

# 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

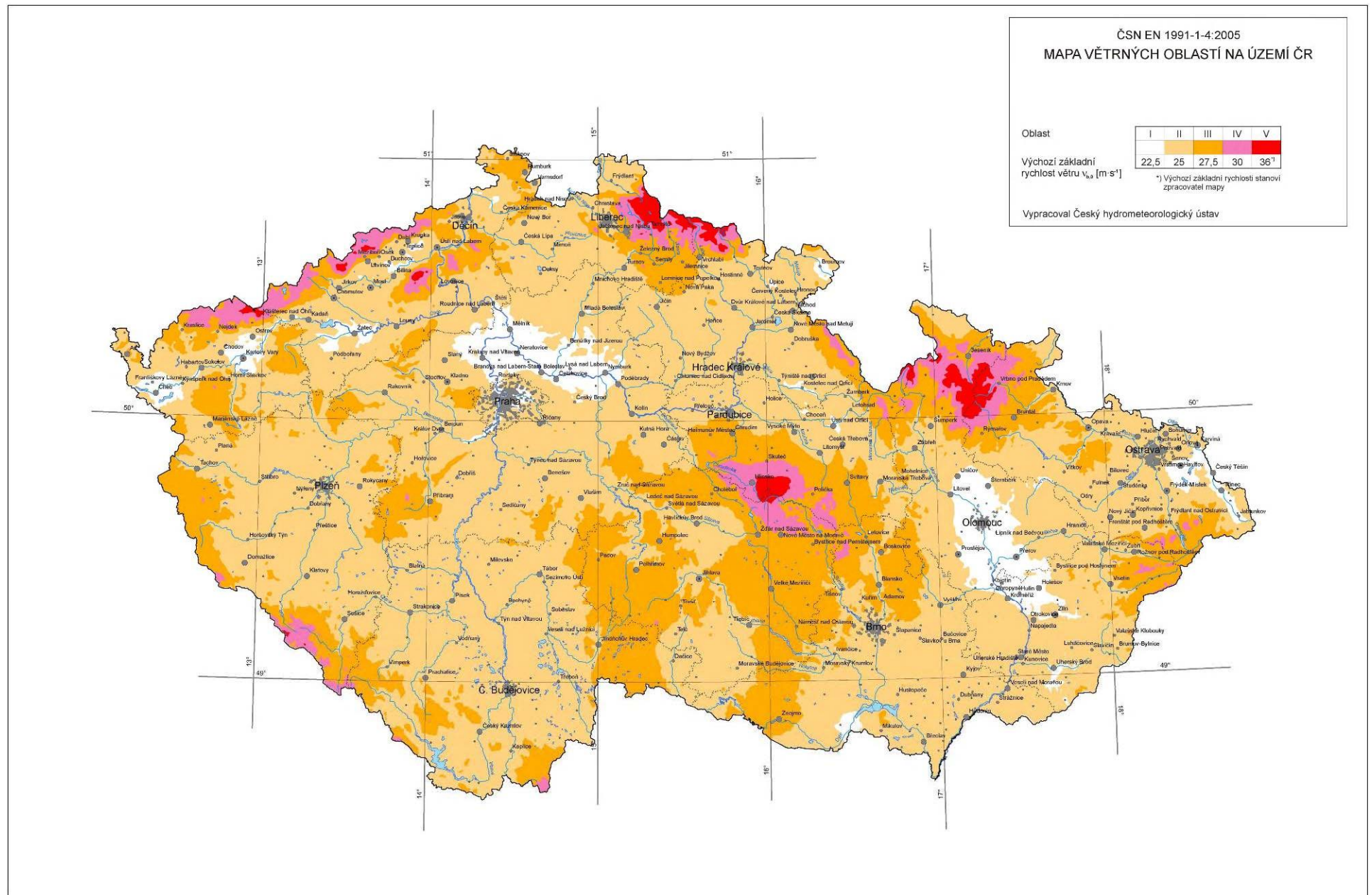
$$v_b = c_{\text{dir}} c_{\text{season}} v_{b,0}$$

