

MOŽNOSTI POUŽITÍ METODY DÍLČÍCH SOUČINITELŮ VE VODNÍM HOSPODÁŘSTVÍ

Jaromír Říha

Obsah

- **Motivace**
- **Posuzování konstrukcí, objektů ve vodním hospodářství (VH)**
- **Postupy hodnocení bezpečnosti, spolehlivosti**
 - deterministicky, intuitivně, na základě dohody
 - pomocí stupně bezpečnosti (SF)
 - pomocí metody dílčích součinitelů (MDS)
- **Aplikace metody dílčích součinitelů ve VH**
- **Závěr**

Motivace

- **Ve vodním hospodářství**
 - Vstupy jsou náhodnými veličinami
 - Jak zahrnout nejistoty vstupující do řešení / hodnocení?
- **Rozšíření principu metody dílčích součinitelů na širší VH problematiku**
- **Lze využít obecný návod pro hodnocení? Formalizovanější přístup**
- **Umožnit diferencovaný přístup hodnocení**
- **Jak zahrnout zkušenosti z provozu**
 - z povodňových situací
 - konkrétních VD (např. TBD)

Stav v hodnocení VD v ČR/zahraníčí

- Řada předpisů s různou mírou provázanosti
- **Technické normy – bezpečnost VD:**
 - většina podporuje aplikaci metody dílčích součinitelů (MDS)
 - ISO normy, Eurokódy a normy vydané od cca poloviny 90. let 20. stol.
 - některé normy podporují i posuzování pomocí stupně bezpečnosti (SF)
 - ČSN 75 2310 Sypané hráze (MDS, SF), ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže (MDS, SF)
 - řada norem neuvádí způsob posuzování
 - TNV 75 2303 Jezy a stupně, TNV 75 2415 Suché nádrže
- **Role posuzovatele – autorizované osoby**
 - Zodpovědnost přenesena na autorizovanou osobu
 - Argumentace – podklady, použité metody, interpretace výsledků

Posuzování konstrukcí

- Zjednodušeně:

$$\text{Zatížení} < \text{Odolnost}$$

-
- Deterministický způsob – inženýrský přístup

- Stupně bezpečnosti SF (zažitý způsob) $SF = \frac{R_k}{E_k} \leq SF_{lim}$

- Spolehlivostní hodnocení (aktuálně preferovaný přístup)

- Plně pravděpodobnostní metody => pravděpodobnost poruchy $p_f \leq p_{připustná}$
- Metoda dílčích součinitelů (MDS)

$$E_d \leq R_d$$

$$\gamma_1 \gamma_E E_k \leq \gamma_R R_k$$

Prosté posouzení

- **Základní princip**

- všechny veličiny (zatížení, materiálové vlastnosti, rozměry) voleny „na stranu bezpečnosti“
- Podkladem jsou dostupné podklady, zkušenost, inženýrský cit
- Dosazené hodnoty jsou již „návrhové“

- **Musí se ověřit:**

$$\text{Zatížení} \leq \text{Odolnost}$$

- **Příklady:**

$$KMH \leq MBH$$

- **Problém**

- Obtížná kvantifikace míry předimenzování
- Mnohdy **neefektivní / nedostatečně** spolehlivý návrh

Stupeň bezpečnosti

- **Základní princip**

- všechny veličiny (zatížení, materiálové vlastnosti, rozměry) jsou zastoupeny charakteristickou hodnotou (index k)

- **Rezerva spolehlivosti - splnění předepsané hodnoty SF**

- **Účinek zatížení E_k**

- **Odolnost konstrukce R_k**

$$SF = \frac{R_k}{E_k} \leq SF_{lim}$$

- **Problém**

- Nemožnost diferenciacie jednotlivých nejistot
- Obtížně lze zahrnout význam objektu, vliv zpřesněných vstupů, ...
- Předepsané SF_{lim} ve většině případů nejsou vázány na nejistoty

Požadované SF pro sypané hráze ČSN 75 2310

Posouzení	Zatěžovací stav		SF	Poznámka
Stabilita svahů	A. Během výstavby	Pro vypočtené pórové tlaky Pro měřené pórové tlaky	1,2 1,1	Pro stacionární filtrační proudění ¹⁾
	B. Po dokončení výstavby	a) Nádrž plná - pro vypočtené pórové tlaky - pro měřené pórové tlaky	1,5 1,3	
		b) Nádrž částečně plná c) Nádrž plná	1,5 ⁴⁾ 1,5 ⁴⁾	
		Náhlý pokles hladiny v nádrži	d) z maximální na kritickou ³⁾ e) podle manipulačního řádu	1,1 1,5 ⁴⁾ 2)
	C. Zemětřesení do 8° MSK 64 včetně		1,0	Platí pro všechny zatěžovací stavy mimo náhlý pokles hladiny
Posunutí	D. Po dokončení výstavby při maximální hladině vody v nádrži a minimální hladině vody pod hrází.		1,5	5)

1) U jednoúčelových retenčních nádrží lze připustit předpoklad, že k ustálenému průsaku dojde při hladině nižší než maximální.

2) Pro vzdušní svah je nutno stanovit SF pro náhlý pokles dolní vody na minimální hladinu při maximální hladině v nádrži, pokud tento zatěžovací stav má prakticky nastat.

