

NUMERICKÁ SIMULACE TRANSPORTU V OBLASTI ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ: MULTIFÁZOVÉ PROUDĚNÍ SYSTÉMU VZDUCH-DNAPL-VODA

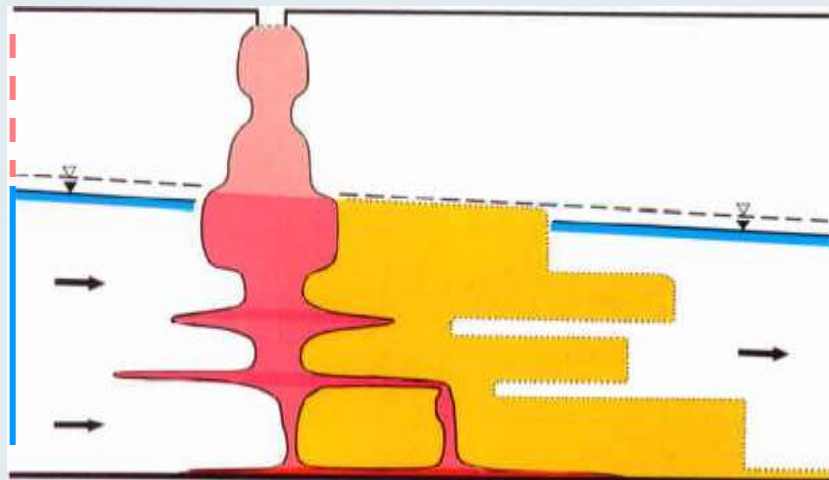
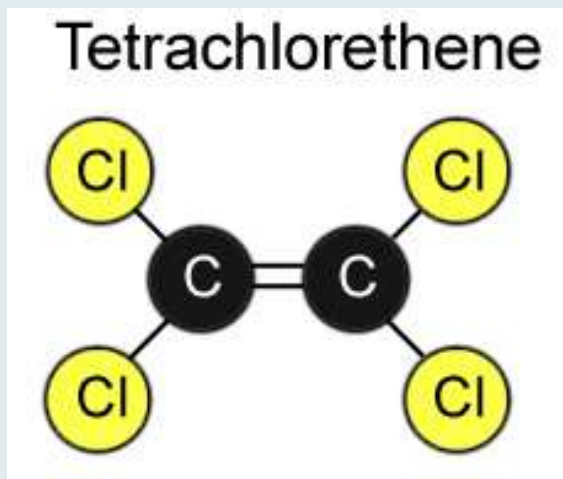
Ing. LIBOR GVOŽDÍK, Ing. JANA VALENTOVÁ, CSc.



ČVUT v Praze - FSv

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství

Látky DNAPL - základní vlastnosti

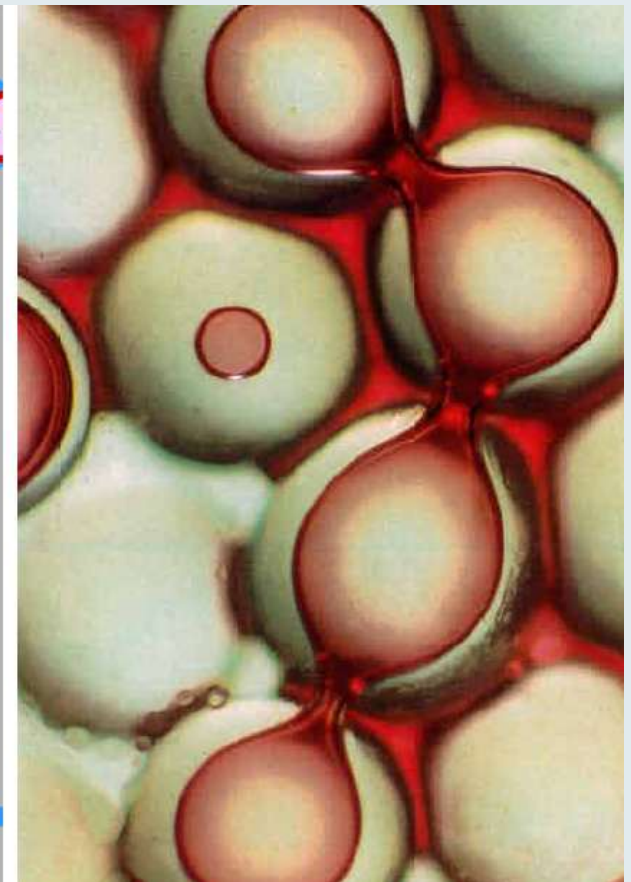
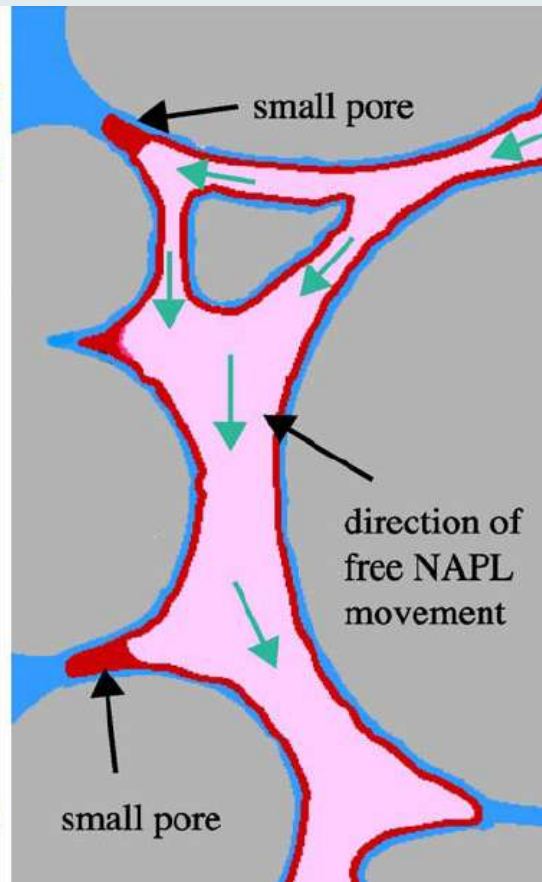
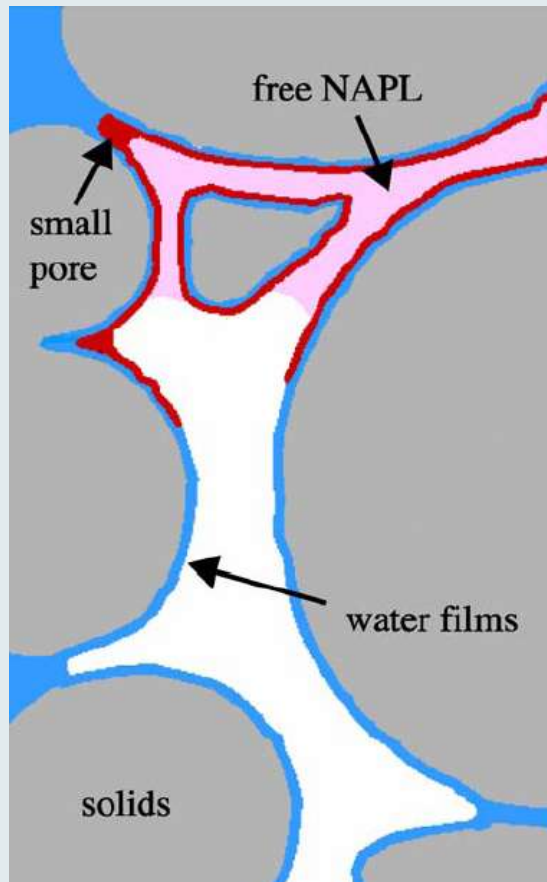


zdroj: Schwille, 1998

- PCE, TCE (chloretheny), TCA, chlorbenzen, PCB, pesticidy
- těžší než voda
 - PCE - 1,63krát
 - TCE - 1,42krát
- „nízká“ rozpustnost ve vodě
 - PCE - 200 mg/l
 - TCE - 1100 mg/l (limit pro pitnou vodu 10 μ g/l)

Látky DNAPL - základní vlastnosti

- hierarchie smáčivosti pórů: voda → NAPL → vzduch
- kontaktní úhel a povrchové napětí mezi fázemi
 - kapilární síly

