

ČSN EN 1991-1-4

Zatížení větrem

1. Všeobecně
2. Návrhové situace
3. Modely zatížení větrem
4. **Rychlost a tlak větru**
5. Zatížení větrem
6. Součinitele konstrukce $c_s c_d$
7. **Součinitele tlaků a sil**
8. Zatížení mostů větrem

Informativní přílohy

- A. Vliv terénu
- B. Postup I pro stanovení součinitelů $c_s c_d$
- C. Postup II pro stanovení součinitelů $c_s c_d$
- D. Hodnoty $c_s c_d$ pro různé typy konstrukcí
- E. Oddělování vírů a aeroelastické nestability
- F. Dynamické charakteristiky konstrukcí

Zatížení větrem

ENV 1991-2-4 → EN 1991-1-4 (2005-04)

- konstrukce do výšky 200 m,
- mosty do rozpětí 200 m, pokud splňují kritéria pro dynamickou odezvu

Neplatí např. pro:

- příhradové věže s nerovnoběžnými stěnami;
- kotvené stožáry a komíny;
- kroutivé kmitání (vysoké budovy s centrálním jádrem);
- zavěšené mosty.

Zatížení větrem se klasifikuje jako proměnné pevné zatížení (pokud není stanoveno jinak).

Odezva konstrukce

- „kvazistatická“ (rezonance zanedbatelná, zjednodušená soustava tlaků)
- dynamická
- aeroelastická (poddajné konstrukce - lana, stožáry, komíny a mosty)

Rychlost a tlak větru

Základní rychlost větru

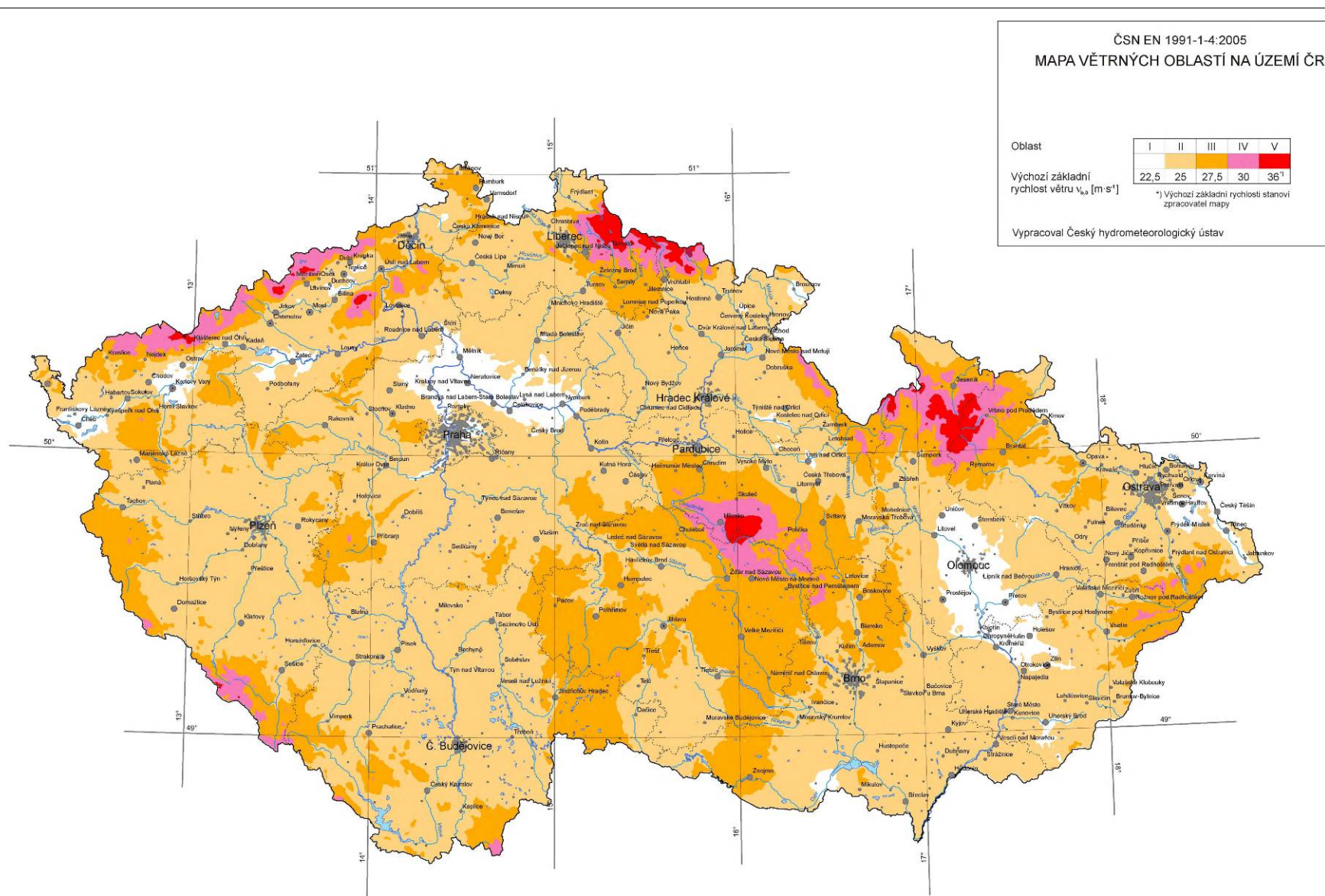
$$V_b = C_{\text{dir}} C_{\text{season}} v_{b,0}$$

$v_{b,0}$ - výchozí základní
rychlost větru

charakteristická
desetiminutová střední
rychlost větru ve výšce 10 m
nad zemí v terénu kategorie II



Mapa větrných oblastí v ČR



Střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b$$

- $c_r(z)$ - součinitel drsnosti

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \text{ pro } z \leq z_{\min} \text{ (tab. 4.1)}$$

součinitel terénu

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

kde z_0 - délka drsnosti

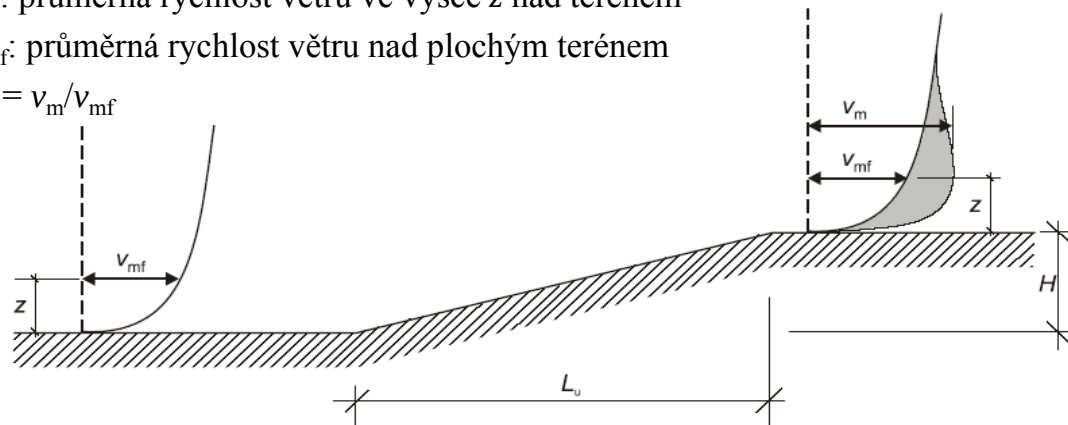
$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

- $c_o(z)$ - součinitel orografie, většinou 1 (viz A.3 – izolované kopce, hřebeny, srázy)

v_m : průměrná rychlost větru ve výšce z nad terénem

v_{mf} : průměrná rychlost větru nad plochým terénem

$$c_0 = v_m / v_{mf}$$



Kategorie terénu

ČSN EN 1991-1-4, tabulka 4.1

Kategorie	Délka drsnosti z_0 [m]	Min. výška $z_{\min}$ [m]
0. Volný prostor bez překážek (moře)	0,003	1
I. Zanedbatelná vegetace nebo jezera	0,01	1
II. Nízká vegetace, izolované překážky	0,05	2
III. Překážky s volným prostorem (vesnice, předměstské oblasti)	0,3	5
IV. Městské oblasti, 15 % s výškou nad 15 m	1,0	10

Maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) q_b$$

součinitel
expozice

$$c_e = \frac{q_p(z)}{q_b}$$

základní tlak větru

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

Vliv turbulencí

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \ln(z / z_0)}$$

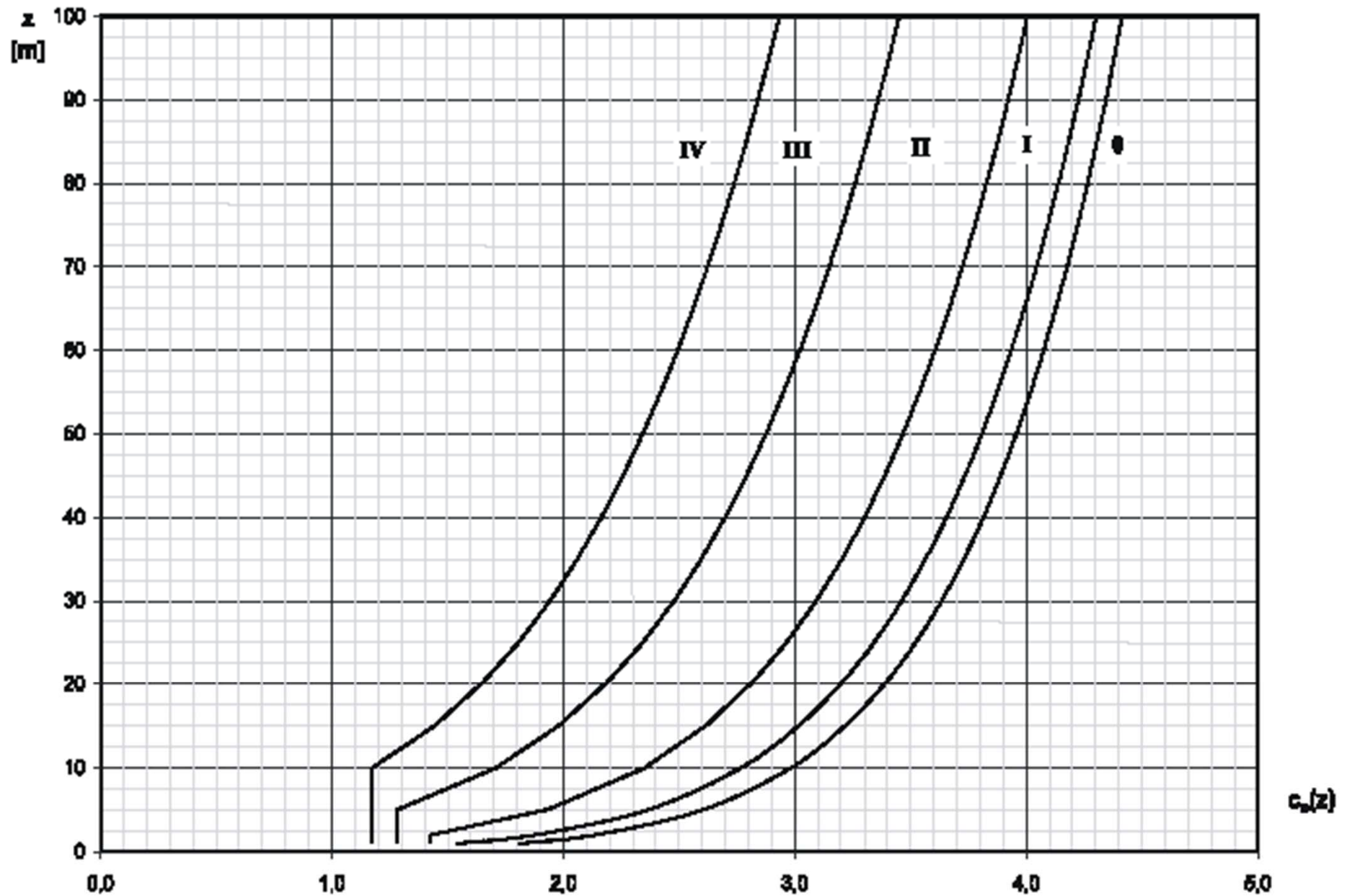
k_I součinitel turbulence $\cong 1$

z_0 délka drsnosti

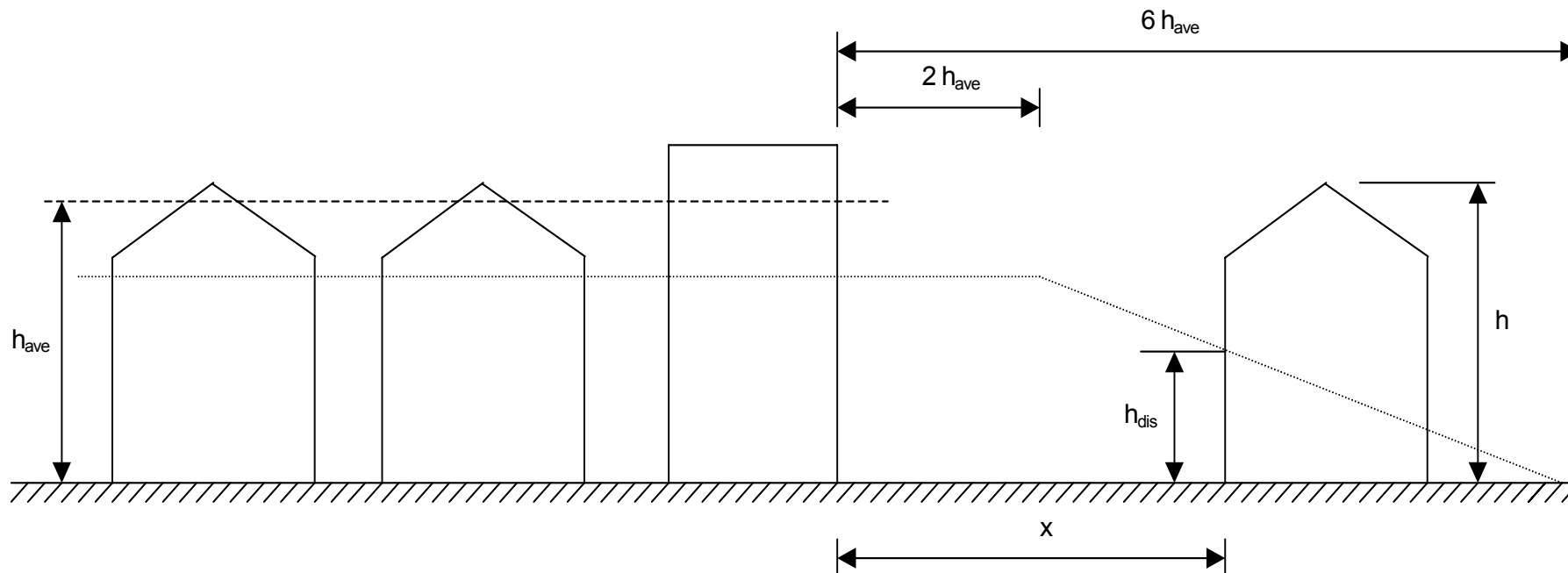
$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

chyba v ČSN – (z)

Součinitel expozice $c_e(z)$ pro $c_0 = 1$ a $k_I = 1$



Vliv výšky překážek (kategorie IV)



h_{ave} - průměrná výška sousedních staveb ($h_{ave} \approx 15$ m pro kategorii terénu IV)

$x \leq 2 \cdot h_{ave}$ h_{dis} (výška posunutí úrovně terénu) menší z hodnot $0,8 \cdot h_{ave}$ nebo $0,6 \cdot h$

$2 \cdot h_{ave} < x < 6 \cdot h_{ave}$ h_{dis} je menší z hodnot $1,2 \cdot h_{ave} - 0,2 \cdot x$ nebo $0,6 \cdot h$

$x \geq 6 \cdot h_{ave}$ $h_{dis} = 0$

„Kvazistatická“ odezva

Tuhé konstrukce s vysokou vlastní frekvencí

- rezonance je podružná
- není třeba přihlížet k dynamickým a aeroelastickým účinkům

Postup výpočtu:

- výpočet maximálního dynamického tlaku
- určení součinitelů tlaků a sil
- výpočet tlaků a sil

Tlaky na povrchy

Tlak větru na vnější povrchy

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

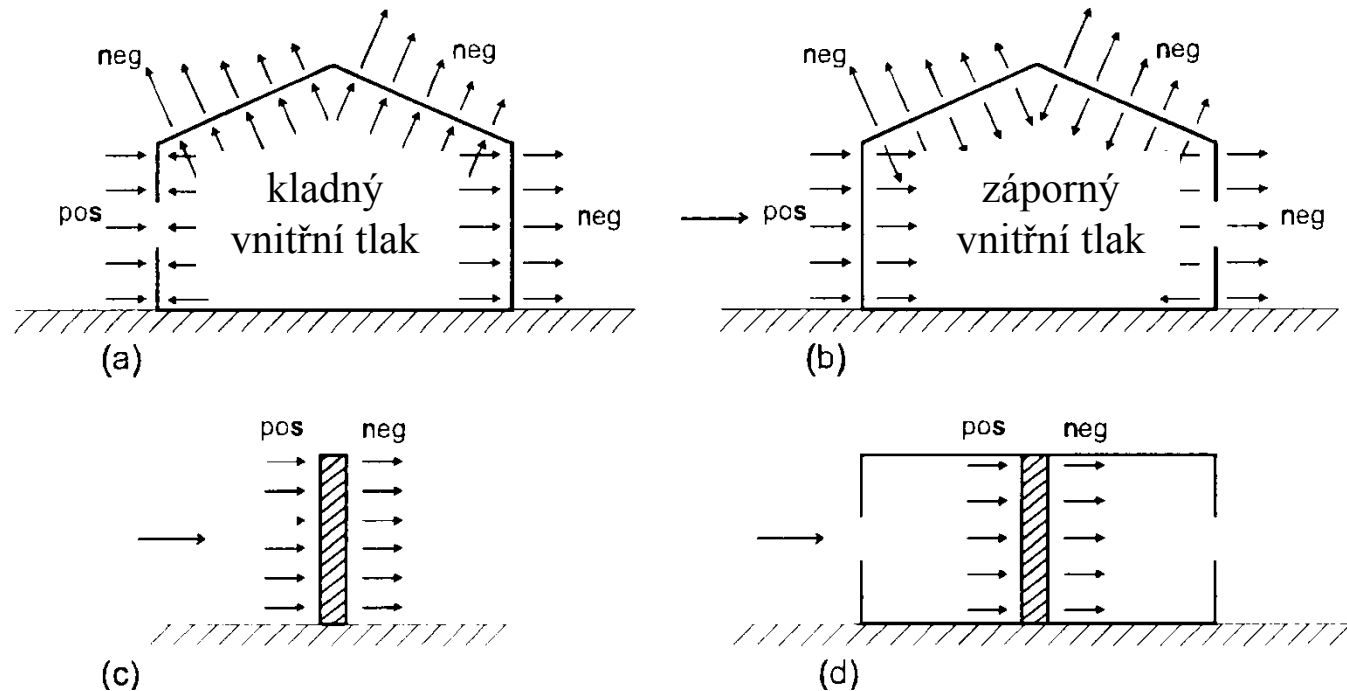
q_p max. dynamický tlak

c_{pe} součinitel vnějšího tlaku

Tlak větru na vnitřní povrchy

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

c_{pi} součinitel vnitřního tlaku



Síly od větru

- Součinitel konstrukce $c_s c_d$ - nesoučasný výskyt maximálních tlaků větru na povrch a účinek kmitání vyvolaného turbulencí
- pozemní stavby s výškou větší než 15 m, rámy vyšší než 100 m, ...