3) Kritickou hladinou se rozumí hladina, pro kterou je stupeň bezpečnosti na vyšetřované smykové ploše minimální.

4) Pro smykové plochy, procházející pouze propustnými štěrky nebo kamenitou sypaninou, je možno stupeň bezpečnosti snížit až na 1,2.

5) Vyšetřuje se obvykle jen u kamenitých hrází se středním těsněním.

Obečně k posuzování - MDS

- **Charakteristická hodnota E_k , R_k**
 - z normy
 - statistickým zpracováním dostupných dat (např. 95% záruka)
- **Reprezentativní hodnota**
 - součinitel kombinace podle doby trvání zatížení ψ (ve vztahu k referenční době)
- **Návrhové hodnoty – dílčí součinitele γ - nejistoty**
 - reprezentativních hodnot
 - modelů zatížení a účinků zatížení
 - materiálových vlastností
 - modelů odolnosti konstrukce
 - význam konstrukce – aplikuje se na destabilizujících zatížení

Metoda dílčích součinitelů - obecně

- **Základní princip**

- všechny veličiny (zatížení, materiálové vlastnosti, rozměry) jsou zastoupeny charakteristickou hodnotou
- z ní se stanoví hodnota reprezentativní a návrhová

- **Účinek zatížení**

- vstupní veličiny -> model zatížení -> zatížení F -> model konstrukce -> účinky zatížení E

- **Odolnost konstrukce**

- materiálové vlastnosti X -> model odolnosti -> odolnost konstrukce R

- **Musí se ověřit, že účinky návrhových zatížení nepřekročí:**

- návrhovou odolnost konstrukce v MS únosnosti
- provozní kritéria pro MS použitelnosti

$$E_d \leq R_d$$

$$\gamma_1 \gamma_E E_k \leq \gamma_R R_k$$

Model zatížení a účinků zatížení - příklad

- **Hydrostatický tlak**

- Vstupní hodnoty:

- ρ (hustota), g (gravitační zrychlení), h (hloubka vody)

- Model zatížení:

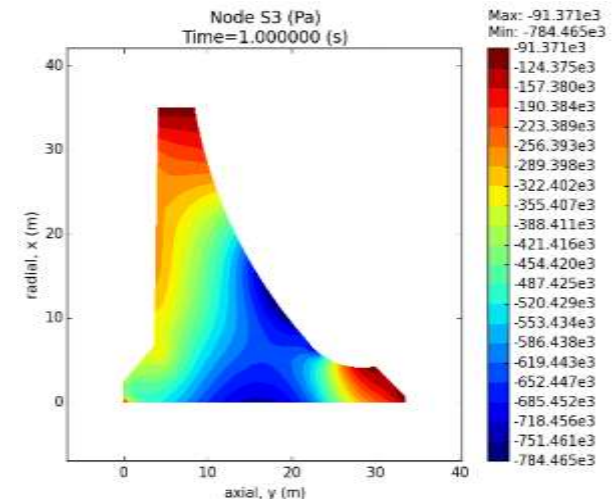
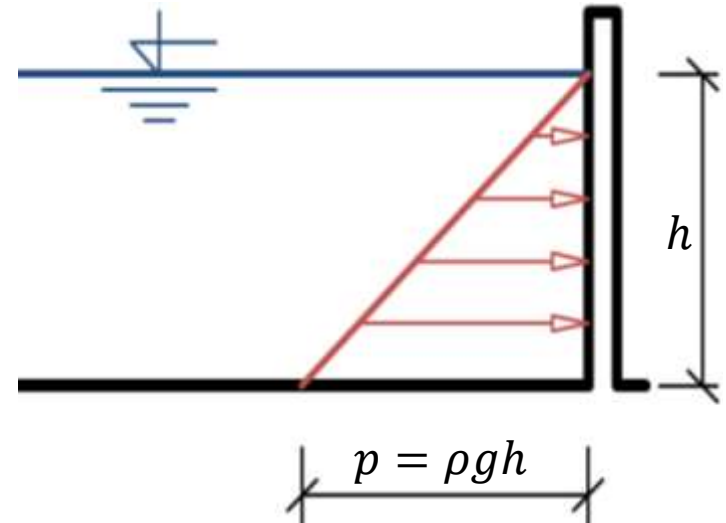
- $p = \rho gh$ (tlak na povrchu konstrukce)

- Model konstrukce + analýza konstrukce:

- zatížení \rightarrow účinky zatížení

- Účinky zatížení:

- napětí v materiálu konstrukce σ
- napětí v základové spáře

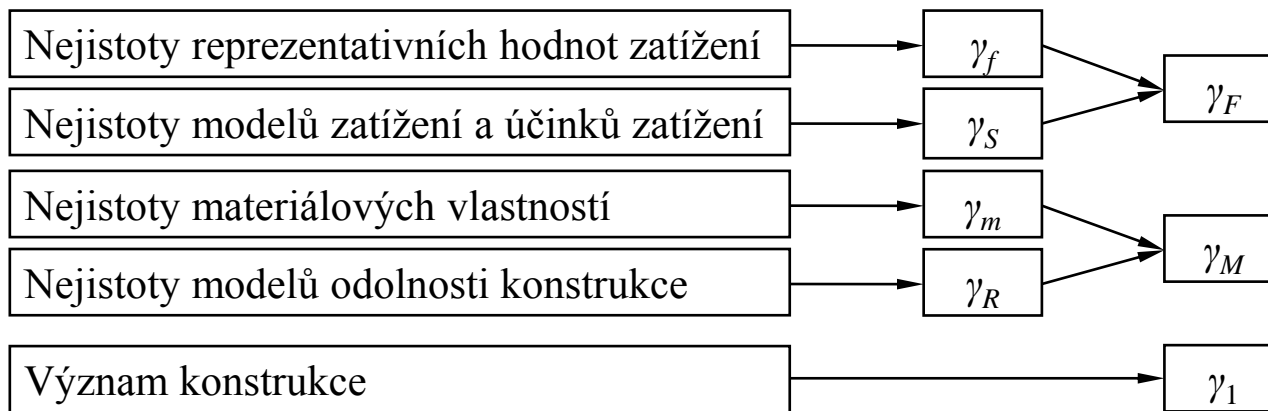
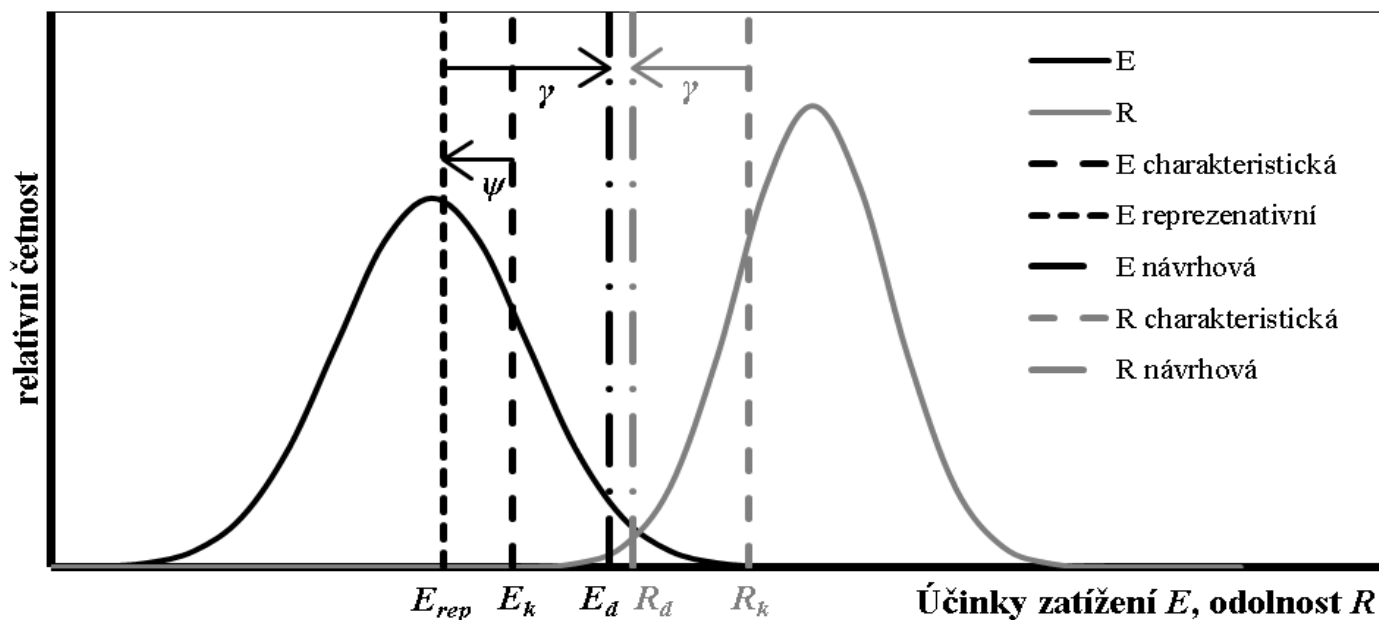