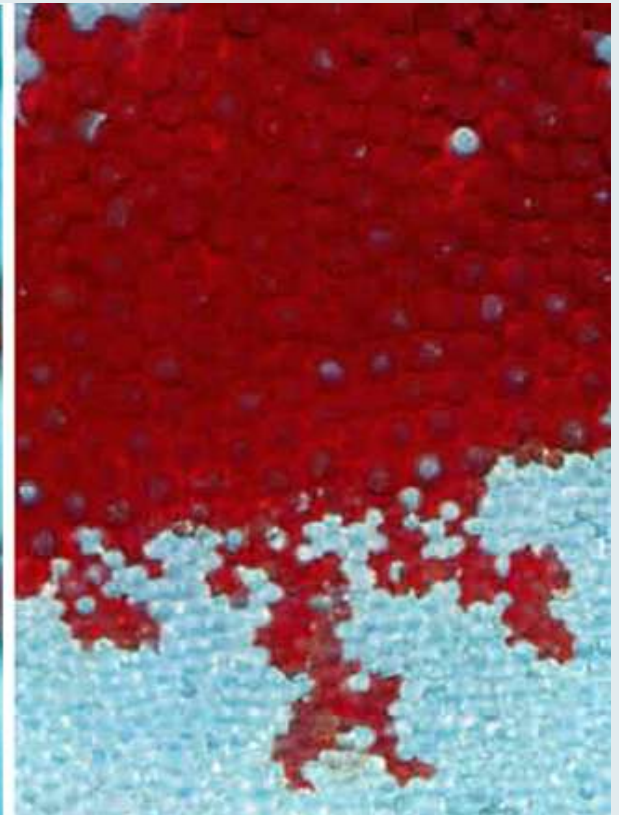
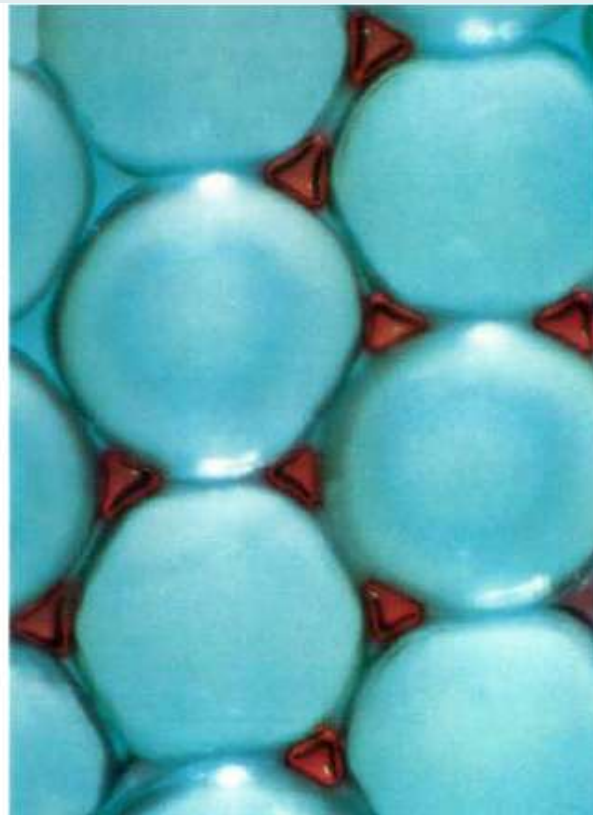


Látky DNAPL - základní vlastnosti

- KAPILÁRNÍ SÍLY (nepřímě úměrné velikosti pórů)
 - nesouvislá reziduální volná fáze (kapičky, ganglie)
 - nepřímocaré šíření (fingering, preferenční cesty - šíření velkými póry, ve kterých je nižší kapilární tlak)



zdroj: Nambi et al., 2000



zdroj: Schuille, 1998

Vlastnosti horninového prostředí

- NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST - PROPUSTNOST
 - pro vodu → pro NAPL přepočít
- RETENČNÍ ČÁRA
 - parametry retenční čáry (van Genuchten, Brooks-Corey)
 - přepočít pro systém W-N-A např. podle Parker et al. (1987)
 - výpočet kapilárního tlaku
- FUNKCE RELATIVNÍ PROPUSTNOSTI
 - závislost propustnosti prostředí (pro vodu, NAPL) na stupni nasycení (vodou, NAPLem, vzduchem)
 - Parker et al. (1987) x Stone (1970)

Simulace

- 1) Vliv nasycené hydraulické vodivosti (propustnosti) na chování multifázového systému

Únik 2 tun TCE po dobu 10 let

- zdroj TCE na povrchu (0.5 x 0.5 m)
- nenasycená + nasycená zóna s hladinou podzemní vody 2.5 m pod terénem
- báze kolektoru 8 m pod terénem
- gradient hladiny p.v. 1/50
- homogenní materiál
- funkce relativní vodivosti podle Stone
- 3 modelované varianty

