

Nebezpečí filtračních deformací u staveb na vodních tocích

Mario Hala, Jaromir Říha

Ústav vodních staveb

FAST VUT v Brně

OBSAH:

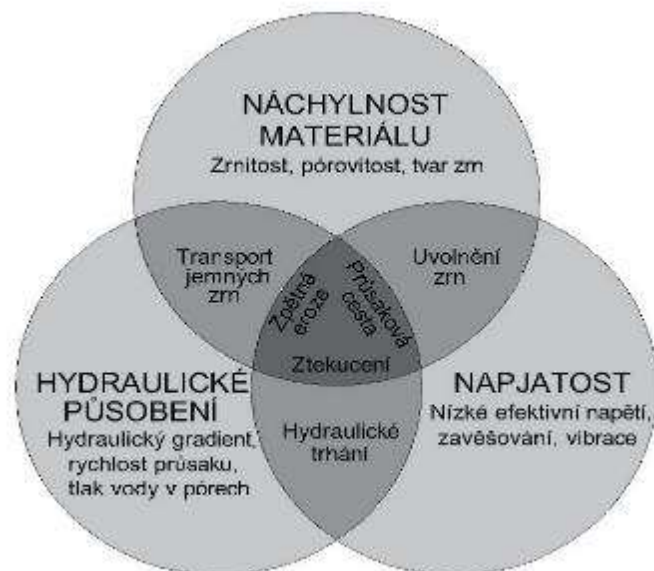
- **1. Úvod do problematiky**
- **2. Filtrační deformace v podloží a tělesech hrází**
 - typy
 - místa vzniku
- **3. Způsob posuzování, kritéria**
- **4. Příklady ze zahraničí a z České republiky**

Úvod do problematiky

- **40 % všech poruch zemních hrází je způsobeno filtračními deformacemi**
- **Výskyt**
 - **Ochranné hráze na vodních tocích**
 - **Stavby přehradního typu**
 - **Objekty na tocích – jezy, VE, PK**
- **Charakter „skryté poruchy“ – věnována menší pozornost oproti hrozbě přelití**

Filtrační deformace

- Děj, při kterém dochází ke změně struktury a vlastností zeminy v prostoru a v čase způsobené prosakující vodou.
- **Dochází ke změnám granulometrického složení zeminy, pórovitosti, propustnosti, objemové tíhy, případně k porušení celistvosti zeminy.**
- **Počátek i průběh těchto dějů jsou ovlivněny:**
 - napjatostí v zemině - ovlivnění smykové, popř. tahové pevnosti,
 - náchylností materiálu - vlastnosti materiálu (zrnitost, plasticita),
 - hydraulickým působením - zatížení vodou (gradient tlaku).



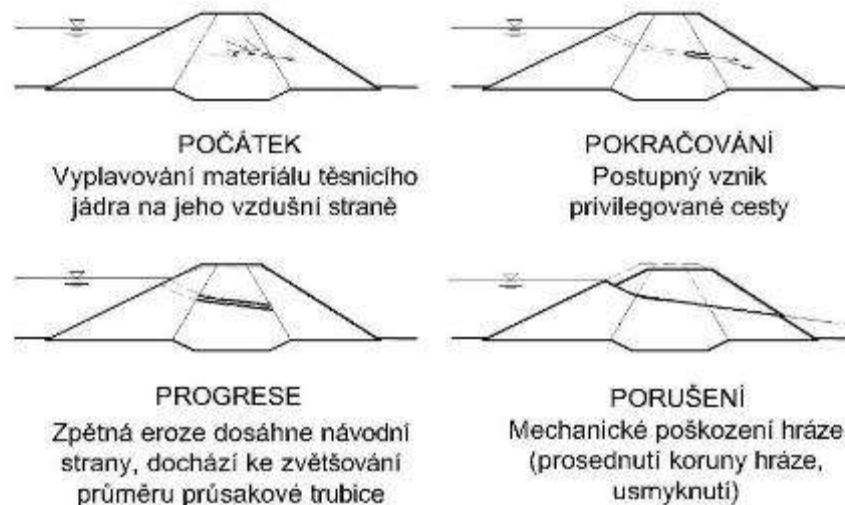
Filtrační deformace - typy

Lokální:

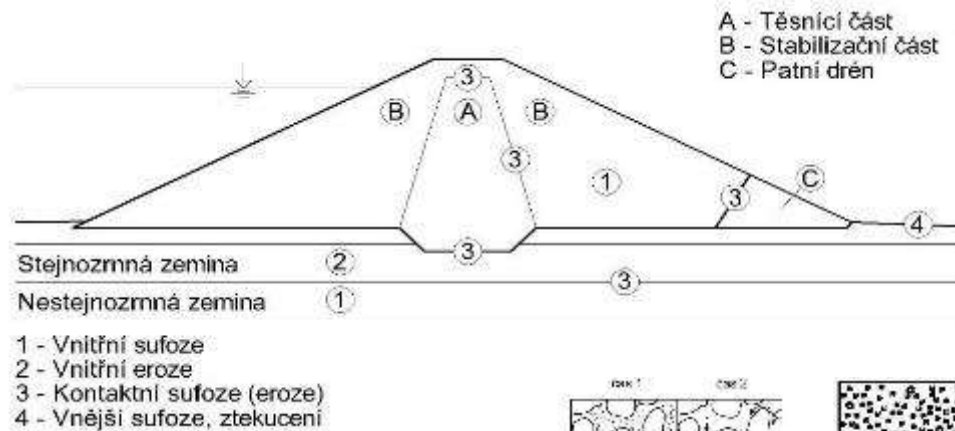
Členění dle místa vzniku	Nesoudržné zeminy		Soudržné zeminy
	Stejnozrnné	Nestejnozrnné	
Vnitřní	Vnitřní eroze	Vnitřní sufoze	Hydraulické trhání, zavěšování
Kontaktní	Kontaktní eroze	Kontaktní sufoze	Exfoliace
Vnější	Vnější eroze (ztekucení)	Vnější sufoze	Prolomení

Celkové porušení:

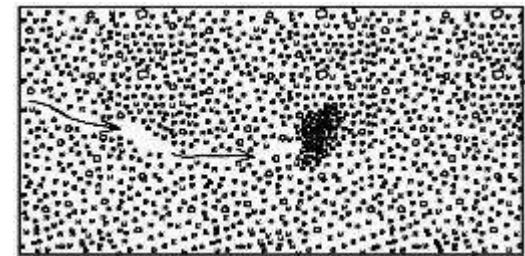
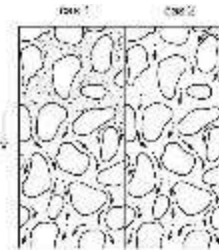
- **Počátek** – vznik lokálního porušení některým způsobem dle tab.
- **Pokračování** – vývoj lokálního porušení až do zahájení zpětné eroze.
- **Progrese** – vytváření privilegované cesty progresivní zpětnou erozí, kdy jde již o globální poruchu.
- **Porušení** – mechanické porušení hráze.



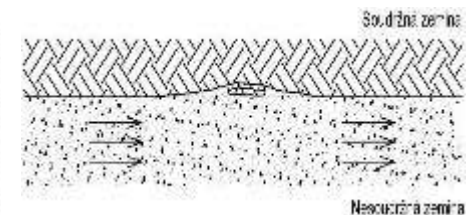
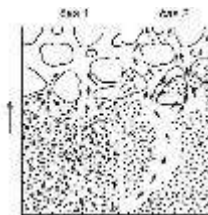
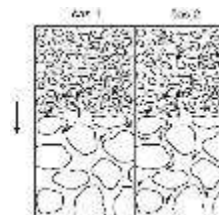
Filtrační deformace - lokální porušení



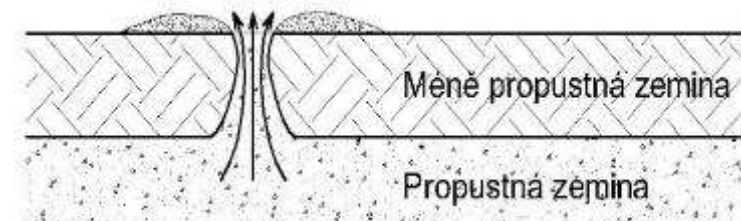
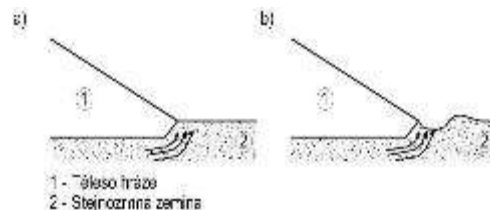
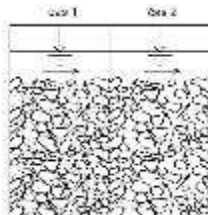
- **Vnitřní sufoze / eroze**



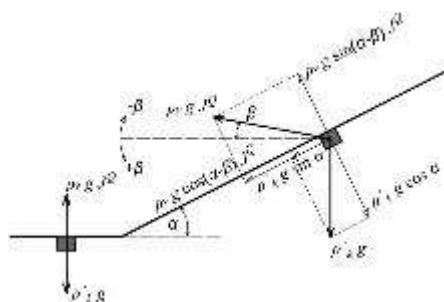
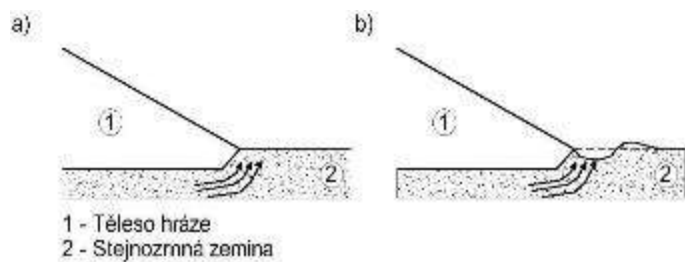
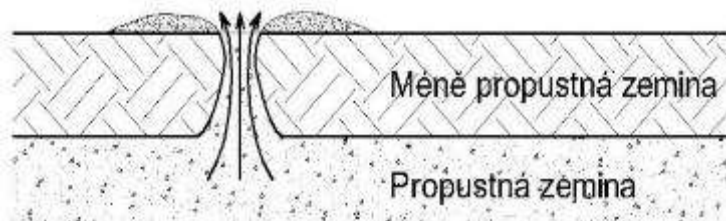
- **Kontaktní sufoze / eroze / exfoliace**