Model zatížení a účinků zatížení - příklad

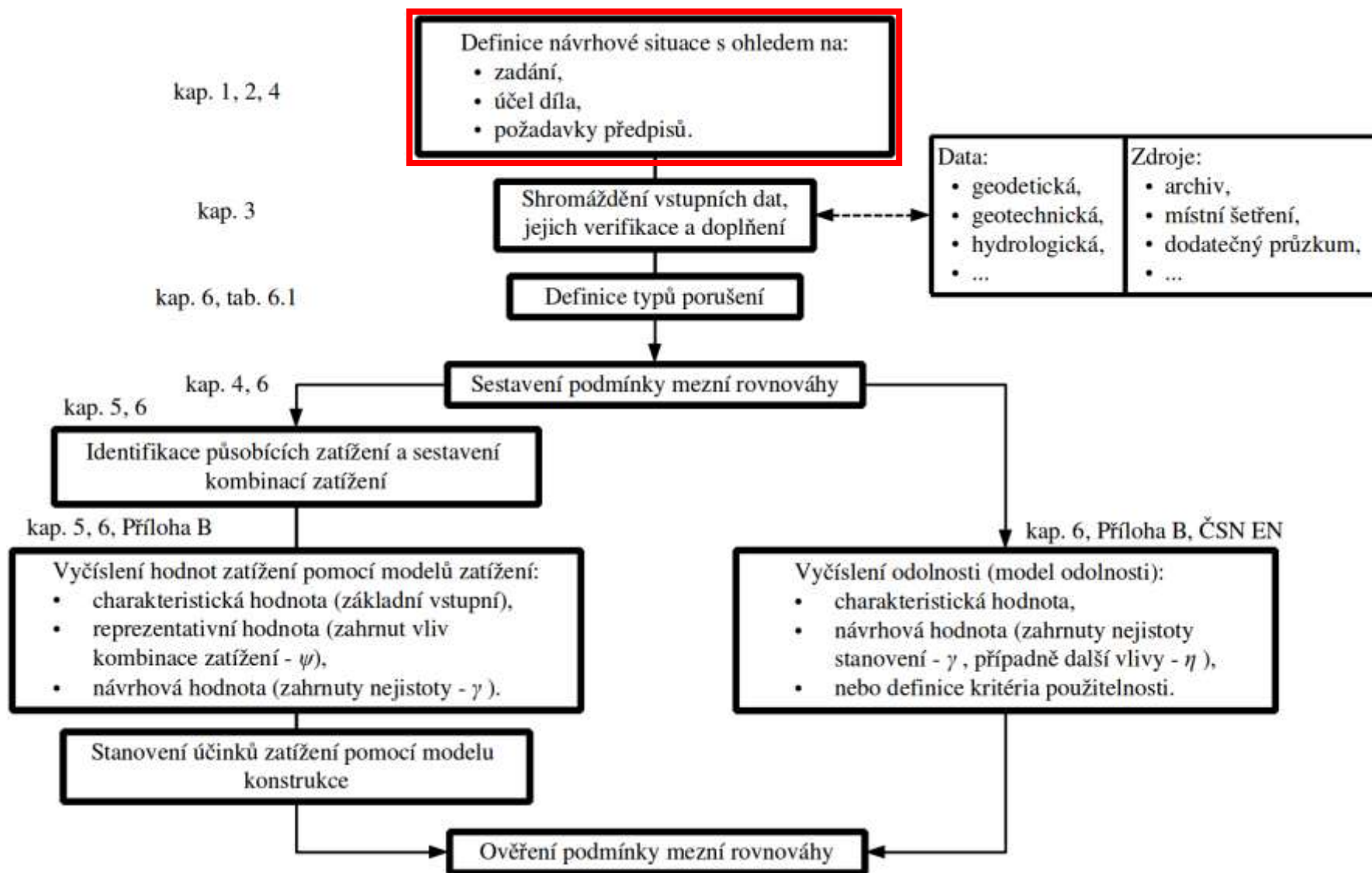
- **Návrh ochranné hráze – hydraulický návrh**

- Návrhová povodeň:
 - Návrhový průtok
 - Doba opakování
 - Doba trvání
- Model zatížení:
 - hydraulický model
 - 1D, 2D, geodetická data,
 - hydraulické charakteristiky
- Účinky zatížení:
 - Poloha hladiny
 - Výška vln
 - Vymílací schopnost

