

Interreg



Kofinanciert von
der Europäischen Union
Spolufinancováno
Evropskou unií

Sachsen – Tschechien | Česko – Sasko

Sít' výzkumných institucí a podniků pro Infrastrukturu

Forschungs- und Unternehmensnetzwerk für Infrastruktur



Modely vlhkosti v porézním prostředí

Jan Březina



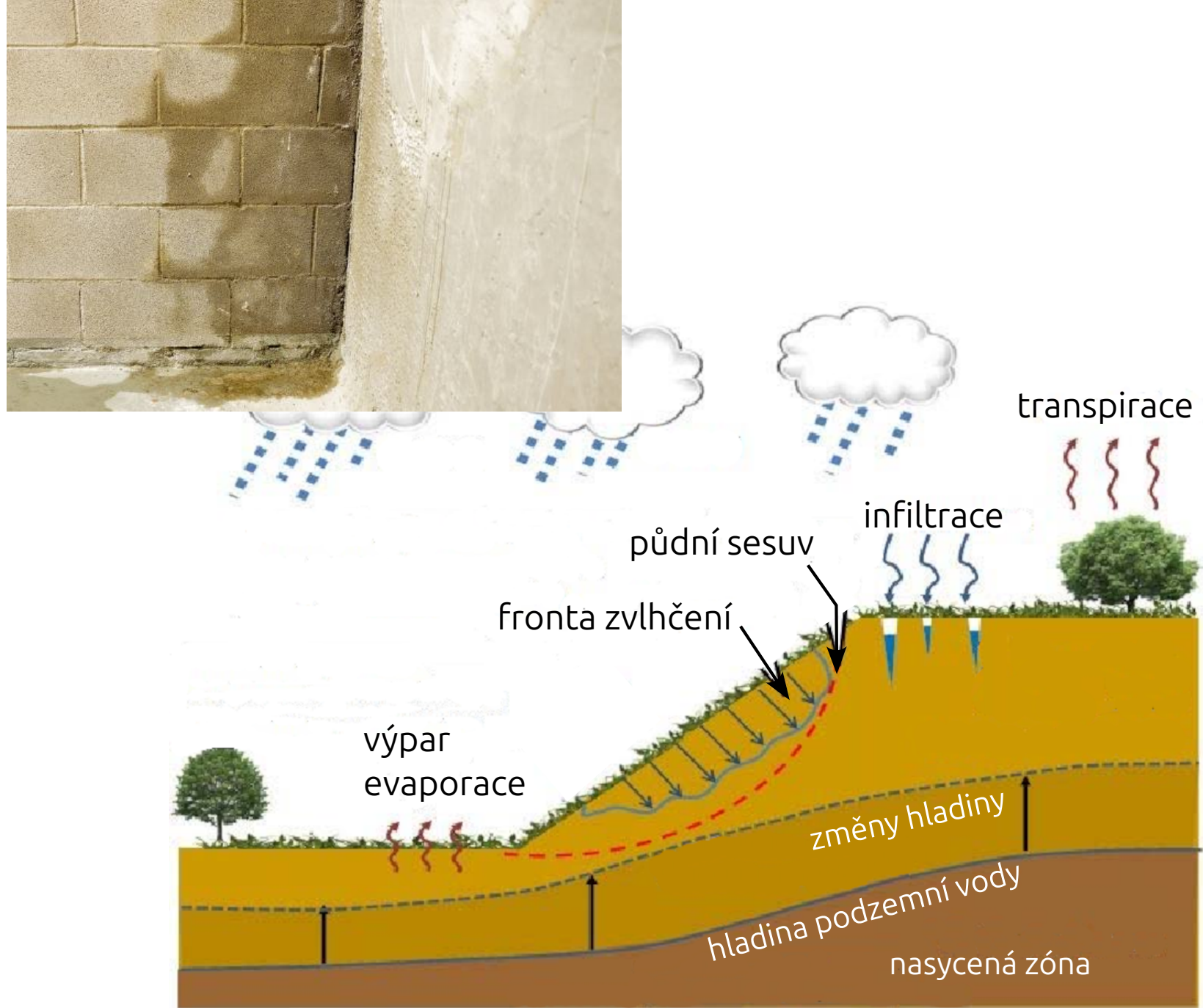


AHOJ
SOUSEDE.

HALLO
NACHBAR.