- **Vnější sufoze / ztekucení / prolomení**



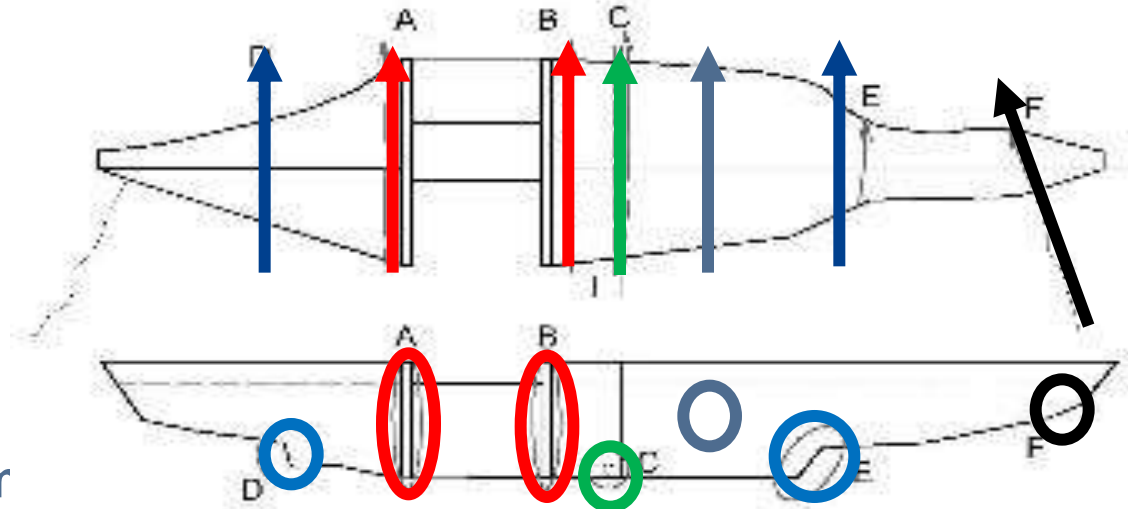
Filtrační deformace - lokální porušení



Místa celkového porušení

• Těleso hráze

- **podél vedení v hrázi**
- **podél napojení na svislé betonové zdi**
- **podél nerovností v zavázání**
- **oslabené zóny v těsnicím prvku**
- **průsaky v zavázání, svahové přítoky**
- **předem definované cesty**

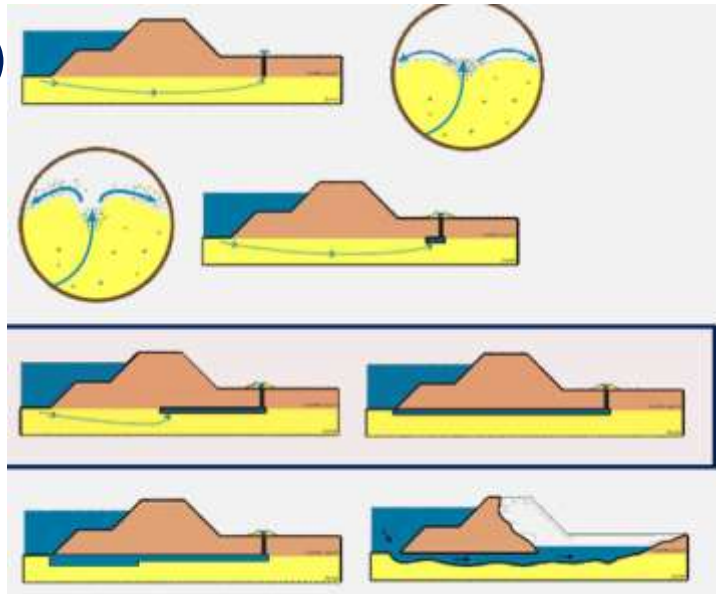


- A.B - Napojení zemního tělesa na stěny bezpečnostního přelivu (např. nedostatečné zhuštění, možnost promrznutí)
C - Zásyp spurní výpusť (zhuštění, průsaky ze spodní výpusť)
D.E - Nerovnosti (náhlé změny) v základové spáře
F - Průsaky v zavázání tělesa hráze

