



ZAŤAŽENIE SÍL A NÁDRŽÍ

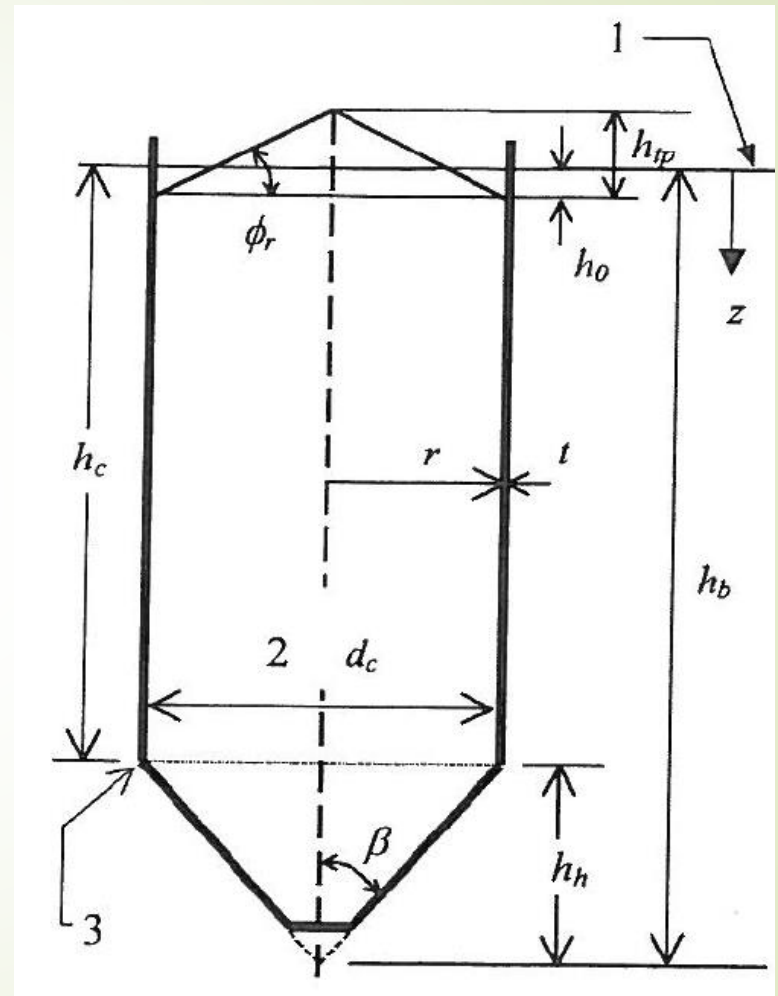
Ing. Richard Hlinka, PhD.

Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta

Katedra stavebných konštrukcií a mostov

GEOMETRIA SILA

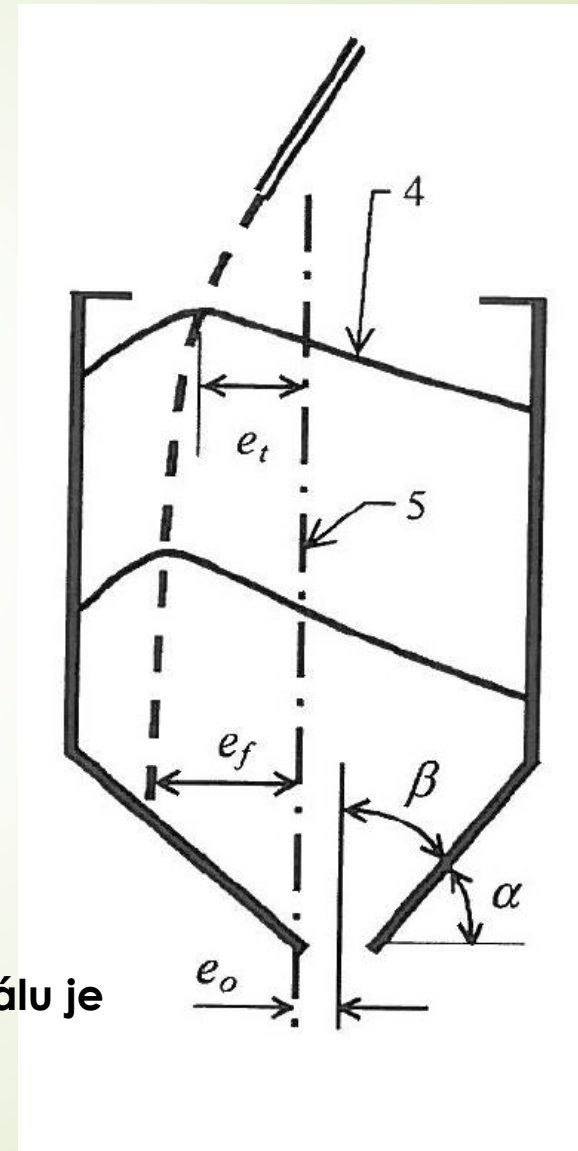
- d_c priemer kruhového sila
(resp. ekvivalentný priemer)
- r polomer sila
- t hrúbka steny sila
- h_b celková výška sila
- h_h výška sila od hrotu po prechod
- h_c výška segmentu sila
so zvislými stenami
- h_{tp} výška vrcholovej haldy
- β uhol odklonu steny výsypky
- 1 ekvivalentný povrch
- 3 prechod



EXCENTRICITY

- e_t excentricita stredu najvyššieho povrchu haldy pre plné silo
- e_f maximálna excentricita povrchu haldy pri plnení sila
- e_0 excentricita stredu výpustu
- α, β uhly odklonu výsypky
- 4 tvar povrchu v stave úplného naplnenia
- 5 os sila

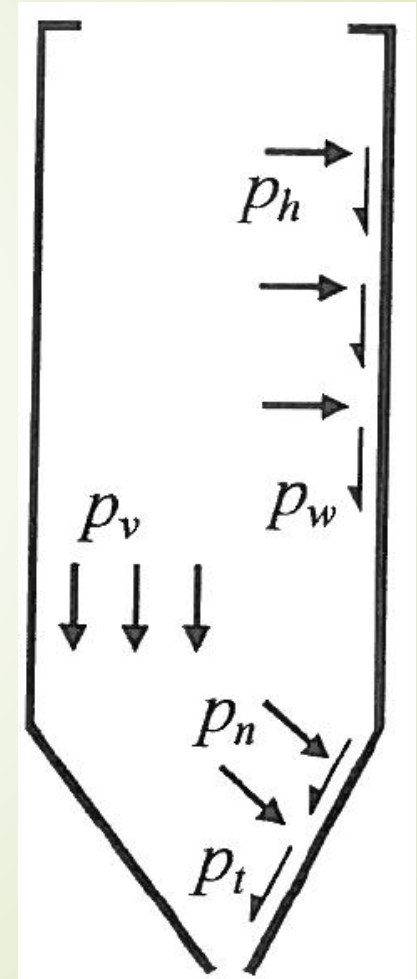
stav úplného naplnenia = horný povrch materiálu je v najvyššej polohe (návrhový stav)



TLAKY A TRAKCIE

tlak = sila na jednotku plochy kolmá na stenu sila
trakcia = sila na jednotku plochy rovnobežná so stenou sila

- P_h vodorovný tlak na zvislú stenu sila
- P_n vodorovný tlak na šikmú stenu sila
- P_w trecia trakcia na zvislej stene sila
- P_t trecia trakcia na šikmej stene sila
- P_v zvislé napätie v uskladnenom materiáli



ZATRIEDENIE SÍL

PODĽA ŠTÍHLOSTI

štíhle silo

$$h_c / d_c \geq 2,0$$

silo so strednou štíhlosťou

$$1,0 < h_c / d_c < 2,0$$

nízke silo

$$0,4 < h_c / d_c \leq 1,0$$

veľmi nízke silo

$$h_c / d_c \leq 0,4$$

PODĽA ÚROVNE PRÍSNOSTI (TRIEDY AAC)

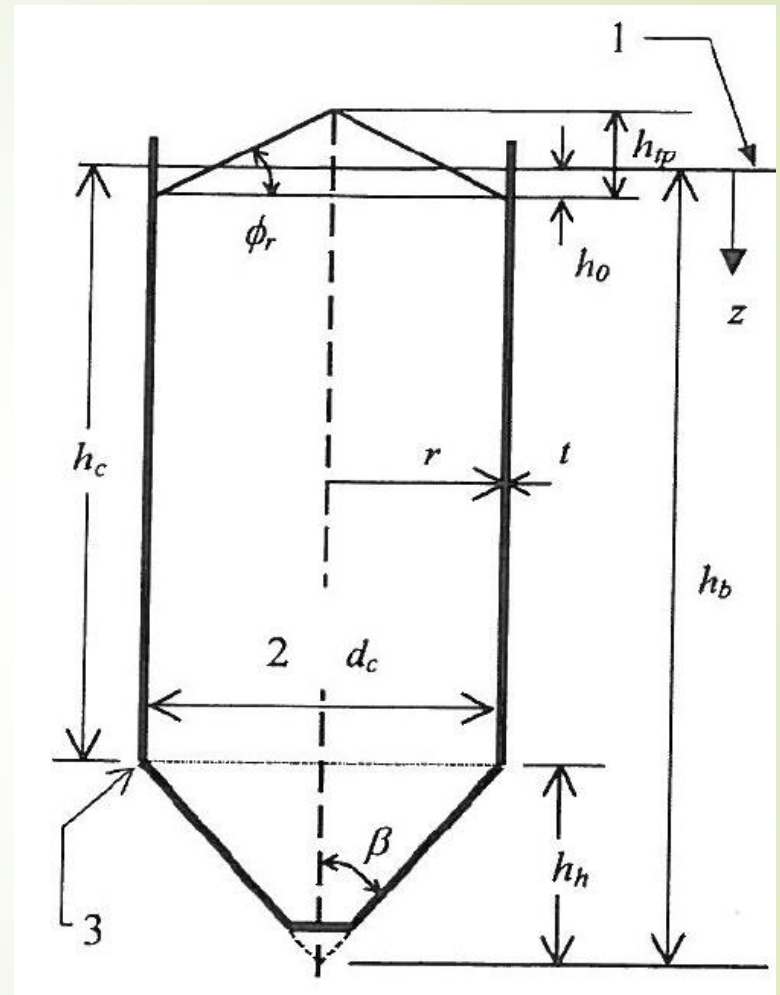
Trieda zaťaženia	Popis
Trieda zaťaženia 3	<p>Silá s kapacitou väčšou ako 10 000 ton</p> <p>Silá s kapacitou väčšou ako 1 000 ton, pre ktoré nastáva niektorá z nasledujúcich návrhových situácií:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) excentrické vyprázdňovanie pre $e_o/d_c > 0,25$ (pozri obrázok 1.1b) b) nízke silo s excentricitou horného povrchu pre $e_t/d_c > 0,25$
Trieda zaťaženia 2	Všetky silá zahrnuté v tejto norme, ktoré nie sú zaradené v ďalších triedach
Trieda zaťaženia 1	Silá s kapacitou nižšou ako 100 ton

VÝSYPKY A DNÁ SÍL

- rovné dno = odklon od vodorovnej roviny do 5°
- strmá výsypka

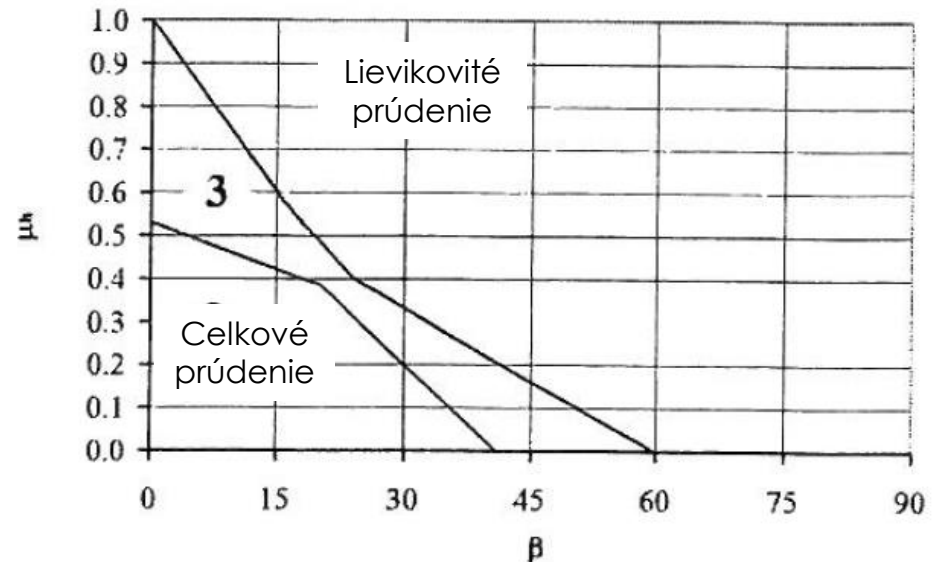
$$\tan \beta < \frac{1 - K}{2 \cdot \mu_h}$$

