

# **Metody hydrogeologického výzkumu**

**I.**

# MĚŘENÍ ELEKTROCHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ PODZEMNÍCH A POVRCHOVÝCH VOD

**konduktivita**

**pH**

**Eh**

**koncentrace rozpuštěného kyslíku**

**Konduktivita** - specifická elektrická vodivost vody

**Definice** - vodivost roztoku mezi dvěma elektrodami o ploše  $1 \text{ cm}^2$  vzdálenými  $1 \text{ cm}$

**Jednotky** - základní (SI)  $\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$  (v HG se nejčastěji používá  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  nebo  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ )

Vodivost vody (elektrolytu) je dána **koncentrací iontů** (polárně rozpuštěných látek) a jejich **pohyblivostí**

**Vodivost vody je závislá na teplotě**

- údaje o konduktivitě se udávají při tzv. referenční teplotě **25°C** (dříve 20°C)

**Teplotní koeficient** ( $\alpha$ ) je změna konduktivity při změně teploty o  $1^\circ\text{C}$  vyjádřená v % naměřené konduktivity

**Odporová konstanta** vyjadřuje změnu naměřené hodnoty konduktivity způsobenou tvarem a materiálem elektrod. Tato hodnota je konstantní a převádí hodnotu naměřenou na hodnotu pravou,

Podobně i s referenční teplotou – automatické teplotní kompenzace

## VYUŽITÍ MĚŘENÍ KONDUKTIVITY V HYDROGEOLOGII

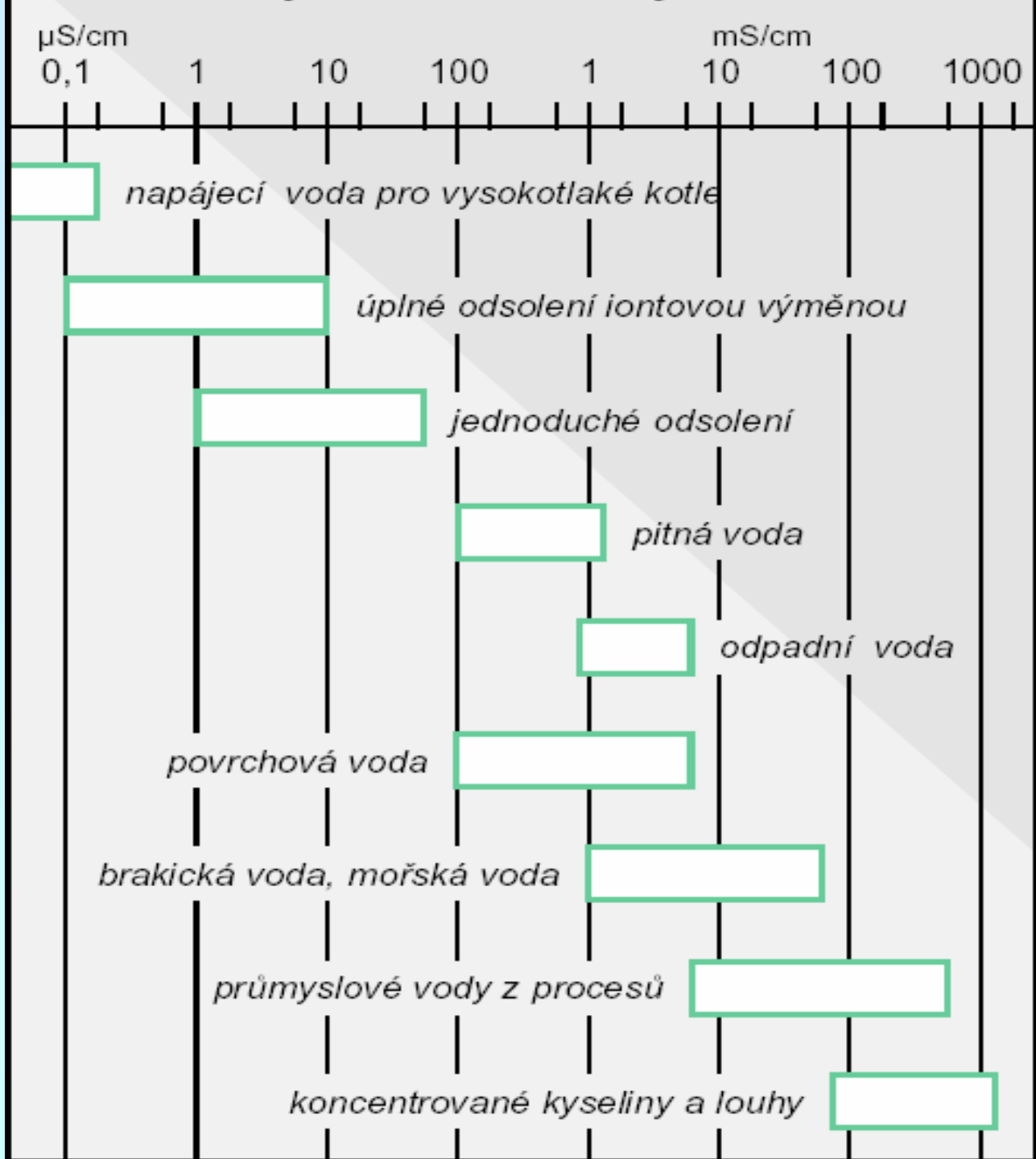
- základní informace o konduktivitě podzemních a povrchových vod
- vertikální rozložení konduktivity – zonálnost
- sledování časových změn konduktivity vody
- podrobná dokumentace odběru vzorků vody
- měření rychlosti proudění podzemní i povrchové vody
- kontrola výsledků chemických analýz
- sledování kvality atmosferických srážek

Konstrukce tzv. **nomogramů** – závislost mezi koncentrací určité látky a konduktivitou téhož roztoku

- praktické využití – kontaminační hydrogeologie – monitoring lokalit

- základní hydrogeochemický průzkum v regionálním měřítku – **salinita** [ % ]

# Rozsahy vodivosti vodných roztoků



## Podzemní voda

nejčastěji v řádu stovek  $\mu\text{S/cm}$

indikační hodnota ČSN 75 7111  
- 1100  $\mu\text{S/cm}$

## Povrchová voda

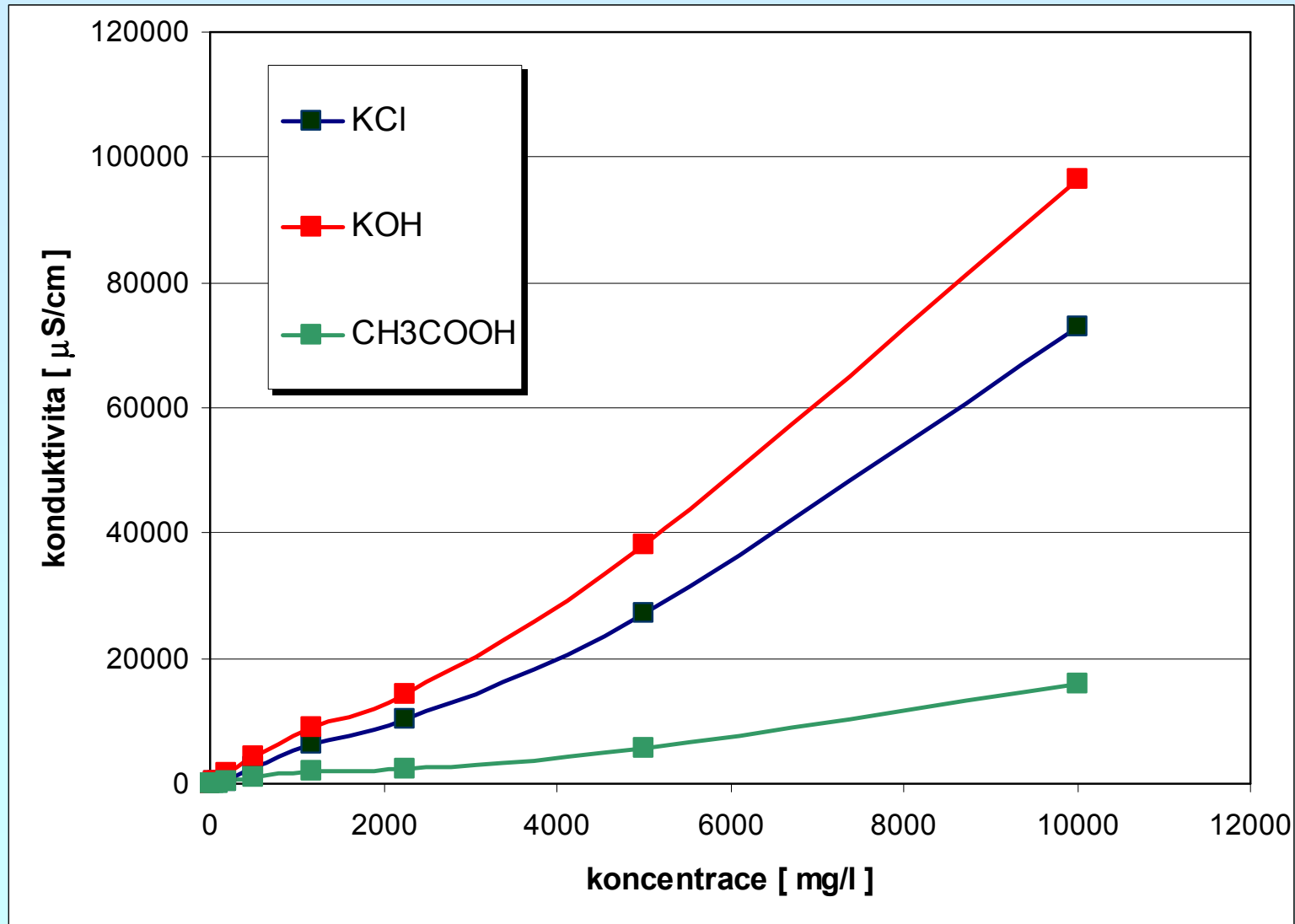
nejčastěji v řádu prvních stovek  
 $\mu\text{S/cm}$