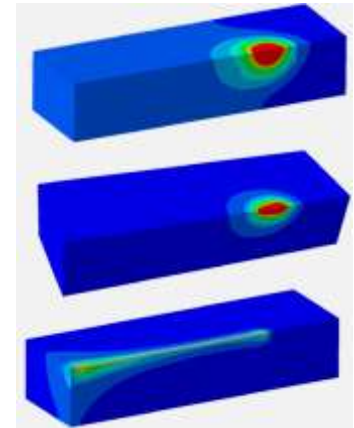
Místa celkového porušení

• Podloží

- Fáze ztekucení (lokální)
- Transport (lokální)
- Vývoj zpětné eroze
- Rozšíření, kolaps



Rychlosti proudění



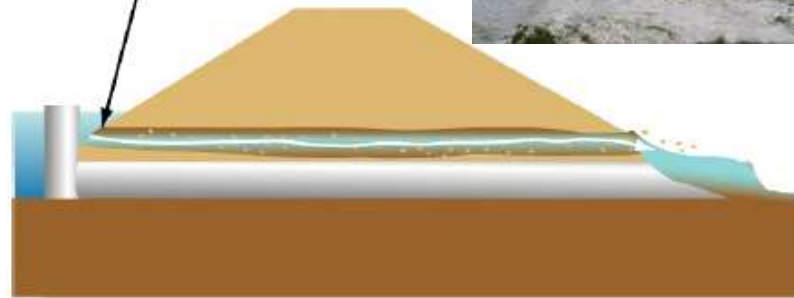
• Podmínky vývoje

- Dlouhotrvající vývoj
- Relativně pevné „nadloží“ – soudržné materiály, betonové konstrukce, ...
- Vysoké gradienty/rychlosti na výtoku (lok. porucha)
- Materiál má schopnost být transportován
- Rozšiřování do boků, ve dně průsakového kanálu

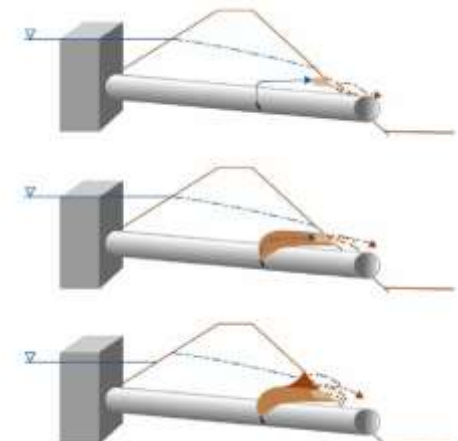
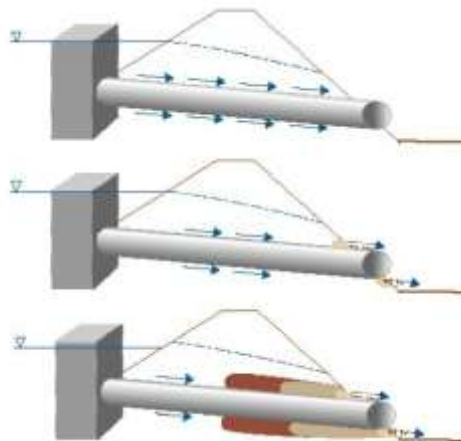
Celková porucha

