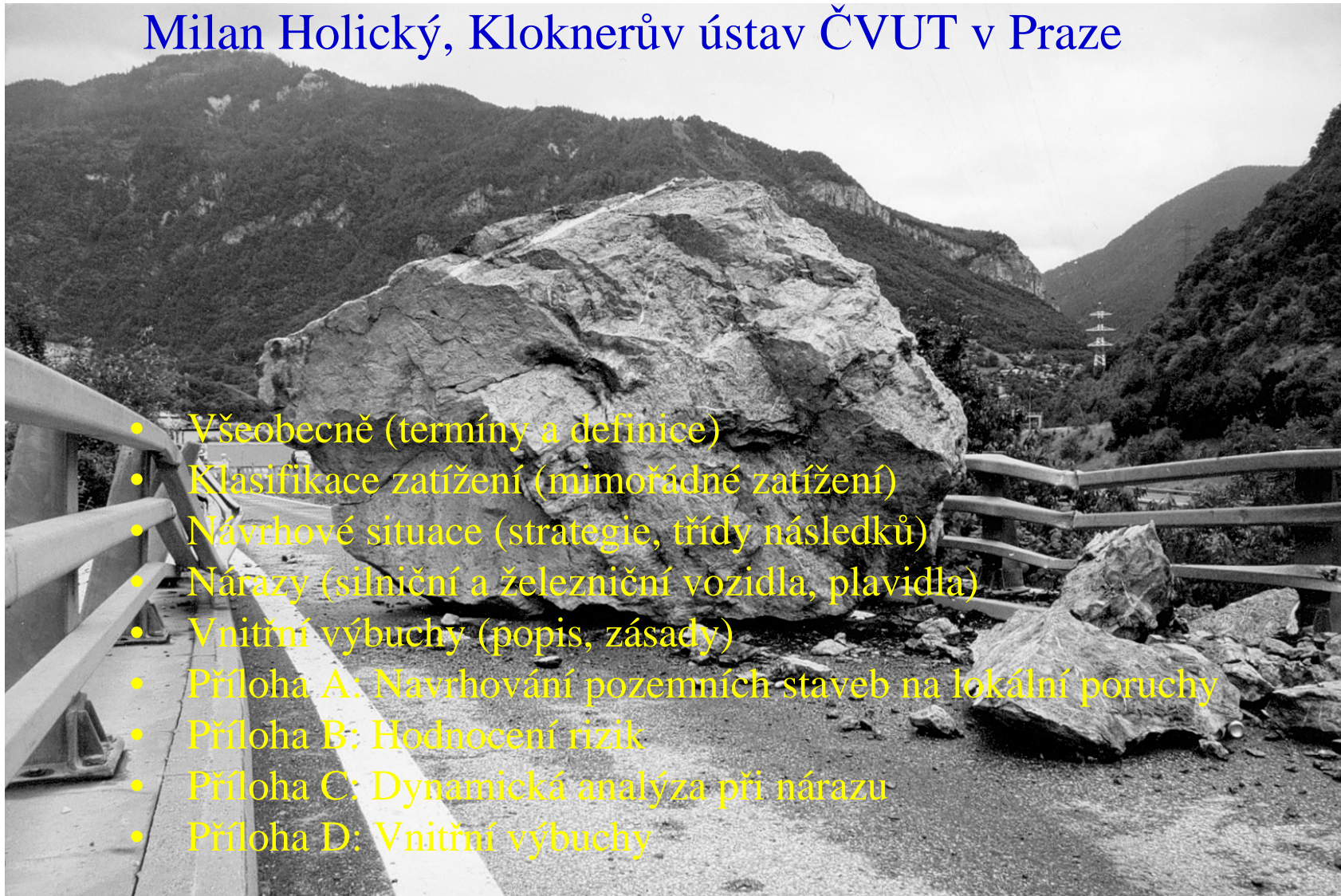


# Mimořádná zatížení podle ČSN EN 1991-1-7

Milan Holický, Kloknerův ústav ČVUT v Praze



- Všeobecně (termíny a definice)
- Klasifikace zatížení (mimořádné zatížení)
- Návrhové situace (strategie, třídy následků)
- Nárazy (silniční a železniční vozidla, plavidla)
- Vnitřní výbuchy (popis, zásady)
- Příloha A: Navrhování pozemních staveb na lokální poruchy
- Příloha B: Hodnocení rizik
- Příloha C: Dynamická analýza při nárazu
- Příloha D: Vnitřní výbuchy

# Základní požadavky podle EN 1990

2.1(4)P Konstrukce musí být navržena a provedena tak, aby během předpokládané životnosti nebyla porušena nepříznivými jevy, jako jsou

- výbuchy
- nárazy
- následky lidských chyb

v míře nepřiměřené původní příčině.

# Požadavek na robustnost staveb



# Mimořádná zatížení

- nárazy silniční dopravou,
- nárazy vykolejenými vlaky,
- nárazy vrtulníky, vysokozdvižnými vozíky
- nárazy plavidly,
- zatížení vnitřními výbuchy (plyn, prach)

Nezahrnuje se požár (viz ČSN EN 1991-1-2).