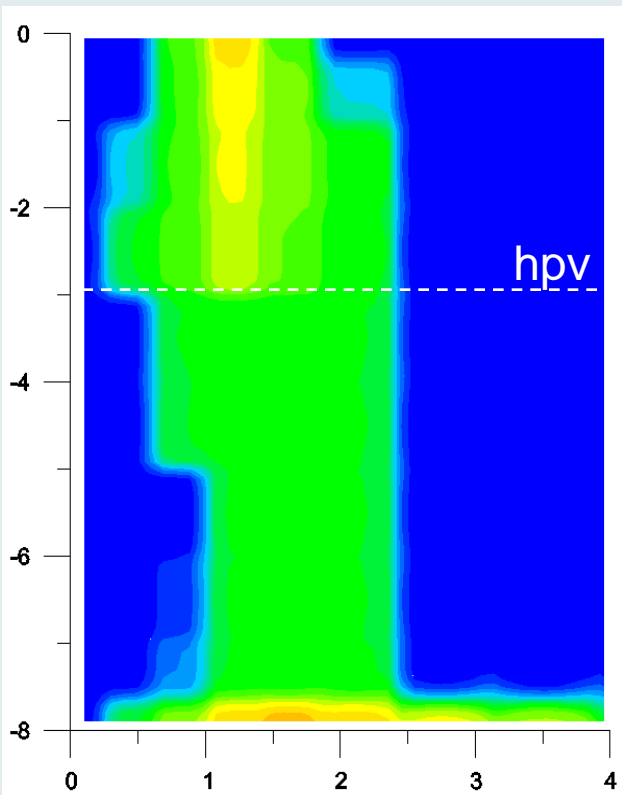
➤ IZOTROPNÍ

$$K_x = K_y = K_z = 5 \cdot 10^{-5} \text{ [m/s]}$$

$$K_x = K_y = K_z = 1 \cdot 10^{-5} \text{ [m/s]}$$

➤ NEIZOTROPNÍ

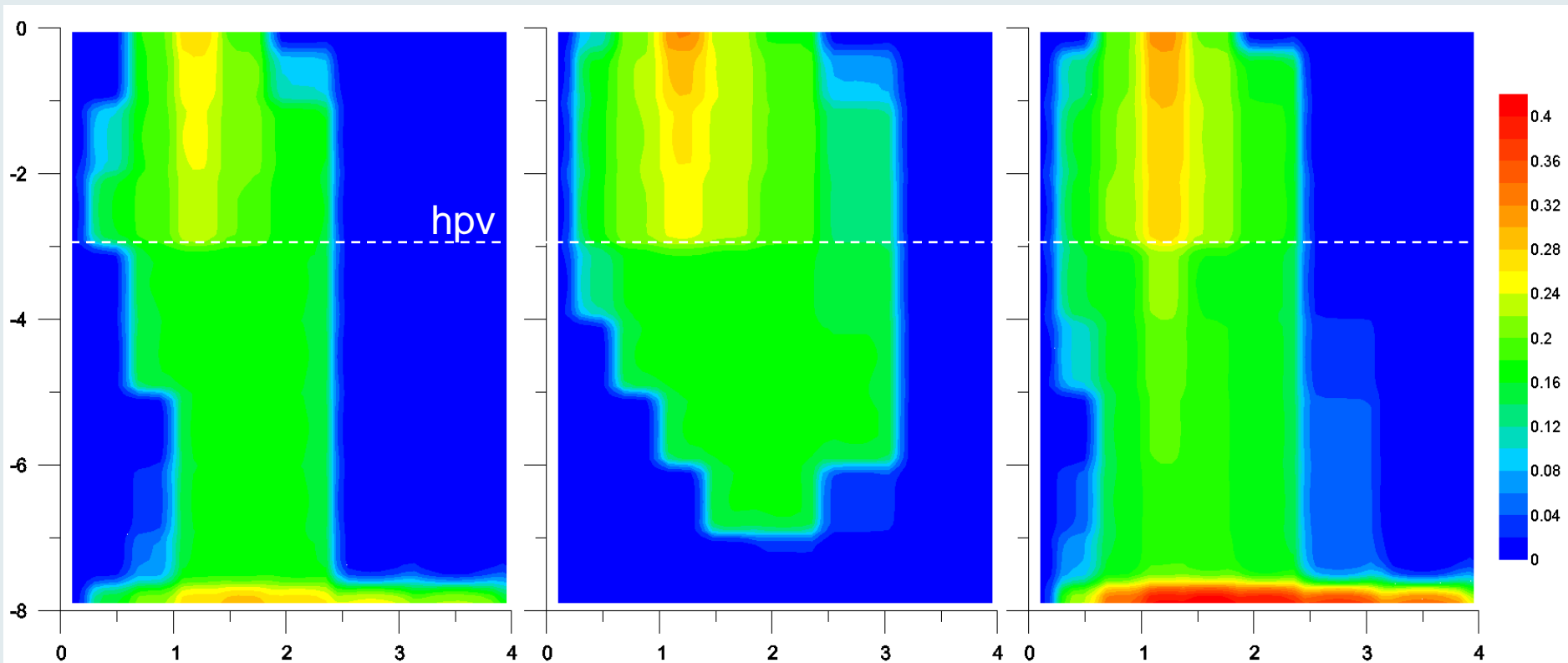
$$K_x = K_y = 5 \cdot 10^{-5}, K_z = 1 \cdot 10^{-5} \text{ [m/s]}$$



Únik 2 tun TCE po dobu 10 let

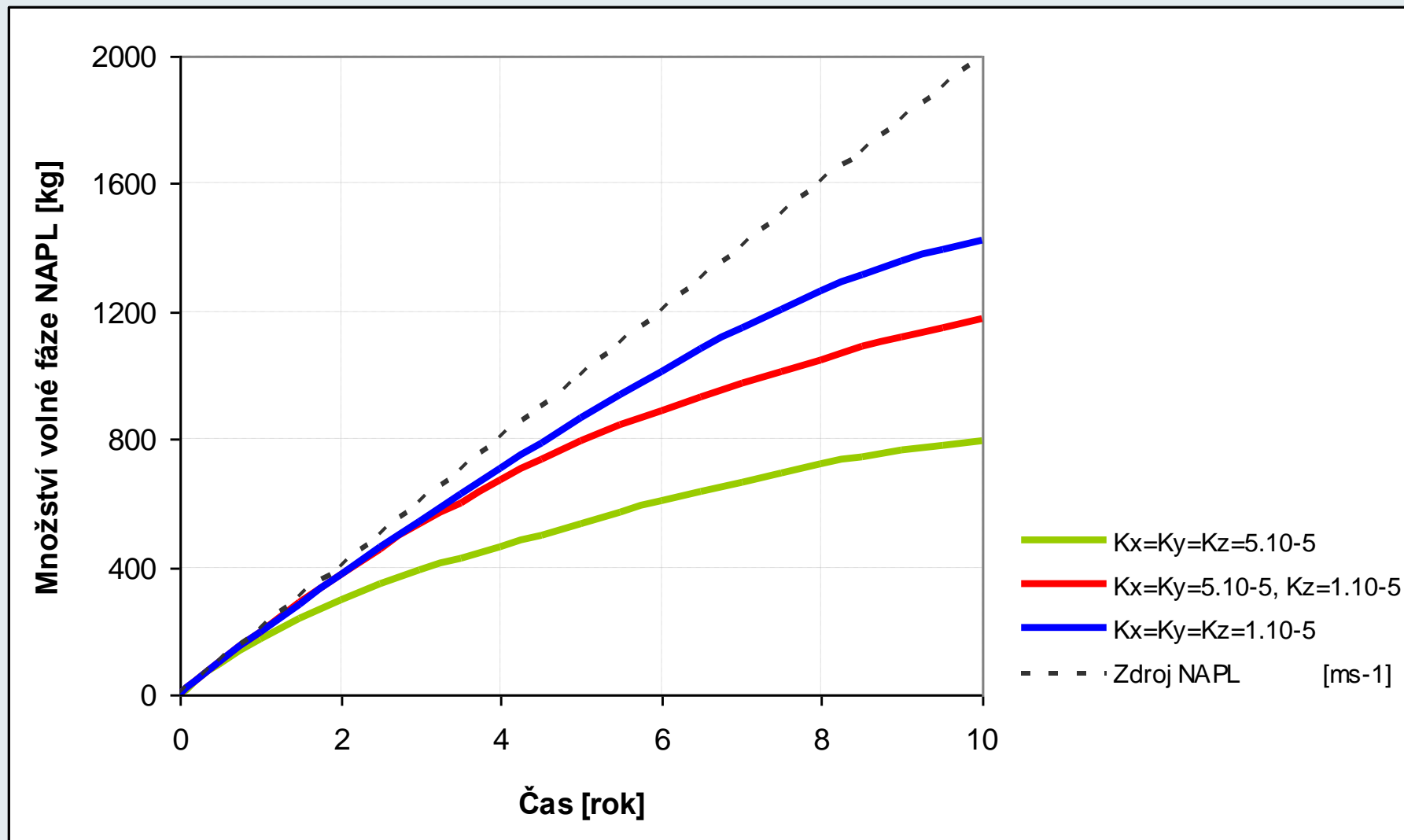
- porovnání modelových variant IZOTROPNÍ x ANIZOTROPNÍ prostředí
- stupeň nasycení volnou fází po 10 letech

$K_x=K_y=K_z=5 \cdot 10^{-5}$ $K_x=K_y=5 \cdot 10^{-5}, K_z=1 \cdot 10^{-5}$ $K_x=K_y=K_z=1 \cdot 10^{-5}$ [m/s]



Únik 2 tun TCE po dobu 10 let

- bilance volné fáze pro jednotlivé varianty



Simulace

- 1) Vliv nasycené hydraulické vodivosti (propustnosti) na chování multifázového systému
- 2) Vliv funkce relativní propustnosti (Parker x Stone) na chování multifázového systému

