

7 Škrupiny zaťažené vnútorným tlakom

7.1 Účel

Táto kapitola stanovuje požiadavky na navrhovanie proti vnútornému tlaku osovo symetrických plášťov – valcov, gúľ, častí guľovitých škrupín, klenutých dien, kužeľovitých škrupín a prieniky kužela valcom. Existujú aj metódy navrhovania šikmých kužeľov spájajúcich dva valce a pre hrdlá zasahujúce do obľých (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 vytvoríť 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

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

Pre danú geometriu:

$$P_{\max} = \frac{2f \cdot z \cdot e_a}{D_m} \quad (7.4-3)$$

POZNÁMKA. – Pri použití týchto vzorcov pre rôzne prípady zaťaženia pozri 3.16, poznámku 1.

7.4.3 Guľovité plášte

Požadovaná hrúbka sa musí vypočítať s jednej z nasledujúcich rovníc:

$$e = \frac{P \cdot D_i}{4f \cdot z - P} \quad (7.4-4)$$

alebo

$$e = \frac{P \cdot D_e}{4f \cdot z + P} \quad (7.4-5)$$

Pre danú geometriu:

$$P_{\max} = \frac{4f \cdot z \cdot e_a}{D_m} \quad (7.4-6)$$

POZNÁMKA. – Pri použití týchto vzorcov pre rôzne prípady zaťaženia pozri 3.16, poznámku 1.

7.5 Klenuté dna

7.5.1 Špecifické značky a skratky

Nasledujúce značky a skratky platia navyše s tými alebo na modifikáciu tých, ktoré sú uvedené v 7.3.

- D_e je vonkajší priemer valcovitej časti (lemu);
- D_i vnútorný priemer valcovitej časti (lemu);
- e_b požadovaná hrúbka zaoblenia na zabránenie vzniku plastického vydutia;
- e_s požadovaná hrúbka dna na obmedzenie membránového napätia v strednej časti;
- e_y požadovaná hrúbka zaoblenia na zabránenie osovo symetrickej deformácii;
- f_b návrhové napätie pre rovnicu vydutia;
- h_i vnútorná výška dna meraná od dotýčnice;
- K tvarový súčiniteľ pre elipsoidické dno definovaný v rovnici (7.5-18);
- N parameter definovaný rovnicou (7.5-12);
- R vnútorný polomer guľovitej časti centrálnej časti torosférického dna;
- X pomer vnútorného polomeru zaoblenia k vnútornému priemeru plášťa;
- Y parameter definovaný rovnicou (7.5-9);
- Z parameter definovaný rovnicou (7.5-10);
- β súčiniteľ udaný na obrázkoch 7.5-1 a 7.5-2 alebo postupom na 7.5.3.5.

7.5.2 Polguľovité dna

Požadovaná hrúbka polguľovitého dna je daná rovnicou v 7.4.3. Stredný polomer dna musí byť nominálne taký istý ako stredný polomer valca, ku ktorému je privarený. Hrúbka valca až po dotýčnice sa musí zachovať minimálna alebo mierne nad minimom pre valec v súlade s 7.4.2.

Pre danú geometriu:

$$P_{\max} = \frac{2f \cdot z \cdot e_a}{D_m} \quad (7.4-3)$$

POZNÁMKA. – Pri použití týchto vzorcov pre rôzne prípady zaťaženia pozri 3.16, poznámku 1.

7.4.3 Gufovité plášte

Požadovaná hrúbka sa musí vypočítať s jednej z nasledujúcich rovníc:

$$e = \frac{P \cdot D_i}{4f \cdot z - P} \quad (7.4-4)$$

alebo

$$e = \frac{P \cdot D_e}{4f \cdot z + P} \quad (7.4-5)$$

Pre danú geometriu:

$$P_{\max} = \frac{4f \cdot z \cdot e_a}{D_m} \quad (7.4-6)$$

POZNÁMKA. – Pri použití týchto vzorcov pre rôzne prípady zaťaženia pozri 3.16, poznámku 1.

7.5 Klenuté dna

7.5.1 Špecifické značky a skratky

Nasledujúce značky a skratky platia navyše s tými alebo na modifikáciu tých, ktoré sú uvedené v 7.3.

- D_e je vonkajší priemer valcovitej časti (lemu);
- D_i vnútorný priemer valcovitej časti (lemu);
- e_b požadovaná hrúbka zaoblenia na zabránenie vzniku plastického vydutia;
- e_s požadovaná hrúbka dna na obmedzenie membránového napätia v strednej časti;
- e_y požadovaná hrúbka zaoblenia na zabránenie osovo symetrickej deformácii;
- f_b návrhové napätie pre rovnicu vydutia;
- h_i vnútorná výška dna meraná od dotyčnice;
- K tvarový súčiniteľ pre elipsoidické dno definovaný v rovnici (7.5-18);
- N parameter definovaný rovnicou (7.5-12);
- R vnútorný polomer gufovitej časti centrálnej časti torosférického dna;
- X pomer vnútorného polomeru zaoblenia k vnútornému priemeru plášťa;
- Y parameter definovaný rovnicou (7.5-9);
- Z parameter definovaný rovnicou (7.5-10);
- β súčiniteľ udaný na obrázkoch 7.5-1 a 7.5-2 alebo postupom na 7.5.3.5.

7.5.2 Polgufovité dna

Požadovaná hrúbka polgufovitého dna je daná rovnicou v 7.4.3. Stredný polomer dna musí byť nominálne taký istý ako stredný polomer valca, ku ktorému je privarený. Hrúbka valca až po dotyčnice sa musí zachovať minimálna alebo mierne nad minimom pre valec v súlade s 7.4.2.

7.5.3 Torosférické dná

7.5.3.1 Podmienky použiteľnosti

Nasledujúce požiadavky platia pre dná, pre ktoré sú splnené všetky nasledujúce podmienky:

$$r \leq 0,2 D_1$$

$$r \geq 0,06 D_1$$

$$r \geq 2e$$

$$e \leq 0,08 D_e$$

$$e_a \geq 0,001 D_e$$

$$R \leq D_e$$

7.5.3.2 Navrhovanie

Požadovaná hrúbka e musí byť najväčšia z e_s , e_y a e_b , kde:

$$e_s = \frac{P \cdot R}{2f \cdot z - 0,5P} \quad (7.5-1)$$

$$e_y = \frac{\beta \cdot P (0,75R + 0,2D_1)}{f} \quad (7.5-2)$$

kde β sa zistí z obrázka 7.5-1 alebo postupom v 7.5.3.5, e sa nahradí e_y

a

$$e_b = (0,75R + 0,2D_1) \left[\frac{P}{111f_b} \left(\frac{D_1}{r} \right)^{0,825} \right]^{\left(\frac{1}{1,5} \right)} \quad (7.5-3)$$

kde

$$f_b = \frac{R_{p0,2/T}}{1,5} \quad (7.5-4)$$

okrem za studena odstredivo liatej bezšvovej austenitickej nehrdzavejúcej ocele, kde:

$$f_b = \frac{1,6 R_{p0,2/T}}{1,5} \quad (7.5-5)$$

Pri skúšobných podmienkach hodnota 1,5 v rovniciach pre f_b sa musí nahradiť 1,05.

