím $\frac{L}{2R_n \cos \alpha}$ namiesto $\frac{L}{2R}$ a $\frac{2R_n \cos \alpha}{e_a}$ namiesto $\frac{2R}{e_a}$.

R_n a R_{\max} musia byť také, ako definujú obrázky 8.6-2 až 8.6-6

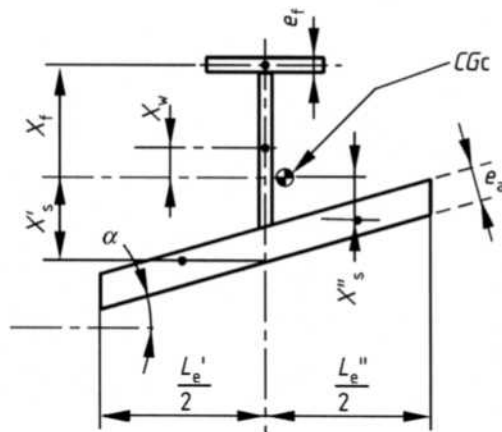
POZNÁMKA. – Rovnica (8.6.3-2) pre P_m je rovnaká ako rovnica (8.5.2-5) nahradením $e_a \cos \alpha$ za e_a , $R_n \cos^2 \alpha$ za R , $\varepsilon \cos^4 \alpha$ za ε ; $L \cos \alpha$ za L .

c) vypočíta sa P_m a stanoví sa P_r z krivky 1 na obrázku 8.5-5.

Výpočtový tlak musí splniť požiadavku:

$$P \leq \frac{P_r}{S} \quad (8.6.3-3)$$

Ak nie je splnená rovnica (8.6.3-3), musí sa zväčšiť hrúbka alebo zmenšiť rozstup medzi výstuhami.



Obrázok 8.6-1 – Konštrukčné prvky

8.6.4 Celkové zruštenie kužeľovitého plášťa a rozstup výstuh

8.6.4.1 Konštantná hrúbka plášťa, rozmerov a rozstupu výstuhy

8.6.4.1.1 Všeobecne

Požiadavky na rozmery výstužných prstencov na odolnosť proti preklopeniu výstuhy, udané pre valce v článku 8.5.3.8 platia bez úpravy.

Tieto požiadavky sa nevzťahujú na vnútorné výstuhy na kužeľovitých škrupinách.

8.6.4.1.2 Ľahké výstuhy

Na navrhovanie ľahkých výstuh na kužeľovitých plášťoch konštantnej hrúbky, ako vidieť na obrázku 8.6-3 sa používajú metódy pre ľahké výstuhy na valcoch v 8.5.3.6 s nasledujúcou úpravou:

$$P_g = \frac{E \cdot e_a \cdot \beta \cos^3 \alpha}{R_n} + \frac{(n^2 - 1) E \cdot l'_e \cos \alpha}{\bar{R}_{\max}^3 \cdot L_s} \quad (8.6.4-1)$$

kde β sa stanoví z obrázka 8.5-13 alebo z rovnice (8.5.3-25) nahradením R s $R_n \cos \alpha$.

\bar{R}_n a \bar{R}_{\max} musia byť také, ako definujú obrázky 8.6-4 až 8.6-5:

$$l'_e = A_f \cdot X_f^2 + A_w \cdot X_w^2 + \left(\frac{e_a \cdot L'_e}{2}\right) X_s'^2 + \left(\frac{e_a \cdot L''_e}{2}\right) X_s''^2 + l_f + l_w + \left(\frac{e_a}{12}\right) \sin^2 \alpha \left[\left(\frac{L'_e}{2}\right)^3 + \left(\frac{L''_e}{2}\right)^3 \right] + \left(\frac{e_a^3}{12}\right) \cos^2 \alpha \left(\frac{L'_e}{2} + \frac{L''_e}{2}\right) \quad (8.6.4-2)$$

L'_e a L''_e musia byť odvodené z 8.5.3.6.3 s:

$$x = n^2 \left(\frac{e_a}{R_i \cdot \cos \alpha}\right) \quad (8.6.4-3)$$

$$u = \frac{\frac{L_s}{R_i}}{\sqrt{\frac{e_a}{R_i} \cos \alpha}} \quad (8.6.4-4)$$

kde R_i je stredný polomer plášťa meraný na výstuhe i .