Únik 2 tun TCE po dobu 10 let + 10 let



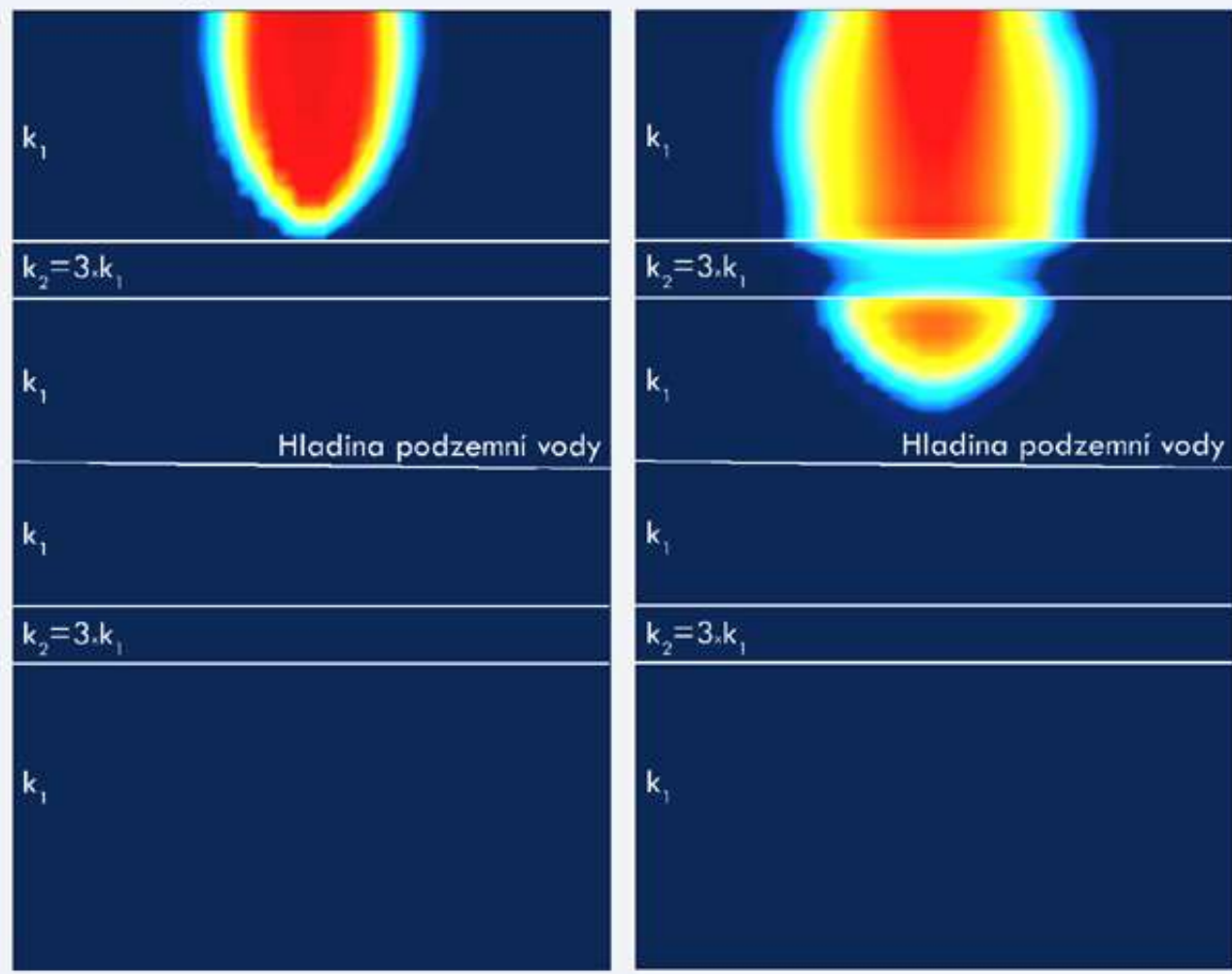
- zdroj TCE na povrchu (2 x 2 m)
- nenasycená + nasycená zóna s hladinou podzemní vody 4 m pod terénem
- báze kolektoru 8 m pod terénem

Únik 2 tun TCE po dobu 10 let + 10 let

Stone (1970)

Parker et al. (1987)

T=2 roky

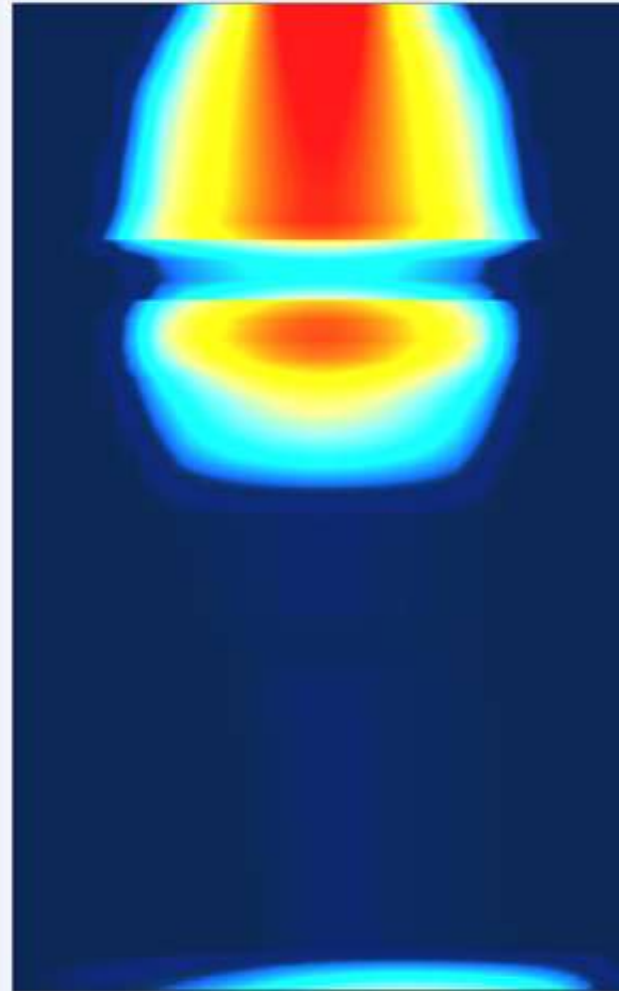
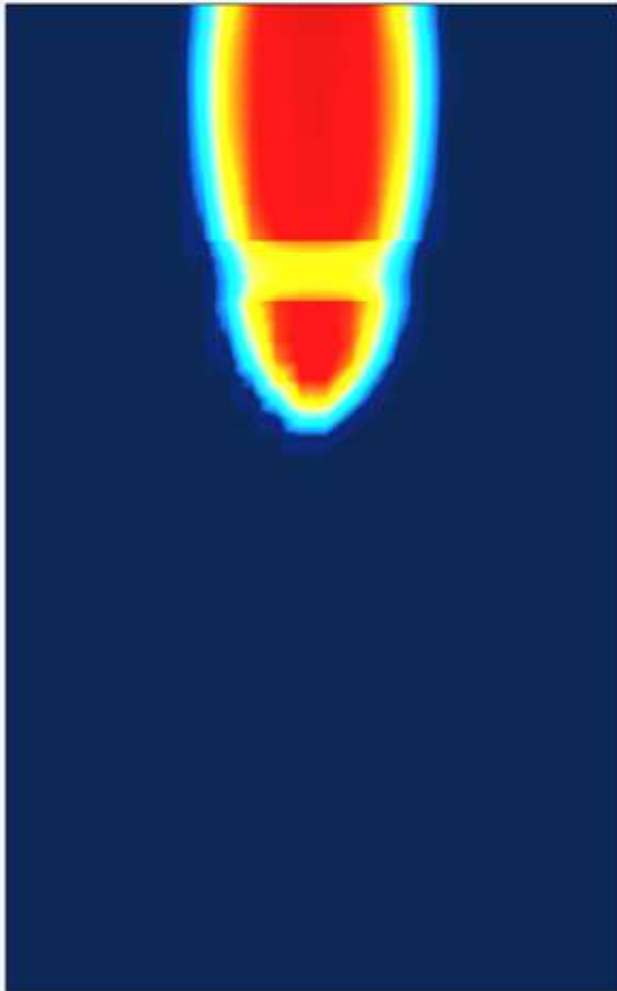


Únik 2 tun TCE po dobu 10 let + 10 let

Stone (1970)

Parker et al. (1987)

