

# STN EN 1991-4 ZAŤAŽENIE KONŠTRUKCIÍ

## ČASŤ 4: SILÁ A NÁDRŽE

Prednášajúci: Ing. Richard Hlinka, PhD.

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci OP Vzdelávanie pre projekt „Podpora kvality vzdelávania a výskumu pre oblasť dopravy ako motora ekonomiky“ (ITMS: 26110230076), ktorý je spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho sociálneho fondu.

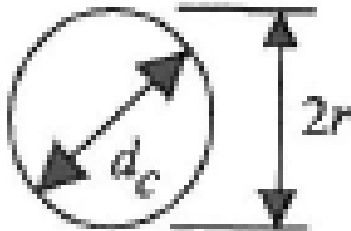


**Moderné vzdelávanie pre vedomostnú spoločnosť/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ**

# Platnosť normy STN EN 1991-4

- silá pre sypké materiály
- nádrže pre kvapaliny
- geometrické obmedzenia:
  - tvary priečných rezov

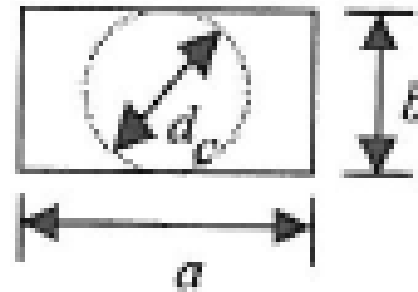
$$A/U = r/2$$



$$A/U = a/4$$



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



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

# Platnosť normy STN EN 1991-4

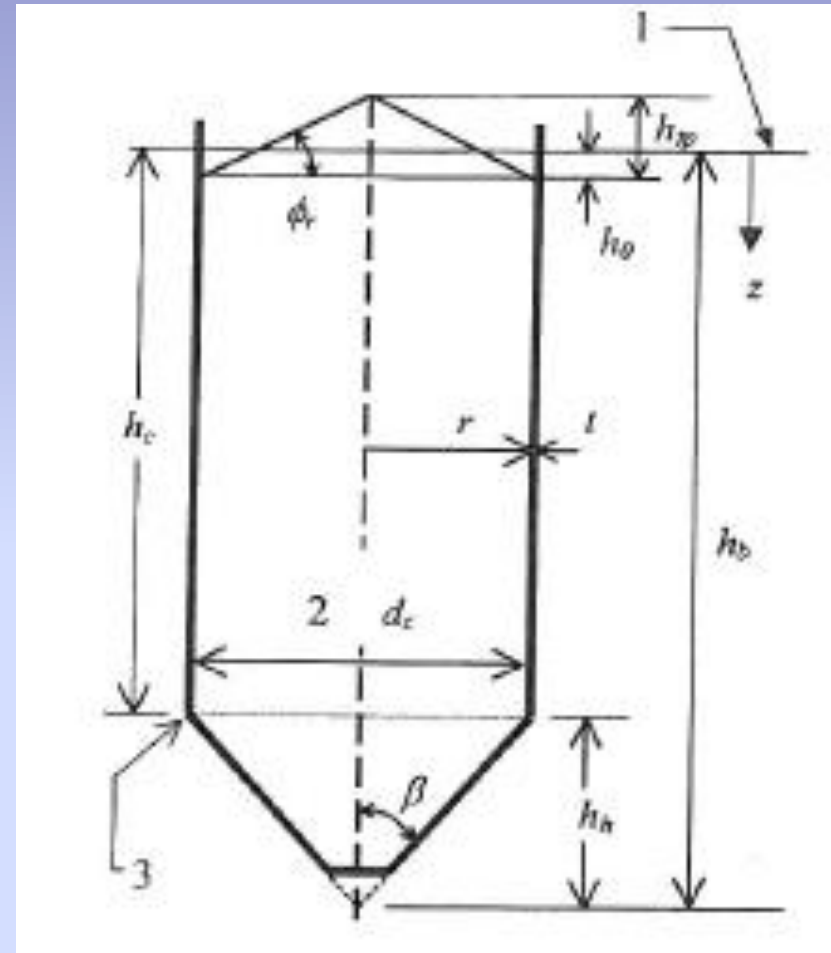
- geometrické obmedzenia:
  - rozmerové obmedzenia

$$h_b/d_c < 10$$

$$h_b < 100m$$

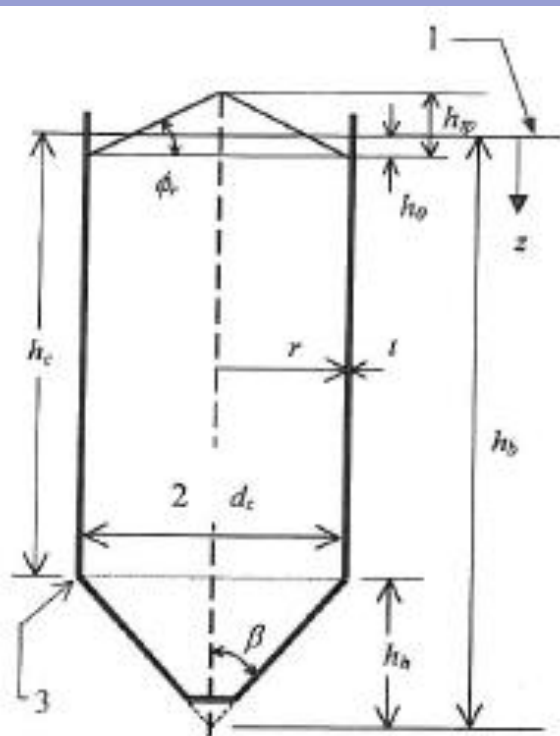
$$d_c < 60m$$

- prechod na jednej vodorovnej úrovni  
(rovina v úrovni bodu 3)

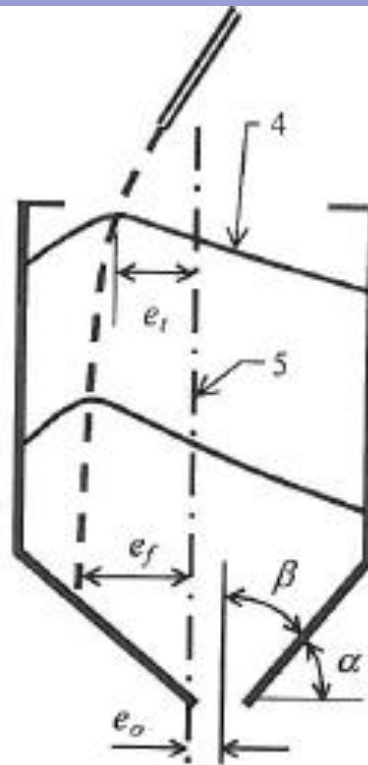


- silá bez vnútorných konštrukcií (okrem výstuh v obdĺžnikovom sile)

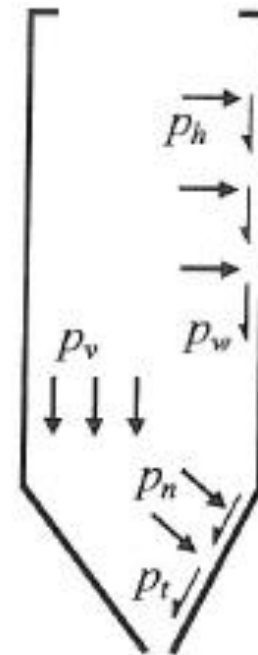
# Tvary sila



a) geometria



b) excentricity



c) tlaky a trakcie

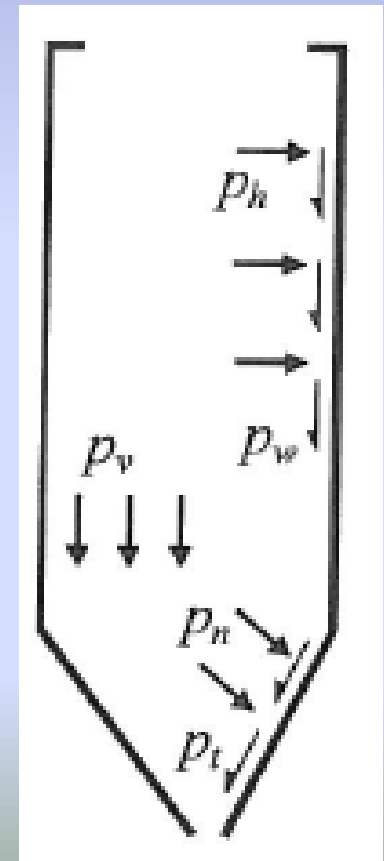
- 1 ekvivalentný povrch
- 2 vnútorný rozmer
- 3 prechod
- 4 tvar povrchu v stave úplného naplnenia
- 5 os sila

## Pravidlá navrhovania síl

- 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  $0,03.d_c$
- spôsob plnenia a vyprázdňovania:
  - 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 (kužeľové, ihlanové, klinové,...)