Na vypočítanie maximálneho napätia vo výstužách sa použije:

$$\sigma_s = S \cdot S_f \left(\frac{P \cdot \sigma_{es}}{P_{ys}}\right) + \left(\frac{E \cdot \bar{d}'}{R_{max}}\right) \frac{0,005(n^2 - 1)P \cdot S \cdot S_f}{(P_g - P \cdot S \cdot S_f)} \quad (8.6.4-5)$$

kde

$$P_{ys} = \frac{\sigma_{es} \cdot e_a \cdot R_i \cos \alpha}{\bar{R}_{max}^2 (1 - u/2)} \left[1 + \frac{A_m}{e_a \cdot \cos \alpha \left(\frac{w_i}{\cos \alpha} + 2 \frac{N}{\delta}\right)} \right] \quad (8.6.4-6)$$

kde

$$\delta = 1,28 \sqrt{\frac{\cos \alpha}{R_i \cdot e_a}} \quad (8.6.4-7)$$

$$\bar{d}' = X_f + \frac{e_f}{2} \quad (8.6.4-8)$$

8.6.4.1.3 Masívne výstuhy

Na navrhovanie masívnych výstuh na kužeľovitých plášťoch konštantnej hrúbky, pozri obrázok 8.6-3, sa používajú metódy pre masívne výstuhy na valcoch v 8.5.3.7 s nasledujúcou úpravou:

$$P_H = \frac{3E \cdot l'_{eH} \cos \alpha}{\bar{R}_{max}^3 \cdot L_{sH}} \quad (8.6.4-9)$$

\bar{R}_{max} sa musí stanoviť z obrázkov 8.6-4 a 8.6-5.

L_{sH} je podľa tabuľky 8.5-1

$$l'_{eH} = A_f \cdot X_f^2 + A_w \cdot X_w^2 + \left(\frac{e_a \cdot L'_{eH}}{2}\right) (X_s')^2 + \left(\frac{e_a \cdot L''_{eH}}{2}\right) (X_s'')^2 + l_f + l_w + \left(\frac{e_a}{12}\right) \sin^2 \alpha \left[\left(\frac{L'_{eH}}{2}\right)^2 + \left(\frac{L''_{eH}}{2}\right)^2 \right] + \left(\frac{e_a^3}{12}\right) \cos^2 \alpha \left(\frac{L'_{eH}}{2} + \frac{L''_{eH}}{2}\right) \quad (8.6.4-10)$$

L'_{eH} a L''_{eH} musia byť odvodené podľa 8.5.3.6.3 pre:

$$x = n^2 \left(\frac{e_a}{R_i \cdot \cos \alpha} \right) \quad (8.6.4-11)$$

$$u = \frac{\frac{L_s}{R_i}}{\sqrt{\frac{e_a}{R_i} \cos \alpha}} \quad (8.6.4-12)$$

a L_s nahradený s L_{sH}

Pre výpočet maximálnych napätí vo výstuhoch sa používa vzťah:

$$\sigma_H = S \cdot S_f \left(\frac{P \cdot \sigma_s}{P_{ys}} \right) + \left(\frac{E \cdot \bar{d}'}{R_{max}} \right) \frac{0,015P \cdot S \cdot S_f}{(P_H - P \cdot S \cdot S_f)} \quad (8.6.4-13)$$

kde P_{ys} je určený rovnicou (8.6.4-6)

8.6.4.2 Obmena hrúbky plášťa, veľkosti výstuhu alebo rozstupu výstuh

Minimálna hrúbka plášťa pre akúkoľvek vzdialenosť medzi rovinami hlavnej podpery sa musí stanoviť použitím rovnice 8.6-3.

Požiadavky na rozmery výstužného prstenca budú platiť bez úpravy.

Na navrhovanie ľahkých výstuh buď s premenlivou veľkosťou alebo rozstupom, alebo na kužeľoch s premenlivou hrúbkou, tak ako vidieť na obrázku 8.6-6, je prípustné použiť metódu stanovenia pre vystužené valce pomocou rovníc 8.6.3 s ktorýmkoľvek z nasledujúcich bodov:

- tam, kde je rozstup a veľkosť výstuhu konštantná, použije sa minimálna hrúbka kdekoľvek po dĺžke uvažovaného prierezu tým, že sa vypočíta P_g a P_y ;
- posúdi sa každá výstuha samostatne použitím príslušnej minimálnej hrúbky plášťa a R_{max} pre dve polovičné polia na každej strane výstuhu a $\beta = 0$;
- posúdi sa každá výstuha samostatne použitím príslušnej minimálnej hrúbky a R_{max} pre dve polovičné polia na každej strane výstuhu.