Obečně k posuzování - MDS



Obecný postup hodnocení



Návrhové situace

- Trvalé návrhové situace - běžné používání



- Dočasné návrhové situace

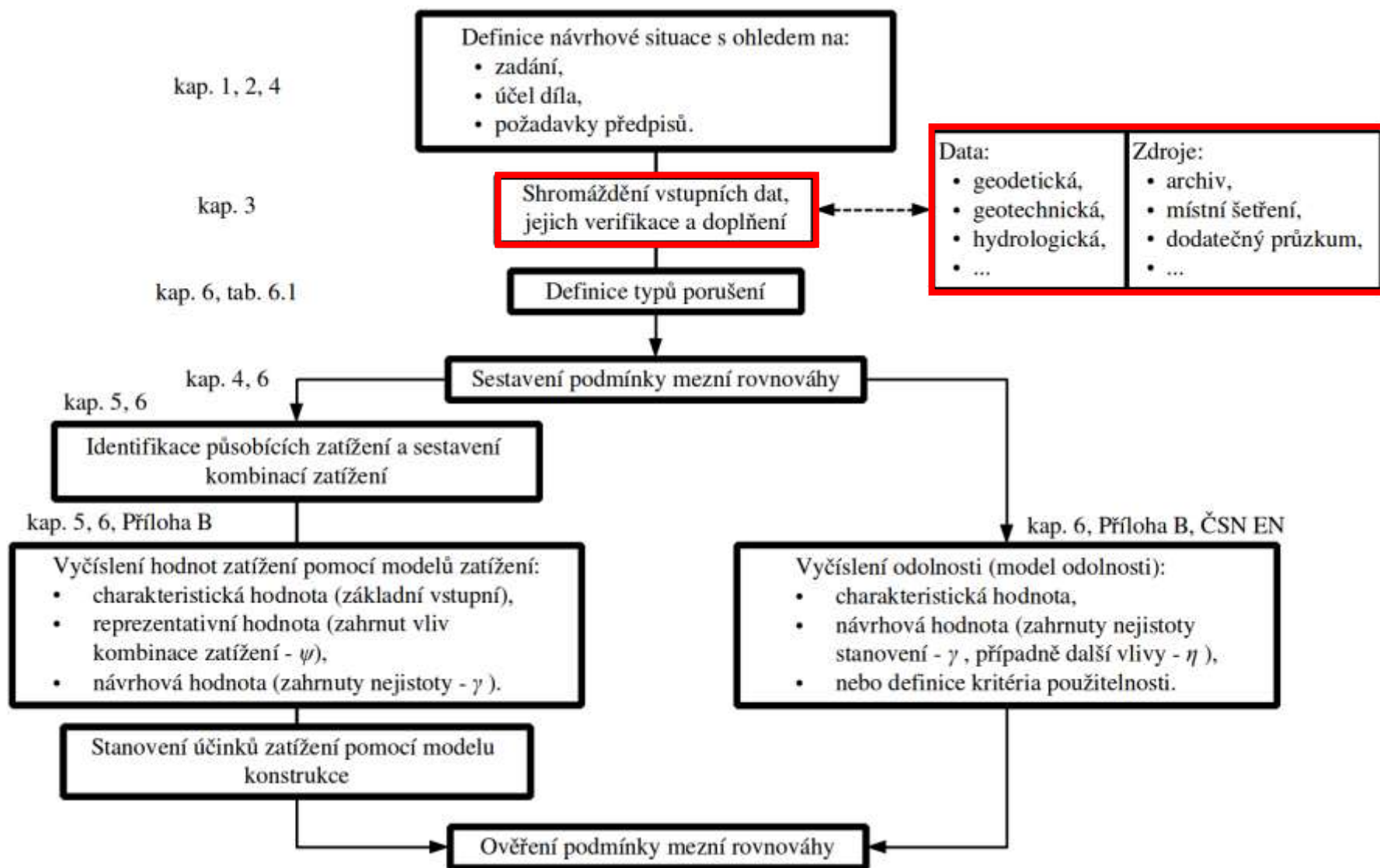


- Mimořádné návrhové situace

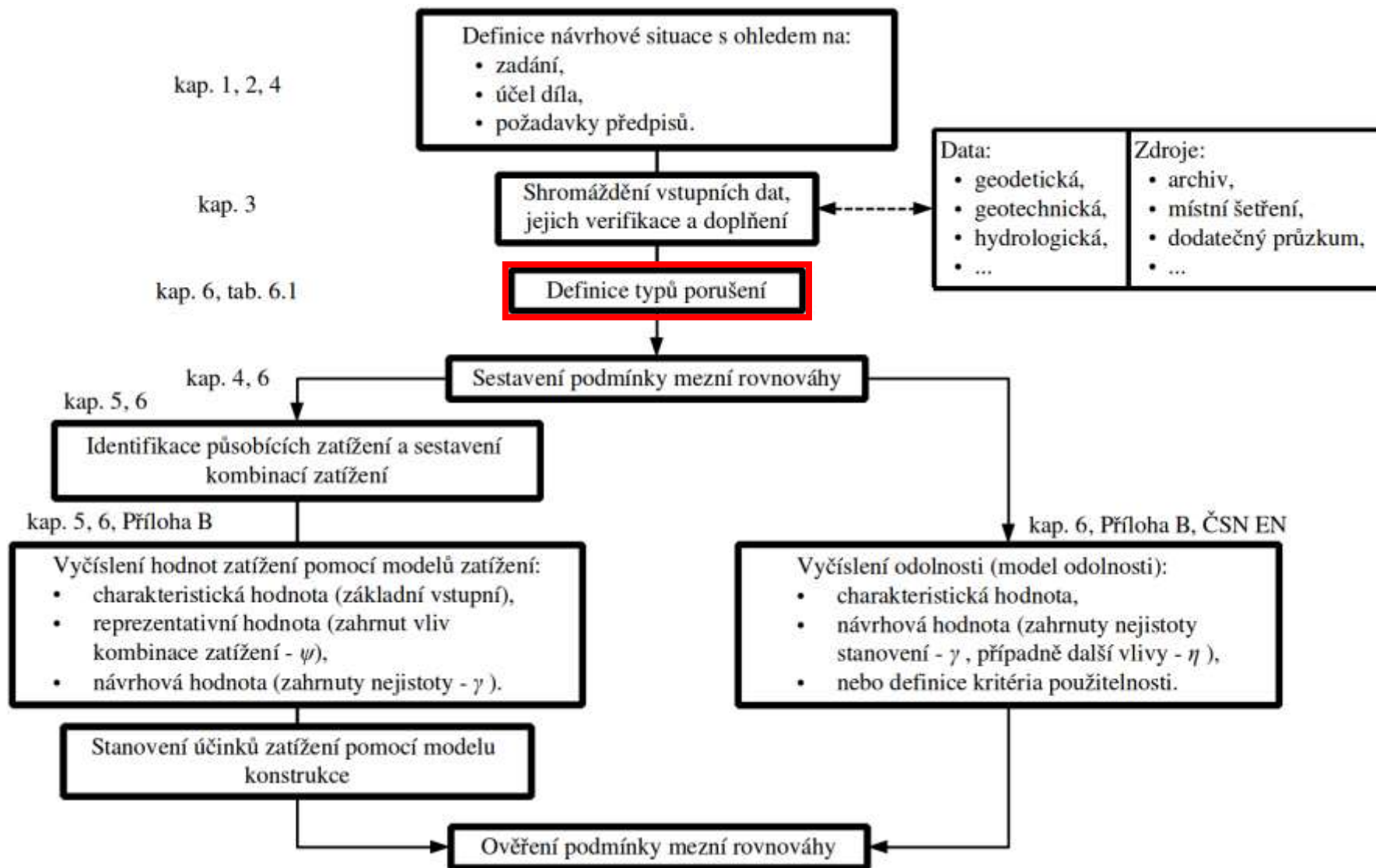


- Seizmické návrhové situace

Obecný postup hodnocení



Obecný postup hodnocení



Typy porušení

- **Scénáře porušení**

- databáze poruch
- dosavadní zkušenosti
- teoretický popis jevů