- plytká výsypka = všetky ostatné prípady



SKLADOVANÝ MATERIÁL

- celkové zaťaženie sila závisí od:
 - rozsahu vlastností sypkého materiálu
 - zmeny podmienok trenia o povrchy
 - geometrie sila
 - spôsobu naplňania a vyprázdňovania
- tuhosť sypkého materiálu sa neuvažuje do tuhosti sila
- vplyv deformácie stien sila sa môže posúdiť iba v prípade použitia vhodnej overenej metóde analýzy
- tvar prúdenia sa stanoví s grafu pre:
 - kužeľové výsyvky
 - klinové výsyvky



SKLADOVANÝ MATERIÁL

- vlastnosti sypkých materiálov sa kvantifikujú prostredníctvom materiálových parametrov (príloha E)
- materiálové parametre sa získavajú skúškami (príloha C)
- je potrebné zohľadniť nasledujúce okolnosti:
 - niektoré parametre závisia od úrovne napätosti a spôsobu deformácie
 - správanie niektorých materiálov počas skúšky neodpovedá správaniu sa týchto materiálov v sile
 - vplyv času a vlhkosti
 - účinky dynamických zaťažení
 - drobitosť alebo tvárnosť materiálov
 - spôsob plnenia sila resp. skúšobného prístroja
- pri stanovovaní súčiniteľa trenia treba uvážiť:
 - koróziu a chemickú reakciu materiálu a steny sila
 - obrúsenie a opotrebenie steny (väčšia drsnosť)
 - leštenie steny
 - hromadenie mazľavých častí na stene
 - vtláčanie častíc do zdrsnenej steny

SKLADOVANÝ MATERIÁL

Objemová tiaž γ

- pre uľahnutý materiál, na úrovni napätosti pre uskladnený materiál

Súčiniteľ trenia o stenu μ

- podľa povrchu steny

Kategória	Opisný názov	Typické materiály stien
D1	nízke trenie, zatriedený ako „klzký“	za studena valcovaná nehrdzavejúca oceľ leštená nehrdzavejúca oceľ povrchy s úpravou navrhnutou pre nízke trenie leštený hliník polyetylén s veľmi vysokou molekulárnou hmotnosťou ^a
D2	mierne trenie zatriedený ako „hladký“	uhlíková oceľ s miernymi nerovnosťami (zvárané alebo skrutkované konštrukcie) valcovaná nehrdzavejúca oceľ galvanizovaná uhlíková oceľ povrchy s úpravou určenou proti korózii a opotrebeniu otieraním
D3	vysoké trenie zatriedený ako „drsňý“	oddebný betón, hladný betón alebo starý betón stará (skorodovaná) uhlíková oceľ proti oderu odolná oceľ keramické dlaždice
D4	nepravidelný	vodorovne vlnité steny profilované plechy s vodorovnými rebrami neštandardné steny s veľkými nepravidlosťami

SKLADOVANÝ MATERIÁL

Uhol vnútorného trenia ϕ_t

- \arctg pomeru šmykového a normálového napätia

Pomer tlakov K

- pomer stredného vodorovného tlaku ku strednému zvislému tlaku

Súdržnosť c

- mení sa spolu s konsolidačným napätím, ktoré pôsobilo na materiál

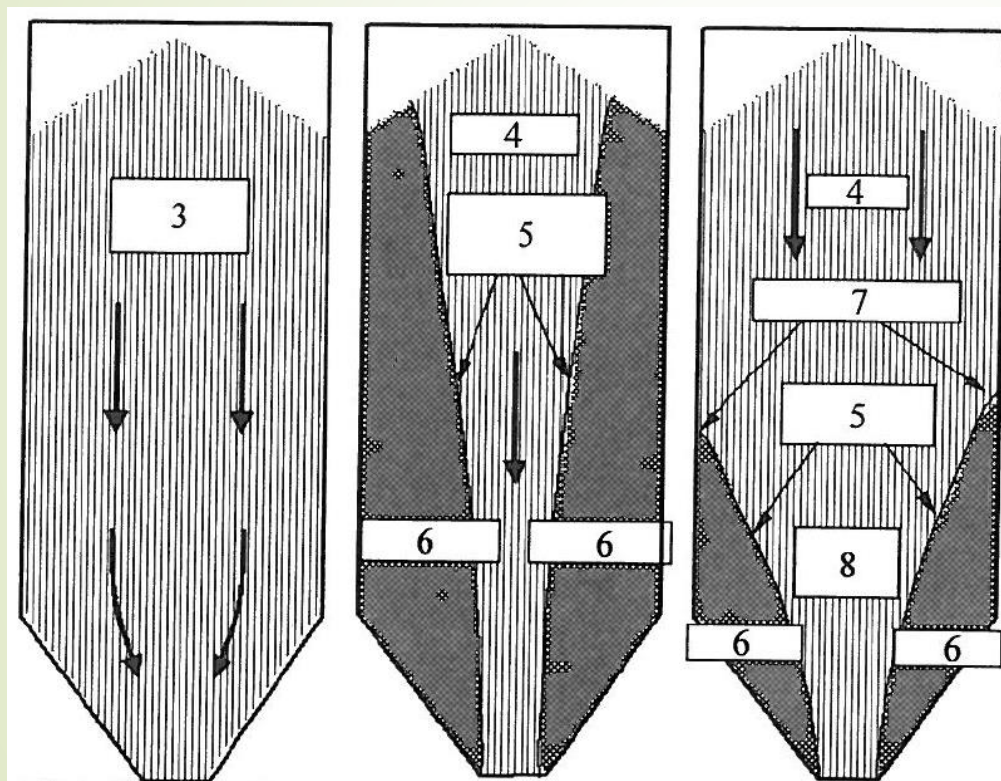
Referenčný súčiniteľ miestneho zaťaženia materiálom C_{op}

- vzniká pri nesymetrickom vyprázdňovaní sila

Druh sypkého materiálu ^{d,e}	Objemová tiaž ^b γ		Uhol prírodzeného sklonu ϕ	Uhol vnútorného trenia ϕ		Pomer tlakov K		Súčiniteľ trenia o stenu ^c μ ($\mu = \tan \phi_w$)				Referenčný súčiniteľ miestneho zaťaženia C_{op}
	γ_i	γ_u		ϕ_m	a_ϕ	K_m	a_K	Typ steny D1	Typ steny D2	Typ steny D3	a_μ	
	dolná	horná		stredná	súčiniteľ	stredná	súčiniteľ	stredná	stredná	stredná	súčiniteľ	
	kN/m ³	kN/m ³	stupne	stupne								
všeobecný materiál ^a	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0
kamenivo	17,0	18,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4
kysličník hlinitý	10,0	12,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
živočíšne krmivo – zmes	5,0	6,0	39	36	1,08	0,45	1,10	0,22	0,30	0,43	1,28	1,0

PRÚDENIE SYPKÝCH MATERIÁLOV

Tvar prúdenia sypkých materiálov v sile pri jeho vyprázdňovaní má vplyv na vznik a veľkosť tlakov na steny sily



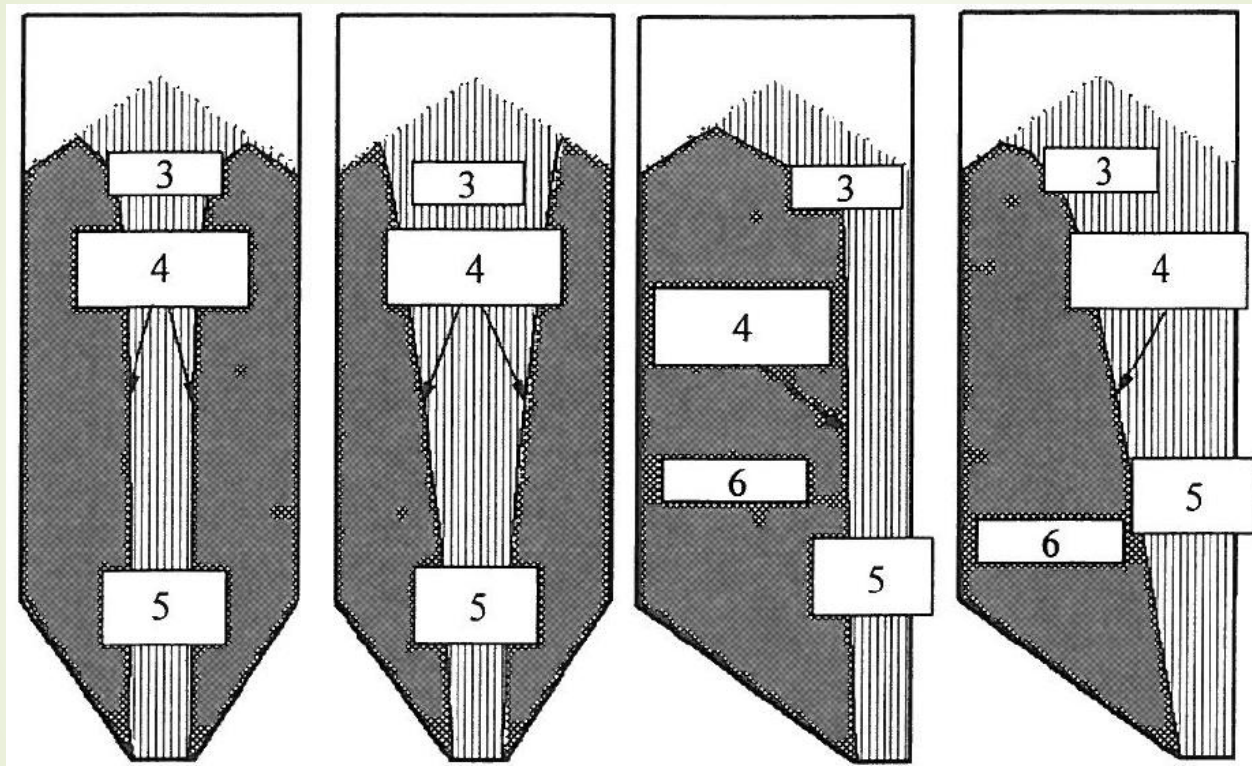
- 3 – pohyb všetkého materiálu
- 4 – prúdiaci materiál
- 5 – okraj prietokového kanála
- 6 – nehybný materiál
- 7 – efektívny prechod
- 8 – efektívna výsyпка

celkové prúdenie

lievikovité prúdenie
(rúrové alebo zmiešané)