# Reprezentácia a zatriedenie zaťaženií

- zaťaženia sa stanovujú tak, aby zohľadnili tvar sila, vlastnosti skladovaného materiálu a tvary prúdenia
- treba zohľadniť excentricity výpustov a vpustov
- zaťaženia stien sa uvažujú:
  - symetrickým zaťažením
  - nesymetrickým lokálnym zaťažením
  - nesymetrickým prerozdelením tlakov
- symetrické zaťaženia:
  - vodorovný tlak na zvislú stenu  $p_h$
  - normálový tlak na odklonenú stenu  $p_n$
  - tangenciálne trecie trakcie na steny  $p_w$  a  $p_t$
  - zvislé tlaky v materiály  $p_v$
- nesymetrické zaťaženia:
  - malé excentricity pri plnení  $\Rightarrow p_h$
  - veľké excentricity pri plnení  $\Rightarrow p_h$  a  $p_w$



# Reprezentácia a zatriedenie zaťažení

- zaťaženia uskladneným sypkým materiálom – premenné zaťaženia
  - symetrické zaťaženia síl – premenné pevné zaťaženia
  - lokálne zaťaženia pri plnení a vyprázdňovaní – premenné voľné zaťaženia
  - excentrické zaťaženia pri plnení a vyprázdňovaní – premenné pevné zaťaženia
  - zaťaženia tlakom plynu pri pneumatických dopravných systémoch – premenné pevné zaťaženia
  - zaťaženia výbuchom prachu – mimoriadne zaťaženia
- 
- zaťaženia nádrží – hydrostatické spojité zaťaženia
  - zaťaženia nádrží – premenné pevné zaťaženia

## Zatriedenie síl – úrovnne prísnosti

Trieda zaťaženia	Popis
Trieda zaťaženia 3	Silá s kapacitou väčšou ako 10 000 ton Silá s kapacitou väčšou ako 1 000 ton, pre ktoré nastáva niektorá z nasledujúcich návrhových situácií: a) excentrické vyprázdňovanie pre $e_f/d_c > 0,25$ (pozri obrázok 1.1b) b) nízke silo s excentricitou horného povrchu pre $e_f/d_c > 0,25$
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

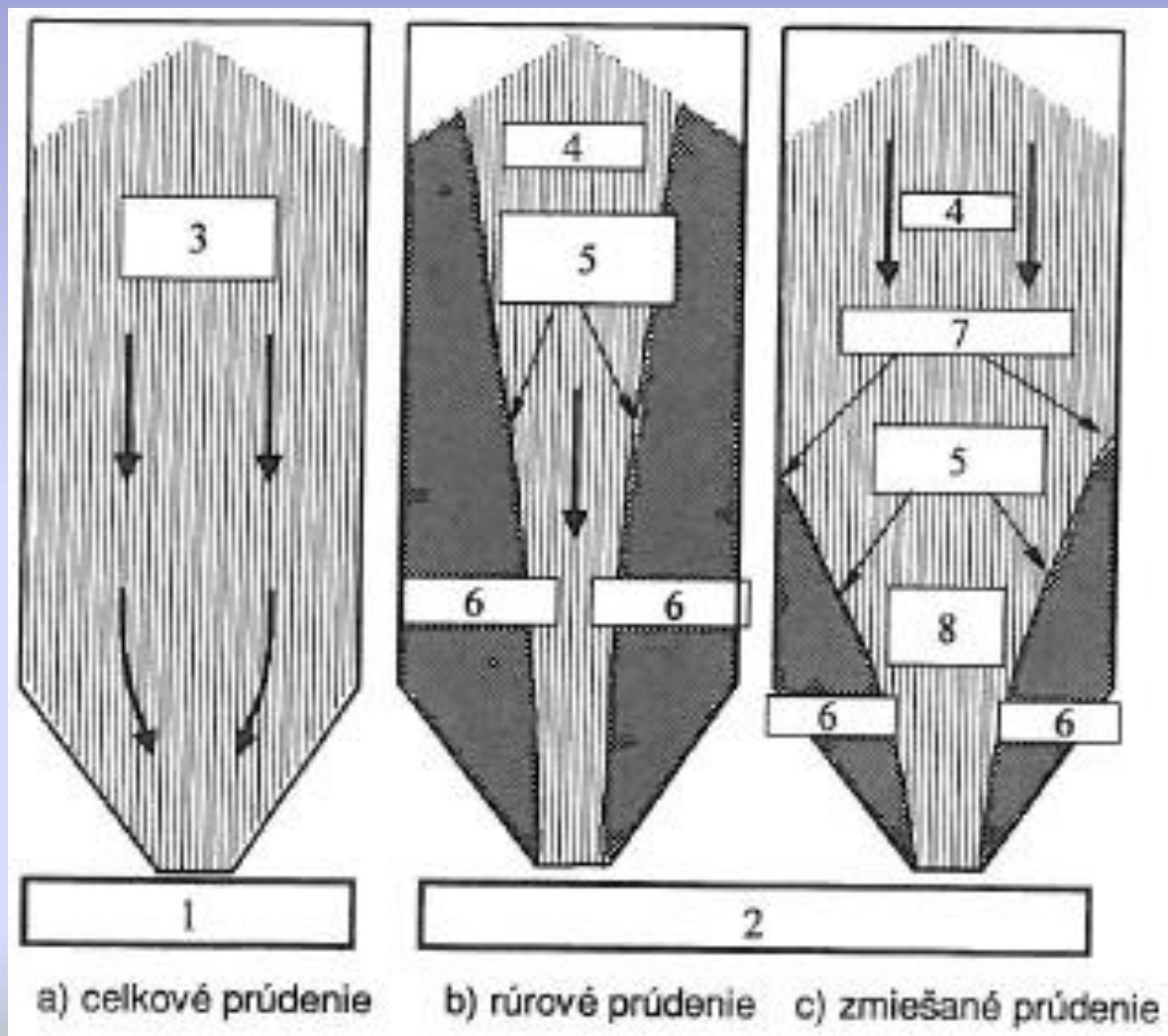
- vždy sa môže zvoliť vyššia trieda
- trieda zaťaženia 1 (AAC 1)
- trieda zaťaženia 2 (AAC 2)
- trieda zaťaženia 3 (AAC 3)



# Návrhové situácie

- **STN EN 1990**
- **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 sily (MSÚ a MSP)**
  - **medzné stavy:**
    - **maximálne normálové napätie na zvislú stenu sily**
    - **maximálne trecí ťah (trakcia) na zvislej stene**
    - **maximálny zvislý tlak na dno sily**
    - **maximálne zaťaženia výsyvky sily**
- **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**

