

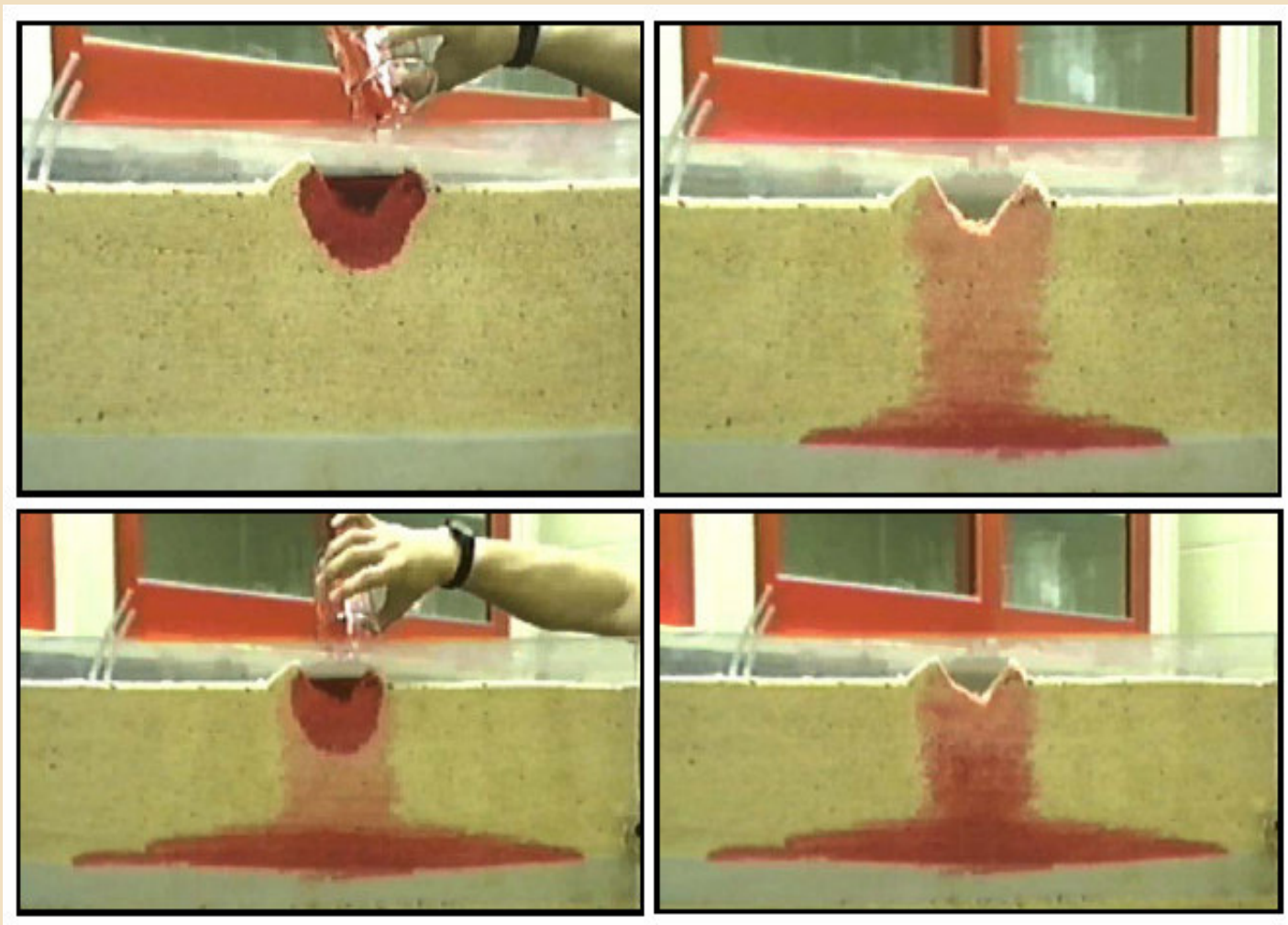


OLAJSZENNYEZŐDÉSEK KÁRMENTESÍTÉSÉNEK TÖBBFÁZISÚ MODELLEZÉSE: A LÖSZ PARADOXONA

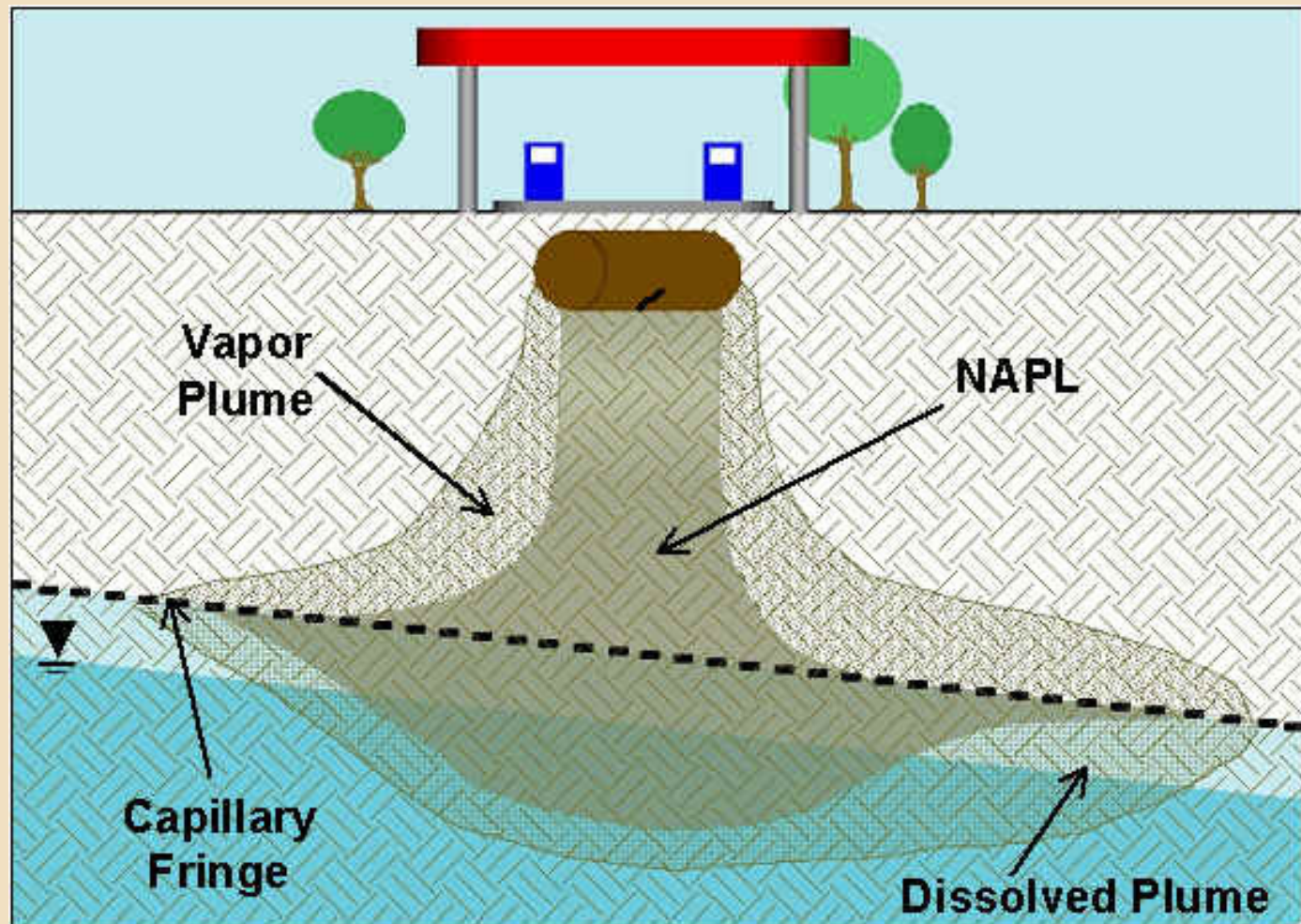
Dr Kovács Attila



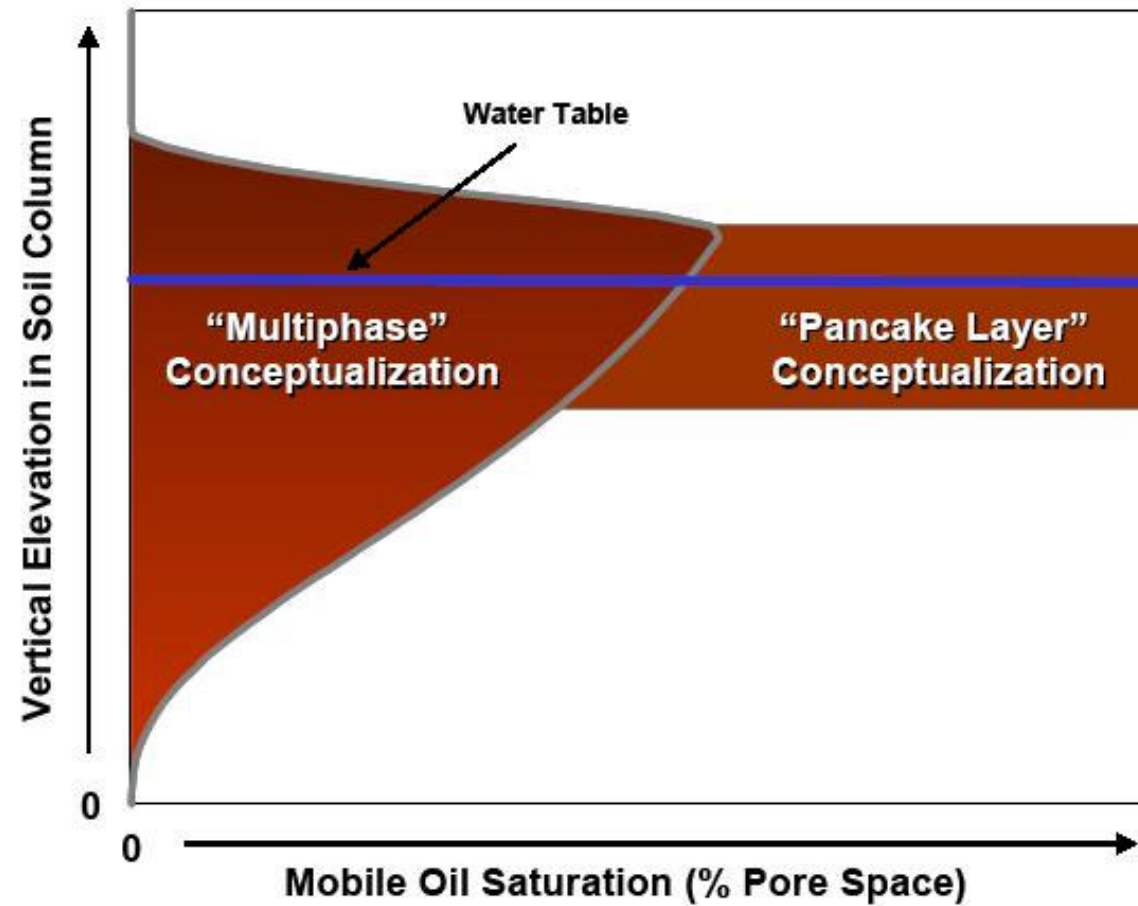
FELÚSZÓ OLAJSZENNYEZŐDÉSEK TERJEDÉSÉNEK SZAKASZAI



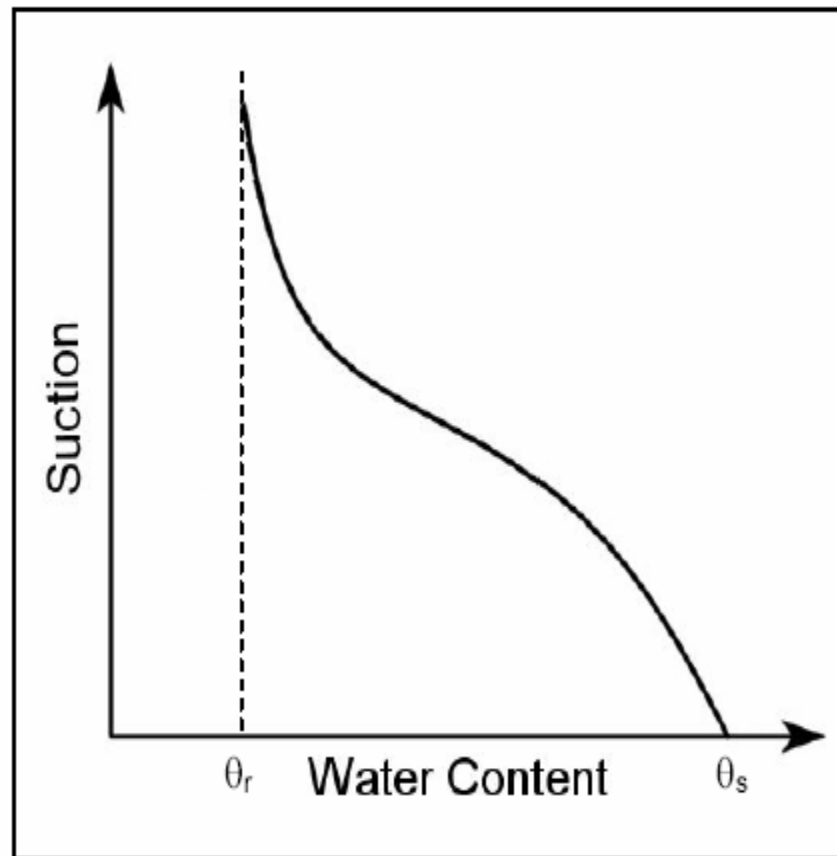
FELÚSZÓ SZÉNHIDROGÉNEK A FELSZÍN ALATT



KONCEPCIÓMODELLEK