$v_{b,0}$  - 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

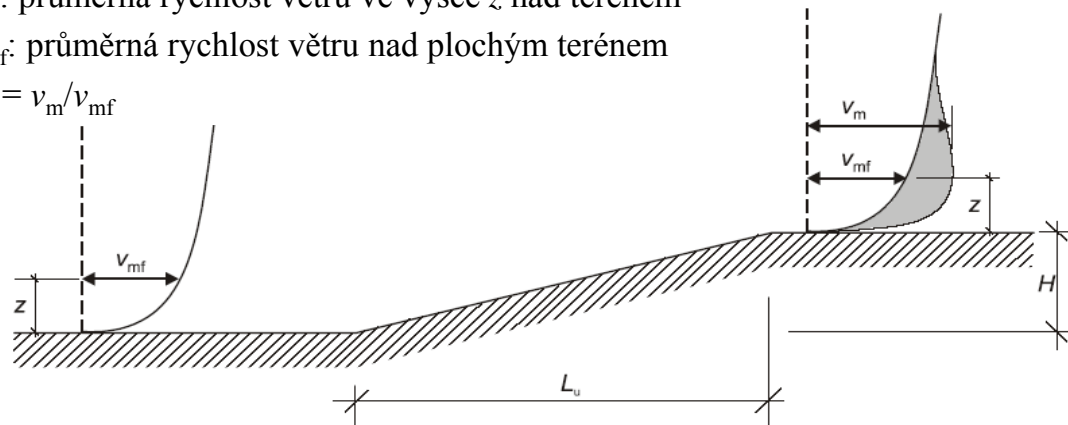
$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

- $c_o(z)$  - 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

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



# 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

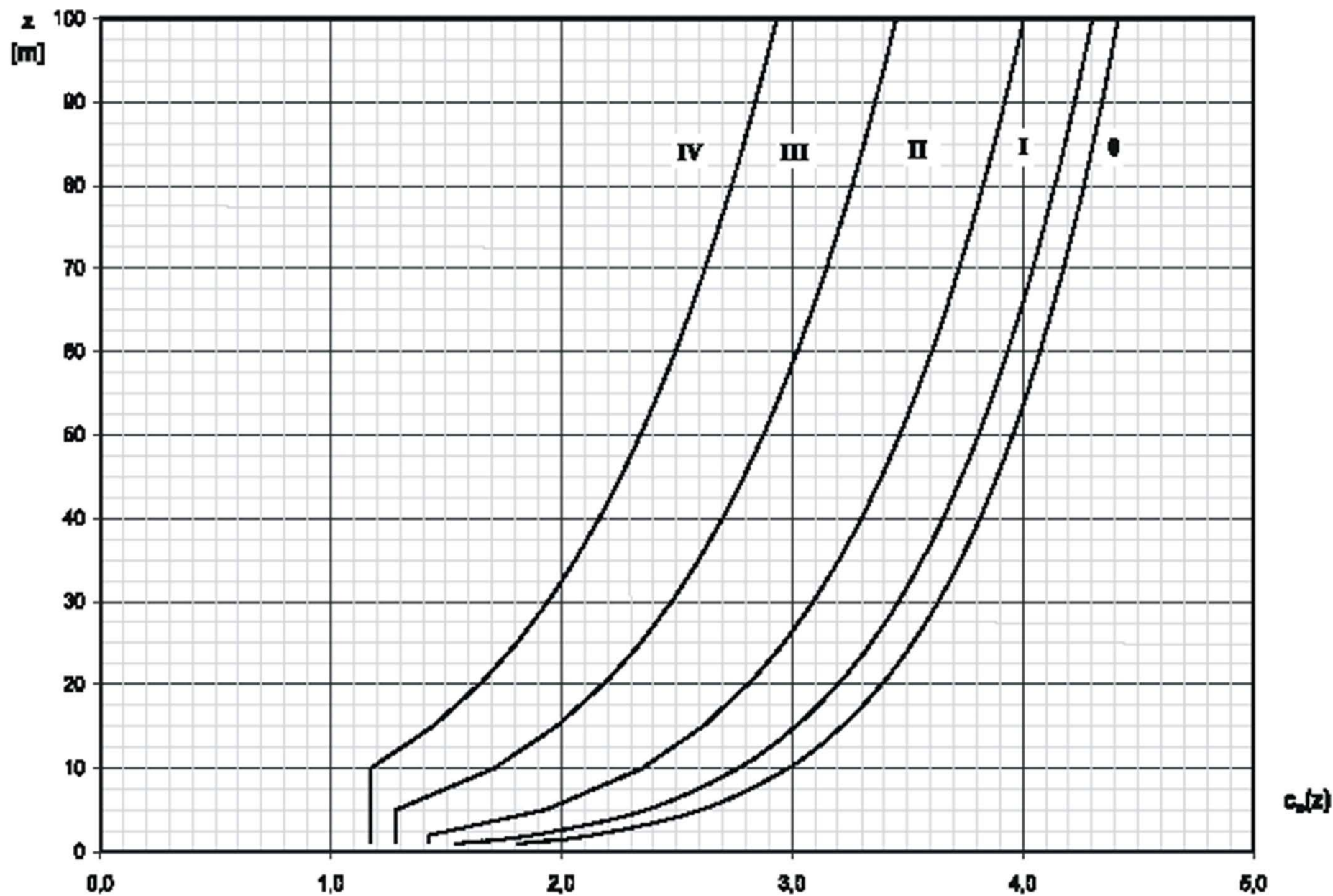
$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \ln(z/z_0)}$$

