

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 cm² vzdálenými 1 cm

Jednotky - základní (SI) S.m⁻¹ (v HG se nejčastěji používá μS.cm⁻¹ nebo mS.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 (α) je změna konduktivity při změně teploty o 1°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

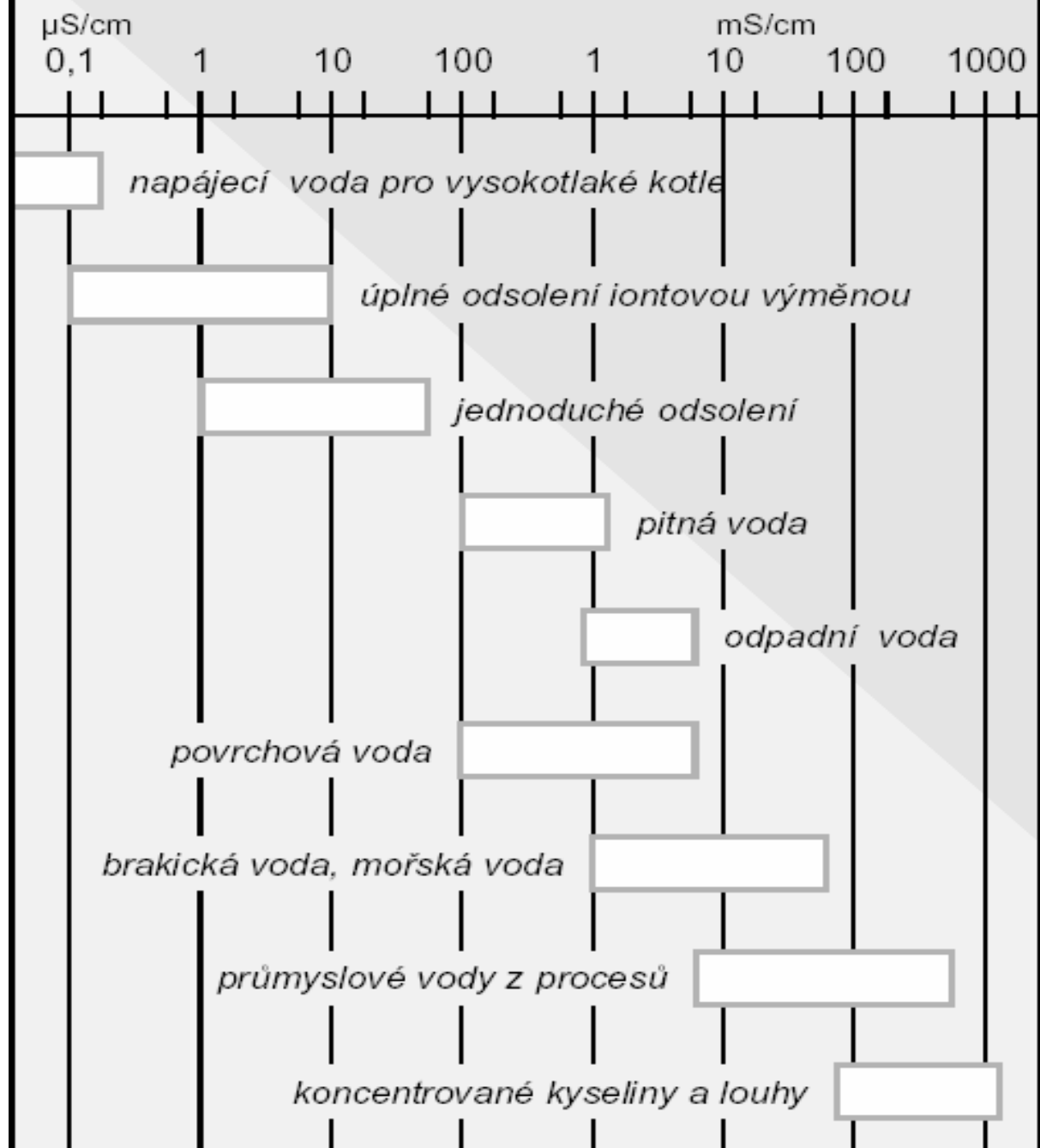
- základní informace o konduktivitě podzemních a povrchových vod
- vertikální rozložení konduktivity – zonálnost
- sledování časových změn konduktivity vody
- podrobná dokumentace odběru vzorků vody
- měření rychlosti proudění podzemní i povrchové vody
- kontrola výsledků chemických analýz
- sledování 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$