Mimořádná kombinace zatížení podle ČSN EN 1990 :

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + A_d + (\psi_{11} \text{ nebo } \psi_{21}) Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} Q_{ki} \quad (6.11b)$$

Kategorie následků podle ČSN EN 1990

- CC1 malé následky poruchy; nevyžadují se žádná zvláštní opatření
- CC2 střední následky poruchy; lze použít zjednodušený výpočet
- CC3 velké následky poruchy; má se provést podrobný rozbor

# Strategie pro mimořádné návrhové situace



# Náraz na podpěrné konstrukce mostů

Kategorie pozemní komunikace	Síla $F_{dx}$ [ kN]	Síla $F_{dy}$ [ kN]
Dálnice, silnice I. třídy a rychlostní místní komunikace	1 000	500
Silnice II. a III. třídy a místní komunikace s dovolenou rychlostí nad 60 km/h	750	375
Místní komunikace s dovolenou rychlostí do 60 km/h včetně a účelové komunikace	500	250
Uzavřené plochy (např. podnikové plochy, dvory) s přístupem: – osobních vozidel – těžkých vozidel <sup>a)</sup>	50 150	25 75
$x$ = směr jízdy, $y$ = kolmo na směr jízdy <sup>a)</sup> Termín „těžké vozidlo“ se vztahuje k vozidlům o celkové maximální hmotnosti větší než 3,5 t.		

# Náraz vozidla



# Nárazové síly podle přílohy C

**Návrhová hodnota**

$$F_d = F_0 \sqrt{1 - \frac{d}{d_b}}$$

Max. dynamická  
nárazová síla

$$F_0 = v_r \sqrt{k m}$$

<b>Kategorie</b>	<b><math>v</math> [km/h]</b>	<b><math>d_b</math> [m]</b>	<b><math>F_0</math> [kN]</b>
Dálnice, silnice I. třídy	90	20	2400
Silnice II. a III. třídy	70	20	1900
Místní komunikace	50	10	1300

$$m = 30000 \text{ kg}, a = 3 \text{ ms}^{-2}$$

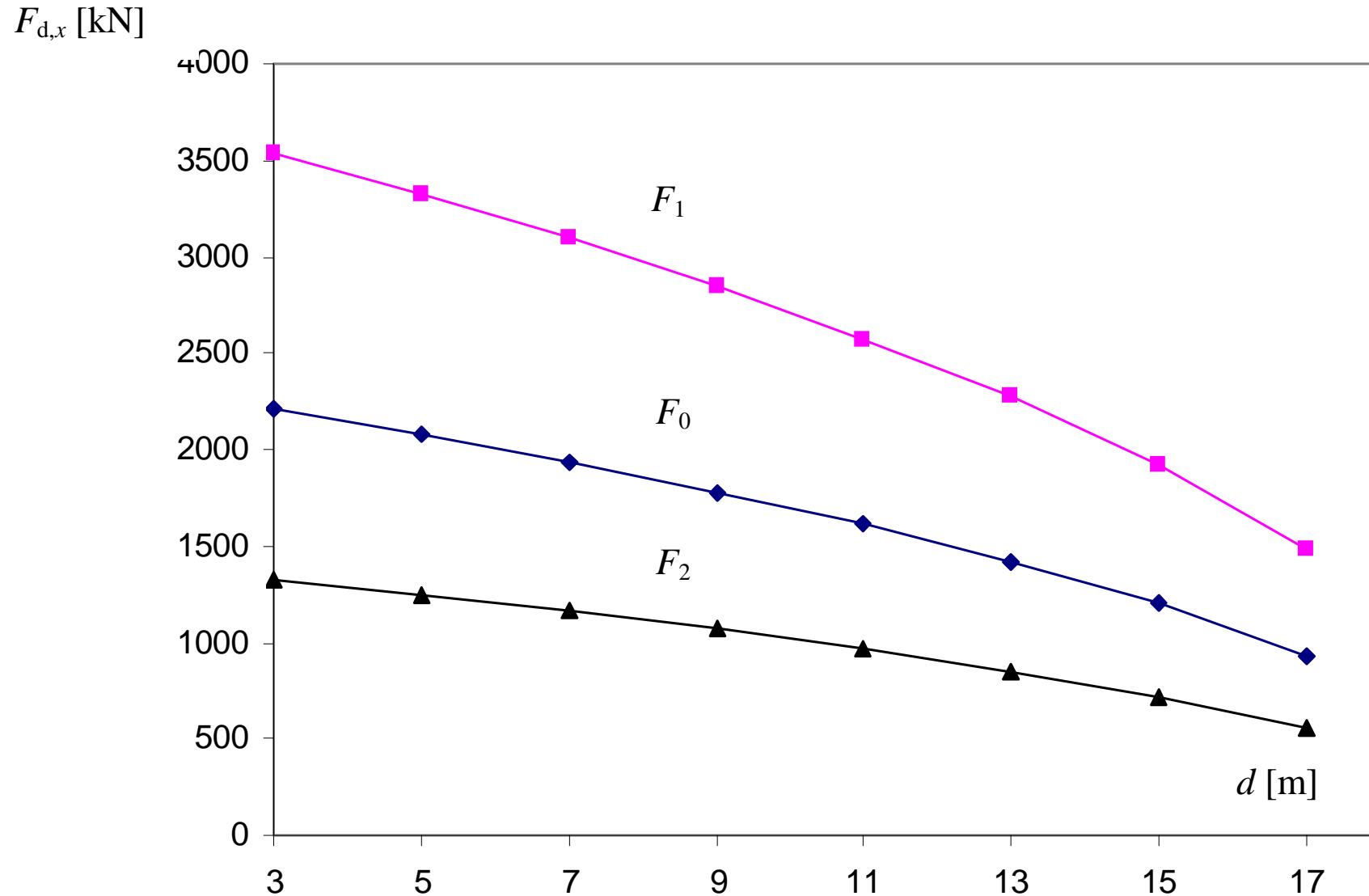


# Návrhové hodnoty nárazových sil

vzdálenost  $d$

Kategorie	3 m	6 m	9 m
Dálnice	2400 kN	2300 kN	2270 kN
Silnice 2. a 3. třídy	1800 kN	1750 kN	1700 kN
Místní silnice	1250 kN	1200 kN	1150 kN

