

Navrhování na základě přijatelných rizik

**PROSPECTS FOR DESIGN CRITERIA BASED ON
ACCEPTABLE RISKS**

Milan Holický

VZ 29: Spolehlivost a rizikové inženýrství technických systémů

**Nejistoty
Pravděpodobnostní metody
Přijatelné riziko
Konstrukce za mimořádné situace
Závěrečné poznámky**

Nejistoty a nástroje pro jejich rozbor

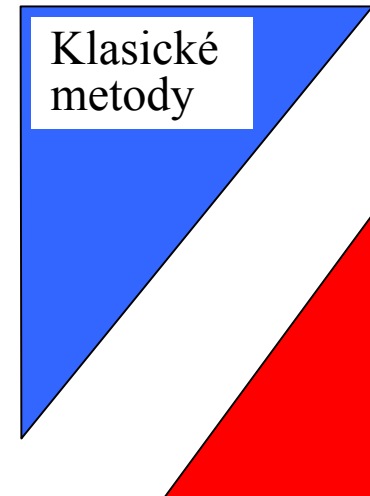
- **Nejistoty**

- Náhodnosti - přirozená proměnlivost
- Statistické nejistoty - nedostatek dat
- Modelové nejistoty - nepřesnost modelů
- Neurčitosti - nepřesnosti definic
- **Hrubé chyby - lidský činitel**
- **Mimořádné podmínky - neznalosti**

- **Nástroje**

- Teorie pravděpodobnosti a matematická statistika
- **Teorie fuzzy množin a fuzzy logiky**
- **Rizikové inženýrství**

Možnost popisu



Nové metody

Příčiny poruch

NÁVRH	PROVÁD.	PROVOZ	OSTATNÍ
20 %	50 %	15 %	15 %
LIDSKÉ CHYBY			ZATÍŽENÍ
80 %			20 %

Metody ověřování spolehlivosti



- Historické a empirické metody:
- Dovolená namáhání: $\sigma < \sigma_{\text{dov}}$
- Stupeň bezpečnosti: $M < M_u/s$
- Metoda dílčích součinitelů: $\gamma_G G + \gamma_Q Q < R/\gamma_M$
- Pravděpodobnostní metody: $P_f \sim P_{\text{target}}$
- Rizikové inženýrství: $R_{\text{tot}} \sim R_{\text{target}}$

Zvyšuje se náročnost výpočtu

Pravděpodobnost poruchy

Základní veličiny: X zatížení, vlastnosti materiálů, rozměry

Funkce mezního stavu: $g(X)$, $g(X) < 0$ porucha,
 $g(X) > 0$ příznivý stav

Pravděpodobnost poruchy P_f a spolehlivost P_s

$$P_f = 1 - P_s = \text{Prob}\{g(X) < 0\} = \int_{g(X) < 0} \varphi_X(X) dX$$

- Nedostatky:**
- definice funkce $g(x)$
 - stanovení směrné hodnoty P_{target}
 - definice teoretických modelů pro X
 - nedostatečný zřetel k následkům poruch

Nebezpečné situace - rizika

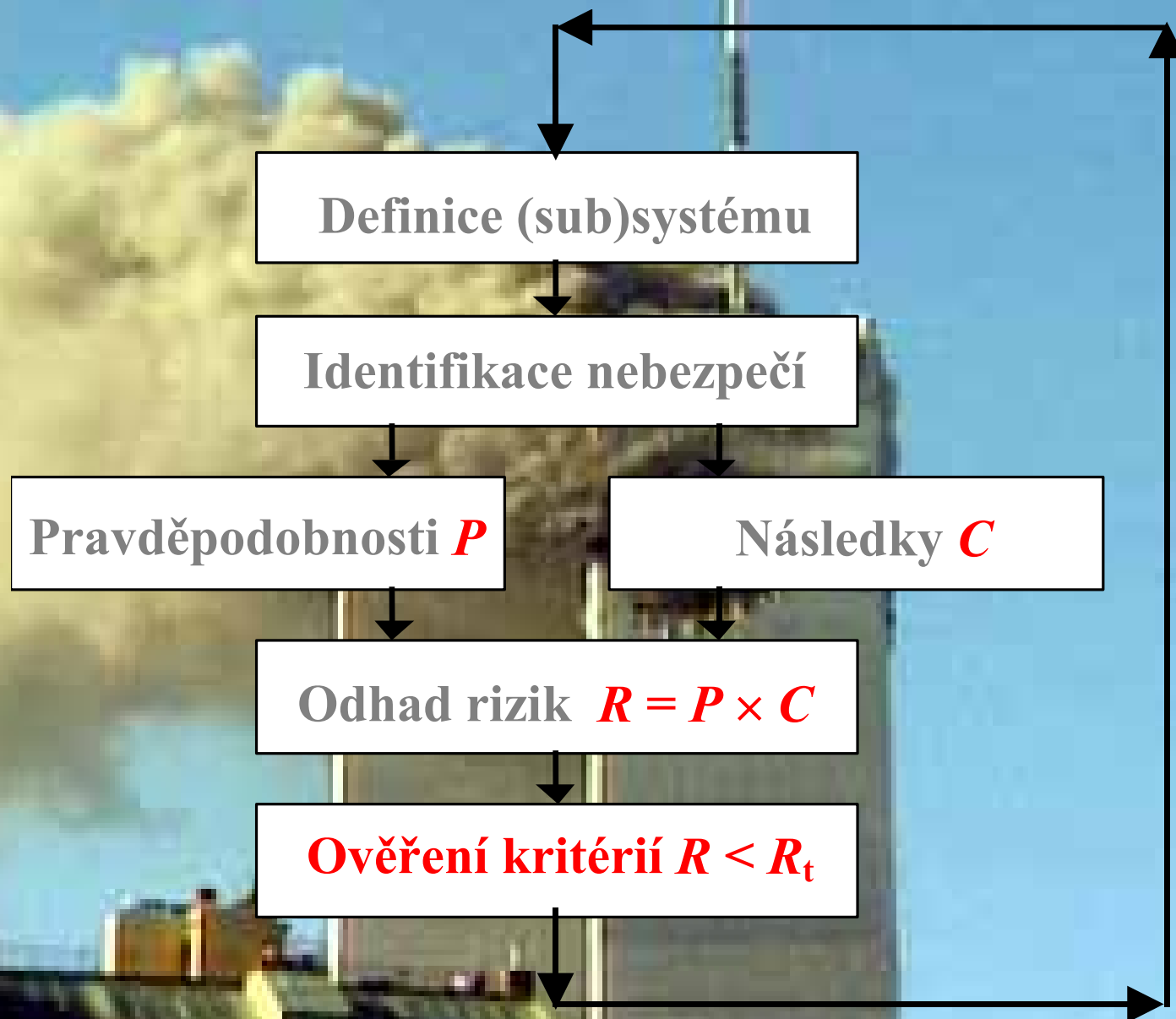
Nebezpečí - Hazard: H_i

$$p_F = \sum_i P(F | H_i) P(H_i)$$

Nepříznivé jevy E_{ij} , pravděpodobnosti $P(E_{ij}|H_i)$
 \propto dílčí rizika C_{ij} a celkové riziko R

