

Zásady navrhovania konštrukcií a zaťaženia konštrukcií

Ing. Richard Hlinka, PhD.

Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta

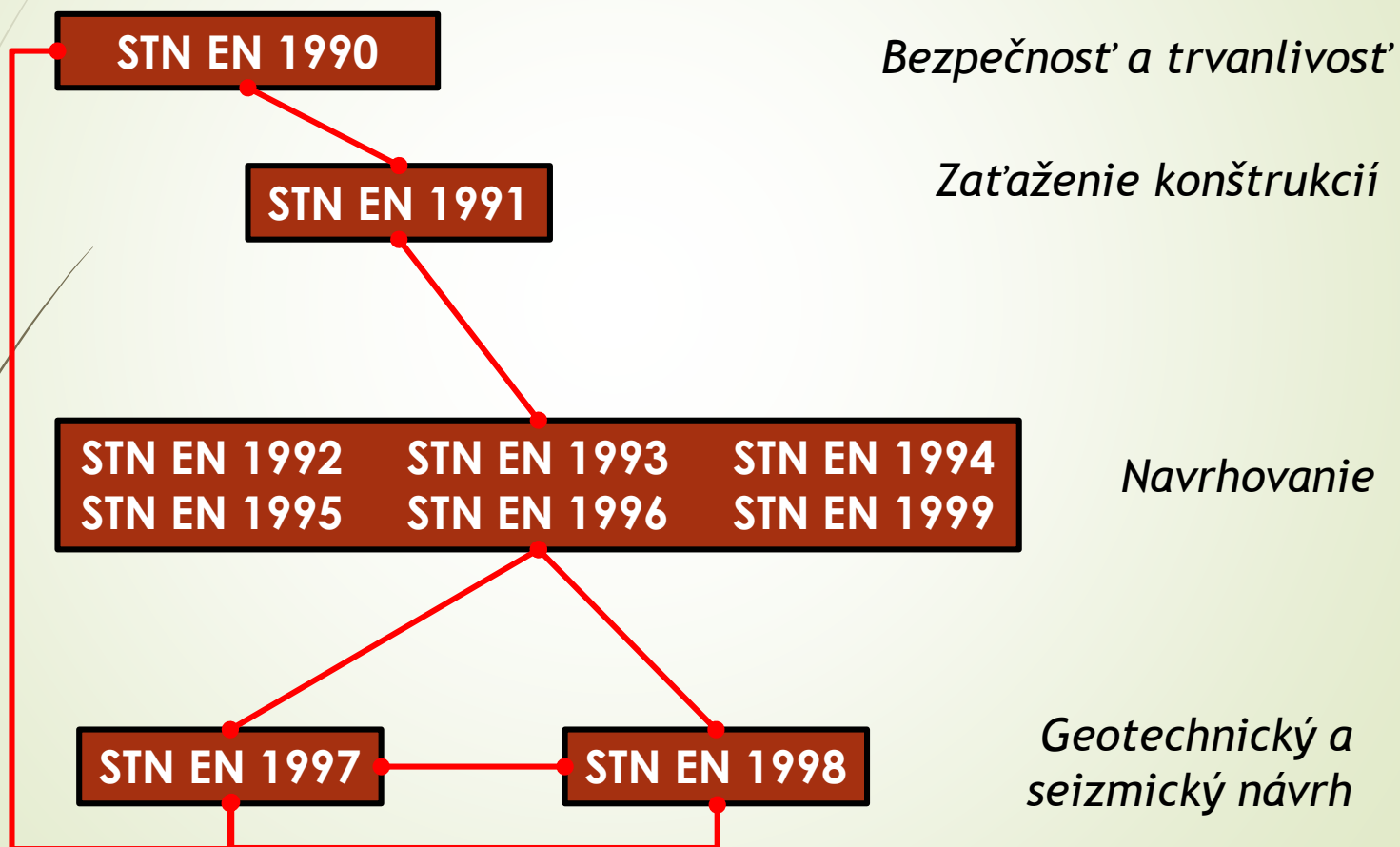
Katedra stavebných konštrukcií a mostov

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

Väzby medzi Eurokódmi



Všeobecné zásady a pravidlá navrhovania

- ▶ STN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhovania konštrukcií
- ▶ Nosné stavebné konštrukcie a nosné prvky musia byť navrhnuté a realizované tak, aby počas svojej predpokladanej životnosti spĺňali nasledujúce podmienky:
 - ▶ prenesú všetky zaťaženia a vplyvy, ktoré sa pravdepodobne vyskytnú počas ich realizácie a užívania
 - ▶ musia byť pri vhodne zvolenej miere **spol'ahlivosti** ekonomicky udržiavané
 - ▶ musia mať primeranú mechanickú odolnosť, používateľnosť, trvanlivosť a požiarnu a seizmickú odolnosť
 - ▶ v prípade mimoriadnej udalosti (náraz, výbuch) nesmie dôjsť k ich progresívnemu zrúteniu - požiadavka na dostatočnú robustnosť

Spol'ahlivosť stavebných konštrukcií

- ▶ Všeobecne sa spol'ahlivosťou objektu rozumie jeho schopnosť plniť požadované funkcie pri zachovaní prevádzkových ukazovateľov v daných podmienkach, medziach a v požadovanom časovom úseku.
- ▶ Parciálnymi zložkami spol'ahlivosti sú:
 - bezpečnosť - neohrozovať ľudské zdravie a životné prostredie,
 - použiteľnosť - použitie pre navrhovaný účel,
 - trvanlivosť (životnosť) - doba spol'ahlivej prevádzky.
- ▶ V priebehu životnosti sa konštrukcia nachádza v určitých stavoch:
 - z hľadiska činnosti: - prevádzka
- prestoj
 - z hľadiska poruchy: - bezporuchový stav
- stav poruchy.

Spol'ahlivost' stavebných konštrukcií

- Limitným stavom konštrukcie - *medzný stav*
- je to stav poruchového prestoja, ktorého vznik znamená prerušenie alebo obmedzenie používania konštrukcie
- V prípade stavebných konštrukcií rozlišujeme:
- *medzné stavy únosnosti (MSÚ)*
 - súvisia s bezpečnosťou a trvanlivosťou, najmä z pohľadu ochrany ľudských životov a ich zdravia, ale aj ochrany majetku, príp. ochrany skladovaných nebezpečných odpadov, chemikálií, ...
- *medzné stavy používateľnosti (MSP)*
 - súvisia s používateľnosťou. Týkajú sa najmä funkčnosti, vzhľadu, pohodlia ľudí ale aj trvanlivosti

Proces overovania spoľahlivosti stav. konštrukcií



Definícia tried následkov

Triedy následkov	Popis	Príklady
CC3	Vysoké následky straty ľudských životov a veľmi veľké sociálne, ekonomické a enviromentálne následky	Tribúny štadiónov, verejné budovy s veľkými následkami (koncertné sály, ap.)
CC2	Stredné následky straty ľudských životov a značné sociálne, ekonomické a enviromentálne následky	Obytné a administratívne budovy
CC1	Nízke následky straty ľudských životov a malé alebo zanedbateľné sociálne, ekonomické a enviromentálne následky	Poľnohospodárske budovy, sklady, skleníky,...

ÚVOD

Návrhová životnosť konštrukcie

Časové obdobie, počas ktorého požadujeme splnenie návrhových kritérií

Kategória návrhovej životnosti	Predpokladaná návrhová životnosť (roky)	Príklady
1	10	Dočasné konštrukcie
2	10 - 25	Vymeniteľné časti konštrukcií (ložiská)
3	15 - 30	Poľnohospodárske konštrukcie
4	50	Pozemné stavby a iné bežné konštrukcie
5	100	Monumentálne pozemné stavby, mosty

Rozdelenie zaťaženia

Podľa svojho pôsobenia

Priame zaťaženie – sila (bremeno)

Nepriame zaťaženie – vynútená deformácia resp. kmitanie

Podľa premenlivosti v čase

Stále zaťaženie G – vlastná tiaž

Premenné zaťaženie Q – úžitkové zaťaženia

Mimoriadne zaťaženie A – požiar, náraz, výbuch

Podľa premenlivosti v priestore

Pevné zaťaženia – vlastná tiaž

Voľné zaťaženia – zaťaženie dopravou

Podľa charakteru odozvy

Statické zaťaženia

Dynamické zaťaženia

Charakteristické hodnoty zaťaženia

Charakteristická hodnota je hlavným kvantitatívnym ukazovateľom zaťaženia. Charakteristická hodnota zaťaženia F_k je stanovená:

- v technickom predpise (norme) priemerom, príp. hornou a dolnou hodnotou
- v projekte, za predpokladu dodržanie platných predpisov

Charakteristická hodnota stáleho zaťaženia G je stanovená podľa nasledujúcich zásad:

- ak je variabilita zaťaženia G malá, použije sa priemerná hodnota G_k
- ak nie je variabilita zaťaženia G malá, použije sa horná hodnota $G_{k,sup}$ a dolná hodnota $G_{k,inf}$

Charakteristická hodnota premenného zaťaženia Q odpovedá:

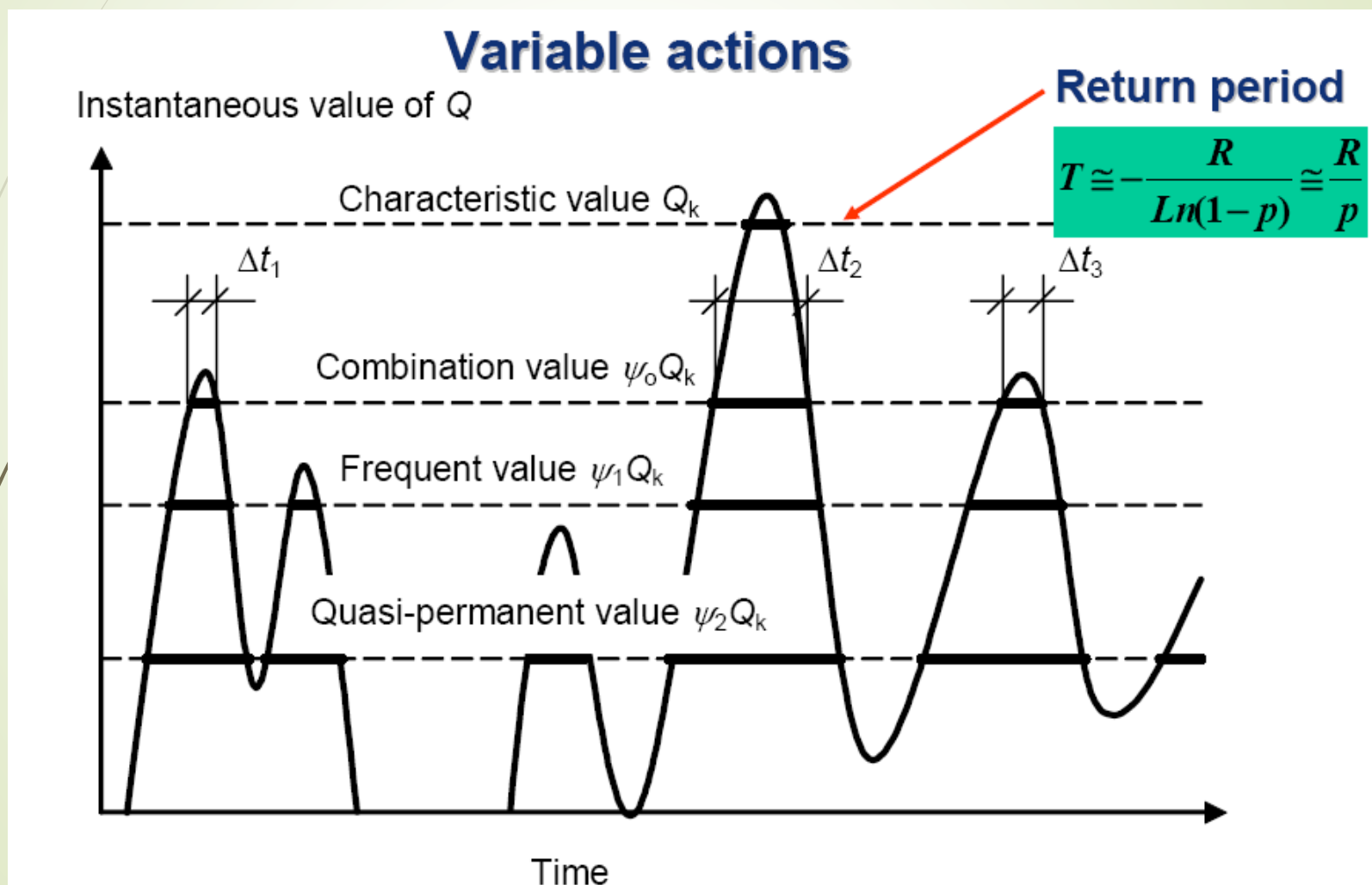
- hornej hodnote, ktorá nebude prekročená alebo dolnej hodnote, ktorá nebude s očakávanou pravdepodobnosťou prekročená počas referenčnej periódy
- nominálnej hodnote v prípadoch, keď nie je známe štatistické rozdelenie

Reprezentatívne hodnoty zaťaženia

Pri výpočte konštrukcií sa u premenných zaťažení okrem charakteristických hodnôt uvažujú ešte ďalšie tri reprezentatívne hodnoty:

- kombinačná hodnota $\psi_0 Q_k$ sa používa pri overovaní medzných stavov únosnosti a nevratných medzných stavov používateľnosti. Súčiniteľ kombinácie zohľadňuje skutočnosť, že pravdepodobnosť výskytu viacerých nezávislých premenných zaťažení je nižšia ako pre jedno zaťaženie,
- častá hodnota $\psi_1 Q_k$ sa používa pri overovaní medzných stavov únosnosti, v ktorých sa uplatňuje mimoriadne zaťaženie a pri overovaní vratných medzných stavoch používateľnosti,
- kvázistála hodnota $\psi_2 Q_k$ sa používa pri overovaní medzných stavov únosnosti, v ktorých sa uplatňuje mimoriadne zaťaženie a pri overovaní vratných medzných stavoch používateľnosti a dlhodobých účinkov.

Reprezentatívne hodnoty zaťaženia



Návrhové hodnoty zaťaženia

Návrhové hodnoty zaťaženia sa vyjadrujú na základe charakteristických resp. reprezentatívnych hodnôt vzt'ahom:

$$F_d = \gamma_f F_{rep}$$

- je parciálny súčiniteľ zaťaženia. Zohľadňuje nepriaznivé odchýlky zaťaženia od reprezentatívnych hodnôt
- Pri stálych a mimoriadnych zaťaženiach sú reprezentatívnymi hodnotami charakteristické hodnoty

$$F_d = \gamma_f F_k$$

Kombinácie zaťaženia pre MSÚ

Pre správne stanovenie kombinácie je potrebné stanoviť hlavné (dominantné) premenné zaťaženie a vedľajšie premenné zaťaženia. Hlavné premenné zaťaženie je také, ktoré vyvoláva u overovaného prierezu alebo nosného prvku najväčší účinok (silu, moment,...). Hlavným premenným zaťažením môže byť pre každý prierez iné premenné zaťaženie. Ak nie je zrejmé, ktoré z premenných zaťažení je hlavným, je potrebné postupne uvažovať za hlavné premenné zaťaženie každé jedno premenné zaťaženie.

Sú rozdelené do štyroch skupín:

- EQU - medzné stavy statickej rovnováhy,
- STR - medzné stavy nadmerného pretvorenia konštrukcie,
- GEO - medzné stavy porušenia pretvorením podložia
- FAT - medzné stavy porušenia opakovaným namáhaním

Kombinácie zaťaženia pre MSÚ

Návrhové situácie rozdeľujeme do troch skupín:

- ▶ trvalé a dočasné návrhové situácie

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- ▶ mimoriadne návrhové situácie

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + A_d + (\psi_{1,1} \text{ resp. } \psi_{1,2}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- ▶ seizmické návrhové situácie

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \gamma_I A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kombinácie zaťaženia pre MSP

Kombinácie zaťažení v MSP závisia na povahe sledovaného účinku zaťaženia. Rozlišujeme účinky:

- nevratné
- vratné
- dlhodobé

Charakteristická kombinácia pre nevratné medzné stavy

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} " + " P_k " + " Q_{k,1} " + " \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Častá kombinácia pre vratné medzné stavy

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} " + " P_k " + " \psi_{1,1} Q_{k,1} " + " \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kvázistála kombinácia pre dlhodobé účinky a vzhľad konštrukcie

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} " + " P_k " + " \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Úžitkové zaťaženia - návrhové situácie

Stále zaťaženia

- Celková tiaž nosných a nenosných častí sa zohľadňuje pri tvorbe kombinácií ako samostatné (jednotlivé) zaťaženie.
- Pri plochách, kde sa predpokladá premiestňovanie, odoberanie alebo pridávanie prvkov sa musia zohľadniť kritické zaťažovacie prípady.
- V návrhových situáciách sa berie do úvahy vlastná tiaž dodatočných prvkov, ktoré budú realizované po zhotovení.
- Pre relevantné prípady sa musí zohľadniť hladina vody.
- Pri návrhu skladov treba uvažovať so zdrojmi a obsahom vlhkosti

Úžitkové zaťaženia

- Pri plochách, kde budú pôsobiť rôzne kategórie zaťaženia, treba uvažovať s najnepriaznivejším rozložením zaťaženia
- V prípadoch, keď úžitkové zaťaženia pôsobia súčasne s inými premennými zaťažzeniami, sa celkové úžitkové zaťaženie pre zaťažovací prípad berie ako jednotlivé zaťaženie.
- Ak je to potrebné, treba zohľadniť dynamické účinky. V prípade opakovaného namáhania je potrebné uvažovať únavové modely.