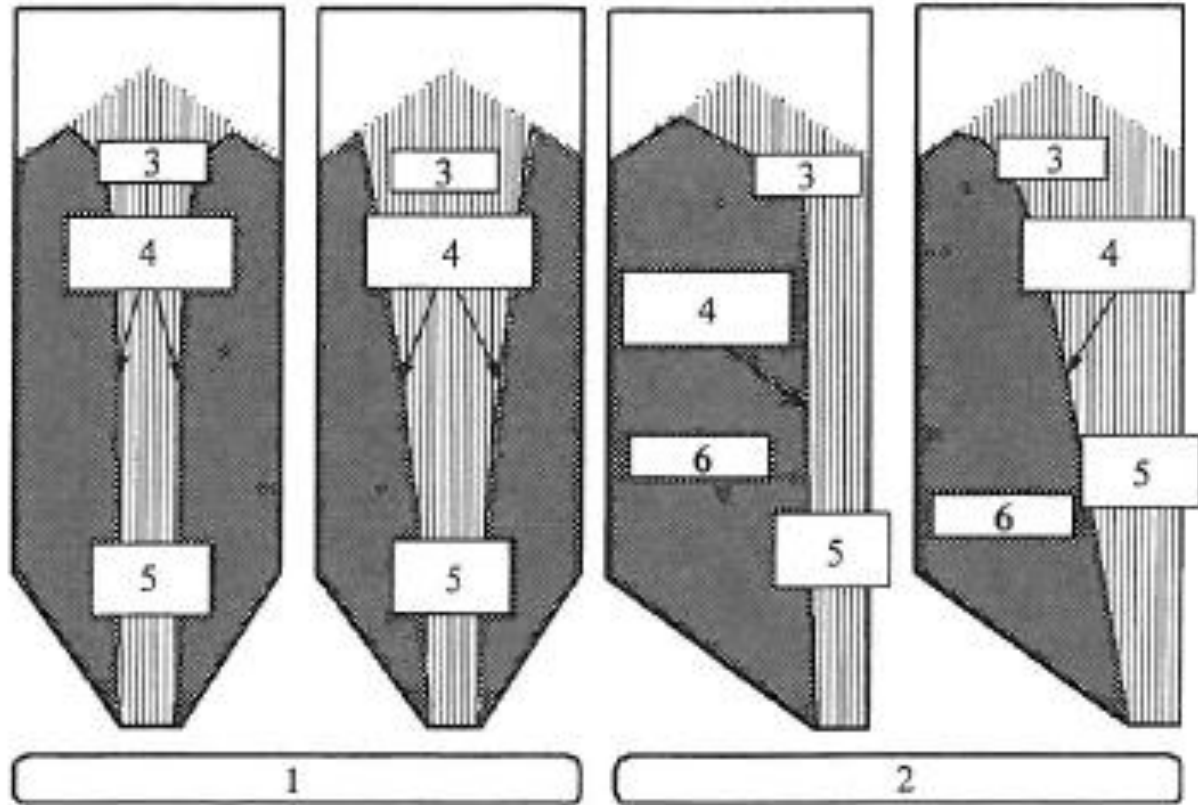
# Základné tvary prúdenia sypkých materiálov



- 1 celkové prúdenie
- 2 lievikovité prúdenie
- 3 všetok materiál v pohybe
- 4 prúdiaci materiál

- 5 okraj prietokového kanála
- 6 nehybný materiál
- 7 efektívny prechod
- 8 efektívna výsyпка

# Tvary rúrového prúdenia sypkých materiálov



1 vnútorné rúrové prúdenie  
2 excentrické rúrové prúdenie  
3 prúdiaci materiál

4 okraj prietokového kanála  
5 prietoková rúra  
6 nehybný materiál

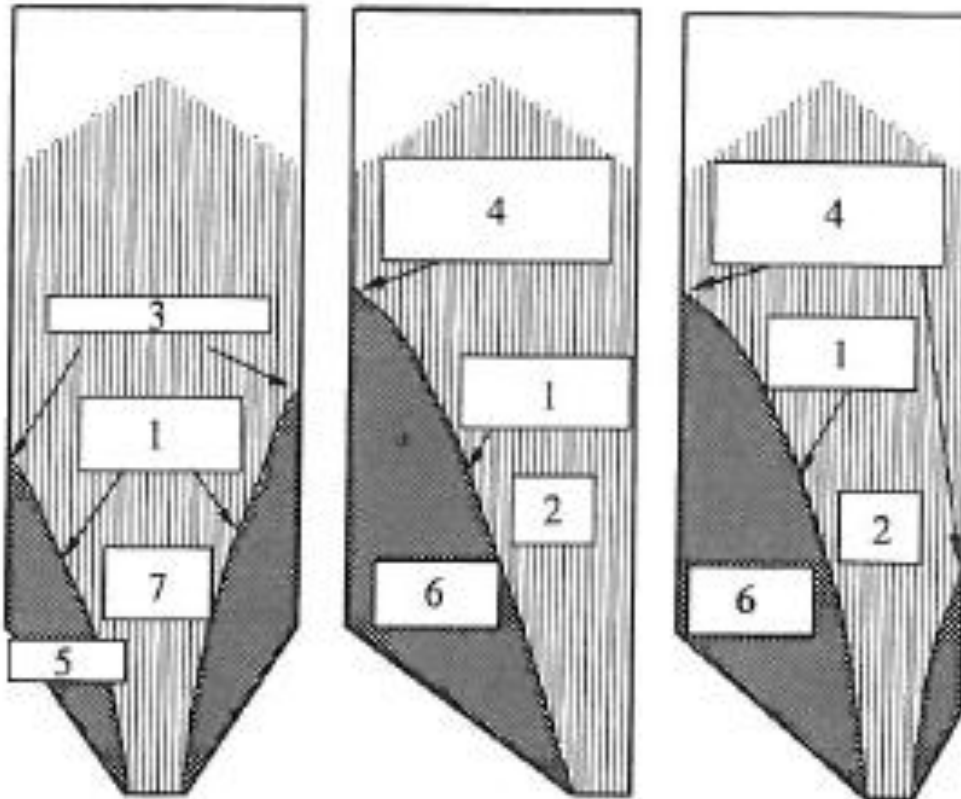
a) vnútorné  
rovnoobežné  
rúrové  
prúdenie

b) vnútorné  
zbiehavé  
rúrové  
prúdenie

c) excentrické  
rovnoobežné  
rúrové  
prúdenie

d) excentrické  
zbiehavé  
rúrové  
prúdenie

# Tvary zmiešaného prúdenia sypkých materiálov



a) sústredené  
zmiešané  
prúdenie

b) úplne  
excentrické  
zmiešané  
prúdenie

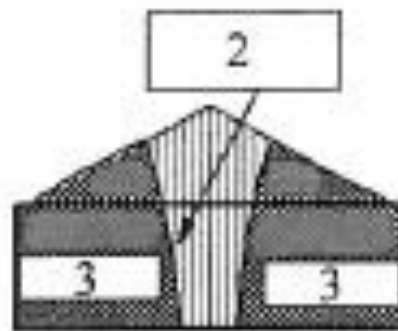
c) čiastočne  
excentrické  
zmiešané  
prúdenie

- 1 okraj prietokového kanála
- 2 prietoková zóna
- 3 efektívny prechod
- 4 efektívny prechod premenný okolo obvodu sily

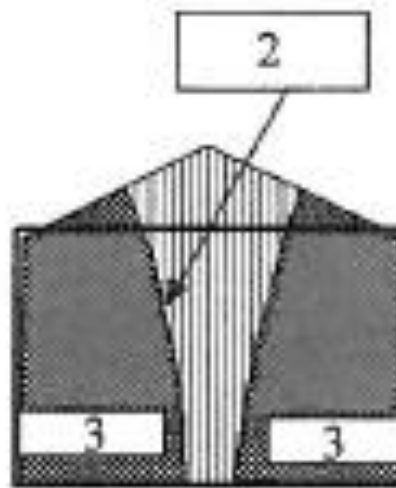
- 5 nehybný materiál
- 6 nehybný materiál
- 7 efektívna výsypka

## Tvary zmiešaného prúdenia – vplyv štíhlosti

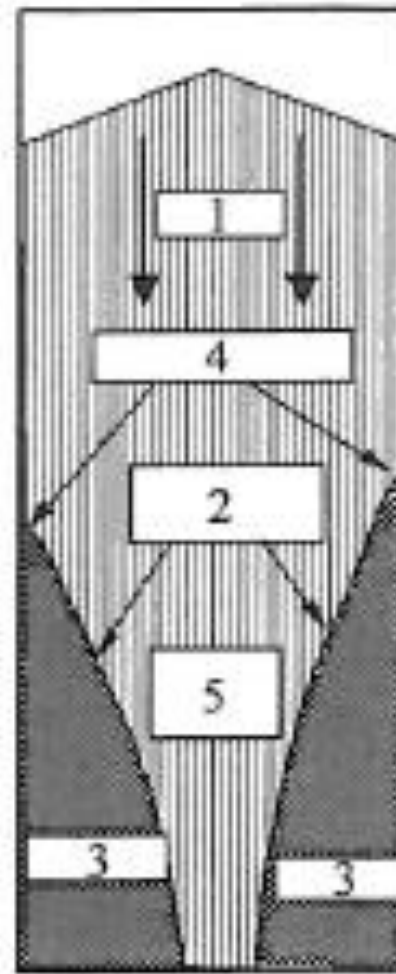
- 1 prúdiaci materiál
- 2 okraj prietokového kanála
- 3 nehybný materiál
- 4 efektívny prechod
- 5 efektívna výsypka