$$R = \sum_{ij} C_{ij} P(E_{ij}|H_i) P(H_i)$$

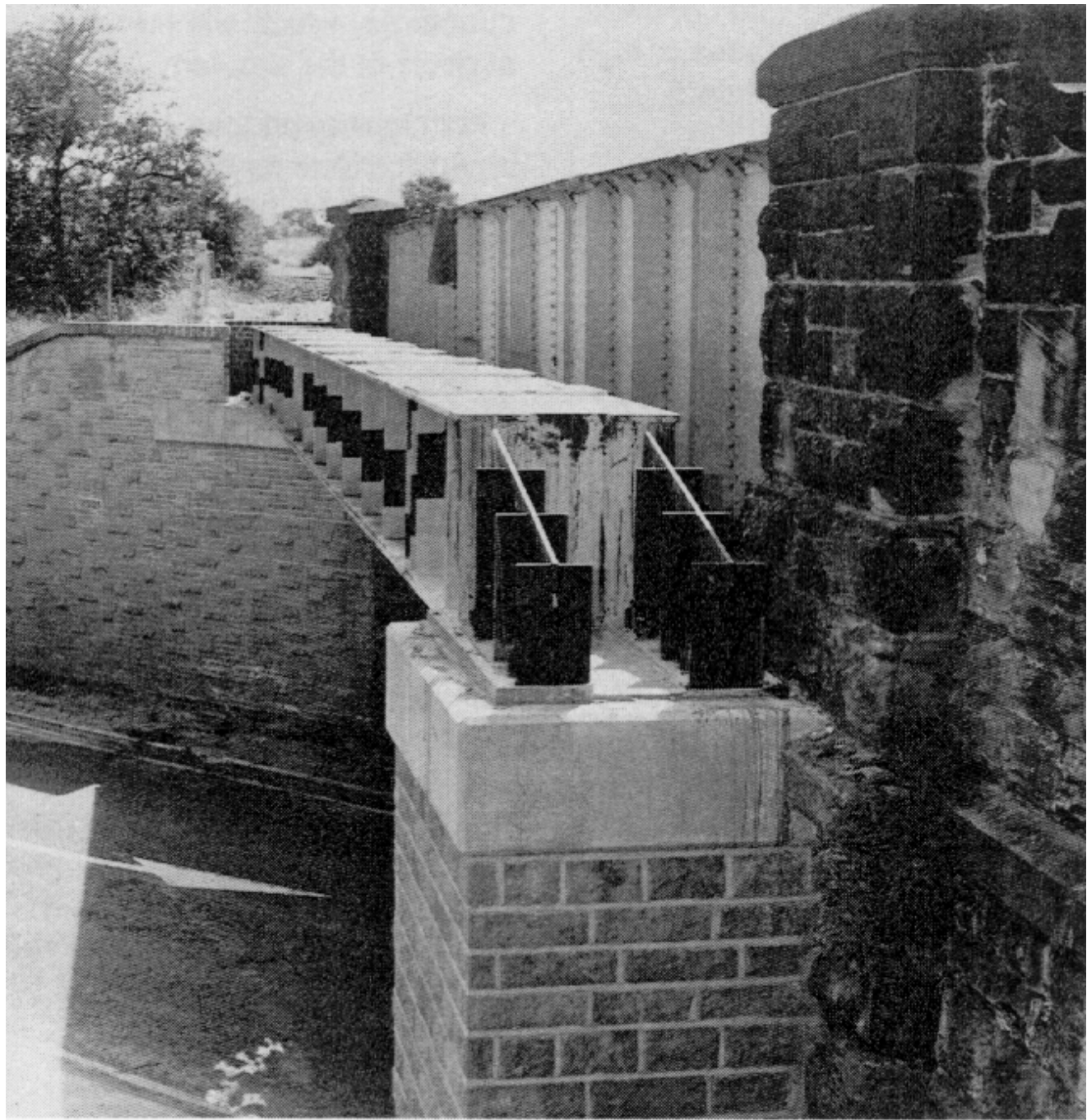
Rozbor a hodnocení rizik



Nebezpečné situace



Ochranný nosník u železničního mostu



Praha 13.8. – Karlův most

Ochranné bariery



Metly 23.8.