PRÚDENIE SYPKÝCH MATERIÁLOV

Lievikovitité prúdenie – rúrové prúdenie



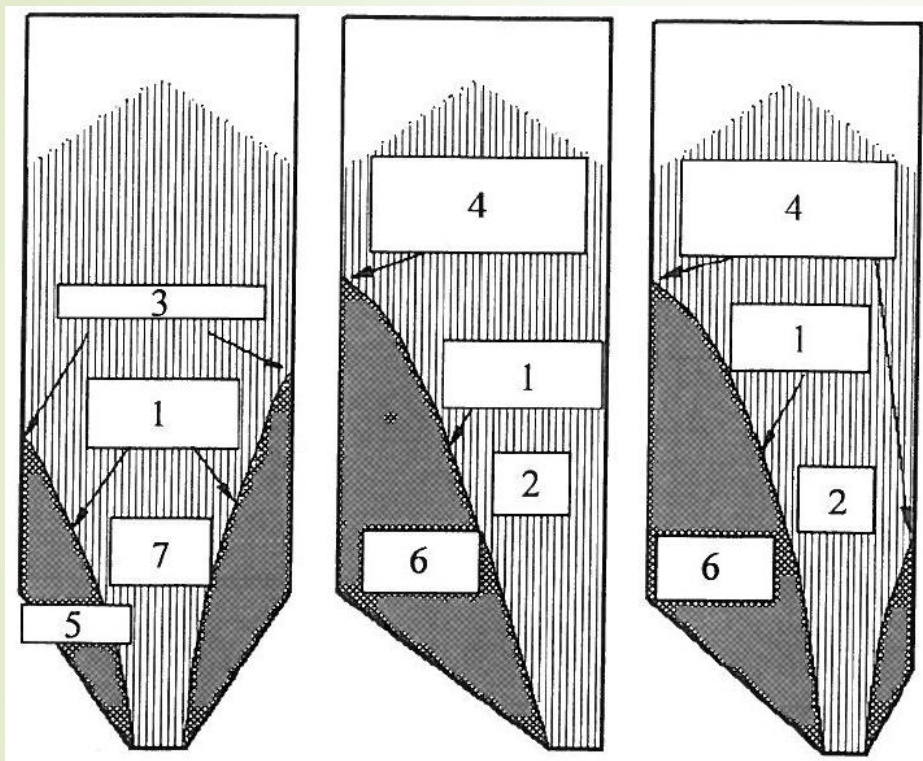
vnútorné rúrové prúdenie

excentrické rúrové prúdenie

- 3 – prúdiaci materiál
- 4 – okraj prietokového kanála
- 5 – prietoková rúra
- 6 – nehybný materiál

PRÚDENIE SYPKÝCH MATERIÁLOV

Lievikovitú prúdenie – zmiešanú prúdenie



- 1 – okraj prietokového kanála
- 2 – prietoková zóna
- 3 – efektívny prechod
- 4 – efektívny prechod (premenný)
- 5 – nehybný materiál
- 6 – nehybný materiál
- 7 – efektívna výsypka

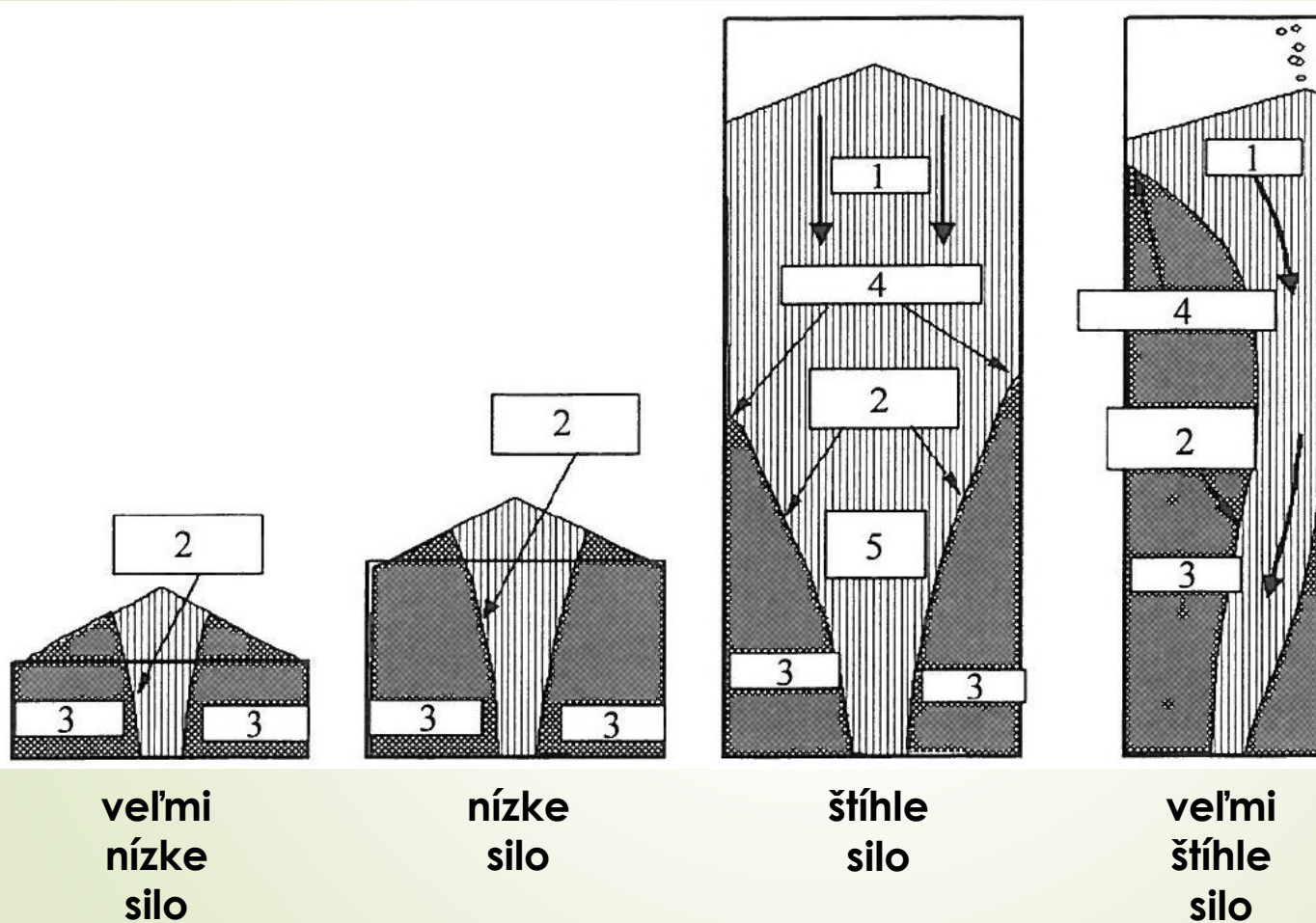
sústredené
zmiešané
prúdenie

úplne
excentrické
zmiešané
prúdenie

čiastočne
excentrické
zmiešané
prúdenie

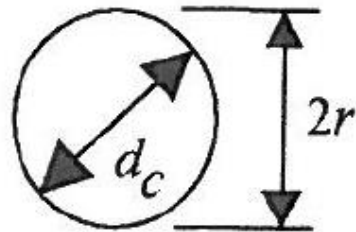
PRÚDENIE SYPKÝCH MATERIÁLOV

Vplyv štihlosti sila na prúdenie

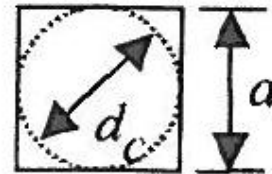


TVARY PRIEČNYCH REZOV

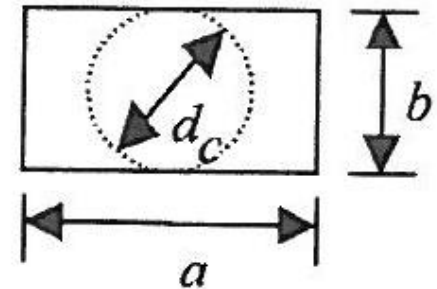
$$A/U = r/2$$



$$A/U = a/4$$



$$A/U = (b/2) / (1+b/a)$$

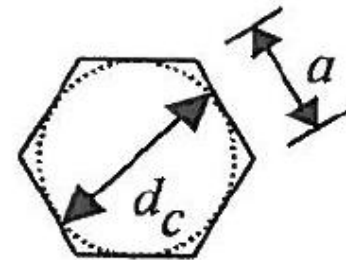


A plocha priečného rezu

U obvod priečného rezu

d_c priemer resp.
ekvivalentný priemer

a, b dĺžky hrán



$$A/U = \sqrt{3} (a/4) = d_c/4$$

GEOMETRICKÉ OBMEDZENIA

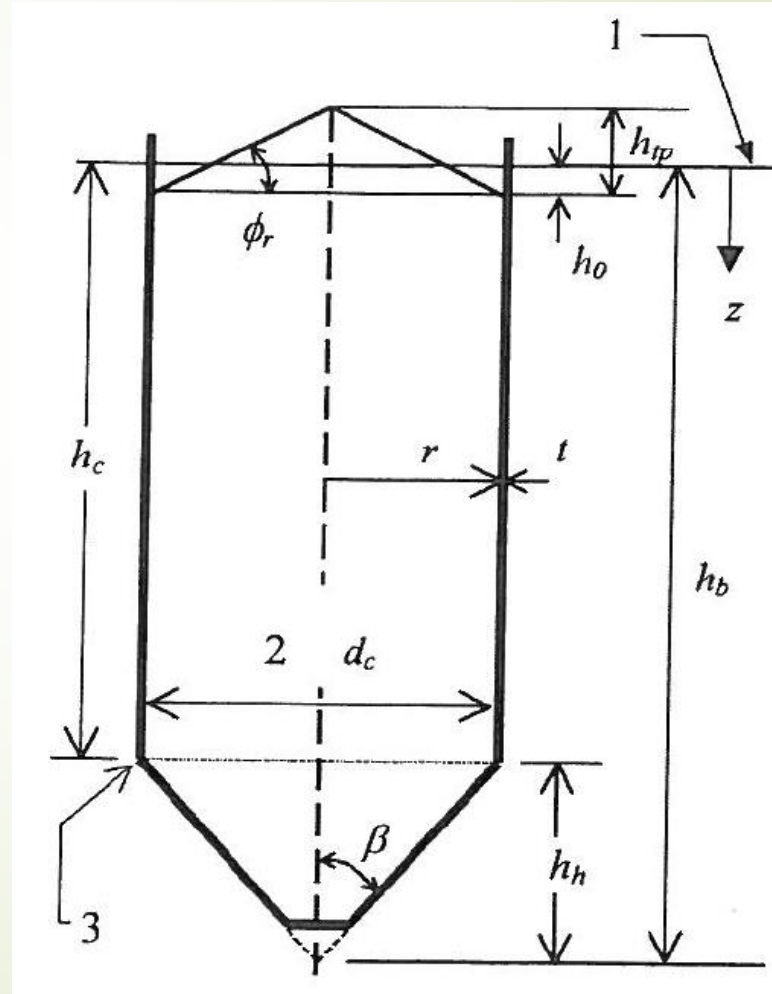
- rozmerové obmedzenia

$$h_b/d_c < 10$$

$$h_b < 100m$$

$$d_c < 60m$$

- prechod na jednej vodorovnej úrovni (rovina v úrovni bodu 3)
- silá bez vnútorných konštrukcií (okrem výstuh v obdĺžnikovom sile)



SKLADOVANÝ MATERIÁL

- silo sa navrhuje pre definovaný rozsah vlastností sypkých materiálov
- skladovaný materiál je voľne prúdiaci, alebo sa návrhom zabezpečí jeho voľné prúdenie
- priemer častice nie je väčší ako $0,03.d_c$

PLNENIE A VYPRÁZDŇOVANIE SILA

- plnenie spôsobuje len zanedbateľné zotrvačné účinky a zaťaženia rázom
- pri vyprázdňovaní sa môžu použiť dopravníky alebo potrubia (prúdenie materiálu musí ostať hladké a centrálné)
- výsyvky musia byť osovo symetrické (kuželové, ihlanové, klinové,...)