$k_I$  součinitel turbulence  $\cong 1$

$z_0$  délka drsnosti

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

# Součinitel expozice $c_e(z)$ pro $c_0 = 1$ a $k_1 = 1$





# „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

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

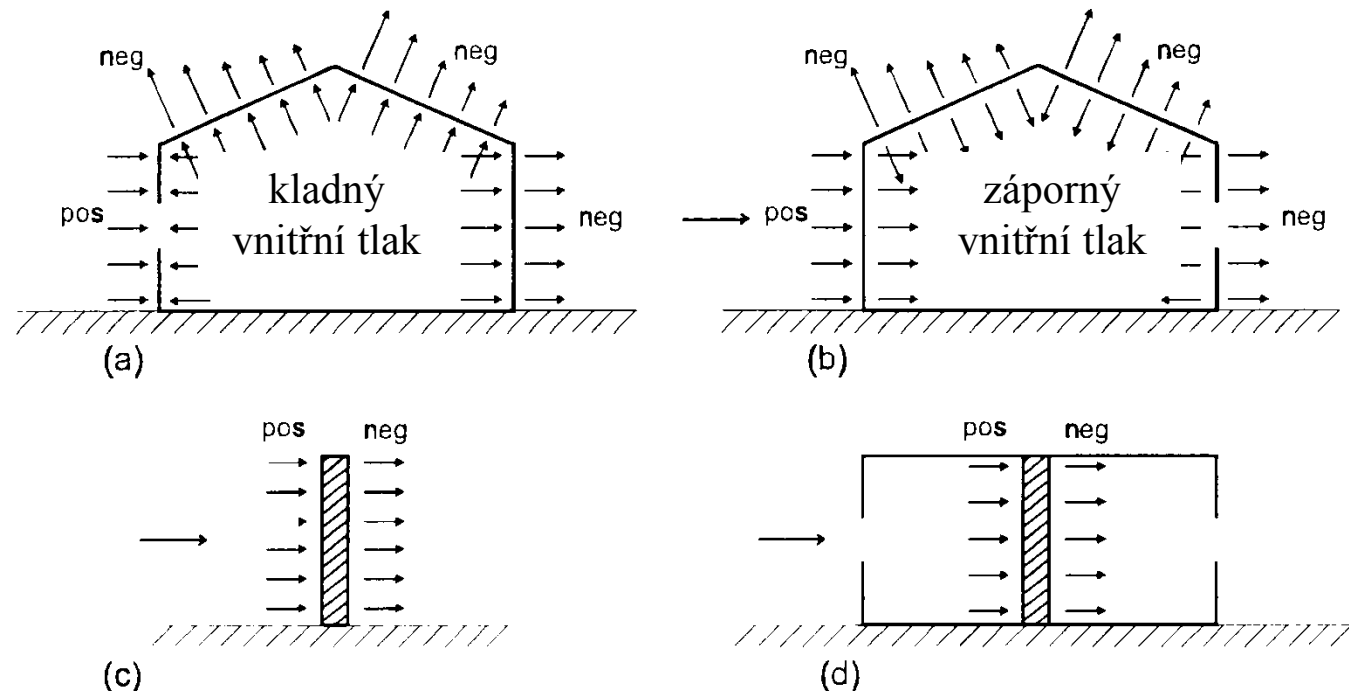