Lužec nad Vltavou – 30.8. 2002

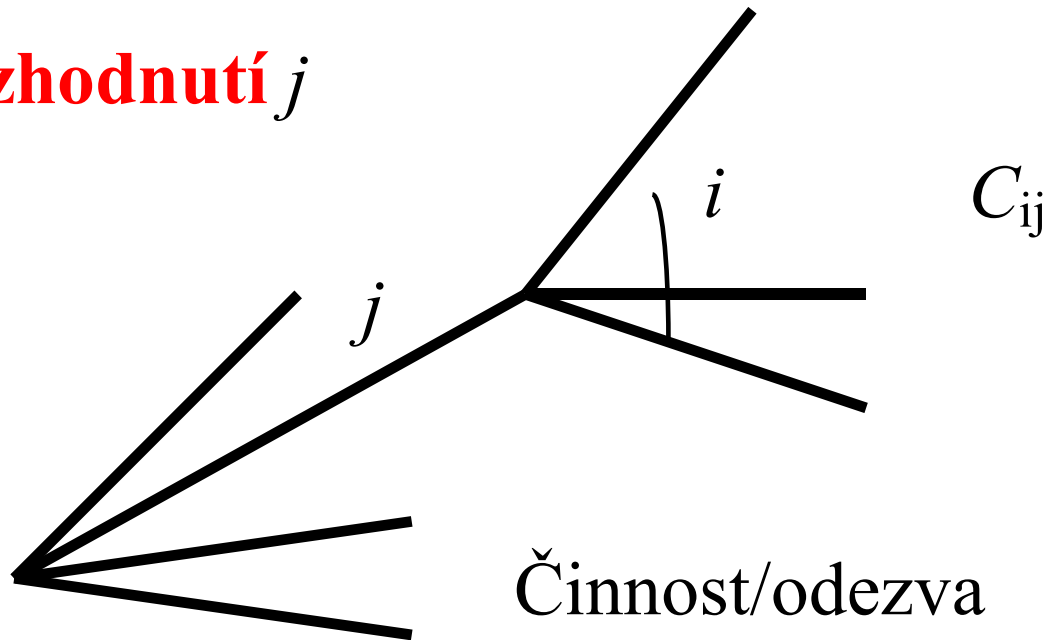


Stromkové diagramy

Náhodný výstup

Následky/užitek

Rozhodnutí j



Možné alternativy

Očekávané riziko

$$R_j = \sum_{i=1}^n P_{ij} \times C_{ij}$$

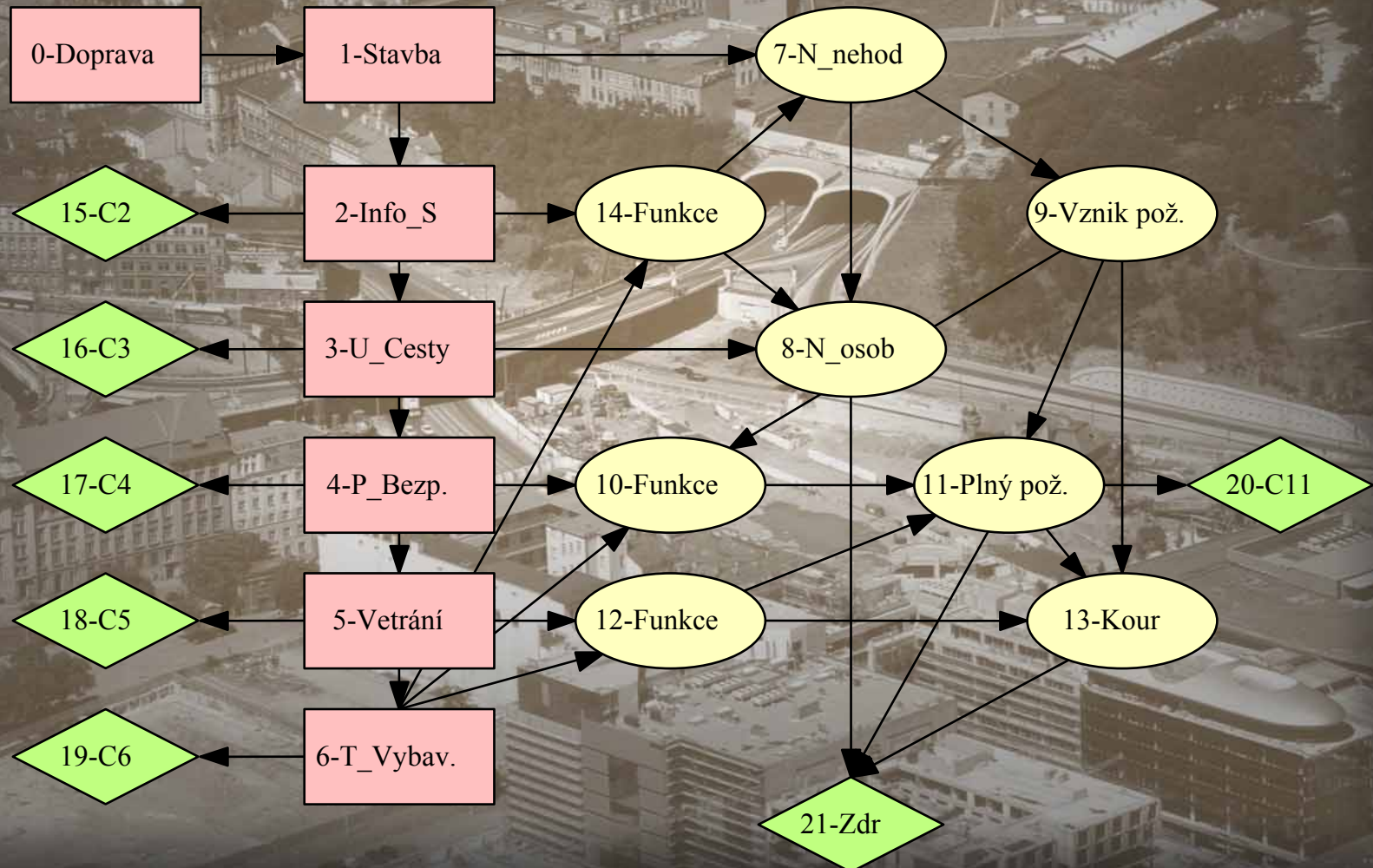
Hodnocení rizik tunelů s využitím Bayesovských sítí

Cílem rozboru je stanovení počtu nehod a rizik poškození zdraví v tunelových (mezi-křižovatkových) úsecích jako podklad pro jejich řešení a vybavení

Nejdůležitější faktory uvažované v rozboru:

- (0) - dopravní řešení,
- (1) - stavební řešení,
- (2) - dopravně informační systém,
- (3) - únikové cesty,
- (4) - požární bezpečnost,
- (5) - větrací systém,
- (6) - technologické vybavení.

Tunelová trasa okruhu v Praze



Úseky a významné faktory

Tabulka 1. Kvalitativní hodnocení významných faktorů a výsledky rozboru.

Úsek Délka úseku [km] /délka tunelu [km]	Výko n za rok v 1 směr u [mil. vozok m]	Významné faktory a jejich hodnocení ¹⁾							Výsledky rozboru rizik				
		Dopravní řešení	Stavební řešení	Dopr. inf. systém	Přístup. únikové cesty	Požární bezpečnost	Větrací systém	Tech. vybavení	Základní počet nehod za rok	Poškození zdraví při 1 nehodě	Opravný (redukční) faktor	Poškození zdraví za rok	Poškození zdr. za rok na 1 km
(02)	(01)	(0)	(1)	(2)	(3) ⁵⁾	(4) ⁵⁾	(5)	(6)	(7) ²⁾ (01)×0,3	(8) ³⁾	(9) Rov. (6.1)	(10) ⁴⁾	(11) (10)/délka t.
1. Zlíchov 1,5/0,2	3	2,1	3,2	2,6	2,2	1,9	1,5	2,3	0,9	0,0140	0,81	0,011	0,053
2. Mrázovka 1,3/1,3	16	2,6	3,1	2,7	2,7	2,3	1,7	1,9	4,8	0,0160	0,95	0,075	0,057
3. Strahov 2,3/2.3	40	2,3	2,7	3,0	3,6	3,0	2,8	2,5	12,0	0,0204	0,76	0,187	0,081
4. Střešovice 1,4/1,4	18	2,3	3,0	2,4	1,2	1,8	1,5	1,6	5.4	0,0075	0,83	0,034	0,024
5. Dejvice 1,6/1,2	14	2,4	2,2	2,4	1,7	1,8	1,7	1,6	4.2	0,0076	0,68	0,022	0,014
6. Stromovka 3,5/3,0	35	2,4	1,7	2,4	1,3	1,7	1,4	1,6	10,5	0,0079	0,57	0,043	0,014

Počet nehod

B. Thamm: Sicherheitsfragen ... [13]:

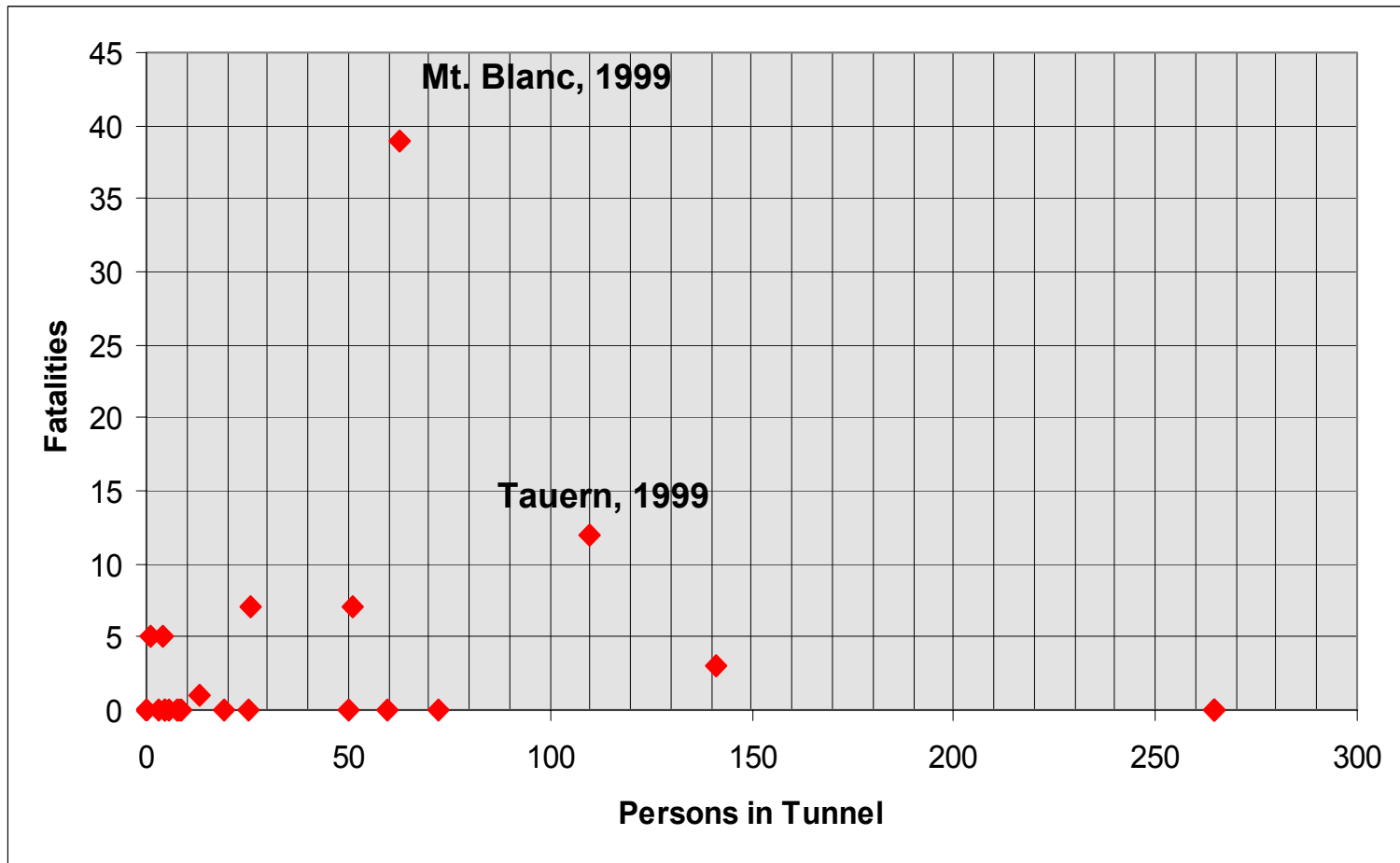
GV StGothard: ~ 50 nehod na 10^8 vozokm;