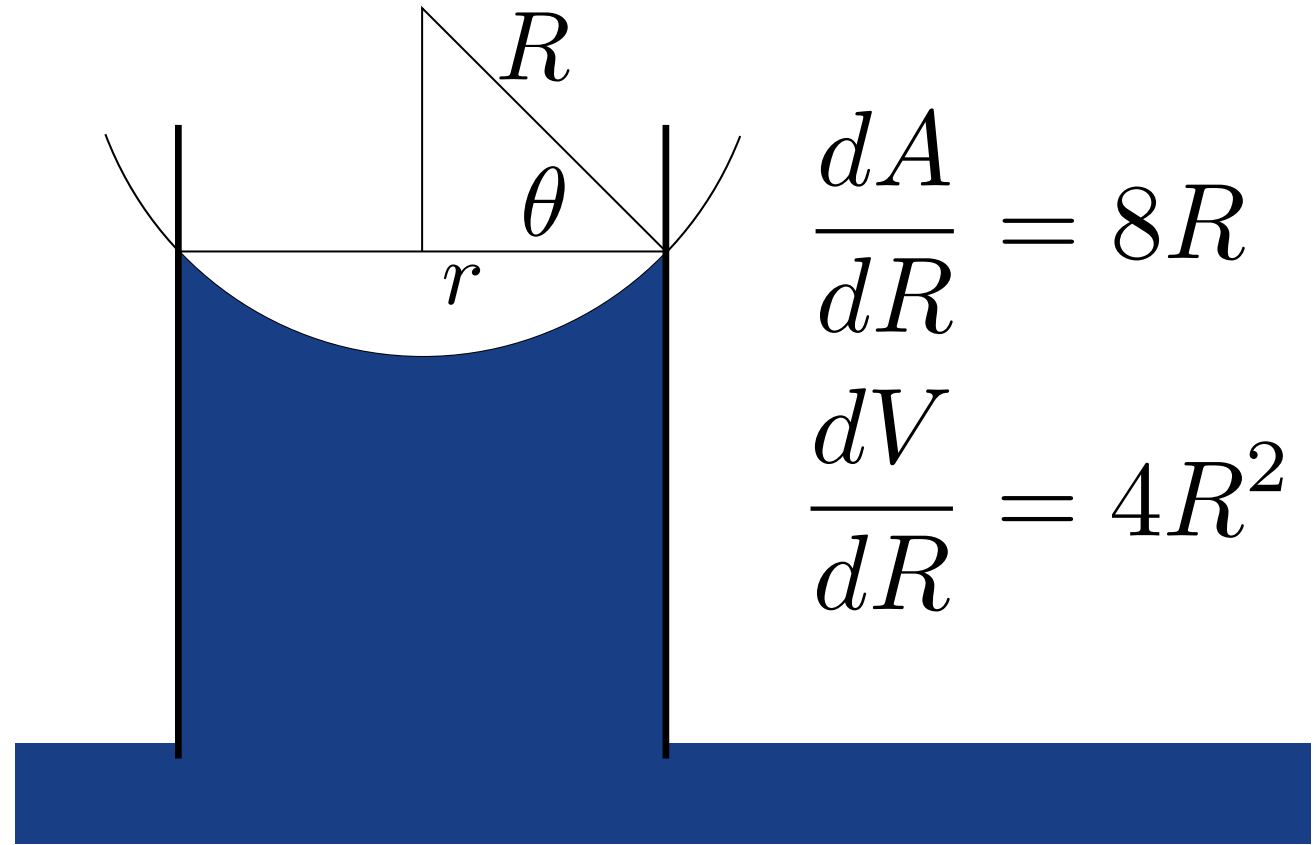
Aplikace

- Zavlažování
- Klima
- Dotace aquiferů
- Těžba, zásobníky
- Hráze
- Vlhkost ve zdivu
- Stabilita svahů



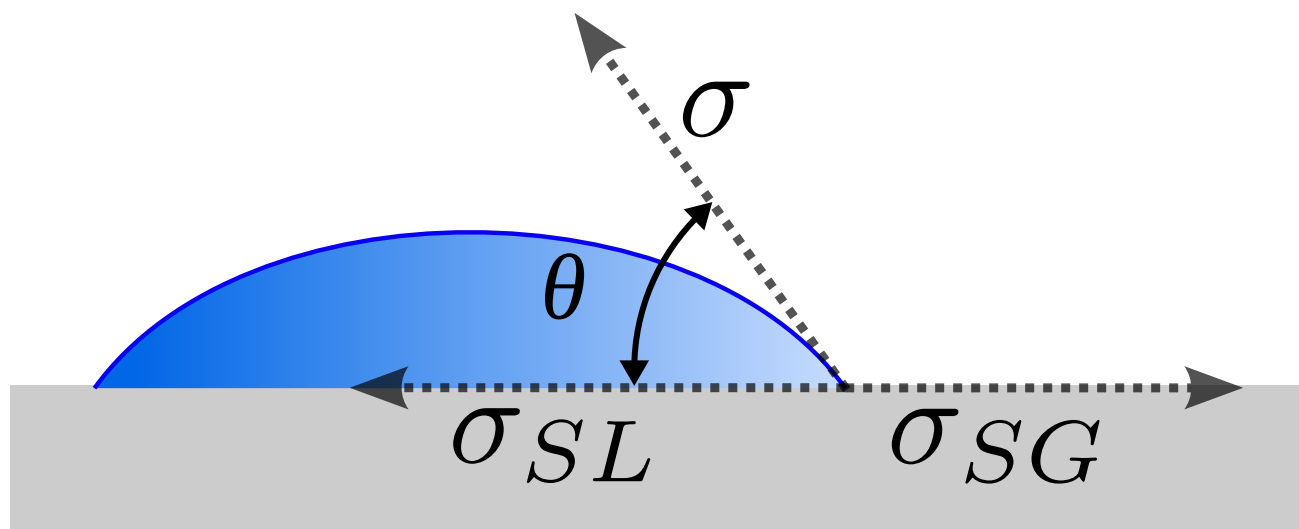
Kapilární (sací) tlak

$$h\rho g = P_c = \sigma \frac{dA}{dV}$$



$$P_C = \frac{2\sigma}{R} = \frac{2\sigma \cos(\theta)}{r} = 2\sigma \cos(\theta) \left(\frac{1}{r_x} + \frac{1}{r_y} \right)$$