Vnější tlaky

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{povrchy}} w_e \cdot A_{\text{ref}}$$

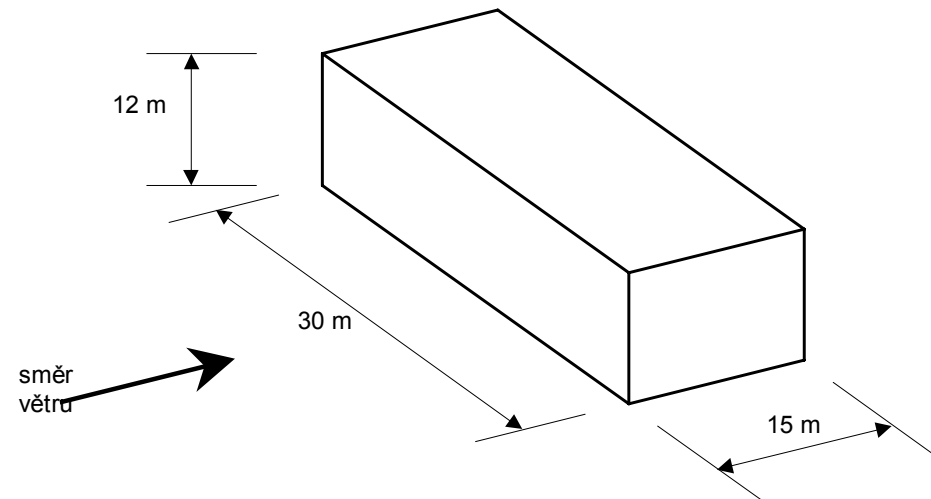
$c_s c_d$ součinitel konstrukce

Vnitřní tlaky

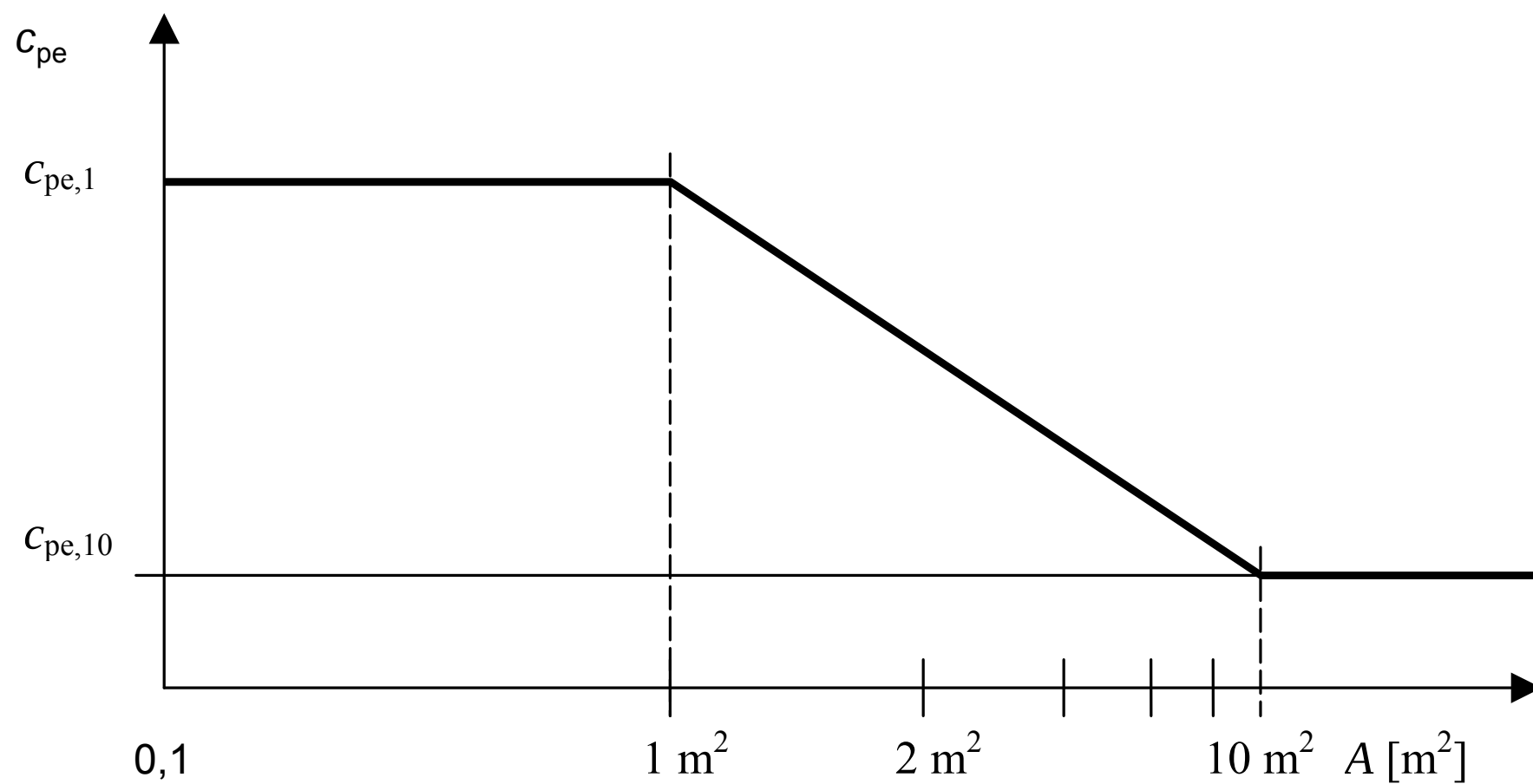
$$F_{w,i} = \sum_{\text{povrchy}} w_i \cdot A_{\text{ref}}$$

Třecí síly

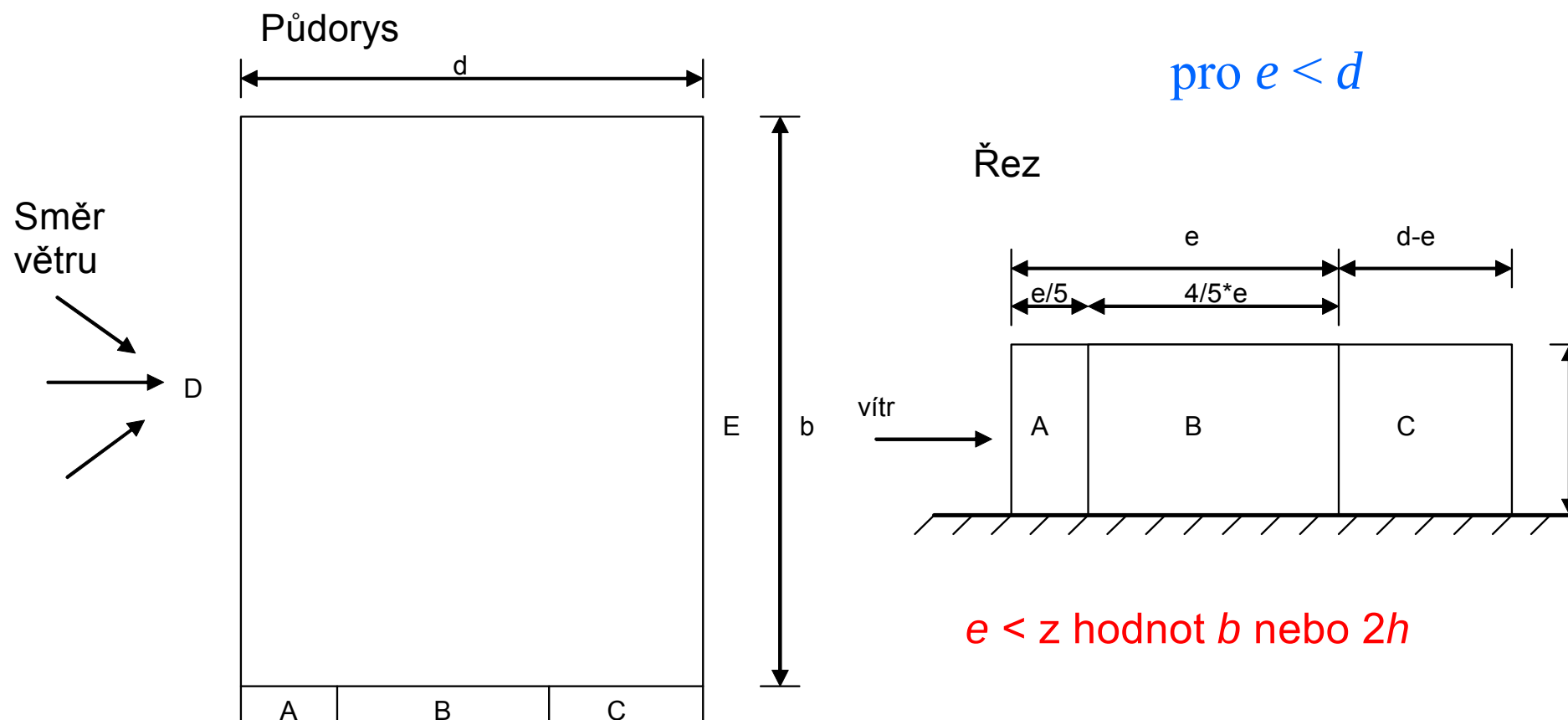
$$F_{\text{fr}} = c_{\text{fr}} \cdot q_p(z_e) \cdot A_f$$