RV Seelisberg: ~ 30 nehod na 10^8 vozokm;

**Pro intenzitu 10 000 vozidel za den,
tj. 3 650 000 vozidel za rok je frekvence
vážných nehod odhadnuta:**

$\sim 0,3$ vážné nehody za rok a 1 km tunelu

Smrtelné úrazy při požáru v tunelu



OECD Study 2000: 33 large tunnel fires, analysis by O. Kübler, ETHZ

Vstupní údaje poškození zdraví

Tabulka 8a. Poškození zdraví (uzel 21) v procentech (počet smrtelných úrazů na 100 vážně ohrožených osob) za předpokladu, že technologické vybavení je výborné 1,6.

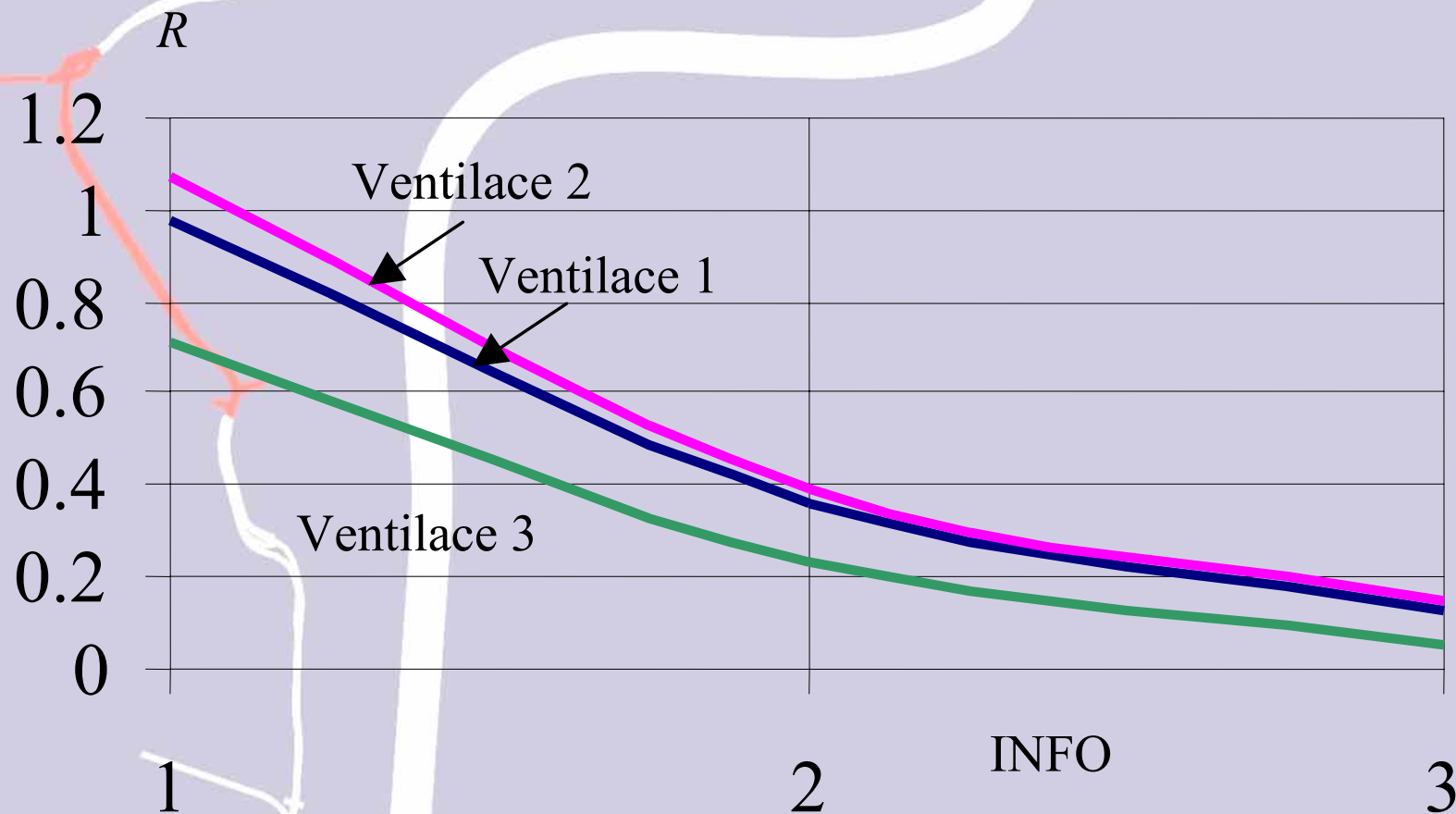
11. Plný požár	Ano			Ne		
13. Kouř	Žádný	Střední	Silný	Žádný	Střední	Silný
21. Poškození zdraví	0,5	0,6	0,7	0,3	0,4	0,5

Tabulka 8b. Poškození zdraví (uzel 21) v procentech (počet smrtelných úrazů na 100 vážně ohrožených osob) za předpokladu, že technologické vybavení je velmi dobré 2,3.

11. Plný požár	Ano			1. Ne		
13. Kouř	Žádný	Střední	Silný	Žádný	Střední	Silný
21. Poškození zdraví	0,6	0,7	0,8	0,4	0,5	0,6