- **Možné důsledky pro dílo**

- globální porucha
- lokální porucha
- omezení použitelnosti

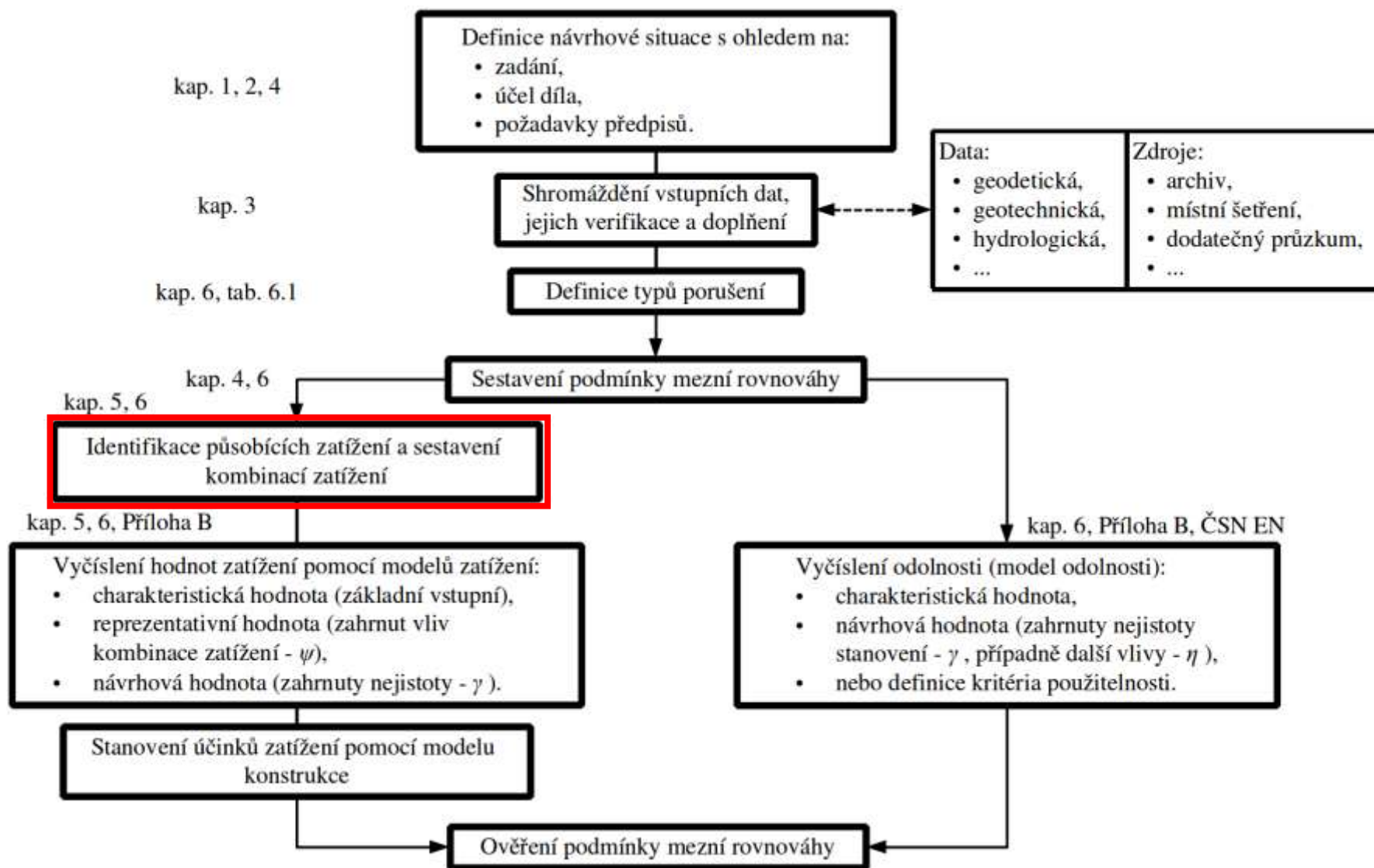


Mezní stavy - příklad

- Překročen MS použitelnosti
- Překročen MS únosnosti



Obecný postup hodnocení



Zatížení - druhy

- **Tradičně - ČSN EN 1990 - klasifikace na:**

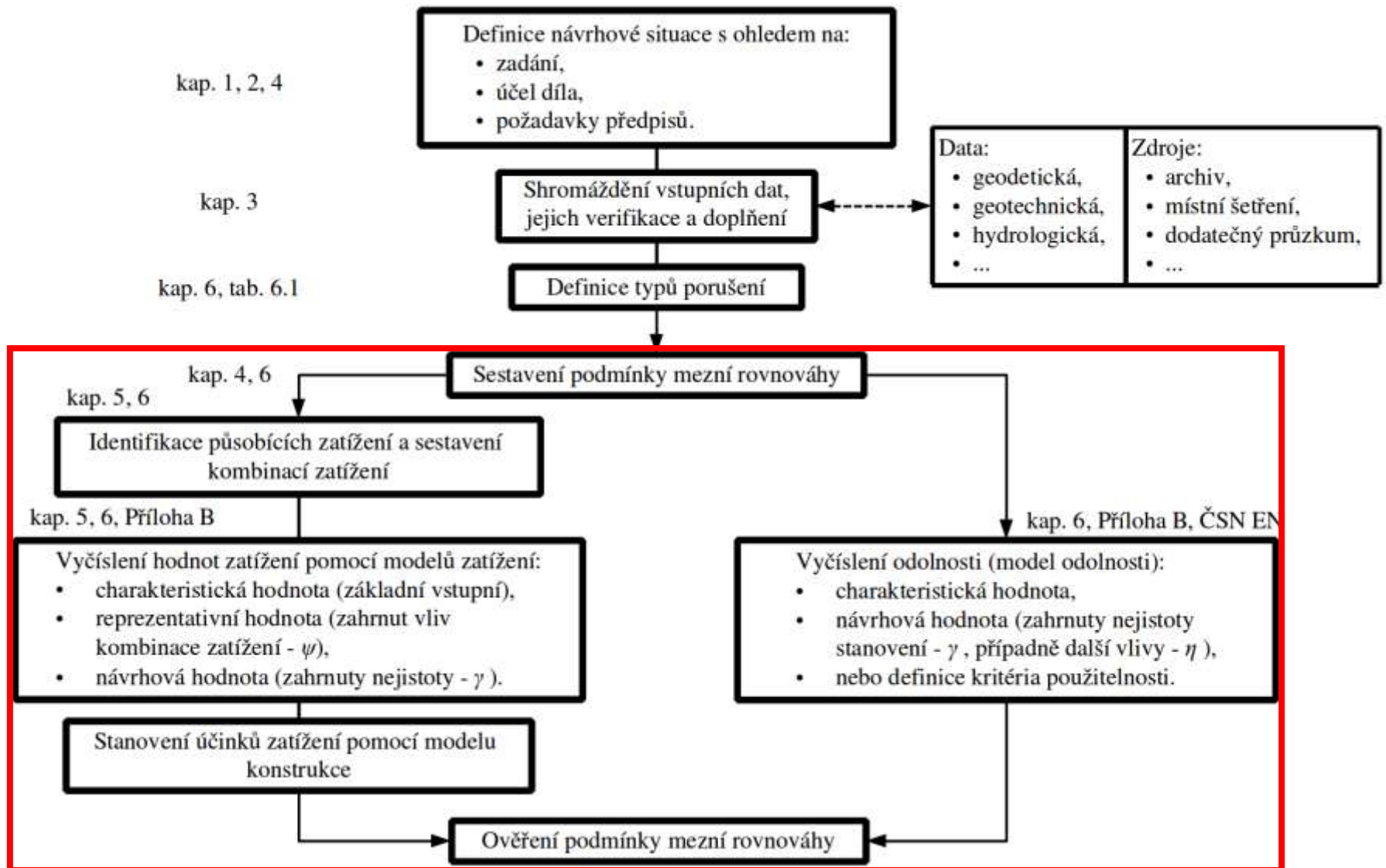
- **stálá zatížení (G)** - vlastní tíha konstrukcí, pevné vybavení, smršťování,
