

A scenic view of a forest stream with a waterfall, surrounded by trees with autumn foliage. The water is clear and flows over rocks, creating white rapids. The forest is dense with tall, thin trees, and the ground is covered in fallen leaves and moss.

# POCHRANA PODZEMNÍCH VOD

## II.



# OCHRANA PODZEMNÍCH VOD

1. PREVENTIVNÍ

2. REPARATIVNÍ

POTENCIÁLNÍ ZDROJ KONTAMINACE

ZDROJ KONTAMINACE

MONITORING

PRŮZKUM, DOPRŮZKUM, POSTSANAČNÍ MONITORING

# KLASIFIKACE KONTAMINANTŮ

neexistuje všeobecná klasifikace, klasifikace jsou vždy aplikované

úhel pohledu ? ? ?

**1. fyzikálně-chemická klasifikace kontaminantů**

**2. chemická klasifikace**

**3. ostatní**

# KLASIFIKACE KONTAMINANTŮ

## 1. fyzikálně-chemická klasifikace kontaminantů

- alespoň omezeně vyjadřuje vlastnosti látek z hlediska jejich chování v horninovém prostředí
- význam i z hlediska migračních parametrů – jsou odrazem fyz. + chem. vlastností

## 2. chemická klasifikace

- význam z hlediska posuzování vlastností skupin kontaminantů  
(např. halogenované organické látky)

### anorganické látky

- hlavní kationty a anionty, živiny, stopové prvky, radioaktivní látky

### organické látky

- ropné uhlovodíky

$C_4 - C_{12}$  alkany,  $C_4 - C_7$  alkeny, aromatické (BTX),  $C_3$  a  $C_4$  benzeny – dobře rozpustné (< 220)

$C_{10} - C_{24}$  alkany,  $C_3$  a  $C_5$  benzeny, naftaleny a anthraceny – špatně rozpustné (< 310)

$C_{20} - C_{78}$ ) alkany, PAU – prakticky nerozpustné (> 310)

- halogenované uhlovodíky (alifatické a aromatické), PCB, ostatní

### biologické

- viry, patogenní bakterie, paraziti, ...

### **3. aplikované klasifikace**

- různá hlediska
- nejčastěji podle původu kontaminantů a podle jejich společných vlastností
- např. klasifikace U.S.EPA – pro všechny složky životního prostředí
- nezohledňuje procesy migrace (mohou být odlišné pro polutanty uvnitř skupiny)
- zohledňuje skupiny polutantů, které mohou být „zdrojově identické“

#### **Agricultural Chemicals**

##### **Air Pollutants**

Aerosols , Asbestos , Carbon Monoxide , Criteria Air Pollutants , Ground Level Ozone , Lead , Nitrogen Oxides (NO<sub>x</sub>) , Particulate Matter (PM) , Propellants , Sulfur Oxides (SO<sub>x</sub>) , Radon , Hazardous Air Pollutants (HAPs) , Refrigerants , Volatile Organic Compounds (VOCs)

##### **Biological Contaminants**

##### **Carcinogens**

##### **Chemicals**

Chlorinated Solvents , Chlorofluorocarbons (CFCs) , Ether , Ethylbenzene , Furans , Halons , Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) , Methyl-T-Butyl-Ether (MTBE) , Nitrogen Oxides (NO<sub>x</sub>) , Perchloroethylene (PCE) , Phthalates , Radioactive Substances , Radionuclides , Styrene , Sulfur Oxides (SO<sub>x</sub>) , Trichloroethylene (TCE) , Volatile Organic Compounds (VOCs) , Benzene , Methyl Bromide , Toluene , Methyl Chloride , Organic Cyanides , Dioxins , Heavy Metals , Inorganic Cyanides , Endocrine Disruptors , Polychlorinated Biphenyls (PCBs) , Hazardous Air Pollutants (HAPs) , Particulate Matter (PM) , Dichloroethylene (DCE) , Ketones

## **Extremely Hazardous Substances (EHS)**

### **Microorganisms**

Coliform , Cryptosporidium , Pfiesteria , Viruses

### **Ozone**

### **Radiation**

Radiation Protection , Radionuclides , Radon

### **Soil Contaminants**

Acetone , Arsenic , Barium , Benzene , Cadmium , Chloroform , Cyanide , Lead , Mercury , Polychlorinated Biphenyls (PCBs) , Toluene , Trichloroethylene (TCE) , Tetrachloroethylene

### **Toxic Substances**

Persistent Bioaccumulative Toxic Pollutants (PBTs) , Persistent Organic Pollutants (POPs) , Toxicological Profiles

### **Water Pollutants**

Contaminated Sediment , Disinfection Byproducts , Dredged Material , Microbial Pathogens , Arsenic

## ZDROJE KONTAMINACE

jak mohou polutanty vstupovat do horninového prostředí ???

prostor, ve kterém dochází ke vstupu polutantů do horninového prostředí – **ohnisko, zdroj**  
(*contamination source*)

### podle jejich geometrie

bodové

liniové

plošné

tento způsob klasifikace zdrojů kontaminace je použitelný spíše při mapování

hodnocení kontaminace pro modelování transportu polutantů je tato klasifikace nevhodná - nepopisuje reálný přírodní systém- 3D