# Nárazové síly v závislosti na vzdálenosti $d$



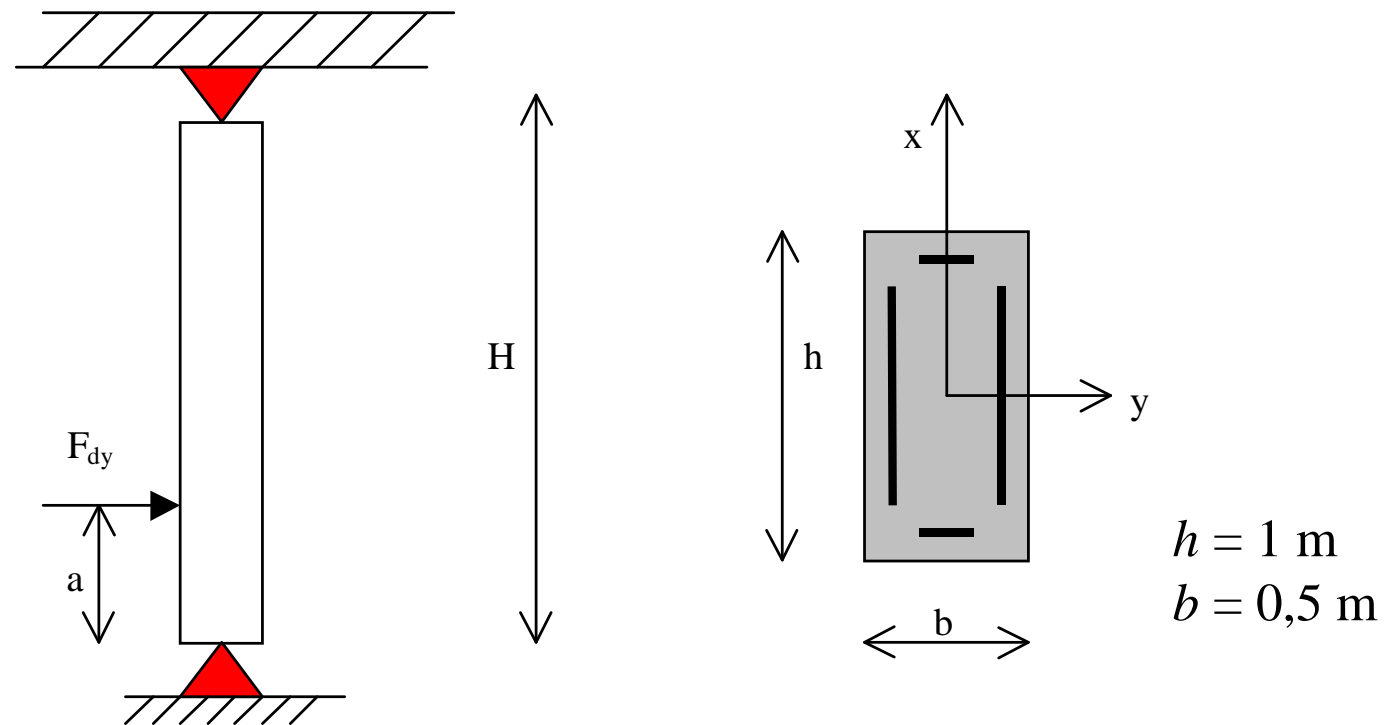
# Třídy konstrukcí vystavených nárazu od železniční dopravy

Třída A	Konstrukce přes nebo v blízkosti provozované železnice buď trvale obývané nebo sloužící dočasně pro veřejnost, anebo více než jednopodlažní.
Třída B	Masivní konstrukce napříč nebo v blízkosti provozované železnice, jako jsou mosty převádějící silniční dopravu nebo jednopodlažní budovy, které nejsou trvale obývané nebo neslouží jako dočasné shromažďovací místo pro veřejnost.

# Nárazové síly pro konstrukce třídy A nad železničními tratěmi

Vzdálenost „ $d$ “ od nosných prvků k ose nejbližší koleje [m]	Síla $F_{dx}$ <sup>a)</sup> [ kN]	Síla $F_{dy}$ <sup>a)</sup> [ kN]
Nosné prvky: $d < 3$ m	stanoví se pro projekt	stanoví se pro projekt
Pro spojitě stěny a konstrukce stěnového charakteru: $3 \text{ m} \leq d \leq 5 \text{ m}$	4000	1500
$d > 5 \text{ m}$	0	0
a) $x$ = směr jízdy, $y$ = kolmo na směr jízdy		

# Příklad návrhu mostního pilíře



$$H = 5 \text{ m}, a = 1,25 \text{ m}, F_{dx} = 1000 \text{ kN}, F_{dy} = 500 \text{ kN}$$

# Účinky zatížení

Ve směru jízdy

$$M_{dx} = \frac{a(H-a)}{H} F_{dy} = \frac{1,25 \times (5 - 1,25)}{5} \times 1000 = 940 \text{ kNm}$$