A KAPILLÁRIS GÖRBE



$$S_f = \frac{\theta_f}{n}$$

A talajvíz szint alatt:

$$\theta_w = n$$

$$S_w = 1$$

$P=0$ (légtörési nyomás)

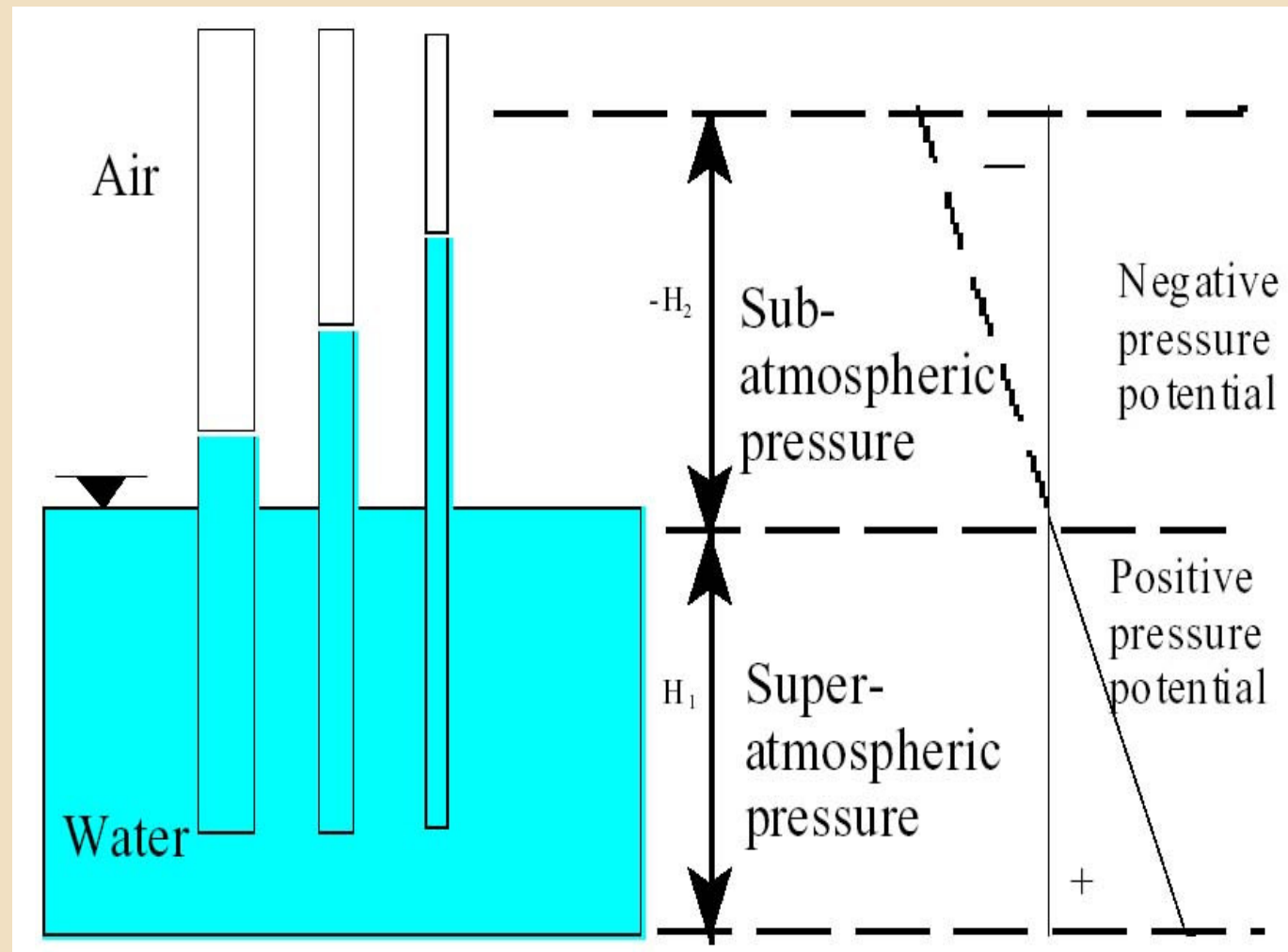
Matematikai jellemzés:

- Brooks & Corey 1964
- Van Genuchten 1980

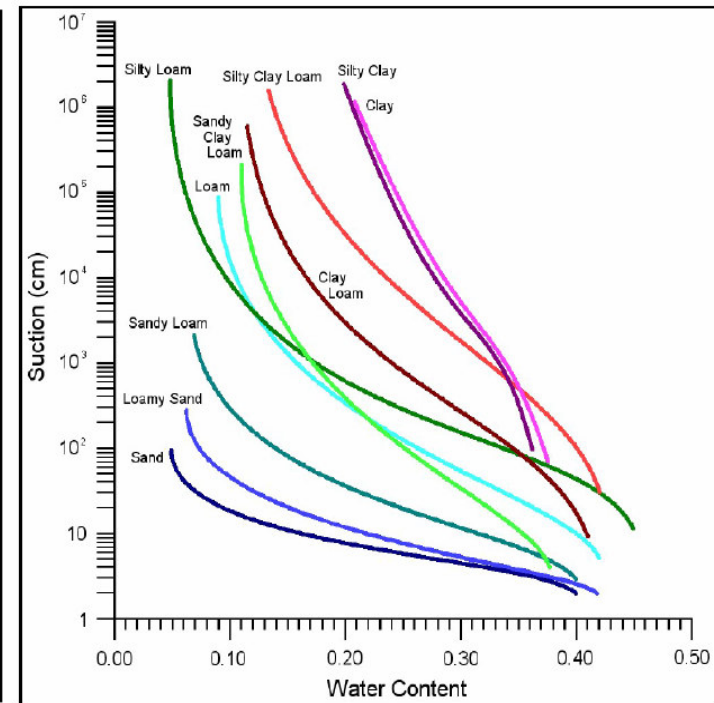
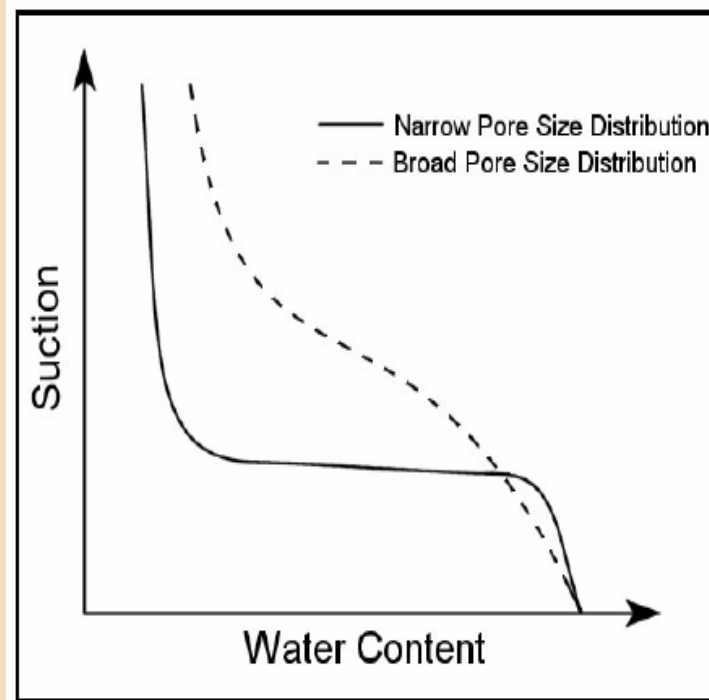
A KAPILLÁRIS NYOMÁSOK PÓRUSMÉRET-FÜGGÉSE