Kontaktní úhel



$$\sigma_{SG} - \sigma_{SL} = \cos(\theta)\sigma$$

glass - air
200 mN / m

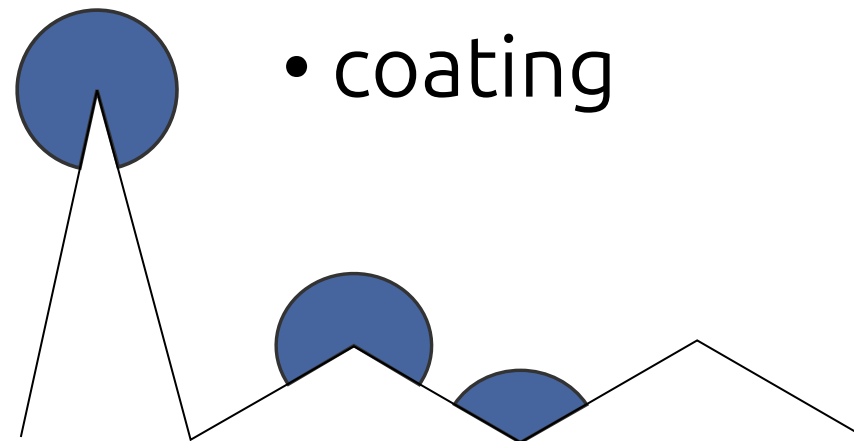
glass - water
150 mN / m

water - air
70 mN / m

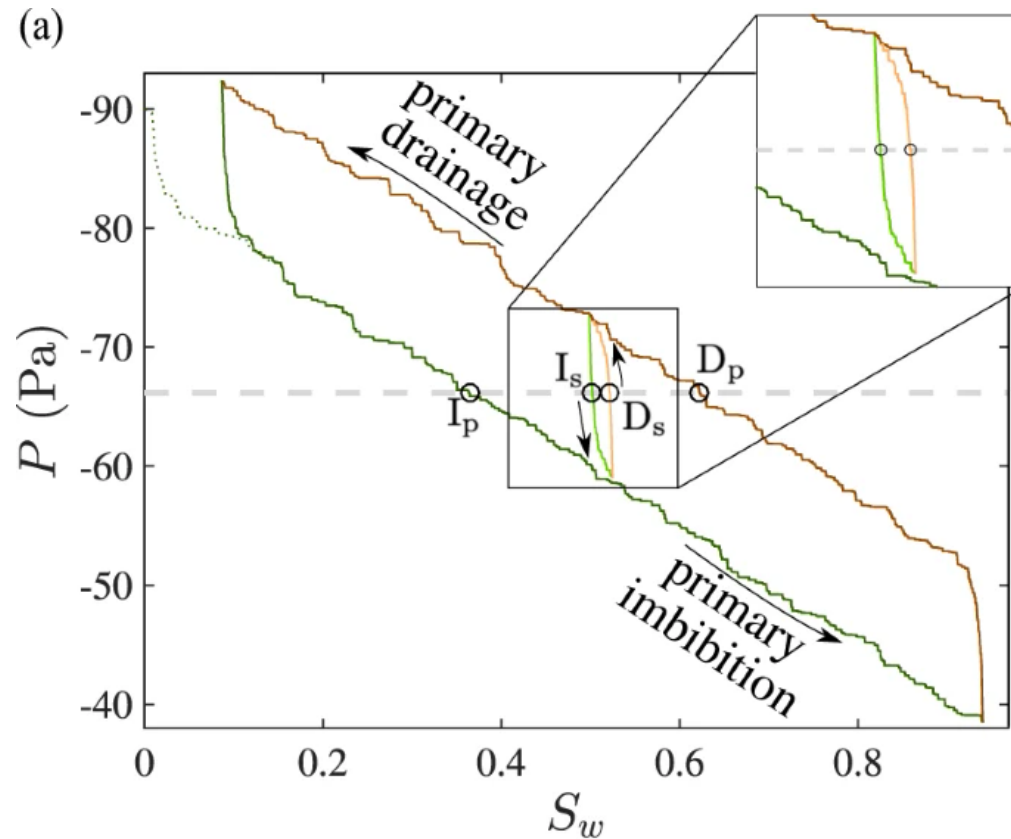
$\theta = 44 \pm 15^\circ$
postupující / ustupující

mechanismy
histereze úhlu:

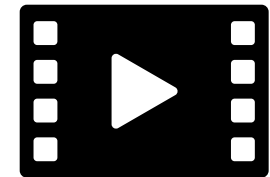
- nerovnosti
- různé minerály
- zbytky jiné fáze
- coating



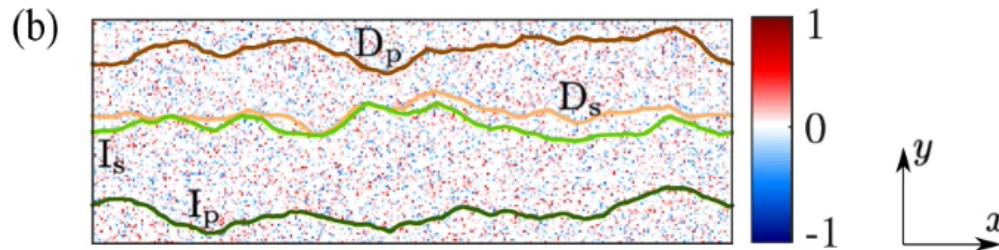
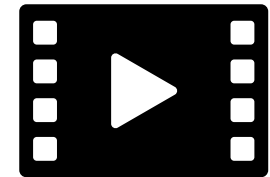
cyklus vzlínání (imbibition) - drenáž