$q_p$  max. dynamický tlak

$c_{pe}$  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

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

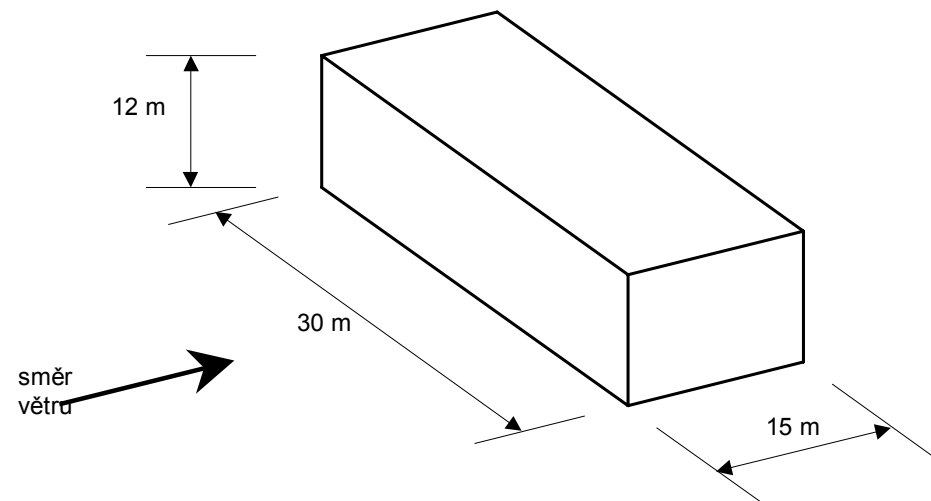
$c_s c_d$  součinitel konstrukce

## Vnitřní tlaky

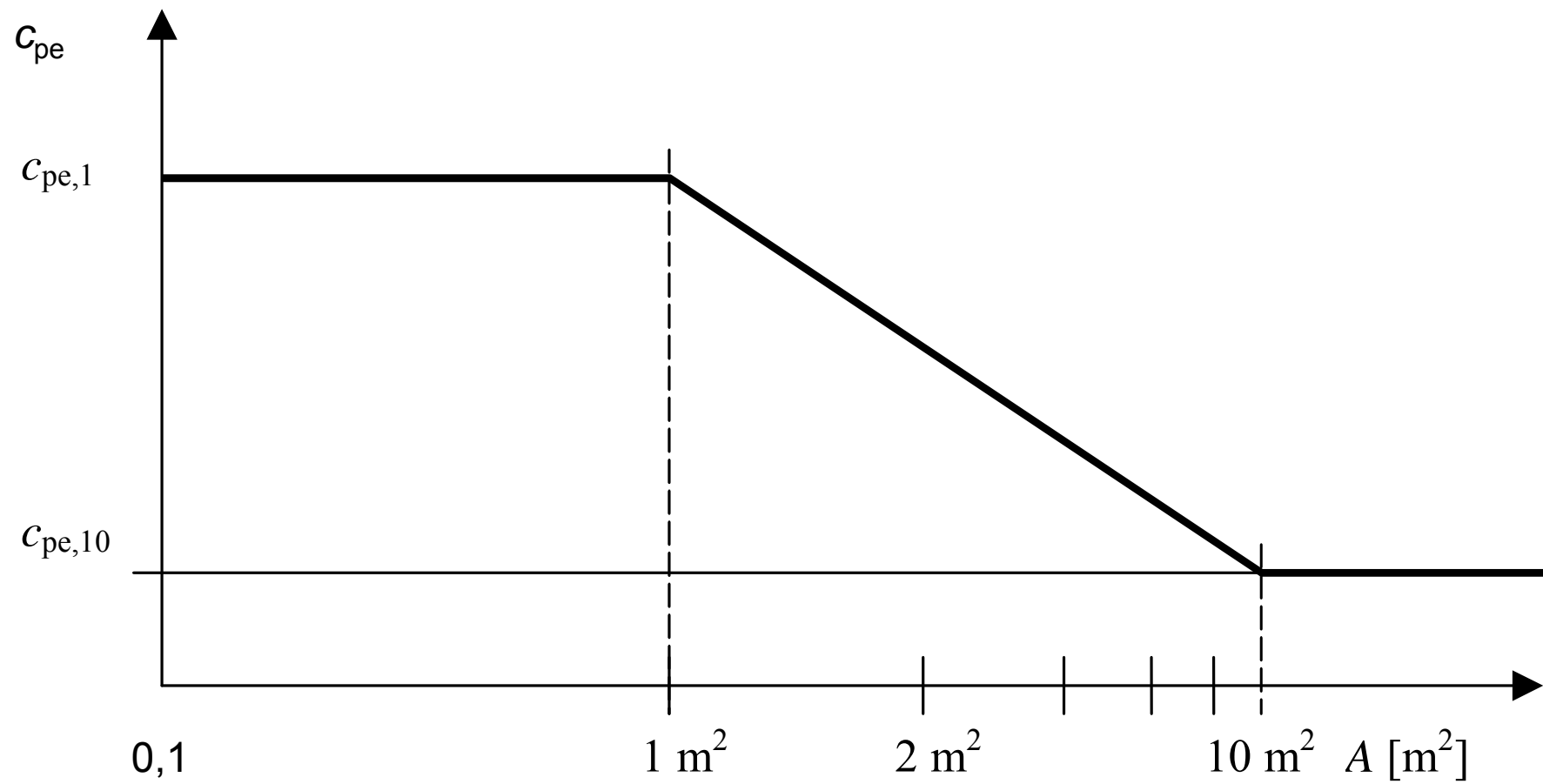
$$F_{w,i} = \sum_{\text{povrchy}} w_i \cdot A_{\text{ref}}$$