Laplace egyenlet:
$$P = \frac{2\sigma}{r}$$

σ (N/m) felületi feszültség
 R (m) kapilláris cső sugara



AZ OSZTÁLYOZOTTSÁG HATÁSA A KAPILLÁRIS GÖRBÉRE



Durva szemcsés üledék: Jól osztályzott

→ Lapos kapilláris görbe

Finom szemcsés üledék: Rosszul osztályzott

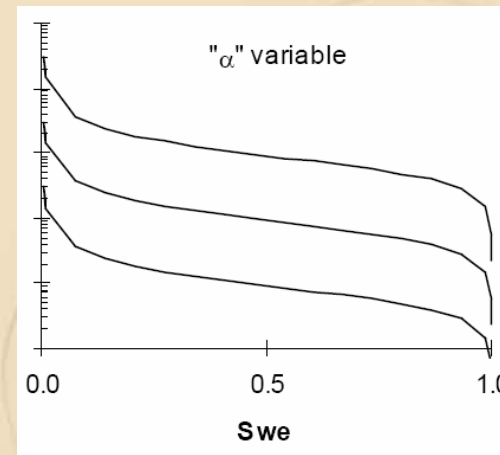
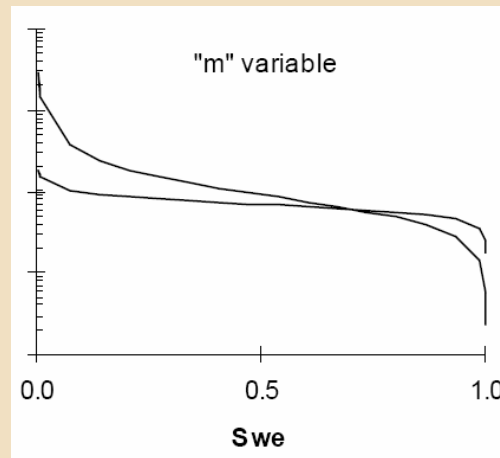
→ Meredek kapilláris görbe

A VAN GENUCHTEN EGYENLET

Van
Genuchten,
1980

$$S_w(h) = S_{wr} + (1 - S_{wr}) \left[\frac{1}{1 + (\alpha h)^N} \right]^M \quad M = 1 - 1/N$$

α : Legnagyobb pórusméret függvénye
M: Oszályozottság függvénye



Leverett, 1941

Alfa felskálázása más fázisokra:

$$\alpha_{ij} = \left(\frac{\rho_j - \rho_i}{\rho_w - \rho_a} \right) \left(\frac{\sigma_{aw}}{\sigma_{ij}} \right) \alpha_{aw}$$

RELATÍV PERMEABILITÁSOK KÉTFÁZISÚ RENDSZERBEN

Többfázisú Darcy-törvény:

$$\mathbf{q} = k_r k_i \frac{\rho_f}{\mu_f} \mathbf{i}$$

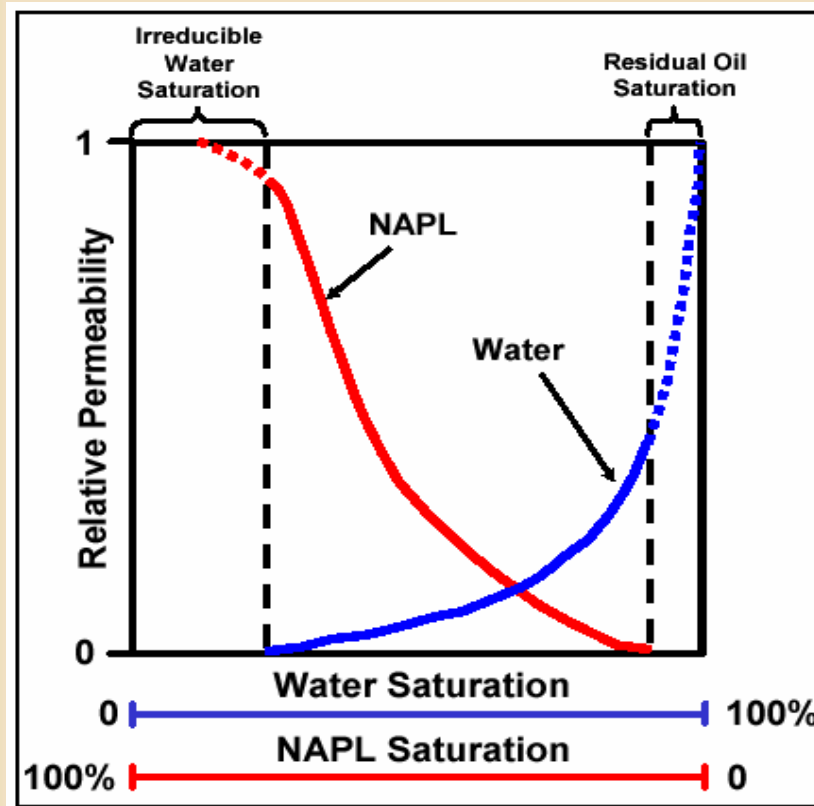
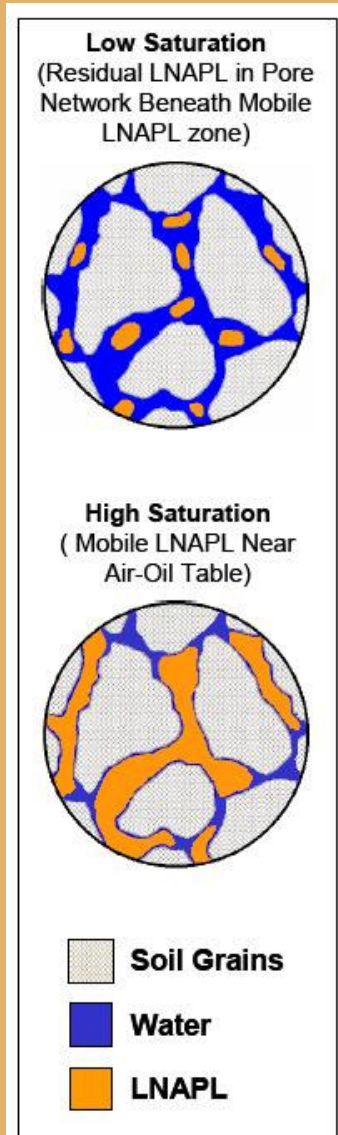
q (m/s) = darcy sebesség,

k_r = relatív permeabilitás,

k_i = permeabilitás

ρ_f (kg/m³) sűrűség

μ (Pa s) dinamikus viszkozitása



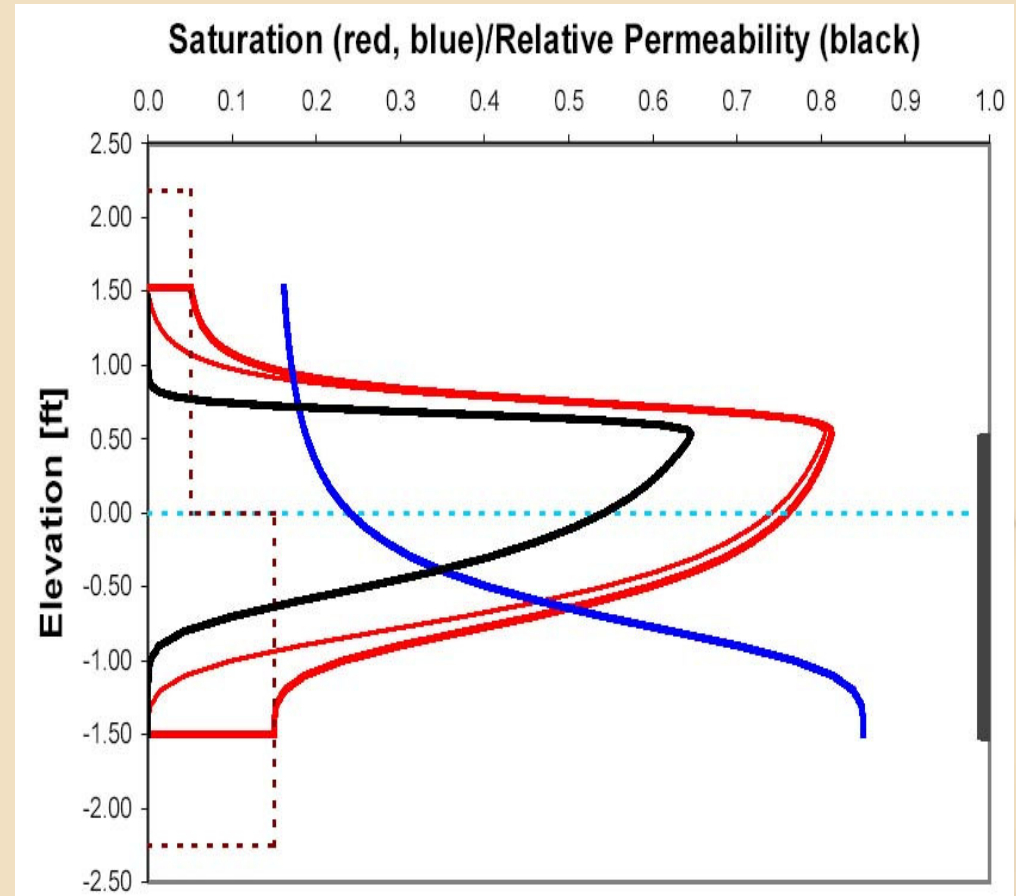
Pórusok kapcsolódnak: $k_r > 0$

Pórusok nem kapcsolódnak:
 $k_r = 0$ (reziduális telítettség)