Součinitel vnějšího tlaku c_{pe}

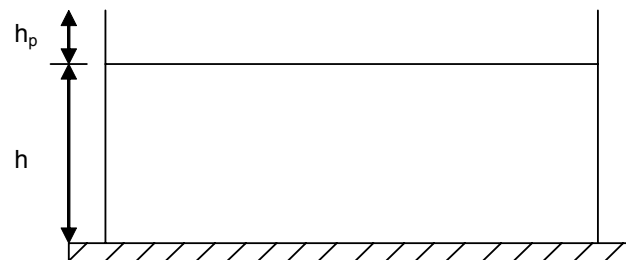


Oblasti pro svislé stěny

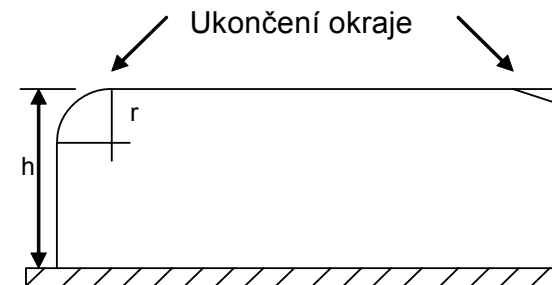


Oblast	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
< 0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

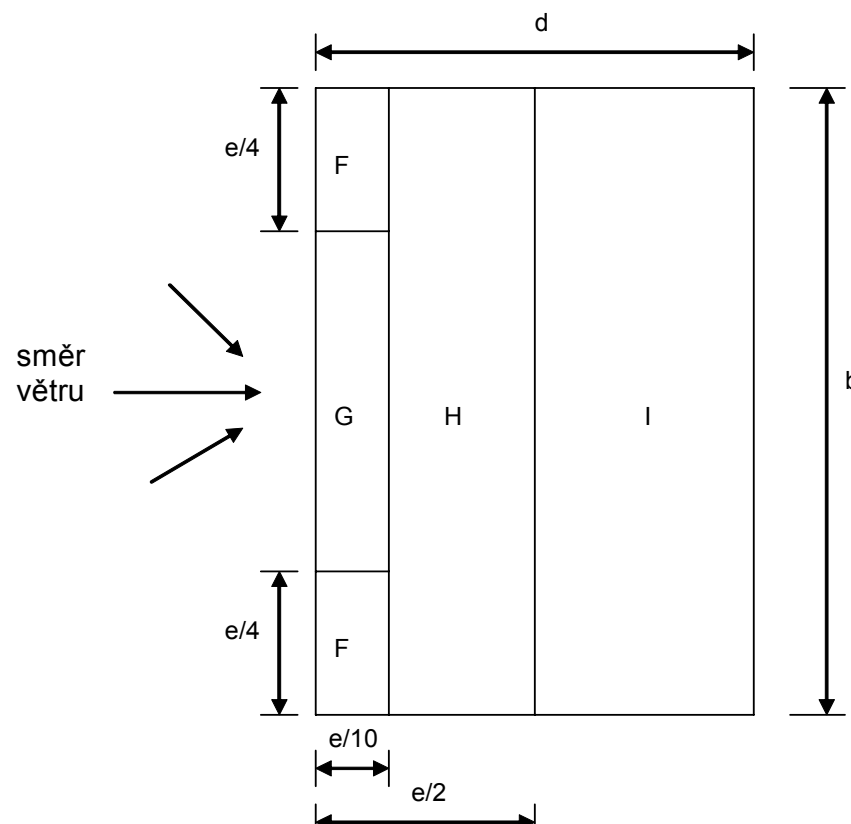
Oblasti pro ploché střechy



Atiky



Zakřivené a mansardové okraje



menší z hodnot
 $e=b$ nebo $2h$

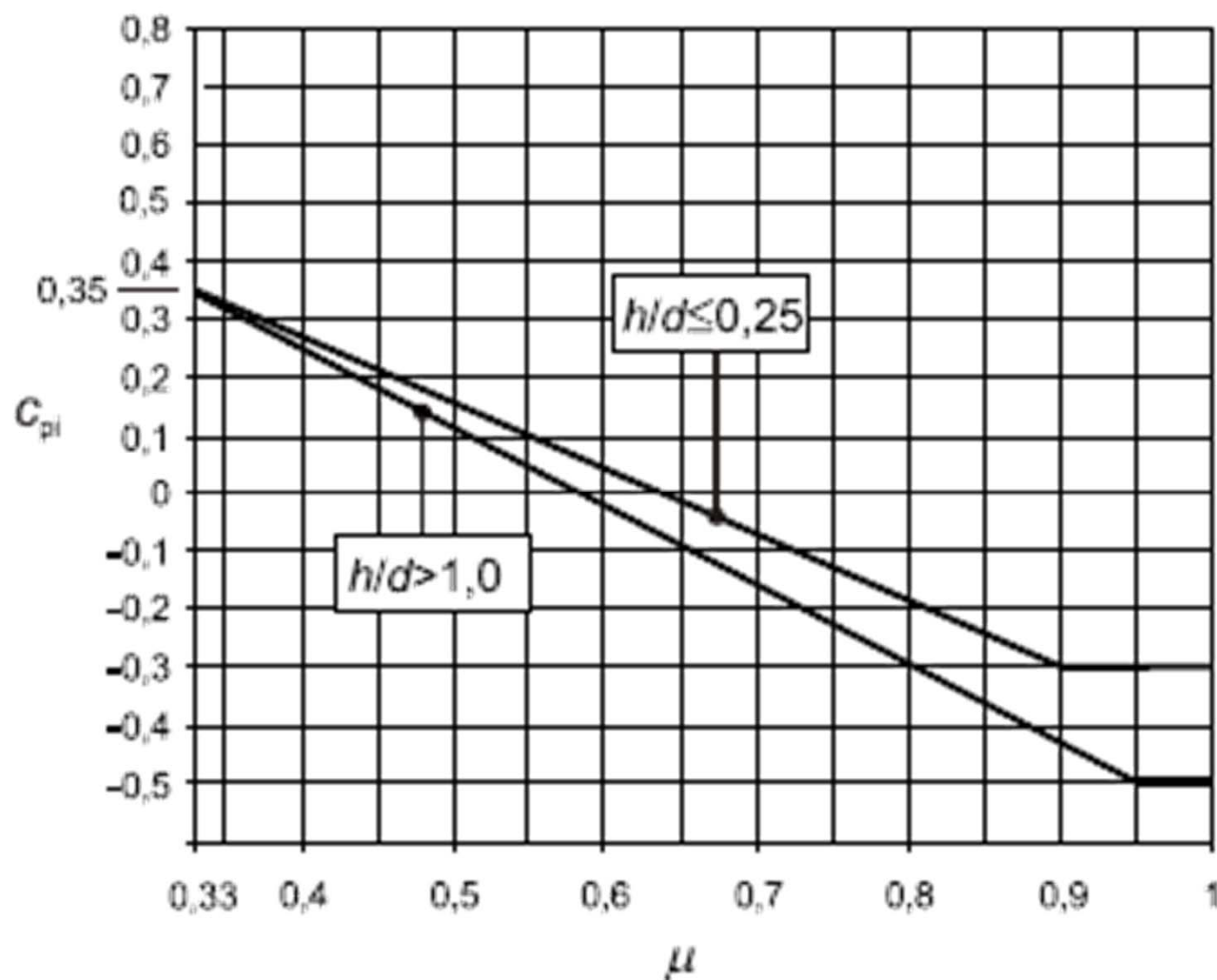
b : šířka kolmo
na směr větru

Součinitel vnitřního tlaku c_{pi}

- vnitřní a vnější tlaky působí současně - nejnepríznivější kombinace
- součinitel vnitřního tlaku závisí na velikosti a rozdělení otvorů na plášti budov
- rozhodující fasáda - plocha otvorů na této stěně je nejméně dvakrát větší než plocha otvorů na zbývajících fasádách
 - dvakrát větší: $c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe}$
 - třikrát větší: $c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe}$