Úžitkové zaťaženia budov

Úžitkové zaťaženia budov sú tie, ktoré sú spôsobené používaním stavebnej konštrukcie. Zahŕňajú:

- bežné používanie osobami
- nábytok a premiestniteľné predmety
 - premiestniteľné priečky
 - skladované predmety
 - obsahy kontajnerov
- vozidlá
- predpokladané zriedkavé prípady
 - sústredenie osôb alebo nábytku
 - premiestňovanie a hromadenie tovaru

Ťažké zariadenia (napr. vo verejných kuchyniach, röntgenologických priestoroch, kotolniciach,...) nie je zahrnuté v norme. Zaťaženia ťažkými zariadeniami sa stanovujú individuálne pre každý projekt.

Úžitkové zaťaženie sa modeluje ako zaťaženie plošné, líniové alebo sústredené, príp. kombinácia týchto zaťažení.

Usporiadanie zaťažení

Stropy a strechy

Pri návrhu stropnej konštrukcie a strechy sa úžitkové zaťaženie berie do úvahy ako voľné zaťaženie pôsobiace na najnepriaznivejšiu časť vplyvovej plochy uvažovaného účinku zaťaženia.

Z dôvodu minimálnej lokálnej únosnosti stropnej konštrukcie sa musí vykonať osobitné overenie pre sústredené zaťaženie, ktoré sa nesmie kombinovať s rovnomerne rozdelenými zaťažzeniami.

Úžitkové zaťaženia z jednej kategórie sa smú v prípade veľkých plôch redukovať redukčným súčiniteľom α_A .

Stĺpy a steny

Pri navrhovaní stĺpov a stien sa úžitkové zaťaženie umiestni do všetkých nepriaznivých polôh.

V miestach, kde pôsobia úžitkové zaťaženia z viacerých stopov na stĺpy a steny, sa môže použiť redukčný súčiniteľ α_n .

Zaťaženie vetrom

- zaťaženie vetrom je v čase premenné
- pôsobenie vetra:
 - priamo ako tlak na vonkajšie povrchy konštrukcie,
 - nepriamo na vnútorné povrchy (pórovitosť),
 - priamo na vnútorné povrchy (otvory, okná, dvere,...),
 - trecie sily (na veľkých plochách pri obtekaní).
- reprezentácia zaťaženia vetrom:
 - skupina tlakov,
 - jednoduché sily.

sú ekvivalentné extrémnym účinkom turbulentného vetra
- charakteristické hodnoty zaťaženia vetrom majú ročnú pravdepodobnosť prekročenia 0,02 (stredná návratnosť = 50 rokov)
- zaťaženie vetrom je premenné pevné zaťaženie

Modely zaťaženia vetrom

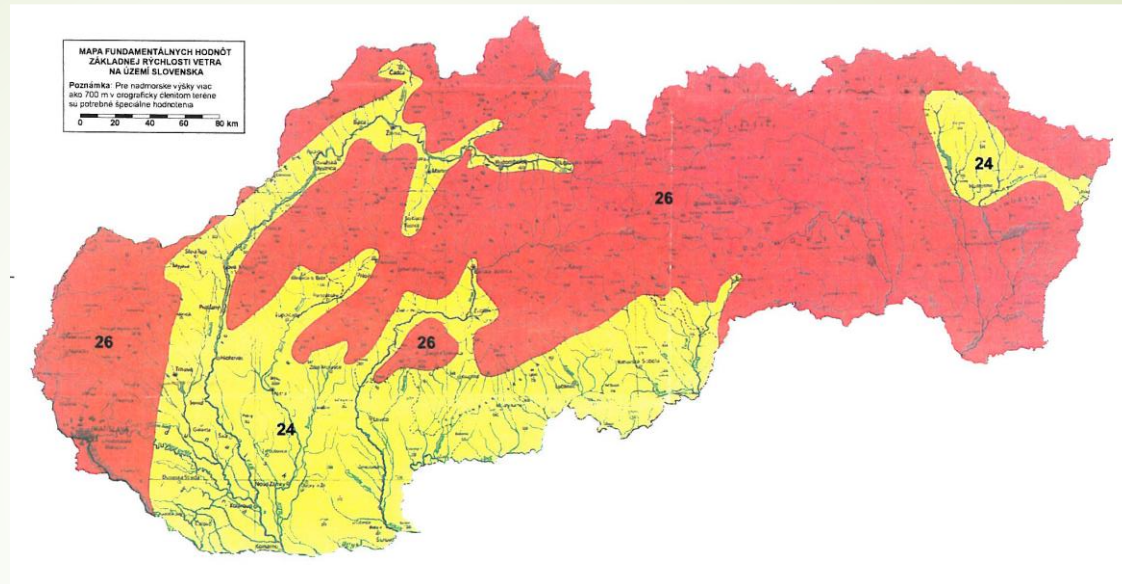
- odozva konštrukcie na zaťaženie vetrom závisí:
 - od veľkosti konštrukcie,
 - od tvaru konštrukcie,
 - od dynamických vlastností konštrukcie.

- odozva konštrukcie sa stanovuje:
 - zo špičkového tlaku vetra,
 - v referenčnej výške,
 - pri nenarušenom prúdení vetra,
 - zo súčiniteľov tlaku a sily vetra,
 - zo súčiniteľa konštrukcie.

Postup výpočtu

Parameter	Odkaz
Špičkový tlak vetra q_p	
základná rýchlosť vetra v_b	4.2 (2)P
referenčná výška z_e	kapitola 7
kategória terénu	tabuľka 4.1
charakteristický špičkový tlak vetra q_p	4.5 (1)
intenzita turbulencie I_v	4.4
stredná rýchlosť vetra v_m	4.3.1
súčiniteľ orografie $c_o(z)$	4.3.3
súčiniteľ drsnosti $c_r(z)$	4.3.2
Tlak vetra, napr. na obklady, upevnenia a časti konštrukcie	
súčiniteľ vnútorného tlaku vetra c_{pi}	kapitola 7
súčiniteľ vonkajšieho tlaku vetra c_{pe}	kapitola 7
vonkajší tlak vetra: $w_e = q_p c_{pe}$	5.2 (1)
vnútorný tlak vetra: $w_i = q_p c_{pi}$	5.2 (2)
Sily vetra na konštrukciu, napr. pre celkové účinky vetra	
súčiniteľ konštrukcie $c_s c_d$	6
sila vetra F_W vypočítaná zo súčiniteľov sily	5.3 (2)
sila vetra F_W vypočítaná zo súčiniteľov tlaku	5.3 (3)

Postup výpočtu



z [m]	Stredné rýchlosti vetra $v_m(z)$ [m/s] pre $v_b=24$ m/s				Špičkový tlak vetra $q_p(z)$ [kPa] pre $v_b=24$ m/s			
	Kategórie terénu				Kategórie terénu			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	18,76	16,82	14,54	12,95	0,5544	0,5124	0,4611	0,4234
2	21,59	16,82	14,54	12,95	0,6760	0,5124	0,4611	0,4234
5	25,32	21,00	14,54	12,95	0,8520	0,6946	0,4611	0,4234
10	28,14	24,16	18,13	12,95	0,9967	0,8468	0,6153	0,4234
20	30,97	27,32	21,71	16,85	1,1513	1,0116	0,7856	0,5919
30	32,62	29,17	23,81	19,13	1,2464	1,1137	0,8926	0,6993
40	33,79	30,48	25,29	20,75	1,3160	1,1888	0,9718	0,7794
50	34,70	31,50	26,45	22,00	1,3711	1,2485	1,0352	0,8438
60	35,44	32,33	27,39	23,03	1,4169	1,2983	1,0883	0,8970

Tlak vetra na povrchy

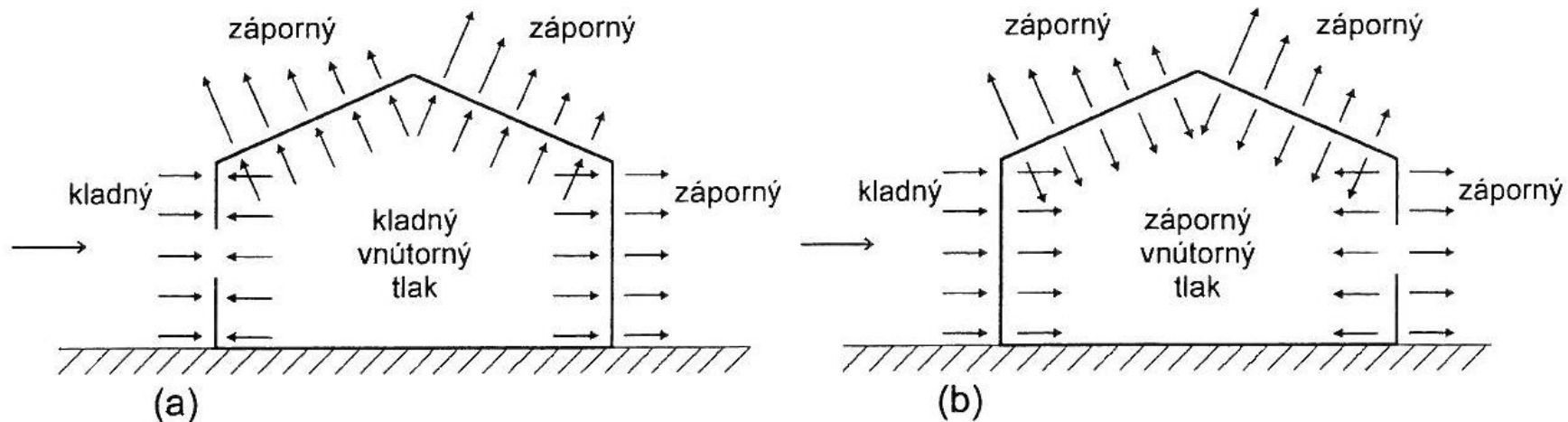
- ▶ vonkajšie povrchy

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

- ▶ vnútorné povrchy

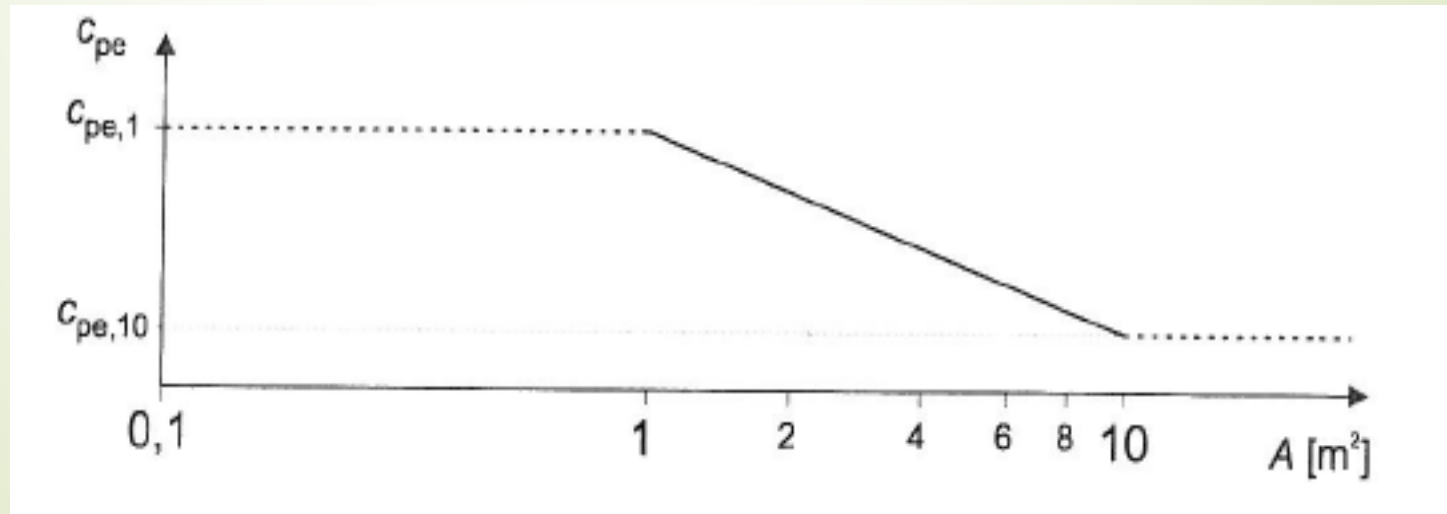
$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

- ▶ súčiniteľ tlaku c_{pe}, c_{pi}

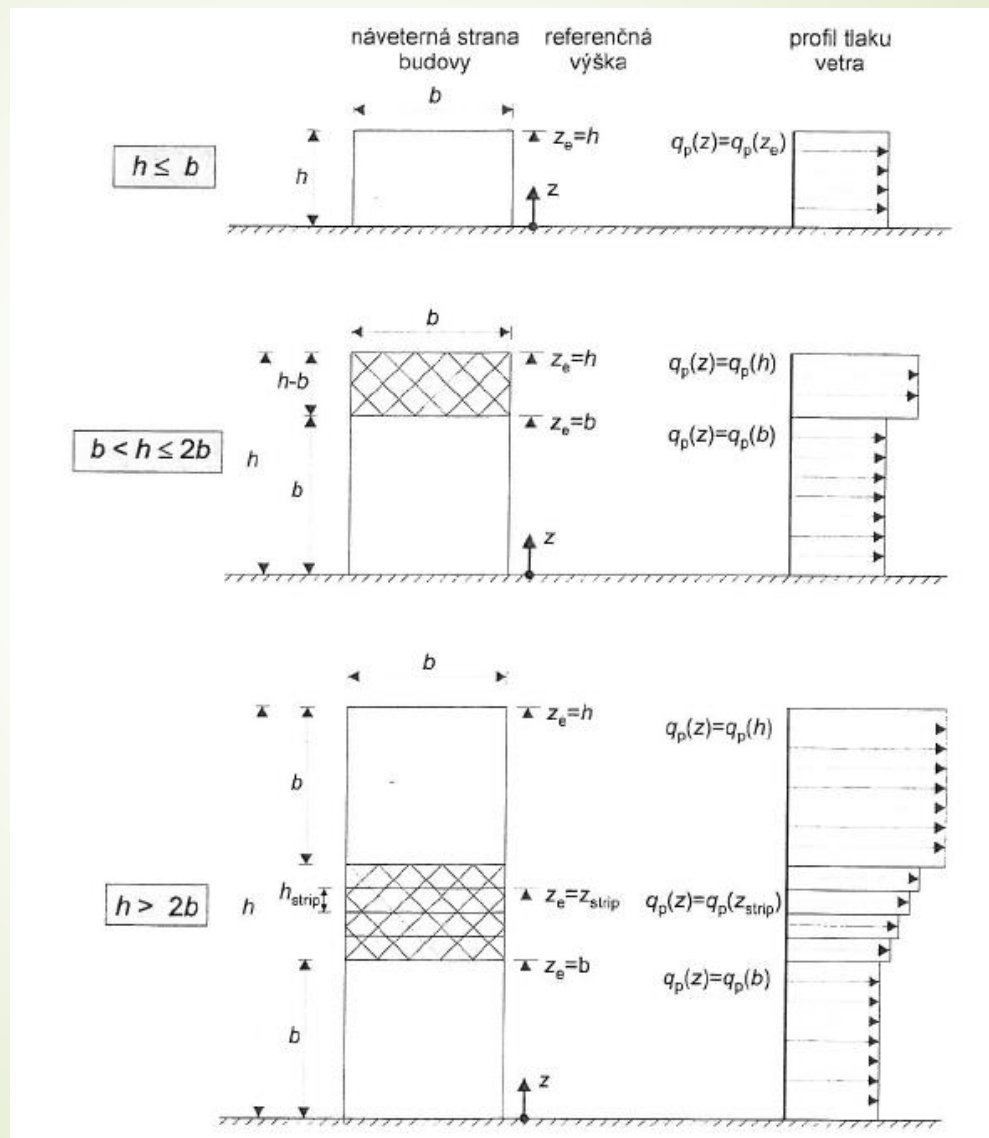


Súčinitele tlaku pri konštrukciách

- ▀ závisia od veľkosti zat'aženej plochy
- ▀ malé plochy $A \leq 1,0m^2 \Rightarrow c_{p,1}$
- ▀ veľké plochy $A \geq 10,0m^2 \Rightarrow c_{p,10}$