Egyfázisú rendszer: $k_r = 1$

RELATÍV PERMEABILITÁSOK HÁROMFÁZISÚ RENDSZERBEN

k_{ro} függ:
 - Szemcseméret eloszlástól
 - Olajtelítettségtől
 → Kapilláris paraméterekkel jellemezhető (VG)



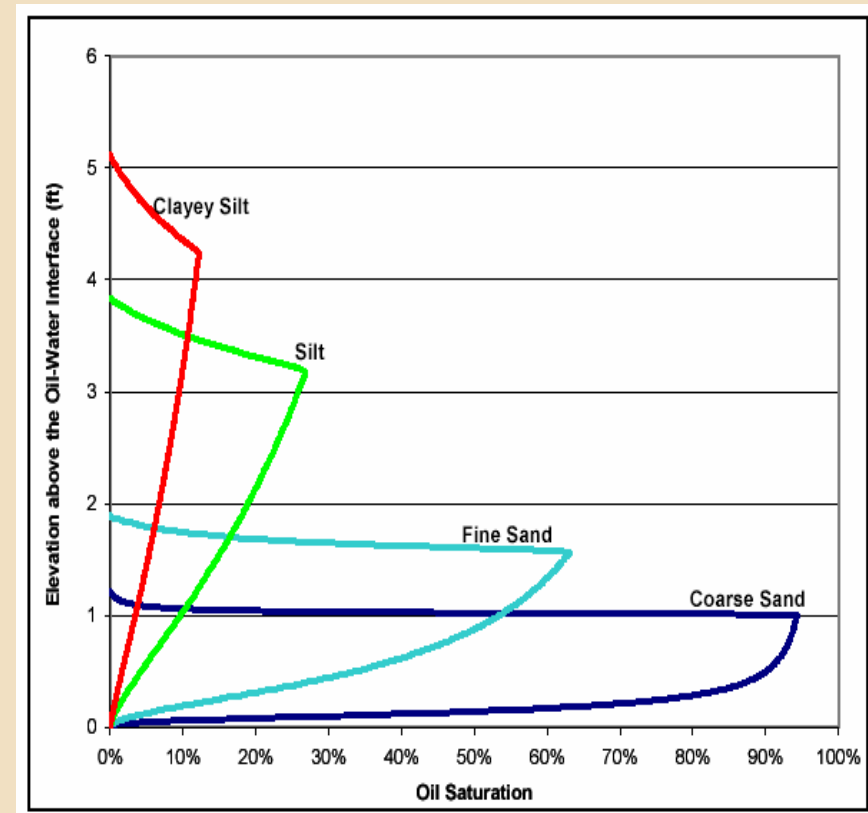
Mualem, 1976

$$k_{ro} = S_o^{1/2} \left\{ \left[1 - \left(\frac{S_w - S_{wr}}{1 - S_{wr}} \right)^{1/M} \right]^M - \left[1 - \left(\frac{S_t - S_{wr}}{1 - S_{wr}} \right)^{1-M} \right]^M \right\}^2$$

OLAJTELÍTETTSÉGEK VERTIKÁLIS ELOSZLÁSA KÜLÖNBÖZŐ ÜLEDÉKEKBEN

Durvaszemcsés
üledék: alacsony S_w ,
magas S_o

Finomszemcsés
üledék: magas S_w ,
alacsony S_o



TÖBBFÁZISÚ ÁRAMLÁS NUMERIKUS MODELLEZÉSE

többszfázisú diffúziós egyenlet :

$$n \left(\frac{\partial p_w S_p}{\partial t} \right) = \left(\frac{\partial p_w k_{rw} K_{sw} \eta_{rp}^{-1}}{\partial x_j} \right) \left(\frac{\partial h_p}{\partial x_j} + \rho_{rp} e_j \right) + \gamma_p$$

p nyomás (Pa),

S telítettség (-),

n porozitás (-),

k_r relatív porozitás,

η kinetikus viszkozitás (m²/s)

BEMENŐ MODELL PARAMÉTEREK

- Talajfizikai paraméterek
 - Porozitás: n (-)
 - Permeabilitás: k (m^2)
 - Van Genuchten paraméterek: α ($1/m$), N (-)
 - Reziduális víztelítettség: S_{wr} (-)
 - Reziduális olajtelítettségek (vadózus, telített): S_{orv} (-), S_{ors} (-)
- Folyadékfizikai paraméterek
 - Olajsűrűség: ρ_o (kg/m^3)
 - Olaj átlagos móltömege M_o (mol/m^3)
 - Olaj viszkozitása: μ (Ps)
 - Felületi feszültségek: σ_{og} , σ_{wg} (N/m)
 - Határfelületi feszültség: σ_{ow} (N/m)

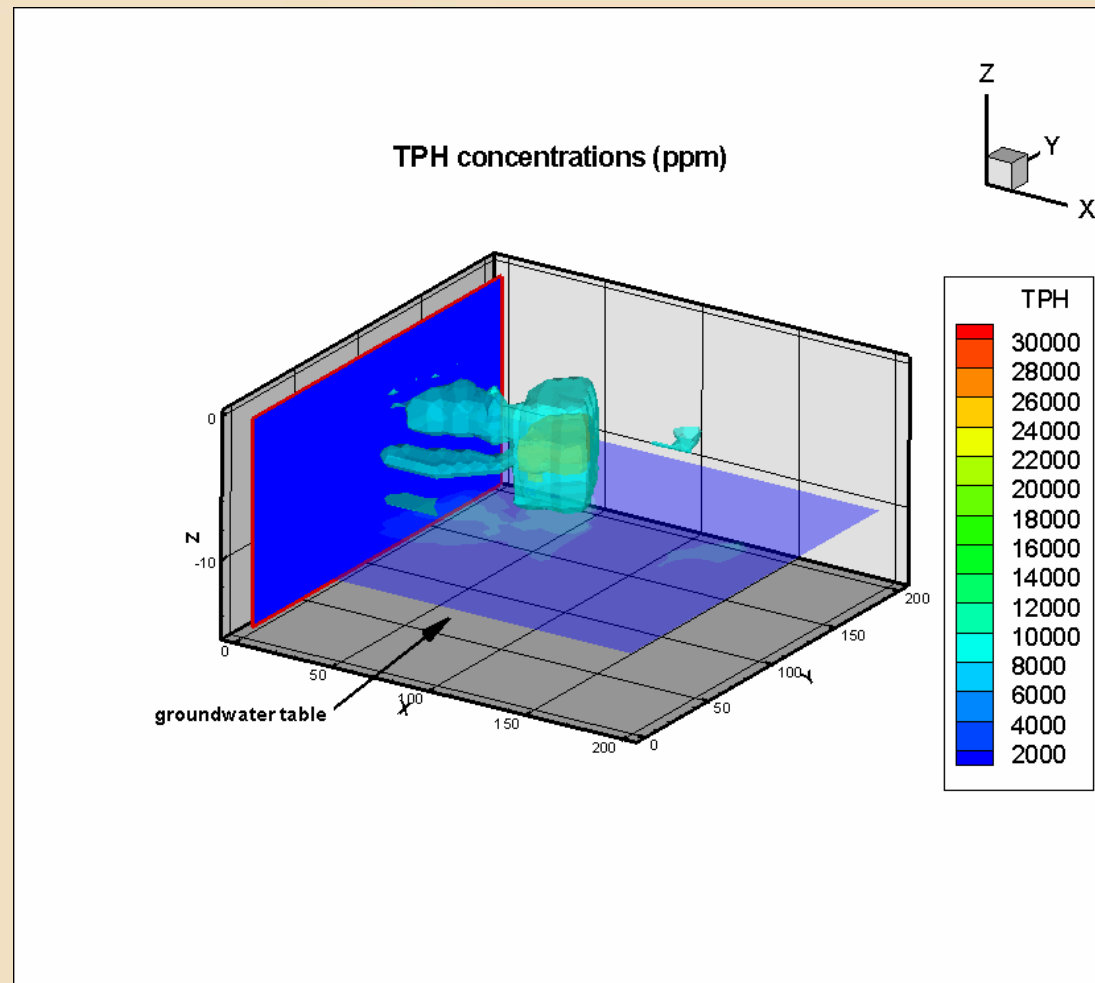
A MODELLEZÉS HOZADÉKAI

- Mért paraméterek ellenőrzése
- Konceptiómodellek ellenőrzése
- A szennyeződés terjedési folyamat hely specifikus megértése
- A szennyeződési történet feltárása
- A szennyeződés terjedésének előrejelzése (szabadfázis, oldott fázis, gázfázis)
- Kármentesítés tervezése, konfigurációk ellenőrzése, hatékonyság növelés

MINTATERÜLET

- CH tároló és átfejtő telep 1955-1995
- Termelőktas kármentesítés 1998-2005
- 4.5 m látszólagos CH vastagság
- $V_o=1500 \text{ m}^3$
- Dízel (30%) és benzin (70%) keverék
- Vízszint 11-13 m mélyen
- 50 m Pleisztocén lösz, 25% agyagfrakcióval
- $K=3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
- $n=0.45-0.48$
- $i=0.005 \text{ m/m}$
- 351 talajminta TPH és víztartalomra, 36 talajminta szemeloszlásra és talajmechanikára