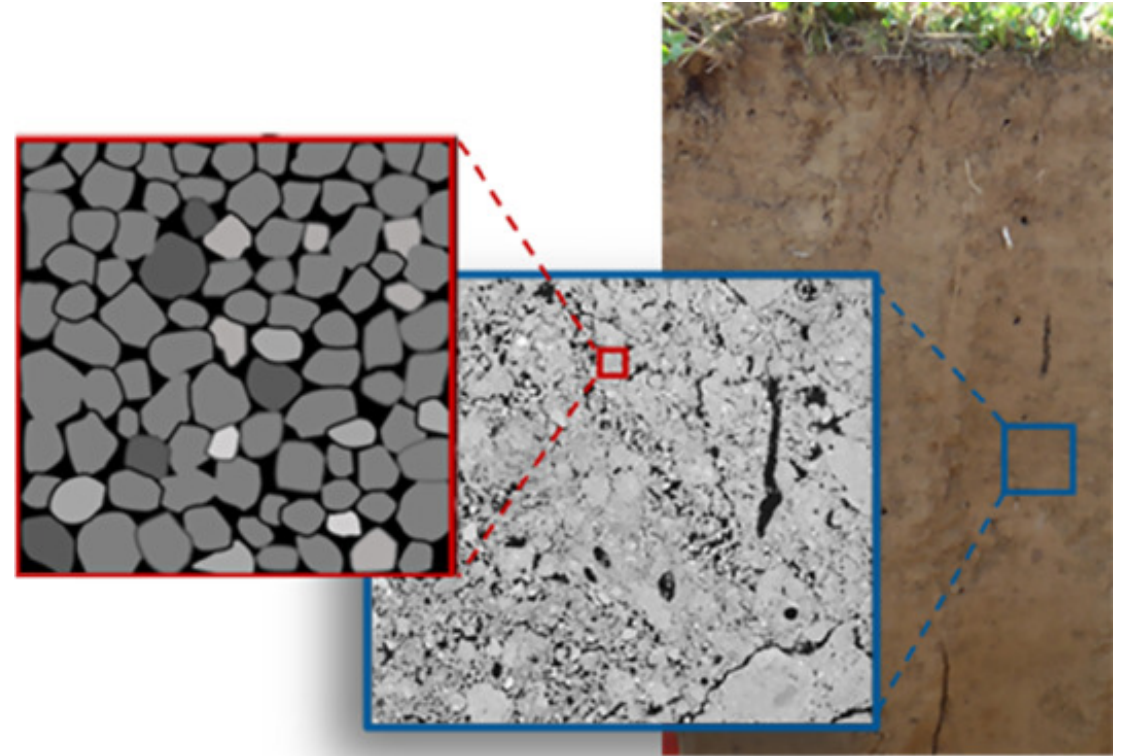
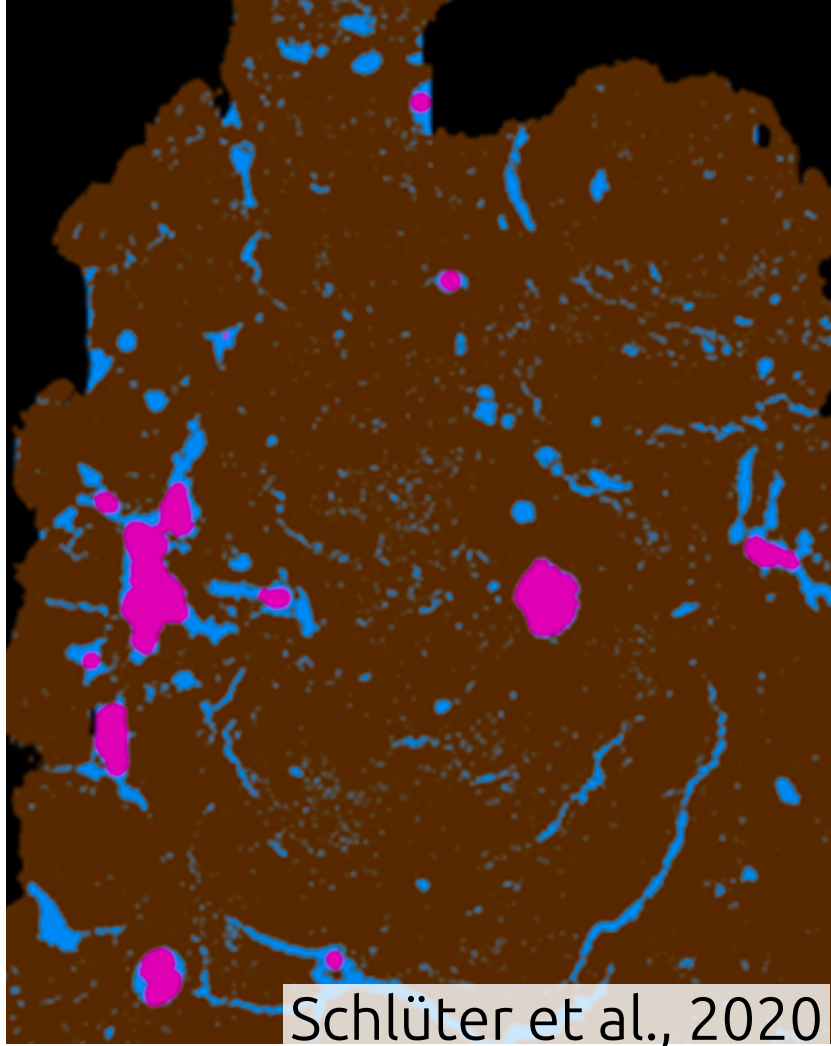
vzlínání : úhel 90