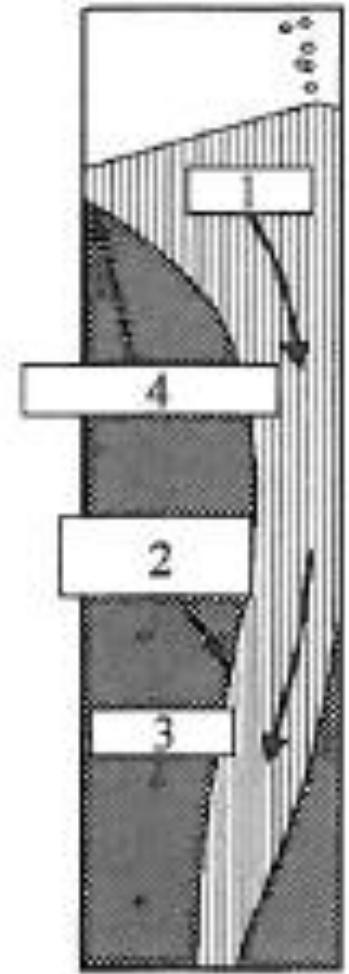
a) veľmi nízke silo



b) nízke silo



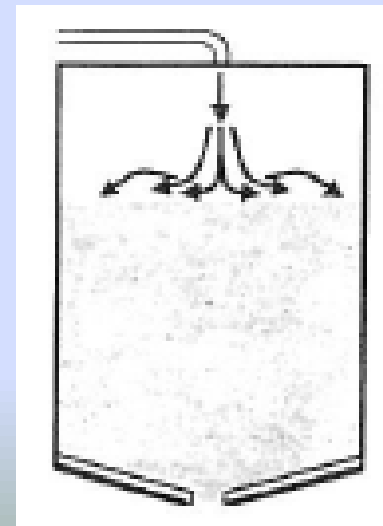
c) štíhle silo



d) veľmi štíhle silo

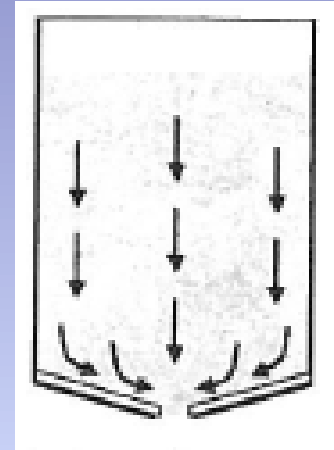
## Návrhové situácie – geometrické usporiadania síl

- potreba zohľadniť štíhlosť 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 pneumatically, potom treba uvážiť dve návrhové situácie:
  - prirodzené rozloženie do tvaru kužeľa
  - rovnomerné rozloženie

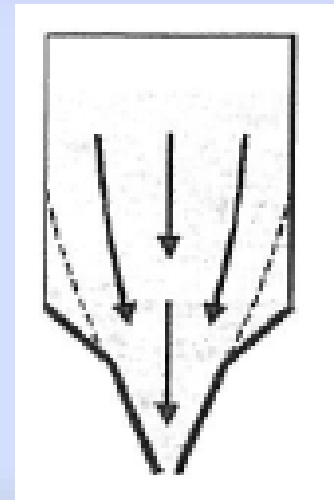


## Návrhové situácie – geometrické usporiadania síl

- 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)



## Návrhové situácie – konštrukčné tvary síl

- **betónové silá – MSP – vznik trhlin – 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**



# Vlastnosti sypkých materiálov

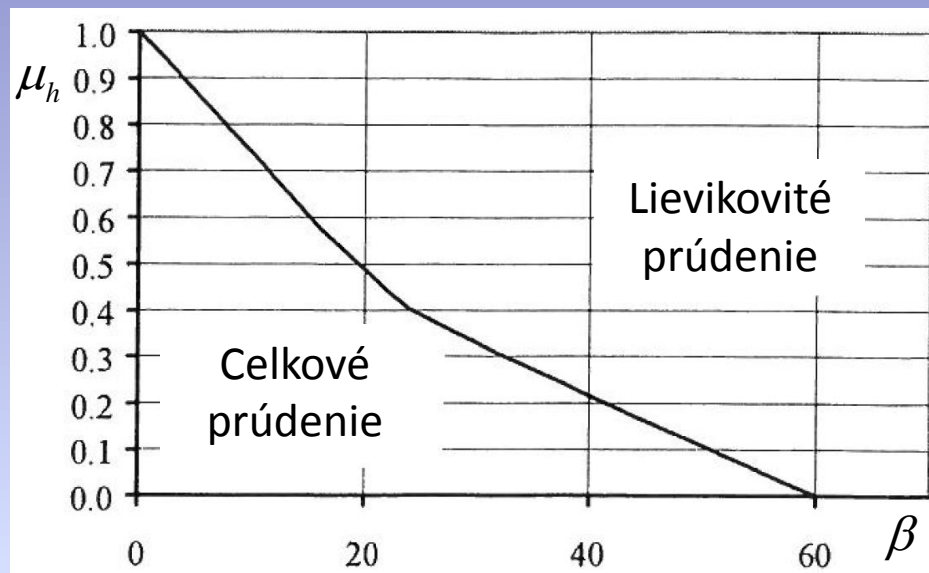
- celkové zaťaženie sila závisí od:
  - rozsahu vlastností sypkého materiálu
  - zmeny podmienok trenia o povrchy
  - geometrie sila
  - spôsobu naplňania a vyprázdňovania
- tuhosť sypkého materiálu sa neuvažuje do tuhosti sila
- vplyv deformácie stien sila sa môže posúdiť iba v prípade použitia vhodnej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

# Vlastnosti sypkých materiálov

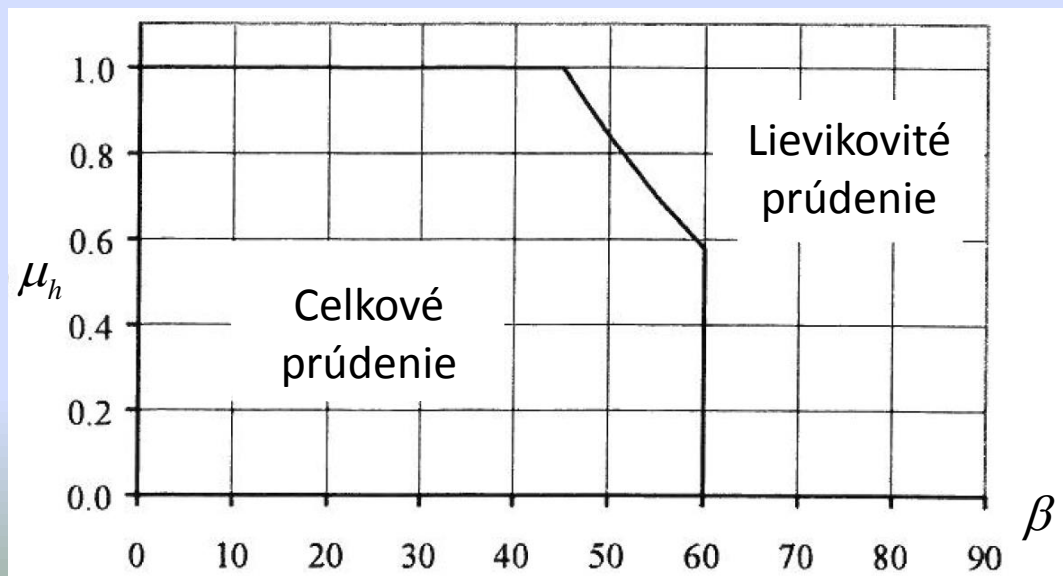
- kužeľové výsyvky

$\beta$  je polovičný vrcholový uhol výsyvky

$\mu_h$  je súčiniteľ trenia vo výsyvke



- klinové výsyvky



# Vlastnosti sypkých materiálov

- vlastnosti sypkých materiálov sa kvantifikujú prostredníctvom materiálových parametrov
- materiálové parametre sa získavajú skúškami
- 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
  - drobivosť 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

# Vlastnosti sypkých materiálov

## Objemová tiaž $\gamma$

- pre uľahnutý materiál, na úrovni napätosti pre uskladnený materiál

## Súčiniteľ trenia o stenu $\mu$

- 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 <sup>a</sup>
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“	oddebnený betón, hladený 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