Kde $n > 2$ vypočítame P_e , ako v b) a kde $n = 2$ použije sa nasledujúca rovnica:

$$P_g = \frac{E \cdot \bar{e} \cdot \beta \cos^3 \alpha}{R_n} + \frac{2 E \cdot \cos \alpha (n^2 - 1)}{L_H} \cdot \sum_{i=0}^{i=N_y} \frac{l'_{e,i} \cdot \sin^2 \alpha \left[\frac{\pi X_i}{L_C} \right]}{R_i^3} \quad (8.6.4-14)$$

kde β musí byť stanovené z obrázka 8.5-13 s $\frac{L_H}{2R_n \cos \alpha}$ namiesto $\frac{L_H}{2R}$ alebo rovnice (8.5.3-25) s $R_n \cos \alpha$ namiesto R .

8.6.5 Priesečníky kužeľa-valca

8.6.5.1 Roviny hlavnej podpery

Tam, kde nie je zaoblenie, priesečník medzi kužeľom a valcom (aj na veľkých aj na malých priemeroch) je rovinou hlavnej podpery, ak $\alpha \geq 30^\circ$ a ak n_{cy1} počet vlnoviek pre minimálny vzperný tlak (získaný z obrázka 8.5-4 alebo použitím rovnice 8.5.3-24, ak sa použili ľahké výstuhu) sa nerovná 2 ani pre kužeľ, ani pre valec.

Ak nie sú splnené uvedené podmienky (buď $\alpha < 30^\circ$ alebo $n = 2$), vzdialenosť L medzi rovinami hlavnej podpery je súčtom voľnej (voľných) nepodopretej (nepodopretých) dĺžky (dĺžok) valca alebo valcov plus

axiálna dĺžka kužefa. Hrúbka kužefa a valca malého priemeru nesmú byť menšie ako hrúbka valca požadovaná v 8.5.3.4, a ak sú prítomné ľahké výstuhy, musí sa použiť ich rozstup a veľkosť, ktoré sú stanovené v 8.6.3.1 pre kužeľ a malý valec, ako aj pre veľký valec.

8.6.5.2 Vystuženie priesečníka kužefa na malom priemere

Vystuženie v tvare dodatočného zosilnenia hrúbky a /alebo miestneho spevnenia sa musí zabezpečiť, ak treba zachovať maximálne miestne obvodové napätie na malom priemere kužefa v rámci prijateľných medzných hodnôt použitím nasledujúceho postupu.

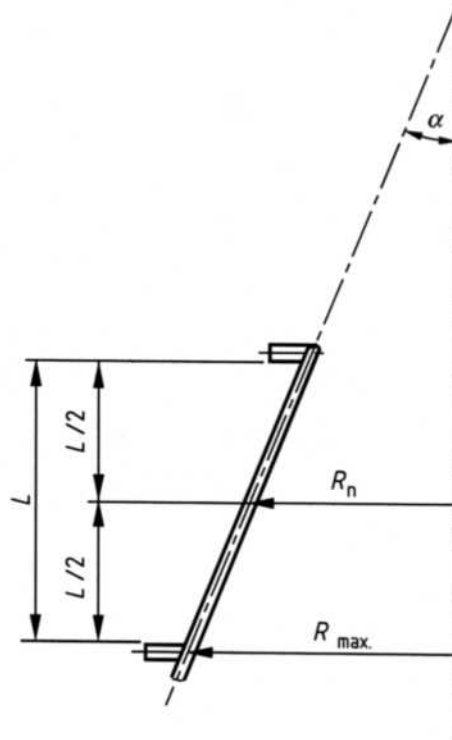
Vypočíta sa maximálne obvodové napätie vo valci:

$$\sigma_2 = \frac{P \cdot R(1 - \gamma \cdot G)}{e} \quad (8.6.5-1)$$

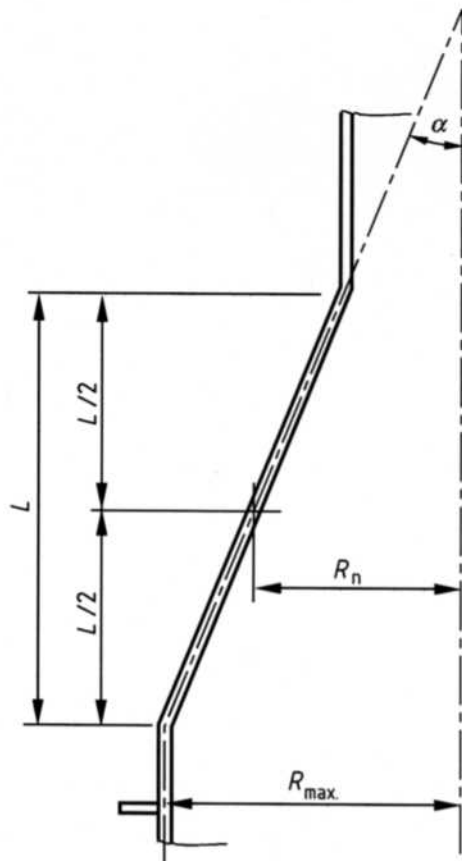
Vypočíta sa maximálne obvodové napätie σ_1 na styku bez vystuženia, t.j. pri hrúbke e_a .

POZNÁMKA. – Na výpočet σ_1 neexistuje nijaký jednoduchý vzorec a požaduje sa metóda výpočtu napätia.

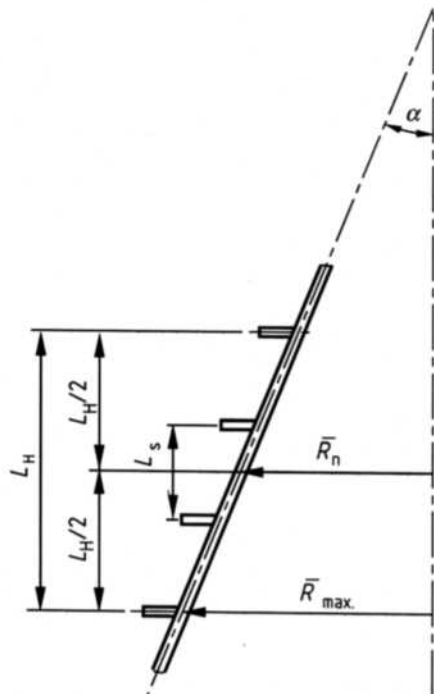
Ak $\sigma_1 \leq \sigma_2$, potom sa nepožaduje nijaké vystuženie. Ak sa požaduje vystuženie, potom sa zvýši hrúbka buď kužefa, alebo valca, alebo oboch, alebo sa navrhne dodatočný materiál, napríklad prstencová výstuha alebo taký prechodový kus, aby σ_1 po opätovnom prepočítaní bolo menšie alebo rovnajúce sa σ_2 .



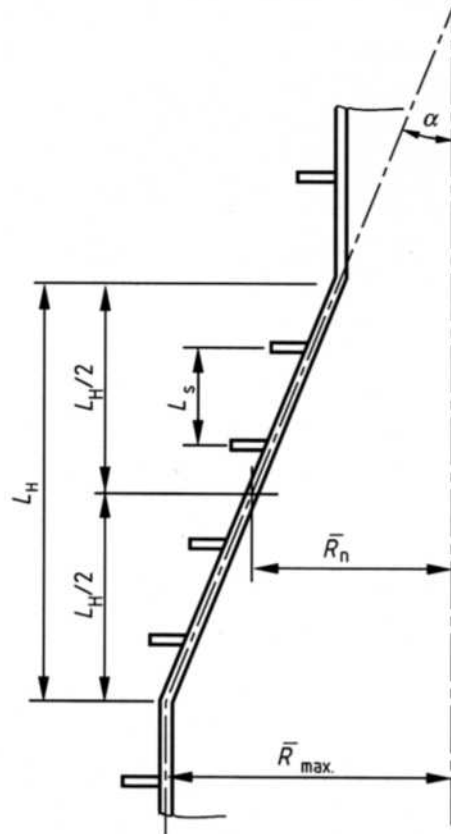
Obrázok 8.6-2 – Nevystužený kužeľovitý plášť medzi výstužnými prstencami