Kolmo na směr jízdy

$$M_{dy} = \frac{a(H-a)}{H} F_{dy} = \frac{1,25 \times (5 - 1,25)}{5} \times 500 = 470 \text{ kNm}$$

# Odolnost pilíře

## Ohybová únosnost

$$M_{Rdx} = 0,8 \omega h^2 b f_y = 0,8 \times 0,01 \times 1,0^2 \times 0,5 \times 300000 = 1200 \text{ kNm}$$

> 940 kN

$$M_{Rdy} = 0,8 \omega h b^2 f_y = 0,8 \times 0,01 \times 1,0 \times 0,5^2 \times 300000 = 600 \text{ kNm}$$

> 470 kN

# Zatížení výbuchy plynu

Návrhový tlak se uvažuje větší z hodnot

$$p_d = 3 + p_v \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$p_d = 3 + 0,5 p_v + 0,04 / (A_v/V)^2 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$p_v$  je rovnoměrně rozložený statický tlak v  $\text{kN/m}^2$ ,  
při kterém se výfukové prvky poruší,

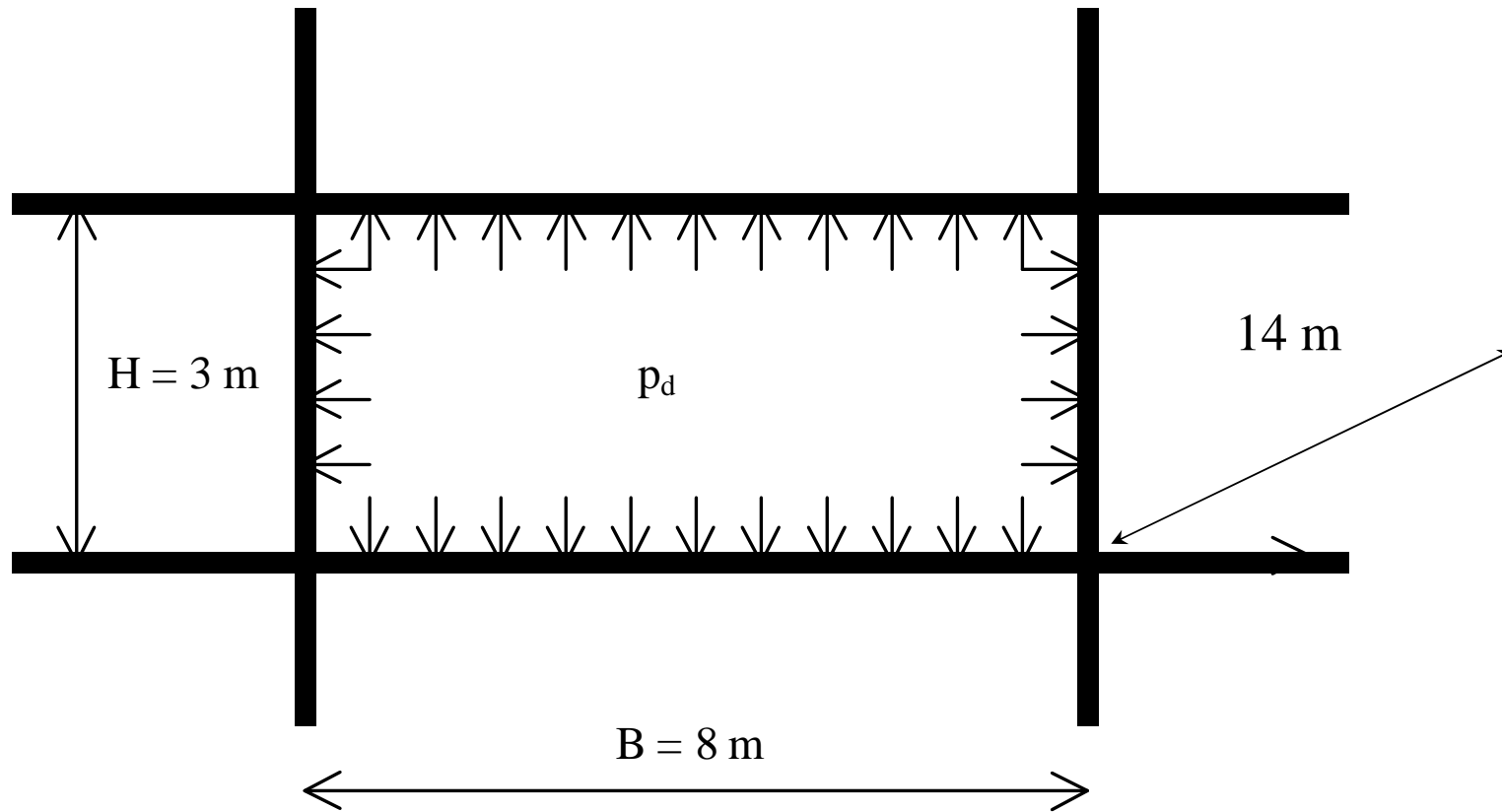
$A_v$  je plocha výfukových prvků v  $\text{m}^2$

$V$  je objem prostoru v  $\text{m}^3$

Platí pro  $V \leq 1000 \text{ m}^3$  a  $A_v/V$  je v rozmezí  $0,05 \text{ m}^{-1}$  až  $0,15 \text{ m}^{-1}$