Podél spodní výpusti

- **Podél celé délky**
- **Ve vazbě na netěsnost SV**
 - **Z návodní strany**



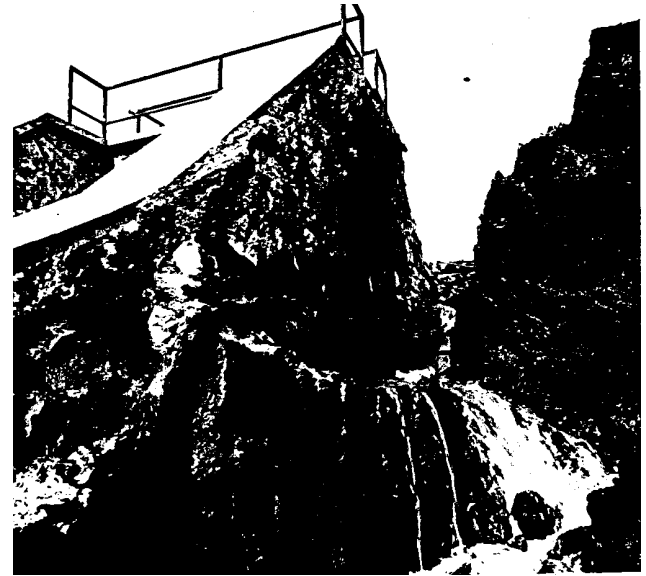
Směrem ke vzdušnému svahu – tlaková



Místa celkového porušení

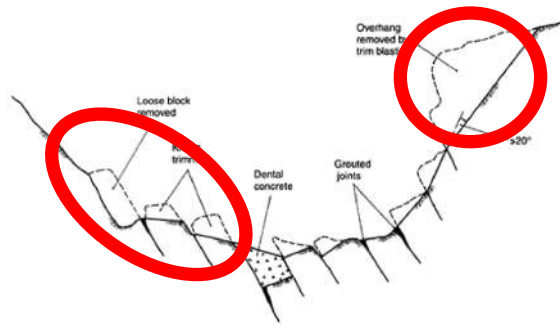
– Podél boční zdi přelivu

- Nedokonalé zhutnění
- Nerovný povrch betonu v napojení
- Promrzání



Místa celkového porušení

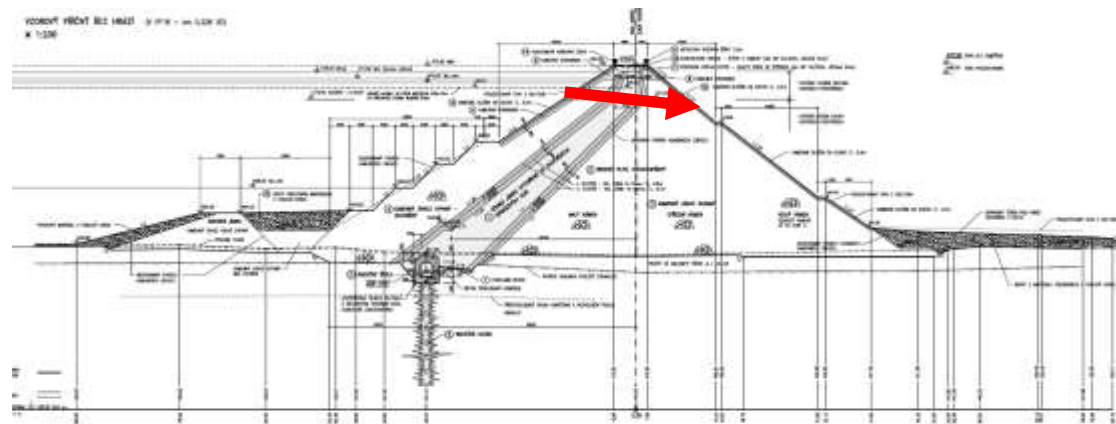
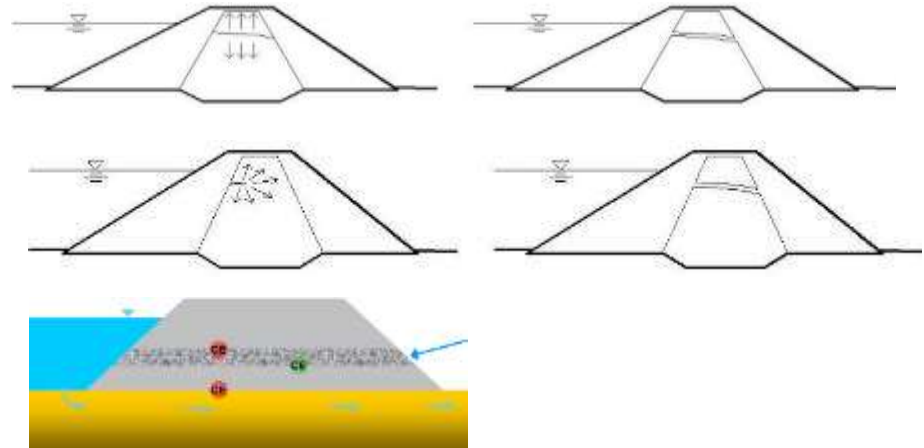
– Nerovnosti, ostré hrany v zákl. spáře



Místa celkového porušení

– oslabené zóny v těsnicím prvku

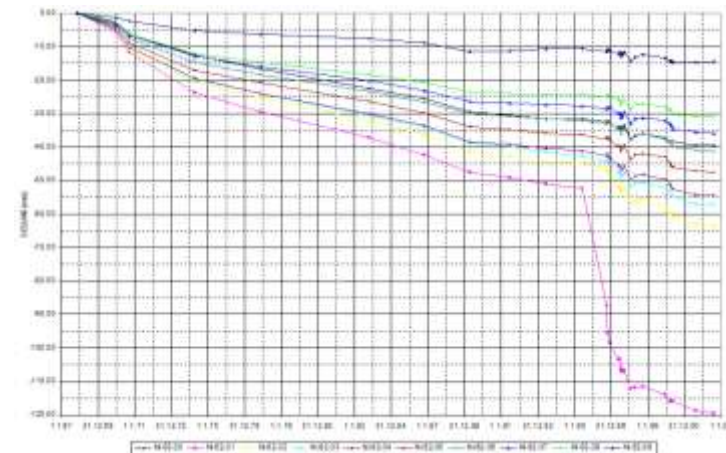
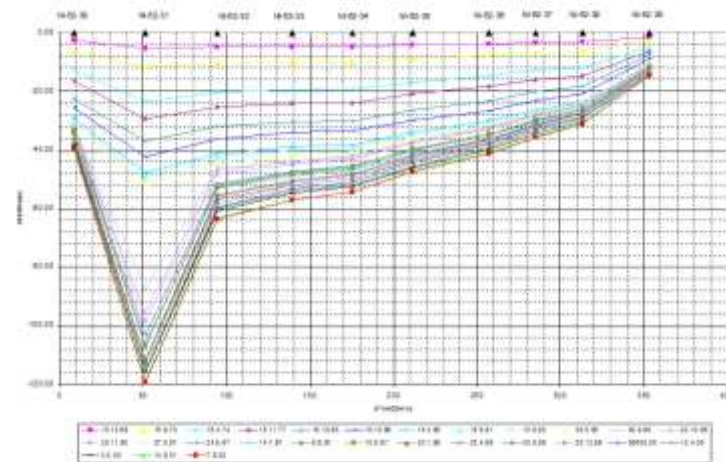
- Zavěšování (arching)
- Hydraulické trhání
- Zóny nevhodného materiálu
- Absence filtrů
- Příklad kombinace jevů – Mostišťe (převzato Aquatis, 2005)