SZENNYEZŐANYAG ELOSZLÁS

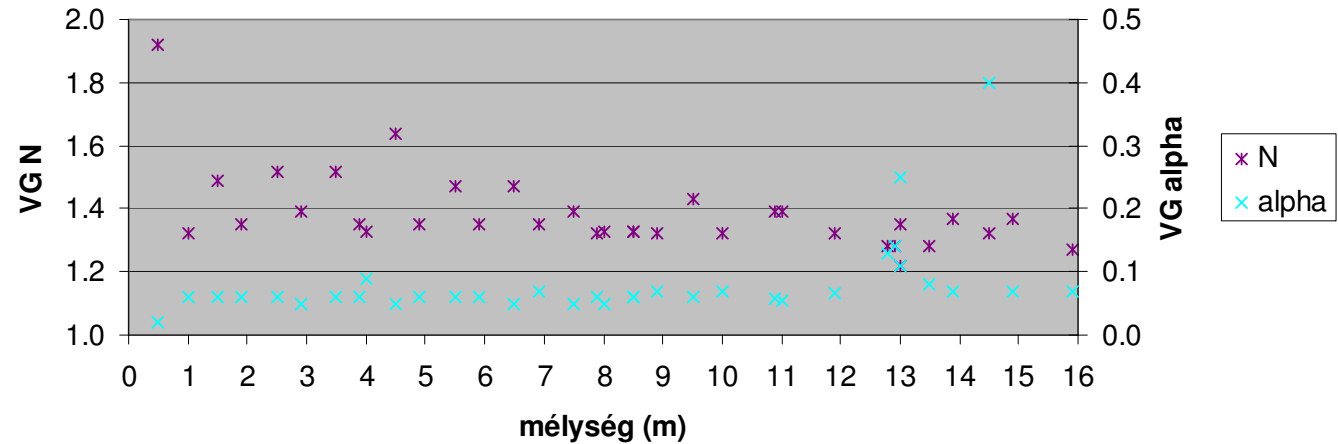


- A szennyezőanyag fő tömege a telítetlen zónában
- $S_o \text{ max}=0.2$, $S_w \text{ min}=0.8$

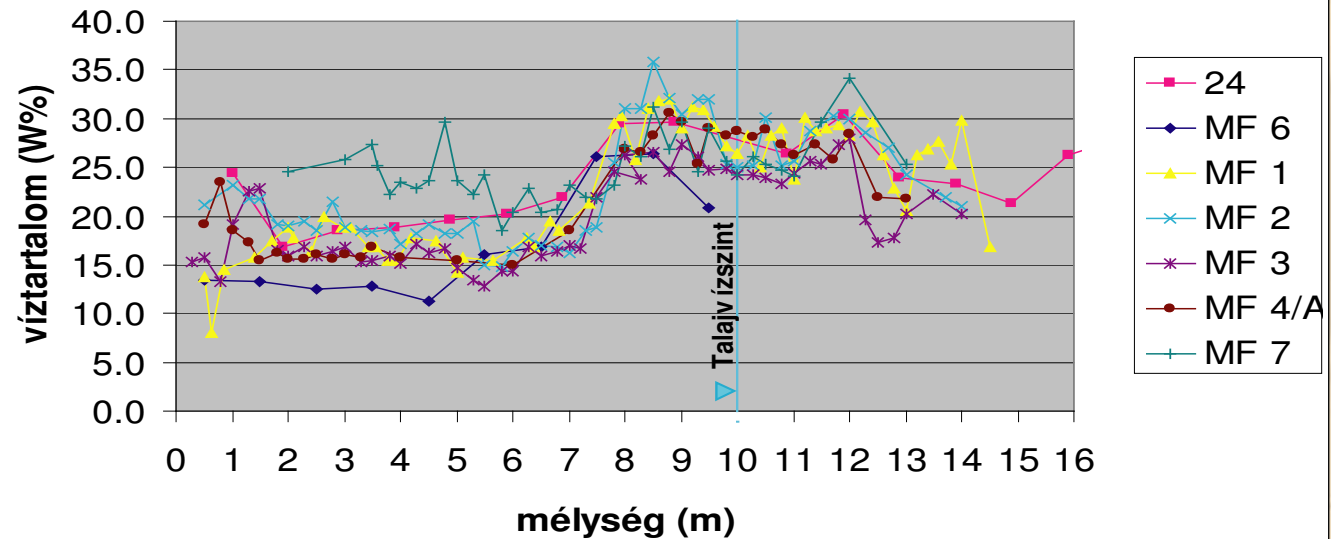
HETEROGENITÁS

7.5 méteren a VG paraméterek csökkenése és a víztartalom jelentős növekedése tapasztalható → litológiai változás: n nő, szemcseméret csökken

Van Genuchten paraméterek



A víztartalom vertikális eloszlása

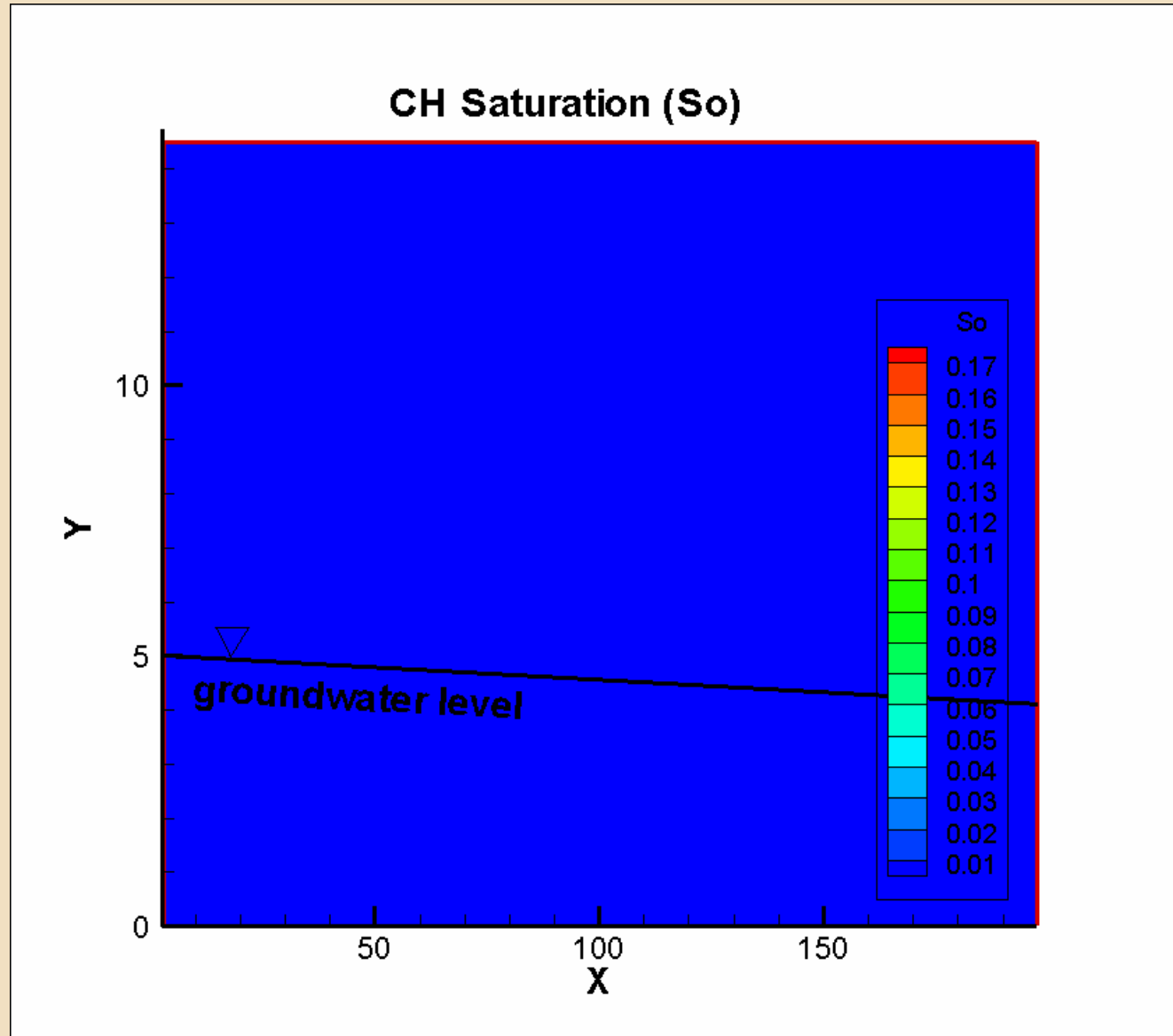


KALIBRÁLT MODELL PARAMÉTEREK

- A kapilláris paramétereket a víz és szénhidrogén telítettségek illesztése útján kalibráljuk
- A referencia telítettségek számításához ismerni kell a porozitást
→ A porozitások megfelelő becslése a modell minősége szempontjából elsődleges fontosságú

mélység (m)	n	alpha (1/m)	N	K (m/s)
0.0	0.37	0.07	1.5	3e-06
7.5				
9.5	0.44	0.06	1.4	
11.0	0.42			
12.5	0.44			
13.0	0.35	0.13	1.3	
15.0	0.38	0.06	1.4	