## Kontaminovaná podzemní voda

běžně tisíce až desetitisíce  $\mu\text{S/cm}$

Konstrukce tzv. **nomogramů** – závislost mezi koncentrací určité látky a konduktivitou téhož roztoku

- praktické využití – kontaminační hydrogeologie – monitoring lokalit





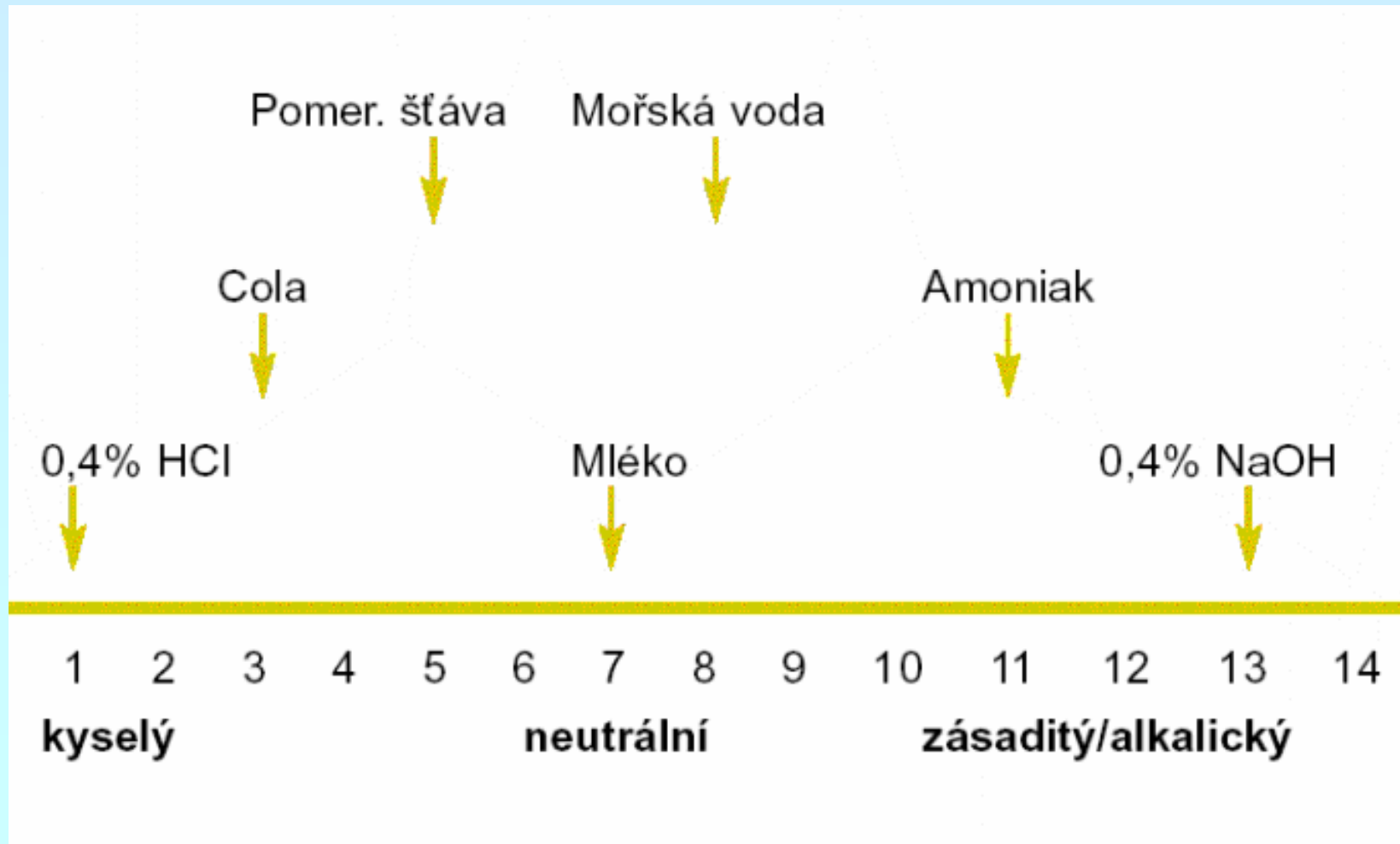
ProfiLine LF 197 a ProfiLine LF 197-S



koncentrace		KCl
[mg/l]	$k_{25}$ [mS/cm]	
10	540	
30	710	
50	890	
100	1280	
150	1680	
200	2150	
300	3040	
500	4700	
650	6140	
800	7710	
1000	9750	
2000	18020	
5000	43720	
8330	73420	

# pH

pH je definováno jako záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů





## ZPŮSOBY STANOVENÍ pH

1. kolorimetricky
2. potenciometricky

### *Kolorimetrická stanovení pH*

**univerzální indikátory** (např. Čůta – Kámen)

- zbarvení vody po přidání indikátoru se srovnává s barevnou stupnicí, přesnost určení pH je asi 0,5
- roztoky nebo indikační papírky
- využití pouze pro orientační stanovení hodnot pH – HG mapování – rekognoskační etapa

**tlumivé roztoky**

- používají se acidobazické indikátory – látky, které při určitém pH mění zbarvení
- při stanovení pH se zpravidla používá více roztoků s překrývajícím se rozsahem – vyšší přesnost