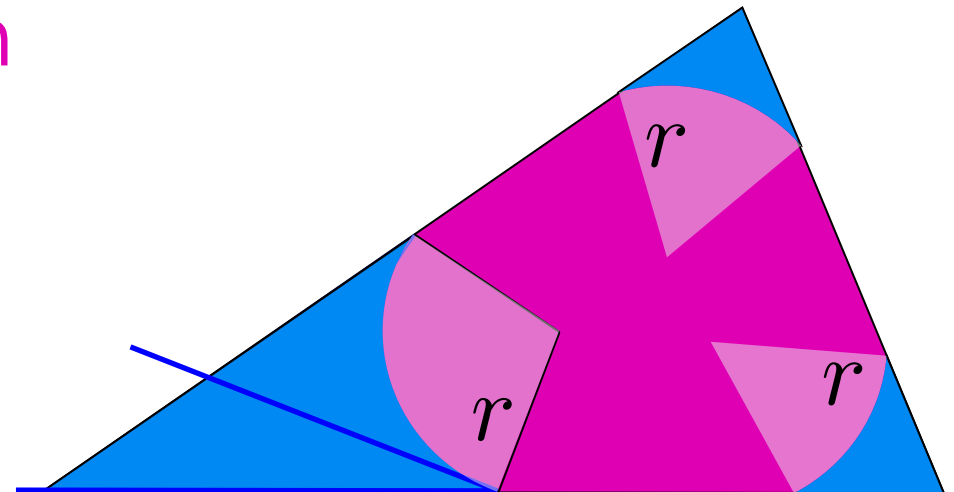
vzlínání : úhel 5



Struktura pórů

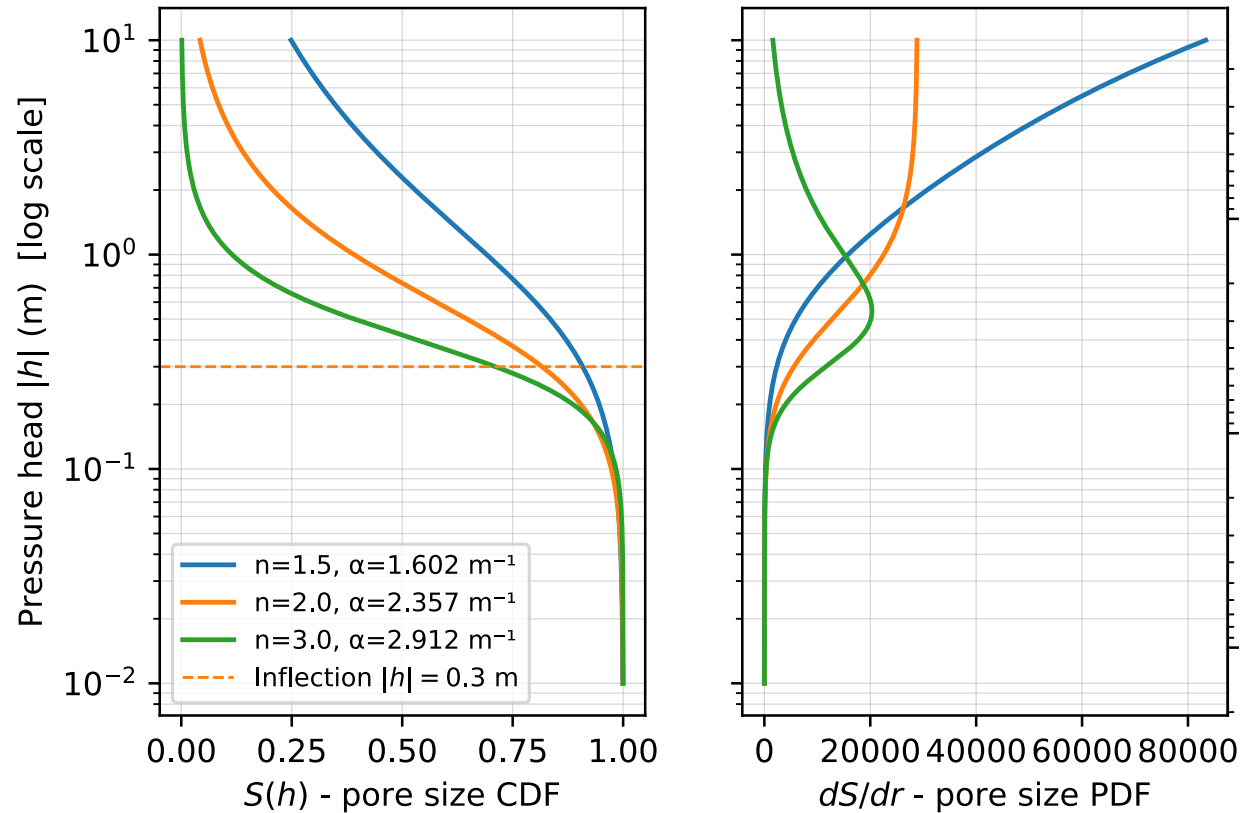


voda
vzduch
písek
prach
jíl

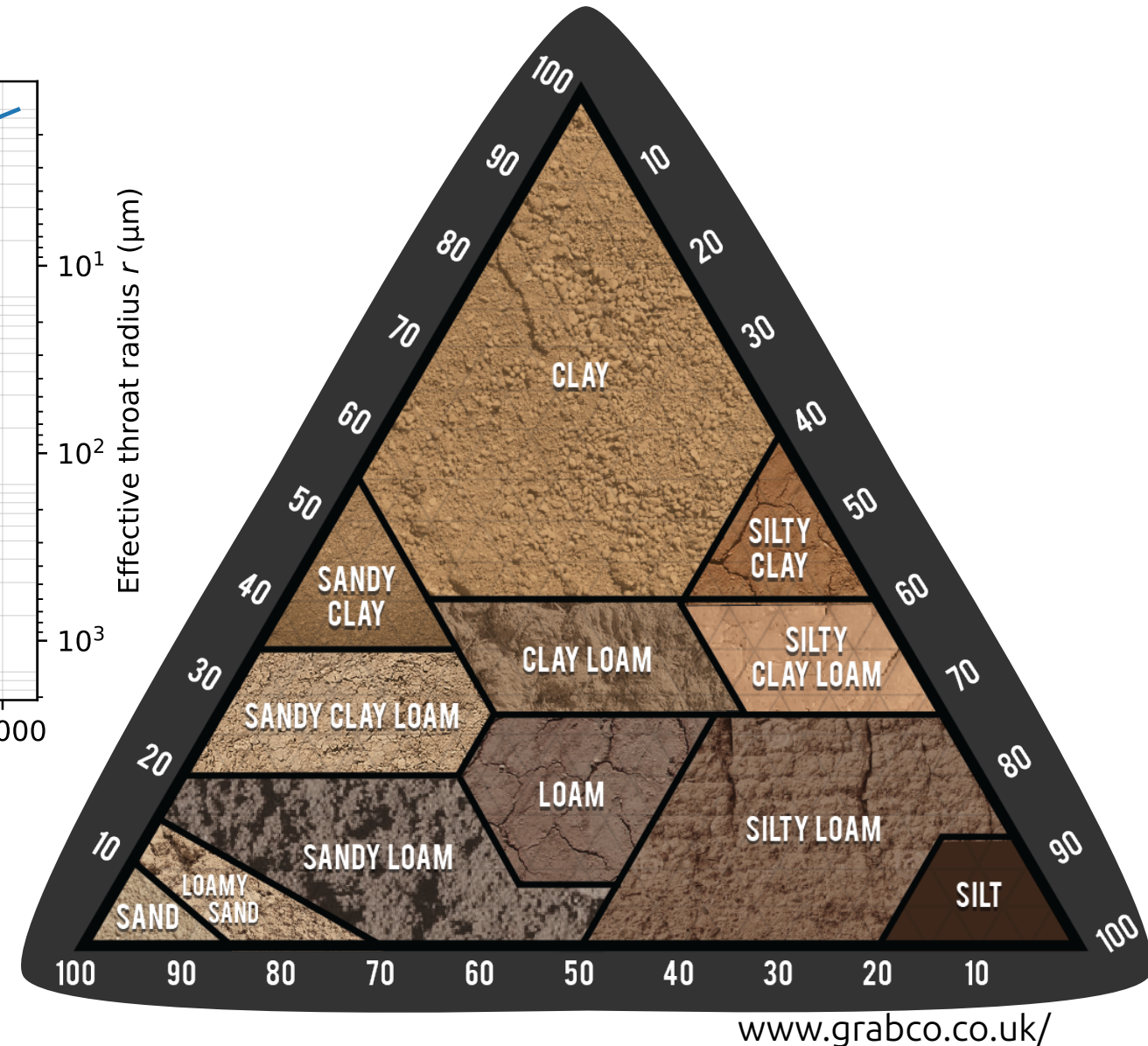


Vztah tlak - saturace