## ZDROJE KONTAMINACE

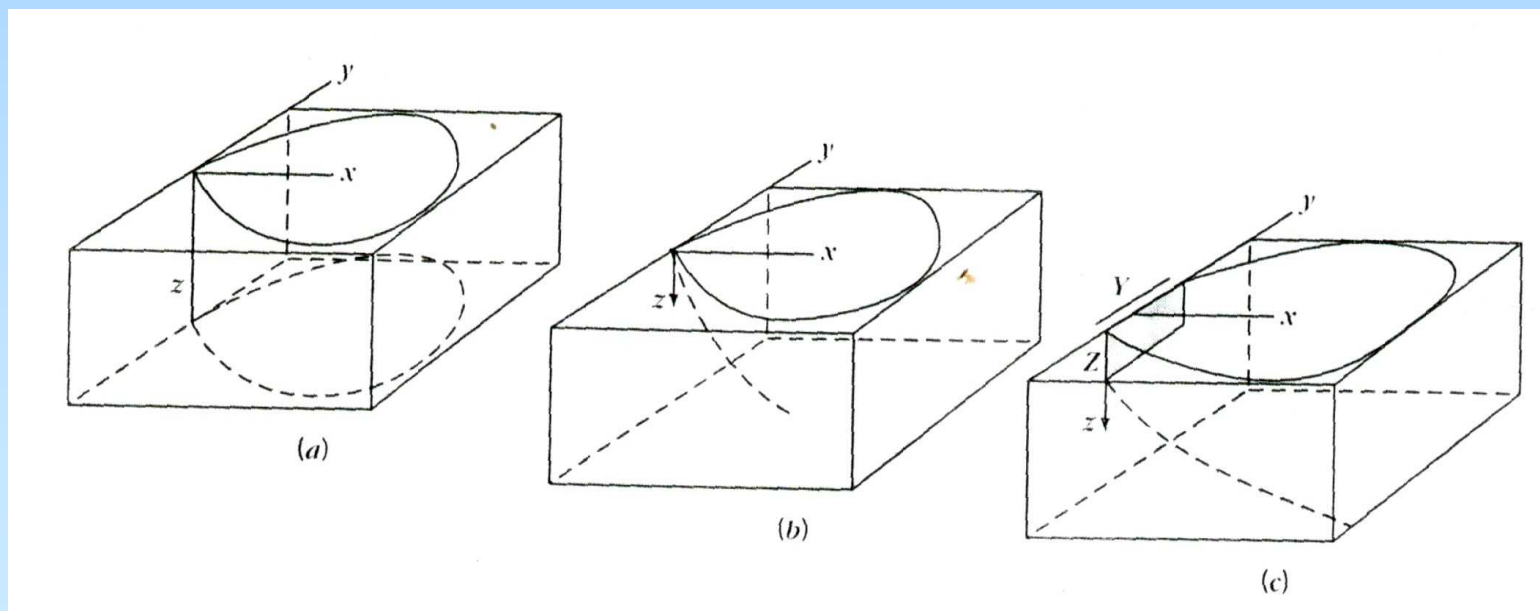
$$\frac{C(x, y, z, t)}{C_0} = \frac{1}{8} \operatorname{erfc} \left[ \frac{x - vt}{2(\alpha_x vt)^{\frac{1}{2}}} \right] \left\{ \operatorname{erf} \left[ \frac{(y + Y/2)}{2(\alpha_y x)^{\frac{1}{2}}} \right] - \operatorname{erf} \left[ \frac{(y - Y/2)}{2(\alpha_y x)^{\frac{1}{2}}} \right] \right\} \left\{ \operatorname{erf} \left[ \frac{(z + Z)}{2(\alpha_z x)^{\frac{1}{2}}} \right] - \operatorname{erf} \left[ \frac{(z - Z)}{2(\alpha_z x)^{\frac{1}{2}}} \right] \right\}$$

liniové

bodové

plošné

plošný rozsah v rovině kolmé na směr proudění - Y a Z



podle vývoje v čase, resp. charakteru uvolňování polutantů ze zdroje

jednorázové

trvalé

trvalé periodické

rozpadající se



Fetter (1993) - více než 30 potenciálních zdrojů kontaminace podzemních vod, respektive způsobů, jakými se mohou polutanty dostat do horninového prostředí a následně do podzemních vod.

## **KATEGORIE I**

### *Zdroje navržené k ukládání látek*

V těchto zdrojích jednak dochází k cirkulaci látek, to jsou např. septiky nebo trativody. Do této kategorie patří i injektované vrty, kam se ukládají nejčastěji tekuté odpady, podobně jsou však injektovány i roztoky v případě těžby nerostných surovin loužením, apod. Můžeme sem zařadit i potenciální zdroje, kde dochází k plošné aplikaci látek na povrchu - např. zavlažování, rozstříkávání odpadních vod, apod.

## **KATEGORIE II**

### *Zdroje navržené k ukládání, čištění nebo manipulaci s látkami - neplánované úniky*

Mezi zdroje s touto charakteristikou patří především skládky, kam je deponován odpad nejrůznějšího charakteru (průmyslové skládky, skládky komunálního odpadu, skládky nebezpečných odpadů, divoké skládky, lokální skládky malých rozsahů, apod.). Rozhodující pro případný vznik kontaminace je zejména to, zda se jedná o skládky řízené se zabezpečeným provozem (drenáže skládkových vod, těsnění bází a povrchů skládek, apod.), nebo skládky neřízené, kde hrozí vysoké riziko úniku polutantů. Podobně jako na skládkách jsou často dočasně ukládány i různé materiály, které nemají charakter odpadů, a to často na nezpevněných a nezabezpečených plochách (např. skládky uhlí - riziko kyselých výluhů). Mezi velmi rizikové zdroje dále patří v této kategorii zdrojů nadzemní a zejména podzemní zásobníky materiálů, zejména organických kapalin. Zejména starší typy podzemních zásobníků, které byly budovány jako jednoplášťové, jsou jedněmi z nejčastějších zdrojů kontaminace podzemních vod. Rizikovými mohou být dále i plochy s cíleným spalováním odpadů nebo detonační prostory, podobně prostory určené výhradně k ukládání radioaktivního odpadu. Do této kategorie potenciálních zdrojů kontaminace podzemních vod je nutné zahrnout i pohřebiště.

### **KATEGORIE III**

#### *Zdroje navržené k transportu látek*

K úniku rizikových látek může dojít i při jejich transportu. Typickým příkladem je mechanické poškození produktovodů a s tím související úniky nejčastěji organických kapalin (ropa, benzín, apod.). I při aktivitách navazujících na transport může docházet k úniku látek, v těchto případech však spíše opakovaných úniků malých objemů polutantů. Příkladem jsou stáčiště pohonných hmot, apod.

### **KATEGORIE IV**

#### *Zdroje uvolňující polutanty jako součást jiných plánovaných činností*

Do této kategorie potenciálně rizikových činností vytvářejících možné zdroje kontaminace podzemních vod patří zejména řada činností souvisejících se zemědělskou výrobou - zavlažování, aplikace pesticidů a herbicidů. Současně je nutné uvažovat i s vlivem solení povrchových komunikací v zimním období, odtokem povrchových vod z městských aglomerací a jejich následnými úniky z netěsných kanalizačních sběračů. V některých oblastech je rizikový i spád atmosférických polutantů a také aktivity související s povrchovou a podzemní těžbou nerostných surovin.