Pro barevné porovnání se používají také **kolorimetry**

## Potenciometrické stanovení

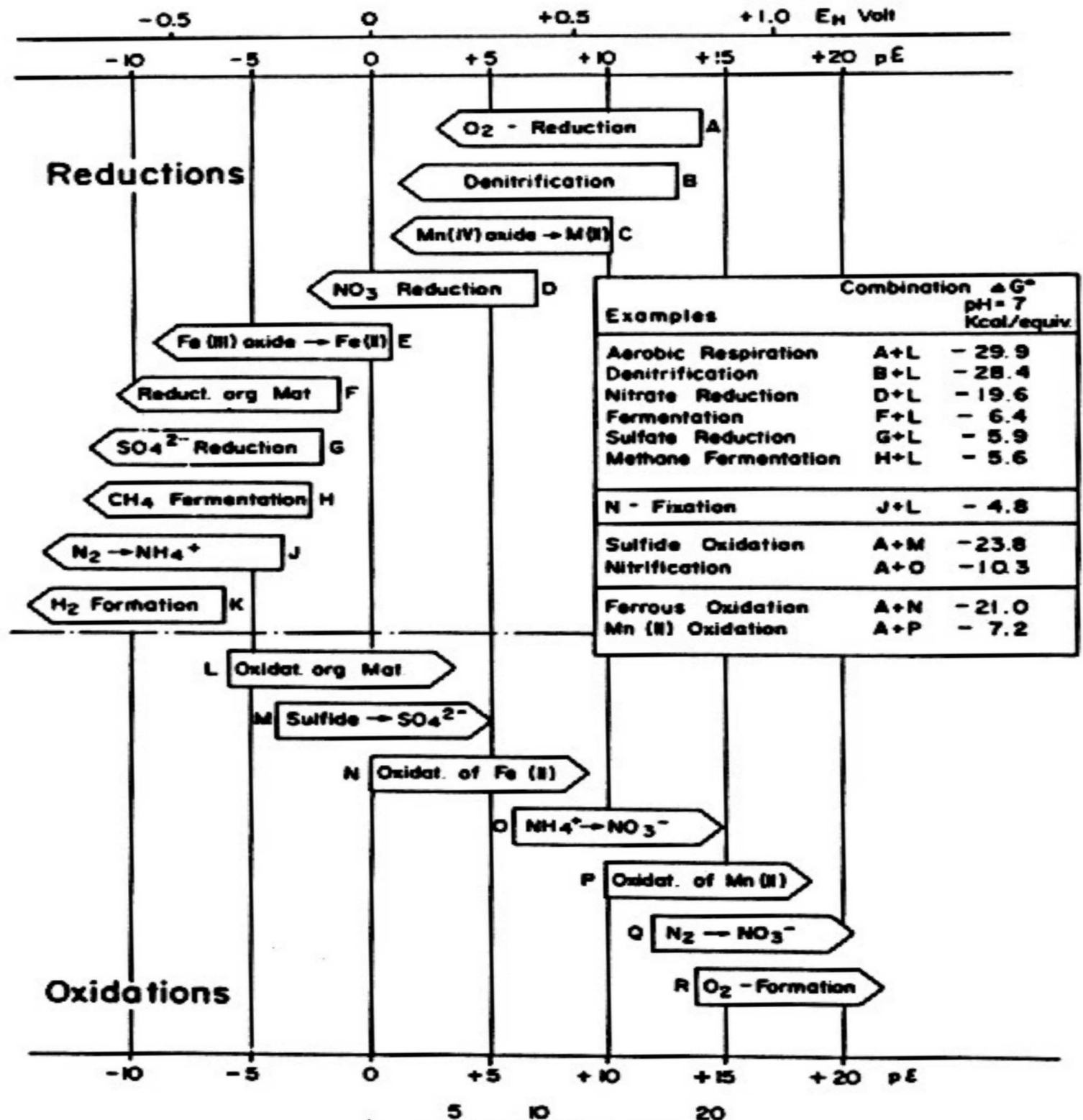
- podstatně přesnější než kolorimetrické stanovení – přesnost zobrazení až 0,01
- v čidle 2 elektrody – měřicí a srovnávací
- princip měření je ve změnách napětí mezi oběma elektrodami vyvolaný změnou koncentrace  $H^+$  na membráně
- vnitřní podmínky čidla – konstantně udržovány roztokem KCl – uchovávání čidla X nasycení membrány
- závislé na teplotě – současné měření teploty
- kalibrace – 2 pufrů (standardně 4,0 a 7,0) – sklon a posunutí k teoretické křivce
- použití jiných pufrů – podle předpokládaných měřených hodnot – teoretická křivka
- kontrolní měření – 1 pufr se známou hodnotou pH
- kalibrace často nutná i po několika měřeních v terénu – extrémní hodnoty

# Eh

- **redoxpotenciál** (oxidačně – redukční potenciál) ukazuje, jak je roztok silně redukční, resp. oxidační
- ukazuje množství volných elektronů v roztoku – napětí [ V, mV ]
- záporná hodnota – roztok je proti normální vodíkové elektrodě redukční
- kladná hodnota - roztok je proti normální vodíkové elektrodě oxidační
- čidlo – 2 elektrody – srovnávací a měřicí
- srovnávací – vodíková (nebo argent-chloridová) elektroda
- měřicí – platinová elektroda

## Využití

- kontrola vhodných podmínek, při kterých probíhají určité procesy
- denitrifikace odpadních vod, desinfekce vod v lázních, galvanické procesy
- hydrogeochemie – v systémech se podle pH – Eh vyskytují různé formy látek
- biologicky (bakteriálně) řízené procesy – různé podle Eh

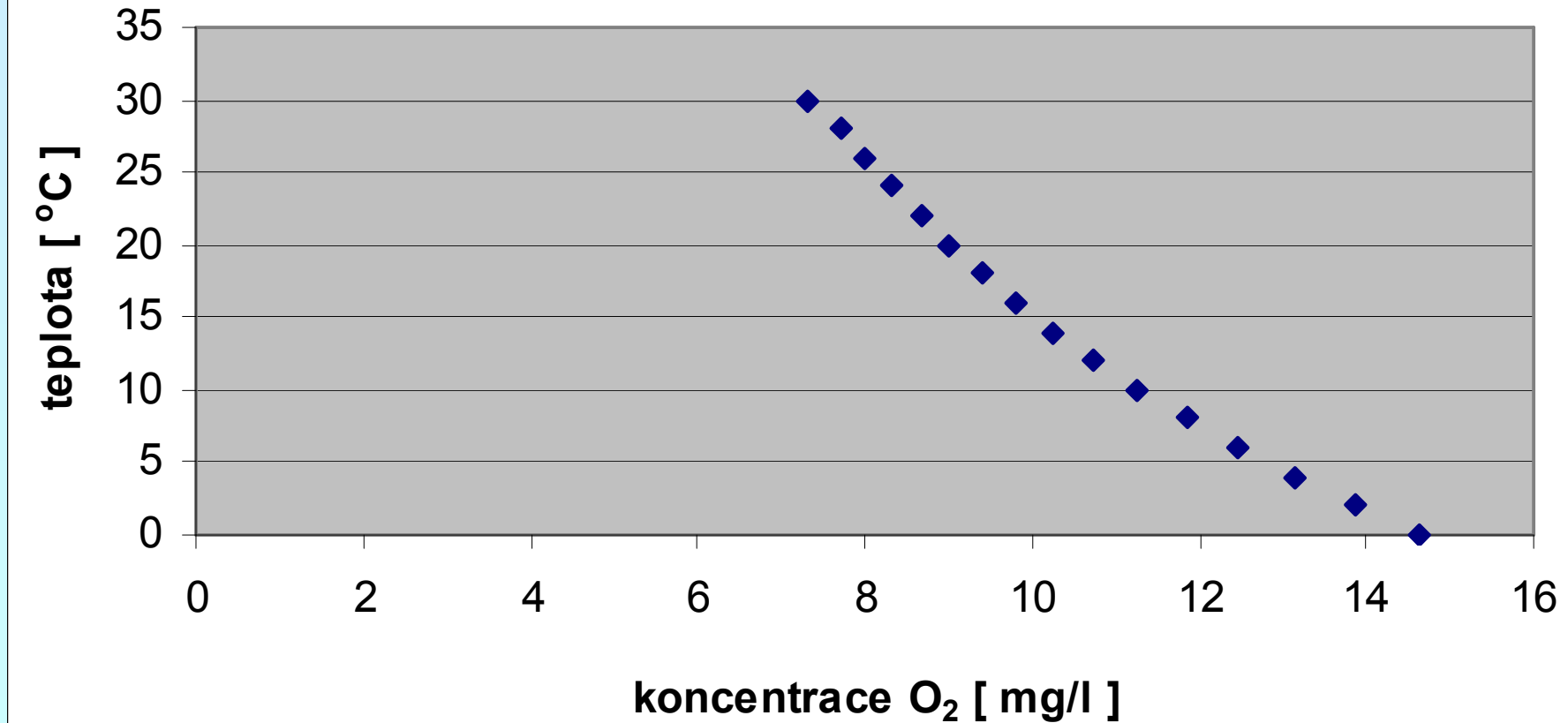


# Koncentrace rozpuštěného kyslíku

- stanovení rozpuštěného kyslíku – původně titrací (i v terénu), kolorimetricky
- **elektrochemické stanovení**
  - pracovní elektroda (katoda) a anoda
  - obě elektrody v elektrolytu odděleném „propustnou“ membránou od roztoku
  - na katodě se molekuly kyslíku redukují na hydroxidové anionty – vznik el. proudu mezi elektrodami
  - správnost měření – stárnutí elektrolytu a membrány
  - zásady kalibrace – nasycení membrány
- koncentrace kyslíku v roztoku – rovnováha mezi atmosférou a systémem (roztokem), ve kterém probíhá řada procesů
- faktory – teplota, tlak vzduchu, množství rozpuštěných látek, ± biologické faktory