Místa celkového porušení

– průsaky v zavázání, svahové přítoky

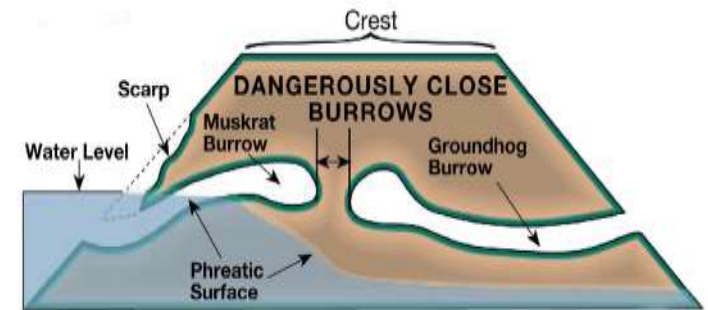
- **Vyplavování materiálu hráze – Morávka** (převzato VDTBD, 2005)



Místa celkového porušení

— Předem definované cesty

- Činnost živočichů



- Ponechané předměty v zemním tělese



- Tlející kořeny

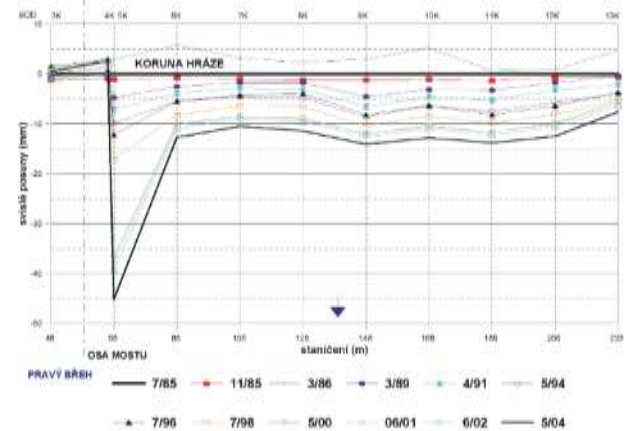
- Ponechaná drenáž v podloží



Návodní strana hráze - poklesy povrchu
hráze v místech průsaku vody z nádrže
pod hráz. Zde byla vyhloubena sonda
K1.

Místa celkového porušení - projevy

- Poklesy povrchu hráze (sinkholes)
- Kaverny
- Příklad – VD Mostišť (převzato VD TBD 2004)



Kritéria filtrační stability

- Geometrická kritéria - vychází z:
 - velikosti pórů zeminy
 - zrnitostního složení
 - stejnozrnné zeminy nejsou náchylné k vnitřní sufozi
 - náchylnost ke kontaktní sufozi závisí na zrnitostním složení obou sousedních zemin
- Hydraulická kritéria
 - při vnější sufozi
 - při nesplnění geometrických kritérií

Kontaktní sufoze – návrh filtrů

- **Postup - vychází se ze zrnitosti - proudění ze $d \rightarrow D$:**

- **Množství jemnozrnné frakce (kritérium průtočnosti):**

$$D_{5,min} \geq 0,063 \text{ mm} \quad (\text{ČSN})$$

$$D_{5,min} \geq 0,073 \text{ mm} \quad (\text{USBR})$$

- **Kritérium filtrační stability (ČSN):**

Terzaghi, modifikace $D_{15,max} \leq 4d_{i,min}$

Zemina	C_U	$d_{i,min}$	Podmínka
Nesoudržné materiály	< 20	$d_{85,min}$	-
		$d_{50,min}$	lineární průběh čáry zrnitosti
	≥ 20	$d_{D,min}$	nespojité zrnitosti
		$d_{20,min}$	velký hmotnostní podíl velkých zrn

$D_{15,max}$ navazující zeminy (filtru)