### **KATEGORIE V**

#### *Zdroje propojující více zvodní nebo umožňující drenáž látek*

Rizikovými mohou být i činnosti, při kterých vznikají umělá propojení více zvodněných horizontů, nebo která umožňují migraci látek do původně izolovaných částí horninového prostředí. Typickými příklady jsou nedostatečně těsné těžební vrty, nebo průzkumné vrty nedostatečně utěsněné po skončení průzkumných prací. Podobně však může docházet k průniku kontaminace s povrchu do horninového prostředí v podstatě jakýmkoliv umělým hydrogeologickým objektem (monitorovací vrty, studny, apod.). Do této kategorie zdrojů je třeba zařadit i stavební jámy výkopy.

## **KATEGORIE VI**

*Zdroje přírodní jejichž rizikovost je aktivována lidskou činností*

Tyto zdroje v podstatě uměle vytváří především zásahy do přirozeného režimu podzemních vod. Příkladem je rozšíření infiltračních oblastí intenzivně jímaných zdrojů podzemních vod, které tak mohou obsahovat i plochy s výskytem jiných rizikových zdrojů nebo činností. Podobně může ohrozit kvalitu podzemní vody i změněná úroveň její hladiny. Příkladem mohou být rizika zatopení sklepních prostor nebo kontaktu podzemních vod s navážkami nebo odpady, které byly umístěny mělce pod povrchem terénu v období, kdy byly hladina podzemní vody snížena např. intenzivní vodárenskou exploatací mělkých zvodní. Známým problémem v oblastech s přímořskými oblastech je intruze mořské vody do vodárensky exploatovaných kolektorů a jejich znehodnocení.

# FORMY VÝSKYTU LÁTEK VE VODĚ

## formy výskytu pevných látek ve vodě

- pravé roztoky ( $< 10^{-9}$  m)
- koloidní soustavy ( $10^{-6} - 10^{-9}$  m)
- suspenze ( $> 10^{-6}$  m)

## formy výskytu kapalných látek ve vodě

- s vodou mísitelné – volně nebo omezeně
- s vodou nemísitelné – LNAPL's nebo DNAPL's
- emulze

## formy výskytu plynných látek ve vodě

- rozpuštěné
- samostatná fáze
- aerosol

## Kontaminanty v horninovém prostředí

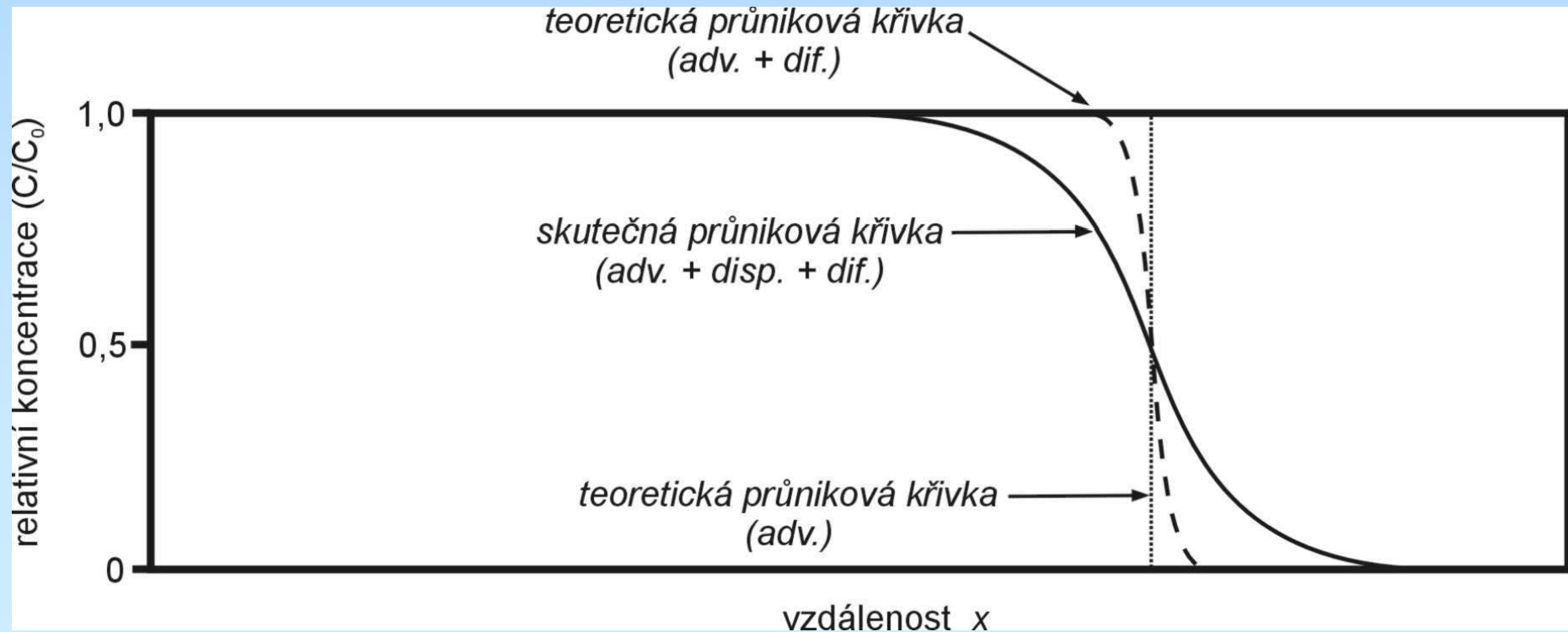
- rozpuštěné, nerozpuštěné (pevné, plynné, volné fáze organických kapalin, kapalně reziduum), páry v půdním vzduchu, sorbované (aerační i saturovaná zóna)