# Koncentrace rozpuštěného kyslíku

## Závislost koncentrace O<sub>2</sub> na teplotě



- různá rozpustnost kyslíku v různých kapalinách (voda, etanol, glycerin)

## **Využití měření koncentrace rozpuštěného kyslíku**

- povrchové vody – životní podmínky ryb a jiných živočichů
- technologické postupy – koroze potrubí, odpadní vody, trvanlivost potravin
- podzemní voda – jeden ze základních faktorů podmiňujících určité mikrobiálně řízené procesy

## **Koncentrace O<sub>2</sub>**

- přímo v mg/l
- v % nasycení – současné stanovení teploty a salinity vody

## **Nevýhody elektrochemického měření**

membrána současně propouští i jiné molekuly

- dusík X amoniak

riziko poškození membrány

- sirovodík

# Měření teplot

## ZÁKLADNÍ POJMY

### Geotermický stupeň

- rozdíl hloubek, mezi nimiž dojde ke změně teploty o 1 °C

### Měrné teplo

- množství tepla potřebné k ohřátí 1 kg látky o 1 °C

### Tepelná vodivost

- charakterizuje proces šíření tepla, které za ustáleného stavu prochází průřezem látky

$$q = -\lambda \cdot \text{grad}T$$

### Tepelný tok

- množství tepla, které projde danou plochou za jednotku času

### Teplotní gradient

- přírůstek teploty na jednotku hloubku horniny pod zemským povrchem

- nejčastěji se udává ve °C/km<sup>-1</sup>



## **Druhy teploměrů:**

kapalinové teploměry

rtuťové

lihové

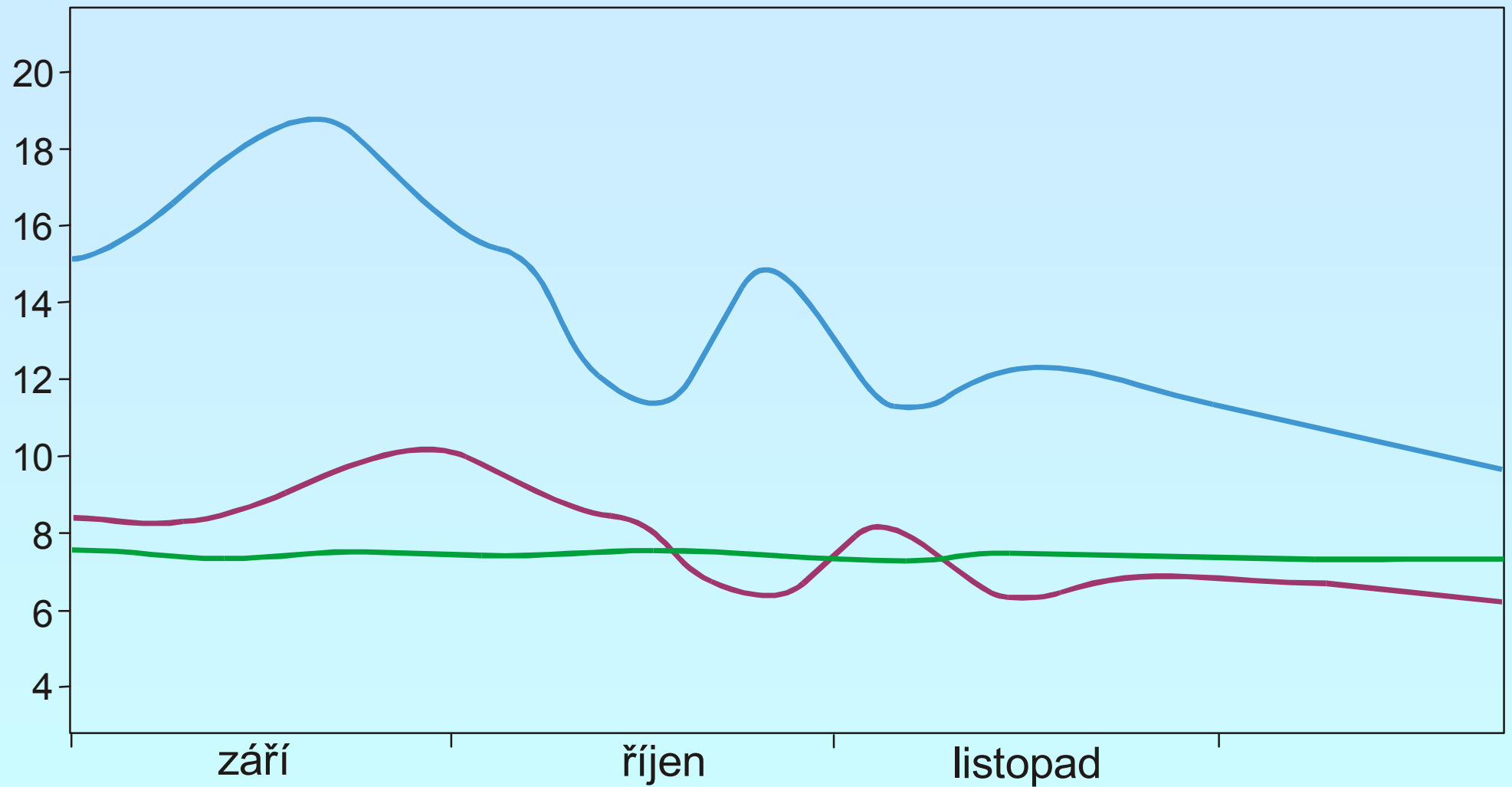
- odporové teploměry kovové  
z čistých kovů (Pt, Ni, Cu)  
ze slitin
- odporové teploměry nekovové  
termistorové  
polovodičové
- krystalové teploměry

## **Hydrogeologické požadavky na teploměry:**

- maximální měřicí rozsah  $-5 - 100^{\circ}\text{C}$
- běžný měřicí rozsah  $0 - 20^{\circ}\text{C}$
- přesnost  $0,1 - 0,5^{\circ}\text{C}$
- citlivost  $0,1 - 0,01^{\circ}\text{C}$
- možnost měřit v hloubce (ve vrtech)
- linearita v rozsahu měření
- nízkou časovou konstantu
- nízkou hmotnost

## Význam měření teplot:

- jednorázová měření teplot (při mapování a orientačních měřeních)
- součást měření jiných veličin závislých na teplotě – konduktivita, pH, O<sub>2</sub> (teplotní kompenzace)
- stanovení teplotního gradientu ve vrtech
- stanovení teplotních změn v čase (režimní měření)
- stanovení vztahu podzemních a povrchových vod
  - základní metoda v krasových oblastech a oblastech s výskytem termálních vod
- hodnocení typu pramenů
- mikrorežimní měření teplot
- zjišťování přítoků vody do vrtu
- zjišťování teplotního pole (plošná termometrie)



Možnosti určení infiltrační oblasti při současném měření průtoku, hydraulických parametrů zvodněného prostředí při známých tepelných charakteristikách horninového prostředí  
- krasové oblasti - Kullmann

# Zásady měření teplot

## Povrchové toky

- měřit v proudící vodě
- stojaté vody – měřit ve více hloubkových profilech
- měření ve vertikálních i horizontálních profilech

## Prameny

- měřit v místech vývěru podzemní vody – u dna
- prameny s vydatností nad 1 l/s – uprostřed proudu vytékající vody