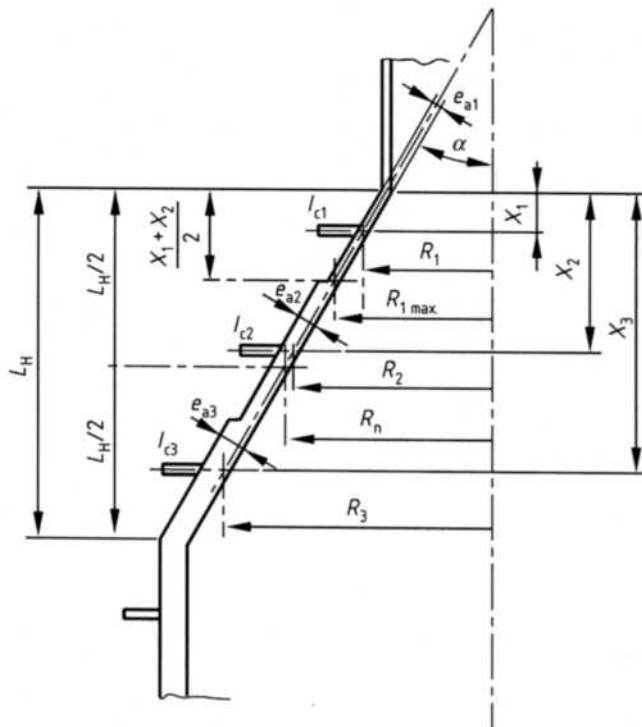
Obrázok 8.6-3 – Nevystužený kužeľovitý plášť medzi stykmi s valcami



Obrázok 8.6-4 – Vystužený kužeľovitý plášť s ľahkými a masívnymi výstuhami



Obrázok 8.6-5 – Vystužený kužeľovitý plášť len s ľahkými výstuhami



Obrázok 8.6-6 – Vystuženie kužeľovitého plášťa s premenlivou hrúbkou a premenlivým rozstupom výstuhy (pozri 8.6.4.2)

8.7 Guľovité plášte

8.7.1 Postup navrhovania

Návrhová hrúbka sa musí stanoviť nasledujúcim postupom:

a) Predpokladá sa hodnota pre e_a a vypočíta sa:

$$P_y = \frac{2 \sigma_e \cdot e_a}{R} \quad (8.7.1-1)$$

b) Vypočíta sa P_m takto:

$$P_m = \frac{1,21 E \cdot e_a^2}{R^2} \quad (8.7.1-2)$$

c) Vypočíta sa $\frac{P_m}{P_y}$ a stanoví sa $\frac{P_r}{P_y}$ z obrázka 8.5-5 krivka 2.

$$P \leq \frac{P_r}{S} \quad (8.7.1-3)$$

Ak P_r je menšie než požadované, hodnota e_a sa musí zvýšiť a postup opakovať.

8.7.2 Pripustné odchýlky tvaru

Metóda 8.7.1 platí len pre gule, ktoré sú guľovité do 1 % polomeru a pre ktoré polomer zakrivenia po dĺžke oblúka $2,4 \sqrt{e_a \cdot R_{\max}}$ neprevyšuje menovitú hodnotu o viac ako 30 %.

Pre niektoré aplikácie toto kritérium použitia môže byť veľmi prísne vzhľadom na náročnosť výroby a merania. V takých prípadoch je prípustné vydeliť tlak získaný z uvedeného postupu súčiniteľom

$\left(\frac{R_{\max}}{1,3 R}\right)^2$, kde R_{\max} je maximálny miestny polomer zakrivenia buď meraný, alebo odhadnutý konzervatívne.

Metódy overovania tvaru guľ sú uvedené v prílohe D.6. Maximálny miestny polomer zakrivenia sa musí uviesť na výkrese nádoby.

8.8 Dná nádob

8.8.1 Polguľovité dno

Polguľovité dno sa musia navrhnuť tak ako guľovité plášte.

8.8.2 Torosférické dno

Torosférické dno sa musia navrhnuť ako guľovité plášte stredného polomeru R rovnajúceho sa polomeru vonkajšieho klenutia alebo polomeru klenby venca.

Pri výpočte vnútorného tlaku pre klenuté dno, tak ako požaduje 7.5.3, súčiniteľ N vo vzorci pre β (pozri rovnicu (7.5-12)) sa musí dosadiť hodnota 1,0. Grafy na obrázkoch 7.5-1 a 7.5-2 sa nesmú použiť.

8.8.3 Eliptické dno

Dno poloeliptického tvaru tak, ako je definované v 7.2.5, musia sa navrhnuť ako guľovité plášte stredného polomeru R rovnajúceho sa maximálnemu polomeru klenby venca:

$$R = D_e^2 / (4 h) \quad (8.8.3-1)$$

D_e definované v 7.5.1 a h definované v 8.3.