# Výbuch v budově



Tlak  $p_v = 3 \text{ kN/m}^2$ , dvě stěny jsou ze skla, dvě z betonu

# Účinky zatížení

$$A_v = 2 \times 8 \times 3 = 48 \text{ m}^2 \quad \text{výfuková plocha}$$

$$V = 3 \times 8 \times 14 = 336 \text{ m}^3 \quad \text{objem prostoru}$$

$$A_v / V = 48 / 336 = 0,144 \text{ m}^{-1}$$

Objem prostoru  $V$  je méně než  $1000 \text{ m}^3$   
a  $A_v/V$  je v rozmezí  $0,05 \text{ m}^{-1}$  až  $0,15 \text{ m}^{-1}$

## Tlak od výbuchu

$$p_{Ed} = 3 + p_v = 3 + 3 = 6 \text{ kN/m}^2$$

nebo

$$\begin{aligned} p_{Ed} &= 3 + p_v / 2 + 0,04 / (A_v / V)^2 = \\ &= 3 + 1,5 + 0,04 / 0,144^2 = 3 + 1,5 + 2,0 = 6,5 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

# Ověření dolní stropní konstrukce

## Mimořádná návrhová situace

$$p_{da} = p_G + p_A + \psi_{1Q} p_Q = 3,00 + 6,50 + 0,5 \times 2,0 = 10,50 \text{ kN/m}^2$$

## Trvalá návrhová situace

$$p_d = \gamma_G p_G + \gamma_Q p_Q = 1,35 \times 3,0 + 1,5 \times 2,0 = 7,1 \text{ kN/m}^2 \quad (6.10a)$$

$$p_d = \xi \gamma_G p_G + \gamma_Q p_Q = 0,85 \times 1,35 \times 3,0 + 1,5 \times 2,0 = 6,4 \text{ kN/m}^2 \quad (6.10b)$$

## Požadovaná odolnost vzhledem k trvalé návrhové situaci

$$p_{Rd} = 1,2 \times 7,1 = 8,5 \text{ kN/m}^2$$

## Krátkodobá odolnost

s uvážením součinitele  $\varphi_d$  (vliv plastických deformací)

$$p_{REd} = \varphi_d p_{Rd} = \left[ 1 + \sqrt{\frac{3}{8,5}} \sqrt{\frac{2 \times 0,2}{10 (0,2)^2}} \right] \times 8,5 = 13,5 \text{ kN/m}^2$$

# Krátkodobé zvýšení odolnosti

Vlivem plastických deformací a disipace energie lze krátkodobou odolnost zvýšit součinitelem:

$$\varphi_d = 1 + \sqrt{\frac{p_G}{p_{Rd}}} \sqrt{\frac{2u_{\max}}{g(\Delta t)^2}}$$

kde  $p_G$  je vlastní tíha prvku,  $p_{Rd}$  požadovaná únosnost prvku,  $\Delta t = 0,2$  s doba trvání zatížení, tíhové zrychlení  $g = 10 \text{ m/s}^2$  a  $u_{\max}$  je návrhová hodnota průhybu uprostřed rozpětí při porušení prvku

$$p_{REd} = \varphi_d p_{Rd} = \left[ 1 + \sqrt{\frac{3}{8,5}} \sqrt{\frac{2 \times 0,20}{10 (0,2)^2}} \right] \times 8,5 = 13,5 \text{ kN/m}^2$$

# Konstrukce stropu

Výsledný tlak (kladný tlak směrem nahoru)

$$p_{da} = p_G + p_A + \gamma_Q \psi p_Q = - 3,00 + 6,50 + 0 = 3,50 \text{ kN/m}^2$$

# Stěny

Zjednodušený výpočet bez uvážení normálových sil

Maximální moment oboustranně vetknuté stěny

$$M = 1/16 p_E H^2 b = 1/16 \times 6,5 \times 3^2 \times 1 = 4 \text{ kNm}$$

Únosnost stěny tloušťky 0,2 m

$$M_p = 0,8 d \frac{\omega b d f_y}{2} = 0,8 \times 0,2 \frac{0,001 \times 1 \times 0,20 \times 300000}{2} = 5 \text{ kNm}$$

Podrobný rozbor vyžaduje uvážení normálových sil a skutečných podmínek uložení.

# Příloha A Navrhování pozemních staveb na následky lokální poruchy z nespecifikované příčiny

## Třídy následků

## Příklad konstrukce

- CC1 - malé  
nizkopodlažní budovy s malým počtem uživatelů
- CC2a - menší  
většina budov do 4 podlaží
- CC2b - větší  
většina budov do 15 podlaží,  
nemocnice do 3 podlaží
- CC3 - velké  
výškové budovy, stadióny