## Vrty

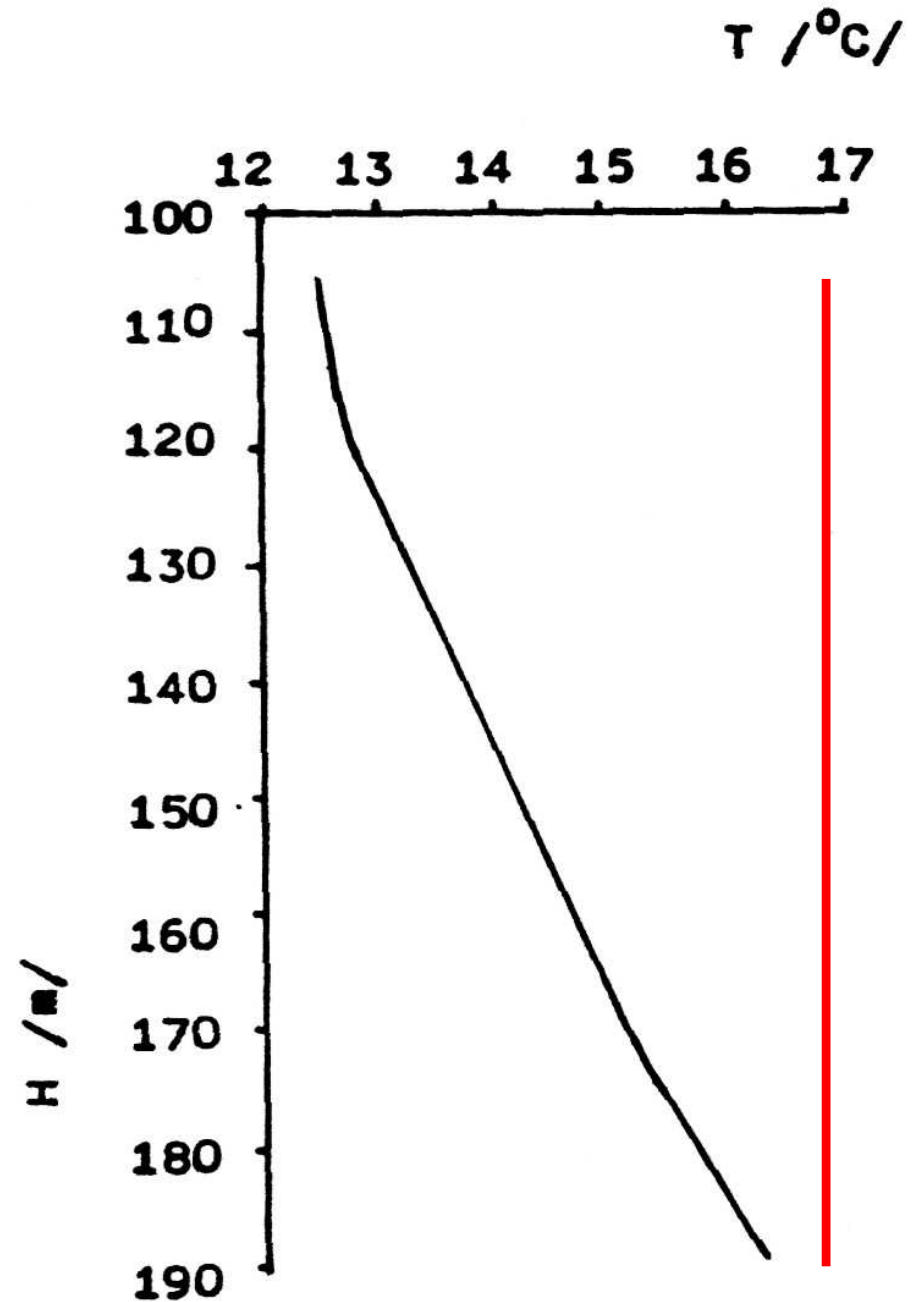
- vrty se samovolným přelivem – do 1 l/s pod úrovní terénu, nad 1 l/s přímo z přelivu
- srovnat s perforací – reprezentativní jsou jen perforované úseky
- srovnat s petrografickou charakteristikou hornin
- vhodné doplnit s měřením průtoku ve vrtech (přetoky mezi horizonty)
- konstrukce tzv. **termokarotážních křivek** – zejména u vrtů s více zvodněnými horizonty

## Vrty se stálým přelivem

- velmi strmý tvar křivky
- při rychlém výstupu vody až vertikální sklon

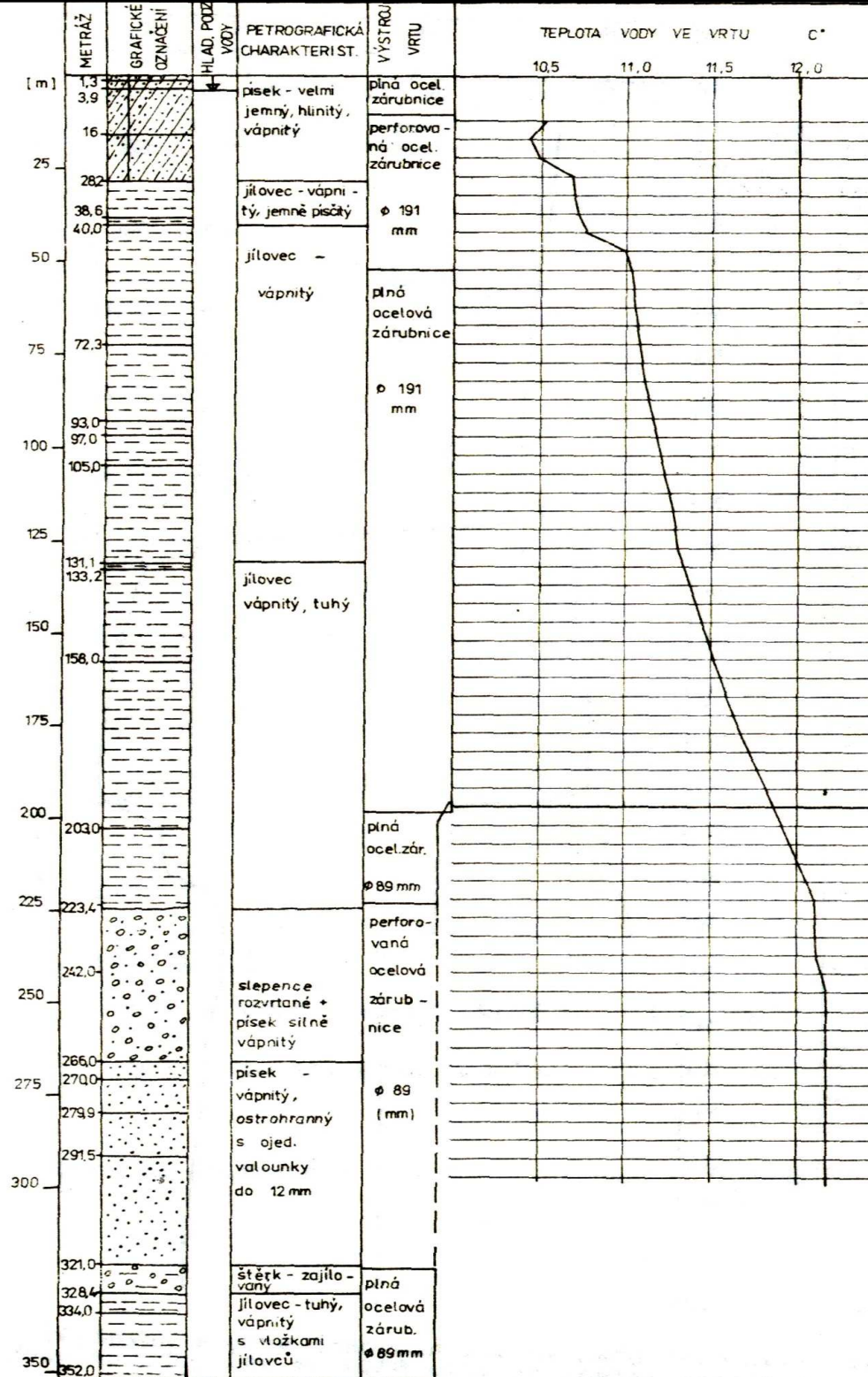
## Vrty se stagnující vodou

- téměř lineární průběh ve vrtech bez proudění
- sklon křivky je určen tepelnou vodivostí a měrným teplem hornin
- čím vyšší sklon, tím vyšší teplená vodivost a měrné teplo – horniny odvádí více tepla
- snadné určení tepelného gradientu
- teplotní gradient vodního sloupce se velmi blíží geotermickému gradientu
- výpočty geotermického gradientu – použití obturátorů pro zamezení pohybu vody