## Třecí síly

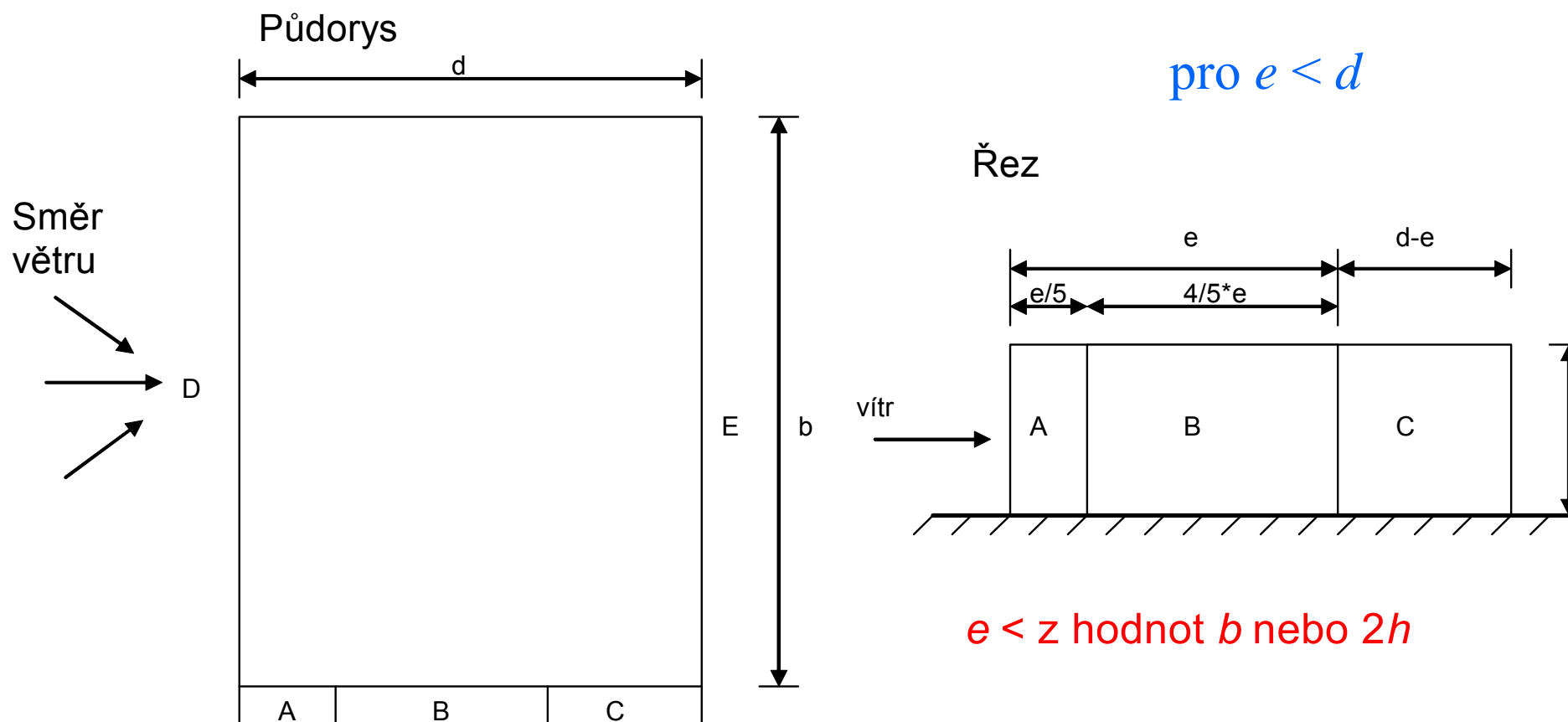
$$F_{\text{fr}} = c_{\text{fr}} \cdot q_p(z_e) \cdot A_f$$



# Součinitel vnějšího tlaku $c_{pe}$

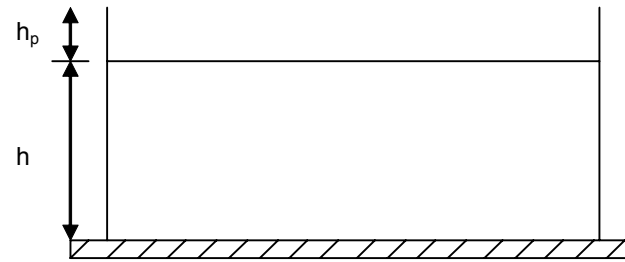


# Oblasti pro svislé stěny

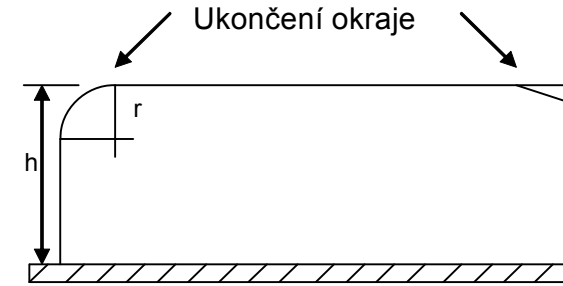


Oblast	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
< 0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