T=4 roky

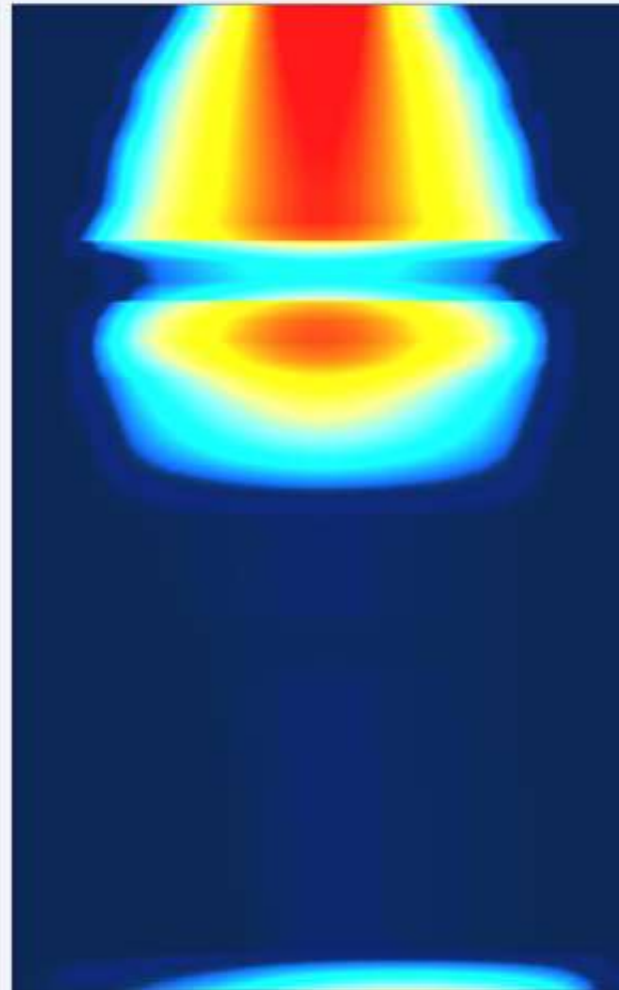
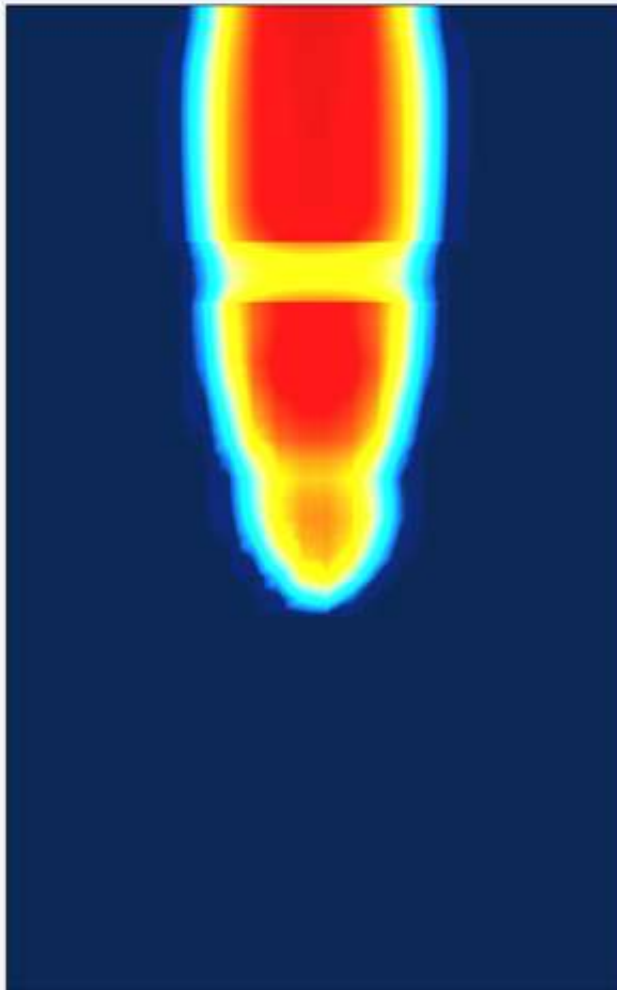


Únik 2 tun TCE po dobu 10 let + 10 let

Stone (1970)

Parker et al. (1987)

T=6 let

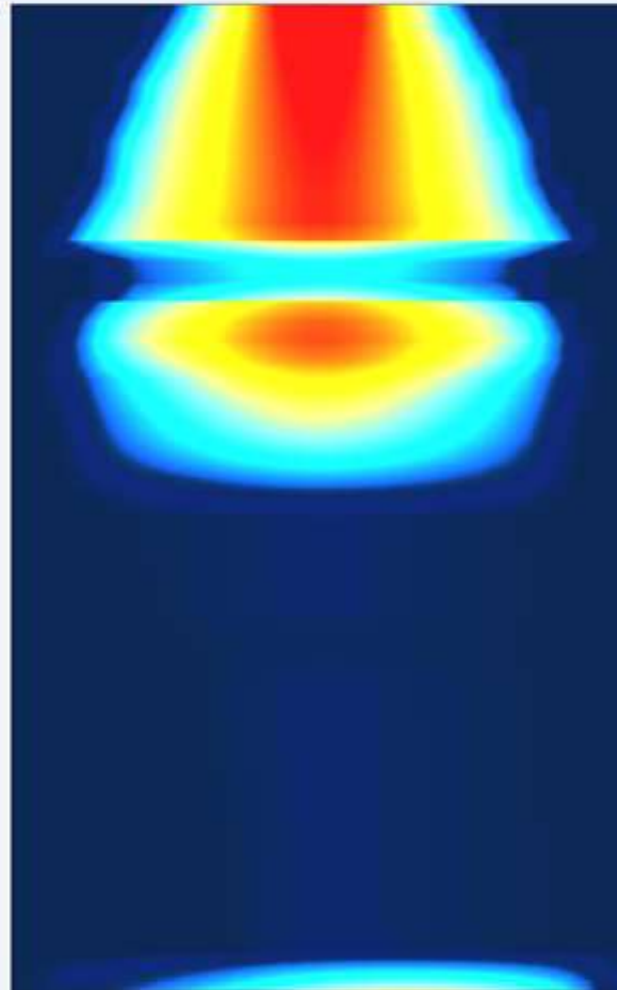
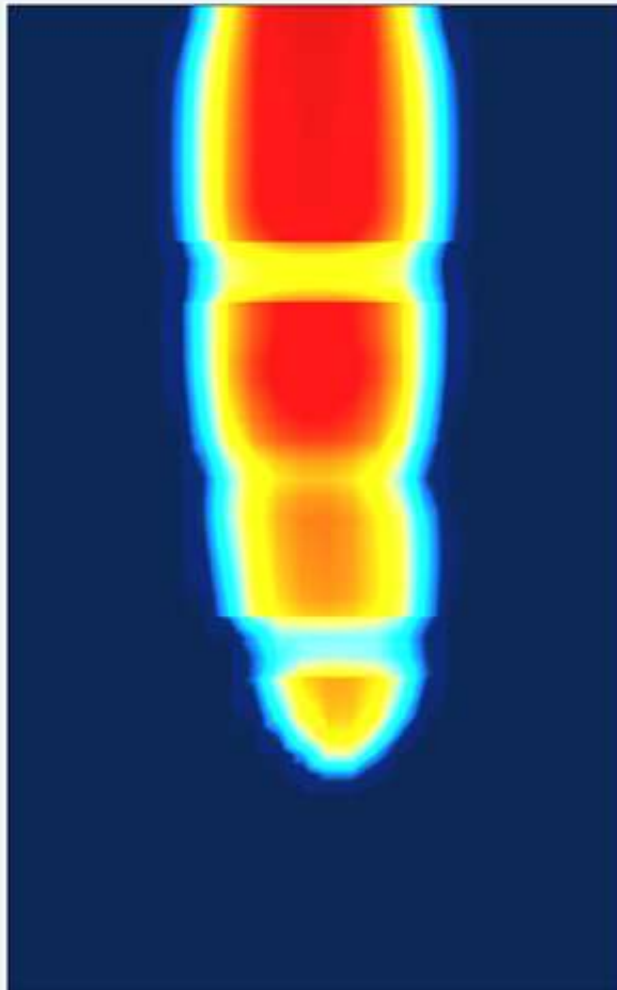


Únik 2 tun TCE po dobu 10 let + 10 let

Stone (1970)

Parker et al. (1987)