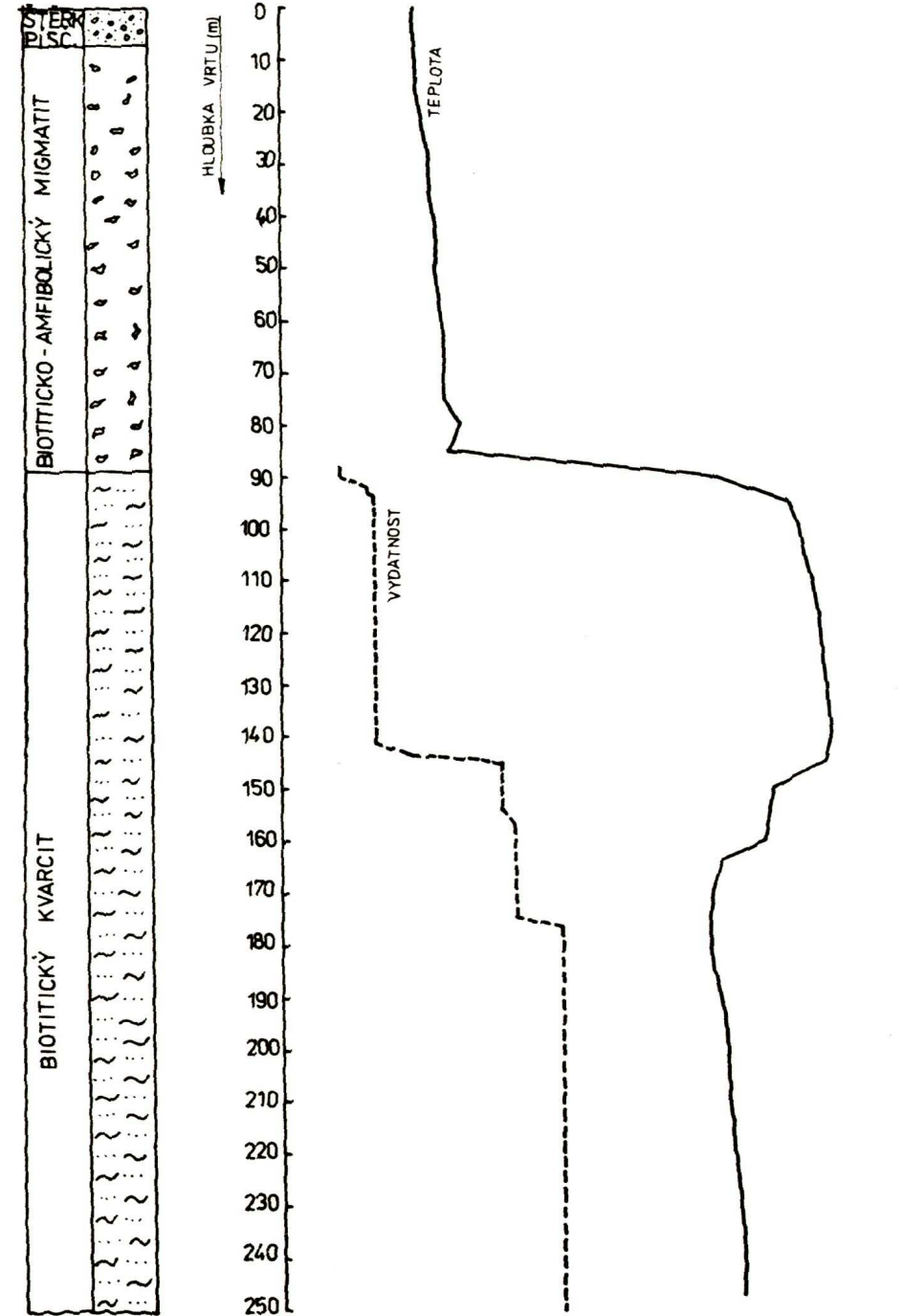
## Pohyb vody ve vrtech

- zmenšení vlivu okolních hornin a teplotní gradient se zmenšuje
- ani ve zdánlivě stagnujícím vrtu nemusí teplota vody odpovídat teplotnímu gradientu, pokud dochází k přetoku vody mezi horizonty
- viz obr.
- vhodné doplnění termokarotáže určením vertikálního hydraulického gradientu nebo měřením průtoku ve vrtu

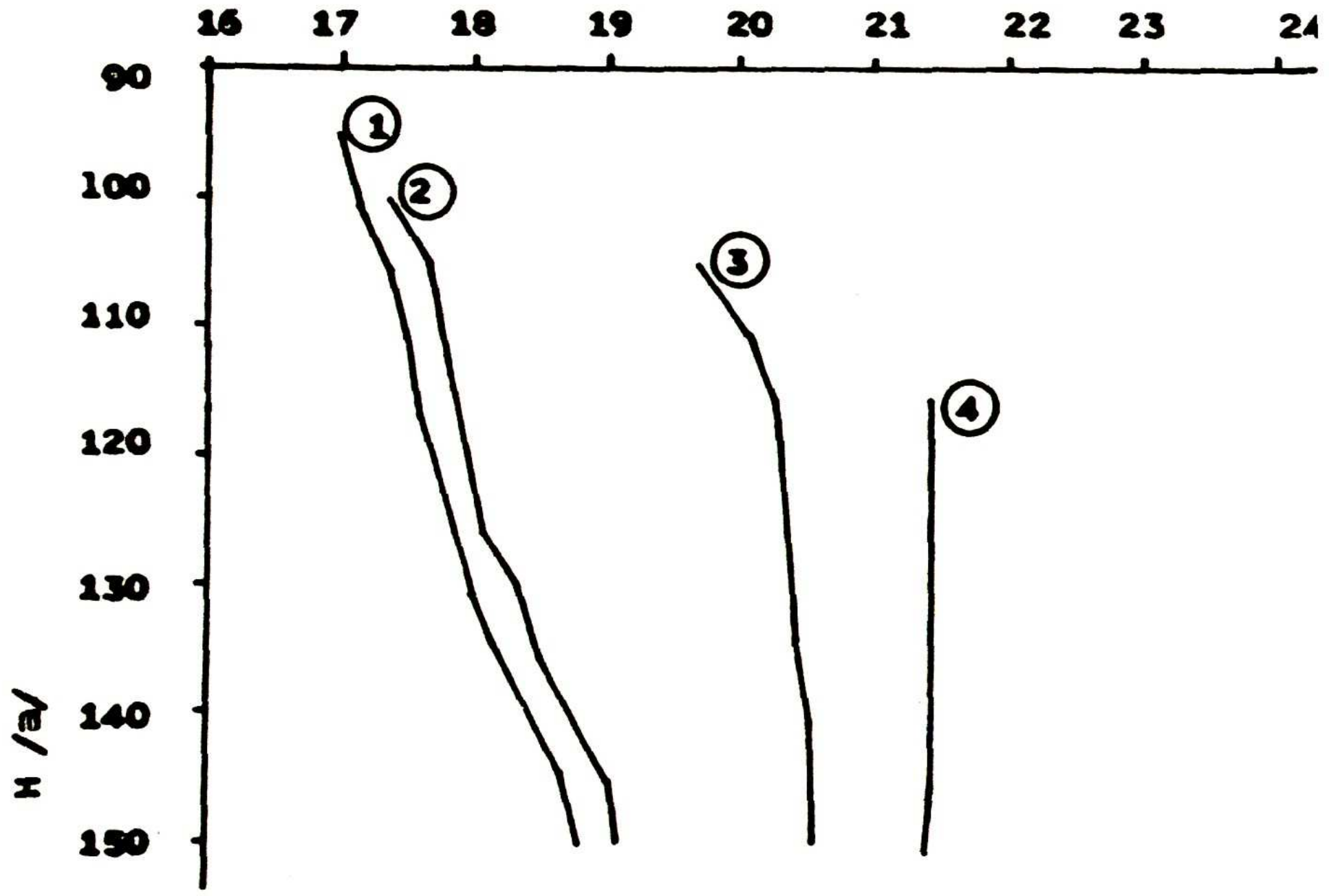


## Změny teploty ovlivněné jinými faktory

- litologicky či hydrogeologicky
- obtížně vysvětlitelné skokové změny teploty nebo tvaru termokarotážní křivky



t / °C /





# MĚŘENÍ T V R L

(mocností vrstev volných fází kapalin nemísitelných s vodou)