KÉTDIMENZIÓS MODELLVIZSGÁLATOK

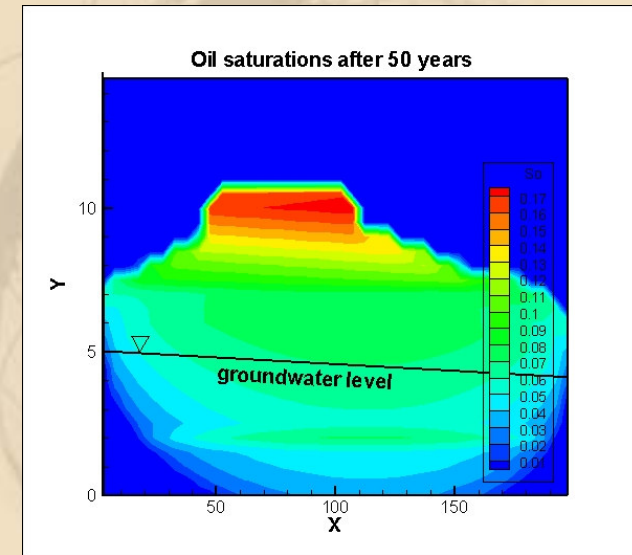
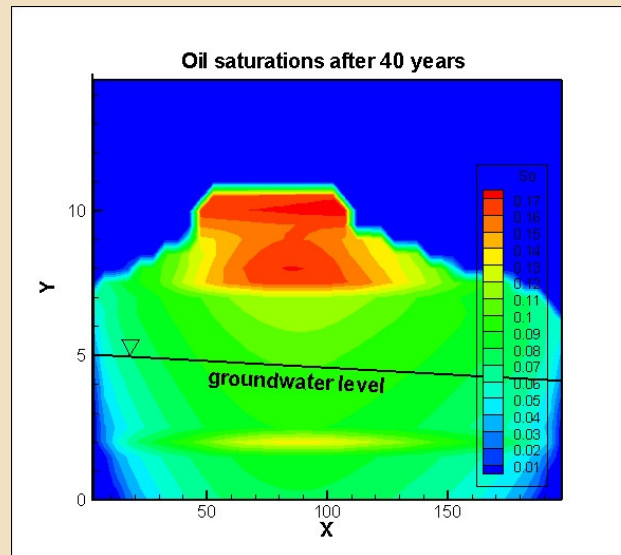
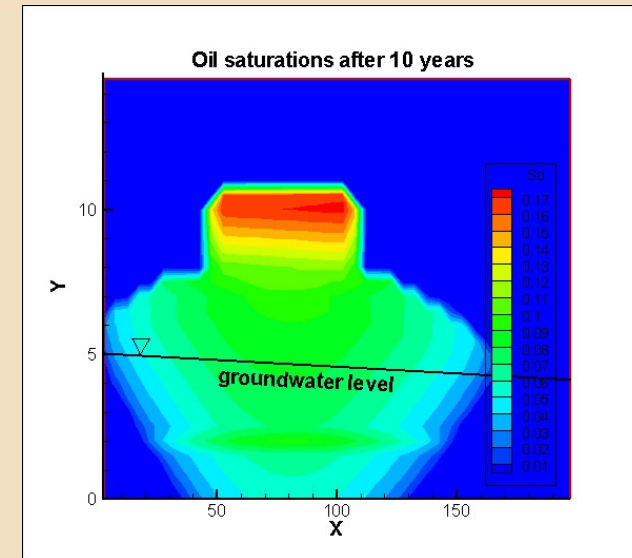
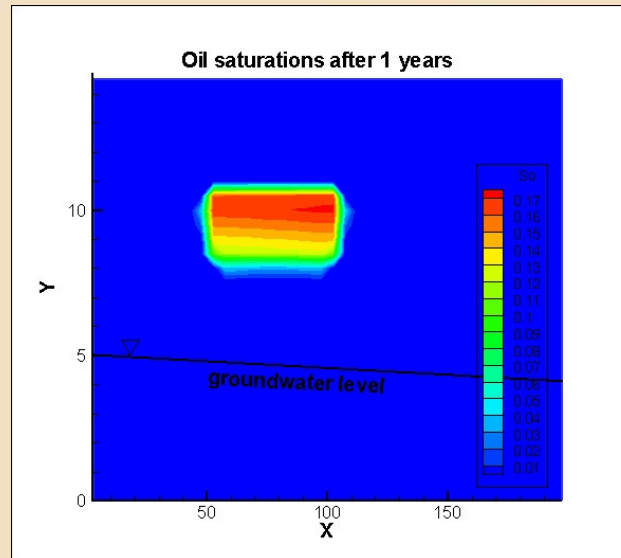


KÉTDIMENZIÓS MODELLVIZSGÁLATOK

7.5 m alatt
szemcseméret
csökkenés $\rightarrow S_o$
csökken

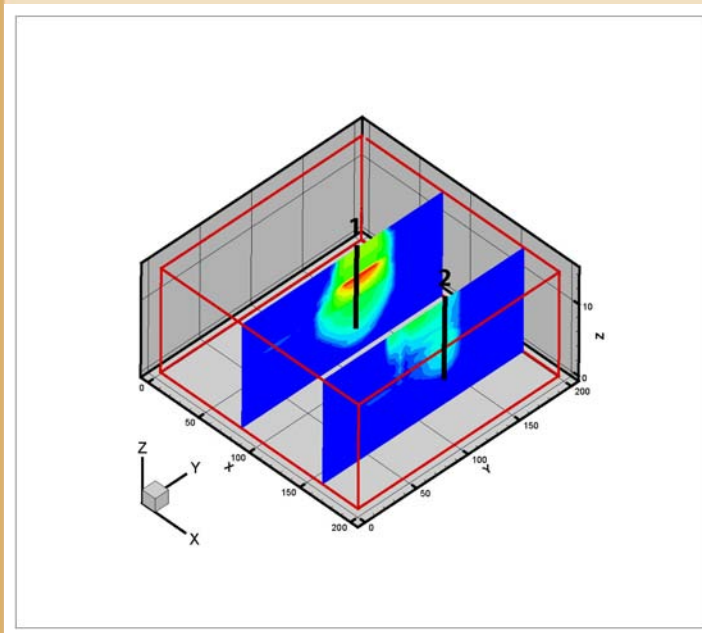
12.5-13 m
szemcseméret
növekedés $\rightarrow S_o$ nő

A szennyezőforrás
megszűnése után S_o
csökken

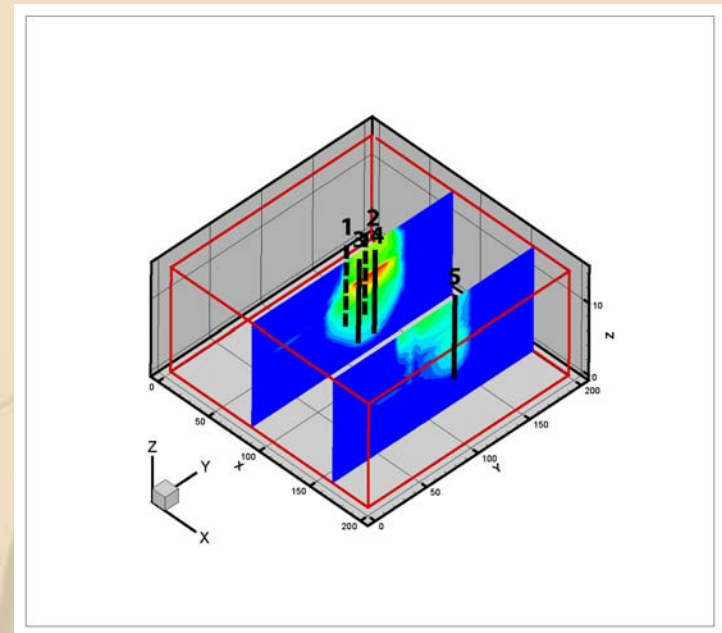


KÁRMENTESÍTÉSI MODELLEK

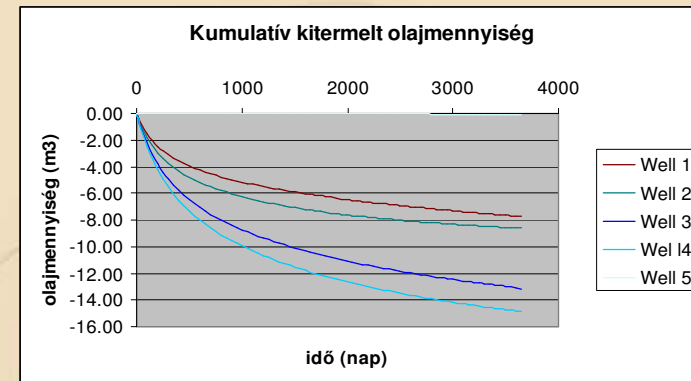
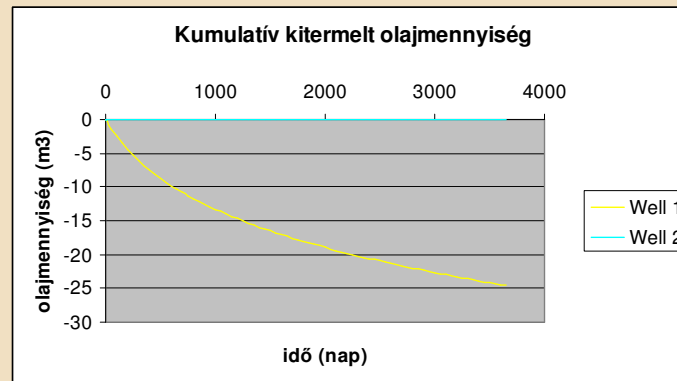
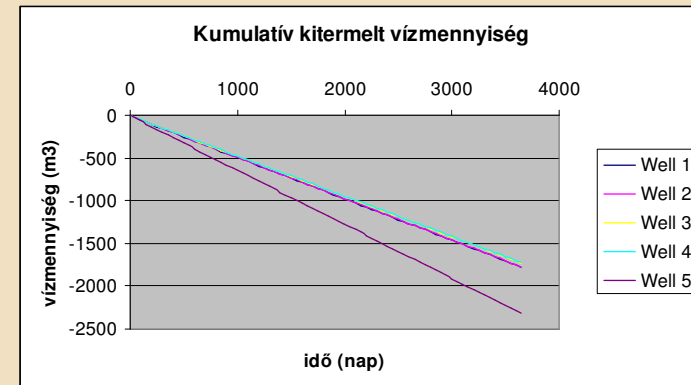
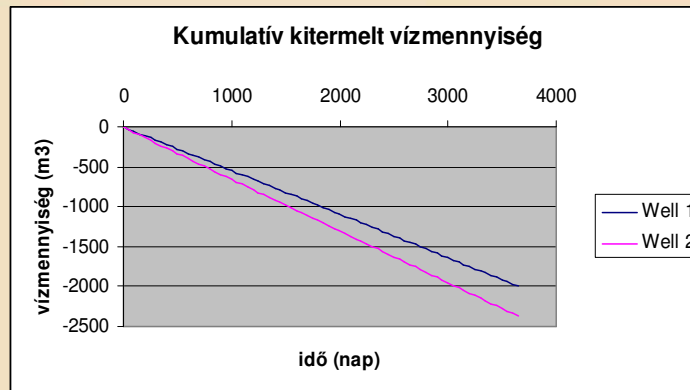
1. Konfiguráció:
2 kármentesítő kút