Bez rozhodující fasády

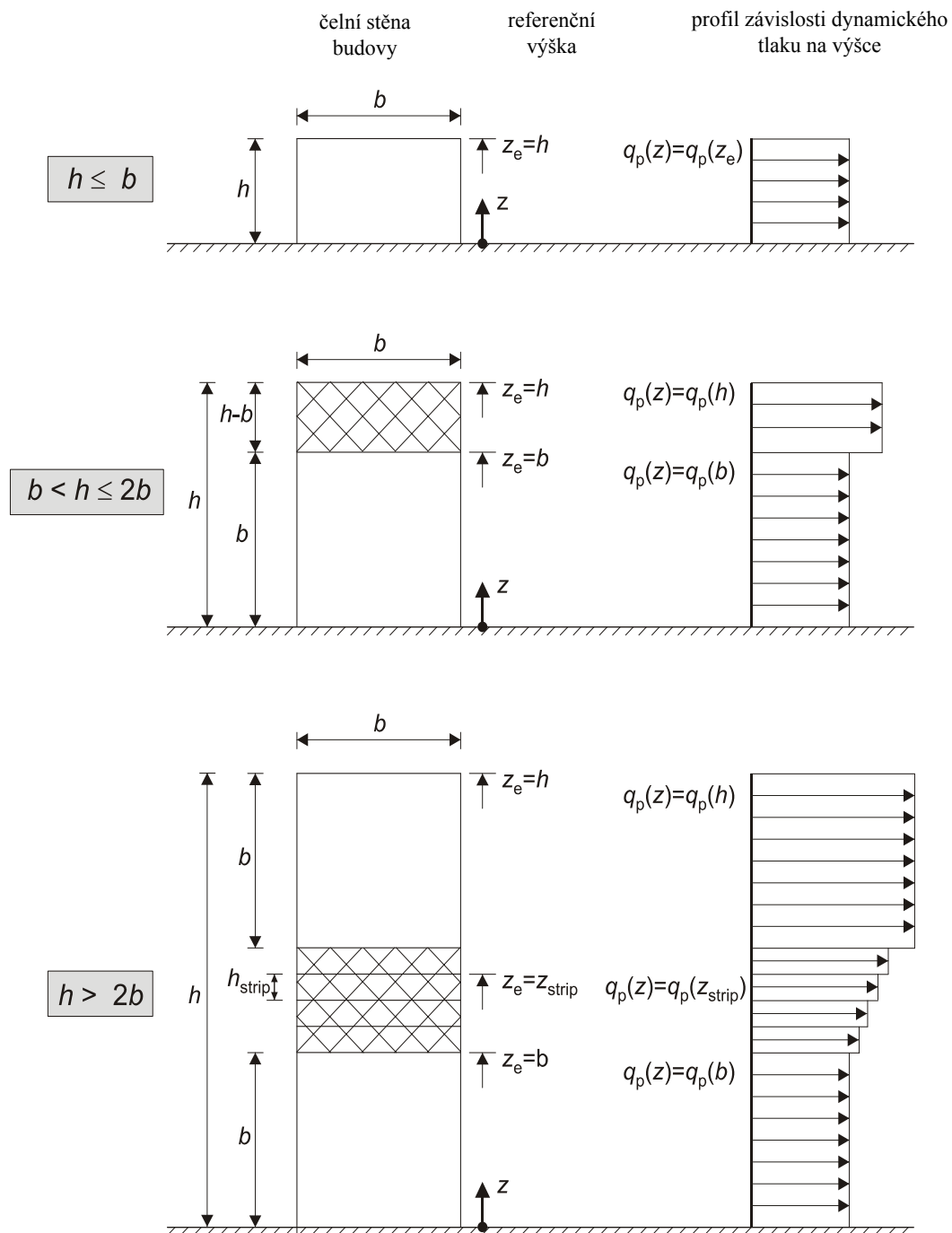
$$\mu = \frac{\sum \text{ploch otvorů kde je } c_{pe} \text{ je záporné nebo } -0,0}{\sum \text{ploch všech otvorů}}$$



- odhad μ není možný
→ c_{pi} méně výhodné
z hodnot +0,2 a -0,3

Referenční výška

- na fasádách, které svými otvory přispívají ke vzniku vnitřního tlaku, je referenční výška stejná pro vnitřní a vnější tlaky



Příklad výpočtu zatížení větrem

výška: $h = 10 \text{ m}$,
rovinatý terén: $c_0 = 1,0$,
kategorie terénu III: $z_0 = 0,3 \text{ m}$, $z_{\min} = 5 \text{ m}$

$$k_r = 0,19 (z_0 / z_{0,II})^{0,07} = 0,19 (0,3/0,05)^{0,07} = 0,22 \quad \text{součinitel terénu}$$

$$V_b = C_{\text{dir}} C_{\text{season}} V_{b,0} = 25 \text{ m/s} \quad \text{základní rychlost větru}$$

$$c_r(z = 10 \text{ m}) = k_r \ln(z / z_0) = 0,22 \times \ln(10 / 0,3) = 0,76 \quad \text{součinitel drsnosti terénu}$$

$$v_m(z = 10 \text{ m}) = c_r(z) c_0(z) v_b = 19 \text{ m/s} \quad \text{střední rychlost větru}$$

Vliv turbulencí

$$I_v(z = 10 \text{ m}) = \frac{k_I}{c_0(z) \ln(z / z_0)} = \frac{1}{1 \cdot \ln(10/0,3)} = 0,285$$

$$c_e(z) = [1 + 7I_v(z)] \left(\frac{v_m(z)}{v_b} \right)^2 = [1 + 7 \times 0,285] \left(\frac{19}{25} \right)^2 = 1,73 \quad \text{součinitel expozice –}$$

možno odečíst z grafu

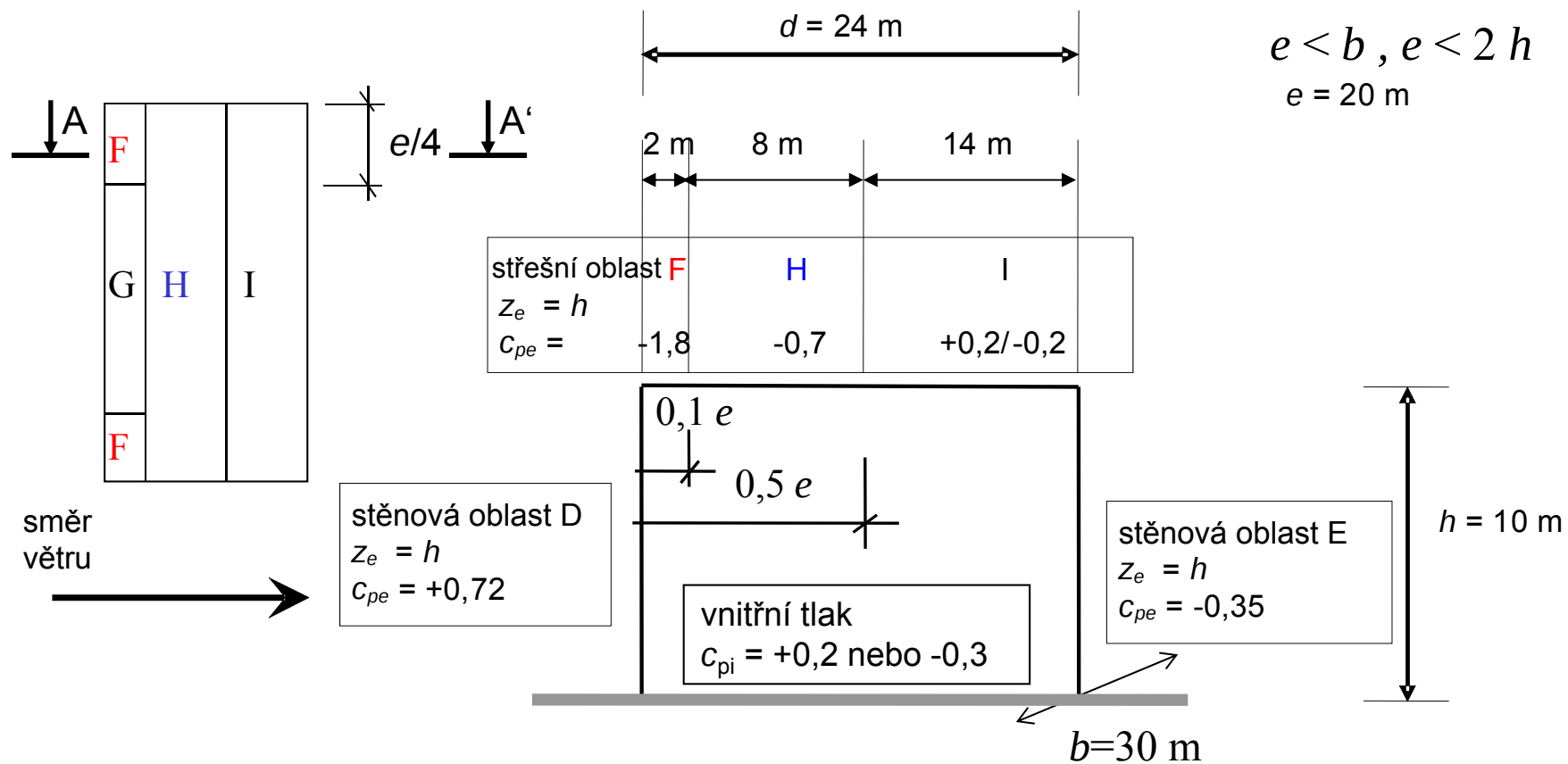
$$q_b = 0,5 \rho v_b^2 = 0,5 \times 1,25 \times 25^2 = 391 \text{ N/m}^2$$