# Vlastnosti sypkých materiálov

**Uhol vnútorného trenia  $\phi_i$**

- arctg pomeru šmykového a normálového napätia

**Pomer tlakov  $K$**

- pomer stredného vodorovného tlaku ku strednému zvislému tlaku

**Súdržnosť  $c$**

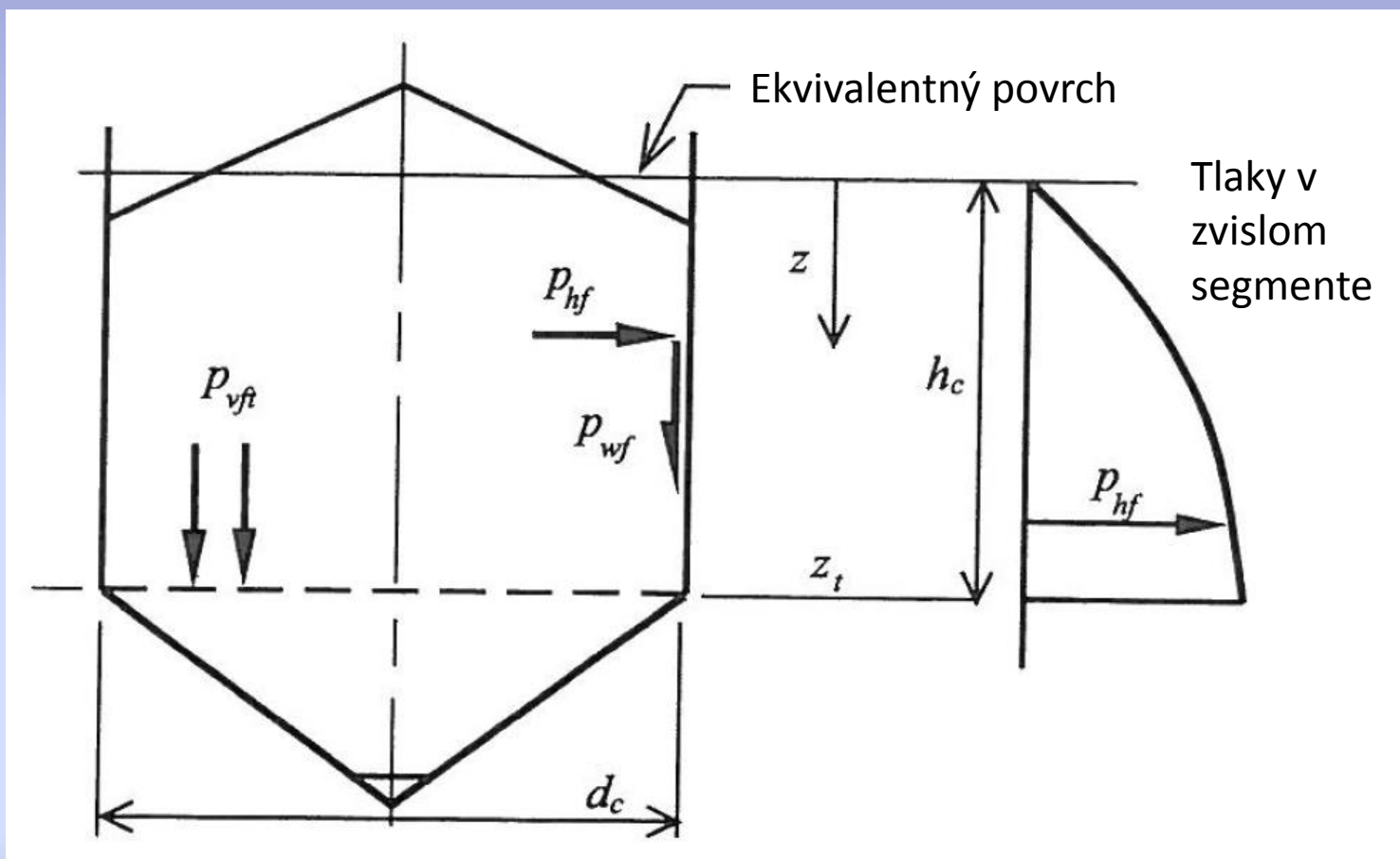
- mení sa spolu s konsolidačným napätím, ktoré pôsobilo na materiál

**Referenčný súčiniteľ miestneho zaťaženia materiálom  $C_{op}$**

- vzniká pri nesymetrickom vyprázdňovaní sila

# Zaťaženia zvislých stien sila – štíhle silá

## Symetrické zaťaženie pri plnení a vyprázdňovaní



# Zaťaženia zvislých stien sila – štíhle silá

## Symetrické zaťaženie pri plnení

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

$$p_{ho} = \gamma \cdot K \cdot z_o$$

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

$$z_o = \frac{1}{K \cdot \mu} \cdot \frac{A}{U}$$

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

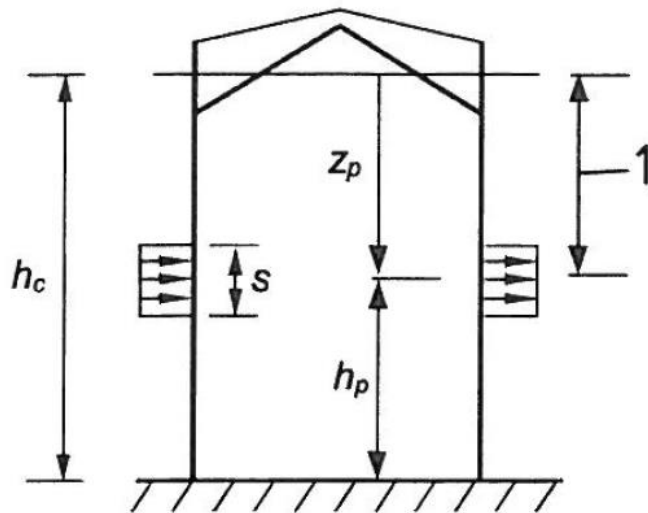
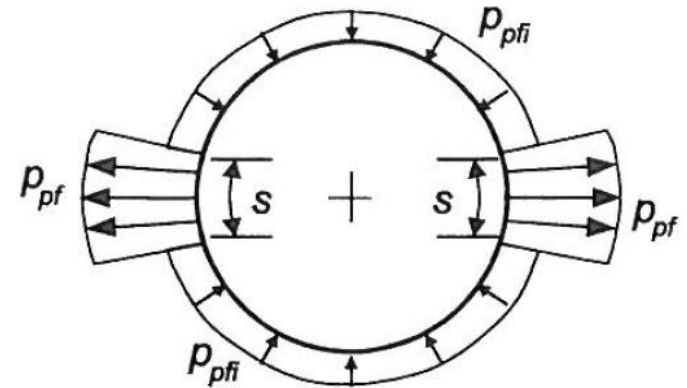
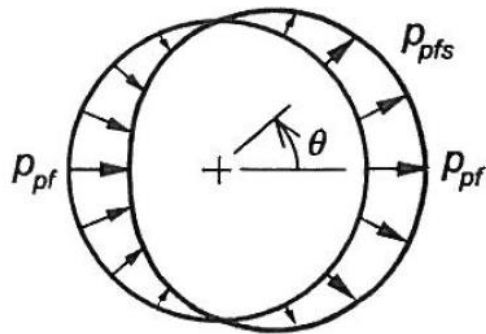
$$Y_j = 1 - e^{-z/z_o}$$

**A** plocha vodorovného rezu sila

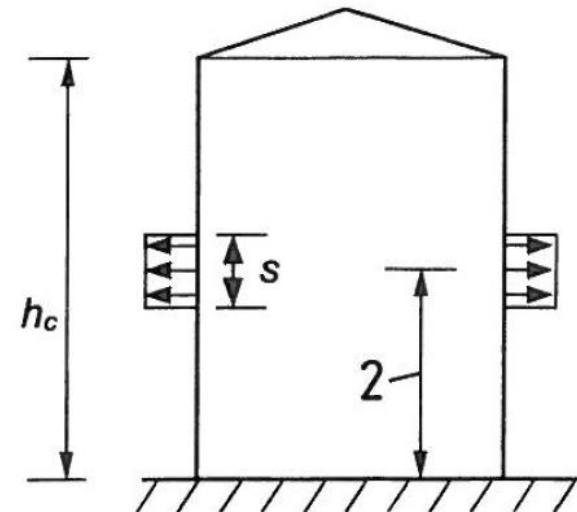
**U** vnútorný obvod vodorovného rezu sila