NÁVRHOVÉ SITUÁCIE

- STN EN 1990 + STN EN 1991-4 príloha A
- zaťaženia zo susedných konštrukcií (strechy, podperné konštrukcie,...)
- zaťaženia od transportérov a vrát
- mimoriadne zaťaženia (výbuchy, nárazy vozidiel, seizmicita, požiar)
- návrhové situácie pre materiál uskladnený v sile:
 - zaťaženie v stave úplného naplnenia
 - schémy zaťaženia pri plnení a vyprázdňovaní sila (MSÚ a MSP)
 - medzné stavy:
 - maximálne normálové napätie na zvislú stenu sila
 - maximálne trecí ťah (trakcia) na zvislej stene
 - maximálny zvislý tlak na dno sila
 - maximálne zaťaženia výsyvky sila
- návrhové situácie pre kvapaliny v nádržiach:
 - zaťaženie v stave úplného naplnenia a čase prevádzky
 - ak je prevádzková hladina kvapaliny odlišná od maximálnej hladiny, potom sa stav úplného naplnenia uvažuje ako mimoriadna návrhová situácia

NÁVRHOVÉ SITUÁCIE - SILÁ (AAC1)

- zjednodušené návrhové situácie
 - plnenie sila
 - vyprázdňovanie sila
 - vietor, ak je silo prázdne
 - plnenie sila v kombinácii s účinkami vetra
 - zaťaženie snehom na streche sila
- pre zaťaženie vetrom sa môže použiť pravidlá podľa STN EN 1991-1-4

NÁVRHOVÉ SITUÁCIE - SILÁ (AAC2 A AAC3)

- stále zaťaženie a hlavné premenné zaťaženia sa berú plnými hodnotami
- ostatné sprievodné premenné zaťaženia sa berú reprezentatívnymi hodnotami (tab. A1 až A5 – STN EN 1991-4, príloha A)

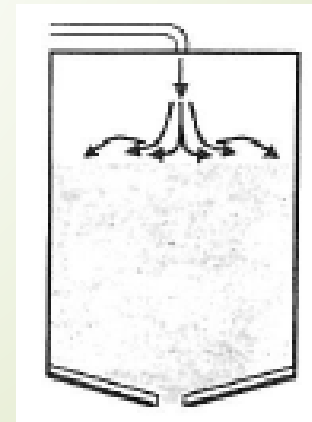
Skrátene označenie	Návrhová situácia/ Prevládajúce zaťaženie 1	Stále zaťaženie	Sprievodné zaťaženie 2	$\psi_{0,2}$	Sprievodné zaťaženie 3	$\psi_{0,3}$
D	Vyprázdňovanie materiálu	Vlastná tiaž	Sadnutie základu	1,0	Sneh alebo vietor alebo teplota	0,6
					Úžitkové zaťaženia alebo vnútené pretvorenia	0,7
I	Úžitkové zaťaženia alebo vnútené pretvorenia	Vlastná tiaž	Plnenie materiálu	1,0	Sneh alebo vietor alebo teplota	0,6
S	Sneh	Vlastná tiaž	Plnenie materiálu	1,0		
WF	Vietor a plné silo	Vlastná tiaž	Plnenie materiálu	1,0		
WE	Vietor a prázdne silo	Vlastná tiaž	Silo bez náplne	0,0		
T	Teplota	Vlastná tiaž	Plnenie materiálu	1,0		
F	Sadnutie základu	Vlastná tiaž	Vyprázdňovanie materiálu	1,0	Sneh alebo vietor alebo teplota	0,6
				$\psi_{2,2}$		$\psi_{2,3}$
E	Výbuch	Vlastná tiaž	Plnenie materiálu	0,9	Úžitkové zaťaženia alebo vnútené pretvorenia	0,3
V	Náraz vozidla	Vlastná tiaž	Plnenie materiálu	0,8	Úžitkové zaťaženia alebo vnútené pretvorenia	0,3

POZNÁMKA 1. – Táto tabuľka sa vzťahuje na označenia pri pravidlách pre kombinácie zaťažení podľa kapitoly 6 v EN 1990.

POZNÁMKA 2. – Indexy pri ψ majú nasledujúci význam; prvý index označuje návrhovú situáciu: obvyklé charakteristické hodnoty sú 0, časté hodnoty sú 1, kvázistále hodnoty sú 2. Druhý index sa týka čísla zaťaženia v kombinácii.

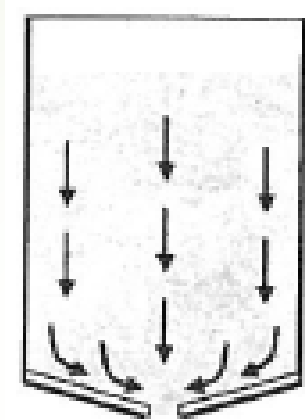
VPLYV GEOMETRIE SILA

- potreba zohľadniť šírlosť sila (pomer výšky ku šírke), geometriu výsypky a usporiadanie pri vyprázdňovaní
- pri lievikovom prúdení vo vnútri materiálu sa tlaku pri vyprázdňovaní môžu zanedbať
- pri symetrickom celkovom alebo zmiešanom prúdení môžu vzniknúť nesymetrické tlaky
- v prípade viacerých výpustov treba uvažovať s rôznymi kombináciami otvorených a uzavretých výpustov
- ak je silo plnené pneumaticky, potom treba uvážiť dve návrhové situácie:
 - prirodzené rozloženie do tvaru kužeľa
 - rovnomerné rozloženie

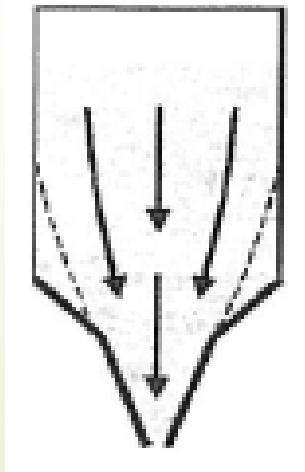


VPLYV GEOMETRIE SILA

- ak má silo prevzdušňované dno, treba uvážiť, že prach môže byť tekutý len v obmedzenej zóne a môže spôsobiť excentrické rúrové prúdenie



- zvislé steny sila s výsypkou zvyšujúcou prúdenie pri vyprázdňovaní môžu byť vystavené zmiešanému prúdeniu (vznik nesymetrických tlakov)



KONŠTRUKČNÉ TVARY SÍL

- **betónové silá – MSP – vznik trhlín – prístup vody**
- **kovové silá (skrutkované a nitované) – výskyt nesymetrického zaťaženia**
- **vplyv únavy – len pre silá s vyprázdňovacím cyklom < 1 deň**
- **prefabrikované silá – doprava a montáž**
- **montážne a prístupové otvory – uvažuje sa dvojnásobný lokálny tlak**
- **pneumatické dopravné systémy – prídavný tlak a vibrácie**

PRINCÍPY NAVRHOVANIA NA VÝBUCH

- **ochrana pred poškodením explóziou jednou z možností:**
 - **zahrnutie dostatočnej plochy na odľahčenie tlaku**
 - **začlenenie vhodných systémov na potlačenie výbuchu**
 - **navrhnutie konštrukcie odolnej výbuchu**

ZAŤAŽENIE ZVISLÝCH STIEN SÍL



SYMETRICKÉ

PEVNÉ



MIESTNE

VOĽNÉ

PRÍDAVNÉ ZAŤAŽENIE ZVISLÝCH STIEN SÍL



PREVZDUŠŇOVANÝ MATERIÁL

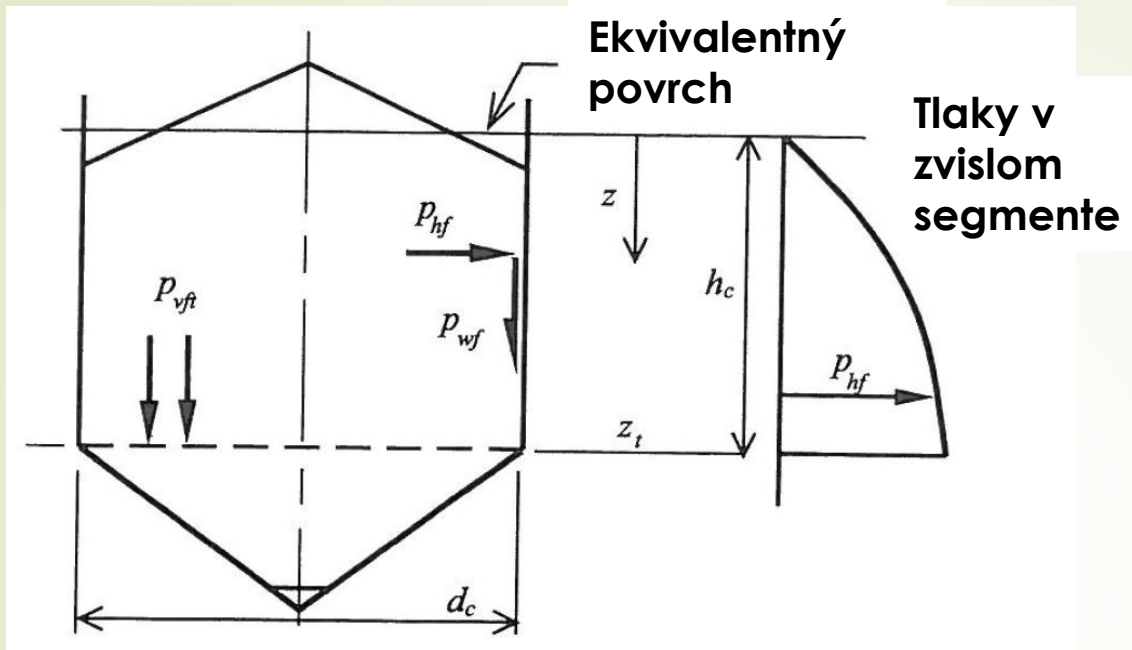


TEPLOTNÉ ROZDIELY



SILÁ OBDĹŽNIKOVÉHO PRIEREZU

ŠTÍHLE SILÁ - ZVISLÉ STENY - SYMETRICKÉ ZAŤAŽENIA PRI PLNENÍ



vodorovný tlak

$$p_{hf}(z) = p_{ho} \cdot Y_j(z)$$

trecia trakcia

$$p_{wf}(z) = \mu \cdot p_{ho} \cdot Y_j(z)$$

zvislý tlak

$$p_{vf}(z) = \frac{p_{ho}}{K} \cdot Y_j(z)$$

$$p_{ho} = \gamma \cdot K \cdot z_o \quad z_o = \frac{1}{K \cdot \mu} \cdot \frac{A}{U} \quad Y_j = 1 - e^{-z/z_o} \quad \text{(Janssen)}$$

γ charakteristická hodnota objemovej tiaže materiálu

μ charakteristická hodnota súčiniteľa trenia

K charakteristická hodnota pomeru tlakov

$$n_{zSk} = \int_0^z p_{wt}(z) dz = \mu \cdot p_{ho} \cdot \left[z - z_o \cdot Y_j(z) \right]$$

výsledná charakteristická hodnota tlakovej sily na stene sila

ŠTÍHLE SILÁ - ZVISLÉ STENY - MIESTNE ZAŤAŽENIA PRI PLNENÍ

- náhodné nesymetrie zaťaženia – excentricity pri plnení
- pre silá triedy zaťaženia AAC1 a pre silá plnené prevzdušňovaním sú zanedbateľné
- miestne zaťaženie má charakter normálových napätí, t.j. zmena trecej trakcie nenastáva
- referenčná veľkosť miestneho tlaku pri plnení

$$p_{pf} = C_{pf} \cdot p_{hf}$$

$$C_{pf} = 0,21 \cdot C_{op} \cdot [1 + 2 \cdot E^2] \cdot (1 - \exp\{-1,5 \cdot [(h_c / d_c) - 1]\}) \geq 0$$

$$E = 2 \cdot e_f / d_c$$

e_f maximálna excentricita povrchu haldy pri plnení

p_{hf} hodnota lokálneho tlaku pri plnení vo výške zóny „s“

$$s = \pi \cdot d_c / 16 \approx 0,2 \cdot d_c$$

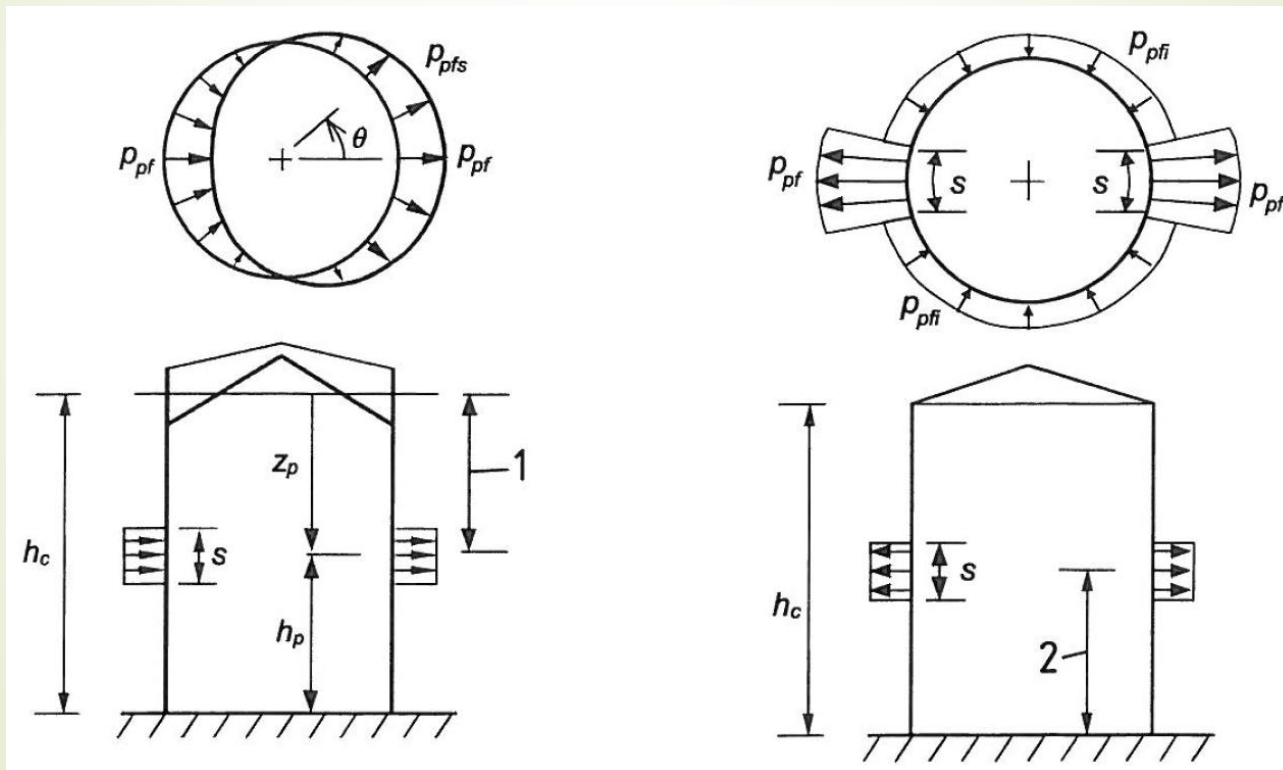
C_{op} referenčný súčiniteľ miestneho zaťaženia materiálom (tab. E.1)