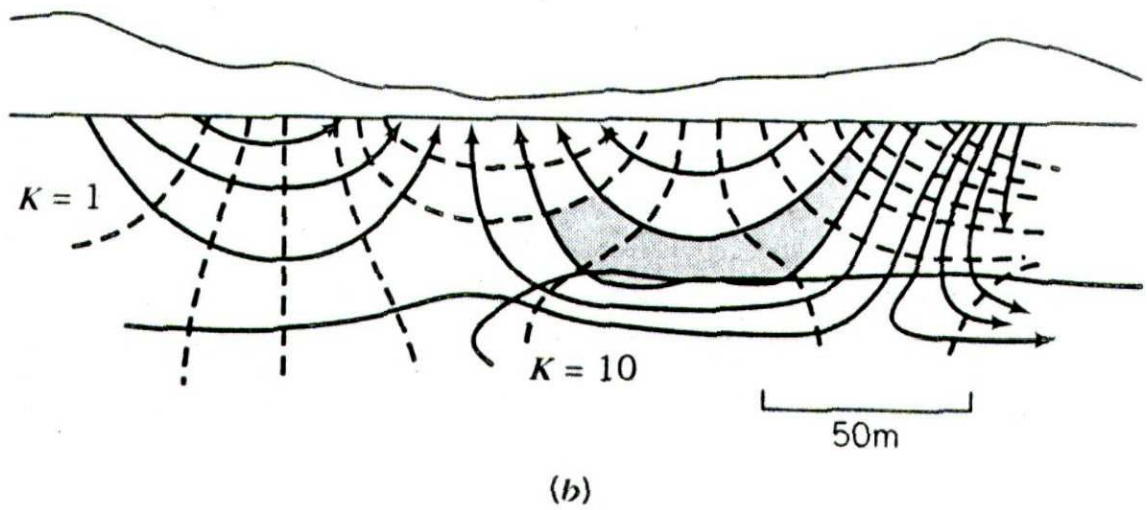
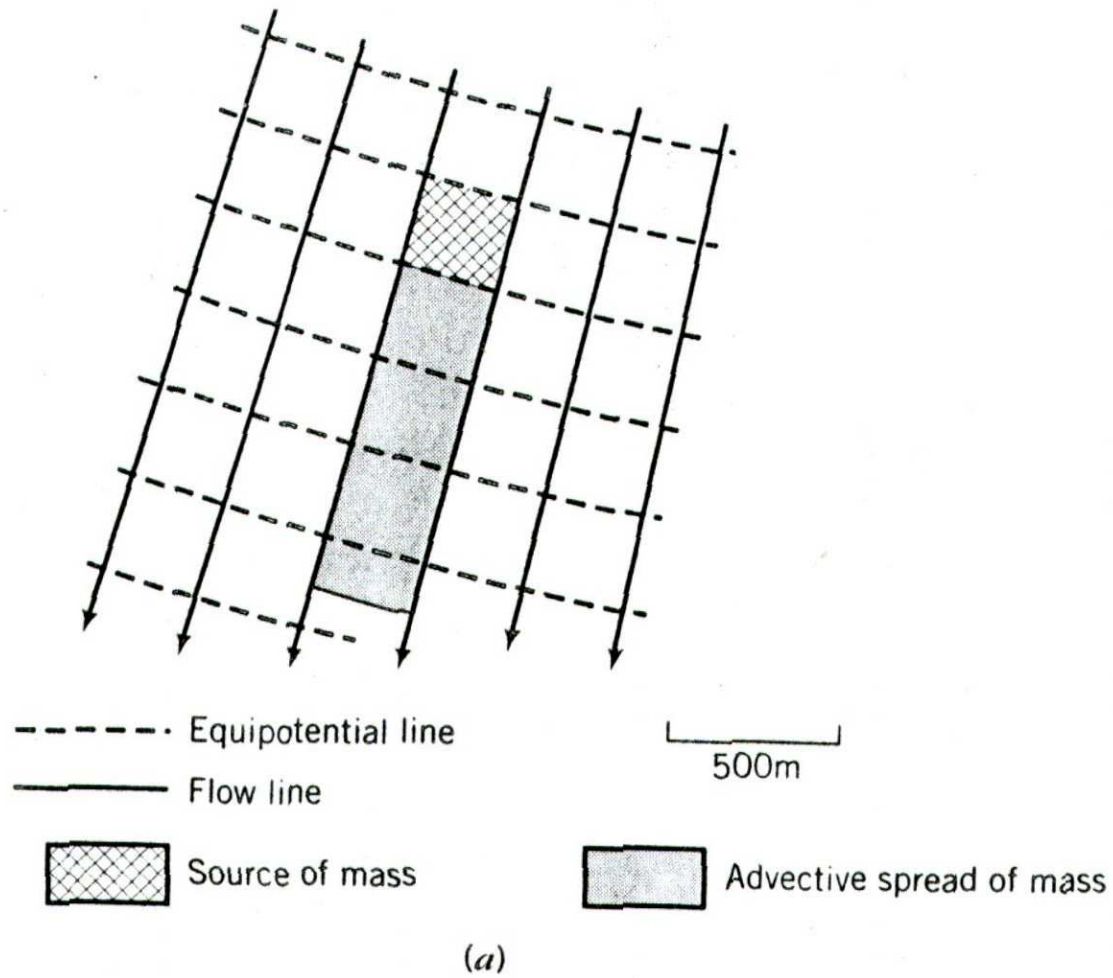