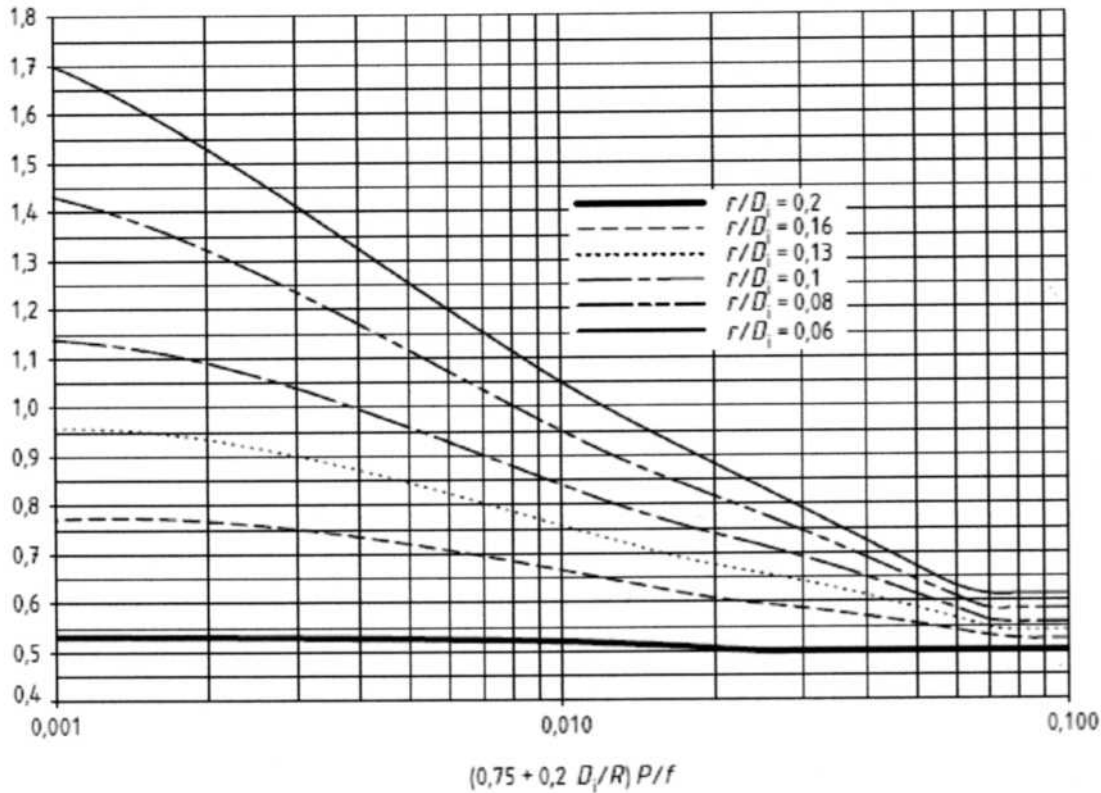
POZNÁMKA 1. – Pre dná z nehrdzavejúcej ocele, ktoré nie sú za studena odstredivo liate, f_b musí byť menšia ako f .

POZNÁMKA 2. – Súčiniteľ 1,6 pre dná zo za studena odstredivo liatej ocele berie do úvahy deformačné spevnenie.

POZNÁMKA 3. – Netreba vypočítať e_b ak $e_y > 0,005D_1$.

POZNÁMKA 4. – Vnútorá výška torosférického dna je daná:

$$h_1 = R - \sqrt{(R - D/2) \cdot (R + D/2 - 2r)}$$



Obrázok 7.5-1 – Parameter β pre torosférické dno – navrhovanie

7.5.3.3 Únosnosť

Pre danú geometriu P_{\max} musí byť minimálne v P_s , P_y a P_b , kde:

$$P_s = \frac{2f \cdot z \cdot e_a}{R + 0,5e_a} \quad (7.5-6)$$

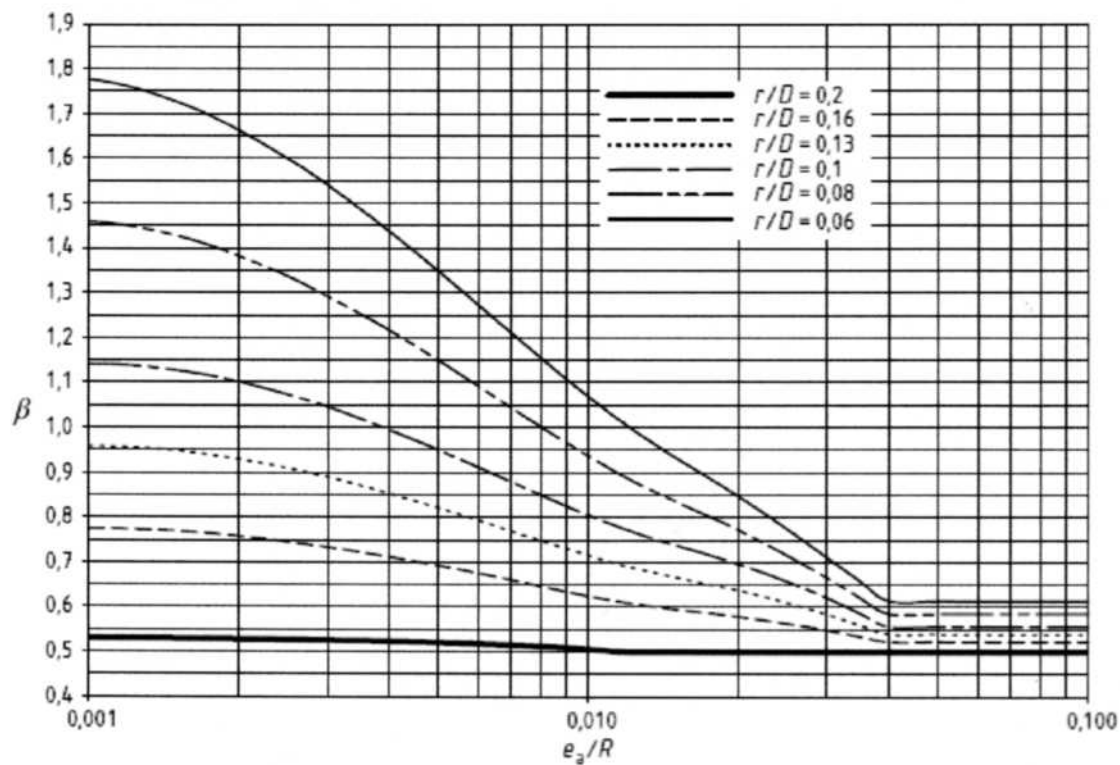
$$P_y = \frac{f \cdot e_a}{\beta(0,75R + 0,2D_1)} \quad (7.5-7)$$

kde β sa zistilo z obrázku 7.5-2 alebo postupom v 7.5.3.5, nahradiac e použitím e_a .

$$P_b = 111f_b \left(\frac{e_a}{0,75R + 0,2D_1} \right)^{1,5} \left(\frac{r}{D_1} \right)^{0,825} \quad (7.5-8)$$

POZNÁMKA 1. – Pri použití vyššie uvedených rovníc pre rôzne prípady zaťaženia, pozri 3.16, poznámku 1.