# Doporučená opatření

CC1: návrh podle Eurokódů, nejsou potřebná speciální opatření

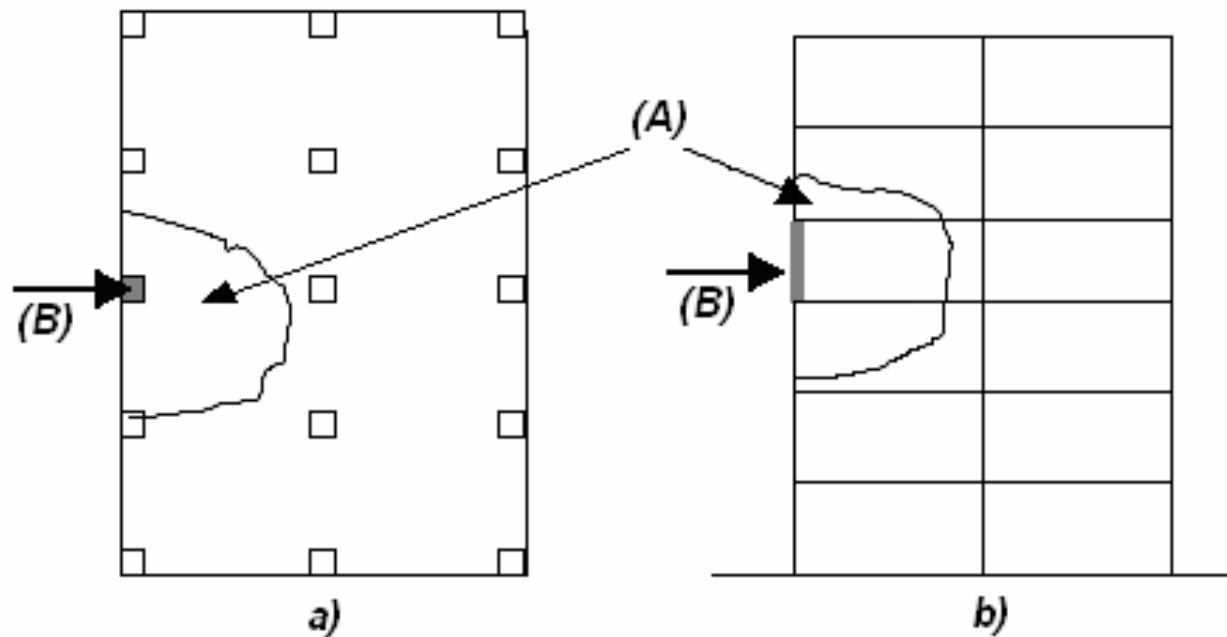
CC2a: návrh účinných vodorovných vazeb

CC2b: návrh vodorovných a svislých vazeb (provázanost stěn a stropů), ověření na teoretické odstranění nosného prvku

CC3: dynamická analýza, analýza rizik

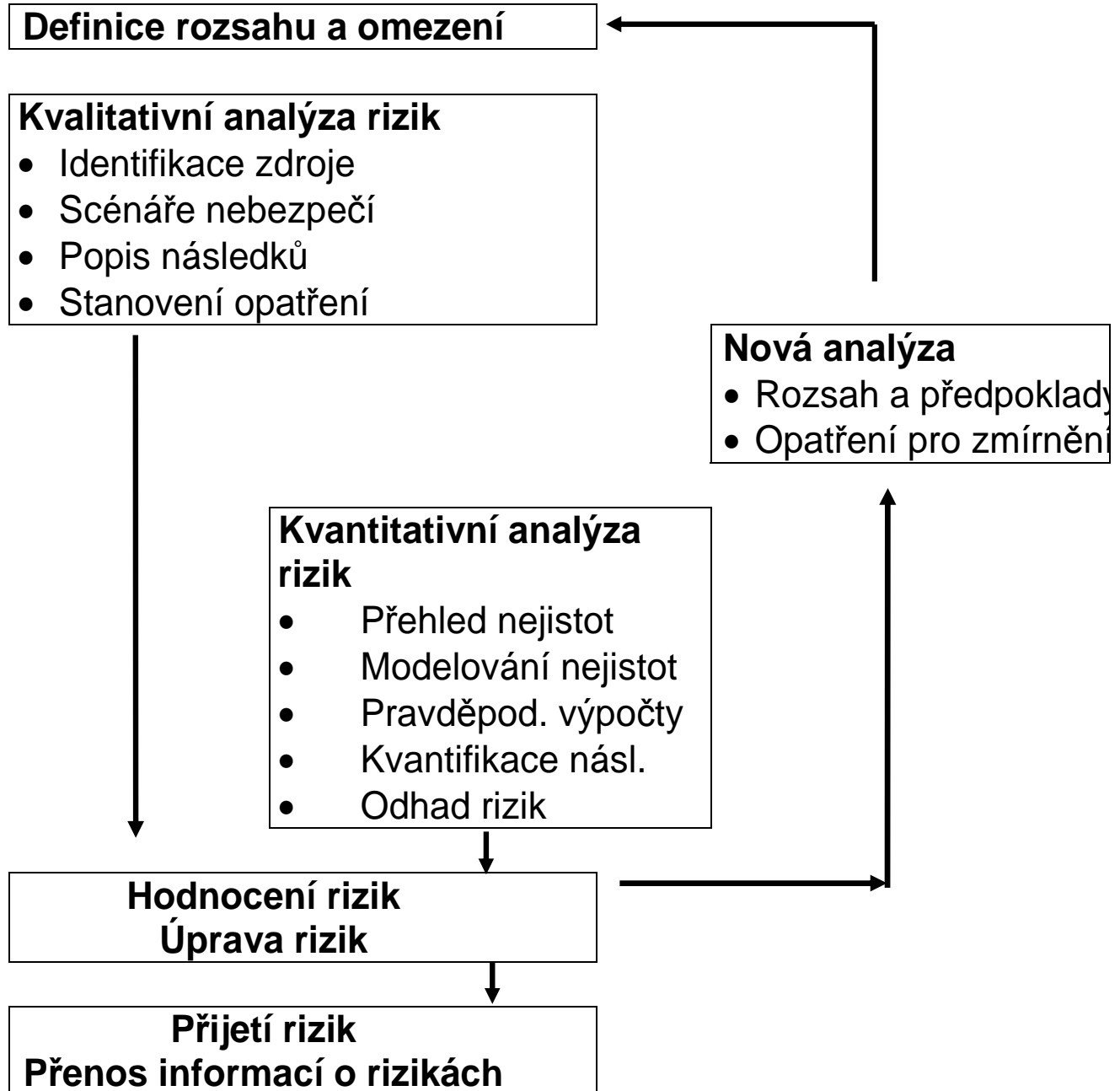


# Mez přijatelné lokalizované poruchy



15 % plochy podlaží nebo 100 m<sup>2</sup>, (menší z hodnot), na každém ze dvou přilehlých podlaží.