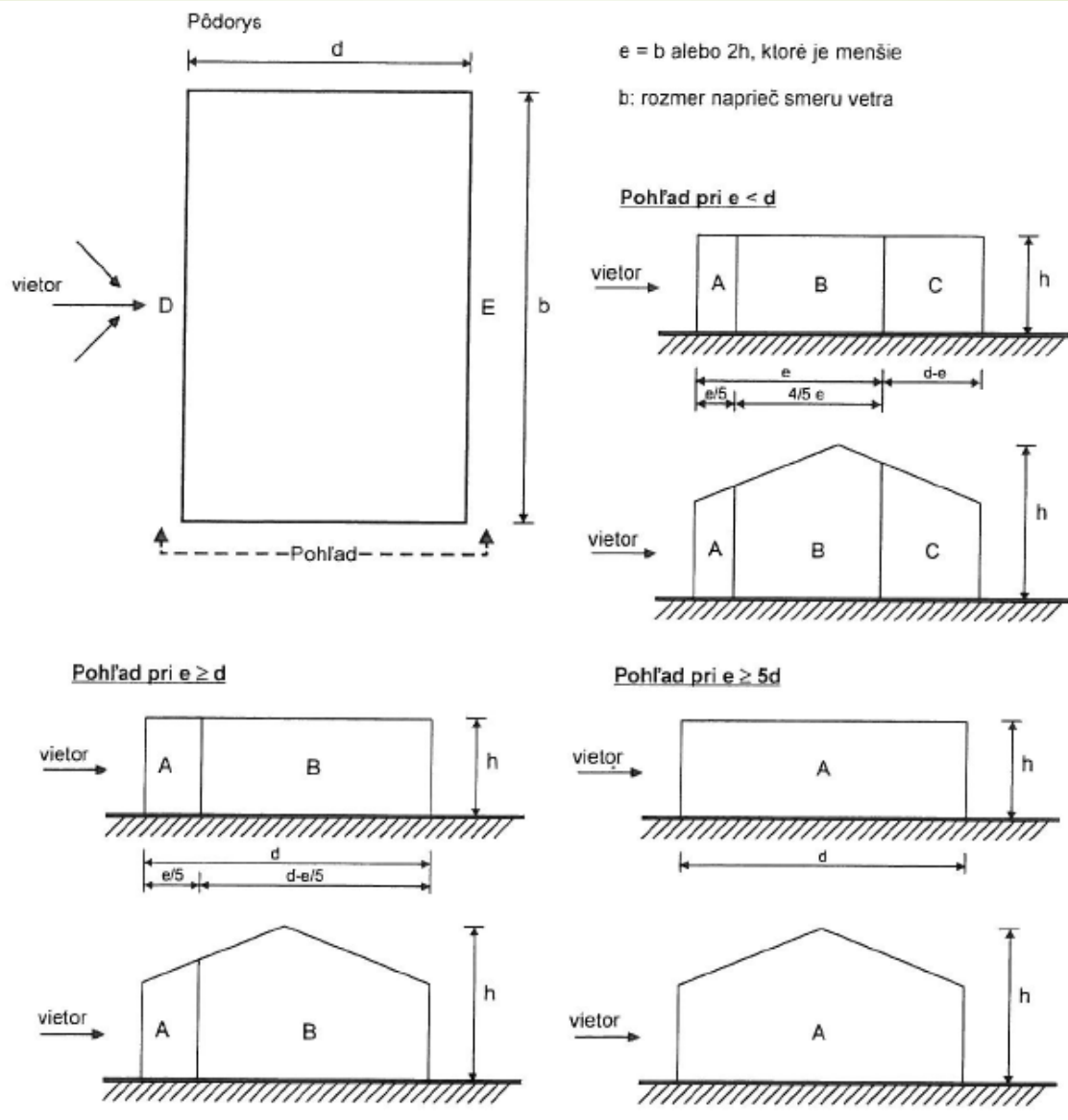


Zvislé steny budov pravouhlého pôdorysu

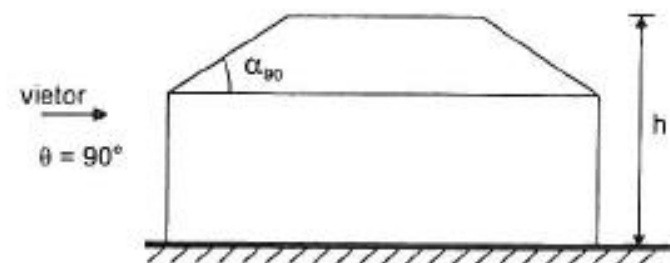
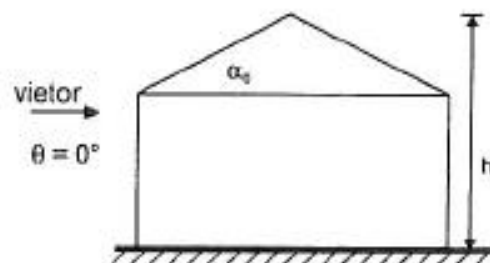


VIETOR

Zvislé steny budov pravouhlého pôdorysu

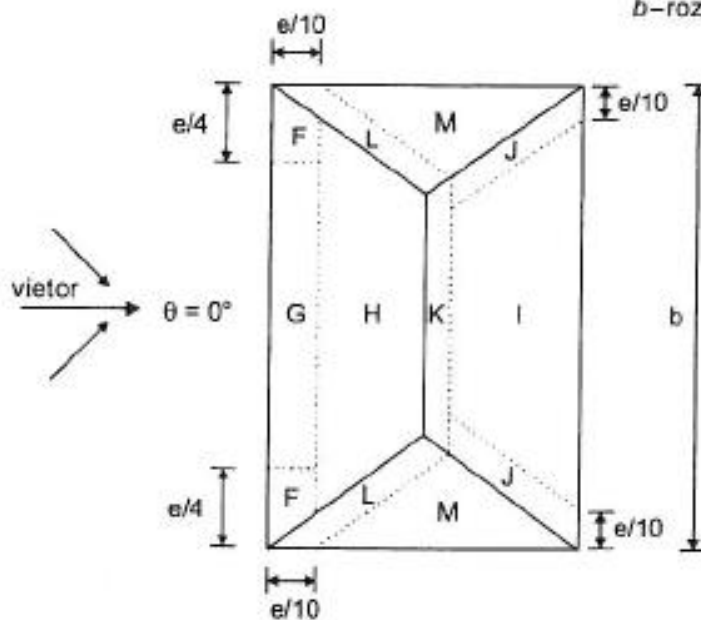


Valbové strechy

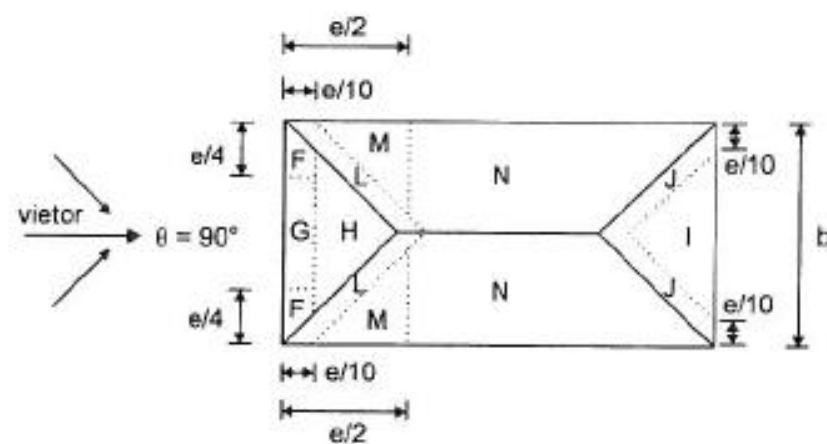


$e = b$ alebo $e = 2h$, podľa toho, ktoré je menšie

b – rozmer naprieč smeru vetra



a) smer vetra $\theta = 0^\circ$



b) smer vetra $\theta = 90^\circ$

Súčinitele vnútorného tlaku

- vonkajšie a vnútorné tlaky pôsobia súčasne - treba uvažovať najnepriaznivejšiu kombináciu zaťaženia.
- závisia od veľkosti, počtu a rozmiestnenia otvorov
- dominantné líce budovy = plocha otvorov na dominantnom líci je aspoň dvojnásobok plochy otvorov na ostatných lícach

- Budova s dominantným lícom:

- ak plocha otvorov na dominantnom líci je väčšia ako dvojnásobok plochy otvorov na ostatných lícach:

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe}$$

- ak plocha otvorov na dominantnom líci je väčšia ako trojnásobok plochy otvorov na ostatných lícach:

$$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe}$$

- Budova bez dominantného líca:

$$c_{pi} = +0,2$$

$$c_{pi} = -0,3$$

Zat'azenie vetrom - zmena Z1

Zmena sa týka zat'azenia námrazovými javmi. Používa sa pri navrhovaní elektrického vedenia, vrchného vedenia elektrifikovanej dopravy, anténnych stožiarov a potrubných systémov.

Charakteristická hodnota zat'azenia námrazou $v_{g/n}$:

- laná a drôty elektrického vedenia - STN 33 3300
- pre ostatné prvky - STN EN 1991-1-4/NA-Z1

$$v_{g/n} = \pi \cdot \chi_{gl} \cdot t_{gl} \cdot \mu_{gl} \left(d + \chi_{gl} \cdot t_{gl} \cdot \mu_{gl} \right) \cdot \gamma_{gl}$$

$$v_{g/2n} = \chi_{gl} \cdot t_{gl} \cdot \gamma_{gl} \cdot \mu_{gl}$$

Parciálny súčiniteľ zat'azenia námrazou $\gamma_f = 1,3$

Zat'azenie námrazou

Tabuľka NC.1 – Tvarový súčiniteľ μ_{gl}

Tvarový súčiniteľ μ_{gl} pre tvar prierezu							
Kruhový s priemerom d v mm ¹⁾						Valcované profily U,L,I	Uzatvorené profily □
5	10	20	30	50	70 a väčšie		
1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,7

¹⁾ pre medzifahlé priemery d sa stanovujú hodnoty μ_{gl} interpoláciou podľa priamky

Tabuľka NC.2 – Základná hrúbka námrazy t_{gl}

Doba opakovania ¹⁾ t_{gl}	Základná hrúbka námrazy t_{gl} pre námrazové oblasti ²⁾			
	L ľahká	S stredná	T ťažká	K kritická
1 krát za 5 rokov	5	10	15	> 15
1 krát za 10 rokov	10	15	20	> 20 podľa NC.2.1 b)

¹⁾ V bežných prípadoch, pokiaľ nie je pre špeciálne konštrukcie príslušnými normami na navrhovanie uvedené inak sa uvažuje doba opakovania 1 krát za 10 rokov

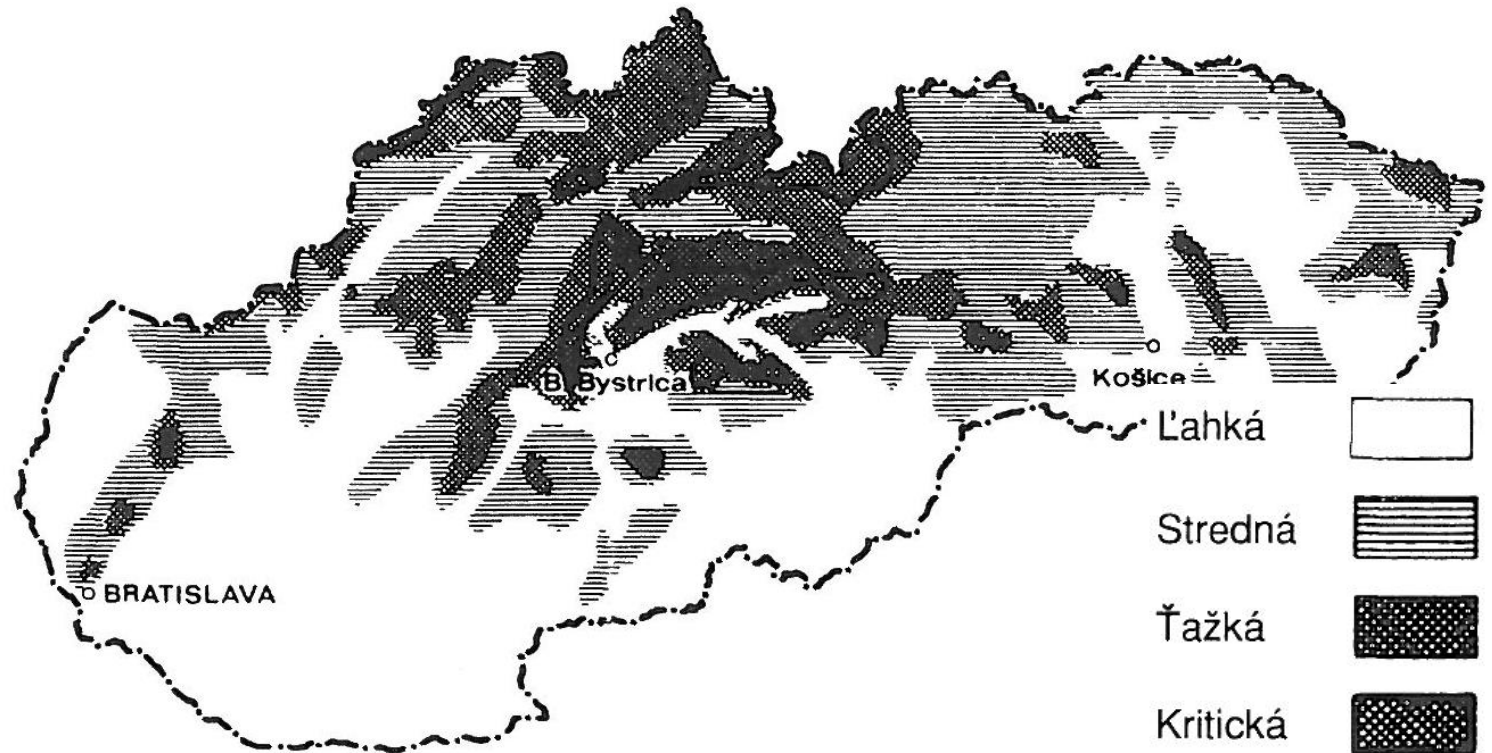
²⁾ Námrazové oblasti na území SR určuje mapa na obrázku NC.1

Zat'azenie námrazou

Tabuľka NC.3 – Súčiniteľ výšky χ_{gl}

Súčiniteľ výšky χ_{gl} pre výšku nad terénom v m									
5	10	20	30	50	70	100	200	300	400
0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	3,0	4,0

POZNÁMKA. – Pre medzifahlé výšky sa hodnoty χ_{gl} stanovujú interpoláciou podľa priamky.



Súčasné pôsobenie s inými zaťaženiami

Zaťaženie námrazou sa kombinuje so zaťažením vetrom. Pri tejto kombinácii sa hrúbka námrazy t_{gl} redukuje hodnotou:

- 0,5 pre opakovanie 1 krát za 10 rokov
- 0,6 pre opakovanie 1 krát za 5 rokov

Predpokladá sa, že vietor pôsobí na plochu zväčšenú o hrúbku námrazy. Rozmiestnenie námrazy je po prvku resp. konštrukcii rovnomerné.

Zmena predpisuje aj teplotu vzduchu, ktorá sa má uvažovať súčasne s pôsobením zaťaženia námrazou.

Súčasné pôsobenie zaťaženia námrazou a zaťaženia snehom sa nepripúšťa.