- **Kritérium průtočnosti:**

$$4d_{15,max} \leq D_{15,min}$$

- **Maximální velikost částic:**

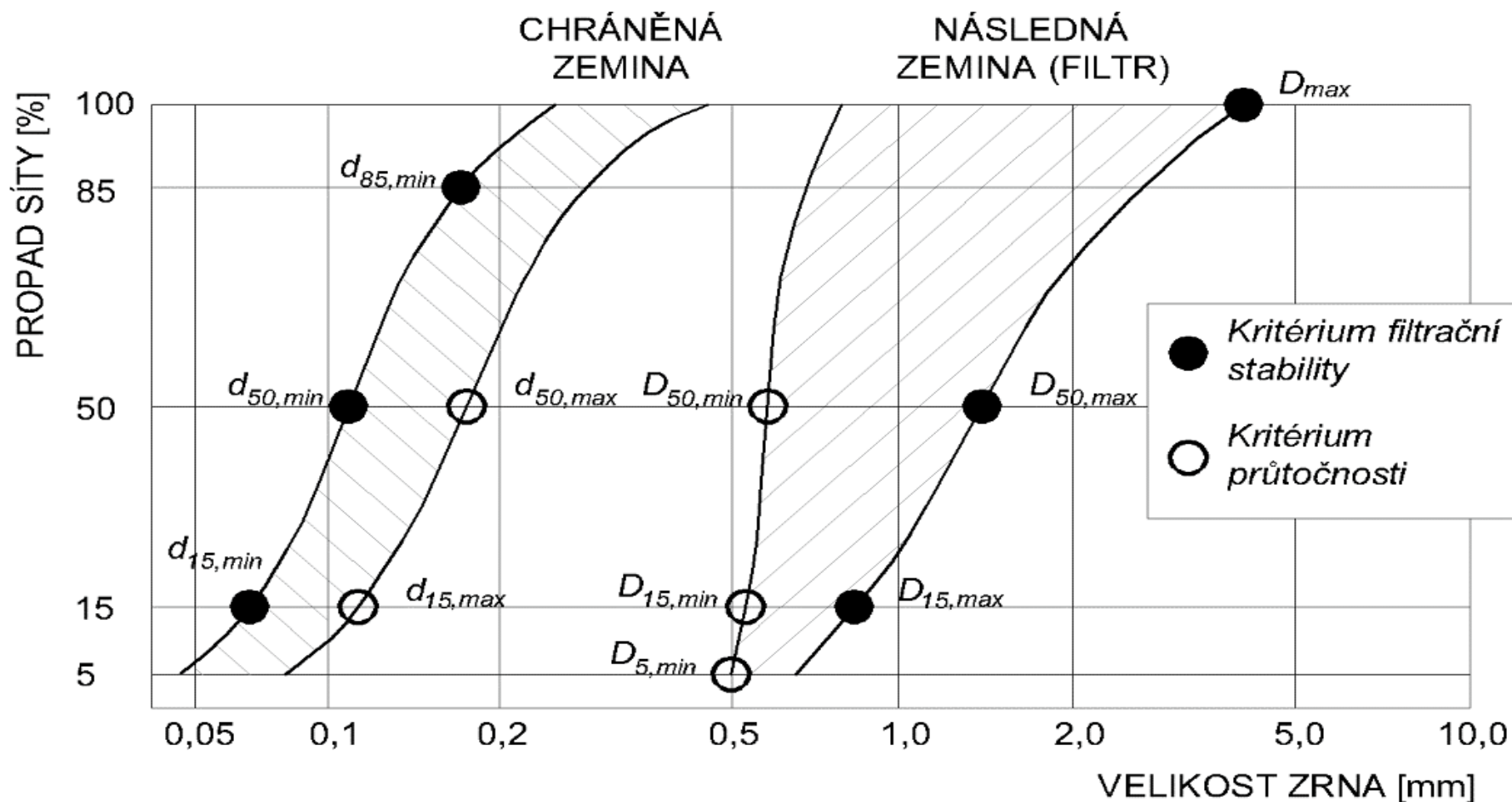
$$D_{max} \leq 63 \text{ mm}$$

Kontaktní sufoze - geometrická kritéria

- Vychází se ze zrnitosti - proudění ze $d \rightarrow D$

Autor		Kritérium	
		Filtrační stability	Průtočnosti
Terzaghi (1922)		$D_{15,max} \leq 4d_{85,min}$	$4d_{15,max} \leq D_{15,min}$
Bertram (1940)	Prachové, jemné písky	$D_{15,max} \leq 6d_{85,min}$ $D_{15,max} \leq 9d_{15,min}$	$5d_{15,max} \leq D_{15,min}$
Hurley, Newton (1940)	Dobře zrněné šterkopísky	$D_{15,max} \leq 32d_{15,min}$ $D_{15,max} \leq 15d_{50,min}$	-
USBR (1947 - 1974)	Stejnozrné filtry z přírod. materiálu, zaoblená zrna	$D_{15,max} \leq 9d_{15,min}$	$5d_{15,max} = D_{15,min}$
	Nestejnozrné filtry z dobře zrněného materiálu	$D_{15,max} \leq 32d_{15,min}$ $D_{15,max} \leq 15d_{50,min}$	-
	Filtry z drceného kameniva	$D_{50,max} \leq 30d_{50,min}$ $D_{15,max} \leq 18d_{15,min}$	$9d_{50,max} \leq D_{50,min}$ $6d_{15,max} \leq D_{15,min}$
USACE (1941 - 1955)	Jemnozrné až hrubé stejnozrné písky	$D_{15,max} \leq 5d_{85,min}$ $D_{15,max} \leq 20d_{15,min}$ $D_{50,max} \leq 25d_{50,min}$	$4d_{15,max} \leq D_{15,min}$
	Soudržné zeminy	$D_{15,max} \leq 40d_{15,min}$	$12d_{15,max} \leq D_{15,min}$
ČSN 75 2410 [11]	Stejnozrné filtry	$D_{50,max} \leq 30d_{50,min}$	$9d_{50,max} \leq D_{50,min}$
	Nestejnozrné filtry	$D_{50,max} \leq 60d_{50,min}$ $D_{15,max} \leq 40d_{15,min}$	$12d_{50,max} \leq D_{50,min}$ $12d_{15,max} \leq D_{15,min}$