T=8 let

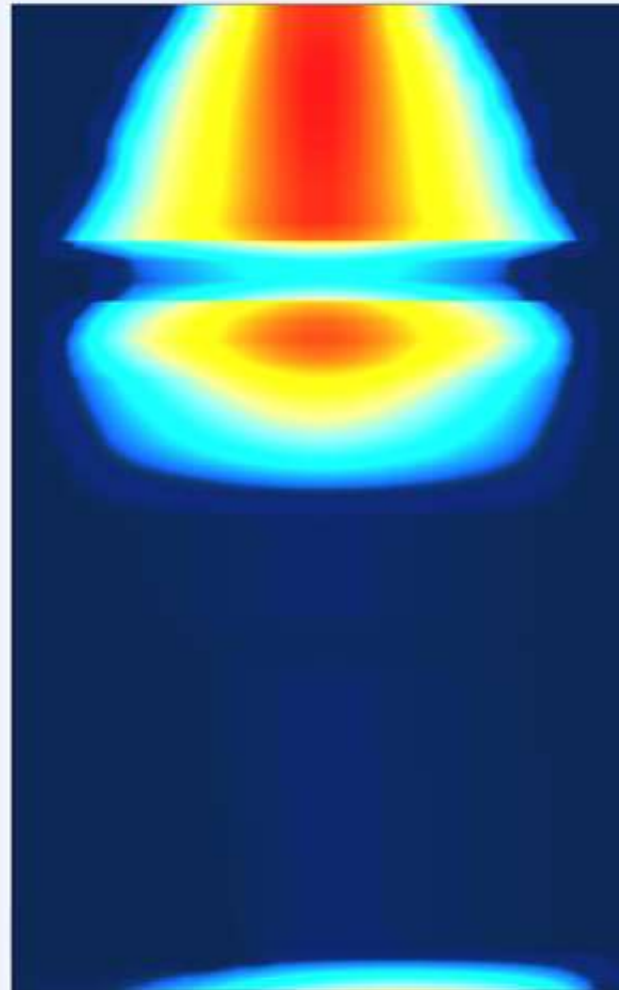
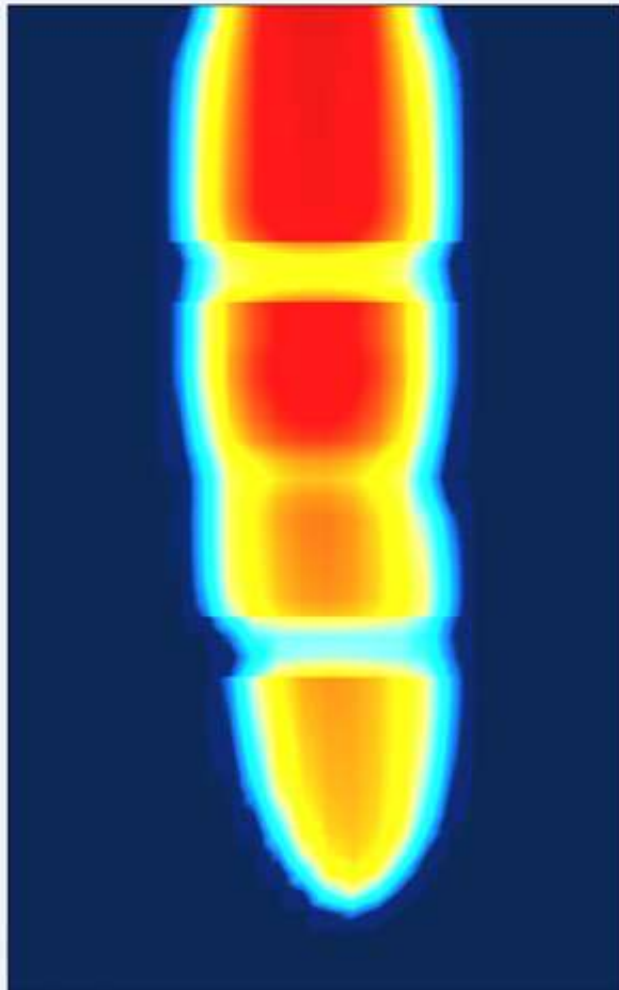


Únik 2 tun TCE po dobu 10 let + 10 let

Stone (1970)

Parker et al. (1987)

T=10 let

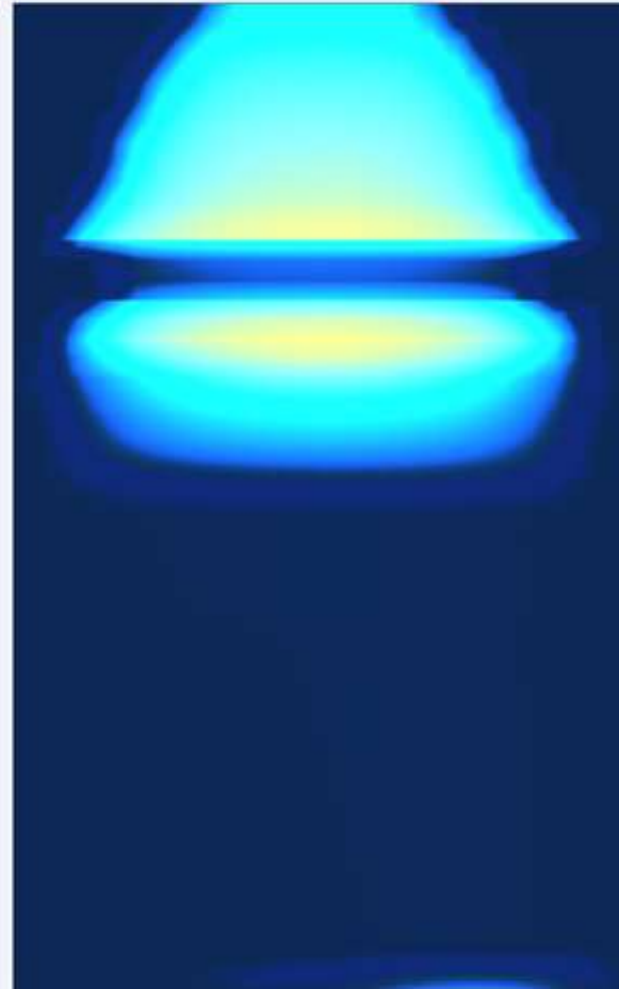
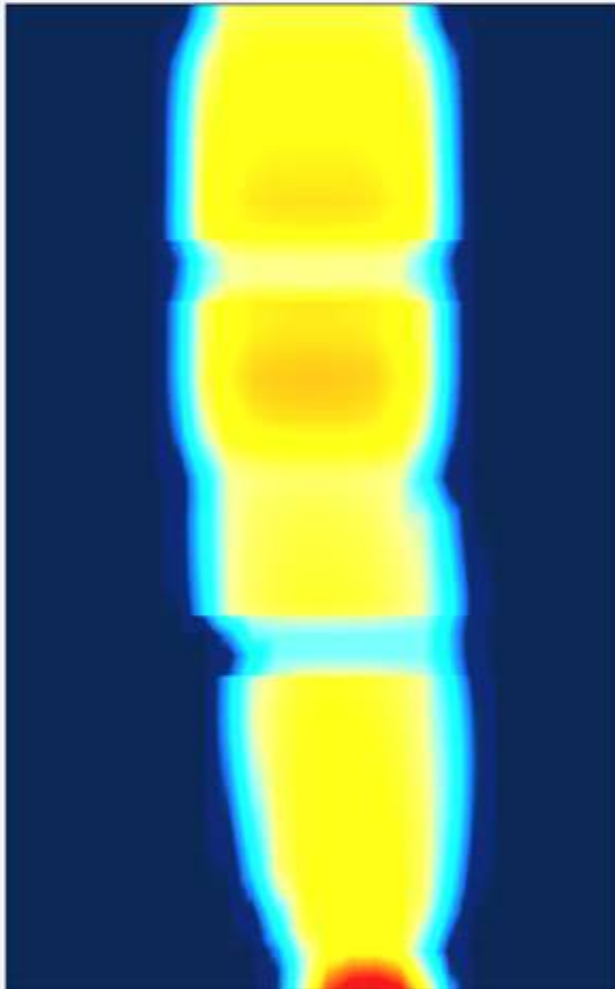


Únik 2 tun TCE po dobu 10 let + 10 let

Stone (1970)

Parker et al. (1987)

T=12 let

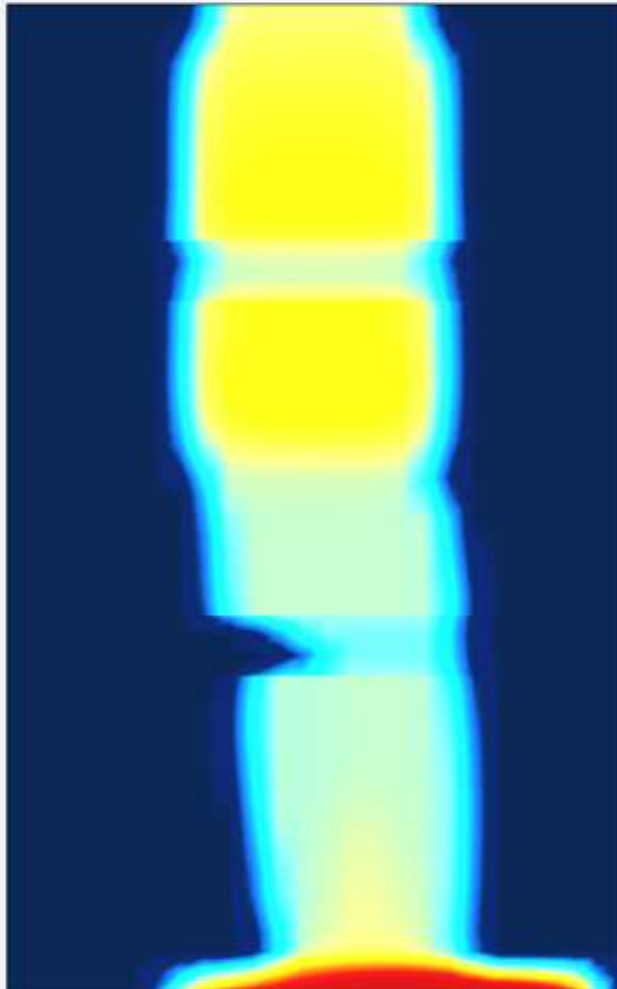


Únik 2 tun TCE po dobu 10 let + 10 let

Stone (1970)