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

Povrchová voda

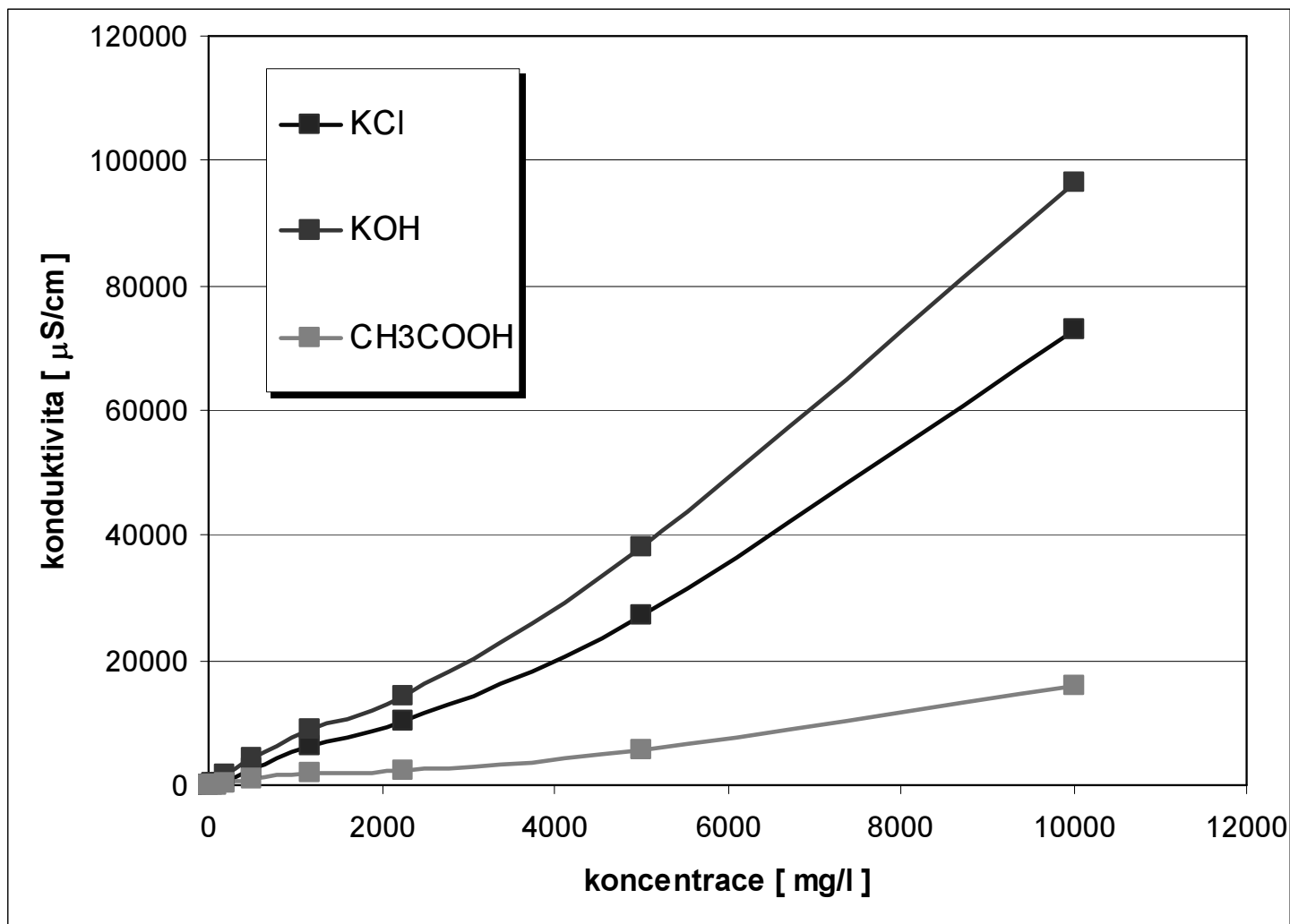
nejčastěji v řádu prvních stovek
 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Kontaminovaná podzemní voda