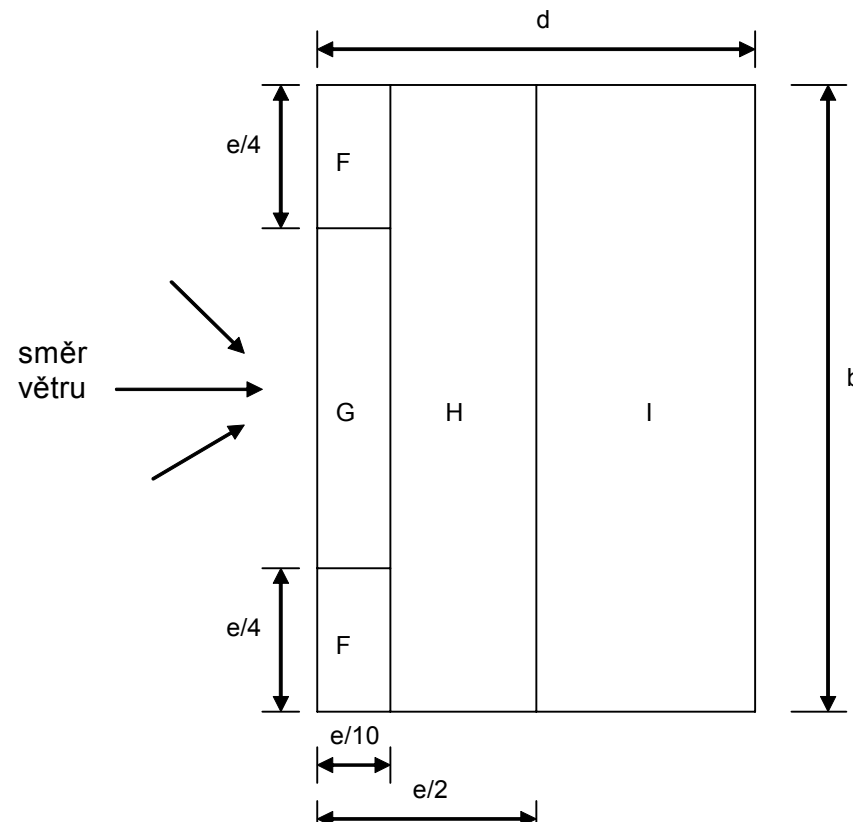
# Oblasti pro ploché střechy



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 - nejneprůznivější

kombinace

- součinitel vnitřního tlaku závisí na velikosti a rozdělení otvorů na plášti budov

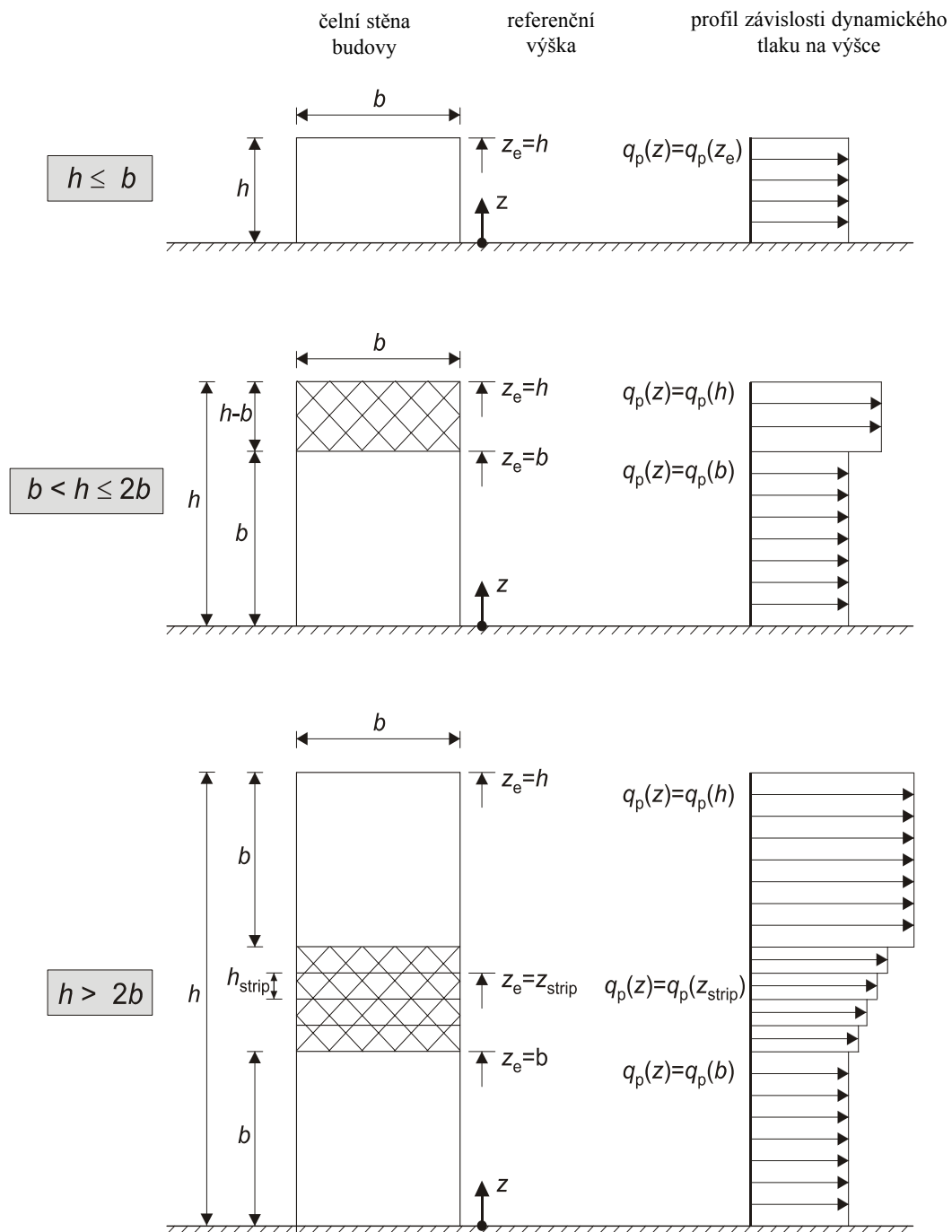
- rozhodující fasáda - plocha otvorů na této stěně je nejméně dvakrát větší než plocha otvorů na zbývajících fasádách