POZNÁMKA 2. – Nie je potrebné vypočítať P_b ak $e_a > 0,005D_1$.



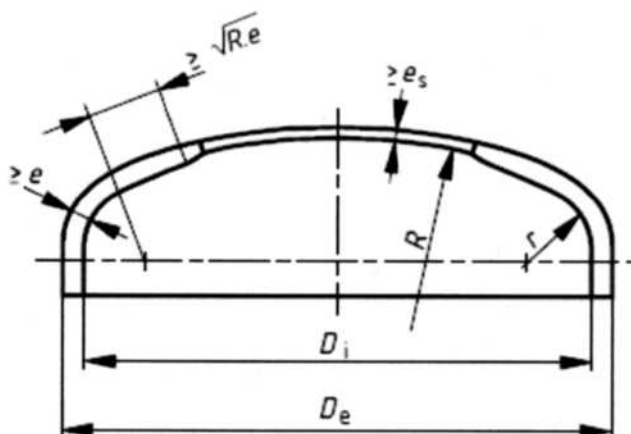
Obrázok 7.5-2 – Parameter β pre torosférické dno – únosnosť

7.5.3.4 Výnimky

Je prípustné zmenšiť hrúbku guľovitej časti dna na hodnotu e_s v kruhovej ploche, ktorá sa nesmie byť bližšie ku zaobleniu než je vzdialenosť $\sqrt{R \cdot e}$, tak, ako vidno na obrázku 7.5-3.

Akákoľvek priama valcovitá príruha musí splniť požiadavky 7.4.2 pre valec, pokiaľ jej dĺžka je väčšia ako $0,2\sqrt{D_i} \cdot e$. Ak je dĺžka rovná alebo väčšia ako $0,2\sqrt{D_i} \cdot e$, tak v tomto prípade môže byť rovnaká dĺžka aká je požadovaná pre zaoblenie.

7.5.3.5 Vzorce pre výpočet súčiniteľa β



Obrázok 7.5-3 – Geometria torosférického dna

$$Y = \min(e/R; 0,04) \quad (7.5-9)$$

$$Z = \log_{10}(1/Y) \quad (7.5-10)$$

$$X = r/D_1 \quad (7.5-11)$$

$$N = 1,006 - \frac{1}{\{6,2 + (90 Y)^4\}} \quad (7.5-12)$$

Pre $X = 0,06$

$$\beta_{0,06} = N (-0,3635Z^3 + 2,2124Z^2 - 3,2937Z + 1,8873) \quad (7.5-13)$$

Pre $0,06 < X < 0,1$

$$\beta = 25\{(0,1 - X)\beta_{0,06} + (X - 0,06)\beta_{0,1}\} \quad (7.5-14)$$

Pre $X = 0,1$

$$\beta_{0,1} = N (-0,1833Z^3 + 1,0383Z^2 - 1,2943Z + 0,837) \quad (7.5-15)$$

Pre $0,1 < X < 0,2$

$$\beta = 10\{(0,2 - X)\beta_{0,1} + (X - 0,1)\beta_{0,2}\} \quad (7.5-16)$$

Pre $X = 0,2$

$$\beta_{0,2} = \max\{0,95(0,56 - 1,94Y - 82,5Y^2); 0,5\} \quad (7.5-17)$$

POZNÁMKA. – Ak sa použijú v 7.5.3.2, uvedené rovnice pre β vedú k iteratívnemu výpočtu. Odporúča sa použiť výpočet pomocou počítača.

7.5.4 Elipsovité dná

Tieto požiadavky platia len na dná, pre ktoré $1,7 < K < 2,2$.

$$K = D_j/(2h_i) \quad (7.5-18)$$

Eliptické dná sa musia navrhnuť ako nominálne ekvivalentné torosférické dná s:

$$r = D_1((0,5/K) - 0,08) \quad (7.5-19)$$

a

$$R = D_1(0,44K + 0,02) \quad (7.5-20)$$

7.6 Kužefovité plášte a kužefovité dná

7.6.1 Podmienky použitia

Požiadavky sú uvedené v 7.6.4 až 7.6.8 na pravé rotačné kužefovité škrupiny a prieniky kužela/valca, kde kužel a valec sú na rovnakej osi rotácie. Požiadavky na šikmé kužele sú uvedené v 7.6.9.

Požiadavky sa nevzťahujú na:

- kužele, pre ktoré polovičný uhol vo vrchole kužela je väčší ako 75° .
- kužele, pre ktoré:

$$\frac{e_a \cdot \cos(\alpha)}{D_c} \leq 0,001; \quad (7.6-1)$$

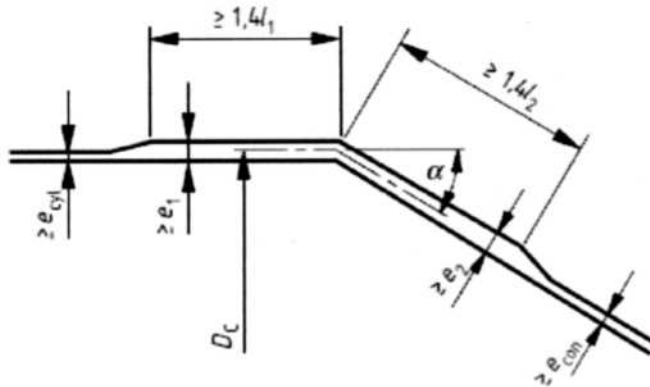
- krátke kužele spájajúce duplikátor s plášťom.

Medze na minimálnu vzdialenosť od ostatných hlavných nespojitostí sú uvedené v jednotlivých článkoch.

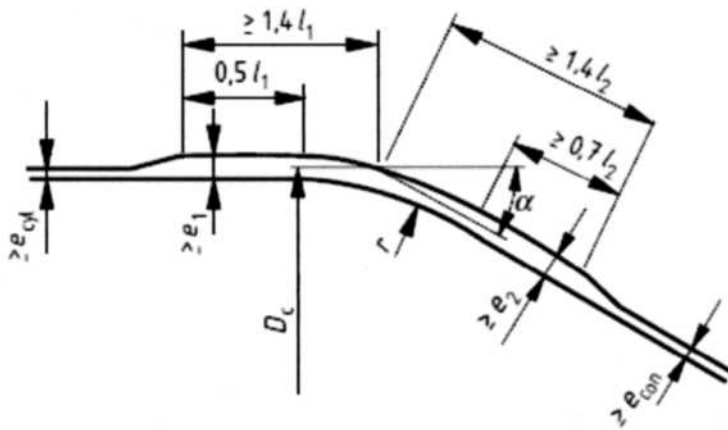
7.6.2 Špecifické definície

Nasledujúca definícia sa vzťahuje navyše na definície v 7.2.