- **proměnná zatížení (Q)** vodou, větrem, ledem, působením vln apod.
 - **hlavní** (dominantně ovlivňují výsledný návrh)
 - **vedlejší**
- **mimořádná zatížení (A)** - výbuchy, nárazy předmětů, seizmická zatížení

- **Obecně zatížení**

- x Odolnost :**

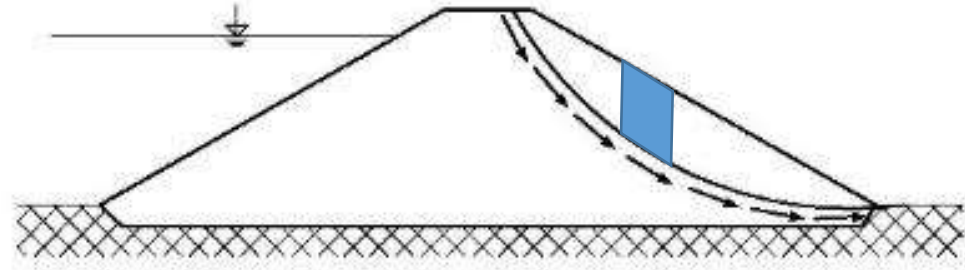
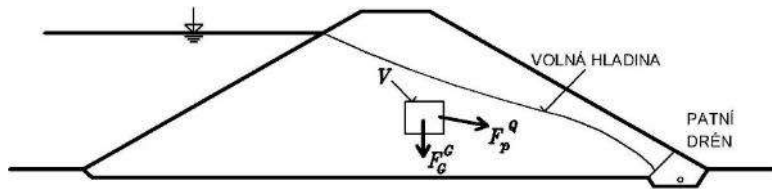
- **Zatížení při povodňových situacích** x **Míra ochrany**
- **Dodávka vody** x **Kapacita zdrojů**
- ...