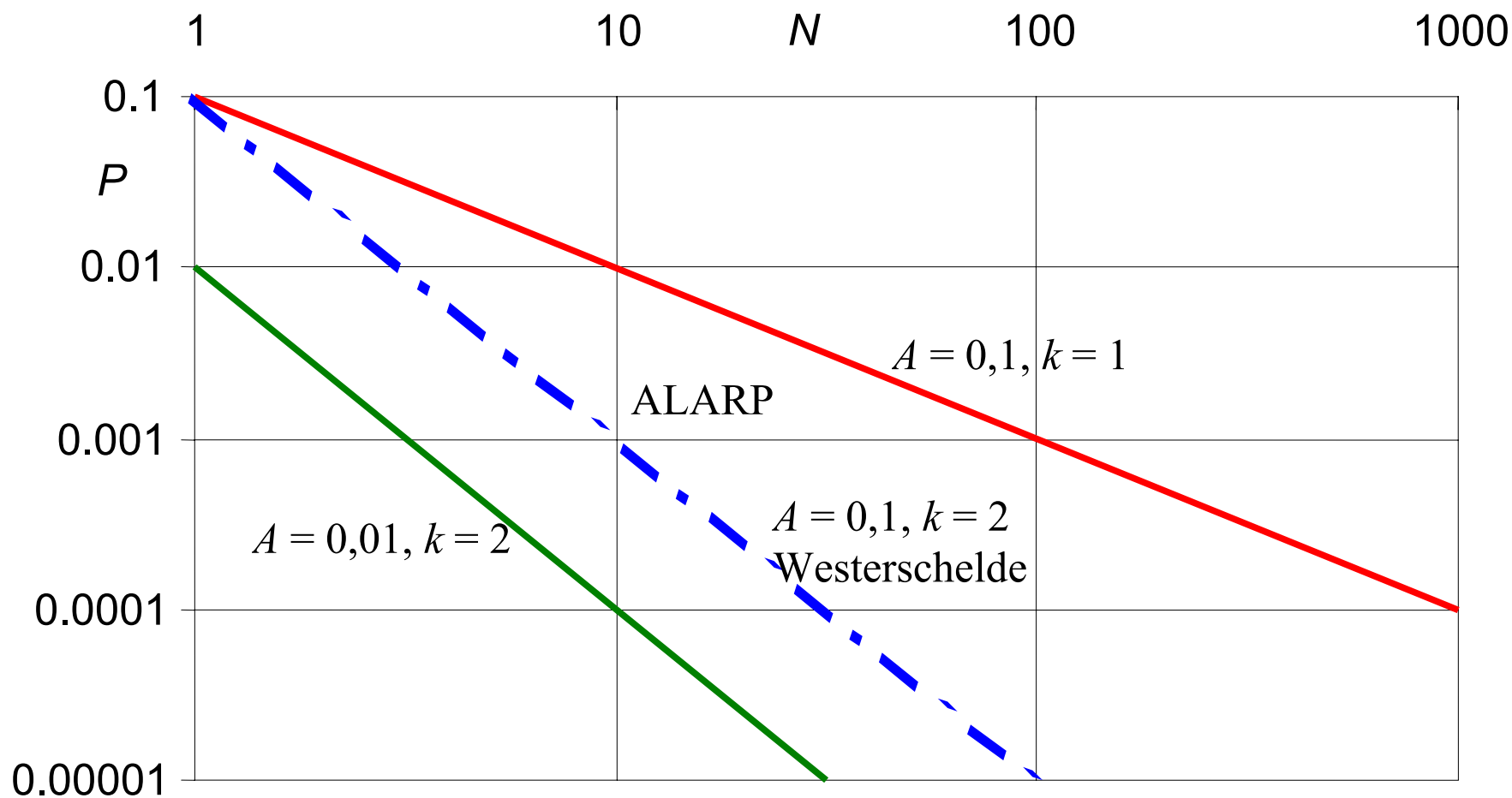
Počet smrtelných úrazů za rok

Strahovský Tunel, MO Praha

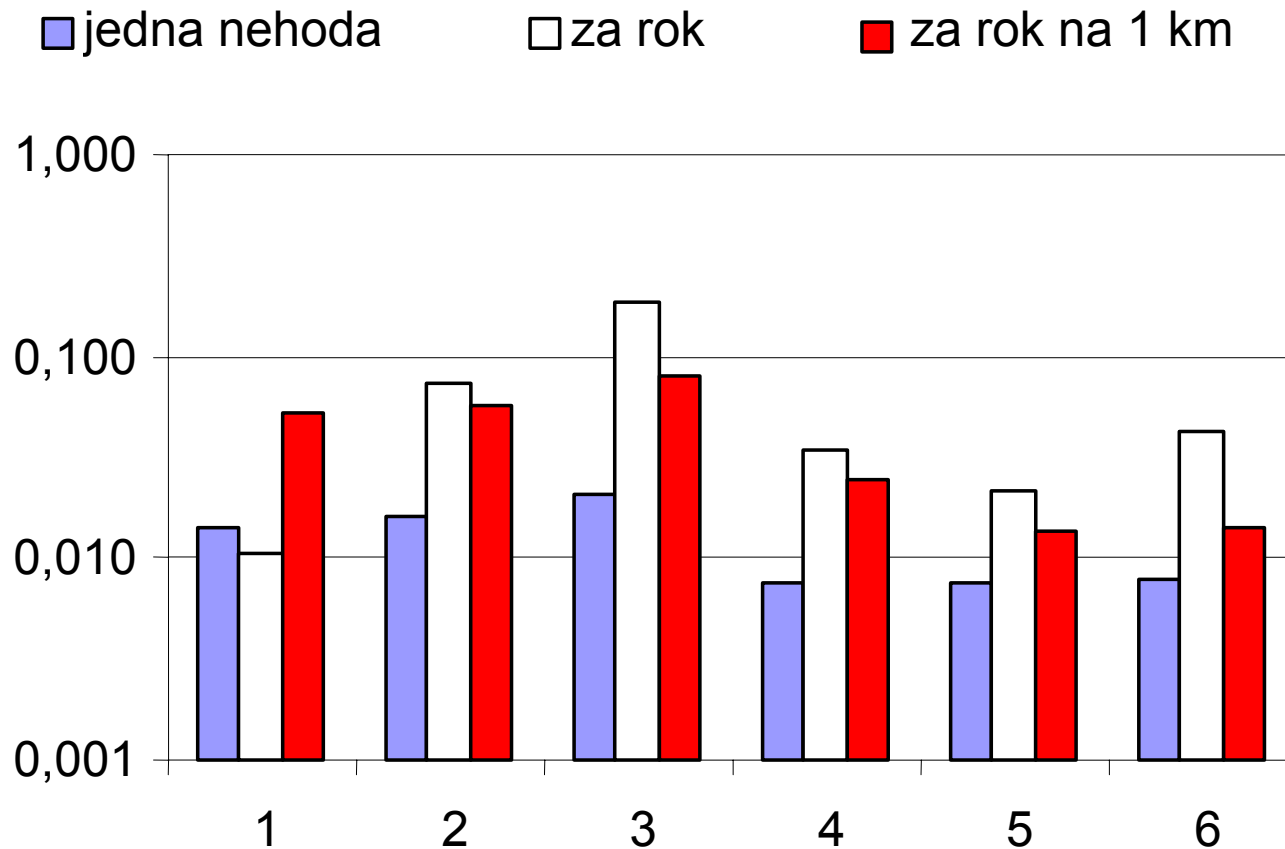


Kriteria přijatelných rizik

$P(R > N) < A N^{-k}$ při jedné nehodě (za rok)