ŠTÍHLE SILÁ - ZVISLÉ STENY - MIESTNE ZAŤAŽENIA PRI PLNENÍ

Kruhovú silá

Tenkostenné

Hrubostenné

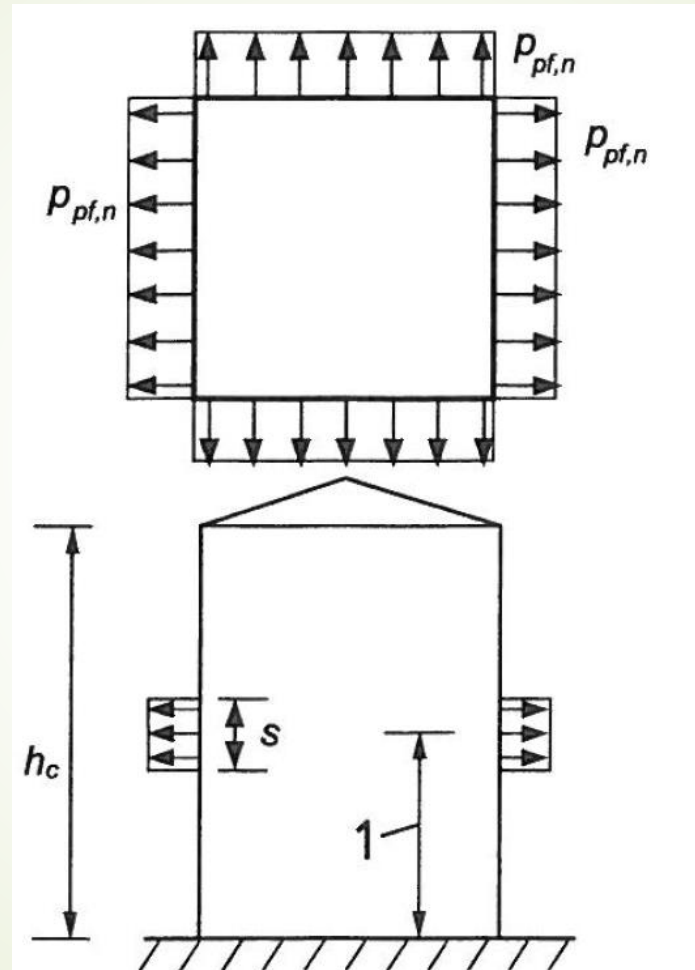


$$p_{pfs} = p_{pf} \cdot \cos \theta$$

$$p_{pfi} = p_{pf} / 7$$

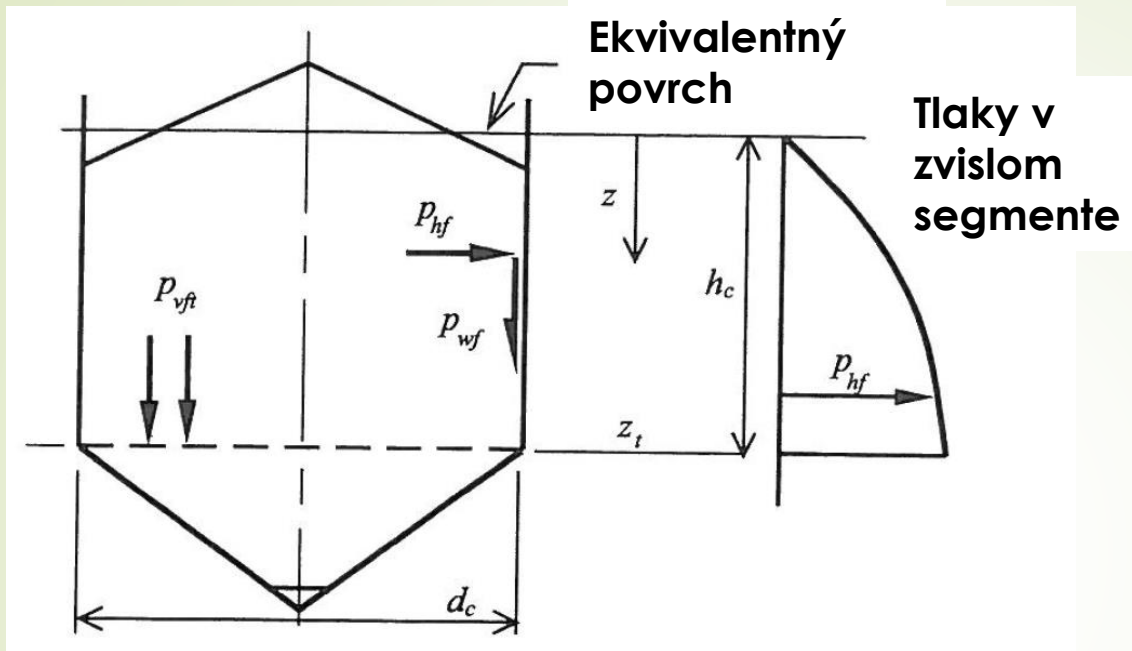
ŠTÍHLE SILÁ - ZVISLÉ STENY - MIESTNE ZAŤAŽENIA PRI PLNENÍ

Nekruhové silá



$$p_{pf,nc} = 0,36 \cdot p_{pf}$$

ŠTÍHLE SILÁ - ZVISLÉ STENY - SYMETRICKÉ ZAŤ. PRI VYPRÁZDŇOVANÍ



vodorovný tlak

$$P_{he} = C_h \cdot P_{hf}$$

treća trakcia

$$P_{we} = C_w \cdot P_{wf}$$

C_h a C_w

súčiniteľ vodorovného tlaku a súčiniteľ trecej trakcie

$$n_{zSk} = \int_0^z p_{we}(z) dz = C_w \cdot \mu \cdot p_{ho} \cdot [z - z_0 \cdot Y_j(z)]$$

výsledná charakteristická hodnota tlakovej sily na stene sila

ŠTÍHLE SILÁ - ZVISLÉ STENY - MIESTNE ZAŤ. PRI VYPRÁZDŇOVANÍ

- náhodné nesymetrie zaťaženia pri vyprázdňovaní
- excentricity vpustov a výpustov
- pre silá triedy zaťaženia AAC1 sú zanedbateľné
- referenčná veľkosť miestneho tlaku pri vyprázdňovaní

$$p_{pe} = C_{pe} \cdot p_{he}$$

$$C_{pe} = 0,42 \cdot C_{op} \cdot [1 + 2 \cdot E^2] \cdot (1 - \exp\{-1,5 \cdot [(h_c / d_c) - 1]\}) \geq 0 \quad \text{pre } h_c / d_c > 1,2$$

$$C_{pe} = 0,272 \cdot C_{op} \cdot [(h_c / d_c) - 1 + E] \geq 0 \quad \text{pre } h_c / d_c \leq 1,2$$

$$E = 2 \cdot e / d_c$$

e maximálna excentricita povrchu haldy pri plnení, resp. excentricita výpustu (väčšia hodnota)

p_{he} hodnota lokálneho tlaku pri vyprázdňovaní vo výške zóny „s“

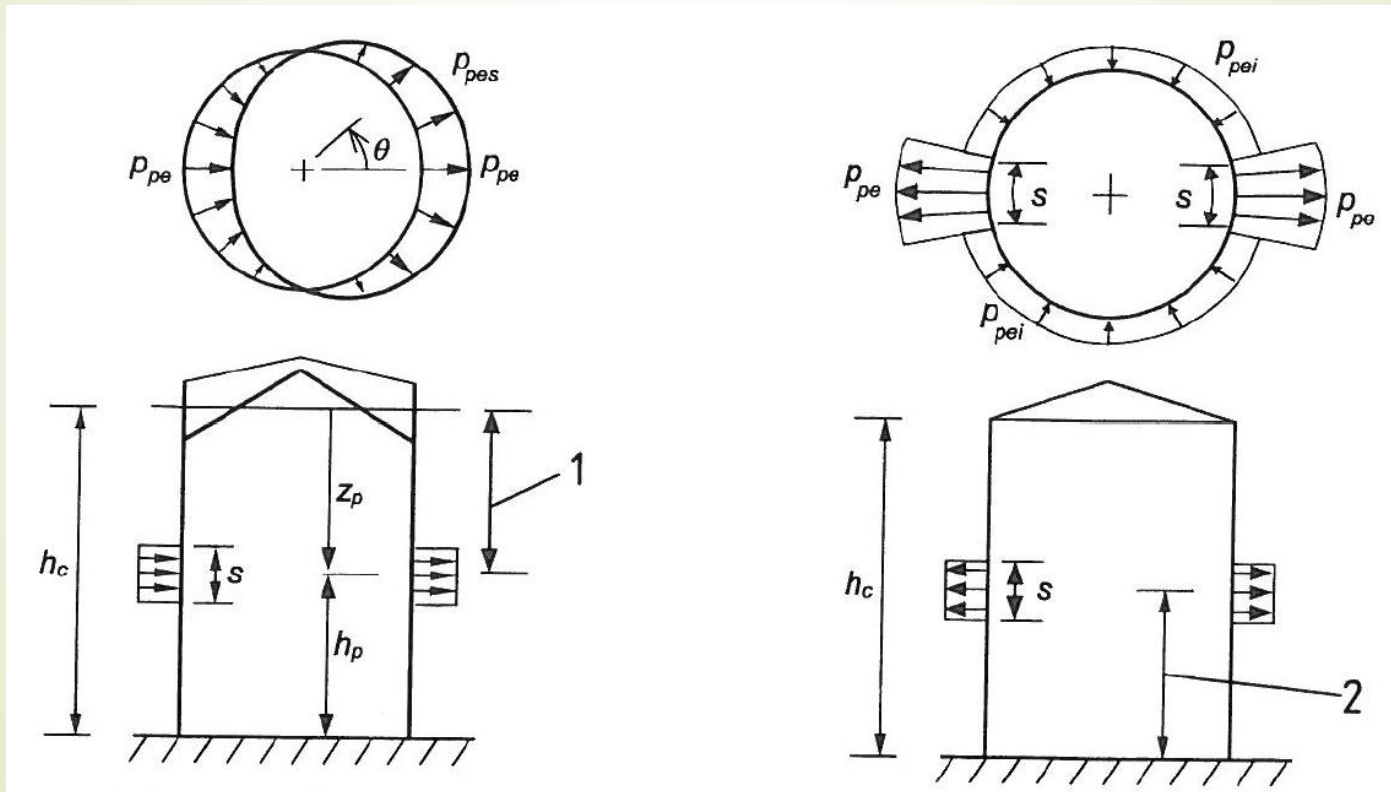
C_{op} referenčný súčiniteľ miestneho zaťaženia materiálom (tab. E.1)