# MIGRACE LÁTEK HORNINOVÝM PROSTŘEDÍM

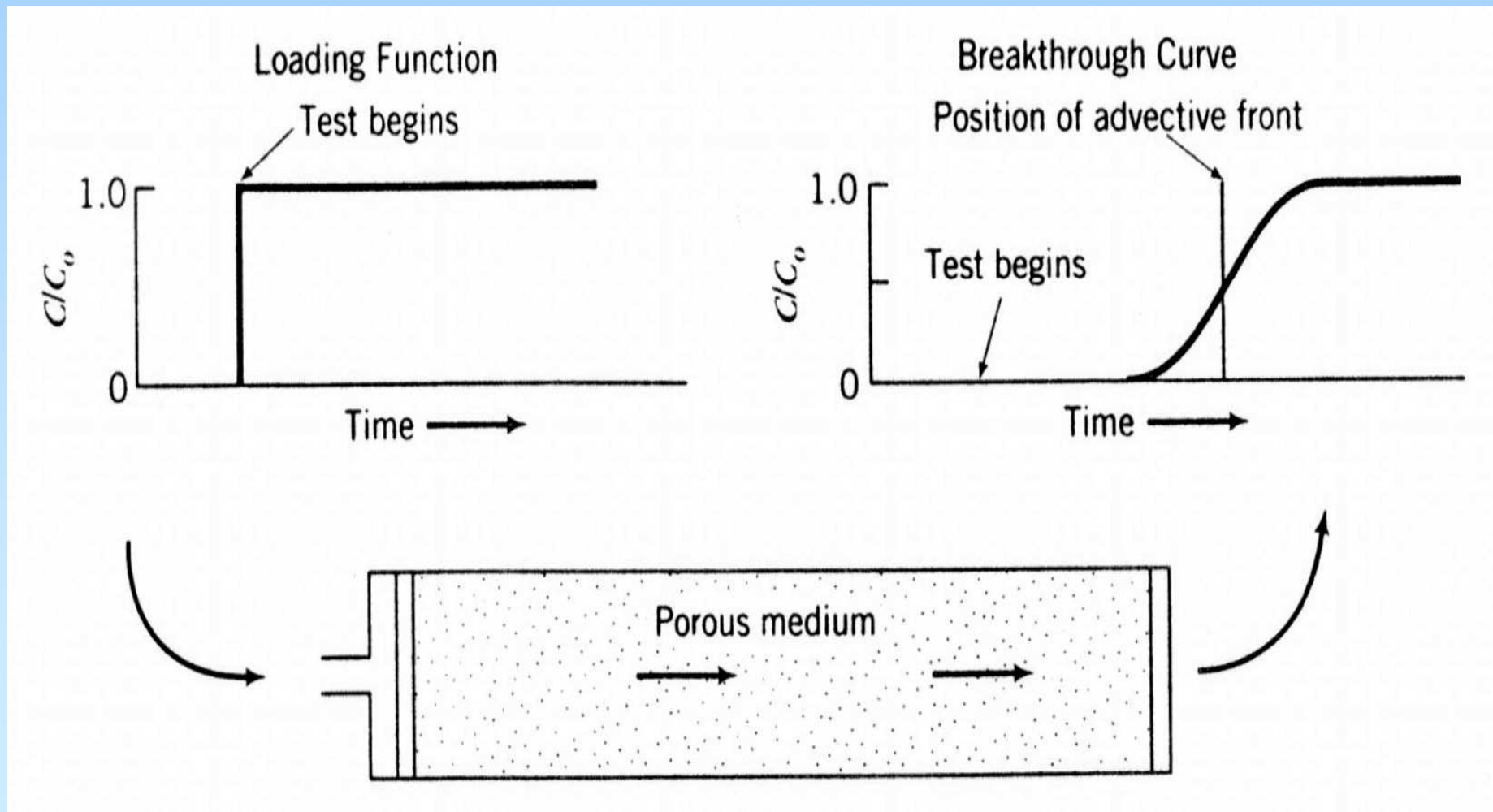
## SATUROVANÁ ZÓNA

- dominantní vliv advektivního pohybu souhlasně se směrem pohybu částic proudící kapaliny
- pohyb ve směru poklesu hydrostatického tlaku (základy hydrauliky)
- samotná advekce – popis Darcyho zákonem a v prostoru v proudové síti
- ovlivněno geologickými faktory, čerpáním, zvlněním terénu, apod. (spíše „makrovlivy“)
- nejvýznamnější proces z hlediska migrace látek rozpuštěných v podzemní vodě

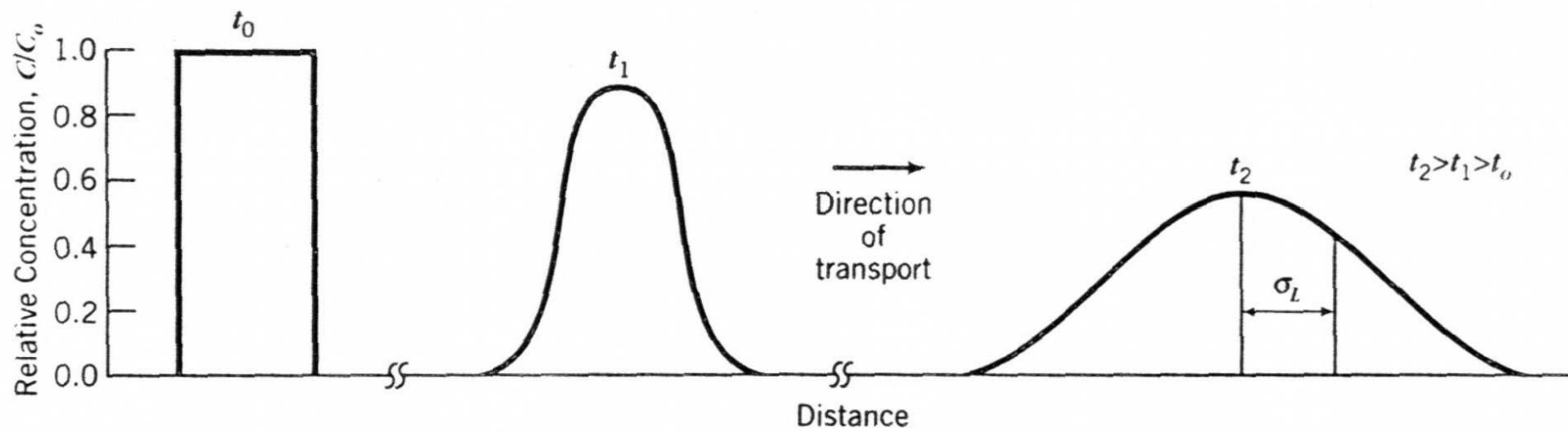




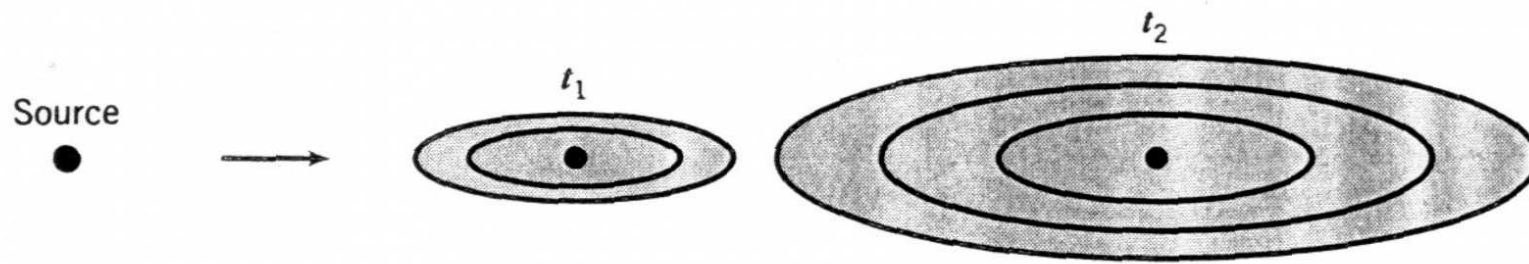
- další vlivy při migraci rozpuštěných látek v podzemní vodě – disperze + difúze, sorpce
- disperze (rozptyl) + difúze
- v české terminologii odlišné od anglické, česká mechanismy striktně odlišuje, anglické řadí difúzi do souboru jevů tzv. hydrodynamické disperze