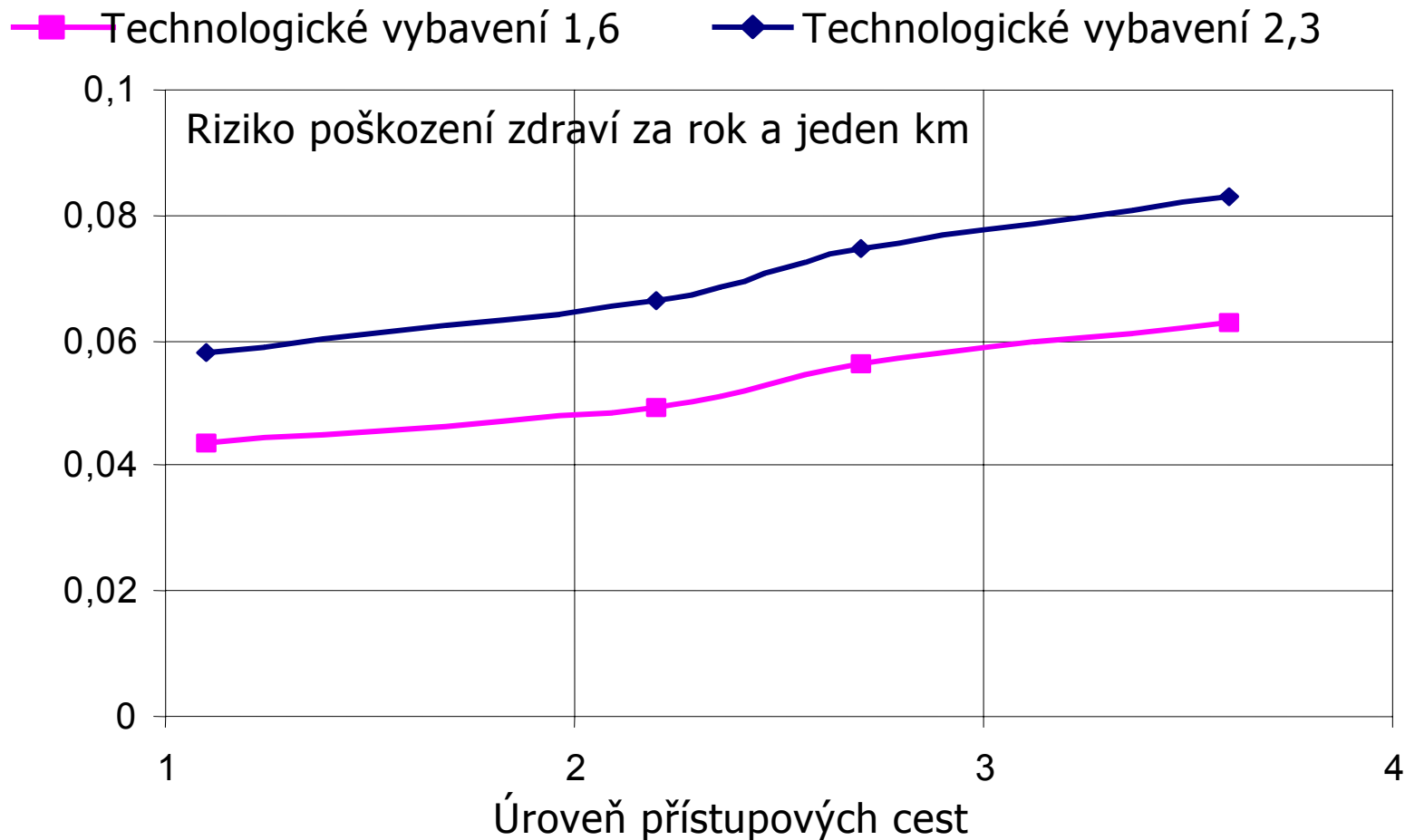


Sociální rizika tunelů, při jedné nehodě, za rok a za rok na 1 km.