základní dyn. tlak od větru

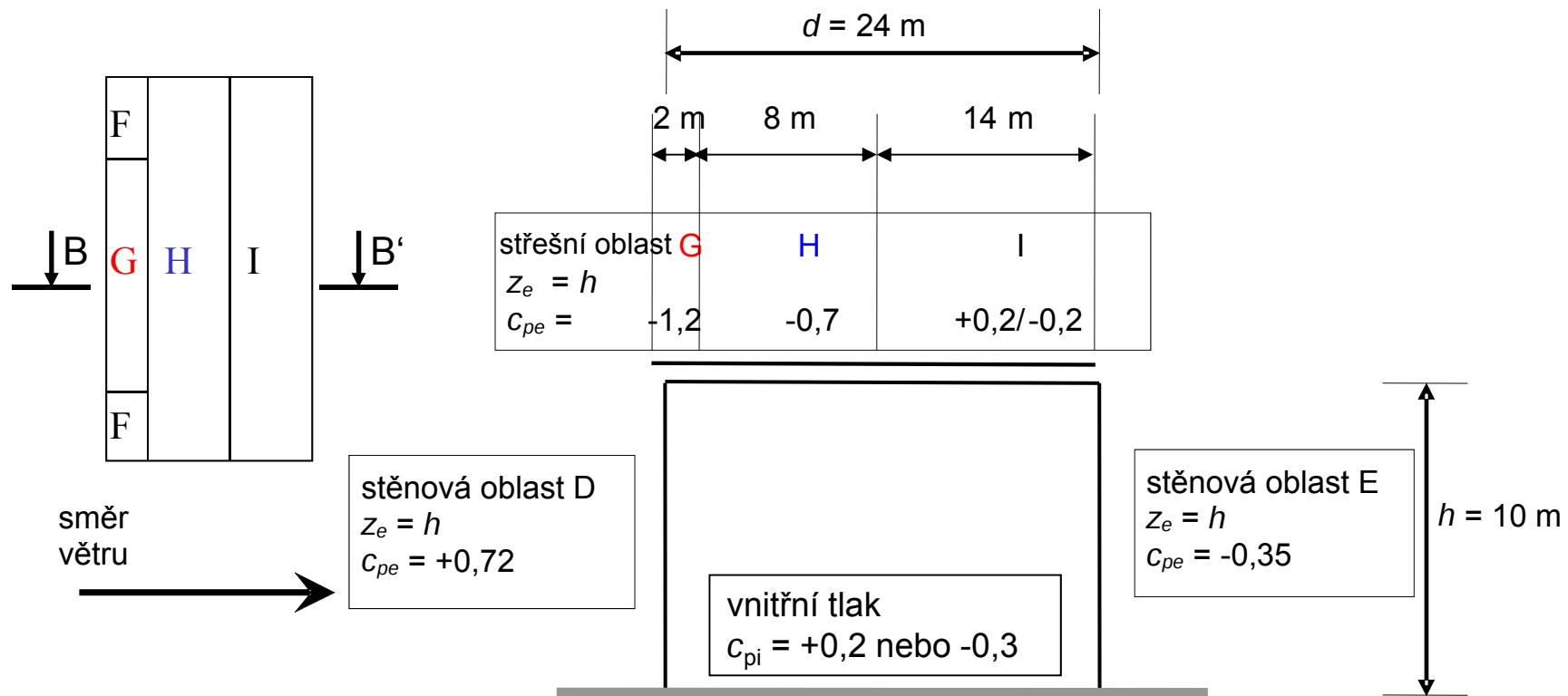
$$q_p(z) = c_e(z) q_b = 1,73 \times 390,63 = 676 \text{ N/m}^2$$