ŠTÍHLE SILÁ - ZVISLÉ STENY - MIESTNE ZAŤ. PRI VYPRÁZDŇOVANÍ

Kruhové silá

Tenkostenné

Hrubostenné

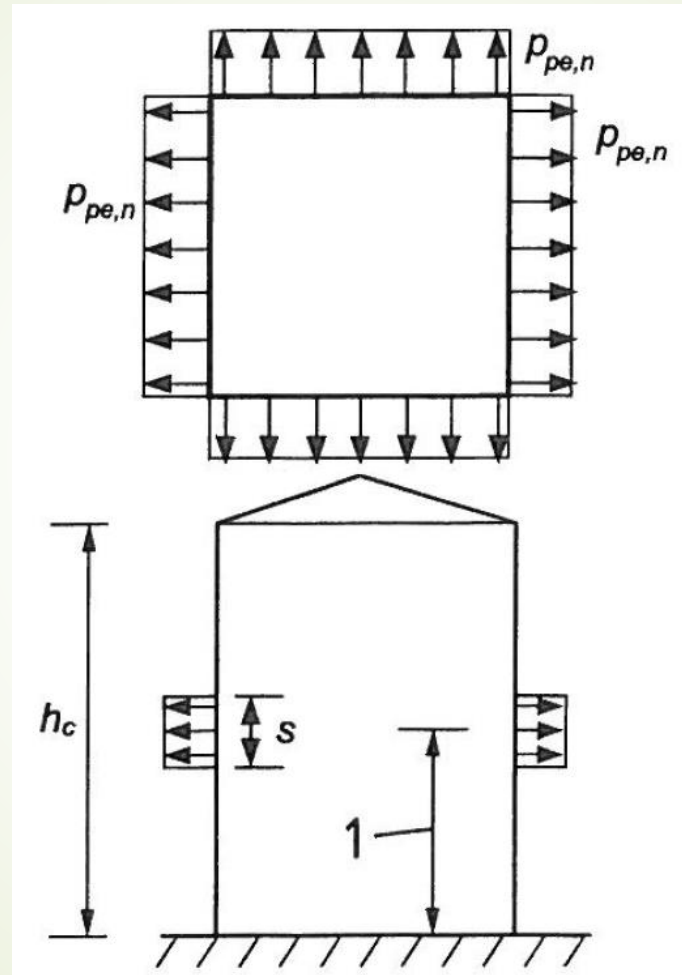


$$p_{pes} = p_{pe} \cdot \cos \theta$$

$$p_{pei} = p_{pe} / 7$$

ŠTÍHLE SILÁ - ZVISLÉ STENY - MIESTNE ZAŤ. PRI VYPRÁZDŇOVANÍ

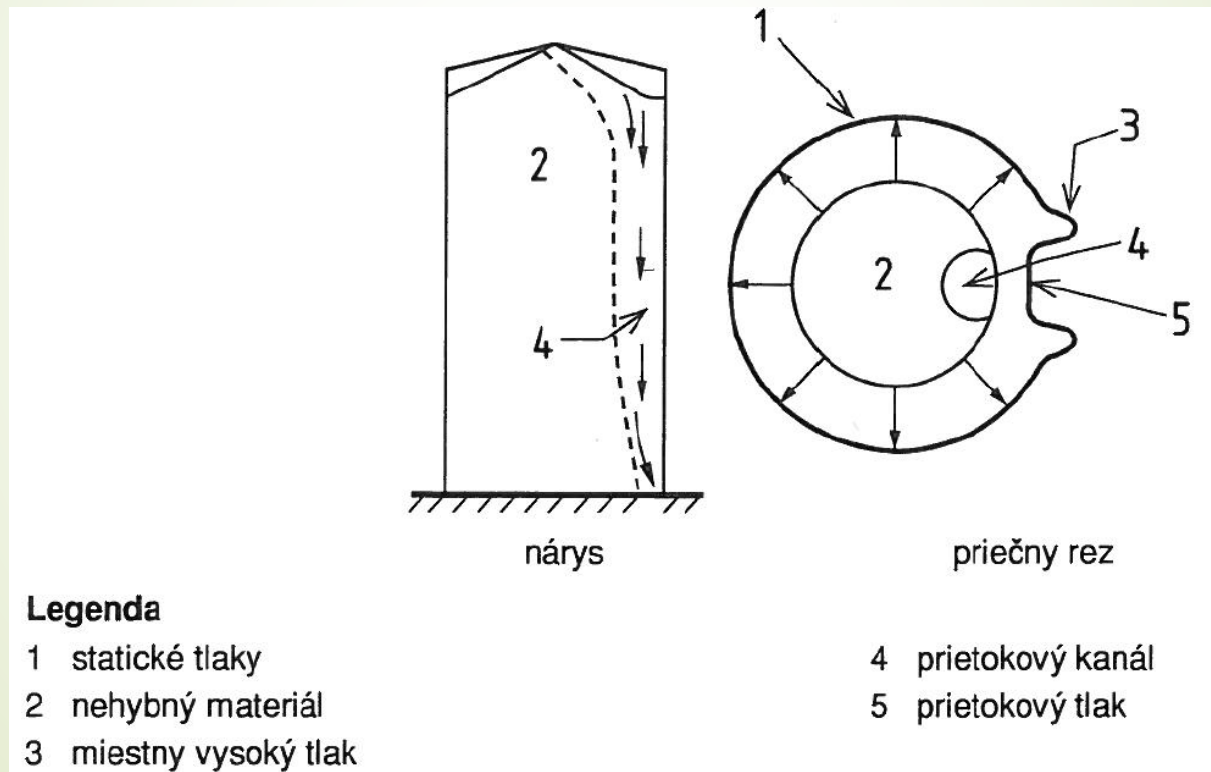
Nekruhové silá



$$p_{pe,nc} = 0,36 \cdot p_{pe}$$

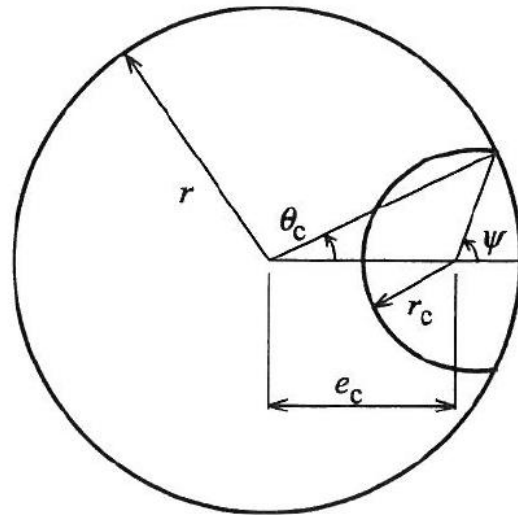
ŠTÍHLE SILÁ - ZVISLÉ STENY - ZAŤAŽENIA PRI VEĽKÝCH EXCENTRICITÁCH VÝPUSTOV

- samostatný zaťažovací prípad
- pre excentricity výпустov väčšie ako $0,25 \cdot d_c$
- pre silá triedy zaťaženia AAC1 sú zanedbateľné
- pre silá triedy zaťaženia AAC2 možnosť zjednodušeného postupu

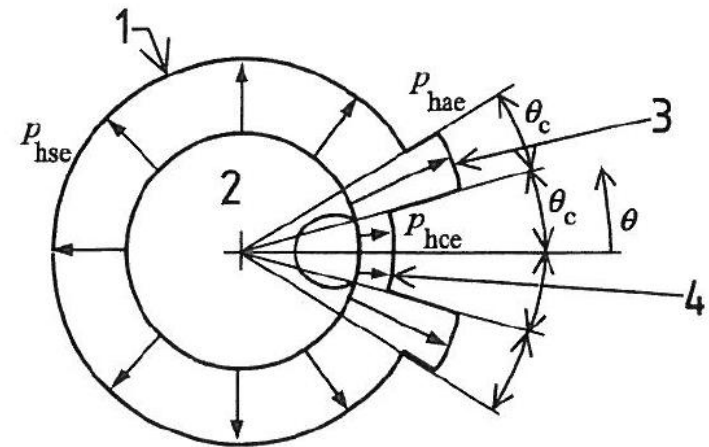


prietokový kanál a vznik tlakov na zvislé steny

ŠTÍHLE SILÁ - ZVISLÉ STENY - ZAŤAŽENIA PRI VEĽKÝCH EXCENTRICITÁCH VÝPUSTOV



b) geometria kanála



c) tlaky

Legenda

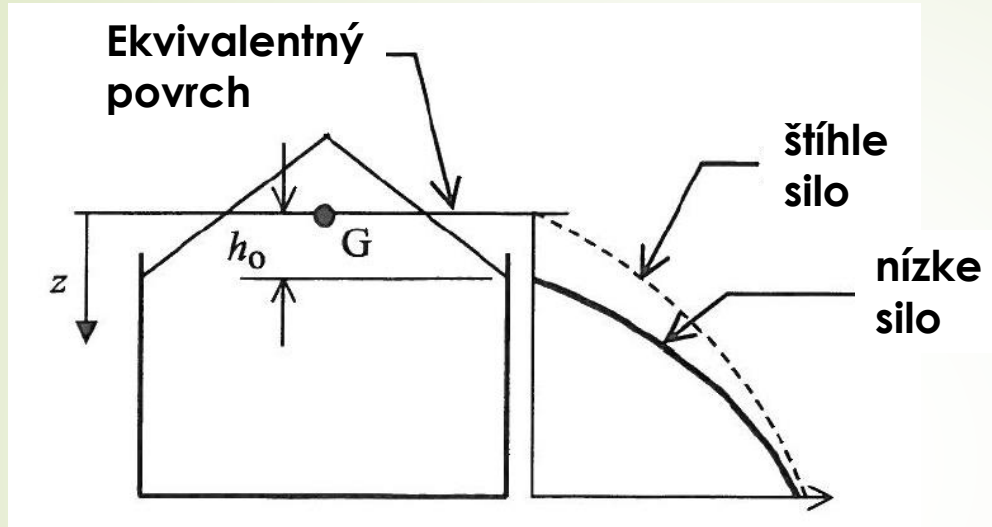
1 statické tlaky

2 nehybný materiál

3 tlaky na okraji kanála

4 prietokové tlaky v kanáli

NÍZKE SILÁ A SILÁ SO STREDNOU ŠTÍHLOSŤOU ZVISLÉ STENY - SYMETRICKÉ ZAŤAŽENIA PRI PLNENÍ



vodorovný tlak

$$p_{hf} = p_{ho} \cdot Y_R$$

trečia trakcia

$$p_{wf} = \mu \cdot p_{hf}$$

$$p_{ho} = \gamma \cdot K \cdot z_o \quad z_o = \frac{1}{K \cdot \mu} \cdot \frac{A}{U} \quad Y_R = \left(1 - \left\{ \left[\frac{z - h_0}{z_0 - h_0} \right] + 1 \right\}^n \right) \quad \text{(Reimbert)}$$

γ charakteristická hodnota objemovej tiaže materiálu

μ charakteristická hodnota súčiniteľa trenia

K charakteristická hodnota pomeru tlakov

$$n_{zSk} = \int_0^z p_{wf}(z) dz = \mu \cdot p_{ho} \cdot (z - z_v)$$

výsledná charakteristická
hodnota tlakovej sily na stene sila

NÍZKE SILÁ A SILÁ SO STREDNOU ŠTÍHLOŠŤOU ZVISLÉ STENY - MIESTNE ZAŤAŽENIA PRI PLNENÍ

- náhodné nesymetrie zaťaženia – excentricity pri plnení
- v ktorejkoľvek časti steny sila
- miestne zaťaženie má charakter normálových napätí, t.j. zmena trecej trakcie nenastáva
- pre nízke silá všetkých tried zaťaženia a pre silá so strednou štíhlosťou zaradených do triedy zaťaženia AAC1 sú zanedbateľné
- v ostatných prípadoch platia pravidlá pre štíhle silá, vrátane pravidiel pre veľké excentricity výsypok

NÍZKE SILÁ A SILÁ SO STREDNOU ŠTÍHLOŠŤOU ZVISLÉ STENY - SYMETRICKÉ ZAŤAŽENIA PRI VYPRÁZDŇOVANÍ

- pre nízke silá sú hodnoty symetrických zaťažení pri vyprázdňovaní rovnaké ako pri ich plnení
- pre silá so strednou štíhlosťou sa použijú rovnaké pravidlá ako pre štíhle silá. Menia sa len hodnoty súčiniteľov C_h a C_w .