Parker et al. (1987)

T=16 let

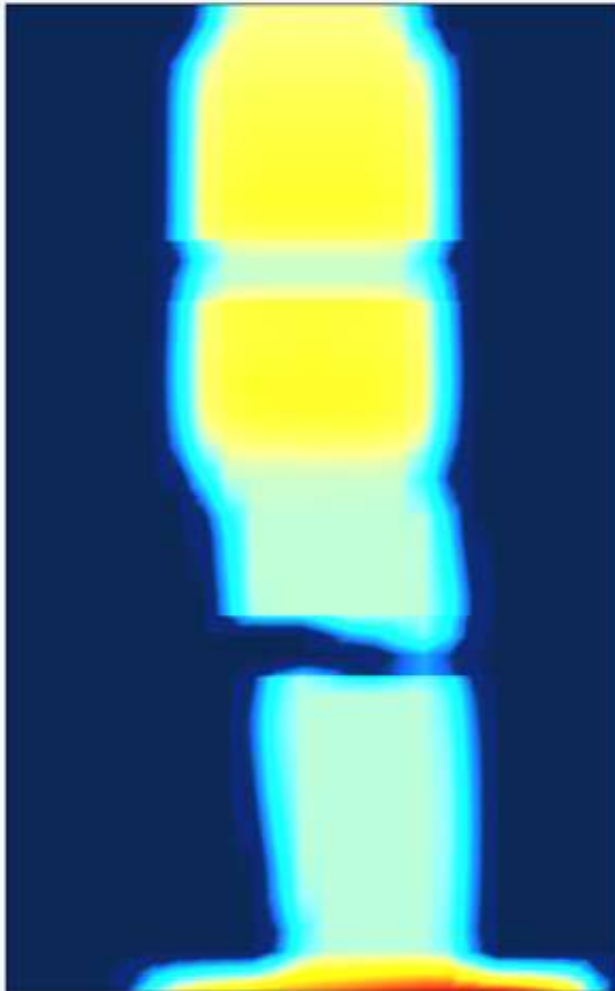


Únik 2 tun TCE po dobu 10 let + 10 let

Stone (1970)

Parker et al. (1987)

T=20 let

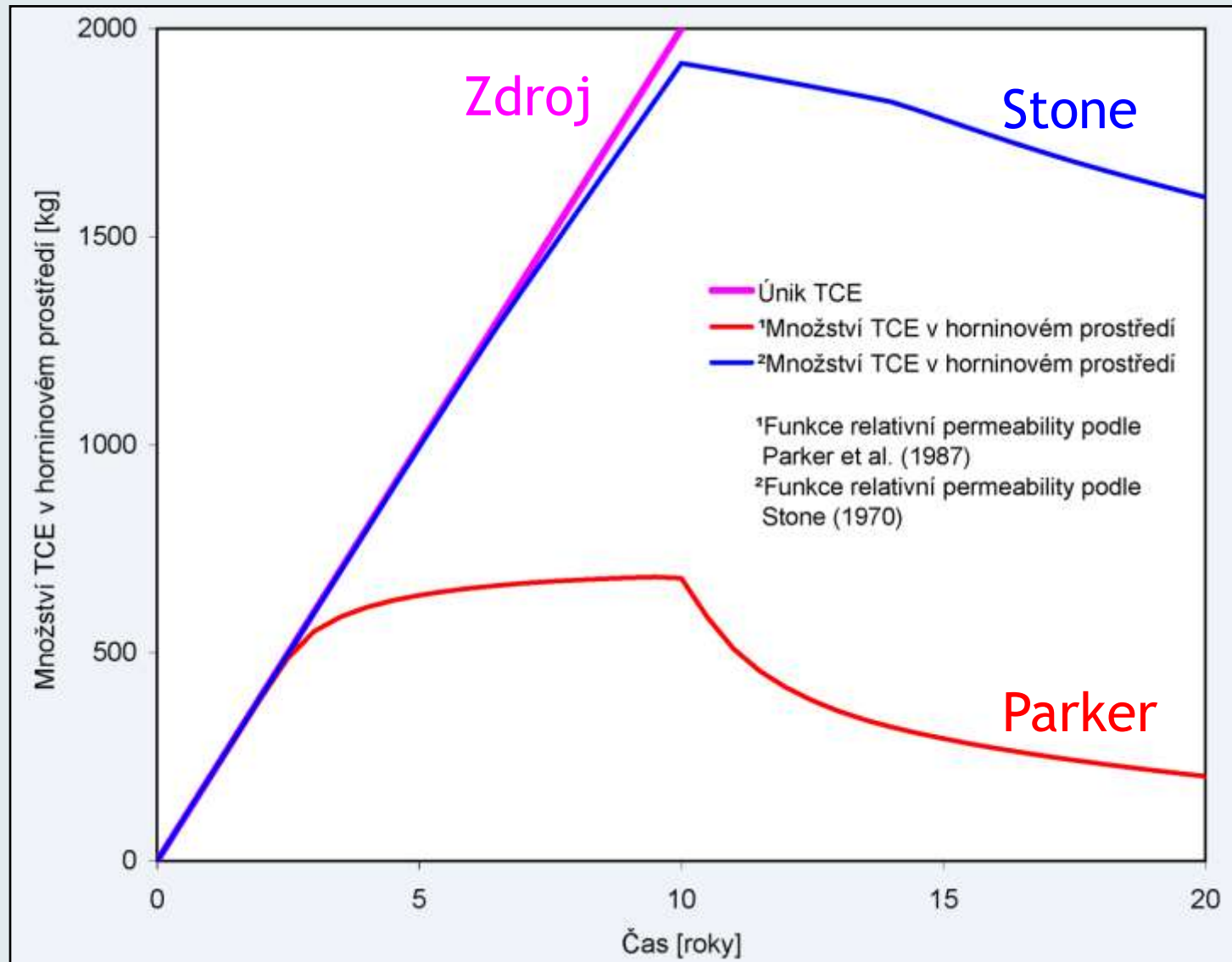


Únik 2 tun TCE po dobu 10 let + 10 let

- funkce podle Parker et al. (1987)
 - rychlejší průnik volné fáze horninovým prostředím, především nasycenou zónou
 - pohyb vody ve vícefázovém systému - lepší výsledky než pro funkci Stone (ověřeno na simulaci laboratorního experimentu)
 - není zahrnuta hodnota reziduálního nasycení pro fázi NAPL → spíše teoretický problém
 - důsledek - rychlejší rozpouštění volné fáze