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

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

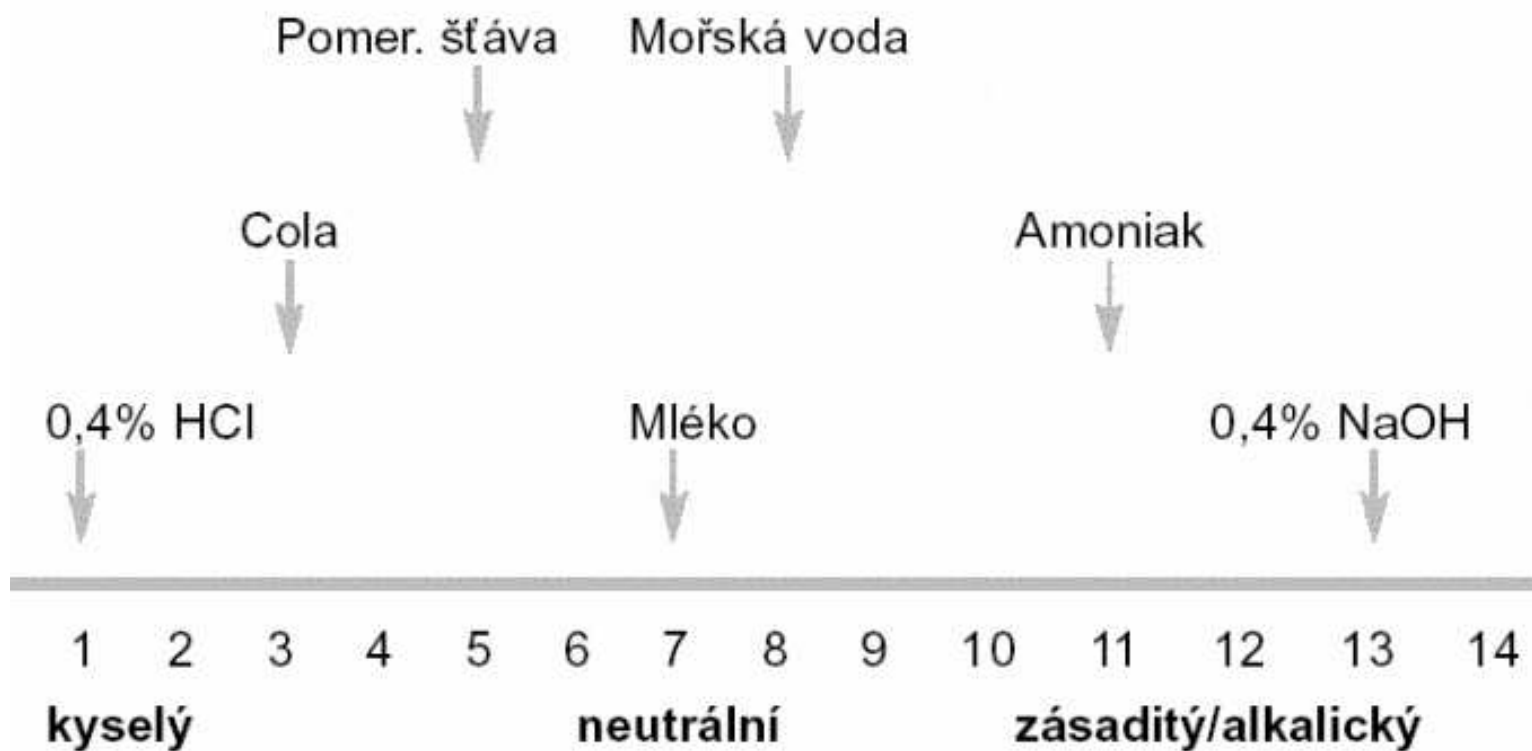
2000 18020

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

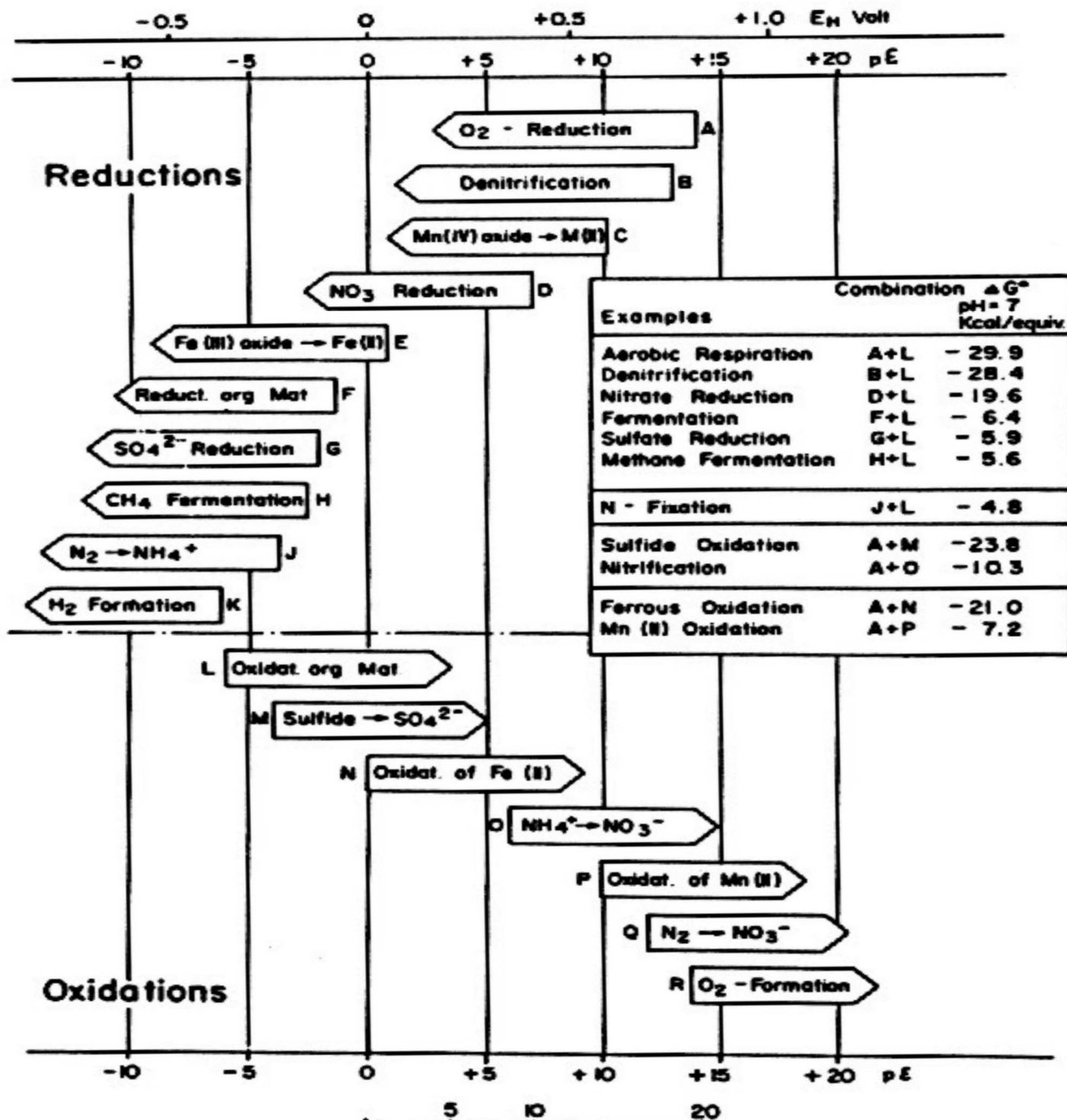
- podstatně přesnější než kolorimetrické stanovení – přesnost zobrazení až 0,01
- v čidle 2 elektrody – měřicí a srovnávací
- princip měření je ve změnách napětí mezi oběma elektrodami vyvolaný změnou koncentrace H^+ na membráně
- vnitřní podmínky čidla – konstantně udržovány roztokem KCl – uchovávání 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