2. Konfiguráció:
5 kármentesítő kút



MODELLEREDMÉNYEK



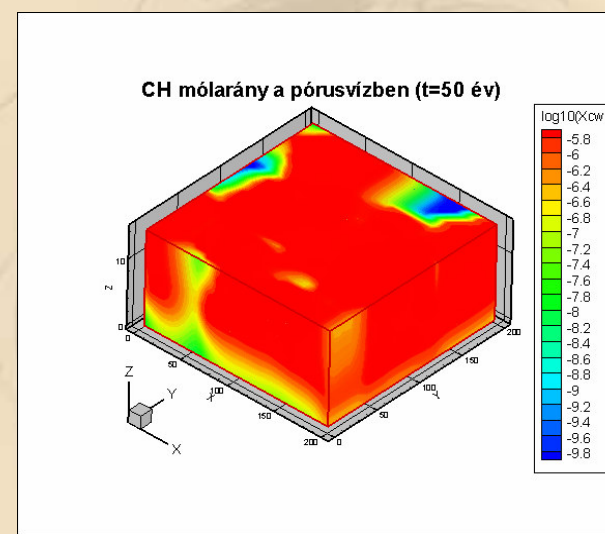
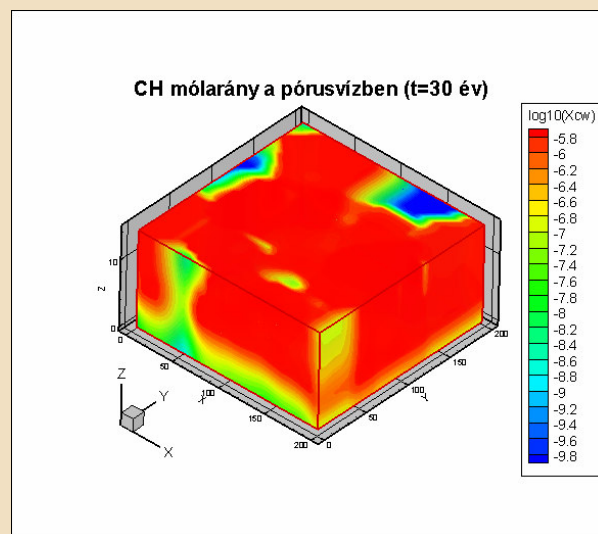
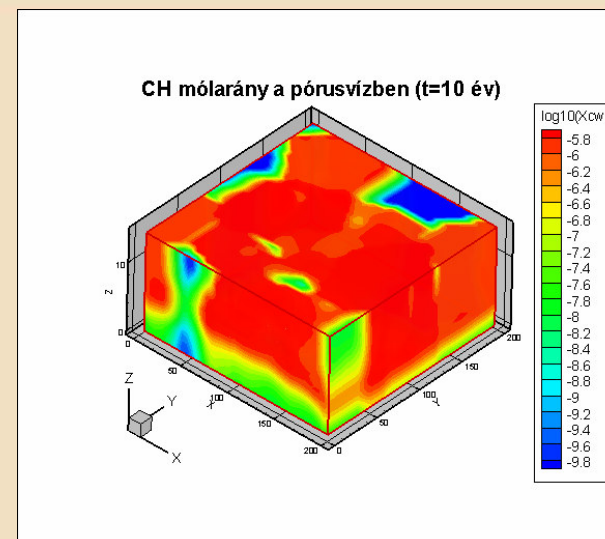
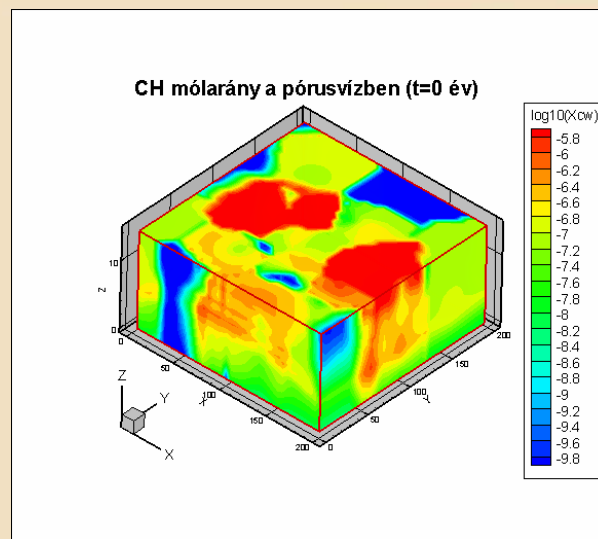
kút	Q (m ³ /nap)	V _w (m ³)	V _o (m ³)
1	0.551	1999	24.6
2	0.647	2372	0.1
Szumma:	1.198	4371	24.7

kút	Q (m ³ /nap)	V _w (m ³)	V _o (m ³)
1	0.484	1778	7.7
2	0.484	1775	8.6
3	0.473	1730	13.2
4	0.473	1725	14.9
5	0.632	2322	0.1
Szumma:	2.546	9330	44.5

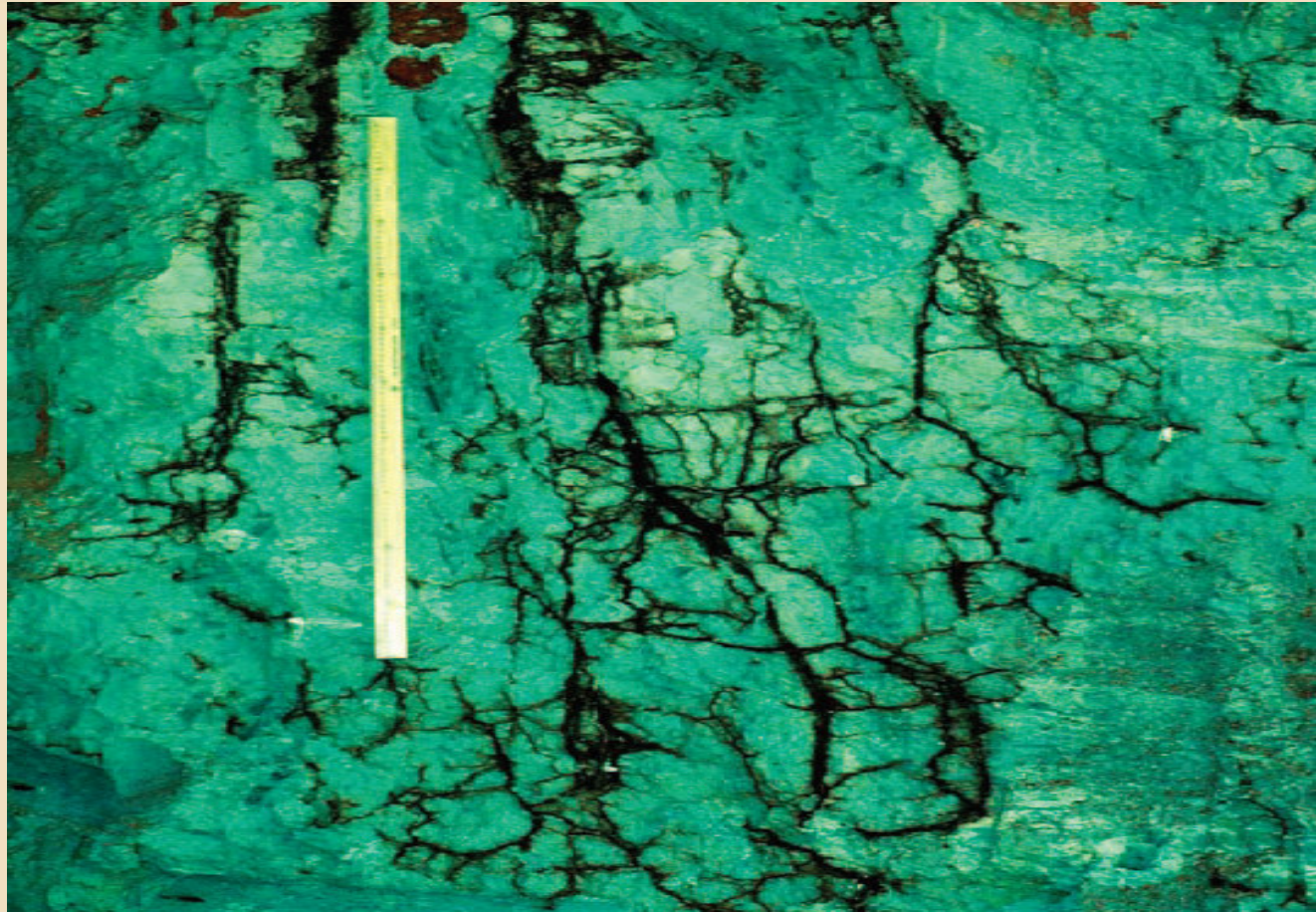
A KÁRMENTESÍTÉSI MODELLEK TANULSÁGAI

- Hagyományos módszerekkel a teljes CH mennyiség mintegy 2-3%-a távolítható csak el 10 év alatt!
- A letermelt CH mennyiség nem arányos az alkalmazott kutak számával
- A hatékonyságot nem a kutak számának növelésével hanem azok helyzetének megfelelő kiválasztásával lehet növelni
- Amennyiben a szennyezőanyag csóva reziduális olajtelítettséget meghaladó része nem éri el a talajvíz szintet, nincs érdemi CH hozam (triviális)
- A túlzott depresszió csökkentheti a CH hozamot (triviális)
- Rossz hír: Finomszemcsés üledékekben – az erős kapillaritás miatt - a CH szennyeződések aligha mobilizálhatók szivattyúzással
- Jó hír: Mivel immobilis, a szabadfázis migrációjának kockázata elhanyagolható