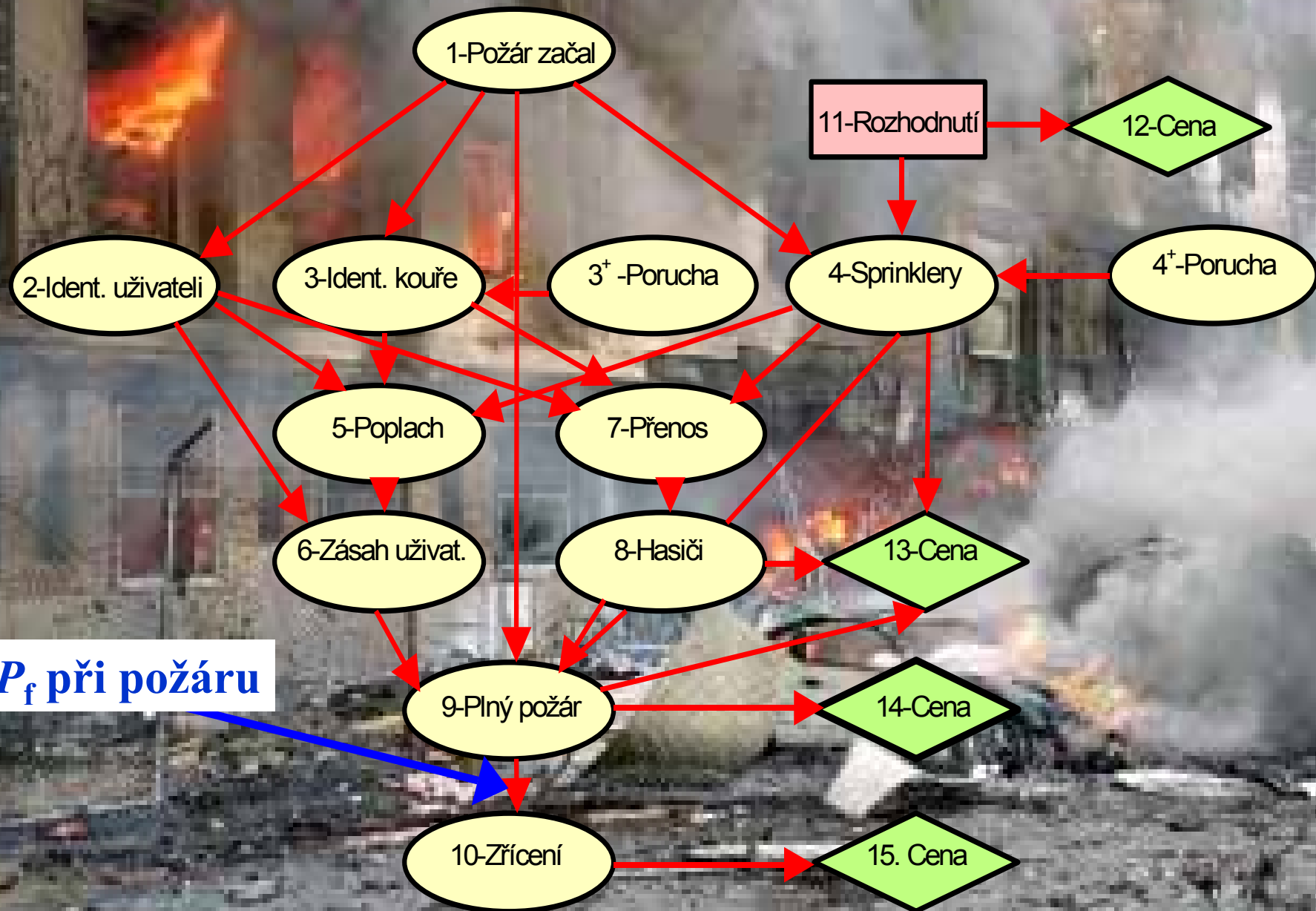


Sociální rizika tunelu 3 – Strahov

možnost dalšího snížení rizik



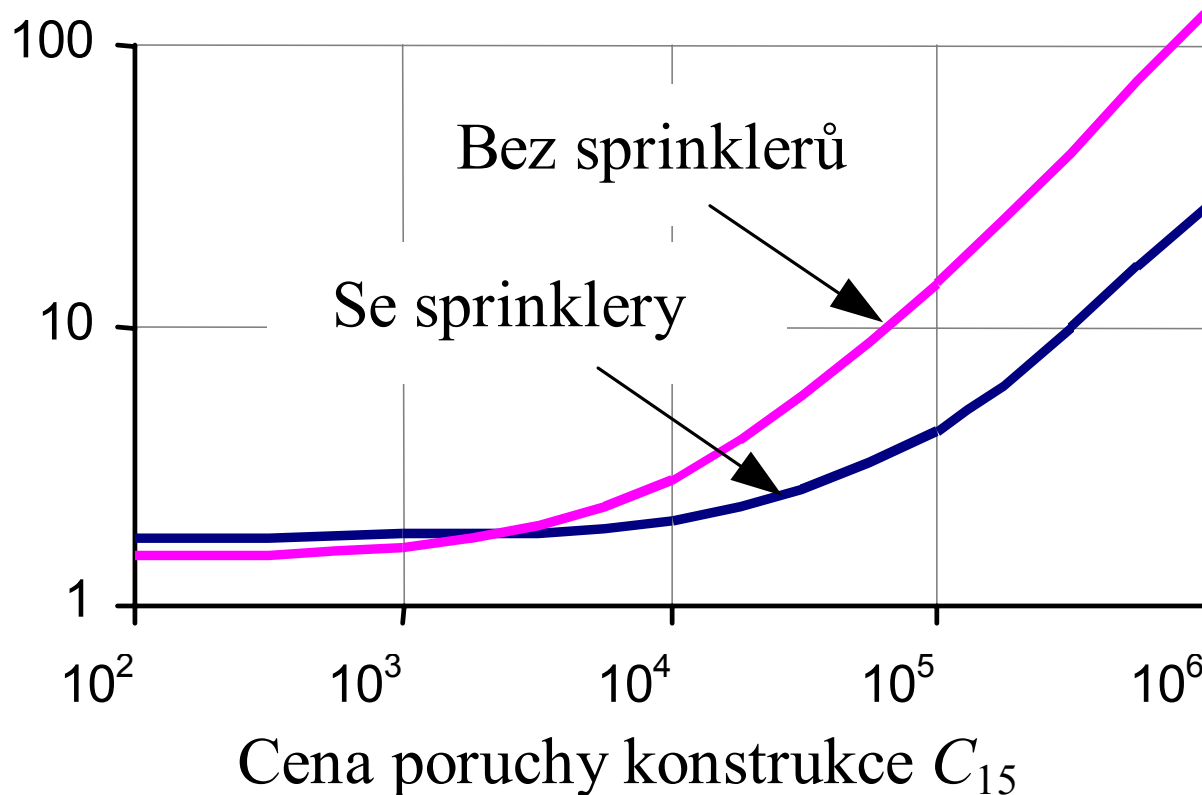
Rozbor rizik při požáru



Analýza sítě a stanovení rizik

$$B = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}, \quad P(B) = \prod_i P(A_i | \text{parents}\{A_i\})$$

Očekávané náklady $C_{\text{tot}} = C_{12} + C_{13} + P_{\text{fi}}C_{14} + P_{\text{f}}C_{15}$



Náklady na ochranu života

Společenské kritérium

$$w e dg + g (1 - w) de \geq 0$$

g - roční příjem, e - očekávaná délka života, w - podíl e na práci
= optimální náklady, \geq neefektivní, $<$ nepřijatelné

Implied Cost of Averting a Fatality (ICAF)

$$ICAF(\Delta e) = -\Delta g \Delta e = g \left[1 - \left(1 + \frac{\Delta e}{e} \right)^{1-\frac{1}{w}} \right] \Delta e$$

Cena ochrany jednoho života

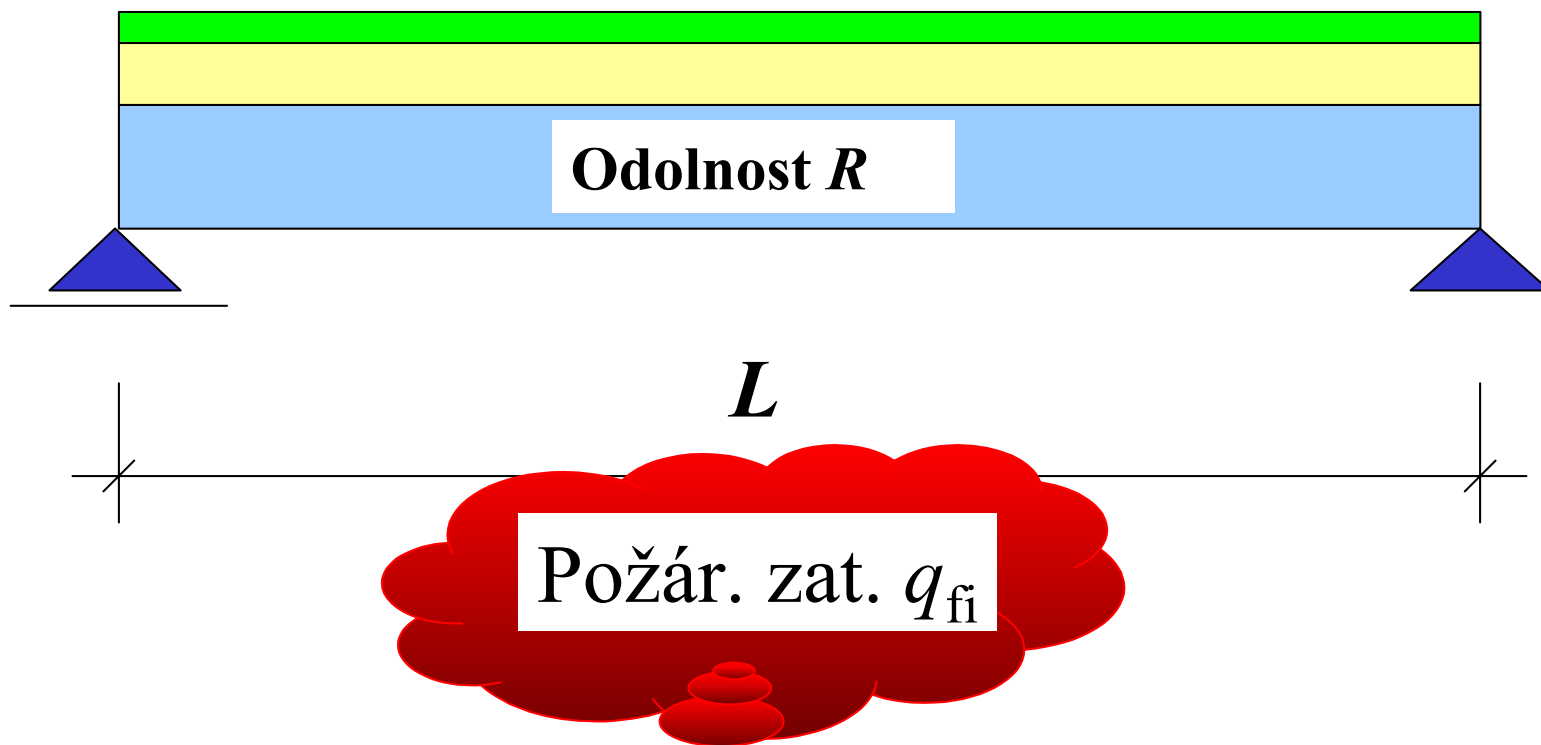
(Implied **C**ost of **A**verting a **F**atality - **ICAF**)

Země	g- roční příjem	e- délka života	2 w-podíl e na práci	ICAF(e) [× 10 ⁶]
US	34000	77	0.15	2.6
Japan	26000	81	0.15	2.1
Germany	25000	77	0.125	1.9
UK	22000	77	0.125	1.7
Czech Republic	8000	75	0.15	0.6
Mexico	8800	72	0.15	0.6
South Africa	9100	55	0.15	0.5
Colombia	5900	70	0.15	0.4
China	3900	70	0.15	0.3
India	2400	63	0.15	0.1
Nigeria	800	47	0.18	0.04