Obecný postup hodnocení



Usmýknutí – smyková plocha (zemní hráz)

- Popis zatížení**



- Posouzení SF (proužková metoda)**

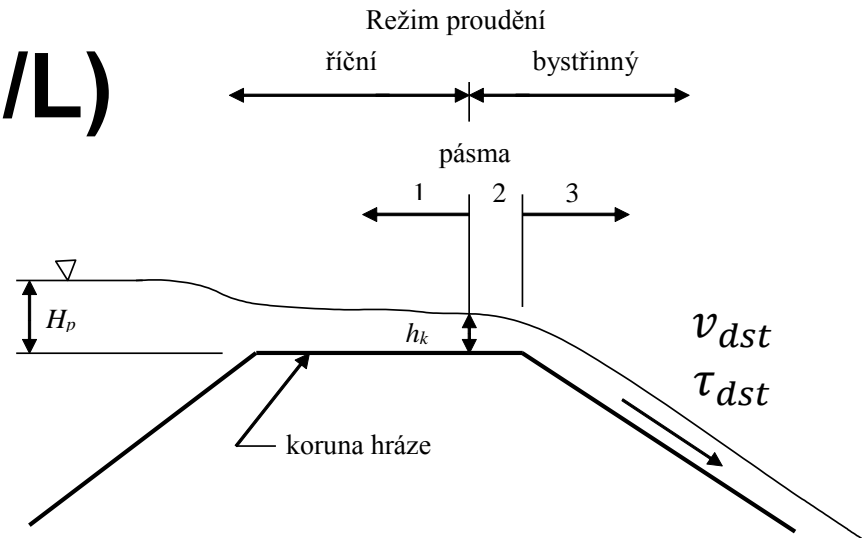
$$SF = \frac{\sum_{i=1}^n [(F_{G,k,i}^G \cos \alpha_i - p_{vz,k,i} \Delta l_i) \operatorname{tg} \varphi'_{k,i} + c'_{k,i} \Delta l_i]}{\sum_{i=1}^n F_{G,k,i}^G \sin \alpha_i}$$

- Posouzení MDS (proužková metoda)**

$$\begin{aligned} \gamma_1 \sum_{i=1}^n (\gamma_{G,i} F_{G,k,i}^G + \gamma_{Q,i} \Psi F_{k,i}^Q) \sin \alpha_i &\leq \\ &\leq \frac{1}{\gamma_R} \sum_{i=1}^n \left\{ [(\gamma_{G,i} F_{G,k,i}^G + \gamma_{Q,i} \Psi F_{k,i}^Q) \cos \alpha_i - \gamma_{fvz,i} p_{vz,k,i} \Delta l_i] \frac{\operatorname{tg} \varphi'_{k,i}}{\gamma_{m,\varphi,i}} + \Delta l_i \frac{c'_{k,i}}{\gamma_{m,c,i}} \right\} \end{aligned}$$

Povrchová eroze (G/L)

- **Popis zatížení**



- **Posouzení SF**

- běžně se neprovádí, v technických normách nejsou specifikovány požadavky na hodnotu SF

- **Posouzení MDS**

- vyjádření pomocí tečných napětí

$$\gamma_1 \gamma_\tau \tau_{dst,k}^Q \leq \frac{\tau_{K,k}}{\gamma_{M,\tau}}$$

- vyjádření pomocí nevymílacích rychlostí

$$\gamma_1 \gamma_{fv} v_{dst,k}^Q \leq \frac{v_{K,k}}{\gamma_{M,v}}$$

Ochranná hráz

- Popis zatížení - poloha hladiny
- Odolnost - poloha koruny OH
- Tradičně: $\text{Kóta hladiny} \leq \text{Kóta koruny hráze} + \text{rezerva}$
 - Rezerva - nejistoty:
 - Q_N , hydraulický model, účinek vln, sedání koruny hráze, ...
- Posouzení MDS – nejistoty v dílčích součinitelích

$$\gamma_1(\gamma_M \gamma_Q K_{H,k}^Q + \gamma_W H_{W,k}^Q) \leq \gamma_{OH} K_{OH,k}^Q$$

Závěr, diskuze

- **Metoda dílčích součinitelů MDS**
 - V případě bezpečnosti VD má oporu ve stávajících předpisech
 - Je využitelná i pro ostatní případy navrhování, posuzování, ...
 - Zavádí formalizovanější postup
 - Umožňuje diferencovat jednotlivé nejistoty
 - Umožňuje zohlednit zkušenosti z chování díla – úprava dílčích součinitelů (materiálové vlastnosti, výstižnější modely chování, ...)

Děkuji za pozornost