ÉS MÉGEGY ROSSZ HÍR...: OLDOTT SZENNYEZŐANYAG TRANSZPORT



A LÖSZ PARADOXONA

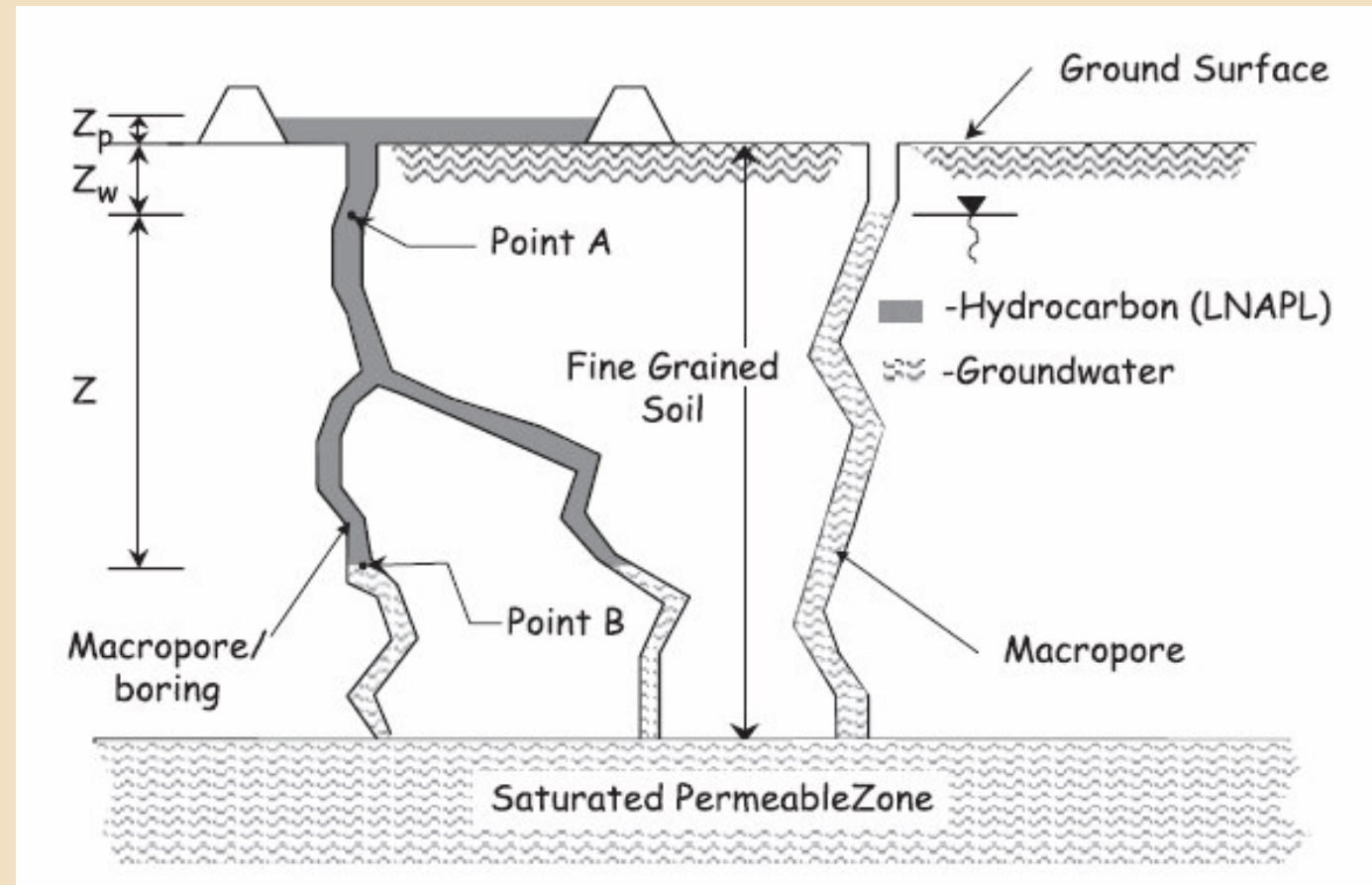


- Porózus közegben a felúszó szennyeződés a CH tartalom reziduális telítettséget meghaladó része.
- De mi a helyzet a makropórusokkal???

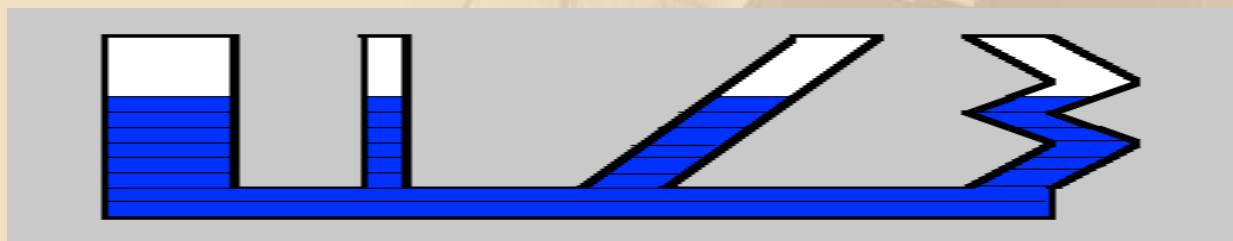
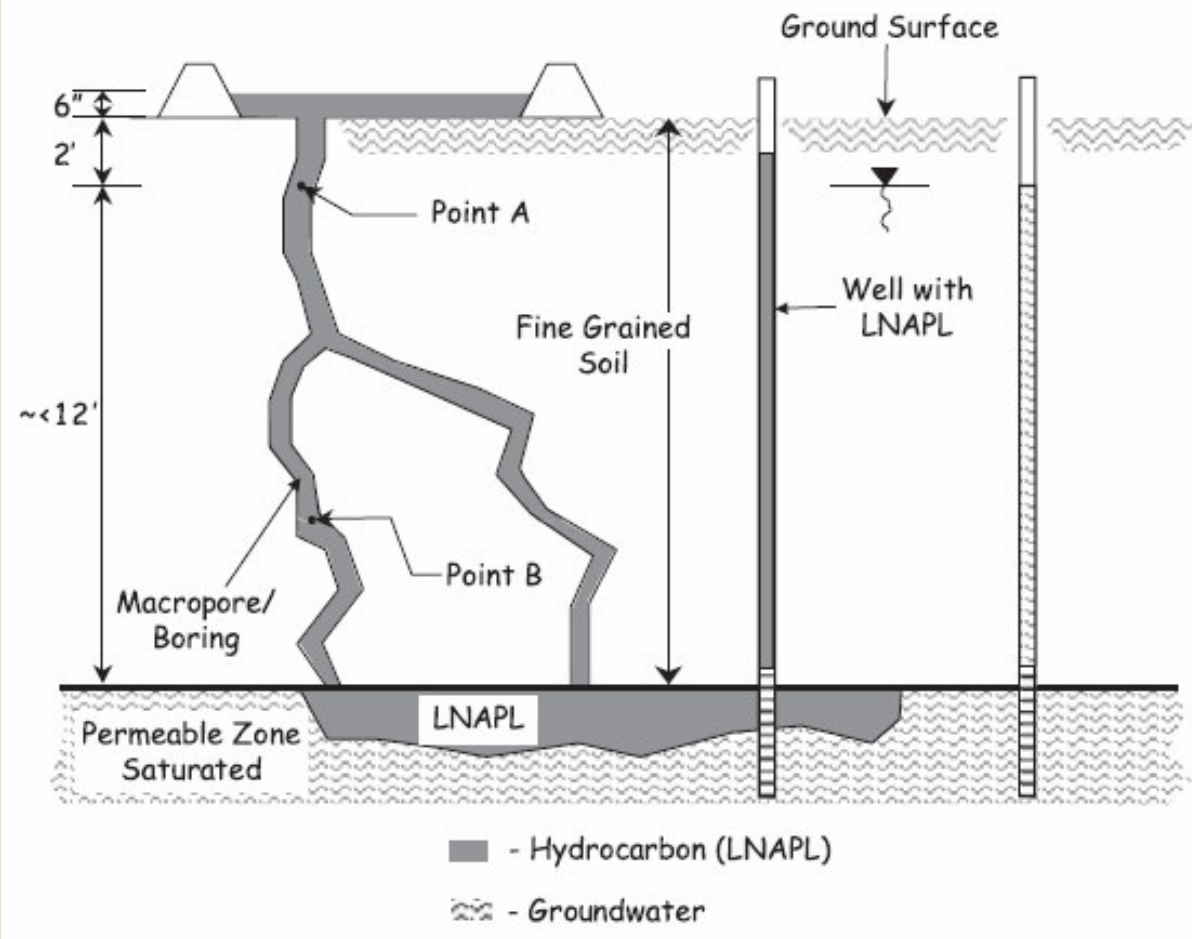
FELÚSZÓ CH VISELKEDÉSE A REPEDÉSEK BEN



A jéghegy
csúcsa...



ÉS A SZENNYEZŐ FORRÁSTÓL TÁVOLABB...



ÖSSZEFOGLALÁS

- A többfázisú numerikus modellek alapvető fontosságúak az olajszennyeződések viselkedésének terület specifikus megértéséhez és a kármentesítő rendszerek optimalizálásához
- A hagyományos koncepciómodellek (talajvíz tetején úszó LNAPL palacsinta) nem alkalmazhatóak finomszemcsés üledékek esetén
- A szemcseméret kismérvű változásai jelentősen befolyásolhatják a CH mobilitását
- A felúszó CH jelentőségének túlértékelése félrevezető lehet: Nagy látszólagos felúszó olajvastagságok nem okvetlenül jelentenek összefüggő felúszó CH lencsét, sem pedig nagymennyiségű mobilis fázist
- Finomszemcsés üledékekben a fő kockázatot nem a szabadfázisú CH hanem az oldott komponensek terjedése jelentheti
- Az oldott fázis utánpótlódása a szabadfázisból jelentős lehet, ami viszont nem mobilizálható. Hogyan tovább???
- Hagyományos kármentesítő rendszerek hatékonysága nem okvetlenül a kutak számának növelésével, hanem azok helyének és hozamának gondos kiválasztásával javítható