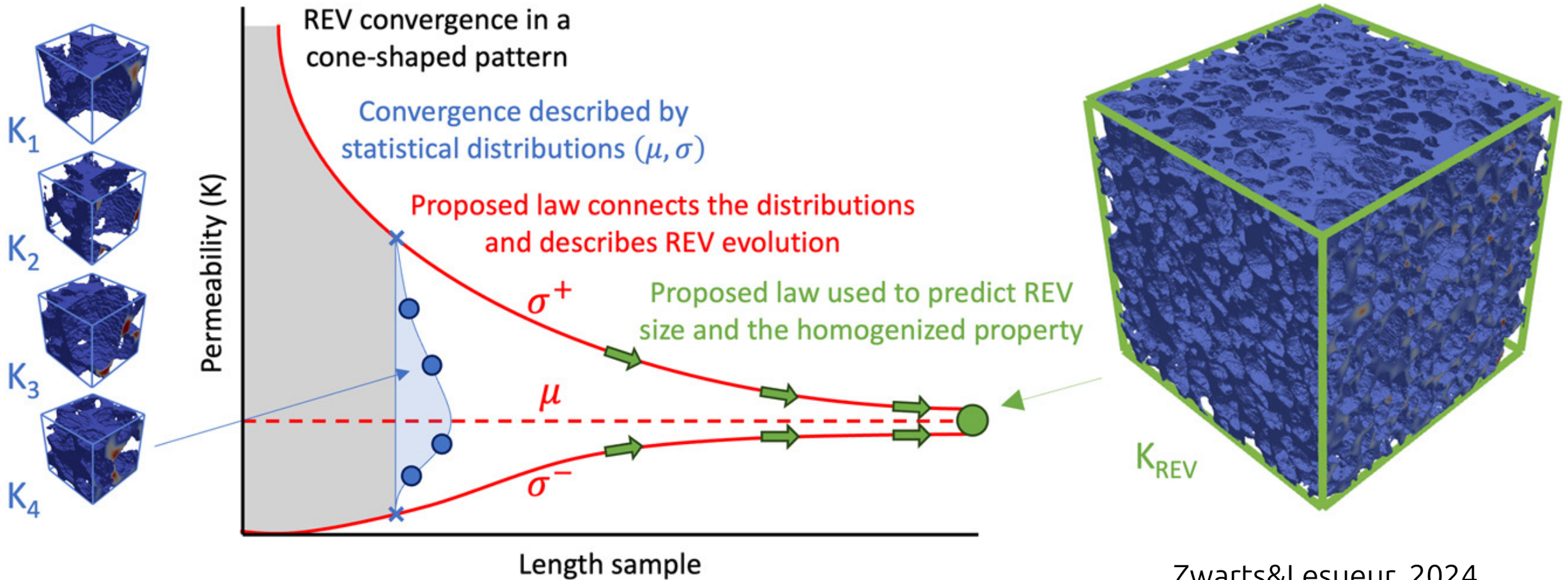
SAND					SILT - CLAY				
Coarse	0.42	Fine	0.074		Silt			Clay	
2	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002 0.001
Grain Size in Millimeters									