Únik 2 tun TCE po dobu 10 let + 10 let

- bilance volné fáze pro jednotlivé varianty

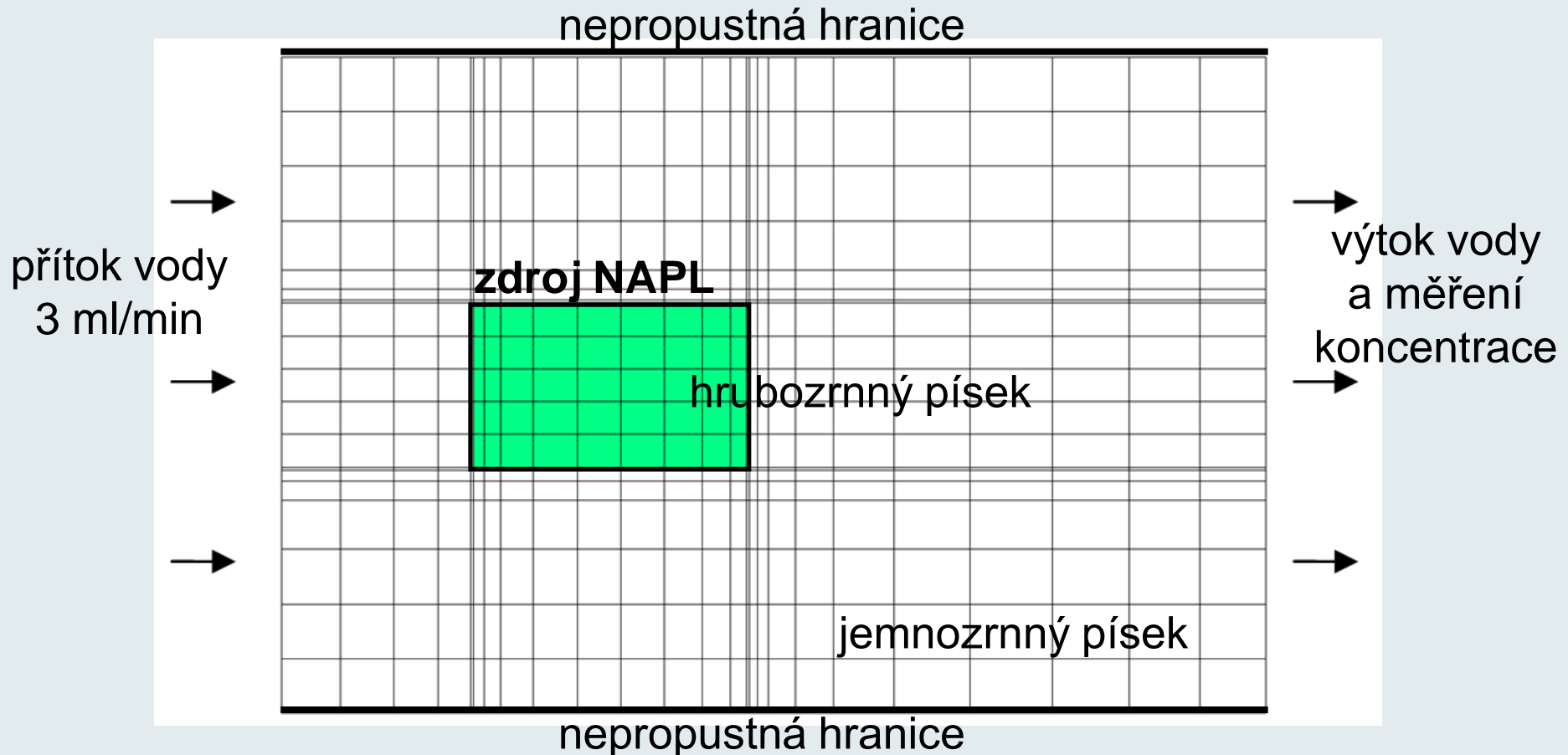


Simulace

- 1) Vliv nasycené hydraulické vodivosti (propustnosti) na chování multifázového systému
- 2) Vliv funkce relativní propustnosti (Parker x Stone) na chování multifázového systému
- 3) **Rozpustnost NAPL ve vodě → koncentrace rozpuštěného znečištění v oblasti zdroje**

Laboratorní 2D experiment (Nambi a Powers, 2000)

- o-Toluidine (16500 mg/l)
- pouze nasycená zóna, nehomogenní prostředí
- jasně definovaný zdroj NAPLu - $S_0 = 0.68$



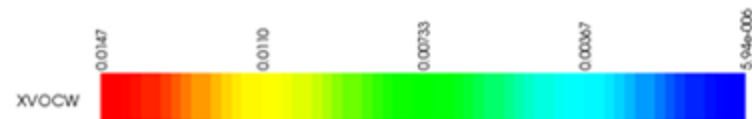
Laboratorní 2D experiment (Nambi a Powers, 2000)

- model rovnovážného rozpouštění
- rozpouštění volné fáze → nižší stupeň nasycení →
→ zvýšení propustnosti → vyšší koncentrace na výtoku

T = 130000 s

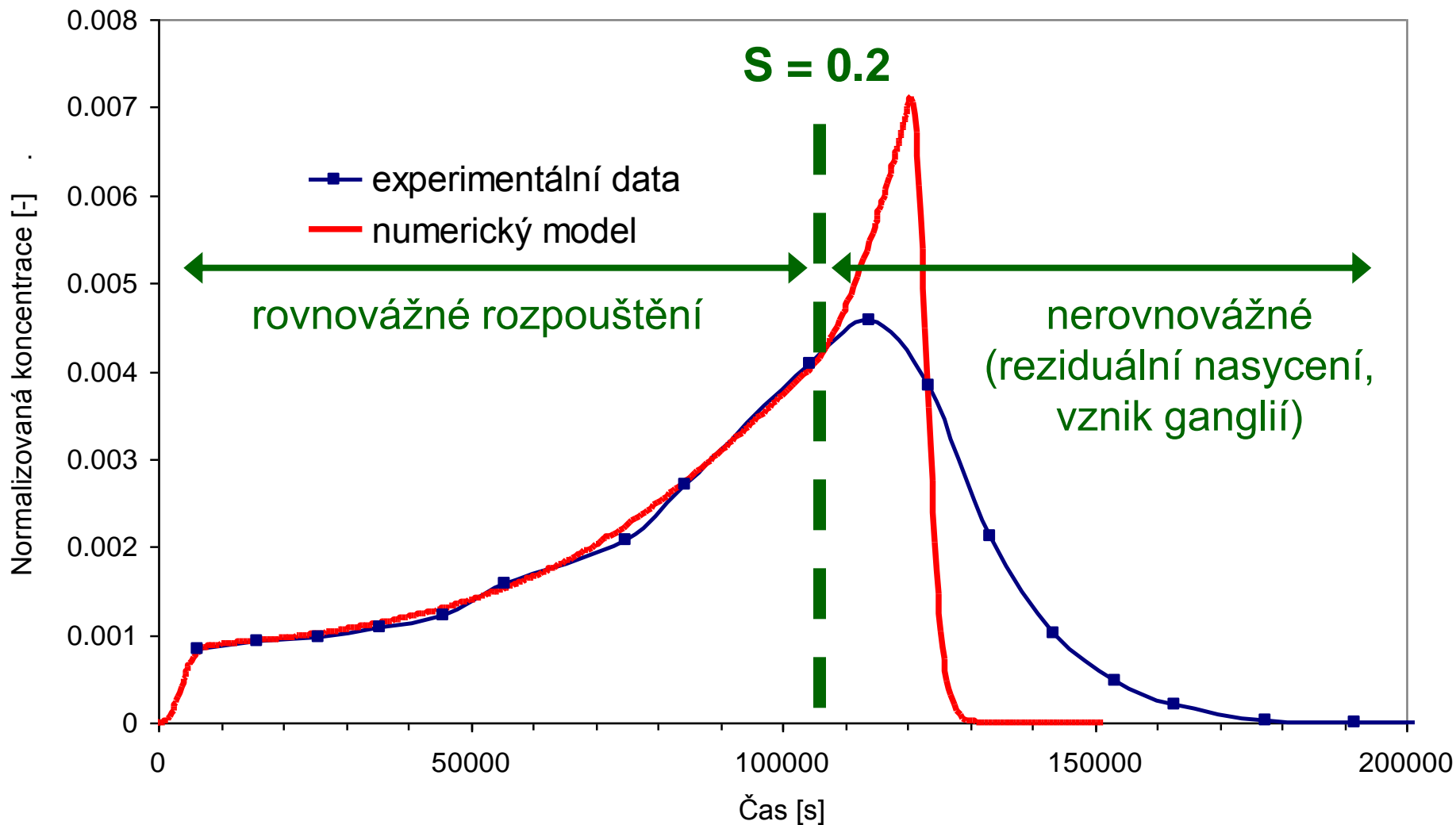
S = 0.68

C = rozpustnost (16500 mg/l)



Laboratorní 2D experiment (Nambi a Powers, 2000)

- koncentrace na výtoku - 1/1000 rozpustnosti (TCE 1000 mg/l)



Závěr

- vliv hodnoty K_s na rychlost rozpouštění volné fáze
- funkce relativní propustnosti → pohyb volné fáze v saturované zóně, rychlost rozpouštění volné fáze
- rovnoměrné x nerovnoměrné rozpouštění
- koncentrace rozpuštěného znečištění → přítomnost volné fáze DNAPL
- preferenční proudění
- vliv geometrie modelu (velikost výpočetní buňky na rozhraní materiálu) na proces rozpouštění volné fáze
- vliv parametrů retenční čáry na proces rozpouštění volné fáze

A microscopic image of plant tissue, likely a cross-section of a stem or root, showing various cellular structures. The cells are arranged in a somewhat regular pattern, with some showing distinct nuclei and cytoplasm. The overall color is a mix of light brown, tan, and reddish-brown. A semi-transparent light blue rectangular box is overlaid in the center of the image, containing the text "Děkuji za pozornost...".

Děkuji za pozornost...