Finanční údaje v PPP US\$ (1999); Data: UN-HDR 2001, Worldbank

Nebezpečná (mimořádná návrhová) situace při požáru

$G + Q$



$$t_d > t_{d,regu}, E_d < R_d, \Theta_d < \Theta_{cr,d} \mid \text{požár}$$

Trvalá a mimořádná situace

H_1 - trvalá situace $\propto E_{11}$ - porucha použitelnosti

$\propto E_{12}$ - porucha únosnosti

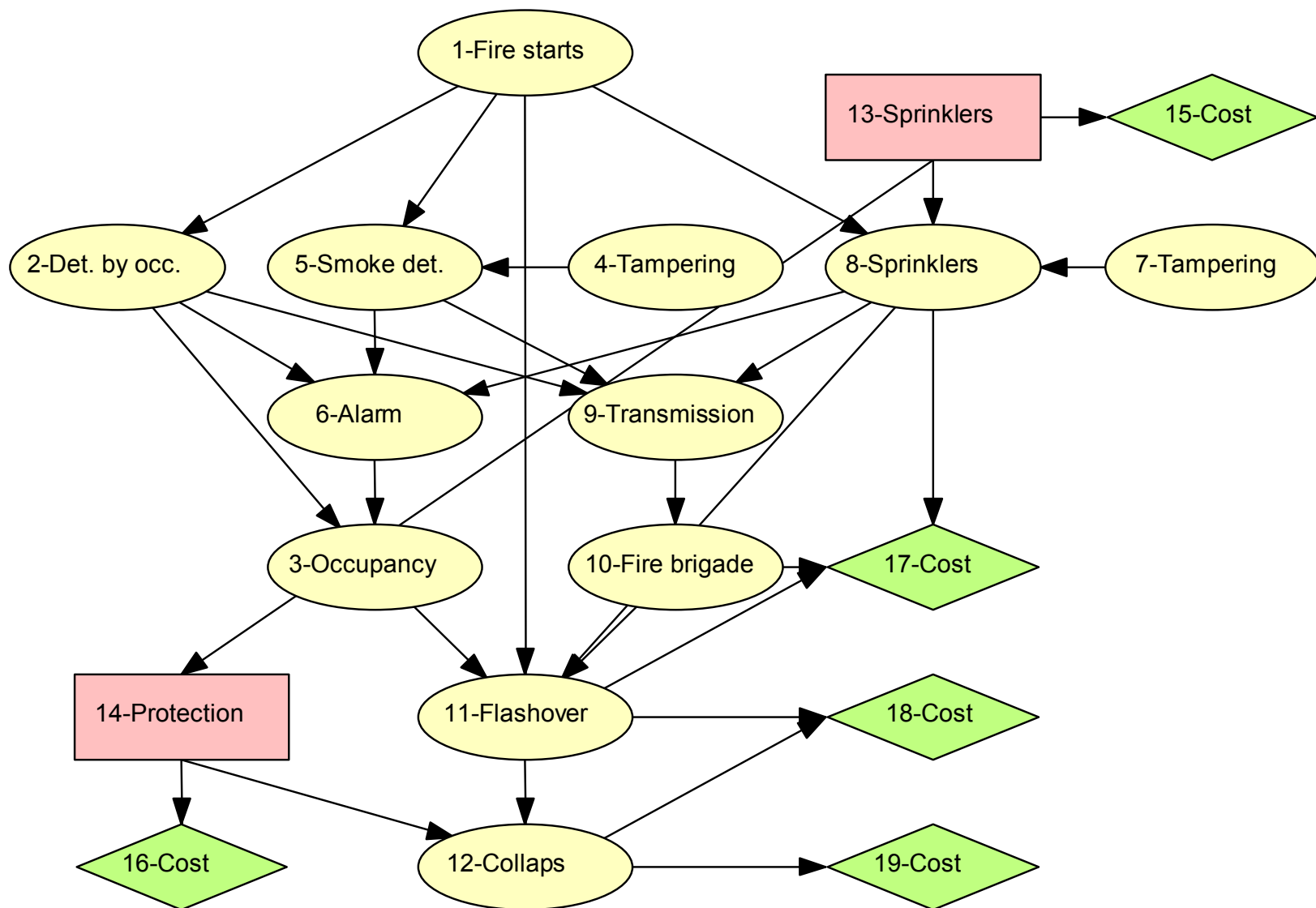
H_2 - požár $\propto E_{21}$ - aktivace trysek

$\propto E_{22}$ - činnost hasičů

$\propto E_{23}$ - rozšíření požáru

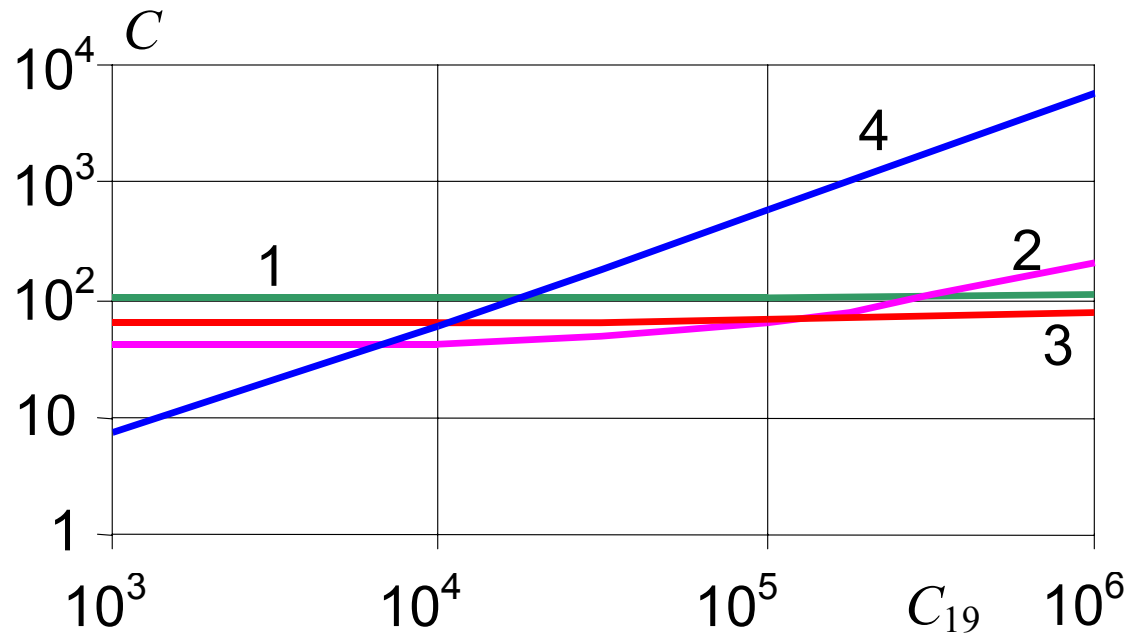
$\propto E_{24}$ - zřícení konstrukce

Bayesovské sítě



Celkové riziko

$$C = C_{15}(E_{13})P\{E_{13}\} + C_{16}(E_{14})P\{E_{14}\} + C_{17}(E_8, E_{10}, E_{11})P\{E_8, E_{10}, E_{11}\} + \\ + C_{18}(E_{11}, E_{12})P\{E_{11}, E_{12}\} + C_{19}(E_{12})P\{E_{12}\}$$



1-sprchy a ochrana konstrukce, 2-sprchy bez ochrany,
3-ochrana bez sprch, 4-ani sprchy ani ochrana

Závěrečné poznámky

- Klasické pravděpodobnostní metody přihlížejí pouze k pravděpodobnostem nepříznivých jevů
- Metody rizikového inženýrství přihlížejí rovněž k následkům nepříznivých jevů
- Pravděpodobnostní postupy se postupně doplňují o rozbor očekávaných rizik
- Veřejnost lépe přijímá nezbytná rizika než pravděpodobnosti nepříznivých jevů a poruch
- Praktické uplatnění vyžaduje výstižné modely systémů, vstupní podmíněné pravděpodobnosti, informace o dílčích následcích, kritéria rizik