Pohyb v horninovém prostředí – působení ve všech směrech (3-D, x - y - z)

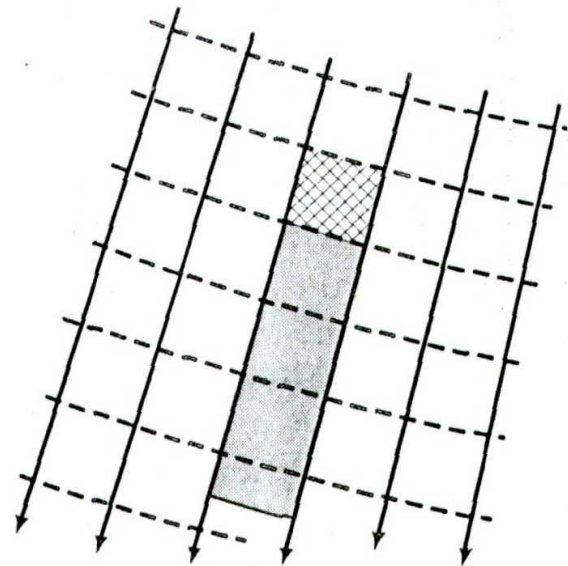


(a)



(b)





----- Equipotential line

————— Flow line



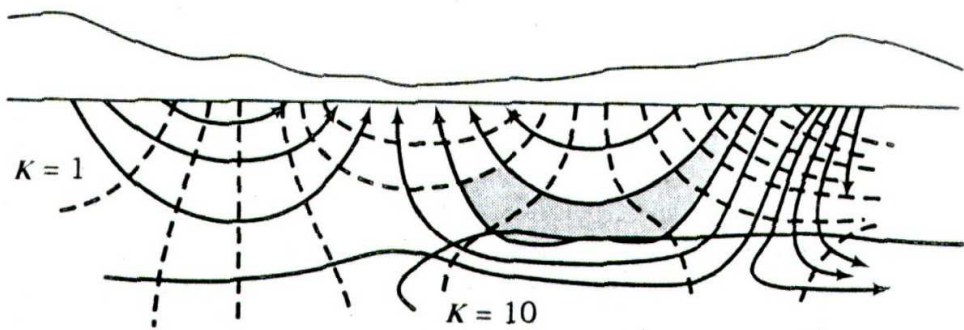
Source of mass



Advective spread of mass

500m

(a)

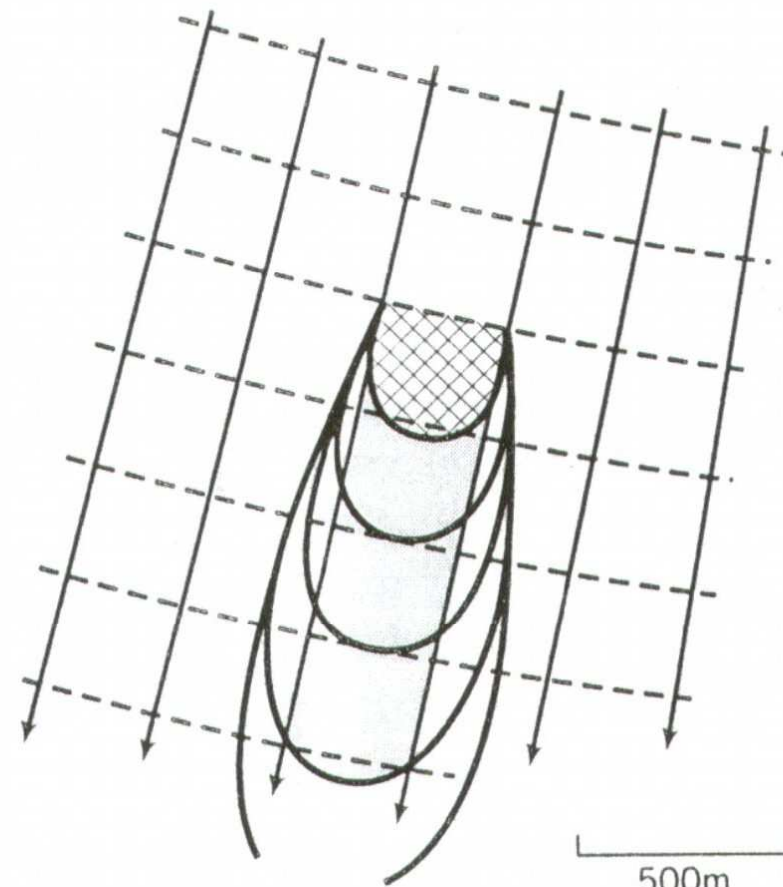


$K = 1$

$K = 10$

50m

(b)