- dvakrát větší:  $c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe}$

- třikrát větší:  $c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe}$

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

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

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

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

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

## 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

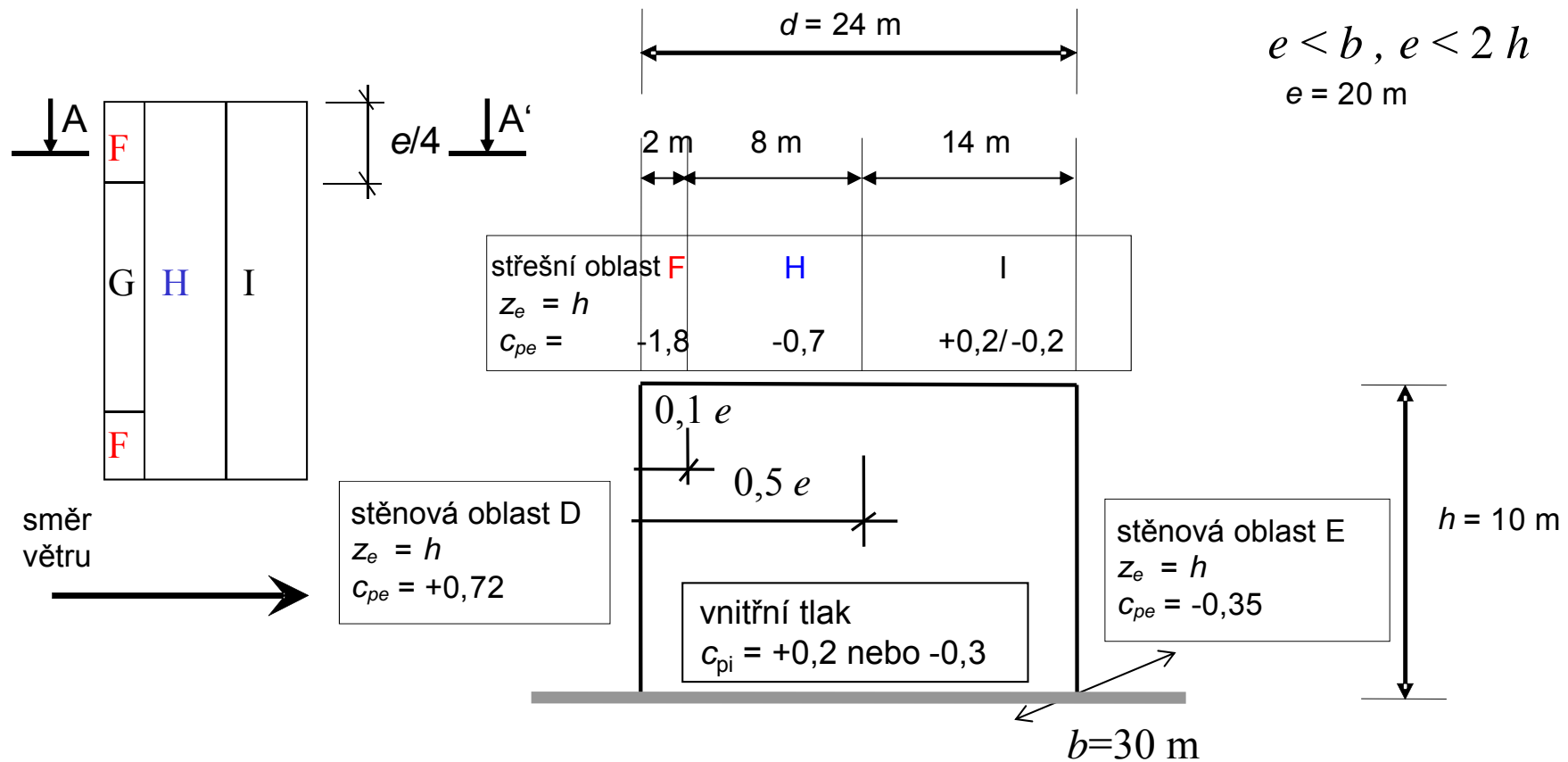
$$q_b = 0,5 \rho v_b^2 = 0,5 \times 1,25 \times 25^2 = 391 \text{ N/m}^2$$