7.6.2.1 styk medzi valcom a kužeľom: prienik osí stien valca a kužeľa, ak treba zosilnený, ak je tam zaoblenie (pozri obrázok 7.6.-1 a obrázok 7.6-2 pre príklady na veľkom priemere)



Obrázok 7.6-1 – Tvar priesečníka kužeľa/valca bez zaoblenia – veľké dno



Obrázok 7.6-2 – Tvar priesečníka kužeľa/valca so zaoblením – veľké dno

7.6.3 Špecifické značky a skratky

Nasledujúce značky a skratky sú pridané alebo modifikujú tie ktoré sú uvedené v 7.3.

D_c	je stredný priemer valca na styku s kuželom;
D_e	vonkajší priemer kužela;
D_i	vnútorný priemer kužela;
D_K	priemer udaný rovnicou (7.6-8);
D_m	stredný priemer kužela;
e_{con}	požadovaná hrúbka kužela stanovená v 7.6.4;
$e_{con,a}$	výpočtová hrúbka kužefovitej škrupiny;
e_{cyl}	požadovaná hrúbka valca stanovená v 7.4.2;
e_j	požadovaná alebo výpočtová hrúbka na styku na veľkom priemere kužela;
e_1	požadovaná hrúbka valca na styku;
e_{1a}	výpočtová hrúbka vystuženia vo valci;
e_2	požadovaná hrúbka kužela a zaoblenia na styku;
e_{2a}	výpočtová hrúbka vystuženia v kuželi;
f	nominálne návrhové napätie. Pri navrhovaní stykov podľa 7.6.6 až 7.6.9 je to najmenšia z hodnôt pre jednotlivé časti komponenta;
l_1	dĺžka pozdĺž valca;
l_2	dĺžka pozdĺž kužela na veľkom alebo malom priemere;
r	polomer zaoblenia;
α	polovičný uhol kužela vo vrchole (stupne);
β	súčiniteľ definovaný v 7.6.6;
β_H	súčiniteľ definovaný v 7.6.8;
γ	súčiniteľ definovaný v 7.6.7;
ρ	súčiniteľ definovaný v 7.6.7;
τ	súčiniteľ definovaný v 7.6.8.

7.6.4 Kužefové plášte

Požadovaná hrúbka v ktoromkoľvek bode po dĺžke kužefového plášťa sa musí vypočítať z jednej z nasledujúcich dvoch rovníc:

$$e_{con} = \frac{P \cdot D_i}{2f \cdot z - P} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha)} \quad (7.6-2)$$

alebo

$$e_{con} = \frac{P \cdot D_e}{2f \cdot z + P} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha)} \quad (7.6-3)$$

kde D_i a D_e sú v uvažovanom bode.

Pre danú geometriu:

$$P_{max} = \frac{2f \cdot z \cdot e_{con,a} \cdot \cos(\alpha)}{D_m} \quad (7.6-4)$$

kde D_m je v zvažovanom bode.

POZNÁMKA. – Pri použití vyššie uvedených rovníc pre rôzne prípady zaťaženia pozri 3.16, poznámku 1

Na veľkom priemere kužela pripojeného k valcu je prípustné dosadiť:

$$D_i = D_k \quad (7.6-5)$$

$$D_e = D_k + 2e_2 \cos(\alpha) \quad (7.6-6)$$

$$D_m = (D_i + D_e)/2 \quad (7.6-7)$$

kde

$$D_k = D_c - e_1 - 2r\{1 - \cos(\alpha)\} - l_2 \sin(\alpha) \quad (7.6-8)$$

POZNÁMKA 1. – Hrúbka udaná v tejto časti je minimálna. Hrúbku možno zväčšiť v stykoch s inými časťami alebo zabezpečiť vystuženie na hrdlách alebo otvoroch, alebo vytvoríť netlakové zaťaženia.

POZNÁMKA 2. – Keďže vyššie vypočítaná hrúbka je minimálna dovolená v danom bode pozdĺž kužela, je prípustné zhotoviť kužel z plechov rozdielnej hrúbky za predpokladu, že sa v každom bode dosiahla minimálna hrúbka.

7.6.5 Styky – všeobecne

Požiadavky 7.6.6, 7.6.7 a 7.6.8 platia, keď styk je väčší ako $2l_1$ pozdĺž valca a $2l_2$ pozdĺž kužela z ktoréhokolvek iného styku alebo väčšej diskontinuity, ako napríklad iného styku kužela/valca alebo príruby, kde:

$$l_1 = \sqrt{D_c \cdot e_1} \quad (7.6-9)$$

$$l_2 = \sqrt{\frac{D_c \cdot e_2}{\cos(\alpha)}} \quad (7.6-10)$$

7.6.6 Styk medzi veľkým priemerom kužela a valcom bez zaoblenia

7.6.6.1 Podmienky použitia

Podmienky 7.6.6.2 a 7.6.6.3 platia za predpokladu, že sú splnené všetky nasledujúce podmienky: spoj je tupý zvar, kde sa vnútorné a vonkajšie povrchy zbiehajú hladko s prífahlým kuželom a valcom bez miestneho zmenšenia hrúbky.

POZNÁMKA. – Keď je návrh taký, že hrúbka na zvare neprevyšuje $1,4 e_1$, sa musia použiť špecifické pravidlá NDT podľa EN 13445-5: 2009

7.6.6.2 Navrhovanie

Keď požadovaná hrúbka e_1 valca prífahlého k styku je väčšia ako e_{cyl} a e_j , kde e_j sa musí stanoviť nasledujúcim postupom:

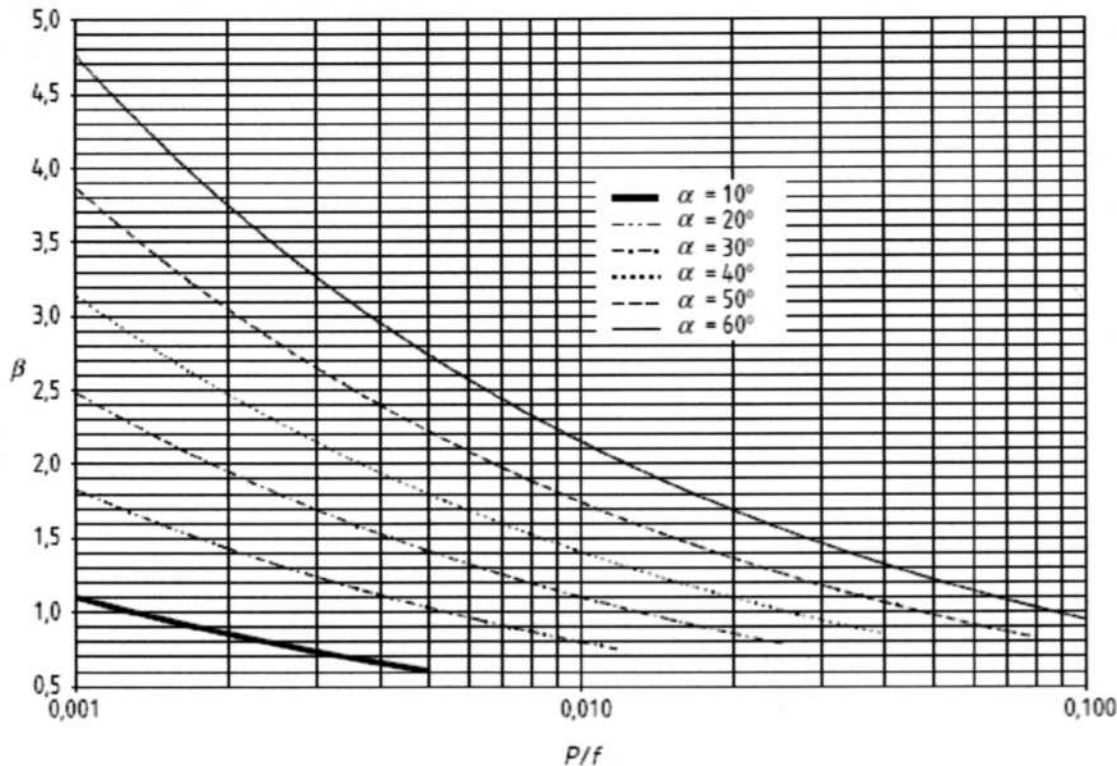
$$\beta = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{D_c}{e_j}} \cdot \frac{\tan(\alpha)}{1 + 1/\sqrt{\cos(\alpha)}} - 0,15 \quad (7.6-11)$$

$$e_j = \frac{P \cdot D_c \cdot \beta}{2f} \quad (7.6-12)$$

Výsledok je prijateľný, ak hodnota udaná rovnicou (7.6-12) nie je menšia než hodnota predpokladaná v rovnici (7.6-12). β možno odčítať z grafu na obrázku 7.6-3.

POZNÁMKA. – Minimálna požadovaná hodnota e_1 môže byť dosiahnutá iteratívnou aplikáciou. Týmto postupom až rovnica (7.6-12) dá takú istú hodnotu ako je dosadená.

Táto hrúbka sa musí zachovať vo vzdialenosti minimálne $1,4l_1$ od styku pozdĺž valca.



Obrázok 7.6-3 — Hodnoty koeficienta β pre priesečník kužela/valca bez zaoblenia

Požadovaná hrúbka e_2 kužela prifahlého k styku je väčšia ako e_{con} a e_j . Táto hrúbka sa musí zachovať na vzdialenosti minimálne $1,4l_2$ od styku, pozri obrázok 7.6-1.

Je prípustné prerozdeliť vystuženie nasledujúcim spôsobom za predpokladu, že budú naďalej splnené minimálne hrúbky udané 7.4.2 a 7.6.4.

Hrúbka pre valec sa môže zvýšiť v blízkosti styku a znížiť za predpokladu, že plocha prierezu kovu zabezpečená (na) valcom vo vzdialenosti $1,4l_1$ od styku nie je menšia ako $1,4e_1l_1$. Navyše hrúbka kužela sa môže zväčšiť v blízkosti styku a ďalej zmenšiť za predpokladu, že plocha prierezu kovu zabezpečená (na) kuželom vo vzdialenosti $1,4l_2$ od styku nie je menšia ako $1,4e_2l_2$.

7.6.6.3 Únosnosť

Maximálny prípustný tlak pre danú geometriu musí byť stanovený takto:

- použiť rovnicu (7.4-3) pre valec;
- použiť rovnicu (7.6-4) pre kužel;
- stanoviť výpočtovú hrúbku vystuženia e_{1a} valca v styku;
- stanoviť výpočtovú hrúbku vystuženia e_{2a} kužela v styku;
- použiť rovnicu (7.6-4) s hrúbkou e_{2a} a priemerom D_m ;
- nájsť e_j , menší ako e_{1a} a e_{2a} ;
- vypočítať β z rovnice (7.6-11), potom,

$$P_{\max} = \frac{2f \cdot e_j}{\beta \cdot D_c} \quad (7.6-13)$$

- maximálny prípustný tlak je najmenší tlak stanovený v a), b), e) a g).

POZNÁMKA. – Nasledujúci postup sa môže použiť na nájdenie výpočtovej hrúbky vystuženia pri c) alebo d) uvedenej vyššie:

- Zvoľme e_{1a} (začiatočnou voľbou by mala byť hrúbka na styku).

2) Vypočíta sa

$$l_1 = 1,4 \sqrt{D_c \cdot e_{1a}} \quad (7.6-14)$$

3) Ak je hrúbka konštantná do vzdialenosti l_1 potom e_{1a} je potvrdené.

4) Ak nie, vypočítame prierez kovu A_1 vo vzdialenosti l_1 od styku.

5) Získame lepší odhad pomocou:

$$e_{1a} = A_1 / l_1 \quad (7.6-15)$$

Odpoveď je prijateľná, ak nie je väčšia, ako sa predpokladalo v 1).

6) Ak je odpoveď neprijateľná, vrátime sa k 1).

7) Použijeme podobný postup na nájdenie e_{2a} .

$$l_2 = 1,4 \sqrt{\frac{D_c \cdot e_{2a}}{\cos(\alpha)}} \quad (7.6-16)$$

7.6.7 Styk medzi veľkým priemerom kužefa a valcom so zaoblením

7.6.7.1 Podmienky použitia

Tento článok platí za predpokladu, že sú splnené všetky nasledujúce podmienky:

- zaoblenie má toroidný tvar a splýva hladko s prífahlým kužefom a valcom; a
- vnútorný polomer zakrivenia zaoblenia, $r < 0,3 D_c$.

POZNÁMKA. – Tento článok nepredpisuje spodnú medzu pre polomer zaoblenia.

7.6.7.2 Navrhovanie

Hodnota e_j musí byť stanovená nasledujúcim postupom:

Predpokladajme hodnotu e_j a vypočítajme:

$$\beta = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{D_c}{e_j}} \cdot \frac{\tan(\alpha)}{1 + 1/\sqrt{\cos(\alpha)}} - 0,15 \quad (7.6-17)$$

$$\rho = \frac{0,028r}{\sqrt{D_c \cdot e_j}} \frac{\alpha}{1 + 1/\sqrt{\cos(\alpha)}} \quad (7.6-18)$$

$$\gamma = 1 + \frac{\rho}{1,2 \left(1 + \frac{0,2}{\rho} \right)} \quad (7.6-19)$$

$$e_j = \frac{P \cdot D_c \cdot \beta}{2f\gamma} \quad (7.6-20)$$

Odpoveď je prijateľná, ak hodnota udaná rovnicou (7.6-20) nie je menšia než predpokladaná hodnota.