Kontaktní sufoze - geometrická kritéria



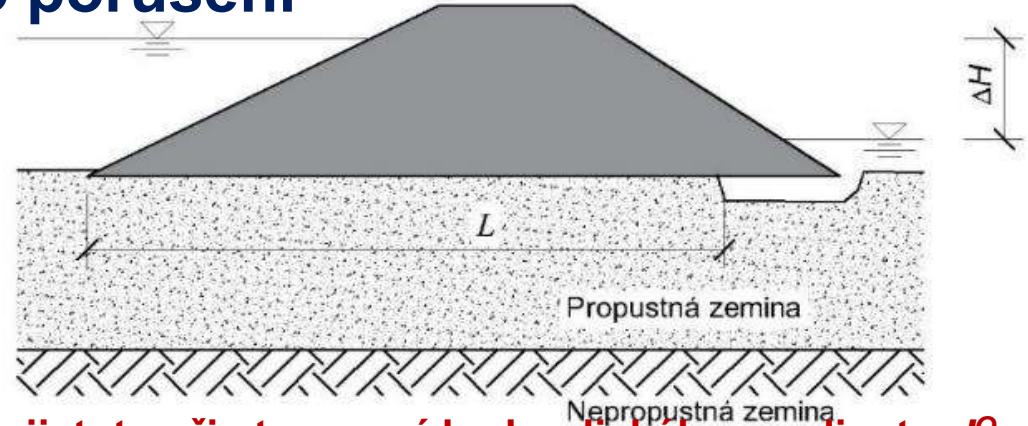
Zpětná eroze, vznik privilegovaných cest

Progresivní vývoj lokálního porušení

$$\gamma_1 \gamma_{fJ} J_k^Q \leq \frac{J_{K,k}}{\gamma_{M,J}},$$

$$J_{stř,k}^Q = \frac{\Delta H}{L}$$

- γ_1 - součinitel významu,
- γ_{fJ} - dílčí součinitel vyjadřující nejistoty při stanovení hydraulického gradientu J_k^Q
- $\gamma_{M,J}$ - dílčí součinitel vyjadřující nejistotu při stanovení kritického hydraulického gradientu $J_{K,k}$



Kritický gradient podle umístění

- Podloží sypaných hrází
- Tělesa sypaných hrází
- Podloží betonových hrází

Kritický gradient podle umístění

- Podloží sypaných hrází

Zemina	$J_{K,stř,k}$
Ulehlá hlína	1,20
Píščitá hlína	0,60
Hrubozrnný písek, štěrk	0,48
Středně zrněný písek	0,40
Jemnozrnný písek	0,30

- Tělesa sypaných hrází

Zemina	$J_{K,stř,k}$
Ulehlá hlína, zemní beton	1,95
Píščitá hlína	1,35
Hrubozrnný písek	1,00
Středně zrněný písek	0,85
Jemnozrnný písek	0,75

- Podloží betonových hrází

Zemina	$J_{K,stř,k}$
Ulehlá hlína	0,68
Píščitá hlína	0,43
Hrubozrnný písek, štěrk	0,34
Středně zrněný písek	0,26
Jemnozrnný písek	0,21

Souhrnně

- **Filtrační deformace** - i v současné době příčinou poruch
 - **Nedostatečný průzkum**
 - **Nevhodný návrh či provedení**
- **Posouzení bezpečnosti**
 - **Existují nástroje – geometrická a hydraulická kritéria**
 - **Problém – znalost charakteristik materiálů a jejich variability**
- **Vývoj – úzce souvisí s:**
 - **Typem materiálu - zeminy**
 - **Průsakovými poměry – hydraulickým (tlakovým) gradientem**
 - **Napjatostí – efektivní napětí, tahové zóny**
- **Projevy jsou obvykle postupné a lze je mnohdy identifikovat**
 - **V průběhu ověřovacího provozu – první plnění nádrže**
 - **Důsledným TBD**
- **Problémy – ochranné hráze, suché nádrže**



Děkuji za pozornost

Barlovento 2011

Zoeknog Dam 1993