**LNAPL (RL, RU, TPH, ...)**

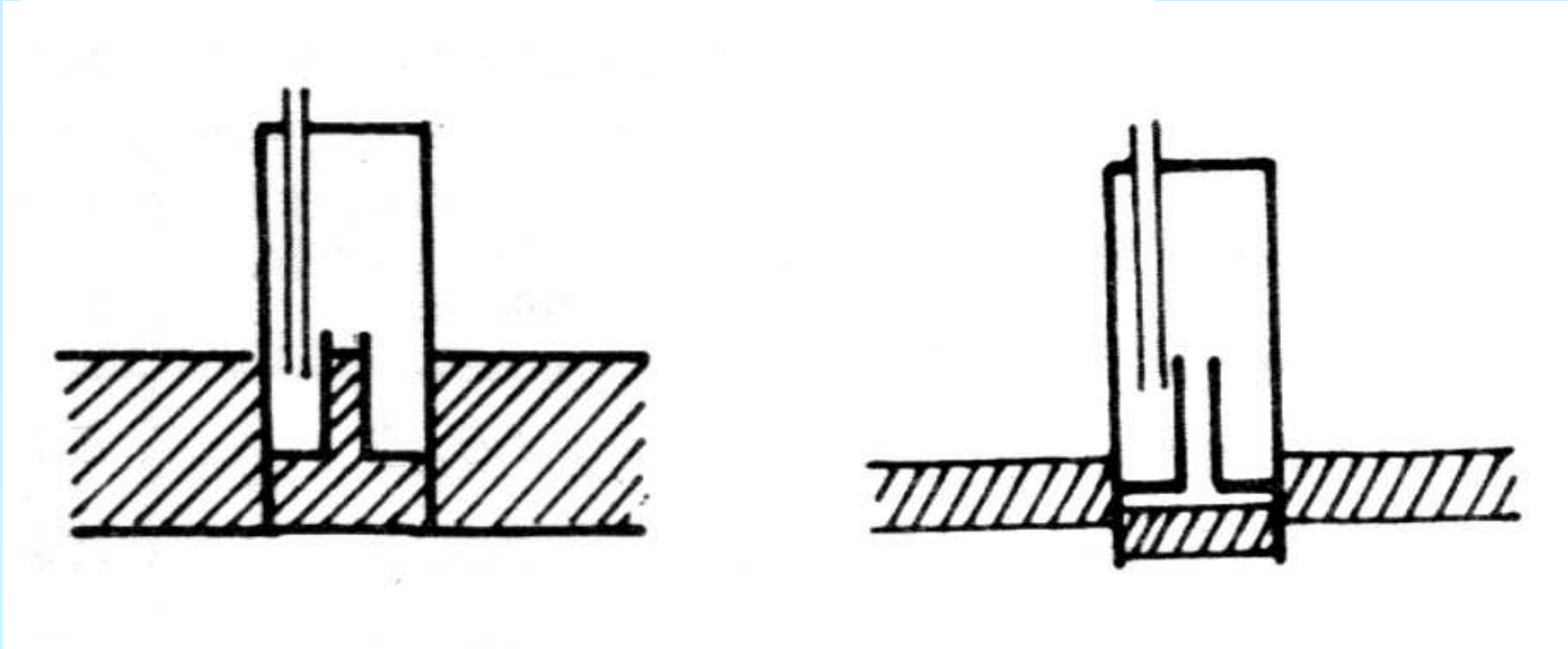
**DNAPL**

## **LNAPL**

přítomnost volné fáze

- tenká vrstva – pouze vizuální detekce, Newtonovy kroužky - přístroji nezměřitelná
- film – souvislá vrstva, zřetelně odlišný lom světla (mastný lesk) – obtížně měřitelná
- vrstva – souvislá vrstva s dobře měřitelnou mocností – nad 0,X mm

## METODY MĚŘENÍ MOCNOSTÍ VOLNÉ FÁZE LNAPL (TVRL)



### 4. vzorkovací válce s přelivnou trubicí

- zapouštění válců určitou „přiměřenou“ rychlostí, při naplnění válec ještě plove
- jediná metoda pro správné měření TVRL při mocnostech kolem 1 –2 mm
- maximální změřitelná TVRL je dána výškou vzorkovací komory (přelivu)

### 5. pomocí stanovení fázových rozhraní

- podobný princip jako u hladinoměřů
- čidla – fotoelektrická, odporová, termistorová, ultrazvuková
- často nutné samostatně změřit TVRL a samostatně hloubku hladiny podzemní vody nebo RL

## **Metody detekce DNAPL**

Problematika – detekována jen v malém počtu vrtů, přestože se na lokalitách s největší pravděpodobností vyskytovala

Přetrvává velmi dlouhodobě

- vyplňuje část objemu pórů, kterými nemůže voda proudit – rozpouštění jen na kontaktu
- proto rozdíl v přetrvávání kapalného rezidua a akumulací volné fáze
- kap. reziduum – pozvolný pokles
- akumulace – konstantní, pak předpoklad nárůstu (přechod na reziduum)
- modely – přítomnost nehomogenit může výrazně snížit rychlost rozpouštění (obtékání vodou)
- efektivní rozpustnost – přednostně je rozpuštěna látka s vyšší rozpustností, mění se poměr mezi látkami v podzemní vodě
- doba přetrvávání akumulací – záleží na objemu DNAPL a tvaru tělesa (kontaktní plochy – odraz horninového prostředí)

## **Příčiny**

- malá hustota sítě indikačních vrtů
- specifika migrace DNAPL –reziduum x akumulace volná fáze
- výstroj běžných indikačních vrtů a metodika vzorkování
- nad akumulacemi koncentrace velmi rychle klesají (vertikální disperzivita je minimální, vliv jen difúze – intenzivnější při nižších rychlostech proudění)

## **METODY DETEKCE DNAPL**

- nejprve určení vhodných míst ke hloubení vrtů – posouzení manipulace (sklady, překladiště, výrobní procesy, apod.)

### **přímé**

#### *1. metody detekce ve vrtech*

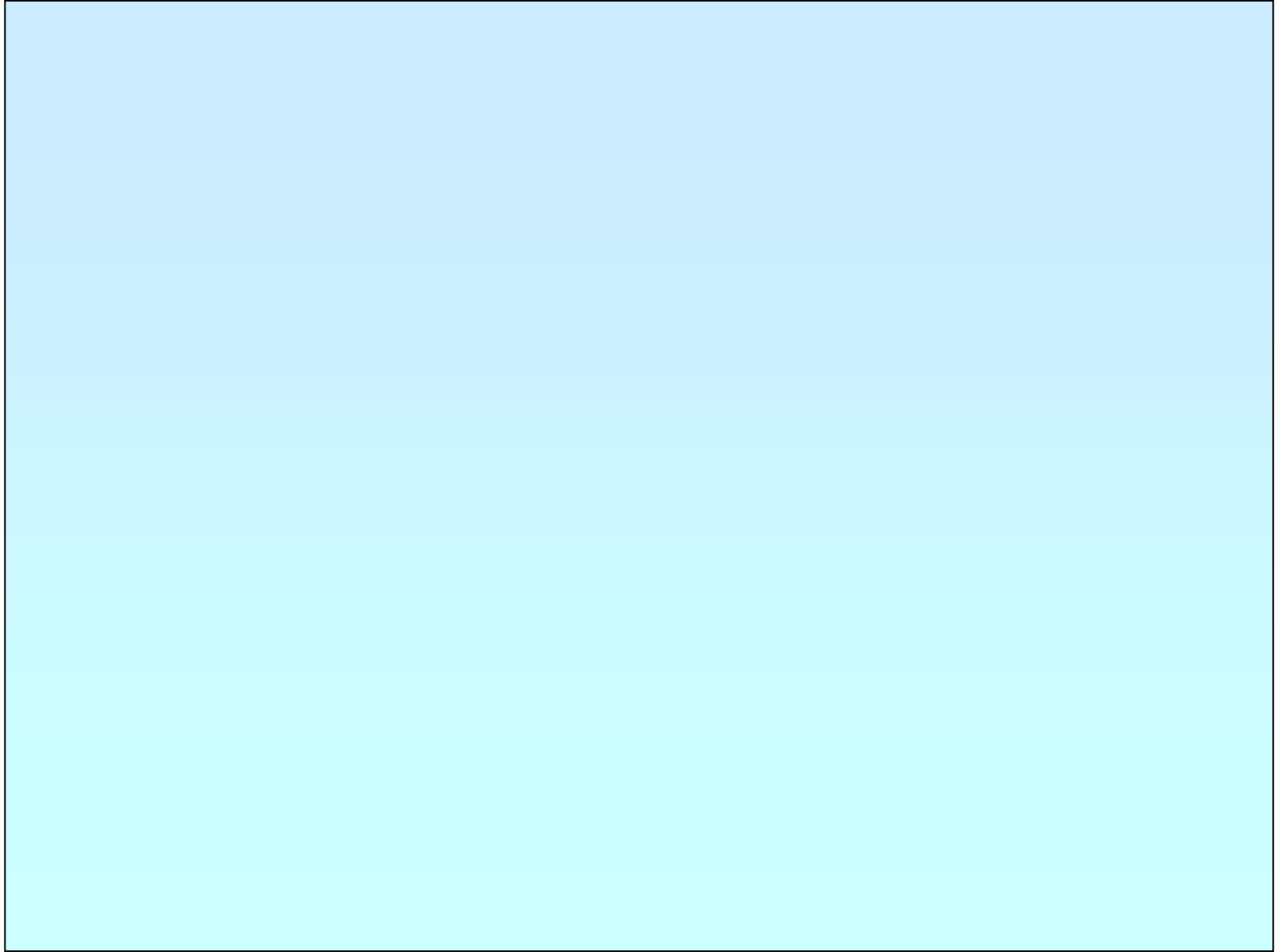
- přímá detekce fázového rozhraní – přístroje
- odčerpávání z počvy vrtu a analýza vzorku odčerpané kapaliny
- použití speciálního hlubinného vzorkovače
- analýza vzorku kapaliny zachycené na bavlněném provázku