POZNÁMKA. – Minimálna požadovaná hodnota e_j môže byť dosiahnutá iteratívnou aplikáciou. Týmto postupom až rovnica (7.6-20) dá takú istú hodnotu ako je dosadená.

Požadovaná hrúbka e_1 valca prífahlého k styku je väčšia ako e_{cyl} a e_j .

Táto hrúbka sa musí zachovať do vzdialenosti minimálne $1,4l_1$ od styku a $0,5l_1$ od dotýčnice zaoblenie/valec pozdĺž valca.

Požadovaná hrúbka e_2 zaoblenej časti a kužefa prífahlého k styku je väčšia ako e_{con} a e_j . Táto hrúbka sa musí zachovať do vzdialenosti minimálne $1,4l_2$ od styku a $0,7l_2$ od dotýčnice kužel/zaoblenie pozdĺž kužefa.

7.6.7.3 Únosnosť

Maximálny prípustný tlak pre danú geometriu sa musí stanoviť takto:

- stanovíme e_{1a} , výpočtové hrúbky pre valec blízko zaoblenia a e_{2a} , výpočtovú hrúbku na zaoblenie a priahľú časť kužela;
- prekontrolujeme, či sú splnené obmedzenia 7.6.7;
- použijeme rovnicu (7.4-3) pre valec s $e_a = e_{1a}$;
- použijeme rovnicu (7.6-4) pre kužel s $e_{con} = e_{2a}$;
- nájdeme e_j , menšiu ako e_{1a} a e_{2a} ;
- nájdeme β a γ z rovníc (7.6-17) a (7.6-19), potom

$$P_{\max} = \frac{2f \cdot \gamma \cdot e_j}{\beta \cdot D_c} \quad (7.6-21)$$

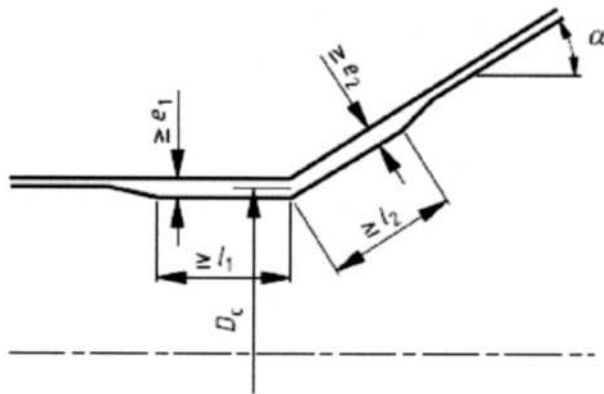
- maximálny prípustný tlak je najmenší tlak stanovený v c), d) a f).

7.6.8 Styk medzi malým priemerom kužela a valcom

7.6.8.1 Podmienky použitia

Požiadavky 7.6.8.2 a 7.6.8.3 platia za predpokladu, že sú splnené nasledujúce požiadavky:

- požadovaná hrúbka valca e_1 je zachovaná do vzdialenosti l_1 a hrúbka kužela e_2 je zachovaná do vzdialenosti l_2 od styku (pozri obrázok 7.6-4), a
- hrúbky spĺňajú požiadavky 7.4.2 a 7.6.4;



Obrázok 7.6-4 – Geometria priesečníka kužela/valca: malé dno

7.6.8.2 Navrhovanie

Požadované hrúbky e_1 a e_2 musia byť stanovené nasledujúcim postupom:

Zvoľme hodnoty e_1 a e_2 :

$$s = \frac{e_2}{e_1} \quad (7.6-22)$$

keď $s < 1$

$$\tau = s \sqrt{\frac{s}{\cos(\alpha)} + \frac{1+s^2}{2}} \quad (7.6-23)$$

keď $s \geq 1$

$$\tau = 1 + \sqrt{s \left\{ \frac{1+s^2}{2\cos(\alpha)} \right\}} \quad (7.6-24)$$

$$\beta_H = 0,4 \sqrt{\frac{D_c}{e_1}} \cdot \frac{\tan(\alpha)}{\tau} + 0,5 \quad (7.6-25)$$

Ak

$$P \leq \frac{2f \cdot z \cdot e_1}{D_c \cdot \beta_H} \quad (7.6-26)$$

potom e_1 a e_2 sú prijateľné. Ak nie, opakujeme so zvýšenými hodnotami e_1 a/alebo e_2 .

POZNÁMKA. – Uvedený postup neposkytuje hodnoty pre e_1 a e_2 nezávisle. Akékoľvek hodnoty sa môžu zvoliť, aby vyhoveli potrebám navrhovania, napríklad na získanie vhodnej hodnoty h alebo h_2 .

Za predpokladu, že požiadavky 7.4.2 a 7.6.4 sú naďalej splnené, je prípustné modifikovať návrh podľa uvedených pravidiel jedným z nasledujúcich spôsobov:

- Kde je $e_1 = e_2$, možno pridať zaoblenie rovnakej hrúbky. l_1 a l_2 sa naďalej merajú od styku (t. j. bodu, kde sa stretnú osi stien kužela a valca).
- Hrúbka valca sa môže zväčšiť blízko styku a ďalej zmenšiť vo väčšej vzdialenosti za predpokladu, že plocha prierezu kovu zabezpečená valcom vo vzdialenosti l_1 od styku nie je menšia ako $l_1 e_1$. Navyše hrúbka kužela sa môže zväčšiť blízko styku a ďalej zmenšiť vo väčšej vzdialenosti za predpokladu, že plocha prierezu kovu zabezpečená kužefom vo vzdialenosti l_2 od styku nie je menšia ako $l_2 e_2$.

7.6.8.3 Únosnosť

Maximálny prípustný tlak pre daný tvar musí byť:

$$P_{\max} = \frac{2f \cdot z \cdot e_1}{D_c \cdot \beta_H} \quad (7.6-27)$$

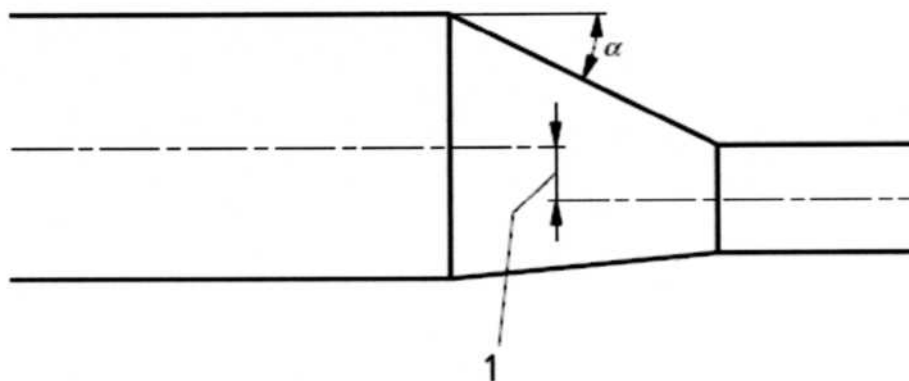
β_H sa zistil z rovníc (7.6-22) až (7.6-25) použitím e_{1a} a e_{2a} namiesto e_1 a e_2 .