Zat'azenie snehom - klasifikacia zat'azenia

- ▶ zat'azenie snehom je premenné pevné zat'azenie,
- ▶ zat'azenie snehom je statické zat'azenie,
- ▶ výnimočné zat'azenie snehom sa smie brať do úvahy aj ako zat'azenie mimoriadne,
- ▶ zat'azenie snehom od výnimočných závejov sa smie brať do úvahy aj ako zat'azenie mimoriadne,

Zat'aženie snehom na povrchu zeme

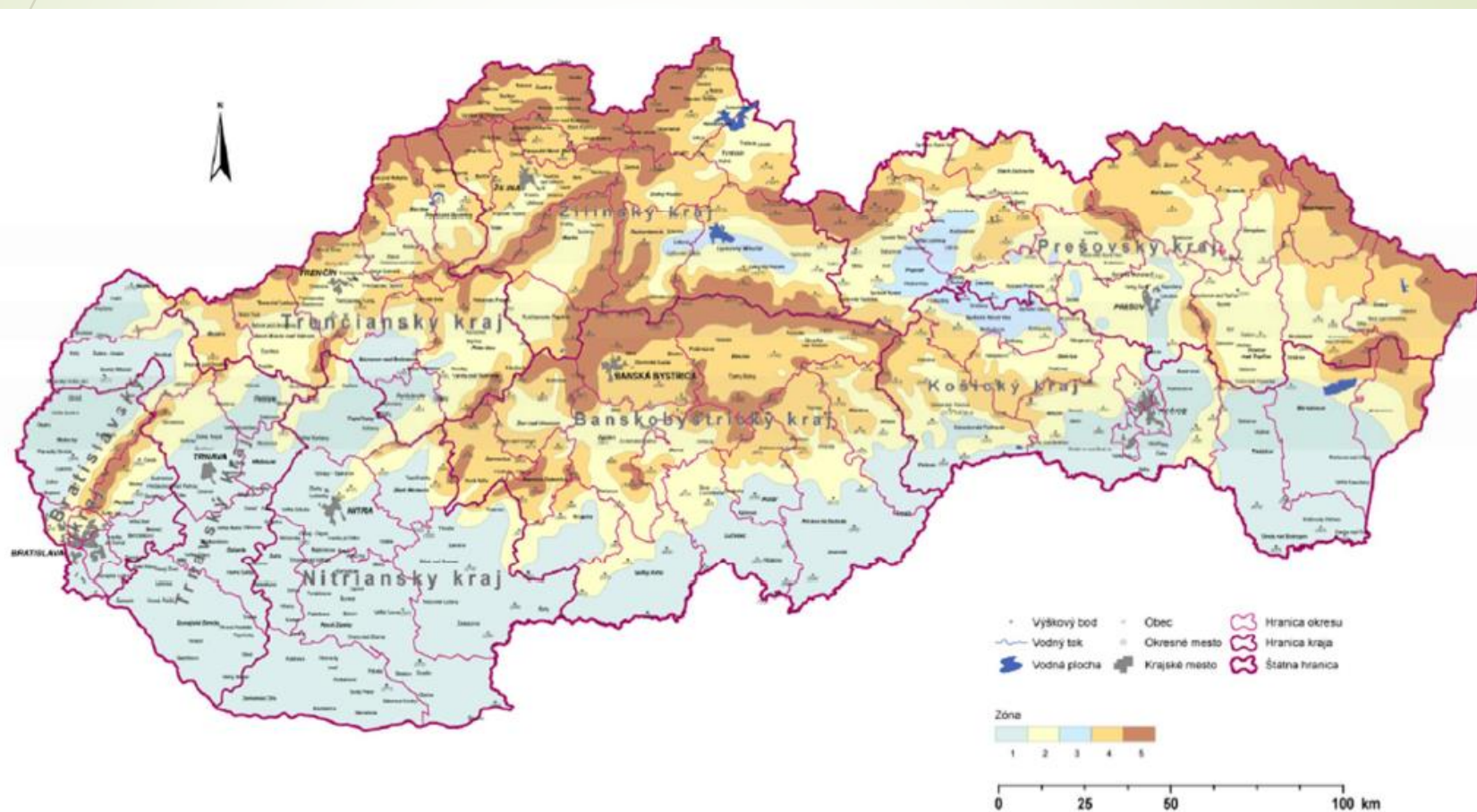
Zat'aženie striech snehom je odvodené z tiaže snehu na povrchu zeme.

Charakteristická hodnota zat'aženia snehom na povrchu zeme:

$$s_k = a + \frac{A}{b} \left[kNm^{-2} \right]$$

Zóna	1 a 3	2	4	5
a	0,454	0,425	0,716	0,934
b	970	505	430	315

Zat'aženie snehom na povrchu zeme

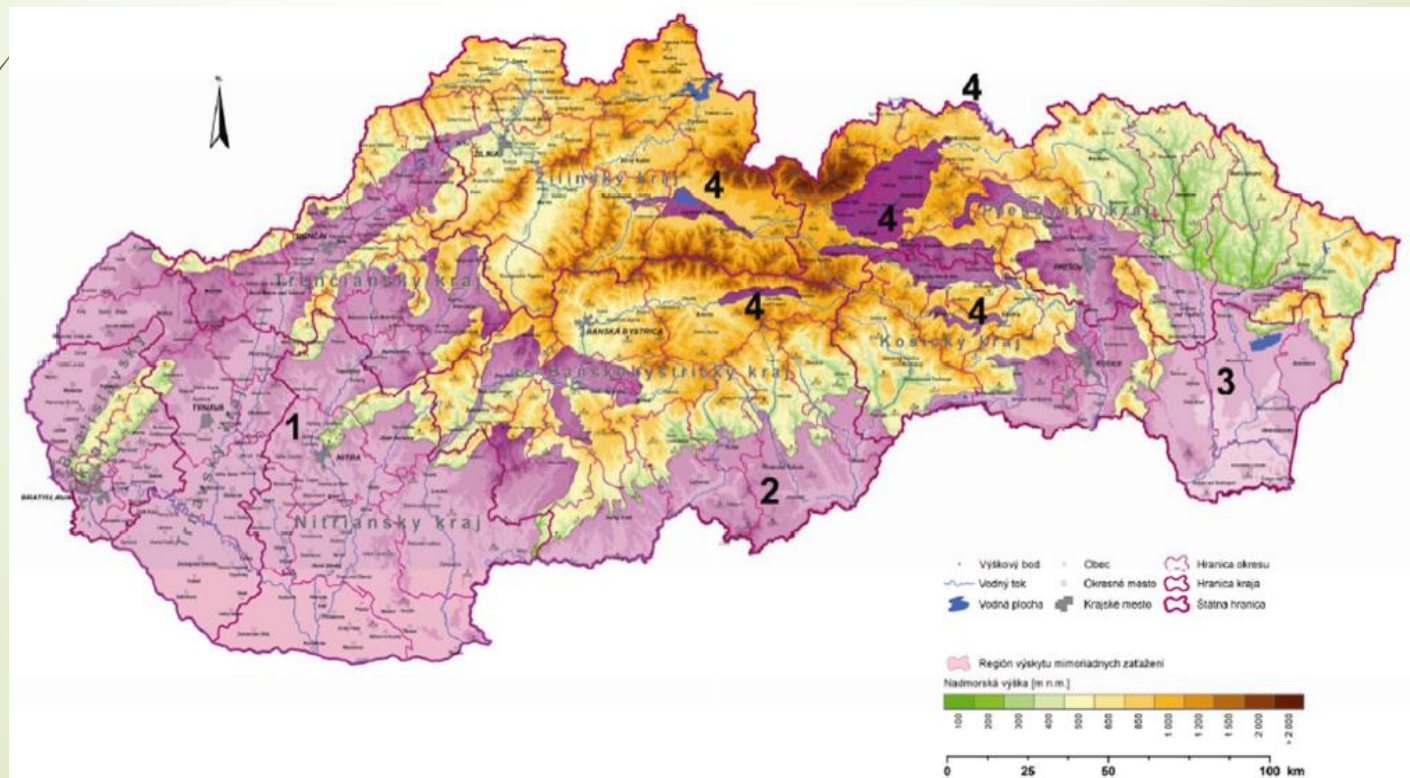


Výnimočné zat'. snehom na povrchu zeme

Charakteristická hodnota výn. zat'aženia snehom na povrchu zeme:

$$S_{Ad} = C_{esl} \cdot S_k$$

Zóna	1	2	3	4
C_{esl}	2,1	2,2	2,5	3,7



Zaťaženie snehom na strechách

- treba uvažovať viaceré možnosti rozloženia snehu na streche
- vlastnosti strechy, ktoré ovplyvňujú rozloženie:
 - tvar strechy
 - tepelné vlastnosti strechy
 - drsnosť povrchu strechy
- ďalšie faktory ovplyvňujúce rozloženie snehu na streche:
 - množstvo tepla vyprodukovaného pod strechou
 - vzdialenosť od okolitých budov
 - okolitý terén
 - miestne meteorologické podmienky

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad \text{resp.} \quad s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_{Ad}$$

Súčiniteľ expozície C_e

Veterná expozícia:

Miesta, kde je celá strecha vystavená účinkom vetra. Vplyvom vetra dochádza k nadmernému odstráneniu snehu zo strechy.

$$C_e = 0,80$$

Normálna expozícia:

Miesta, kde nie je premiestnenie snehu vplyvom vetra jednoduché. Prekážkou pre vietor sú okolité stromy, budovy, ...

$$C_e = 1,00$$

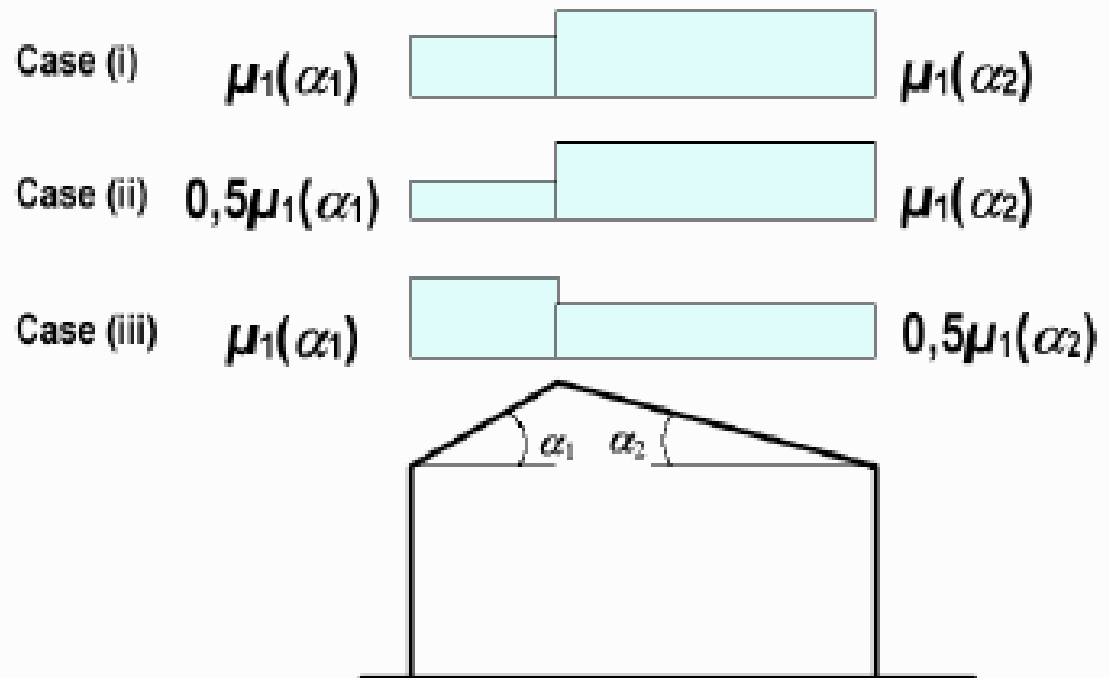
Chránená expozícia:

Miesta, kde nedochádza ku premiestneniu snehu vplyvom vetra. Prekážkou pre vietor je hlavne vysoký okolitý terén resp. vysoká okolitá zástavba.

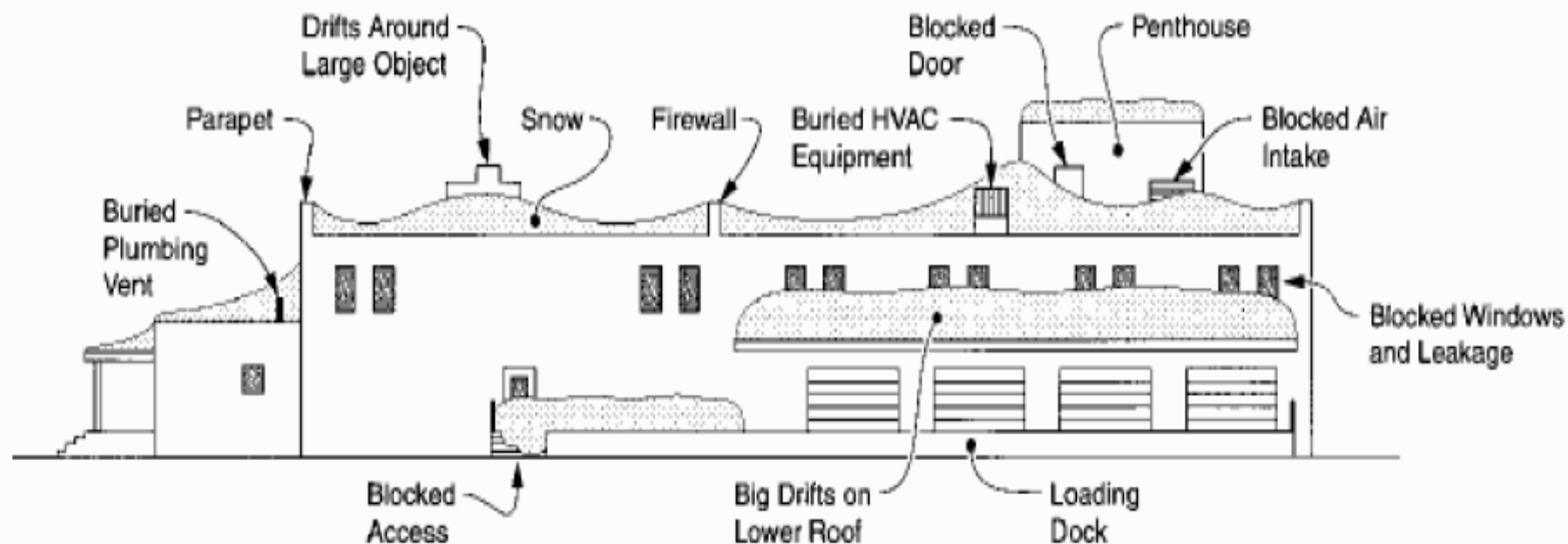
$$C_e = 1,20$$

Tvarové súčinitele zaťaženia snehom

- nezávejové usporiadanie
- závejové usporiadanie



Lokálne účinky zaťaženia snehom



Kombinácie pre ľahké strechy

- platí pre jednopodlažné haly s ľahkými strechami
- uplatňuje sa v trvalej a dočasnej návrhovej situácii

$$\gamma_S = 2,1$$

$$\psi_{0,S} = 0,4$$

$$\gamma_W = 1,8$$

$$\psi_{0,W} = 0,3$$

čl. NA 2.10 (STN EN 1991-1-3/NA1)

Zaťaženia účinkami teploty

Overovanie prvkov resp. konštrukcií:

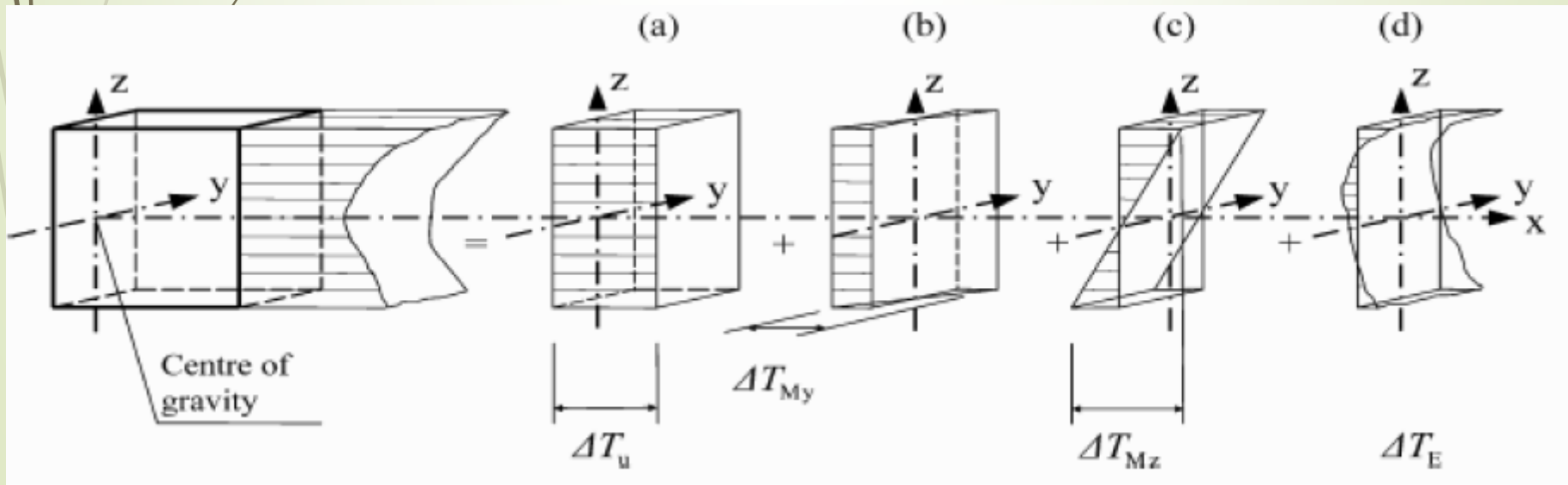
- ▶ vytvorením dilatačných škár
- ▶ zahrnutím účinkov do návrhu

Reprezentácia zaťaženií:

- ▶ rozdielne teploty jednotlivých prvkov konštrukcie vplyvom:
 - ▶ zmeny teploty vzduchu v rámci dňa
 - ▶ zmeny teploty vzduchu vplyvom tieňa
 - ▶ sekundárne žiarenie
- ▶ veľkosť účinkov teploty závisí od:
 - ▶ poveternostných podmienok
 - ▶ orientácie konštrukcie
 - ▶ objemu konštrukcie alebo jej časti
 - ▶ povrchovej úpravy konštrukcie
 - ▶ pri budovách aj od režimu vykurovania a vetrania

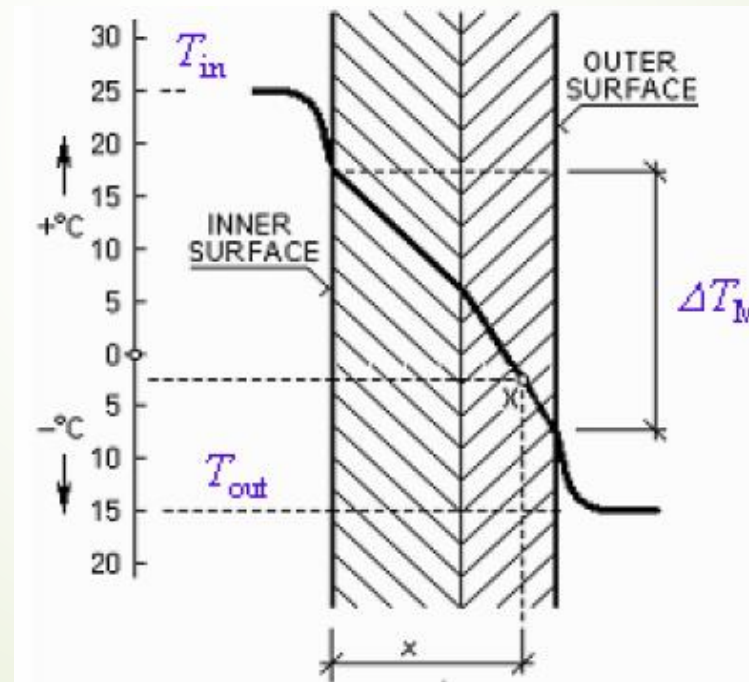
Rozdelenie teploty v konštrukčnom prvku

- zložka rovnomernej teploty (dĺžkové zmeny prvku)
- zložka lineárne meniaceho sa teplotného spádu okolo osi y-y
- (prídavné napätia v prvku)
- zložka lineárne meniaceho sa teplotného spádu okolo osi z-z
- nelineárna zložka teplotného spádu (vykompenzovanie v rámci prierezu)



Zmeny teploty pri budovách

- zložka rovnomernej teploty = rozdiel medzi priemernou teplotou prvku a počiatočnou teplotou ($\Delta T_u = T - T_0$)
- zložka lineárne meniaceho sa teplotného spádu ΔT_m = rozdiel medzi teplotami na jednotlivých povrchoch (teória prenosu tepla – príloha D



teploty T_{in} a T_{out} sa stanovujú podľa príslušných teplotných máp a tab.

Zmeny teploty pri mostoch

Typy nosných konštrukcií mostov:

- oceľová nosná konštrukcia mosta:
 - komorový nosník
 - priehradový alebo plnostenný nosník
- spriahnutá nosná konštrukcia mosta
- betónová konštrukcia mosta:
 - betónová doska
 - betónový nosník
 - betónový komorový nosník

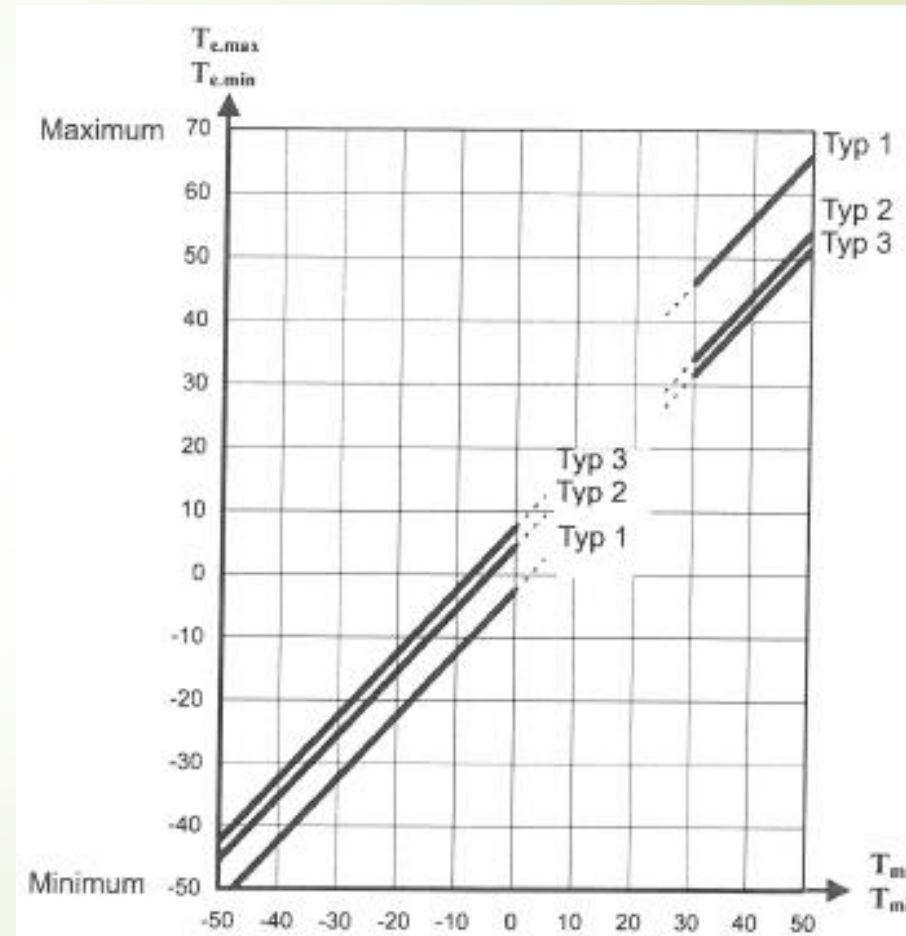
Stanovenie reprezentatívnych hodnôt:

- zložka rovnomernej teploty
- zložka teplotného spádu


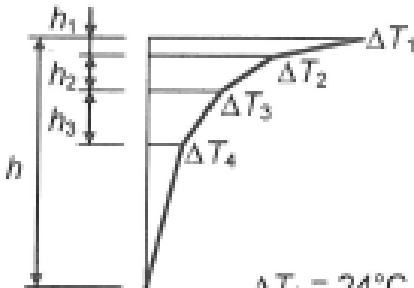
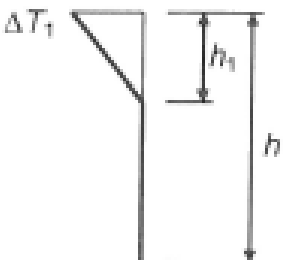

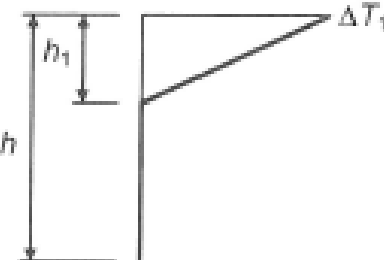
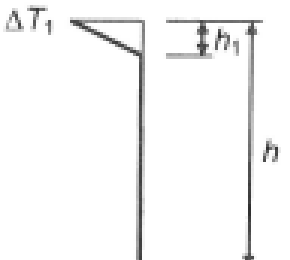
Rovnomerná zložka teploty

Uvažujú sa nasledujúce účinky:

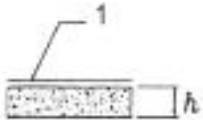

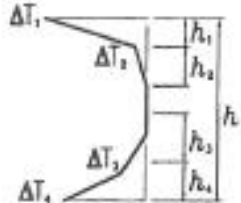
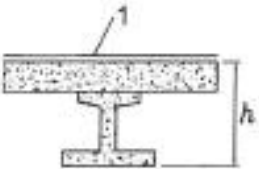
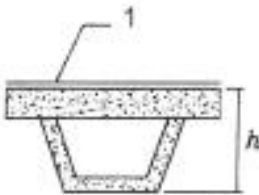
- obmedzenie predĺžení alebo skrátení, spôsobené typom konštrukcie (portálový rám, oblúk, gumové ložiská,...)
- trenie vo valčekových alebo klzných ložiskách
- nelineárne geometrické účinky (teória druhého rádu)
- interakcia medzi koľajou a mostom na železničných mostoch – dodatočné sily v ložiskách



Zložka teplotného spádu (oceľové mosty)

Typ konštrukcie	Teplotný spád ΔT	
	a) ohrievanie	b) ochladzovanie
<p>40 mm povrchová úprava</p>  <p>1a. Oceľová nosná konštrukcia – oceľový komorový nosník</p>	 <p>$\Delta T_1 = 24^\circ\text{C}$ $\Delta T_2 = 14^\circ\text{C}$ $\Delta T_3 = 8^\circ\text{C}$ $\Delta T_4 = 4^\circ\text{C}$</p> <p>$h_1 = 0,1 \text{ m}$ $h_2 = 0,2 \text{ m}$ $h_3 = 0,3 \text{ m}$</p>	 <p>$\Delta T_1 = -6^\circ\text{C}$ $h_1 = 0,5 \text{ m}$</p>
<p>40 mm povrchová úprava</p>  <p>1b. Oceľová nosná konštrukcia – oceľový priehradový alebo plnostenný nosník</p>	 <p>$h_1 = 0,5 \text{ m}$ $\Delta T_1 = 21^\circ\text{C}$</p>	 <p>$\Delta T_1 = -5^\circ\text{C}$ $h_1 = 0,1 \text{ m}$</p>

Zložka teplotného spádu (betónové mosty)

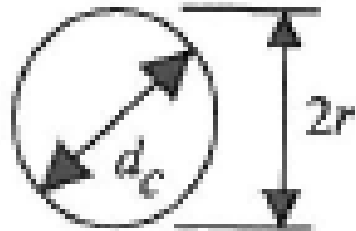
Typ konštrukcie	Teplotný spád ΔT																																																								
	a) ohrievanie	b) ochladzovanie																																																							
 <p>3a. Betónová doska</p>																																																									
 <p>3b. Betónový nosník</p>	<p> $h_1 = 0,3h$ ale $\leq 0,15$ m $h_2 = 0,3h$ ale $\geq 0,10$ m ale $\leq 0,25$ m $h_3 = 0,3h$ ale $\leq (0,10$ m + hrúbka povrchovej úpravy v m) (pre tenké dosky je h_3 limitované hodnotou $h - h_1 - h_2$) </p>	<p> $h_1 = h_4 = 0,20h$ ale $\leq 0,25$ m $h_2 = h_3 = 0,20h$ ale $\leq 0,25$ m </p>																																																							
 <p>3c. Betónový komorový nosník</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>h [m]</th> <th>ΔT_1 [°C]</th> <th>ΔT_2 [°C]</th> <th>ΔT_3 [°C]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\leq 0,2$</td> <td>8,5</td> <td>3,5</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>12,0</td> <td>3,0</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>13,0</td> <td>3,0</td> <td>2,0</td> </tr> <tr> <td>$\geq 0,8$</td> <td>13,0</td> <td>3,0</td> <td>2,5</td> </tr> </tbody> </table>	h [m]	ΔT_1 [°C]	ΔT_2 [°C]	ΔT_3 [°C]	$\leq 0,2$	8,5	3,5	0,5	0,4	12,0	3,0	1,5	0,6	13,0	3,0	2,0	$\geq 0,8$	13,0	3,0	2,5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>h [m]</th> <th>ΔT_1 [°C]</th> <th>ΔT_2 [°C]</th> <th>ΔT_3 [°C]</th> <th>ΔT_4 [°C]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\leq 0,2$</td> <td>-2,0</td> <td>-0,5</td> <td>-0,5</td> <td>-1,5</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>-4,5</td> <td>-1,4</td> <td>-1,0</td> <td>-3,5</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>-6,5</td> <td>-1,8</td> <td>-1,5</td> <td>-5,0</td> </tr> <tr> <td>0,8</td> <td>-7,6</td> <td>-1,7</td> <td>-1,5</td> <td>-6,0</td> </tr> <tr> <td>1,0</td> <td>-8,0</td> <td>-1,5</td> <td>-1,5</td> <td>-6,3</td> </tr> <tr> <td>$\geq 1,5$</td> <td>-8,4</td> <td>-0,5</td> <td>-1,0</td> <td>-6,5</td> </tr> </tbody> </table>	h [m]	ΔT_1 [°C]	ΔT_2 [°C]	ΔT_3 [°C]	ΔT_4 [°C]	$\leq 0,2$	-2,0	-0,5	-0,5	-1,5	0,4	-4,5	-1,4	-1,0	-3,5	0,6	-6,5	-1,8	-1,5	-5,0	0,8	-7,6	-1,7	-1,5	-6,0	1,0	-8,0	-1,5	-1,5	-6,3	$\geq 1,5$	-8,4	-0,5	-1,0	-6,5
h [m]	ΔT_1 [°C]	ΔT_2 [°C]	ΔT_3 [°C]																																																						
$\leq 0,2$	8,5	3,5	0,5																																																						
0,4	12,0	3,0	1,5																																																						
0,6	13,0	3,0	2,0																																																						
$\geq 0,8$	13,0	3,0	2,5																																																						
h [m]	ΔT_1 [°C]	ΔT_2 [°C]	ΔT_3 [°C]	ΔT_4 [°C]																																																					
$\leq 0,2$	-2,0	-0,5	-0,5	-1,5																																																					
0,4	-4,5	-1,4	-1,0	-3,5																																																					
0,6	-6,5	-1,8	-1,5	-5,0																																																					
0,8	-7,6	-1,7	-1,5	-6,0																																																					
1,0	-8,0	-1,5	-1,5	-6,3																																																					
$\geq 1,5$	-8,4	-0,5	-1,0	-6,5																																																					

Legenda 1 Hrúbka povrchovej úpravy 100 mm

Zat'azenie síl a nádrží

- silá pre sypké materiály
 - nádrže pre kvapaliny
- geometrické obmedzenia:

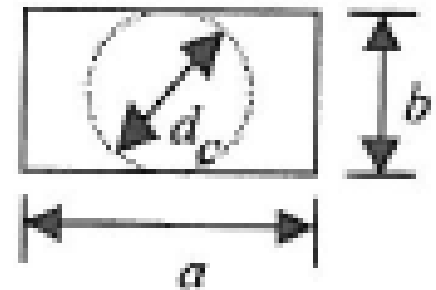
$$A/U = r/2$$



$$A/U = a/4$$



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



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

SILÁ

Zat'azenie síl a nádrží

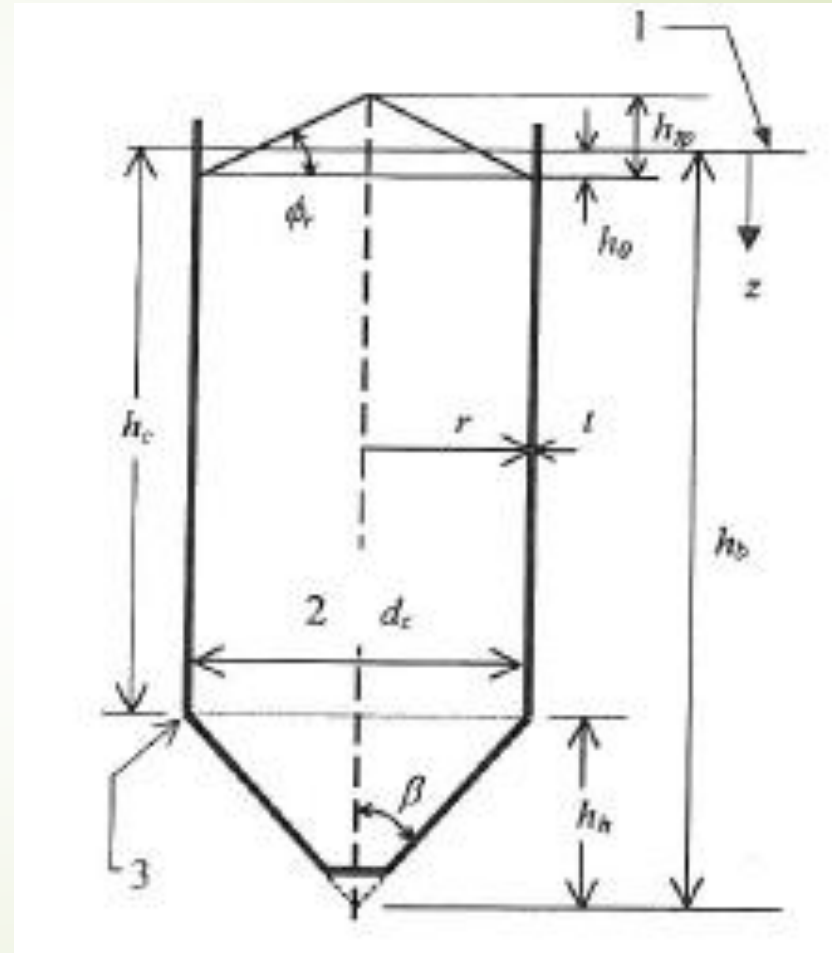
- geometrické obmedzenia:
- rozmerové obmedzenia

$$h_b / d_c < 10$$

$$h_b < 100m$$

$$d_c < 60m$$

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



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

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:

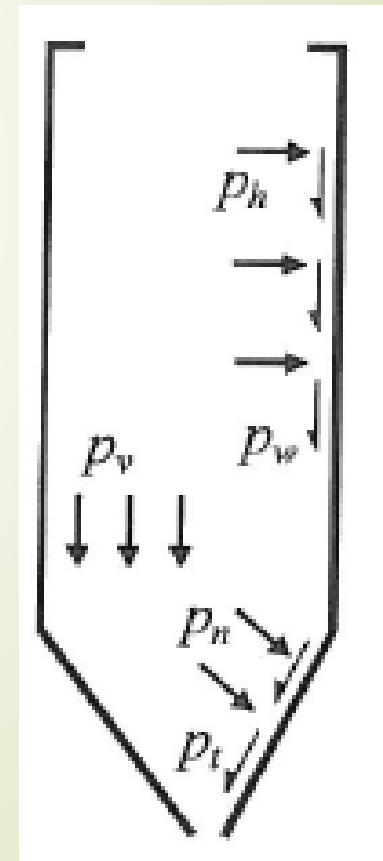
- plnenie spôsobuje len zanedbateľné zotrvačné účinky a zaťaženia rázom
- pri vyprázdňovaní sa môžu použiť dopravníky alebo potrubia (prúdenie materiálu musí ostať hladké a centrálné)
- výsyvky musia byť osovo symetrické (kuželové, ihlanové, klinové,...)

Reprezentácia a zatriedenie zaťažení

- 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

Reprezentácia a zatriedenie zaťažení

- 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 materiáli 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

SILÁ

Zatriedenie síl - úrovně prísnosti

- zatriedenie podľa kapacity sila
- vždy sa môže zvoliť vyššia trieda

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> <p>a) excentrické vyprázdňovanie pre $e_y/d_c > 0,25$ (pozri obrázok 1.1b)</p> <p>b) nízke silo s excentricitou horného povrchu pre $e_1/d_c > 0,25$</p>
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

Návrhové situácie

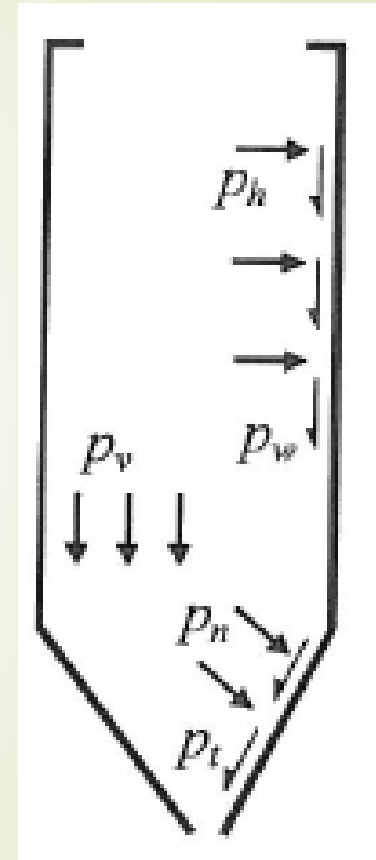
- zaťaženia zo susedných konštrukcií (strechy, podperné konštrukcie,...)
- zaťaženia od transportérov a vrát
- mimoriadne zaťaženia (výbuchy, nárazy vozidiel, seizmicita, požiar)

Návrhové situácie pre materiál uskladnený v sile:

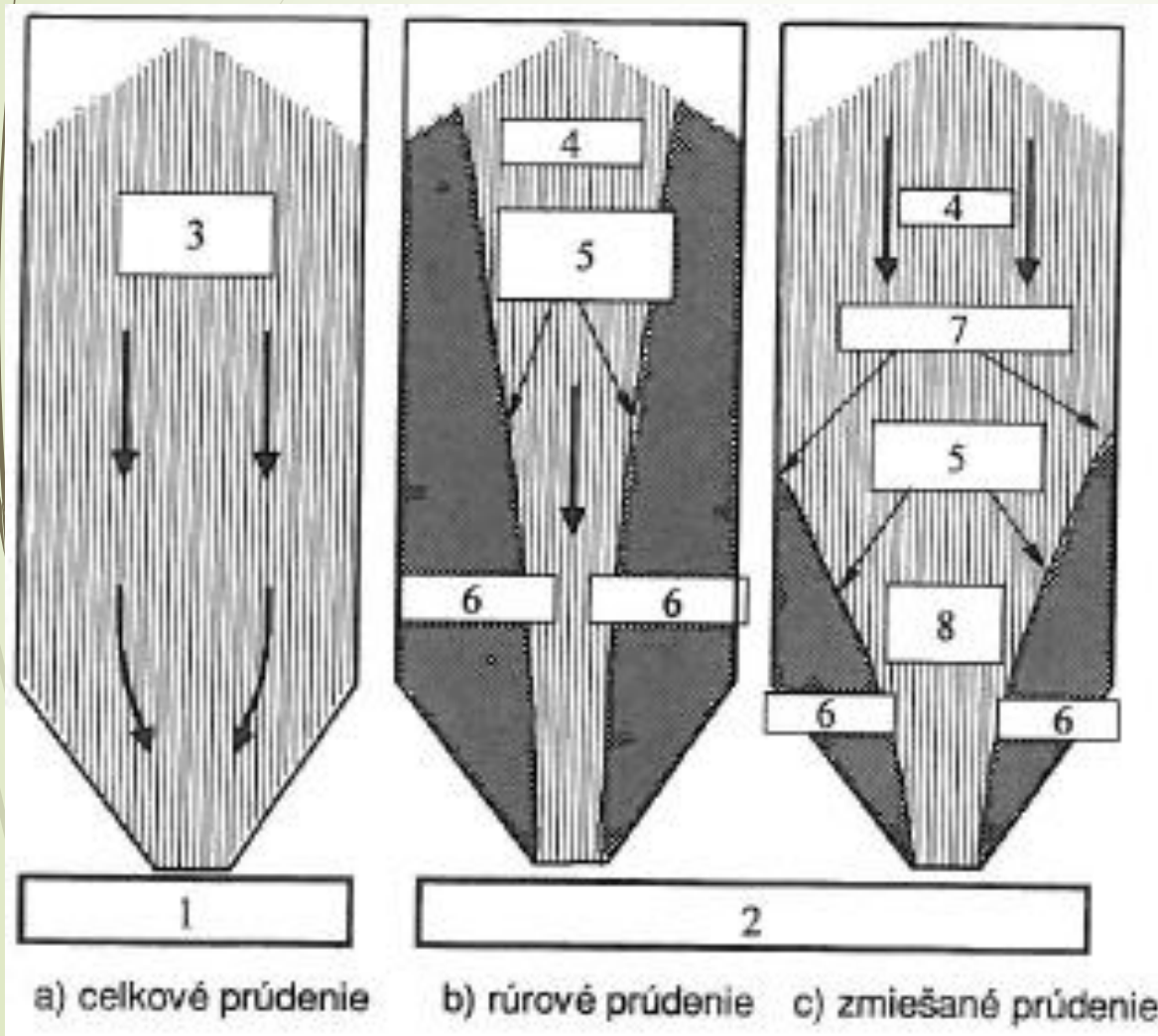
- zaťaženie v stave úplného naplnenia
- schémy zaťaženia pri plnení a vyprázdňovaní sila (MSÚ a MSP)

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



Tvary prúdenia sypkých materiálov

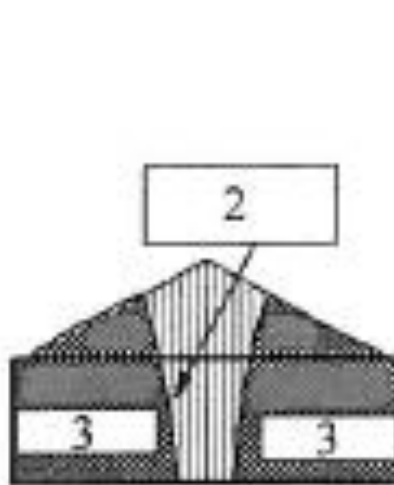


- 1 celkové prúdenie
- 2 lievnikové prúdenie
- 3 všetok materiál v pohybe
- 4 prúdiaci materiál

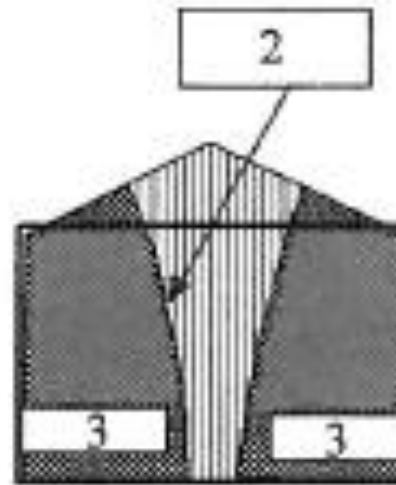
- 5 okraj prietokového kanála
- 6 nehybný materiál
- 7 efektívny prechod
- 8 efektívna výsypka

Tvary prúdenia - vplyv štihlosti

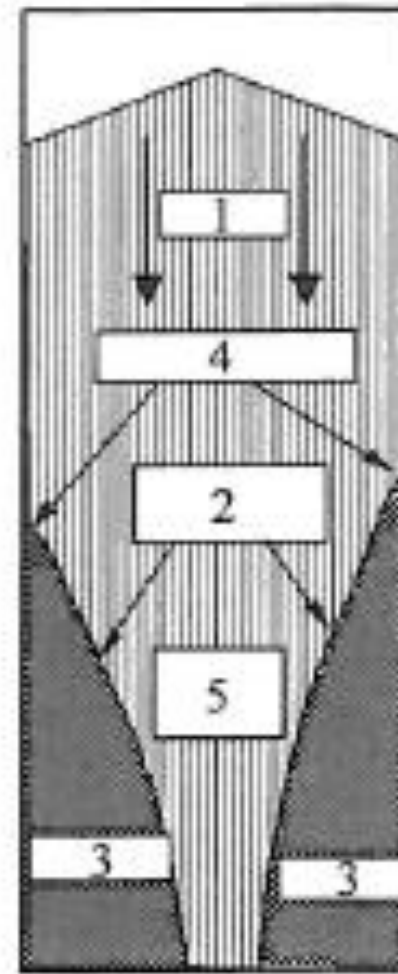
- 1 prúdiaci materiál
- 2 okraj prietokového kanála
- 3 nehybný materiál
- 4 efektívny prechod
- 5 efektívna výsypka



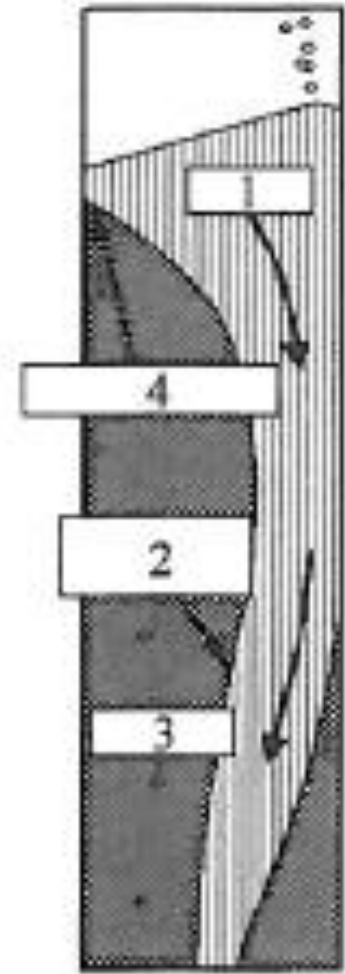
a) veľmi nízke silo



b) nízke silo



c) štíhle silo



d) veľmi štíhle silo

Návrhové situácie - medzné stavy

- **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**
- **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 napíňania 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:
 - kuželové výsyvky
 - klinové výsyvky

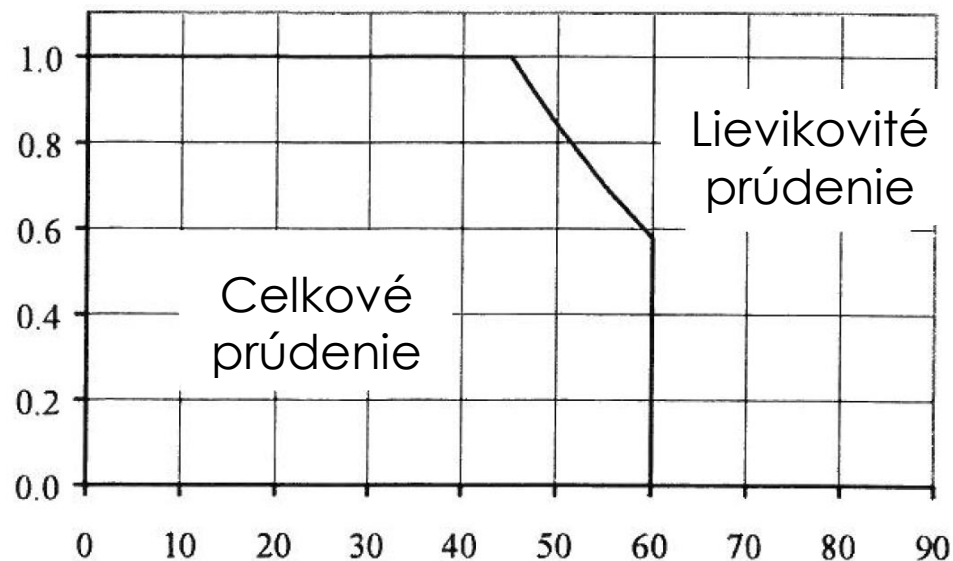
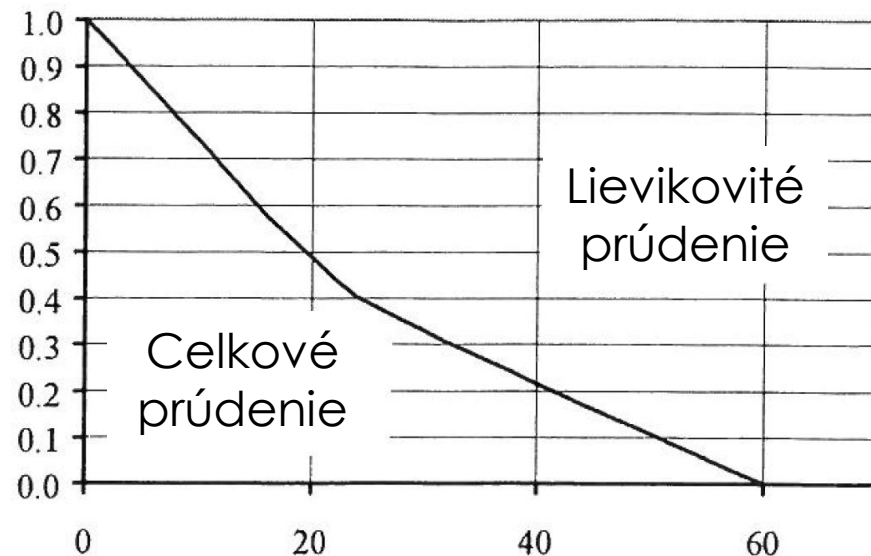
Vlastnosti sypkých materiálov