max. dyn. tlak od větru

Řez ve vzdálenosti $< e/4 = 5 \text{ m}$

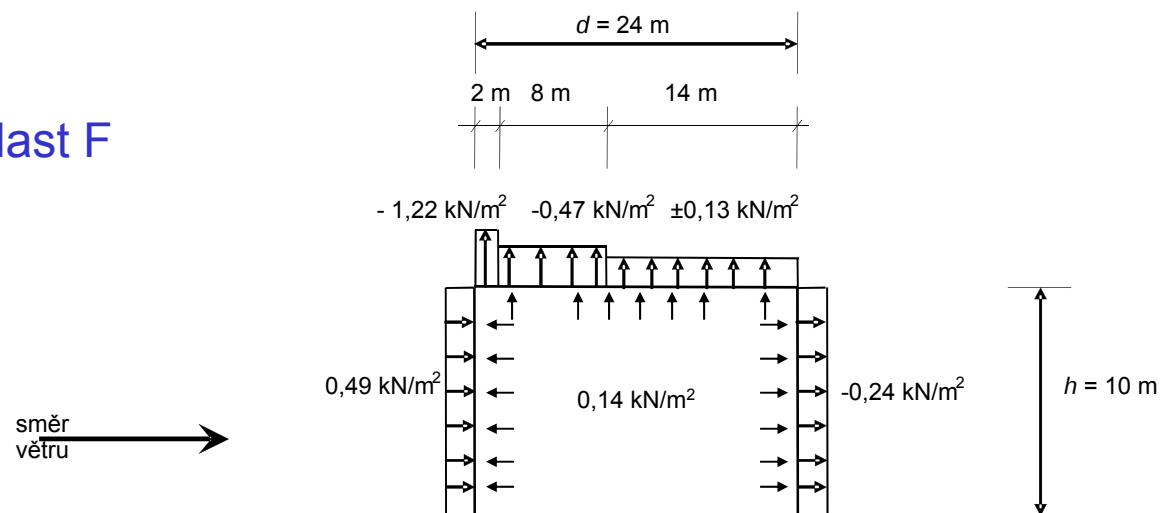


Řez ve vzdálenosti $> e/4 = 5 \text{ m}$

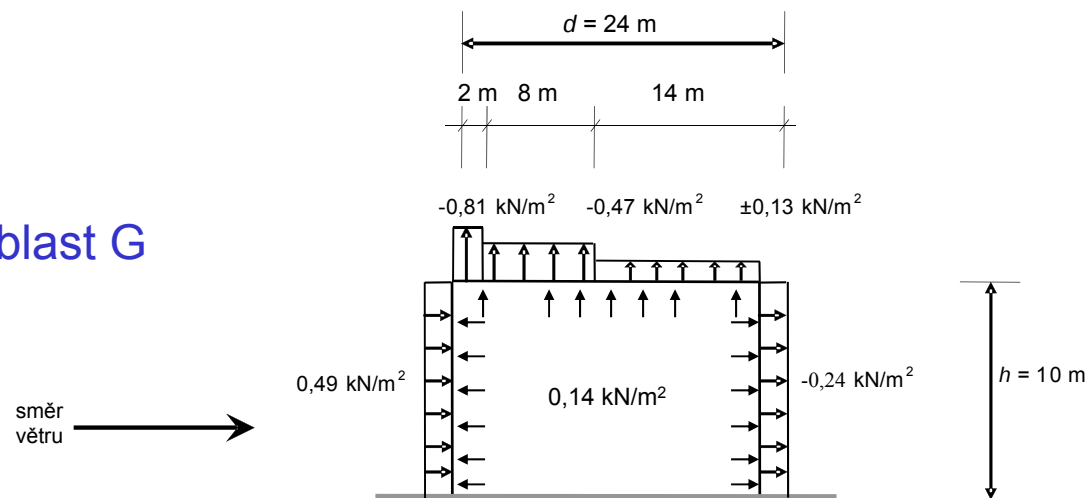


Výsledné rozložení zatížení vnější tlak + vnitřní přetlak

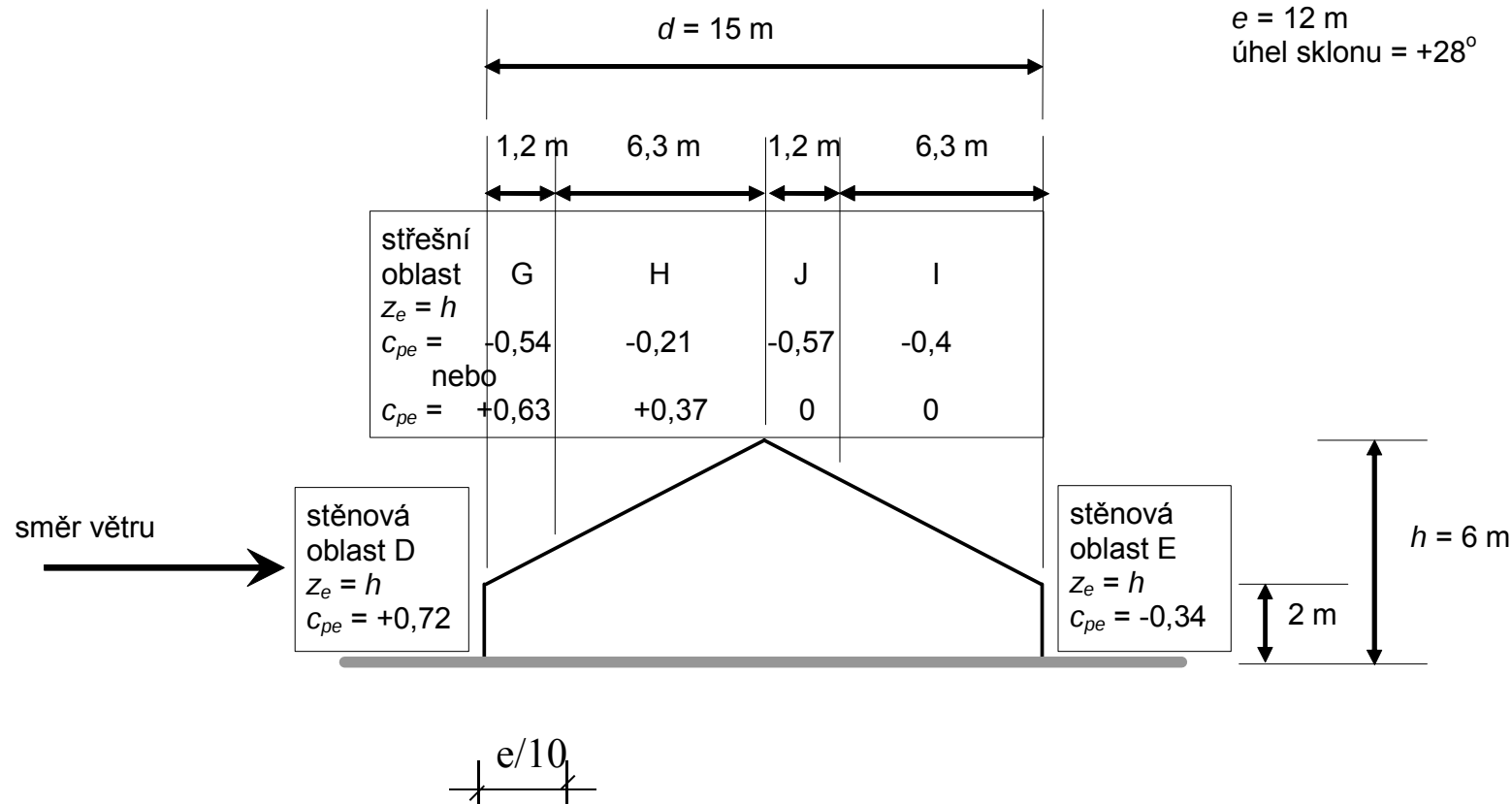
Oblast F



Oblast G

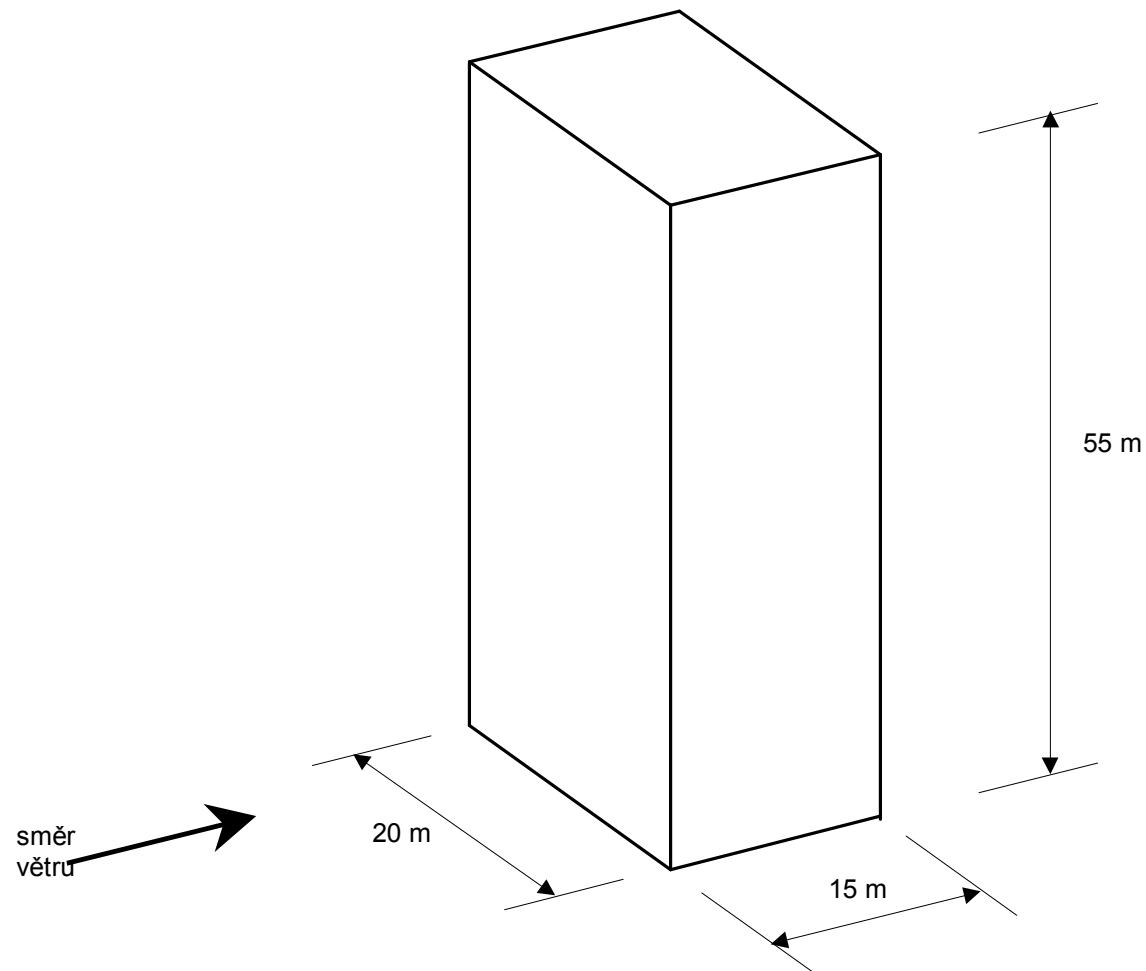


Sedlová střecha

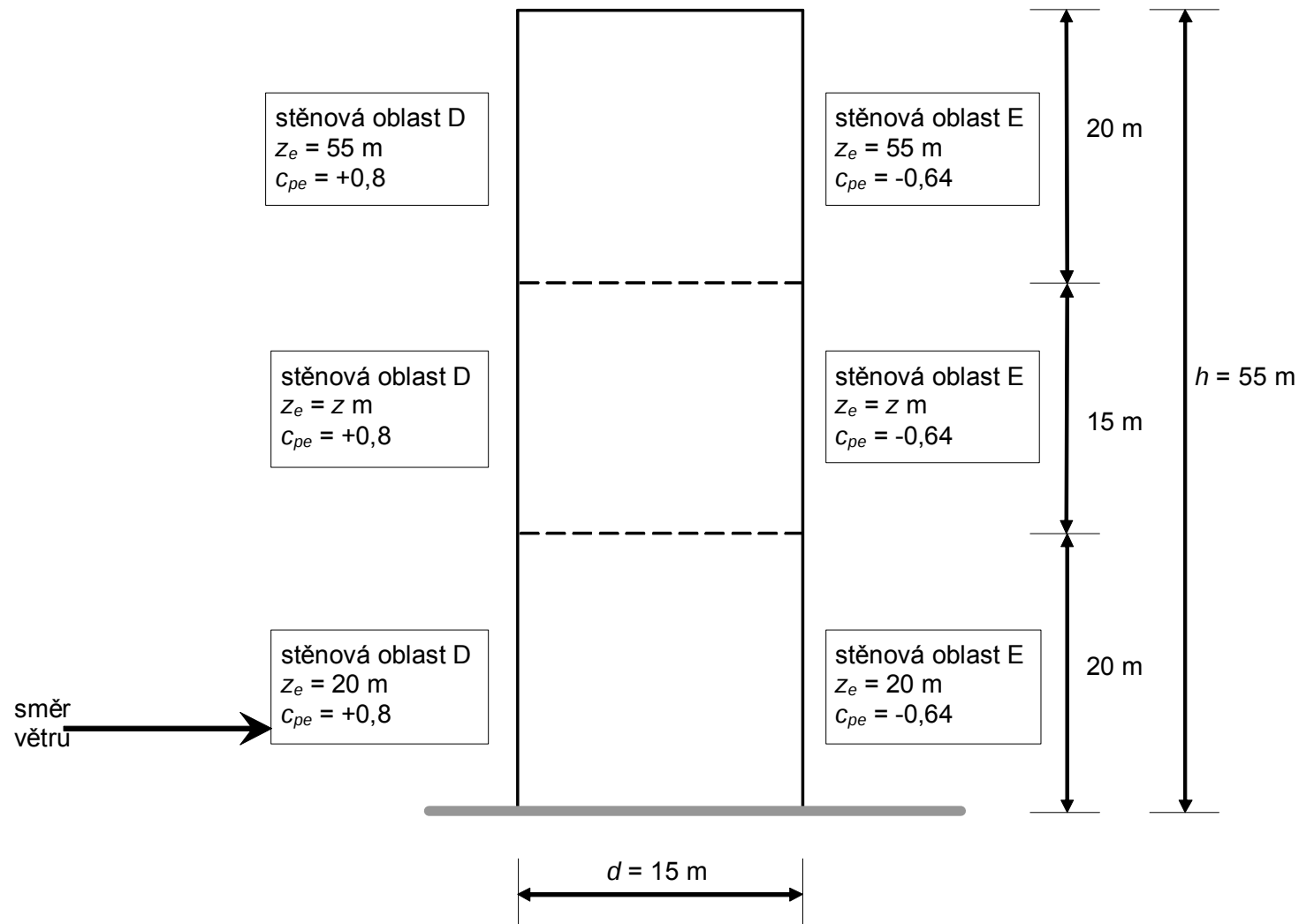


- na střeše čtyři kombinace (největší a nejmenší hodnoty z G a H s největšími a nejmenšími hodnotami I a J)
- na stejné straně se nekombinují kladné a záporné hodnoty