----- Equipotential line

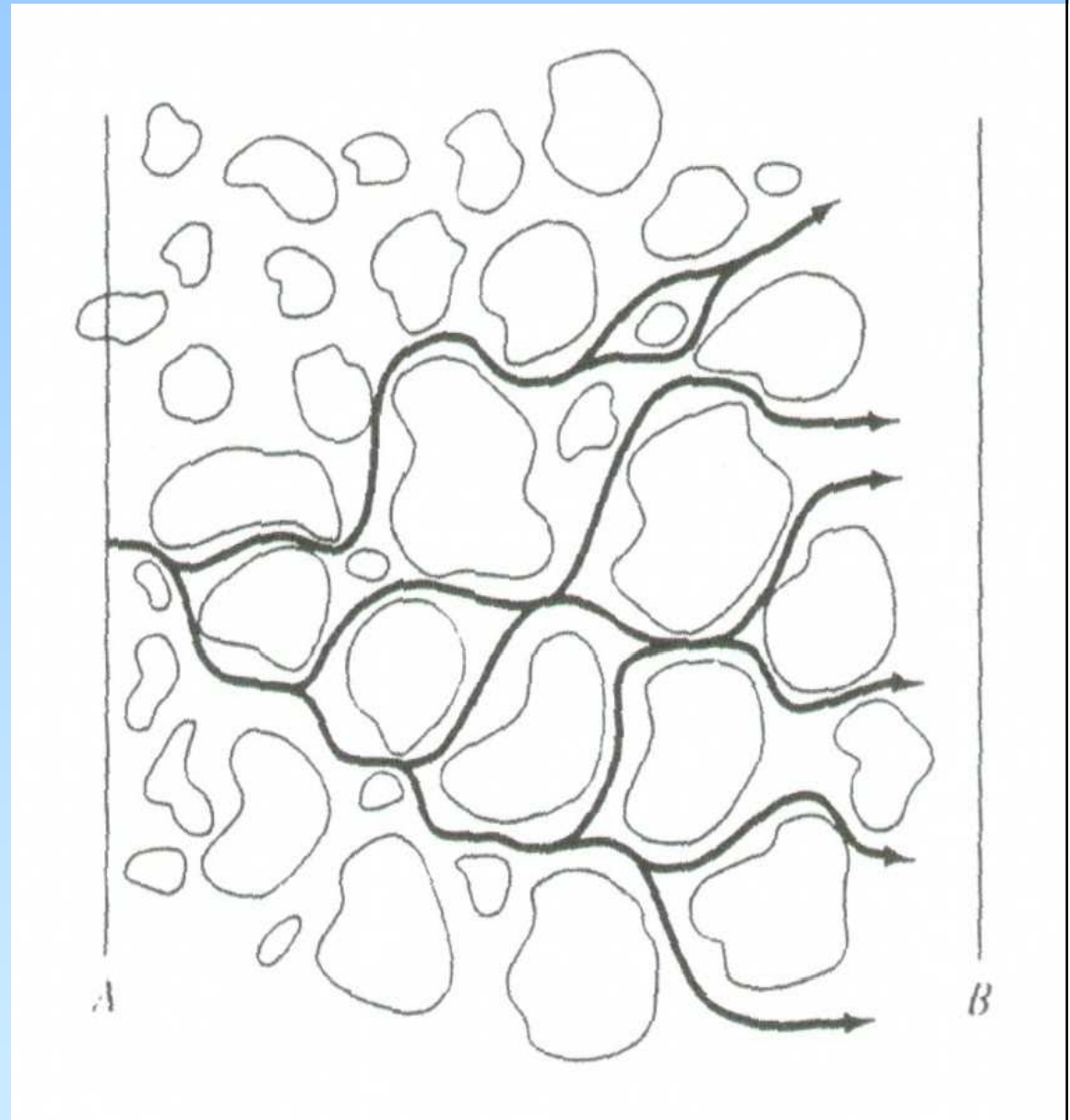
————— Flow line

————— Concentration

500m

## popis mechanismů disperze

- vliv variabilní rychlosti proudění v pórech (vliv velikosti pórů a „kanálků“)
- vliv tvaru „kanálků“
- vliv distribuce vektoru rychlosti v pórech



# DIFÚZE

- pohyb rozpuštěných látek ve formě molekul nebo atomů ve směru koncentračního gradientu
- všesměrný pohyb
- dochází k němu i ve fluidech která se nepohybují
- dochází k němu tak dlouho, dokud existuje koncentrační gradient
- z hlediska času (dlouhodobě) i v opačných směrech – např. rozpuštěné látky v matrix puklinově porózních hornin, méně propustných nehomogenitách

## 1. Fickův zákon

pro vodné prostředí obecně a v 1-D – pouze funkcí vlastnosti látky (za daných P a T podmínek)

$$F = -D_d \cdot (dC / dx)$$

$D_d$  ...  $L^2/t$

difuzivní koeficient

$F$  ...  $\text{mol}/L^2t$

změna objemu látky na jednotkovou plochu

$C$  ...  $\text{mol}$

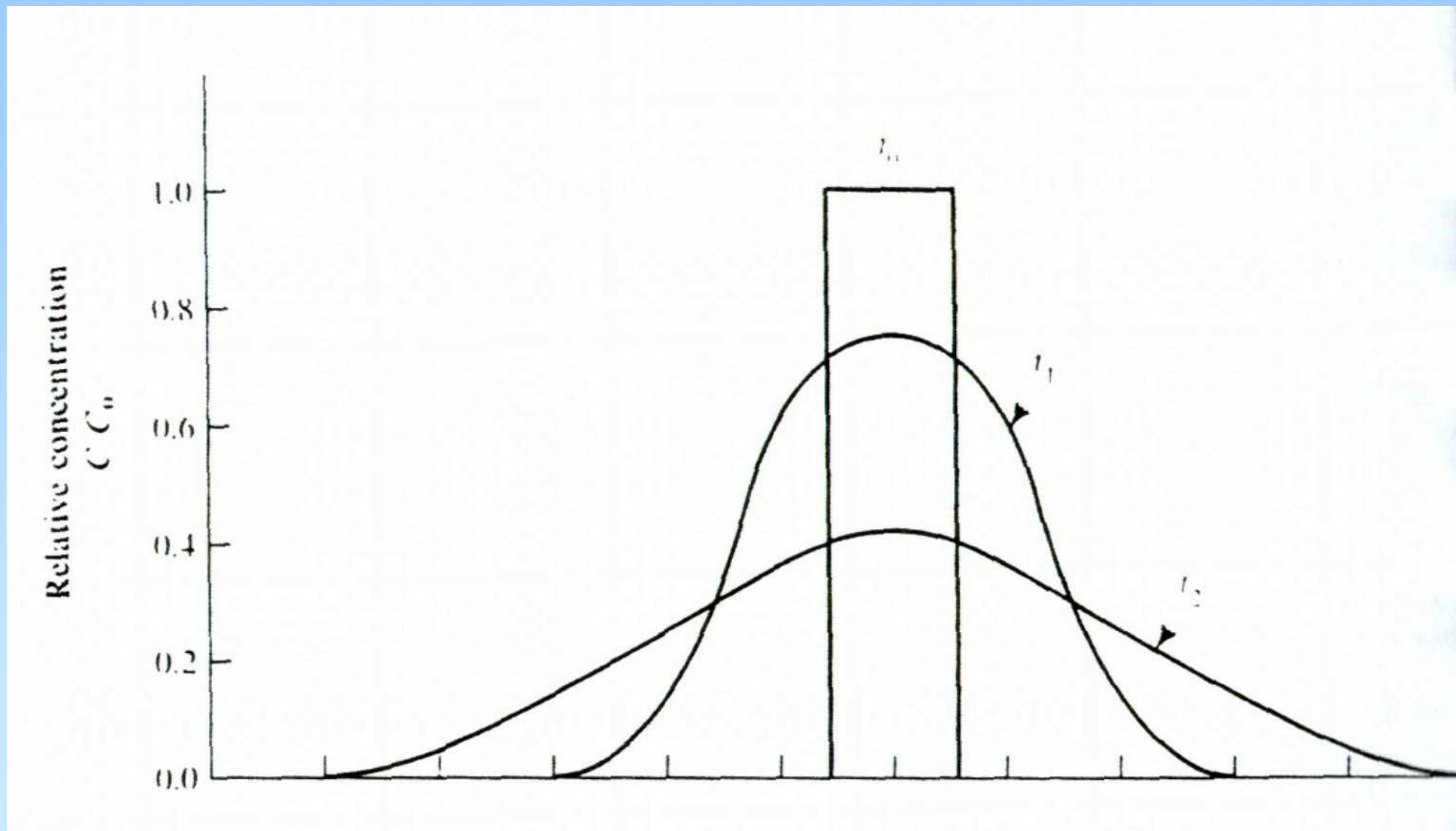
koncentrace v roztoku (konstantní)