POZNÁMKA 1. – Postup na zistenie e_{1a} a e_{2a} je zabezpečený v poznámke k 7.6.6.3.

POZNÁMKA 2. – Výpočtové hrúbky smú prevyšovať požadovanú hrúbku bez zvyšovania h alebo h_2 .

7.6.9 Šikmé kužele

Táto požiadavka sa týka šikmých kuželov medzi dvoma valcami (pozri obrázok 7.6-5). Valce musia mať vzájomný odklon rovnobežných osí vo vzdialenosti nie väčšej ako rozdiel ich polomerov. Požadovaná hrúbka sa musí vypočítať v súlade s 7.6.6 na styk na veľkom priemere. Požadovaná hrúbka sa musí vypočítať v súlade s 7.6.8 na styk na malom dne. Väčšia z týchto hrúbok sa musí použiť pre celý kužel. Uhol (α) musí sa použiť ako najväčší uhol medzi kužefom a valcom.

**Legenda**

1 posun osi

Obrázok 7.6-5 – Šikmý kužeľ

7.7 Hrdlá (nátrubky), ktoré zasahujú do oblasti zaoblenia**7.7.1 Špecifické značky a skratky**

Nasledujúce značky a skratky platia navyše k tým, ktoré sú v 7.5.1:

- A je parameter definovaný rovnicou (7.7-4) alebo (7.7-8);
- A_1 parameter definovaný rovnicou (7.7-12) alebo (7.7-16);
- B parameter definovaný rovnicou (7.7-5) alebo (7.7-9);
- B_1 parameter definovaný rovnicou (7.7-13) alebo (7.7-17);
- β_k súčiniteľ zoslabenia v dôsledku prítomnosti hrdla udaný pomocou (7.7-10);
- d_i vnútorný priemer hrdla;
- X parameter definovaný rovnicou (7.7-11) alebo (7.7-15);
- V parameter definovaný rovnicou (7.7-3) alebo (7.7-7).

7.7.2 Podmienky použitia

V tomto článku sú uvedené požiadavky na zväčšovanie hrúbky klenutého dna na kompenzáciu hrdiel (nátrubkov), ktoré sa nenachádzajú úplne v strednej oblasti dna, ako je definované v 9.7.2.4, a preto nie sú uvedené v kapitole 9.

Požiadavky sú limitované na použitie na Kloemperových a Korbogenových dnoch, pre ktoré:

$$d/D_e \leq 0,6 \quad (7.7-1)$$

a

$$\frac{d_i}{\sqrt{e_a \cdot D_e}} \leq 6,7 \quad (7.7-2)$$

Os hrdla (nátrubka) sa musí nachádzať v tých istých rovinách ako os nádoby. Os hrdla sa musí nachádzať medzi normálou k stene dna a paralelne k osi nádoby. Umiestnenie hrdla musí byť také, aby nepretínal dotyčnicovú priamku medzi zaoblením a valcom. Hrdlá paralelne s osou nádoby a s vonkajším priemerom priamky s vonkajším priemerom nádoby sú zahrnuté v týchto požiadavkách.

Požiadavky 7.7 sa môžu tiež použiť pre eliptické dna s pomerom $K \leq 2$. Hrúbka takéhoto eliptického dna s hrdlom zasahujúcim do oblasti zaoblenia musí byť taká ako pre Korbogenovo dno toho istého priemeru.

Zväčšená hrúbka požadovaná týmto článkom sa týka celej oblasti zaoblenia. Kompenzácia naváraním nie je prípustná. Hrúbka venca sa smie zmenšiť za predpokladu, že požiadavky 7.5.3.4 sú splnené a vystuženie pre hrdlá v oblasti venca spĺňa požiadavky kapitoly 9.

Keď vzdialenosť medzi okrajom hrdla, kde sa stretne so zaoblením, a dotyčnice zaoblenia/valca je menej ako $2,5\sqrt{e_a \cdot r}$ (nameraná pozdĺž povrchu), je spochybnená platnosť metódy. Pokým nie je návrh podporený špeciálnym výpočtom alebo rozsiahlou skúsenosťou, v týchto prípadoch návrhový tlak sa musí vynásobiť dvoma alebo dovolený tlak v únosnosti sa musí deliť dvoma.

7.7.3 Navrhovanie

Pre dno Kloepperovho modelu:

$$V = \log\left(1\,000 \frac{P}{f}\right) \quad (7.7-3)$$

$$A = \max(0,5; 0,264 + 0,938V - 0,592V^2 + 0,14V^3) \quad (7.7-4)$$

$$B = \min(4,2; 4,9 - 2,165V + 0,151V^2) \quad (7.7-5)$$

$$\beta_k = \max\left(A + B \frac{d_l}{D_e}; 1 + 0,3B \frac{d_l}{D_e}\right) \quad (7.7-6)$$

Pre dno Korbbogenovho modelu:

$$V = \log\left(1\,000 \frac{P}{f}\right) \quad (7.7-7)$$

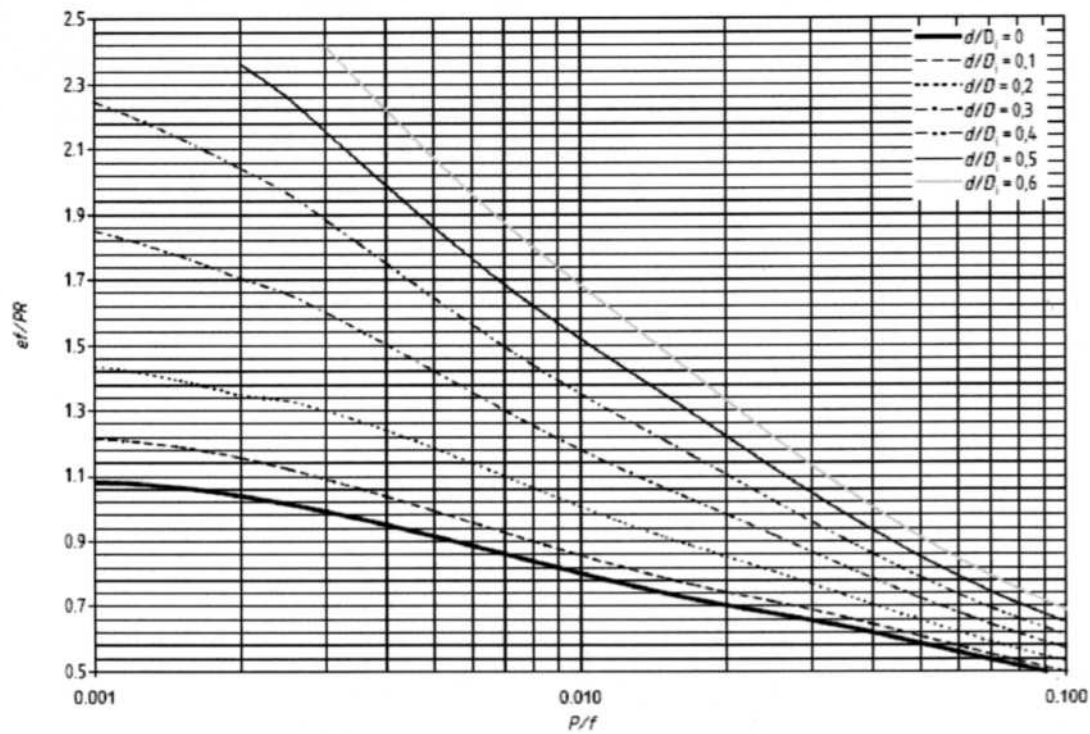
$$A = 0,54 + 0,41V - 0,044V^3 \quad (7.7-8)$$