# Zaťaženia zvislých stien sila – štíhle silá

## Miestne zaťaženie – kruhové silá



a) tenkostenné kruhové silo

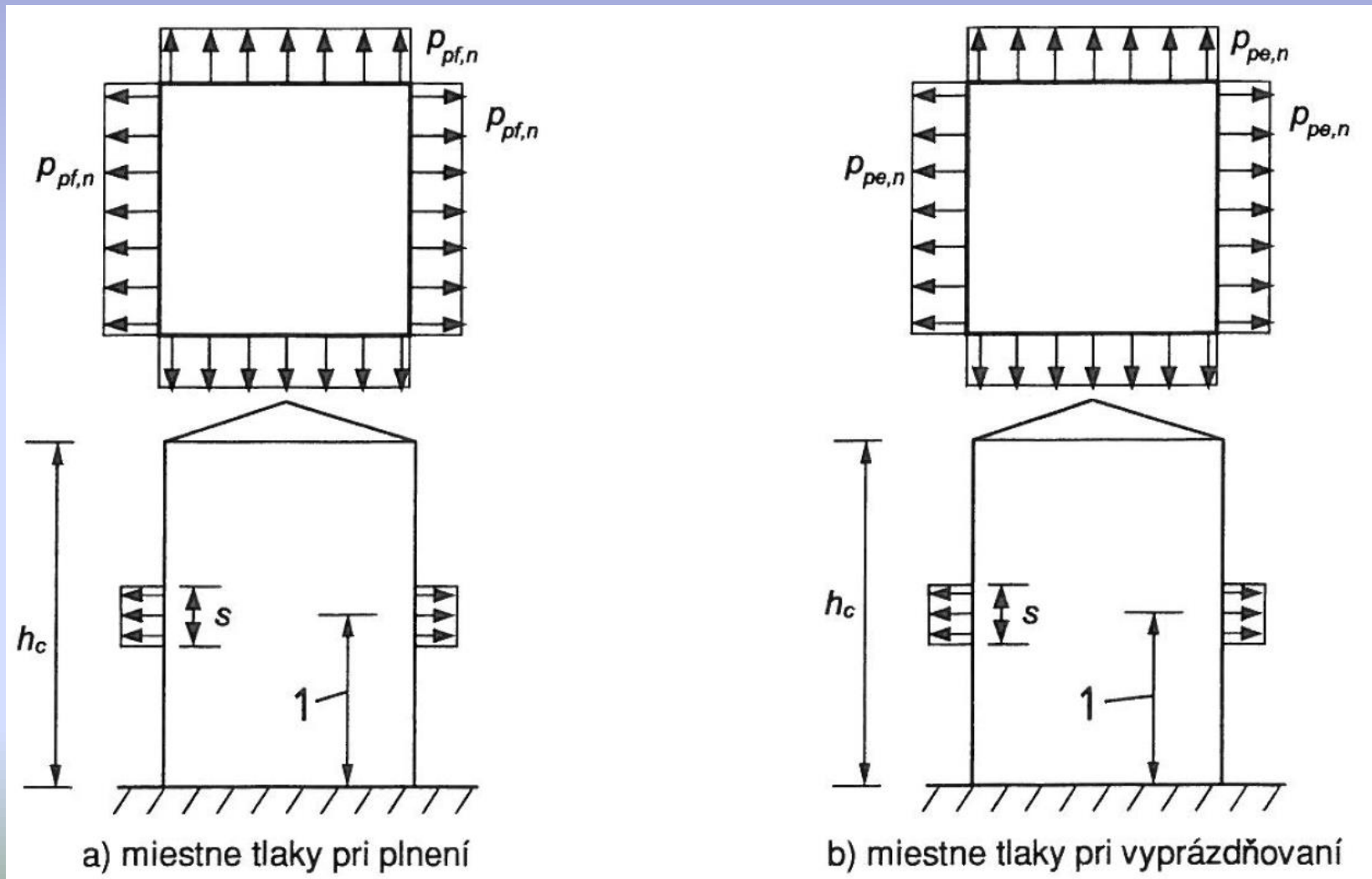


b) ostatné kruhové silá



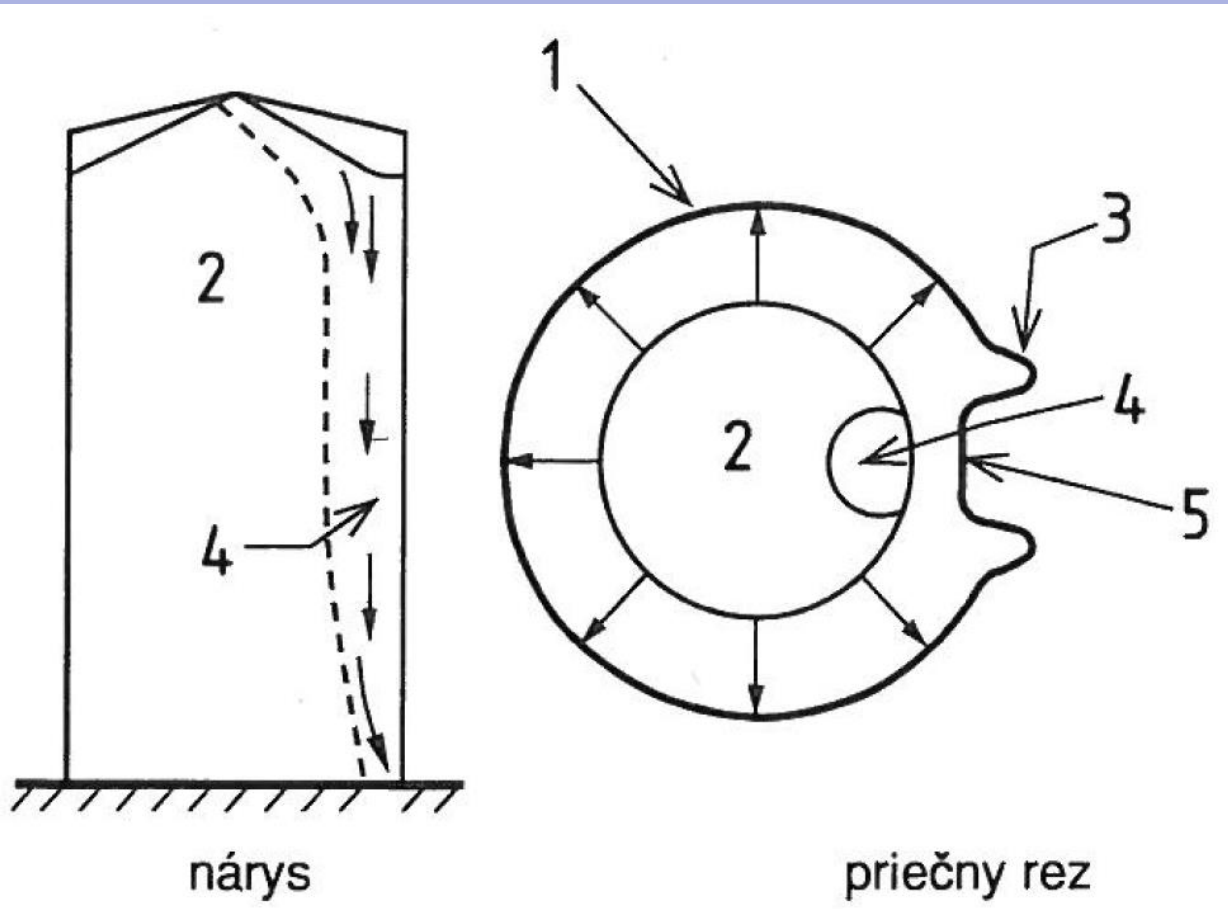
# Zaťaženia zvislých stien sila – štíhle silá

## Miestne zaťaženie – nekruhové silá



# Zaťaženia zvislých stien sila – štíhle silá

## Zaťaženia pri vyprázdňovaní – veľká excentricita výpustov

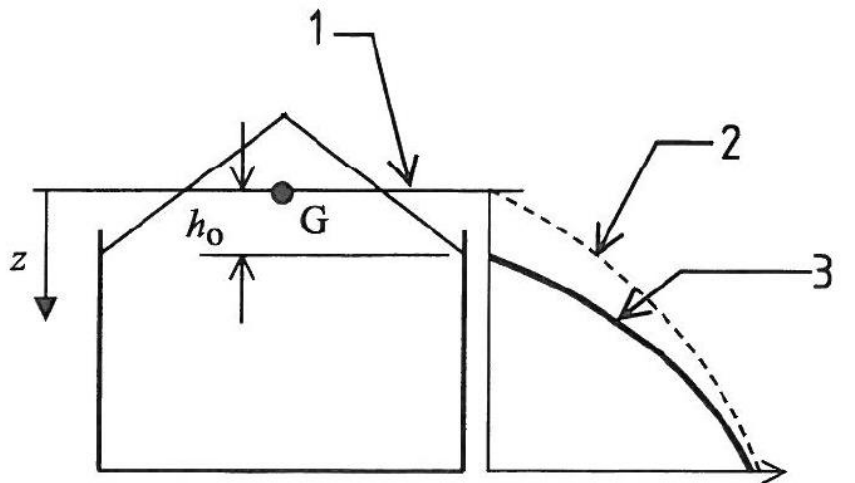


- 1 statické tlaky
- 2 nehybný materiál
- 3 miestny vysoký tlak
- 4 prietokový kanál
- 5 prietokový tlak