# Analýza rizik



# Nebezpečí

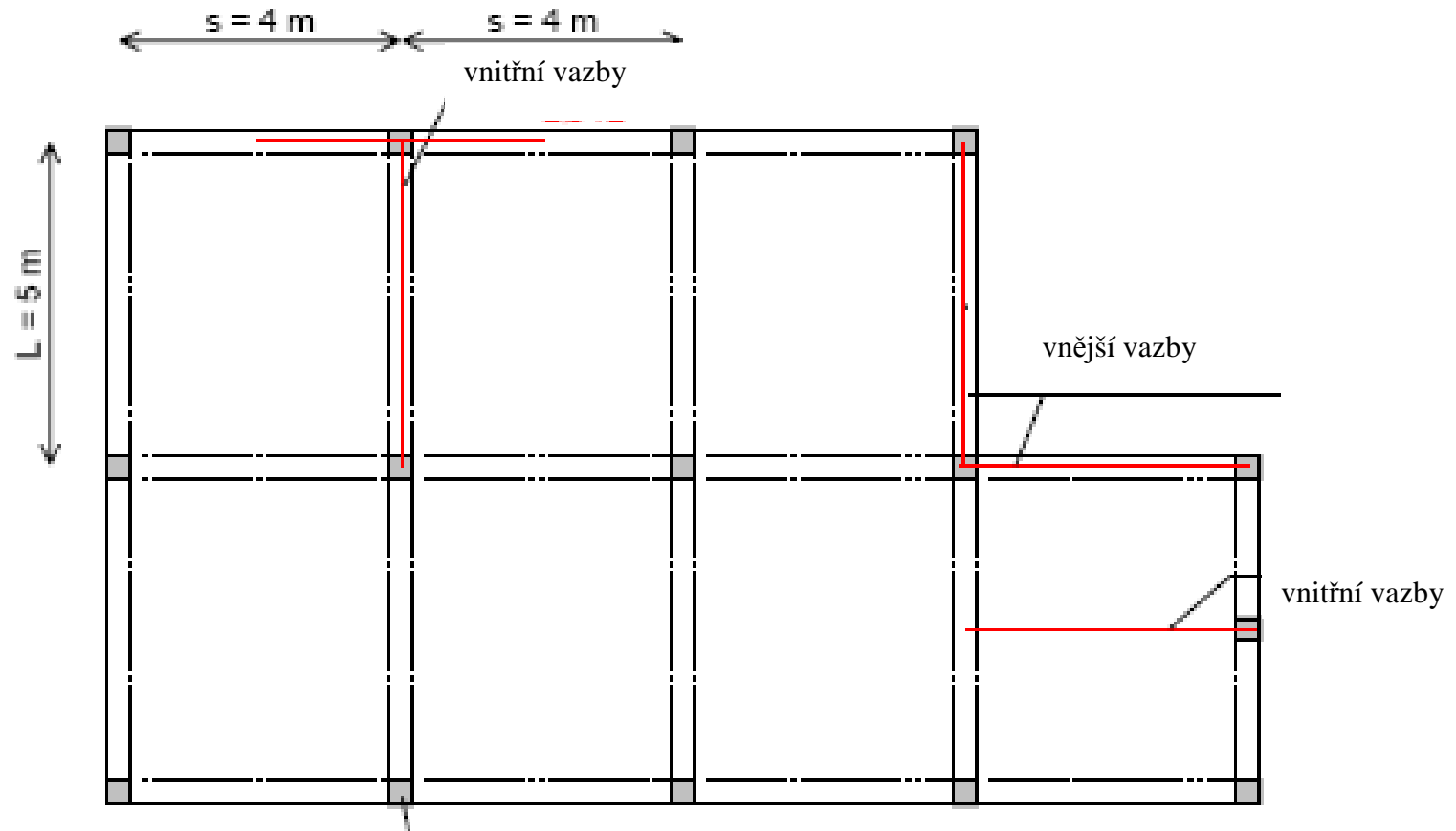
- seizmicita
- sesuvy půdy
- lavina
- povodeň
- pád balvanů

- vandalismus
- masové nepokoje
- teroristický útok

- vnitřní výbuch
- vnější výbuch
- požár
- poddolované území
- agresivita prostředí

- chyba v návrhu, provádění
- chybná volba nebo vada materiálu
- chybné užívání
- nedostatečná údržba

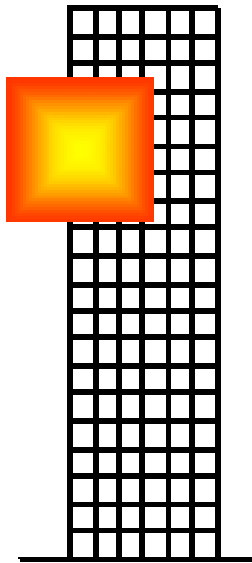
# Konstrukce v třídě CC2a



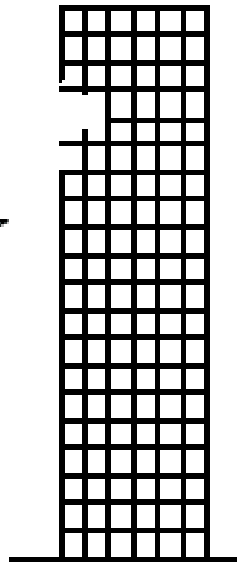
$$T_i = 0.8 (g_k + \psi q_k) s L = 0,8 \times \{3 + 0.5 \times 3\} \times 4 \times 5 = 72 \text{ kN}, \text{ nebo } 75 \text{ kN}$$