$$B = 7,77 - 4,53V + 0,744V^2 \quad (7.7-9)$$

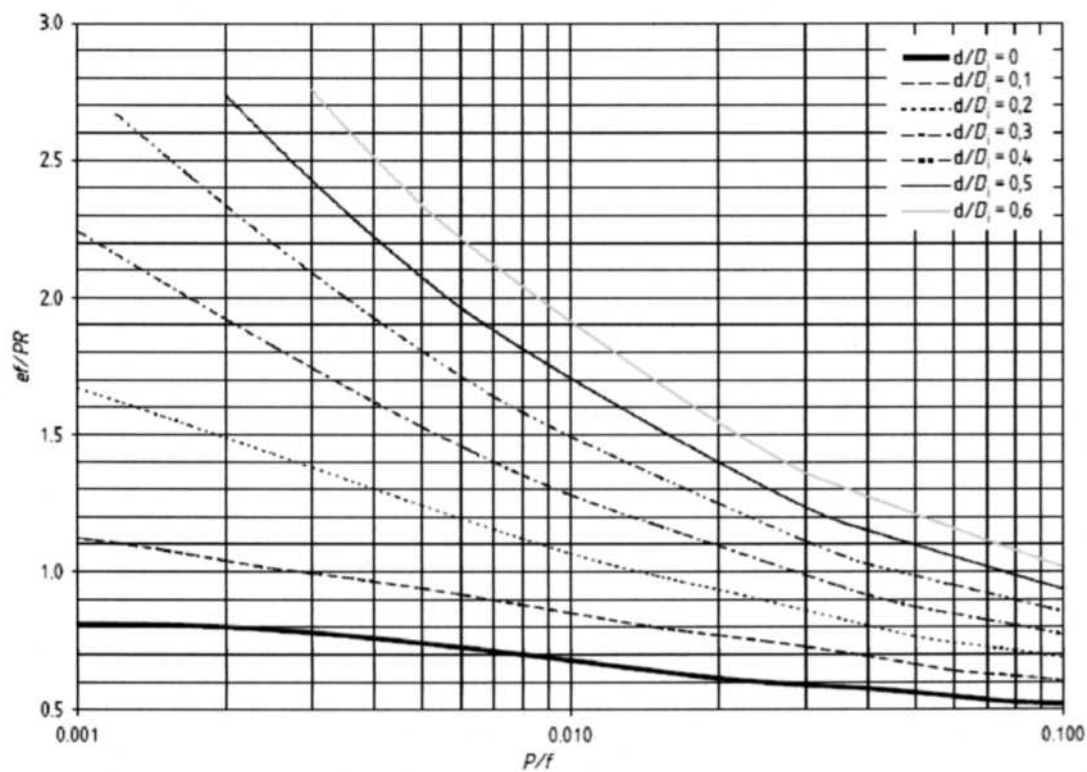
$$\beta_k = \max\left(A + B \frac{d_l}{D_e}; 1 + 0,5B \frac{d_l}{D_e}\right) \quad (7.7-10)$$

P nahradíme pomocou $P\beta_k$ v rovnici (7.5-2) a na obrázku 7.5-1, aby sme dostali požadovanú hrúbku. Dosadenie sa musí vykonať pred výpočtom β v 7.5.3.5. Rovnice (7.5-1) a (7.5-3) naďalej platia bez úpravy.

POZNÁMKA. – Grafy na obrázku 7.7-1 a obrázku 7.7-2 spočívajú na uvedenom postupe a dávajú $\frac{ef}{PR}$ ako funkciu P/f a d/D_e .



Obrázok 7.7-1 – Návrhový pomer pre Kloepperové dna



Obrázok 7.7-2 – Navrhnutý pomer pre Korbogenovo dno

7.7.4 Únosnosť

Na stanovenie maximálneho prípustného tlaku zodpovedajúceho danému tvaru (únosnosti) treba použiť metódu pokusu a omylu. Alternatívne nasledujúci postup poskytuje približný a vždy konzervatívny odhad β_k .

Pre dno Kloepperovho modelu:

$$X = \log_{10} \left(1000 \frac{e_a}{D_e} \right) \quad (7.7-11)$$

$$A_1 = 1,07 \max(0,71 - X; 0,19X + 0,45) \quad (7.7-12)$$

$$B_1 = 1,02 \left\{ \min \left((3 + 5X); \frac{1}{0,241 + 0,116(X - 0,26)^3} \right) \right\} \quad (7.7-13)$$

$$\beta_k = \max \left(A_1 + B_1 \frac{d_i}{D_e}; 1 + 0,3B_1 \frac{d_i}{D_e} \right) \quad (7.7-14)$$

Pre dno Korbbogenovho modelu:

$$X = \log_{10} \left(1000 \frac{e_a}{D_e} \right) \quad (7.7-15)$$

$$A_1 = \frac{1}{1,136 + 0,0053 \left(\frac{D_e}{d_i} \right)^{0,8}} \quad (7.7-16)$$

$$B_1 = (8,87 - 4,35X + 0,19X^3) \quad (7.7-17)$$

$$\beta_k = \max \left\{ \left(1 + 0,1 \frac{d_i}{D_e} \right) \left(A_1 + B_1 \frac{d_i}{D_e} \right); \left(1 + 1,1 \frac{d_i}{D_e} \right) \left(1 + 0,5B_1 \frac{d_i}{D_e} \right) \right\} \quad (7.7-18)$$

β nahradíme pomocou $\beta \cdot \beta_k$ v rovnici (7.5-7). Rovnice (7.5-6) a (7.5-8) naďalej platia bez modifikácie.

7.7.5 Viacnásobné hrdlá, zasahujúce do oblasti zaoblenia

Požiadavky na viaceré hrdlá v kapitole 9 platia aj na hrdlá navrhnuté podľa týchto požiadaviek, ak ligament medzi priľahlými nátrubkami hrdiel leží v stredovej oblasti s polomerom zakrivenia dna $0,4 D_e$, pozri obrázok 9.5-4. Ak spájacia priamka medzi priľahlými nátrubkami hrdiel nie je v stredovej oblasti, ligament nesmie byť menší ako polovica súčtu otvorov hrdiel (nátrubkov).

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.