- kuželové výsypky

β je polovičný vrcholový uhol výsypky

μ_h je súčiniteľ trenia vo výsypke

- klinové výsypky



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

- 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 „drsny“	oddebnený 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

Vlastnosti sypkých materiálov

Uhol vnútorného trenia ϕ_i

- arctg pomeru šmykového a normálového napätia

Pomer tlakov K

- pomer stredného vodorovného tlaku ku strednému zvislému tlaku

Súdržnosť c

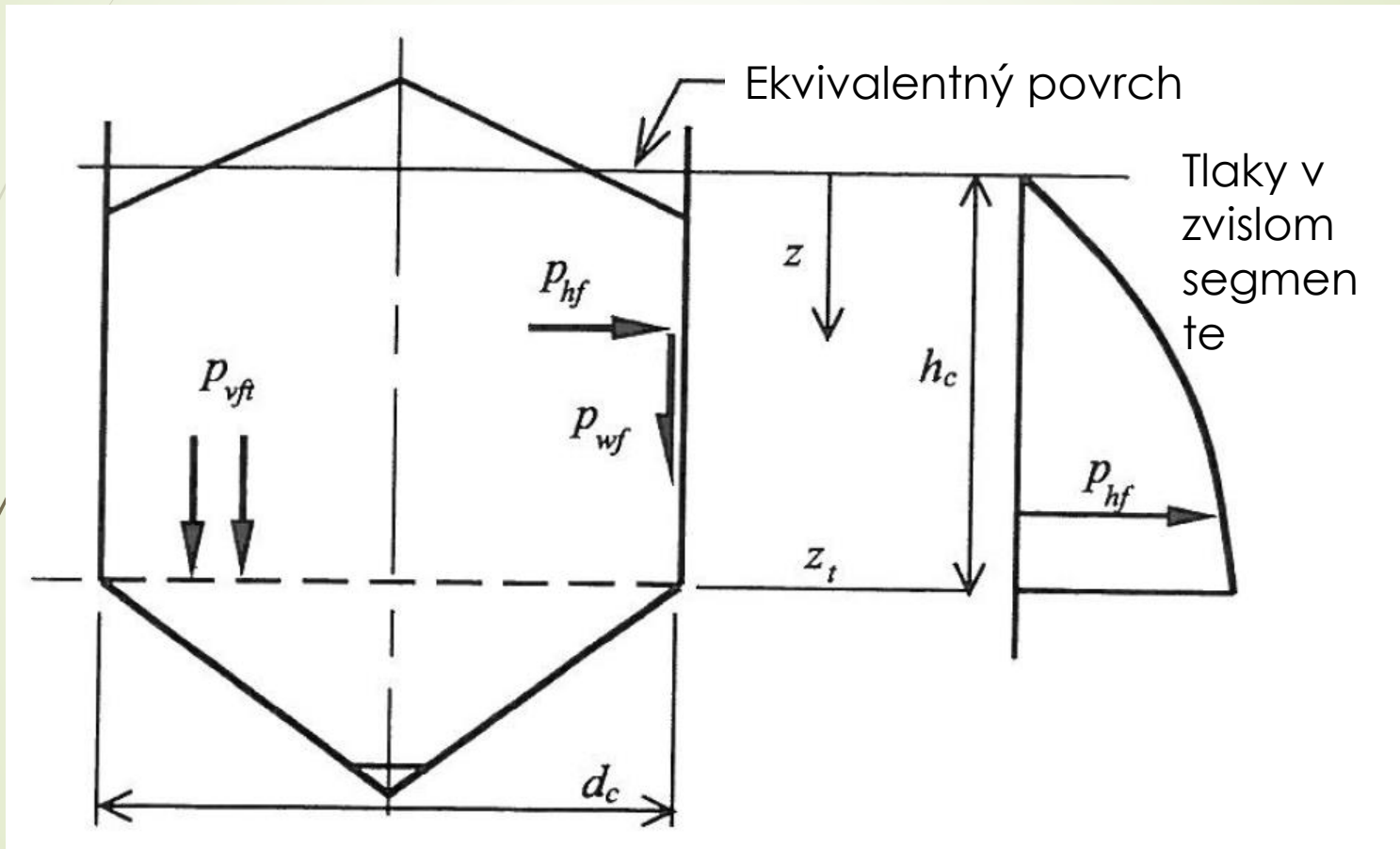
- mení sa spolu s konsolidačným napätím, ktoré pôsobilo na materiál

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

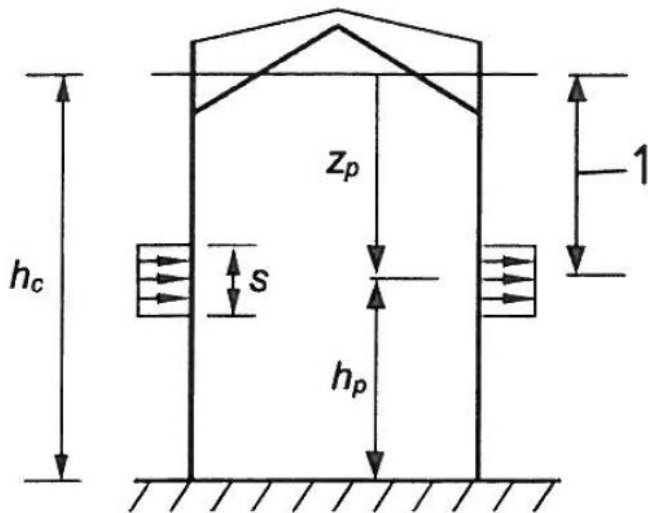
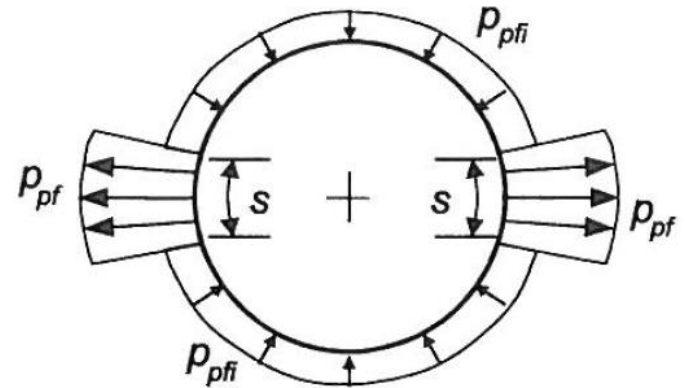
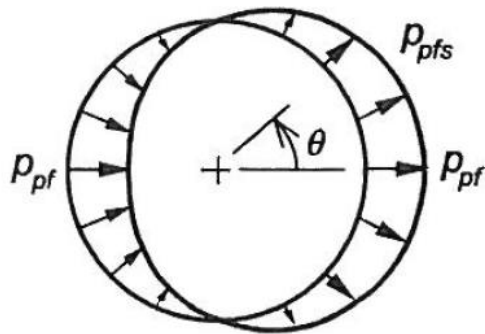
plocha vodorovného rezu sila