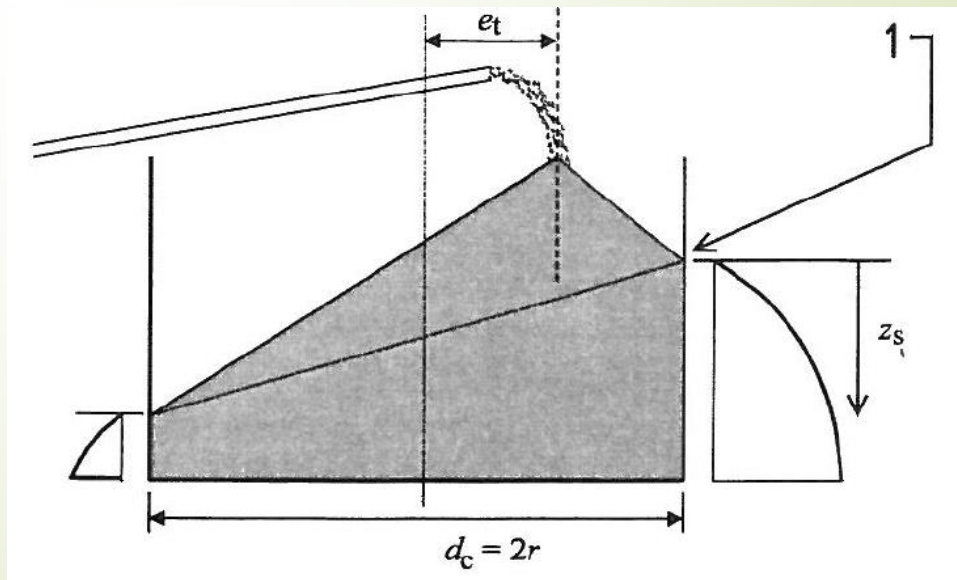
NÍZKE SILÁ A SILÁ SO STREDNOU ŠTÍHLOŠŤOU ZVISLÉ STENY - MIESTNE ZAŤAŽENIA PRI VYPRÁZDŇOVANÍ

- pre nízke silá sa pri malej excentricite vyprázdňovania ($<0,1 \cdot d_c$) sa miestne zaťaženie od vyprázdňovania neuvažuje
- pre nízke silá a silá so strednou štíhlosťou patriacich do triedy zaťaženia AAC1 sa miestne zaťaženie od vyprázdňovania neuvažuje
- pre ostatné nízke silá a silá so strednou štíhlosťou sa použijú pravidlá uvedené pre štíhle silá

NÍZKE SILÁ A SILÁ SO STREDNOU ŠTÍHLOŠŤOU ZVISLÉ STENY - KRUHOVÉ SILÁ S VEĽKOU EXCENTRICITOU PLNENIA

- pre nízke silá a silá so strednou štíhlosťou patriacich do triedy zaťaženia AAC3 a excentricitu plnenia väčšiu ako $0,25 \cdot d_c$ sa musí zobrať do úvahy nesymetria normálových tlakov
- vzniká prídavné trecie napätie v stenách sila

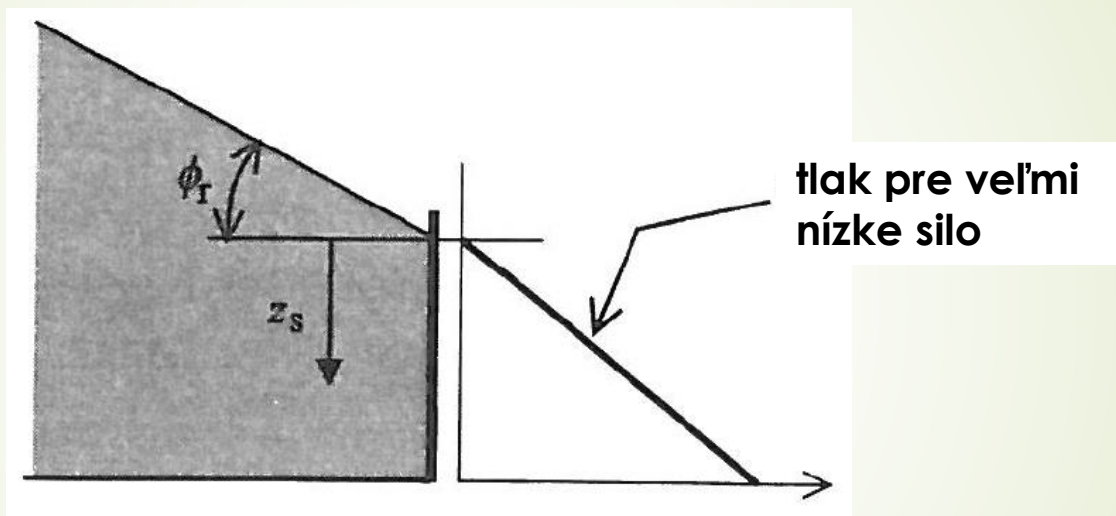
1 – najvyšší kontakt steny s materiálom



VEĽMI NÍZKE SILÁ - ZVISLÉ STENY ZAŤAŽENIA PRI PLNENÍ A VYPRÁZDŇOVANÍ

- pri plnení vzniká len vodorovný tlak na zvislú stenu

$$p_h = \gamma \cdot K \cdot (1 + \sin \phi_r) \cdot z_s$$



$$n_{zSk} = \gamma \frac{\mu \cdot K}{2} (1 + \sin \phi_r) \cdot z_s^2$$

výsledná charakteristická
hodnota tlakovej sily na stene sila

- pri vyprázdňovaní vzniká menšie zaťaženie na zvislú stenu ako pri plnení
- v dôsledku nerovnomerného vyberania materiálu zo sila môžu vzniknúť nesymetrické tlaky na stenu sila

PRÍDAVNÉ ZAŤAŽENIA ZVISLÝCH STIEN SILÁ OBSAHUJÚCE PREVZDUŠNENÝ MATERIÁL

V prípadoch, keď v dôsledku prevzdušňovania môže dôjsť k čiastočnému alebo úplnému stekuteniu skladovaného materiálu treba uvažovať dva zaťažovacie prípady:

- nestekutený uskladnený materiál
- stekutený uskladnený materiál

$$p_h = \gamma_1 \cdot z$$

$$\gamma_1 = 0,8 \cdot \gamma$$

PRÍDAVNÉ ZAŤAŽENIA ZVISLÝCH STIEN TEPLOTNÉ ROZDIELY MEDZI USKLADNENÝM MATERIÁLOM A SILOM

Pri návrhu sila resp. nádrže je potrebné uvažovať s rozdielnymi teplotami v zmysle normy STN EN 1991-5.

Vznikajú rozdielne premiestnenia v dôsledku teplotných rozdielov medzi silom a prídavnými konštrukciami.

Návrhové situácie:

- zníženie okolitej teploty vo vzťahu ku teplote sila a skladovaného materiálu
- rozdielne rýchlosti ohrievania konštrukčných častí
- obmedzenie premiestnení v stene konštrukciou sila

Výpočet prídavných tlakov (STN EN 1991-4):

- tlaky spôsobené znížením teploty okolitého vzduchu
- tlaky spôsobené plnením horúcich materiálov

PRÍDAVNÉ ZAŤAŽENIA ZVISLÝCH STIEN ZAŤAŽENIA SÍL S OBDĹŽNIKOVÝM PRIEČNYM REZOM

Silá s obdĺžnikovým priečnym rezom sa navrhujú rovnako ako kruhové silá.

Niektoré odlišnosti návrhu oproti kruhovým silám udáva kap. 5.7 (STN EN 1991-4):

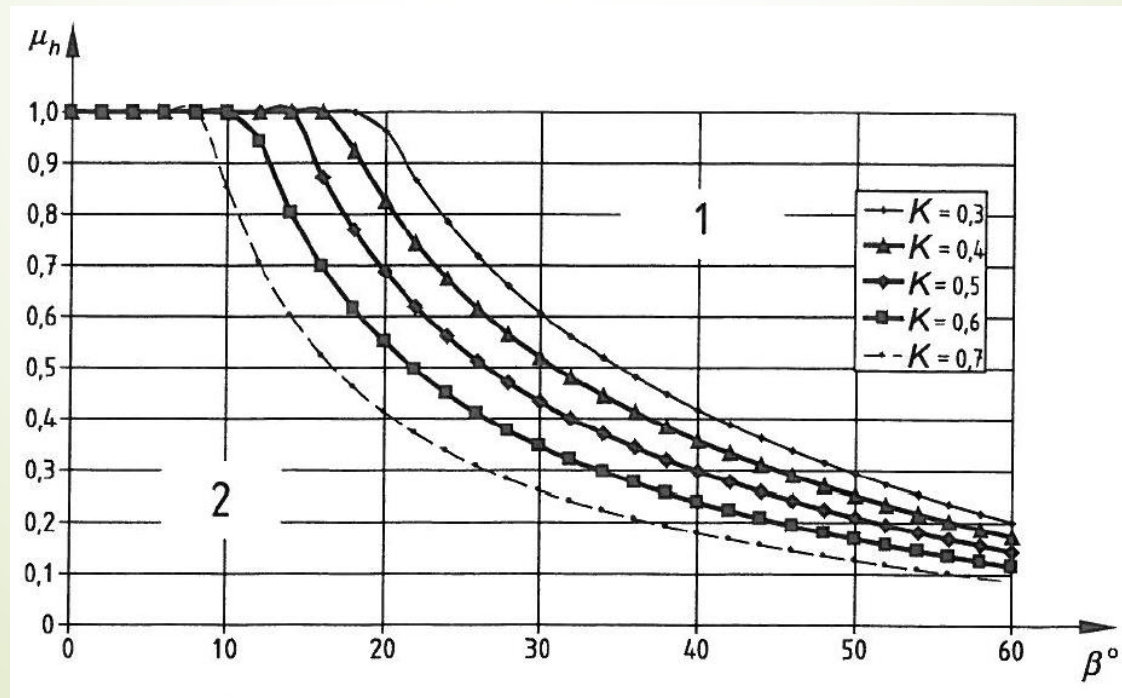
- pri silách tried AAC1 a AAC2 je možné za určitých predpokladov zaradiť tuhosť skladovaného materiálu do tuhosti sila
- dochádza ku zníženiu tlakov v strede sila a ich zvýšeniu v rohoch sila
- v prípade síl s vnútornými výstupami sa zaťaženie od skladovaného materiálu počíta na každú jednu výstuhu
- podrobnejší postup na posúdenie uvádza STN EN 1993-4-1