- 1964 Brooks-Corey (exponential, no inflection)
- 1980 van Genuchten (displayed)
- 1994 Kosugi (lognormal pore PDF)
- 1994 Durner (multimodal)



Reprezentativní elementární objem (REV)



Richardsova rovnice

Bilance hmoty

$$\partial_t \theta + \operatorname{div} \mathbf{q} = 0$$

$$\theta = \phi \textcolor{red}{S}(h)$$

porozita saturation

Darcyho zákon

$$\mathbf{q} = -\textcolor{red}{K}(\nabla h - \mathbf{1}_g)$$

předpoklady

konstantní hustota

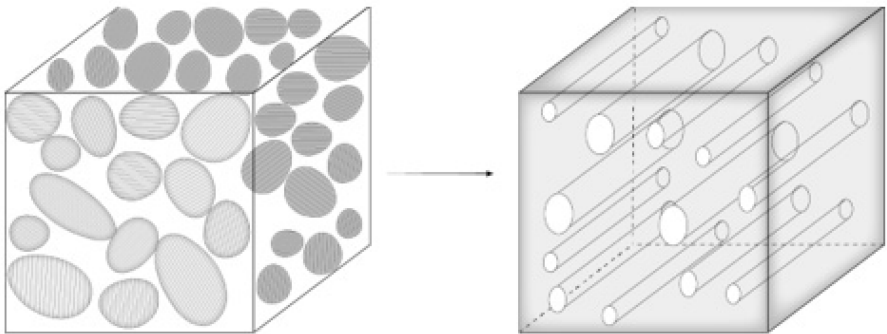
velmi malé rychlosti,
zanedbatelná setrvačnost

škála (REV) mnohem větší
než velikost pórů

Konstitutivní vztah pro vodivost K

1976 Mualem: mocninný vztah pro korelaci a tortuozitu

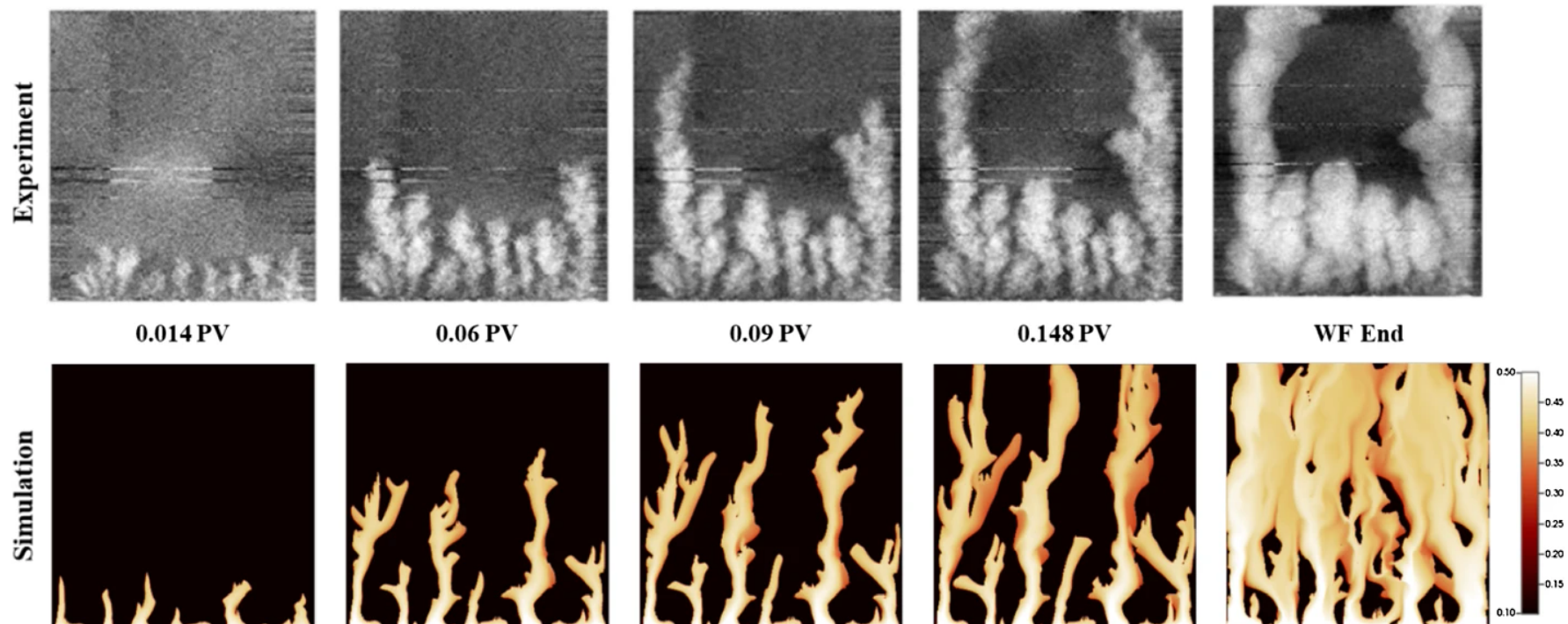
$$K(S) \sim \int_r^R \int_r^R (T \circ C)(R, \rho_x, \rho_y) \rho_x \rho_y f(\rho_x) f(\rho_y) d\rho_x d\rho_y$$
$$= S^n \left\{ \int_0^S \frac{dS}{h} \right\}^2$$