U

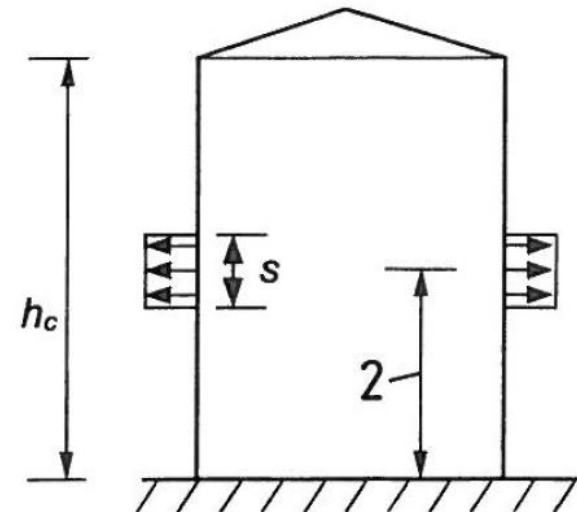
vnútorný obvod vodorovného rezu sila

Zaťaženia zvislých stien sila – štíhle silá

Miestne zaťaženie – kruhové silá



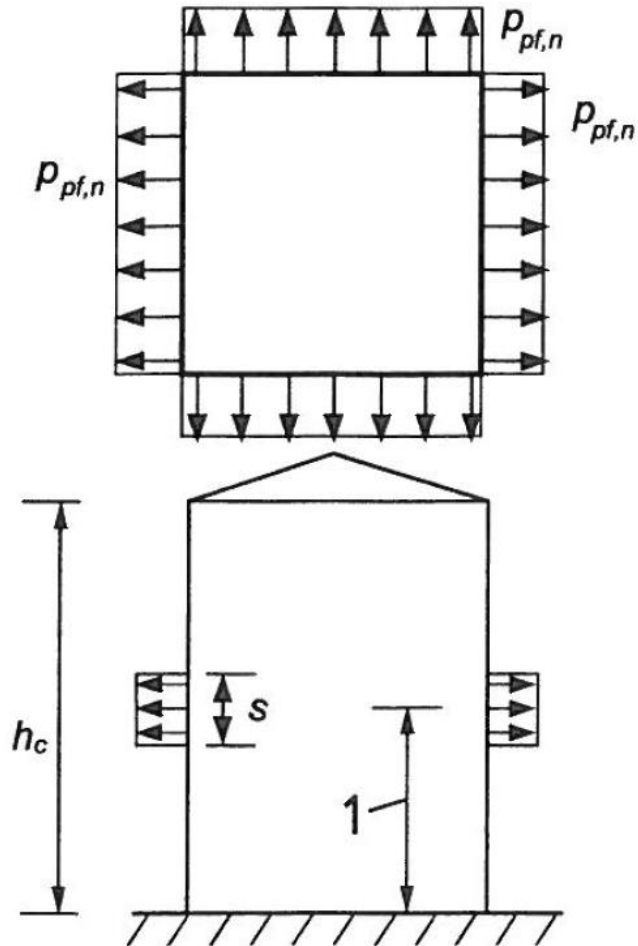
a) tenkostenné kruhové silo



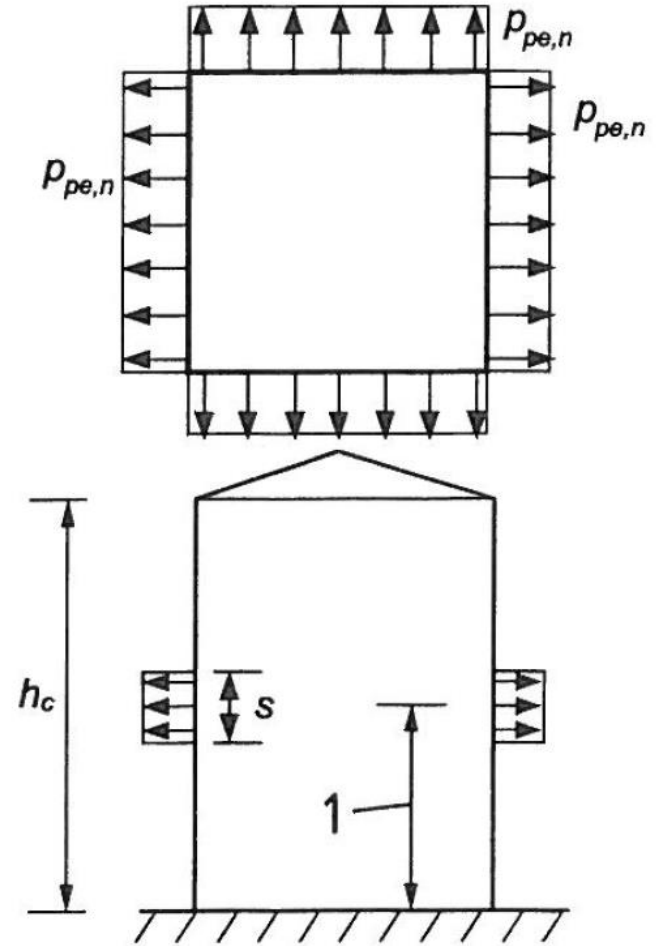
b) ostatné kruhové silá

Zaťaženia zvislých stien sila – štíhle silá

Miestne zaťaženie – nekruhové silá



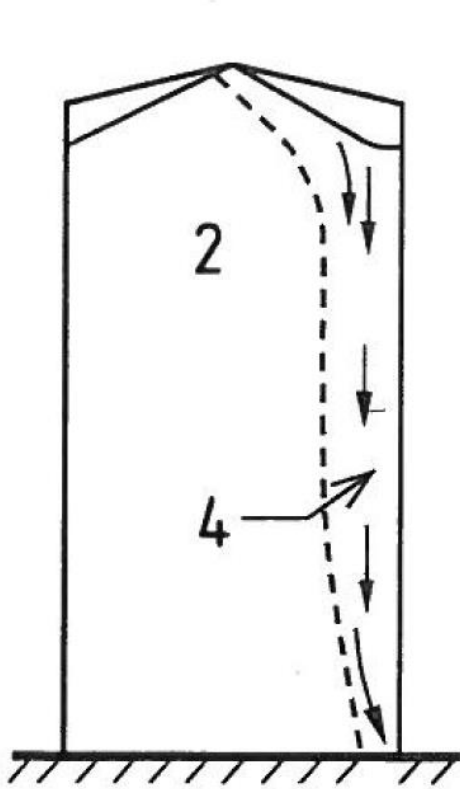
a) miestne tlaky pri plnení



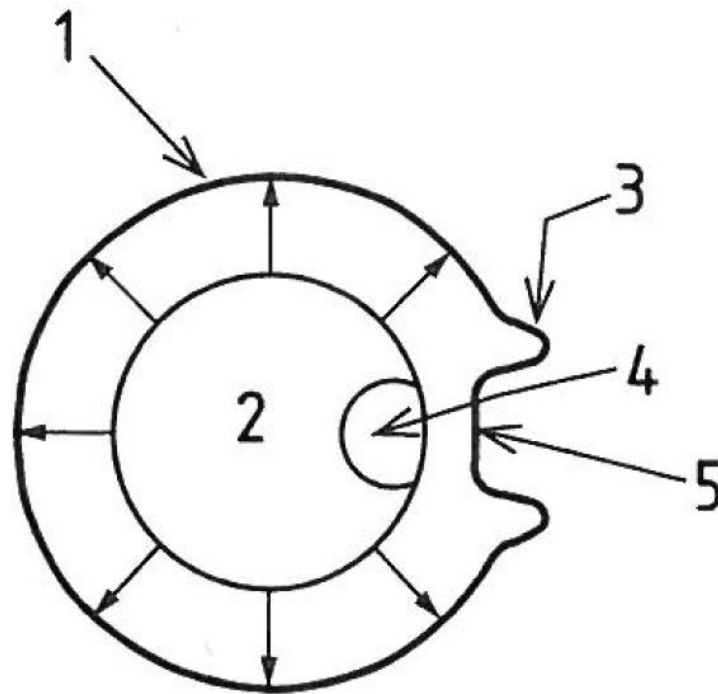
b) miestne tlaky pri vyprázdňovaní

Zaťaženia zvislých stien sila – štíhle silá

Zaťaženia pri vyprázdňovaní – veľká excentricita výpustov



nárys

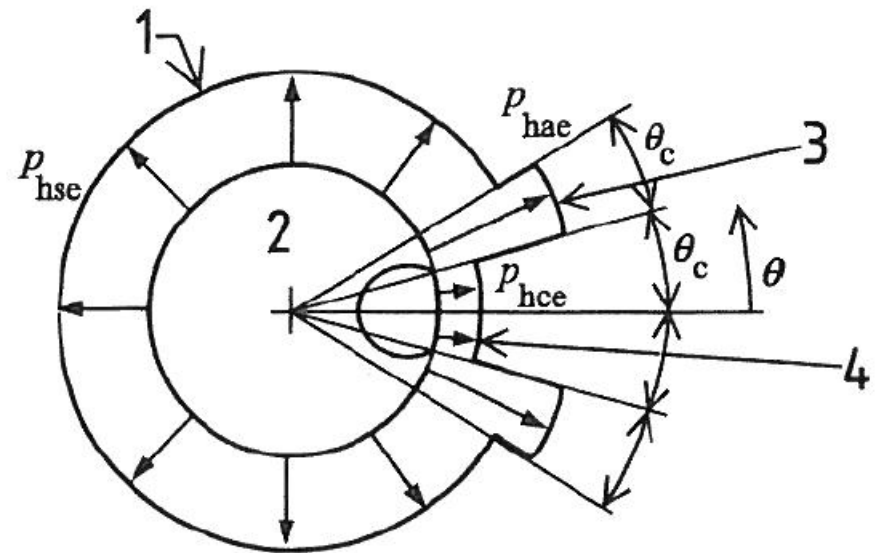
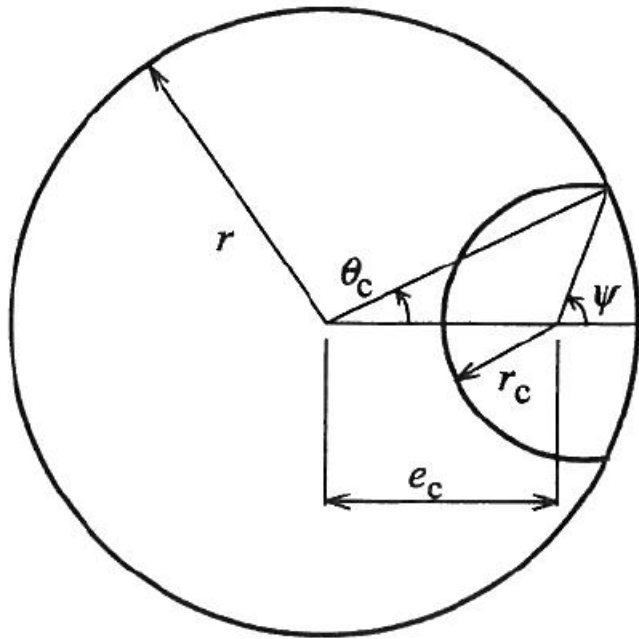


priečny rez

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

Zaťaženia zvislých stien sila – štíhle silá

Zaťaženia pri vyprázdňovaní – veľká excentricita výpustov

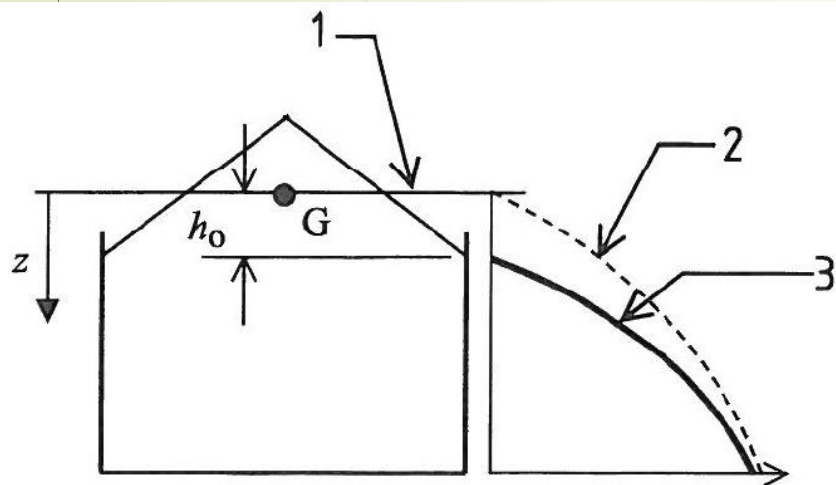


- 1 statické tlaky
- 2 nehybný materiál

- 3 tlaky na okraji kanála
- 4 prietokové tlaky v kanáli

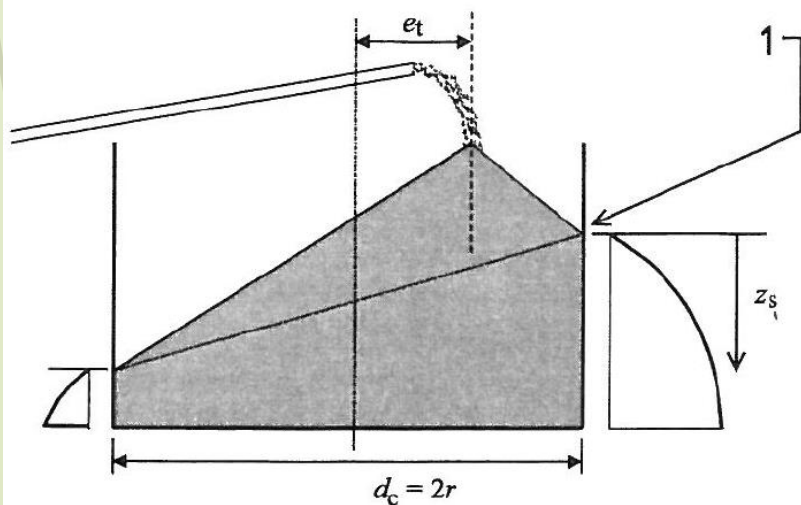
Zaťaženia zvislých stien sila – nízke silá a silá so strednou štíhlosťou

Zaťaženia pri plnení



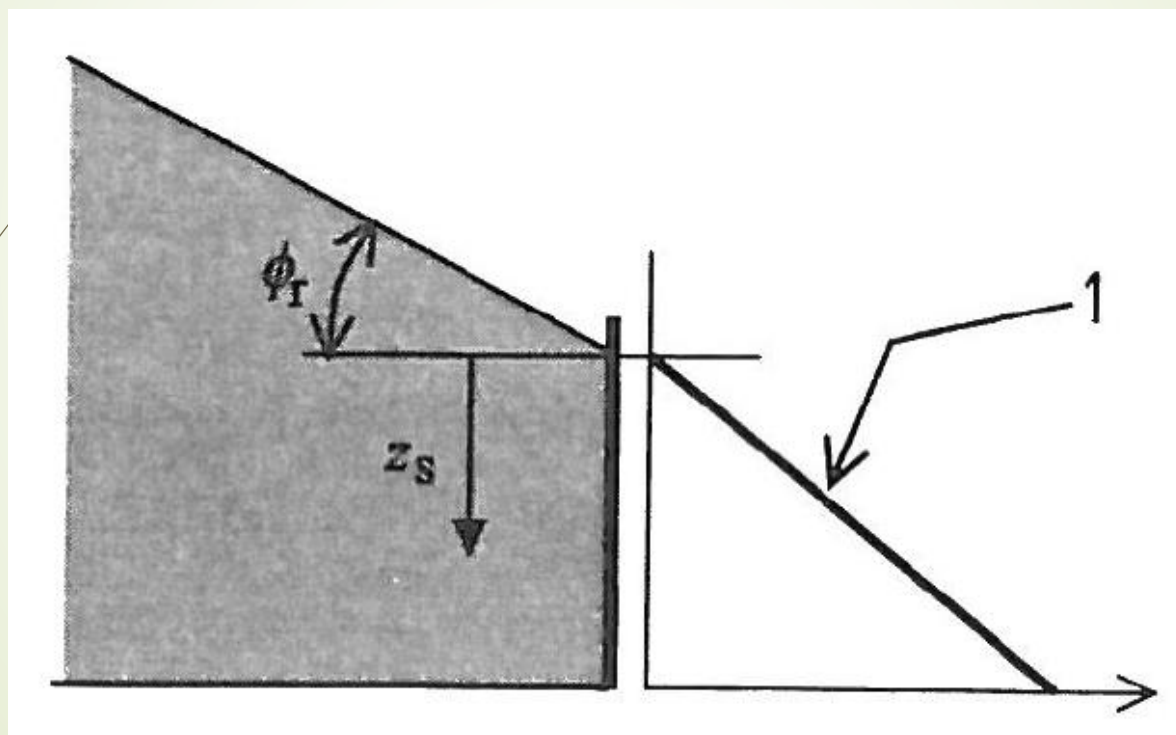
- 1 ekvivalentný povrch
- 2 pravidlo pre štíhle silo
- 3 tlaky pre nízke silo

Zaťaženia pri plnení – silá s veľkou excentricitou



Zaťaženia zvislých stien sila – veľmi nízke silá

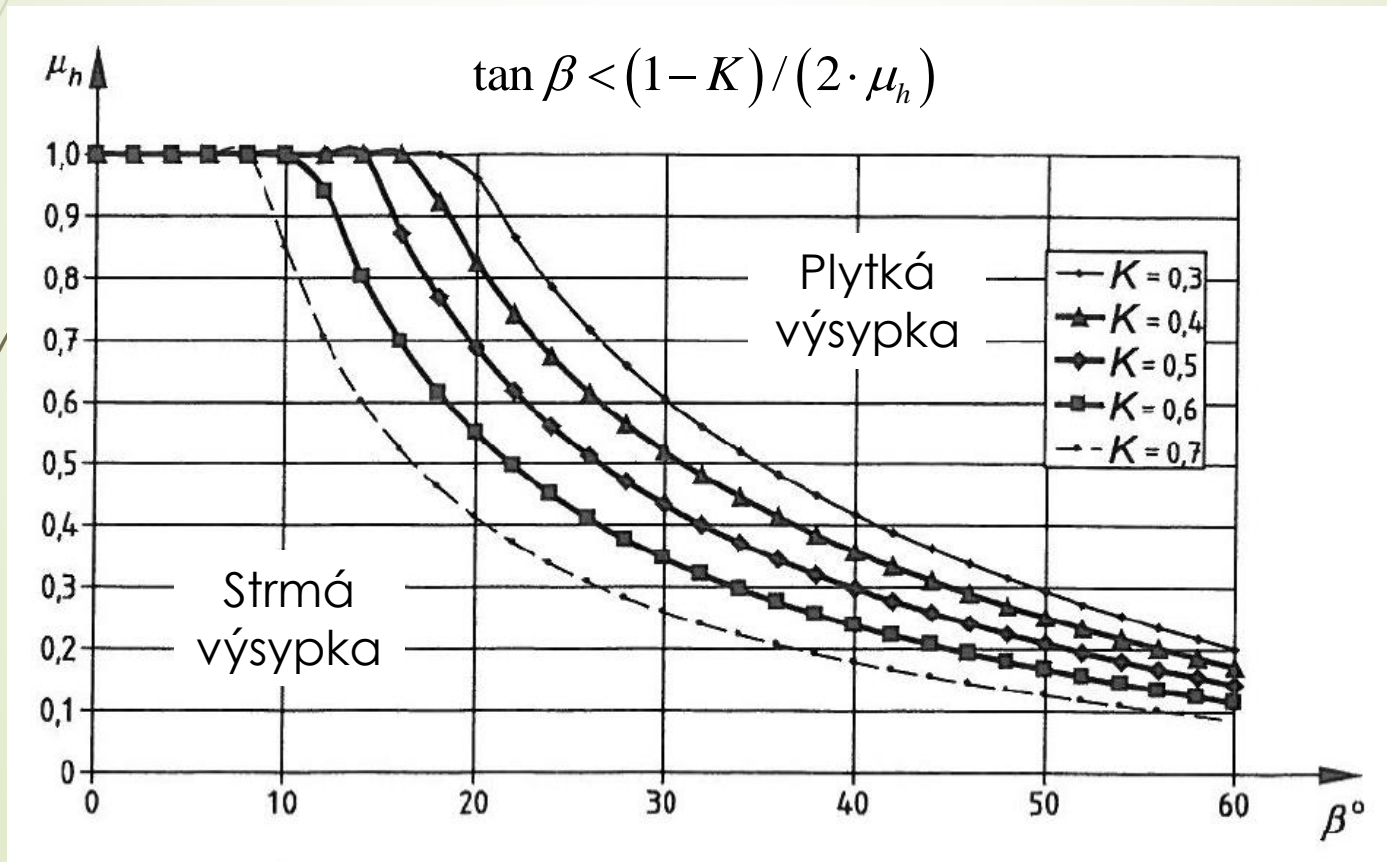
Zaťaženia pri plnení



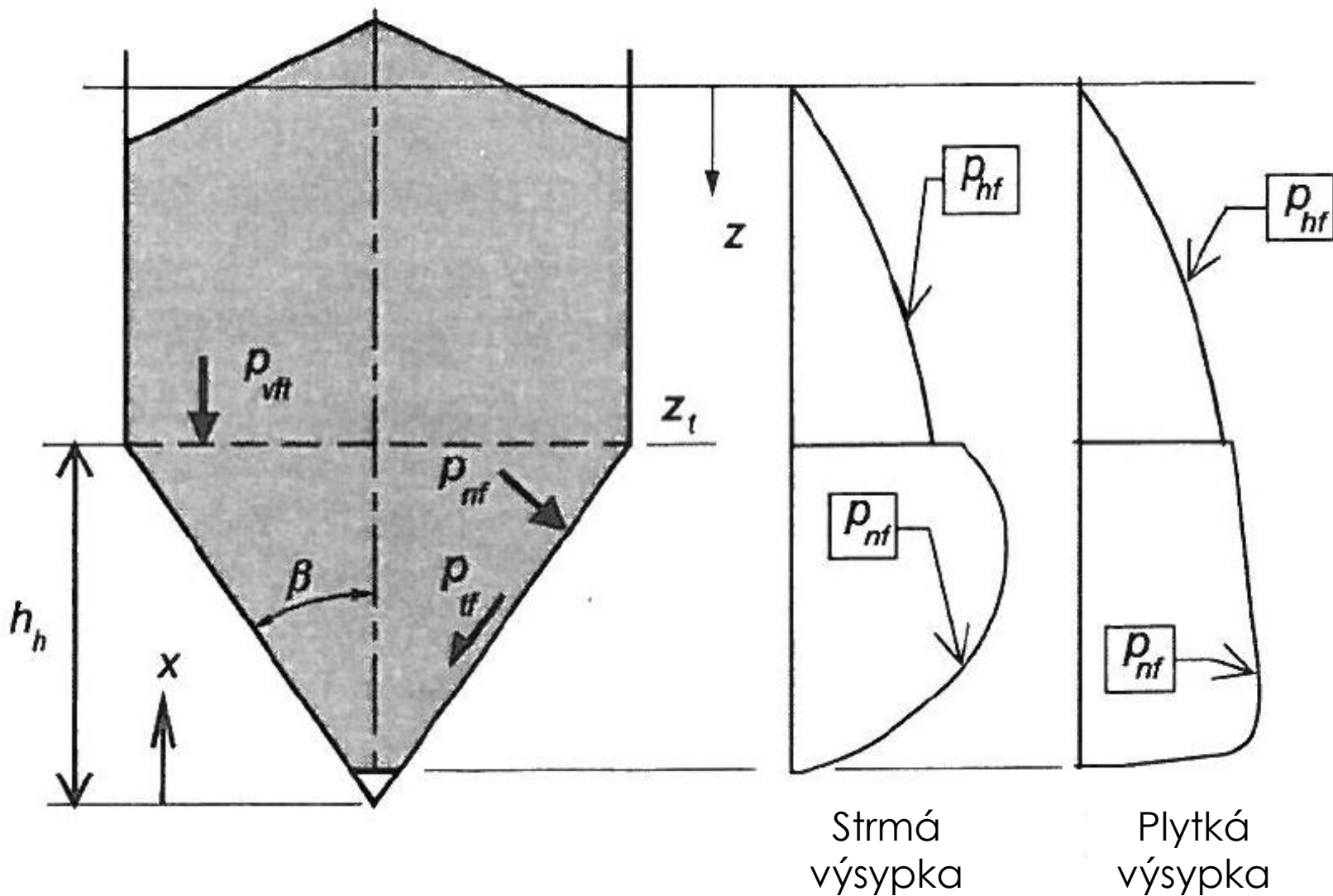
Zaťaženia na výsyvky a na dná síl

Typy spodných častí síl:

- rovné dná (sklon do 5°)
- strmé výsyvky
- plytké výsyvky



Zaťaženia na výsypky – tlaky po naplnení



Zaťaženia na výsypky – tlaky pri vyprázdňovaní