VÝSYPKY A DNÁ SÍL - ROZDELENIE

- rovné dno = odklon od vodorovnej roviny do 5°
- 2 = strmá výsypka (úplne zmobilizované trenie o stenu výsypky)

$$\tan \beta < \frac{1 - K}{2 \cdot \mu_h}$$

- 1 = plytká výsypka = všetky ostatné prípady



VÝSYPKY A DNÁ SÍL - VŠEOBECNÉ PRAVIDLÁ

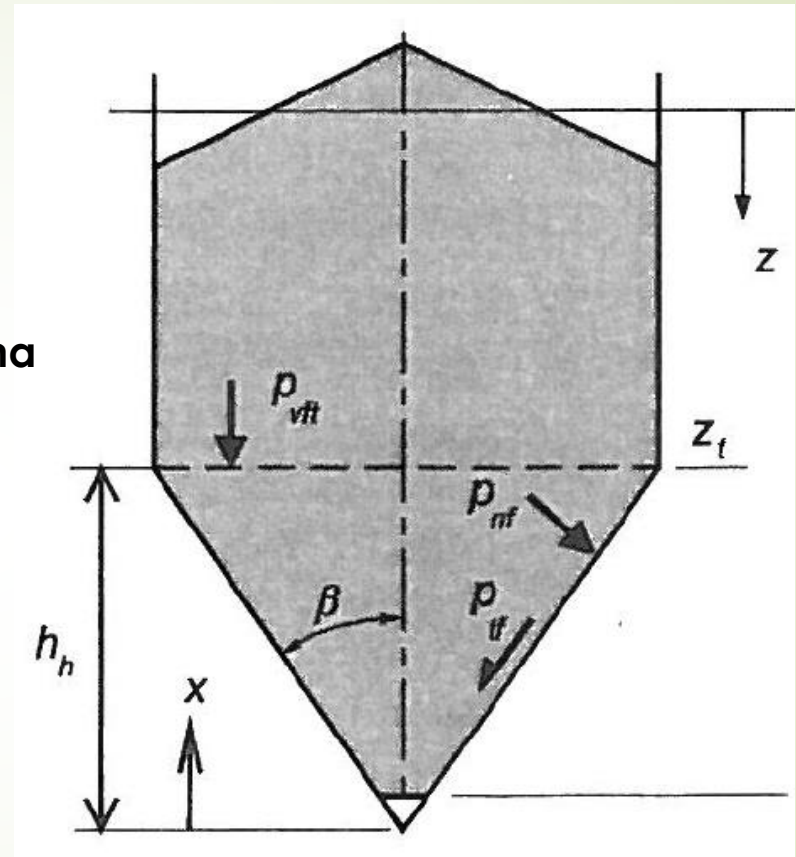
- stredné zvislé napätie na rozhraní zvislej steny a výsypky

$$p_{vft} = C_b \cdot p_{vt}$$

p_{vt} zvislý tlak po naplnení

C_b súčiniteľ zväčšujúci zaťaženie dna (podľa typu sila a skladovaného materiálu)

- alternatívny postup stanovenia síl na výsypky a dná síl je v prílohe „G“ STN EN 1991-4



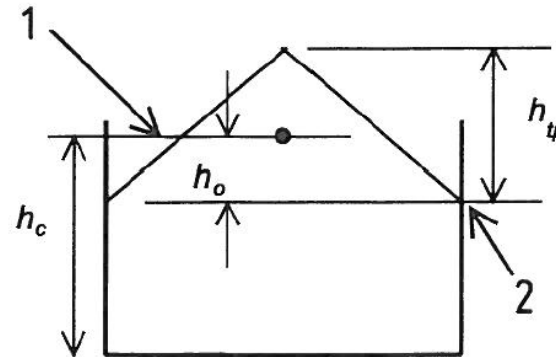
ROVNÉ DNÁ SÍL

- zvislé tlaky na rovné dná štíhlych síl

$$p_v = p_{vft}$$

- zvislé tlaky na rovné dná v nízkych silách a silách so strednou štíhlosťou (lokálne sa môžu vyskytnúť vyššie hodnoty zvislých tlakov)

$$p_{vsq} = p_{vb} + \Delta p_{sq} \cdot \left(\frac{2,0 - h_c / d_c}{2,0 - h_{tp} / d_c} \right)$$



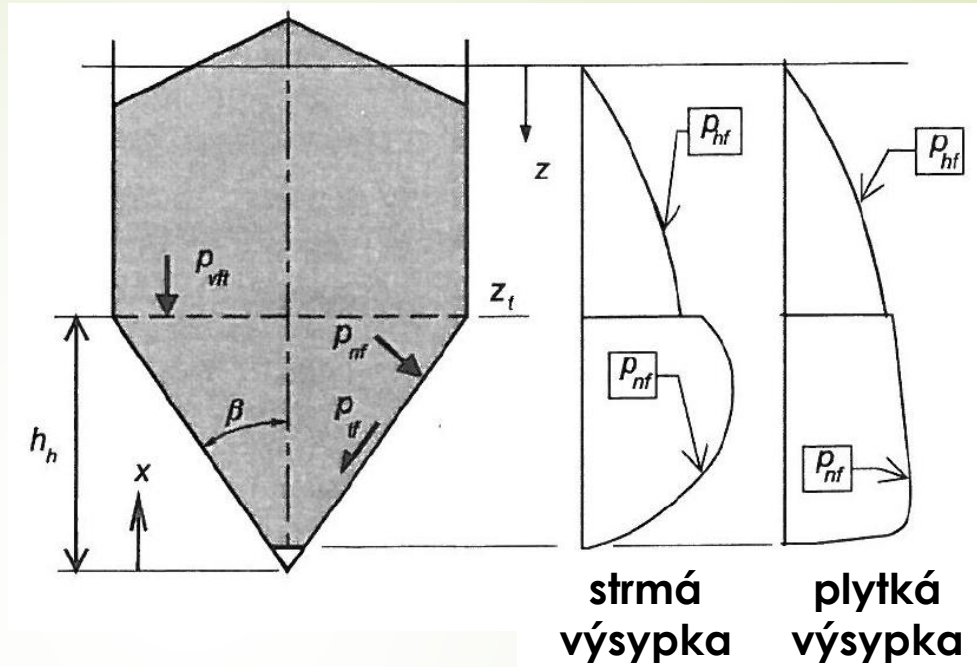
Legenda

- 1 ekvivalentný povrch
- 2 najnižší bod bez kontaktu steny s materiálom

STRMÉ A PLYTKÉ VÝSYPKY - ZAŤAŽENIA PO NAPLNEŇÍ

$$p_{nf} = F_f \cdot p_v$$

$$p_{tf} = \mu_h \cdot F_f \cdot p_v$$



$$F_f = 1 - \frac{0,2}{\left(1 + \frac{\tan \beta}{\mu_h}\right)}$$

úplne zmobilizované
trenie

$$\mu_h = \mu_{inf}$$

častočne
zmobilizované trenie

$$\mu_h = \frac{1 - K}{2 \cdot \tan \beta}$$

STRMÉ A PLYTKÉ VÝSYPKY - ZAŤAŽENIA PRI VYPRÁZDŇOVANÍ

strmé výsypky

$$p_{ne} = F_e \cdot p_v$$

$$p_{te} = \mu_h \cdot F_e \cdot p_v$$

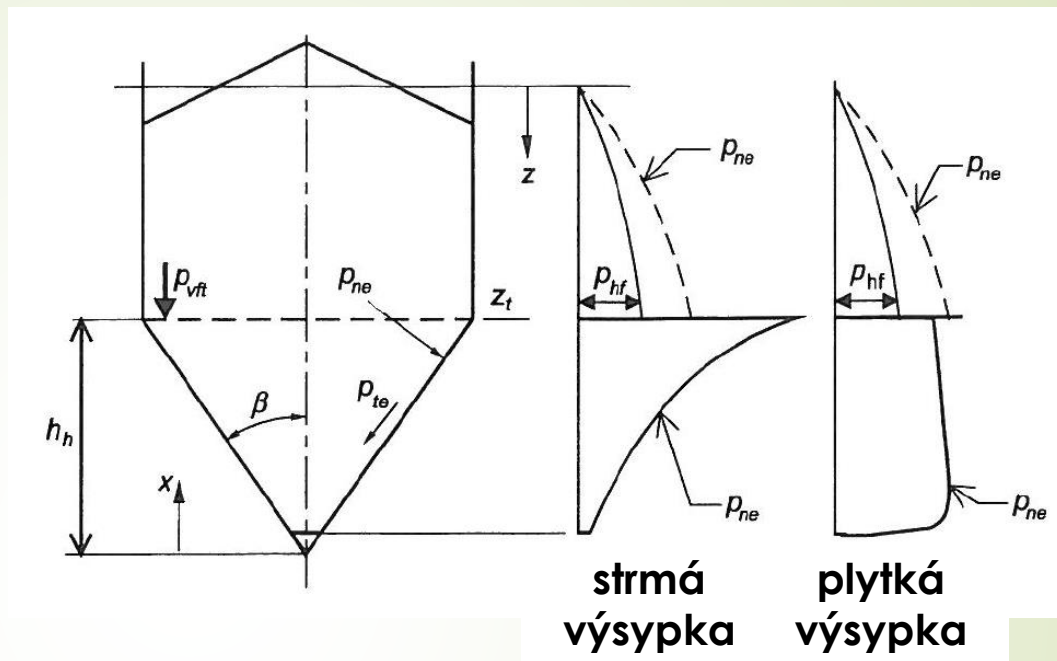
$$F_e = \frac{1 + \sin \phi_t \cdot \cos \varepsilon}{1 - \sin \phi_t \cdot \cos (2 \cdot \beta + \varepsilon)}$$

$$\varepsilon = \phi_{wh} + \sin^{-1} \left\{ \frac{\sin \phi_{wh}}{\sin \phi_t} \right\}$$

$$\phi_{wh} = \tan^{-1} \mu_h$$

$$\mu_h = \mu_{inf}$$

ϕ_t uhol vnútorného trenia



plytké výsypky

uvažujú sa rovnaké hodnoty zaťaženia ako pri plnení sila

ZAŤAŽENIE NÁDRŽÍ KVAPALINAMI

Pri výpočte zaťaženia sa zohľadňuje:

- sortiment kvapalín, ktoré sa budú skladovať
- geometria nádrže
- maximálna hĺbka kvapaliny v nádrži

Charakteristická hodnota tlaku:

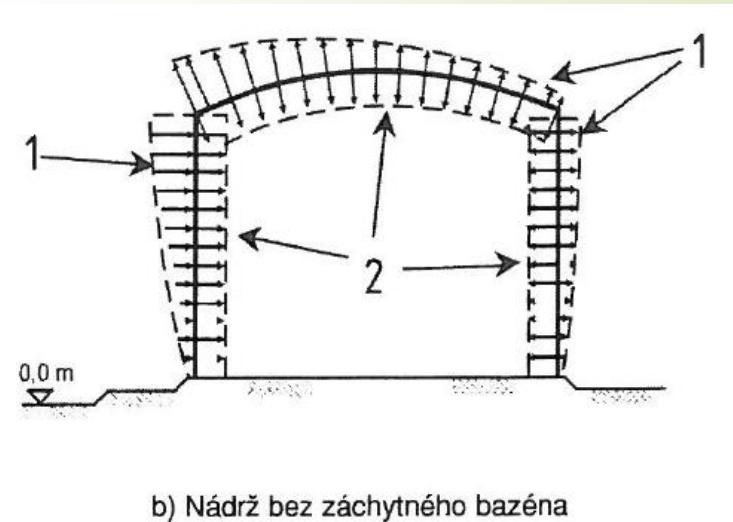
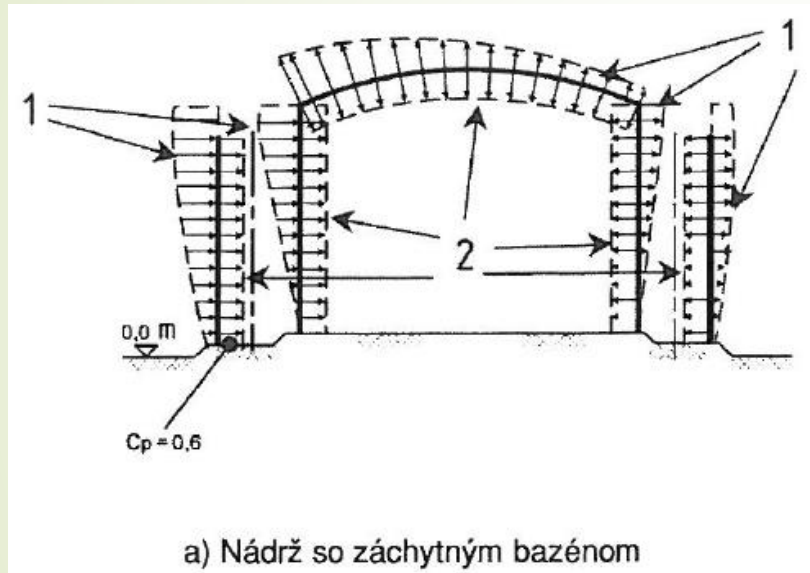
$$p(z) = \gamma \cdot z$$

Rozlišujeme dva prípady:

- prevádzková hladina – trvalá a dočasná návrhová situácia
- maximálna hladina – mimoriadna kombinácia

ZAŤAŽENIE VETROM

- vo všeobecnosti sa postupuje podľa STN EN 1991-1-4
- doplňujúce hodnoty tvarových súčiniteľov (STN EN 1991-4 obr. B.1)



Legenda

1 c_p podľa EN 1991-1-4

2 $c_p = 0,4$ len pre odzdušené nádrže