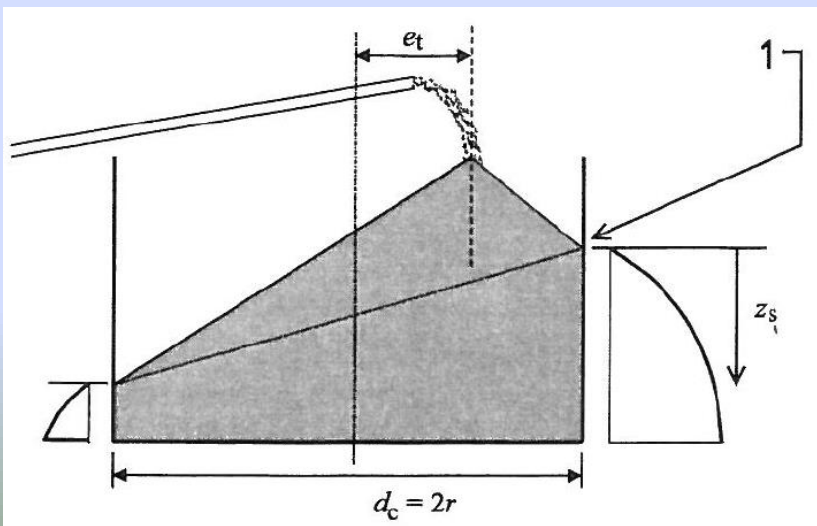
# Zaťaženia zvislých stien sila – nízke silá a silá so strednou štíhlosťou

## Zaťaženia pri plnení



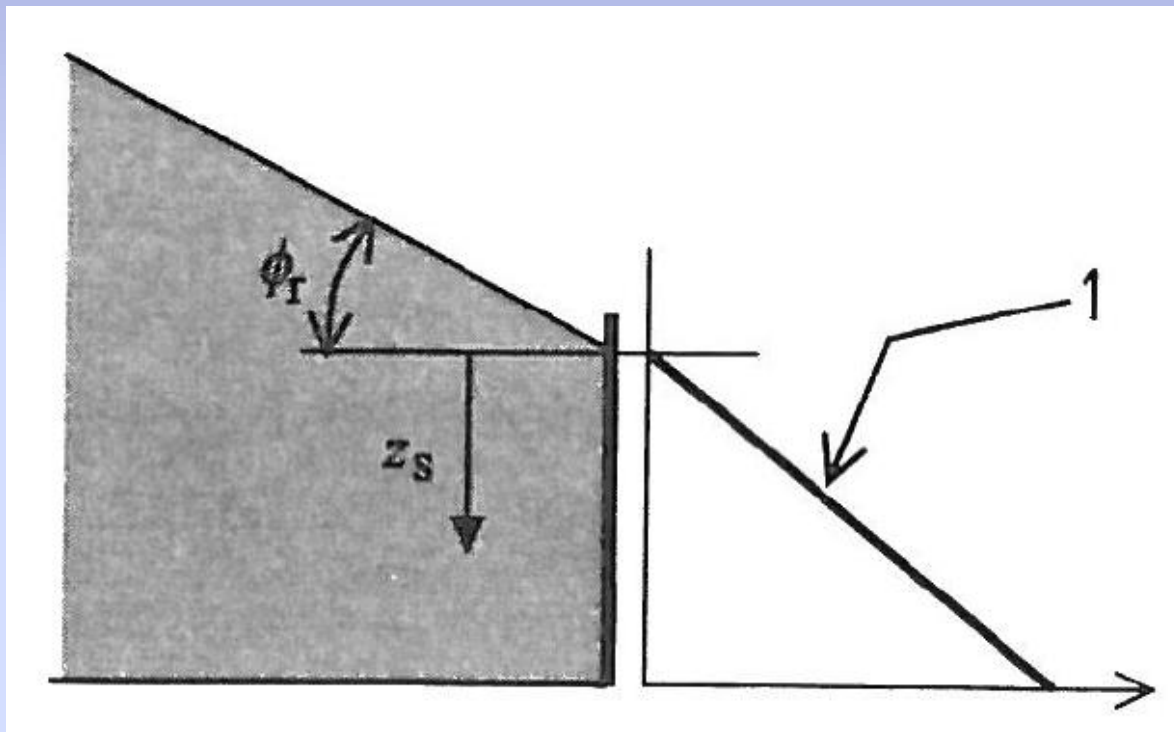
- 1 ekvivalentný povrch
- 2 pravidlo pre štíhle silo
- 3 tlaky pre nízke silo