#### *2. metody speciálního výzkumu vzorků kapalin (nejednoznačná přítomnost DNAPL)*

- separace kapalin v centrifuze
- přidání hydrofobního barviva do vzorku – protřepání a vizuální detekce
- UV fluorescence řady organických kapalin

#### *3. metody detekce ve vzorcích hornin a v zeminách*

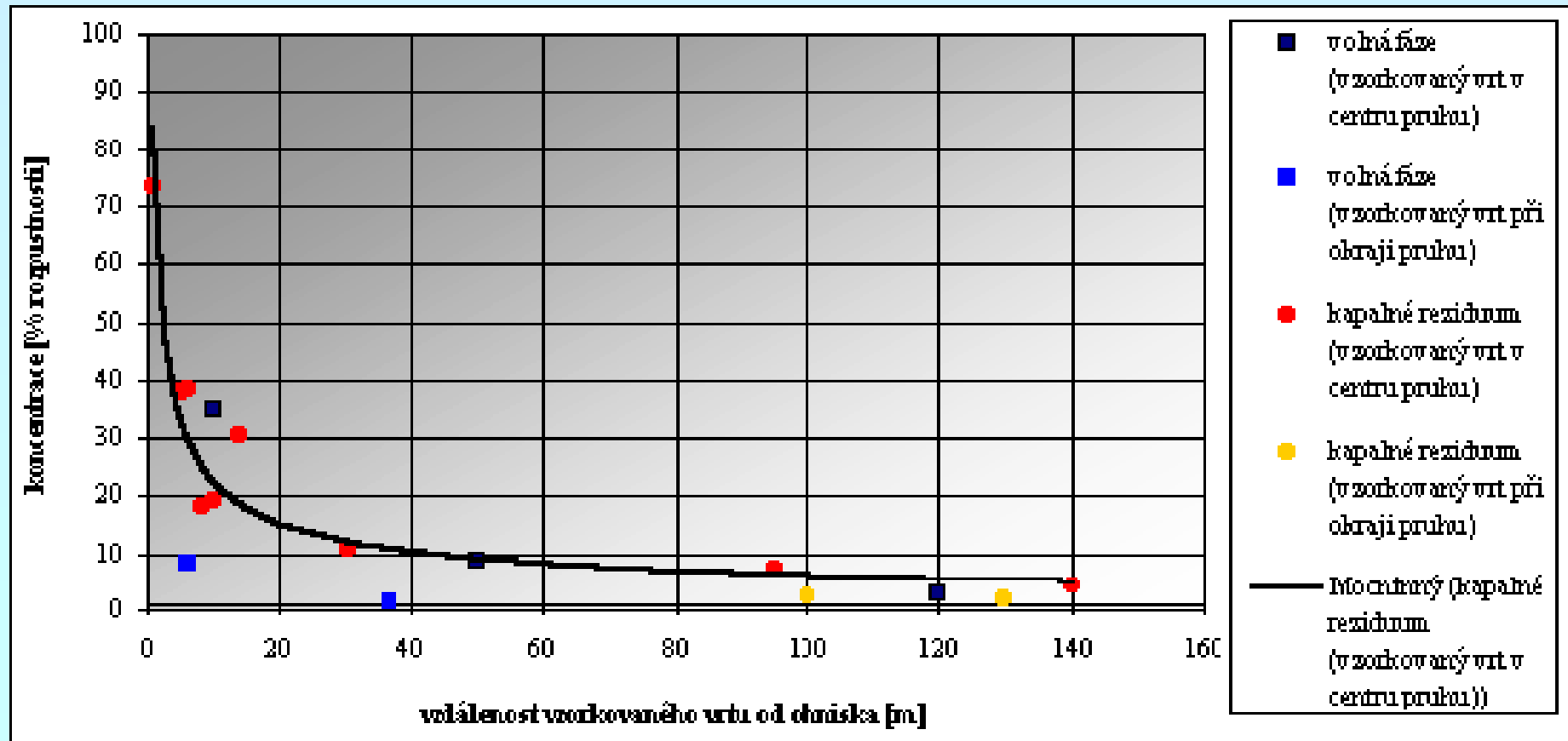
- UV fluorescence
- obarvení hydrofobními barvivy
- protřepání vzorku s vodou bez přidání barviv (barva DNAPL může být odlišná od zeminy)
- separace v centrifuze (přidání vody) a vizuální detekce 2 oddělených fází
- experiment s filtrem – přidání vody do vzorku zeminy a na filtru se sleduje případná přítomnost oddělených fází



## nepřímé

### 1. interpretace chemických analýz

- koncentrace DNAPL v podzemní vodě převyšuje 1% efektivní rozpustnosti ( $S_i^e = X_i S_i$ )
- koncentrace v půdě převyšuje 10 000 mg/kg ( $> 1$  hmotnostní % půdy)
- koncentrace v půdním vzduchu převyšuje 100 – 1 000 ppm



## nepřímé

### 1. interpretace chemických analýz

- koncentrace DNAPL v podzemní vodě převyšuje 1% efektivní rozpustnosti ( $S_i^e = X_i S_i$ )
- koncentrace v půdě převyšuje 10 000 mg/kg ( $> 1$  hmotnostní % půdy)
- koncentrace v půdním vzduchu převyšuje 100 – 1 000 ppm
- koncentrace v podzemní vodě kalkulovaná z rozdělovacích rovnic mezi zemínou a vodou a analyzovanou koncentrací v zemině převyší hodnotu efektivní rozpustnosti (postup – kalkulace  $S_i^e$ , zjištění  $K_{oc}$ , zjištění  $f_{oc}$ , zjištění objemové hmotnosti suchého vzorku zeminy, zjištění porozity, výpočet  $K_d$ , pak výpočet teoretické koncentrace kontaminantu v pórové vodě a její srovnání se zjištěnou efektivní rozpustností)

$$C_w = (C_t * \rho_b) / (K_d * \rho_b + n_w)$$

$C_w > S_i^e$  = pravděpodobná možná přítomnost DNAPL

$C_w < S_i^e$  = pravděpodobná nepřítomnost DNAPL

### Vzorkování zemin – výpočet z analýzy

- celkovou koncentraci chem. látky + vlhkost + porozitu + sorpční parametry + fyz a chem vlastnosti kontaminantu
- je-li  $C_w > S_w$  pravděpodobně je přítomna DNAPL, ale může být i pokud jsou si rovna
- koncentrace TOL v parách převyšuje 100 – 1 000 ppm

## *2. interpretace na základě anomálních podmínek na lokalitě*

- zjištěná distribuce forem DNAPL je atypická  
(takový nárůst koncentrací s hloubkou, který nelze vysvětlit advektivním transportem; výrazná zonálnost koncentrací, apod.)
- koncentrace rostou směrem nad ohniskem vzhledem ke směřům proudění podzemní vody  
(laterální pohyb po kapilárních bariérách; zaměnitelné - odlišný rozsah kontaminace nenasurované zóny a ohnisko v ní)
- kolísavé a nepravidelné koncentrace DNAPL v podzemní vodě  
(heterogenita prostředí - DNAPL, pozor na vliv detailů v konstrukci vrtů a metodik v odběrech vzorků)
- velmi vysoké koncentrace v půdním vzduchu zejména těsně nad hladinou podzemní vody  
(větší hustota par z DNAPL)
- vývoj koncentrací v čerpané vodě – koncentrace postupně klesají s rostoucí dobou čerpání, ale po přerušení čerpání prudce narostou
- koroze zárubnic (plastových – např. chlorované uhlovodíky rozpouští PVC)