## 2. Fickův zákon

pro vodné prostředí obecně a v 1-D

$$\partial C / \partial t = -D_d \cdot \partial^2 C / \partial x^2$$

# DIFÚZE





- porózní prostředí – difúze je omezena pouze na póry mezi zrny
- nutné uvažovat i vlastnosti prostředí

### **tortuozita**

- vyjadřuje klikatost průtočných kanálků při difúzním pohybu
- nejčastější definice – poměr mezi skutečnou a teoreticky nejkratší trajektorií částic

$$\tau = L_e / L$$

- číslo je vždy  $> 1$  v porózním prostředí (teoreticky je  $= 1$  v kapilárách)
- definice Beara (1972) – opačná

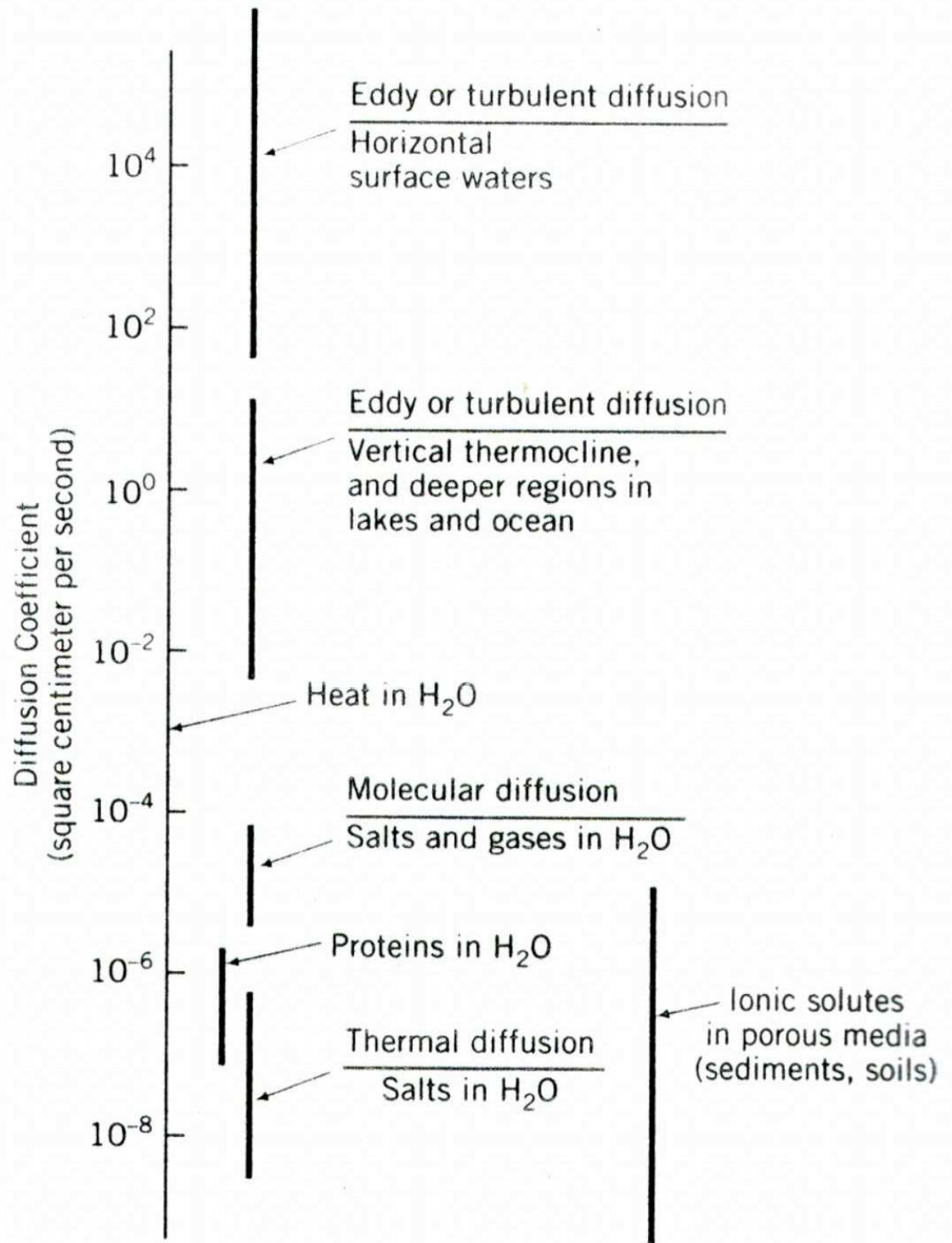
### horninové prostředí

- efektivní difuzivní koeficient ...  $D'_d$

$$D'_d = \frac{n}{\tau} D_d$$

- obecně roste s rostoucí porozitou prostředí

- hodnoty difuzivního koeficientu iontů klesají s rostoucím počtem nábojů
- nejčastěji v řádu  $10^{-6}$   $\text{cm}^2/\text{s}$
- $5 \times 10^{-6}$  –  $20 \times 10^{-6}$   $\text{cm}^2/\text{s}$
- nejvyšší hodnoty mají  $\text{H}^+$  a  $\text{OH}^-$



řešení difúze při přesné hranici a počátečních podmínkách

$$C_i(x, t) = C_0 \cdot \operatorname{erfc} \frac{x}{2(D'_d \cdot t)^{0,5}}$$

- $C_i$       koncentrace ve vzdálenosti  $x$  v čase  $t$  od zahájení difúzního pohybu  
 $C_0$       počáteční koncentrace která zůstává konstantní ve zdroji  
 $\operatorname{erfc}$       komplementární chybová funkce

### **komplementární chybová funkce**

- spojena s normálním (Gaussovým) rozdělením hodnot
- tabelována