## Zaťaženia pri plnení – silá s veľkou excentricitou



# Zaťaženia zvislých stien sila – veľmi nízke silá

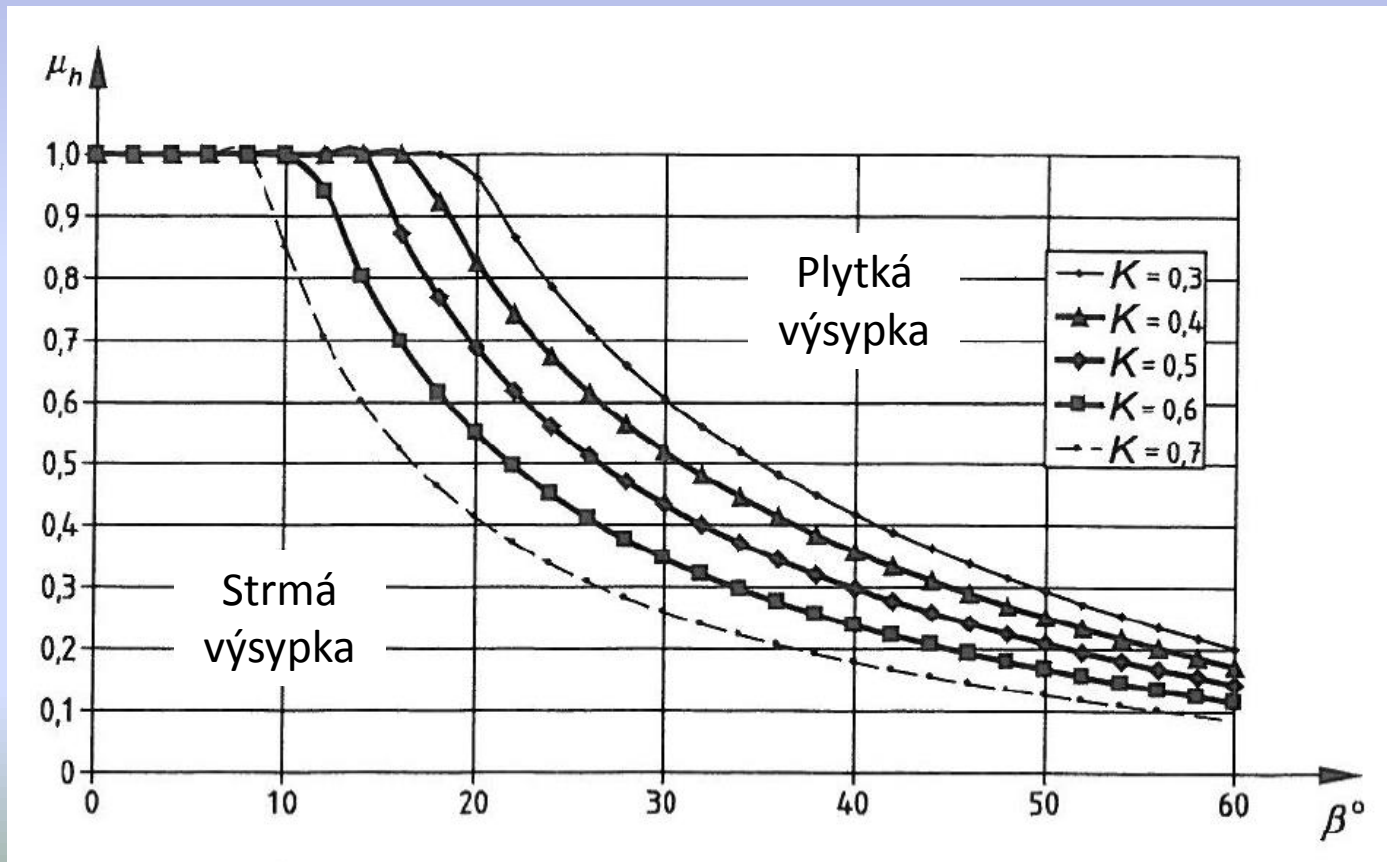
## Zaťaženia pri plnení



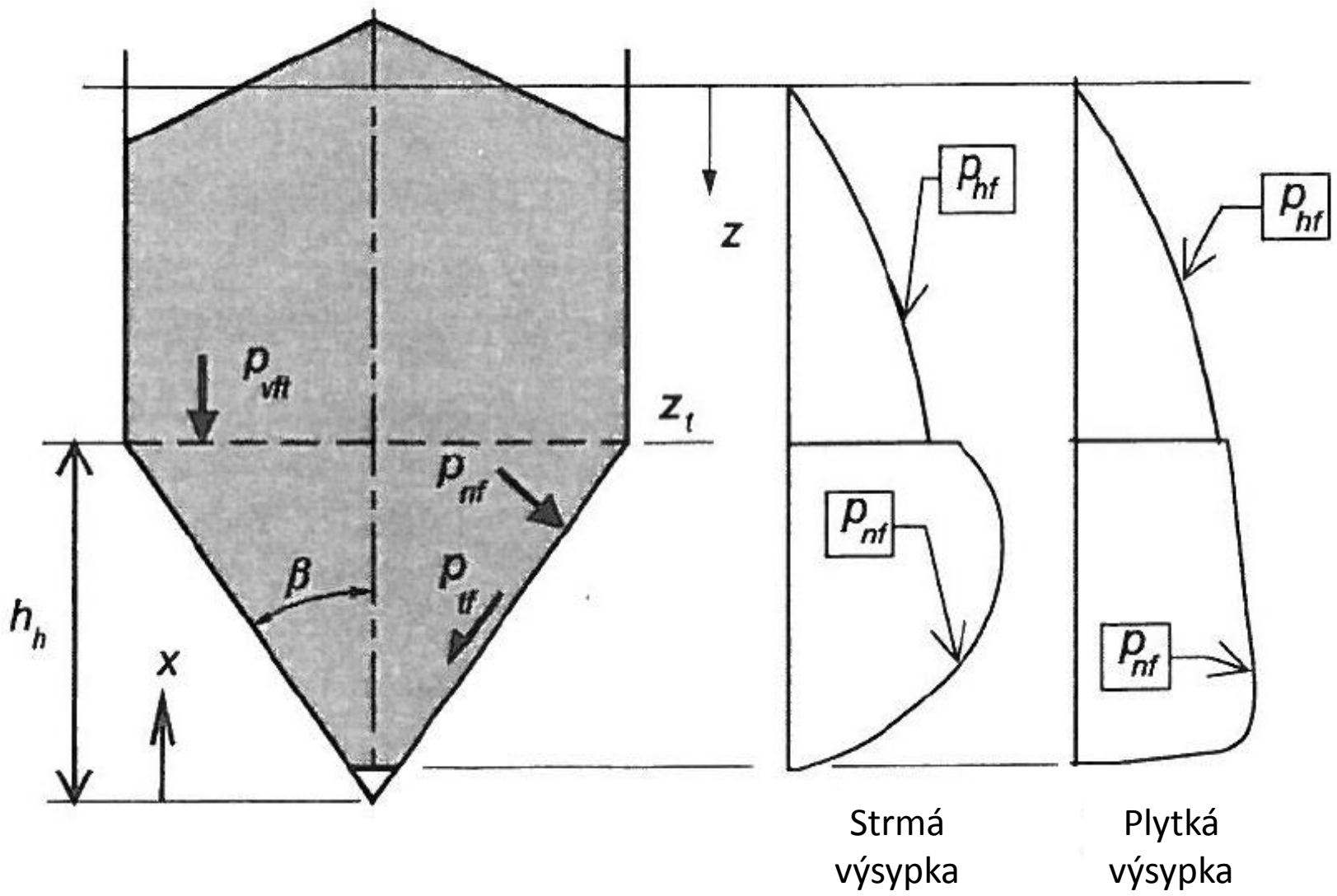
# Zaťaženia na výsypky a na dná síl

## Typy spodných častí síl:

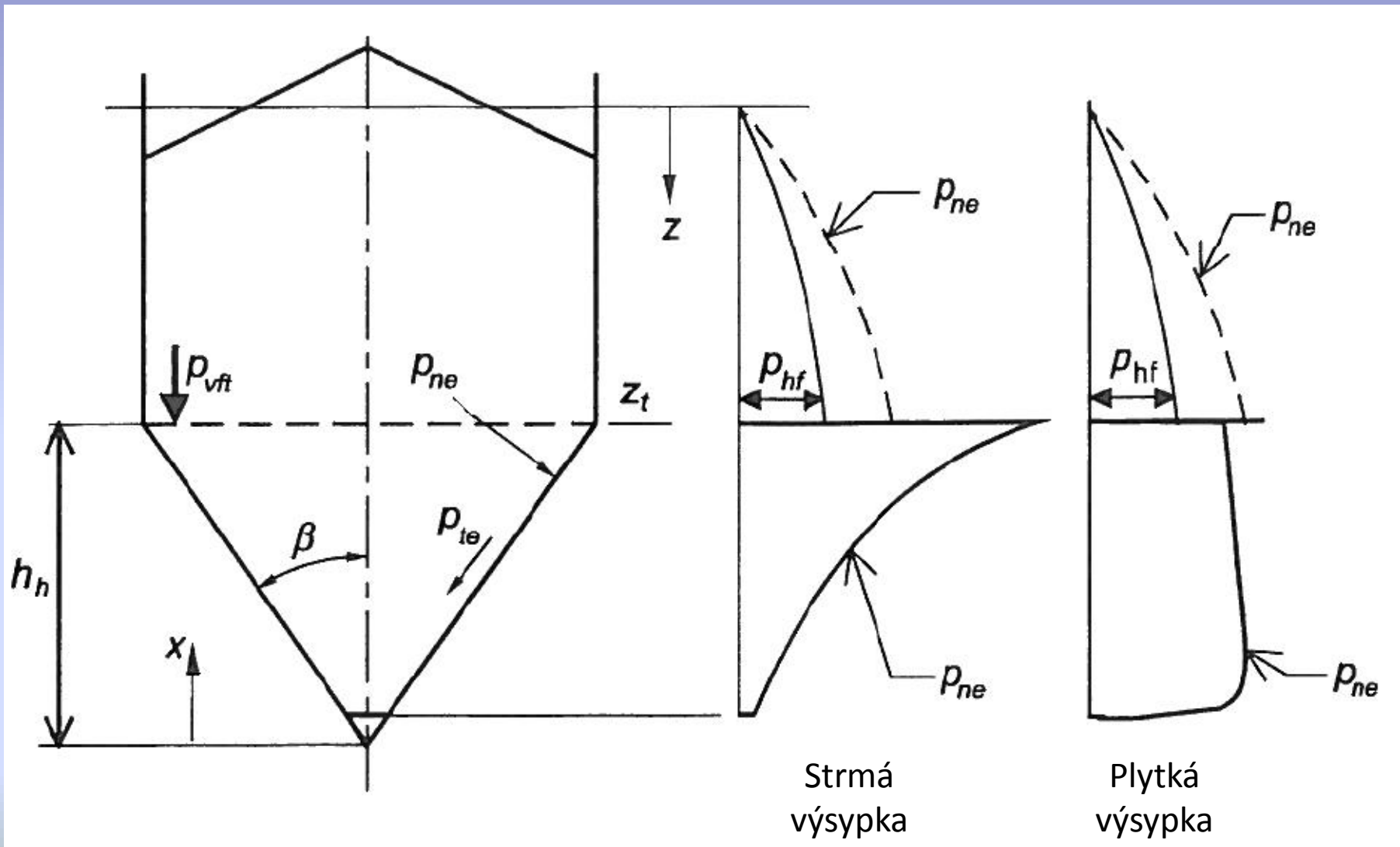
- rovné dná (sklon do  $5^\circ$ )
- strmé výsypky  $\tan \beta < (1 - K) / (2 \cdot \mu_h)$
- plytké výsypky



# Zaťaženia na výsypky – tlaky po naplnení



# Zaťaženia na výsypky – tlaky pri vyprázdňovaní







**Ďakujem za pozornosť**