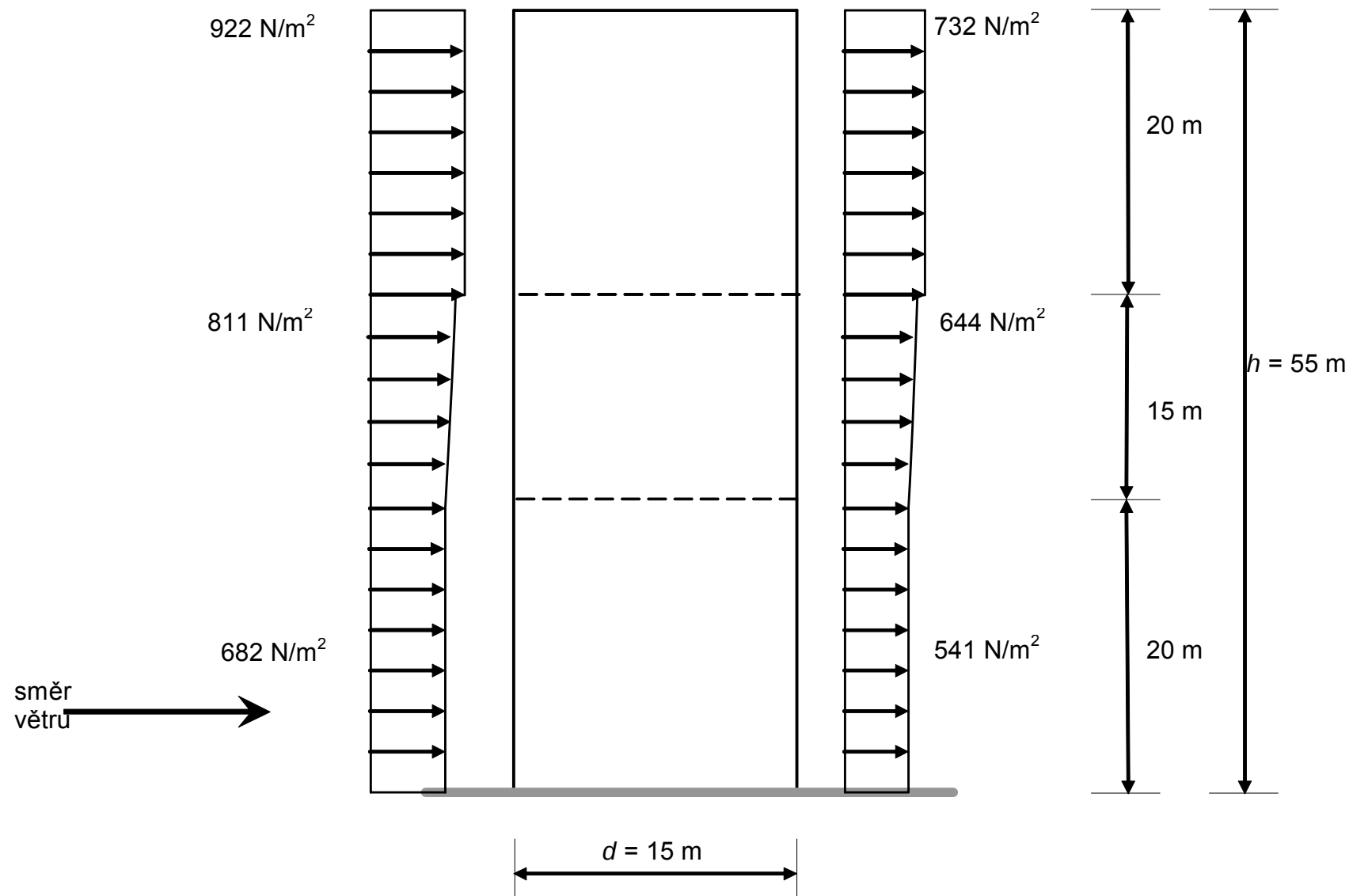
Výšková budova



Výšková budova



Rozložení tlaků



Skleněný panel výškové budovy

- zatížená plocha 3 m²

Vnější tlaky

$$w_e = q_p(z_e) c_{pe} \quad z_e = h = 55 \text{ m}$$

$$c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \log(A) \\ = 1 + (0,8 - 1) \log(3) = 0,9$$

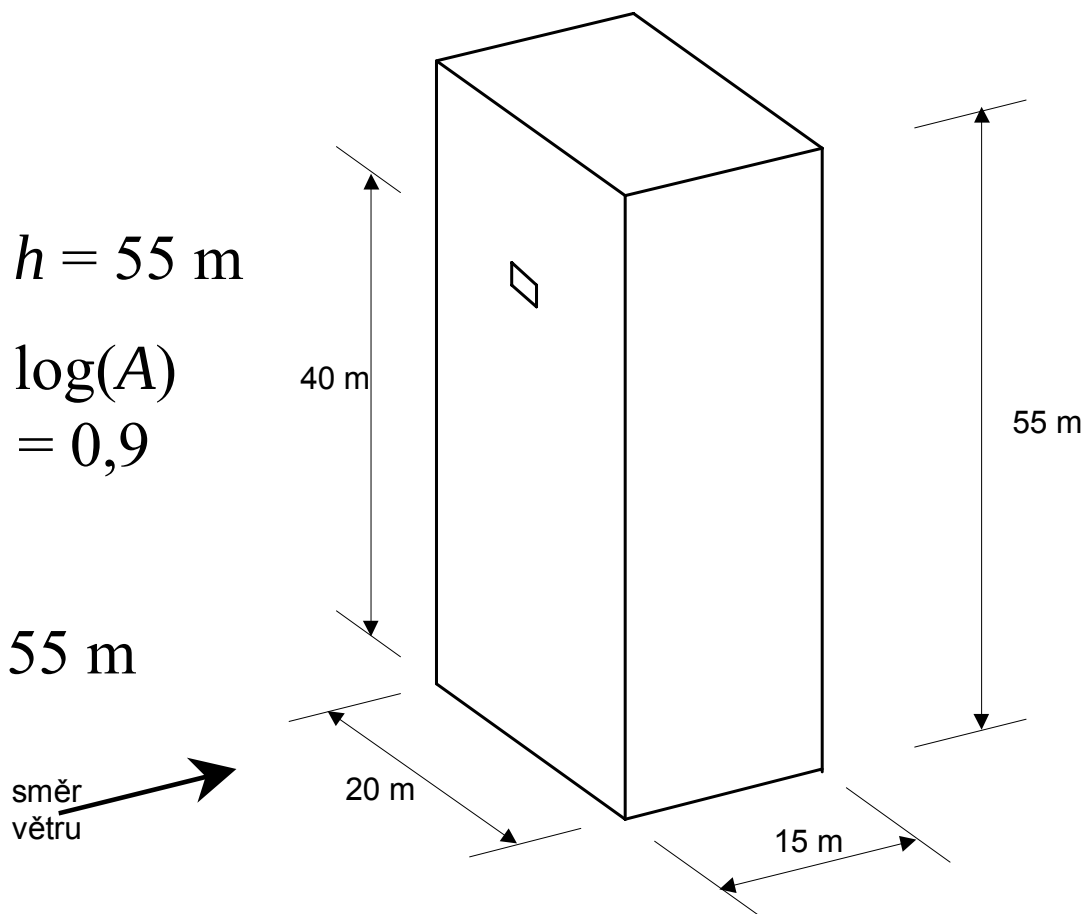
Vnitřní tlaky

$$w_i = q_p(z_i) c_{pi} \quad z_i = 55 \text{ m}$$

$$c_{pi} = +0,2 \text{ nebo } -0,3$$

Výsledný tlak

$$w = q_p(z_e) c_{pe} - q_p(z_i) c_{pi}$$



Závěrečné poznámky

- ČSN EN 1991-1-4 obsahuje přes 50 národně stanovených parametrů, ve kterých bylo potřebné rozhodnout o alternativních postupech a numerických hodnotách.
- NA uvádí novou mapu rychlostí větru s oblastmi větru od 22,5 do 36 m/s.
- Návrhové hodnoty zatížení větrem podle Eurokódů jsou v řadě případů vyšší než podle původních ČSN (přibližně o 50-100 % pro běžné budovy).
- Byla vydána příručka pro stanovení zatížení větrem.

Dotazy na zatížení větrem

80 % kvalifikované dotazy – dobrá znalost normy

10 % dotazů – získání dalších podkladů

10 % dotazů – malá znalost normy

Kvalifikované dotazy

40 % – zájem o ověření zatížení, které je nyní vyšší

30 % – vysvětlení některých nových ustanovení normy

15 % – „alibistické pokusy“ o odsouhlasení nižšího zatížení

15 % – žádosti o numerickou kontrolu výpočtu pro konkrétní projekt

Stanovení tlaku větru na atiku haly podle ČSN a EN 1991-1-4

hala, místo 12 m nad terénem

ČSN 73 0035

III. oblast, zákl. tlak větru w_0

$$w_0 = 0,45 \text{ kN/m}^2$$

$$w_n = w_0 \kappa_w C_w$$

$$\kappa_w = \left(\frac{z}{10}\right)^{0,26} = 1,05$$

tvárový součinitel $C_l = 2,0$

$$w_n = w_0 \kappa_w C_l = 0,45 \times 1,05 \times 2 = 0,945 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma_f = 1,2$$

$$w_d = \gamma_f w_n = 1,2 \times 0,945 = 1,13 \text{ kN/m}^2$$

ČSN EN 1991-1-4

II. kategorie terénu

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

$$q_p(12 \text{ m}) = [1 + 7I_v(z)] 0,5 \rho v_m^2(z) =$$

$$= [1 + 7 \times 0,182] \times 0,5 \times 1,25 \times 26,025^2 = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

oblasti A až D, $c_{pe} = 2,1$ až $1,2$

$$w_{pe} = q_p c_{pe} = 0,96 \times 2,1 = 2,02 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

$$w_{pe,d} = \gamma_Q w_{pe} = 1,5 \times 2,02 = 3,03 \text{ kN/m}^2$$