# Analýza rizik

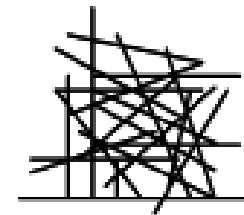
Identifikace návrhové situace



Odhad míry porušení



Odhad chování porušené konstrukce

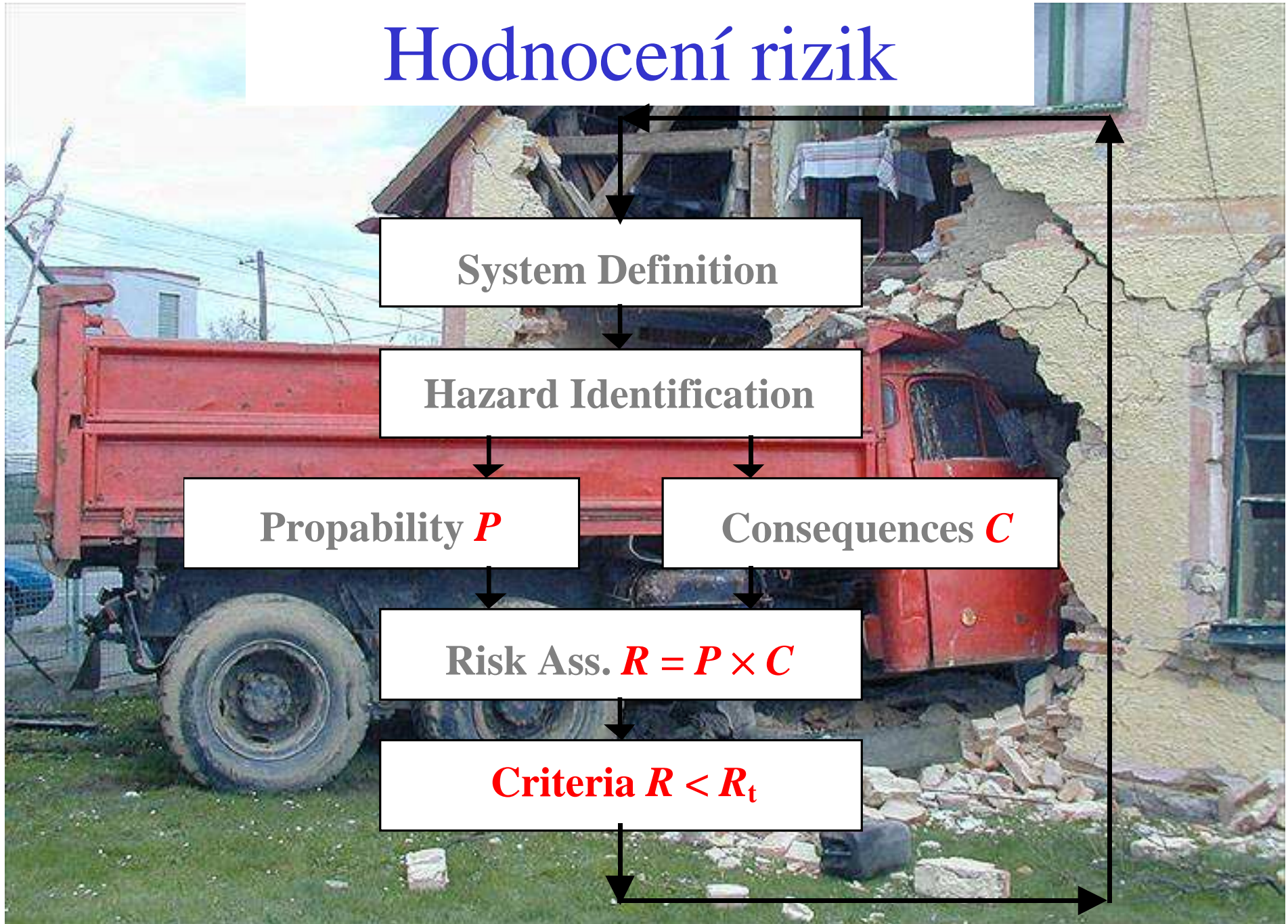


# Výpočet rizika

1. krok: pravděpodobnost identifikace nebezpečí  $H_i$
2. krok: pravděpodobnost porušení  $D_j$  při nebezpečí  $H_i$
3. krok: pravděpodobnost určitého chování konstrukce  $S_k$  při porušení  $D_j$  a následky  $C(S_k)$

$$Risk = p(H_i) p(D_j | H_i) p(S_k | D_j) C(S_k)$$

# Hodnocení rizik



# Závěrečné poznámky

- EN 1991-1-7 zahrnuje nárazy a výbuchy
- Definiuje tři kategorie nebezpečnosti
- Ukazuje dvě strategie pro mimořádné situace
- Uvádí tabulky pro nárazy silničních vozidel
- Uvádí tabulku pro nárazy železničních vozidel
- Doporučuje postupy pro analýzu rizik

Webové stránky JRC: <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/>