$$K \sim \rho^2 = \rho_x \rho_y$$

Teoretické vlastnosti RE

- parabolická, nelineární
- eliptická degenerace ($h > 0$)
- hyperbolická degenerace ($h \ll 0$)
- slabé řešení, Alt&Luckhaus 1983
- monotóní řešení



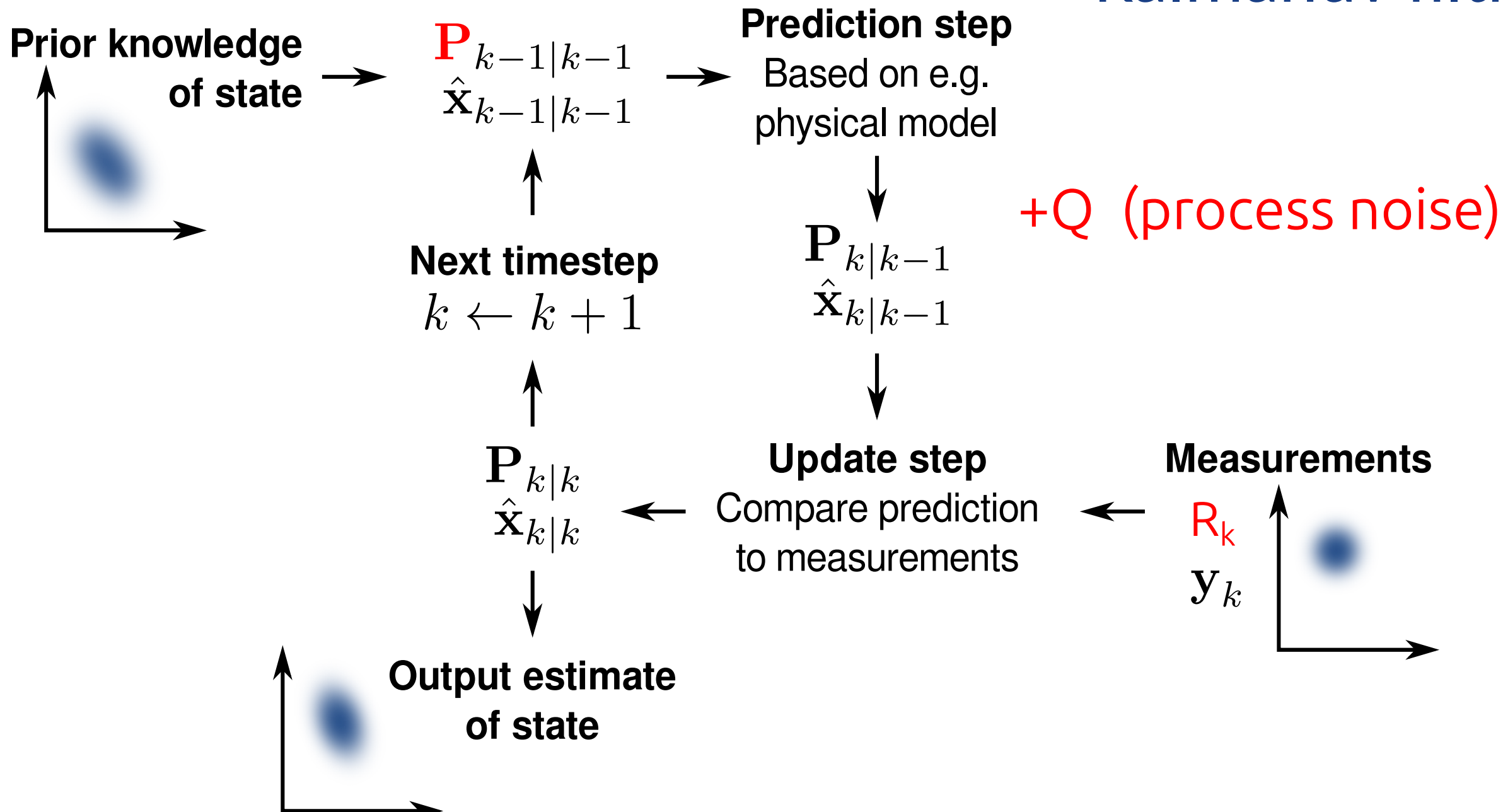
Numerické řešení

- transformace pro homogenní médium
- smíšená formulace
- v čase: implicitní Euler $O(h)$, stabilní
- v prostoru: konečné prvky/objemy $O(h^2)$
- "kontaktní" okrajové podmínky
- Pickard, Newton iterace

Měření profilů vlhkosti



Kalmanův filtr



Kalmán + 1D Richards synteticý test