základní dyn. tlak od větru

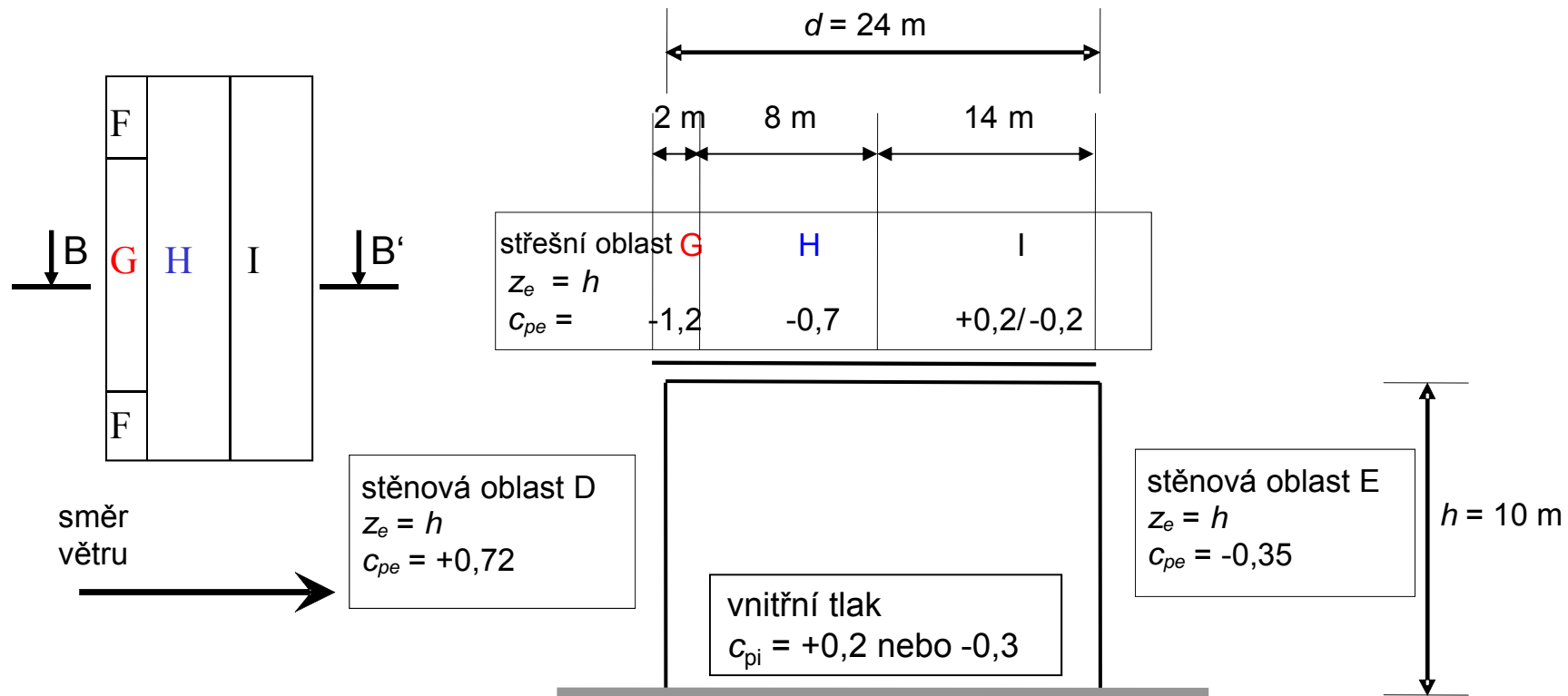
$$q_p(z) = c_e(z) q_b = 1,73 \times 390,63 = 676 \text{ N/m}^2$$

max. dyn. tlak od větru

# Řez ve vzdálenosti $< e/4 = 5$ m



# Řez ve vzdálenosti $> e/4=5$ m



# 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  $w_0$

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

$$w_n = w_0 \kappa_w C_w$$

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

tvarový 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  $1,2$

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

$$\gamma_Q = 1,5$$

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

# 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.