E h

- **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

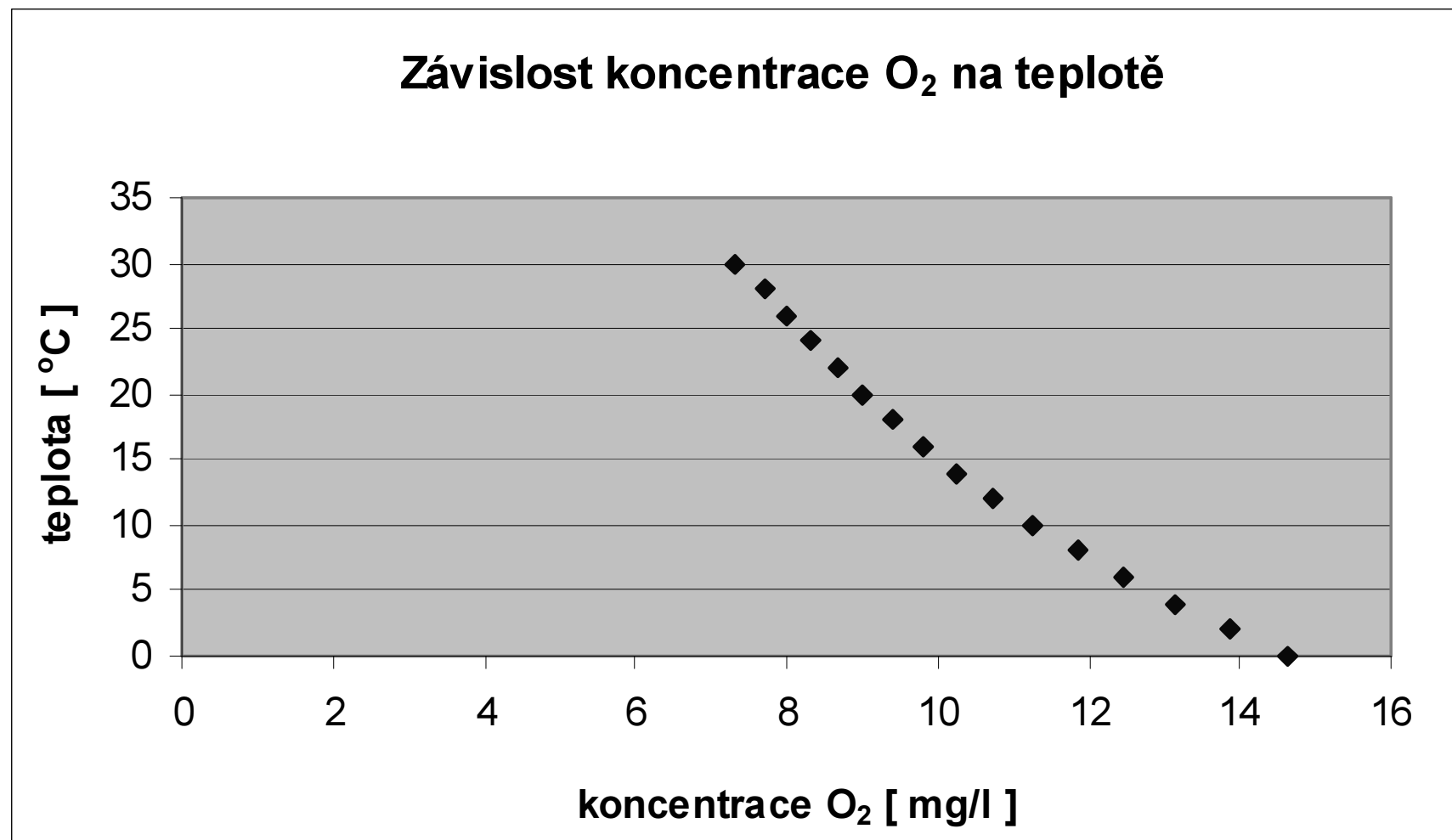


Koncentrace rozpuštěného kyslíku

- 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 O₂ 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 O₂

- 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⁻¹

Druhy teploměrů:

kapalinové teploměry

rtuťové

lihové

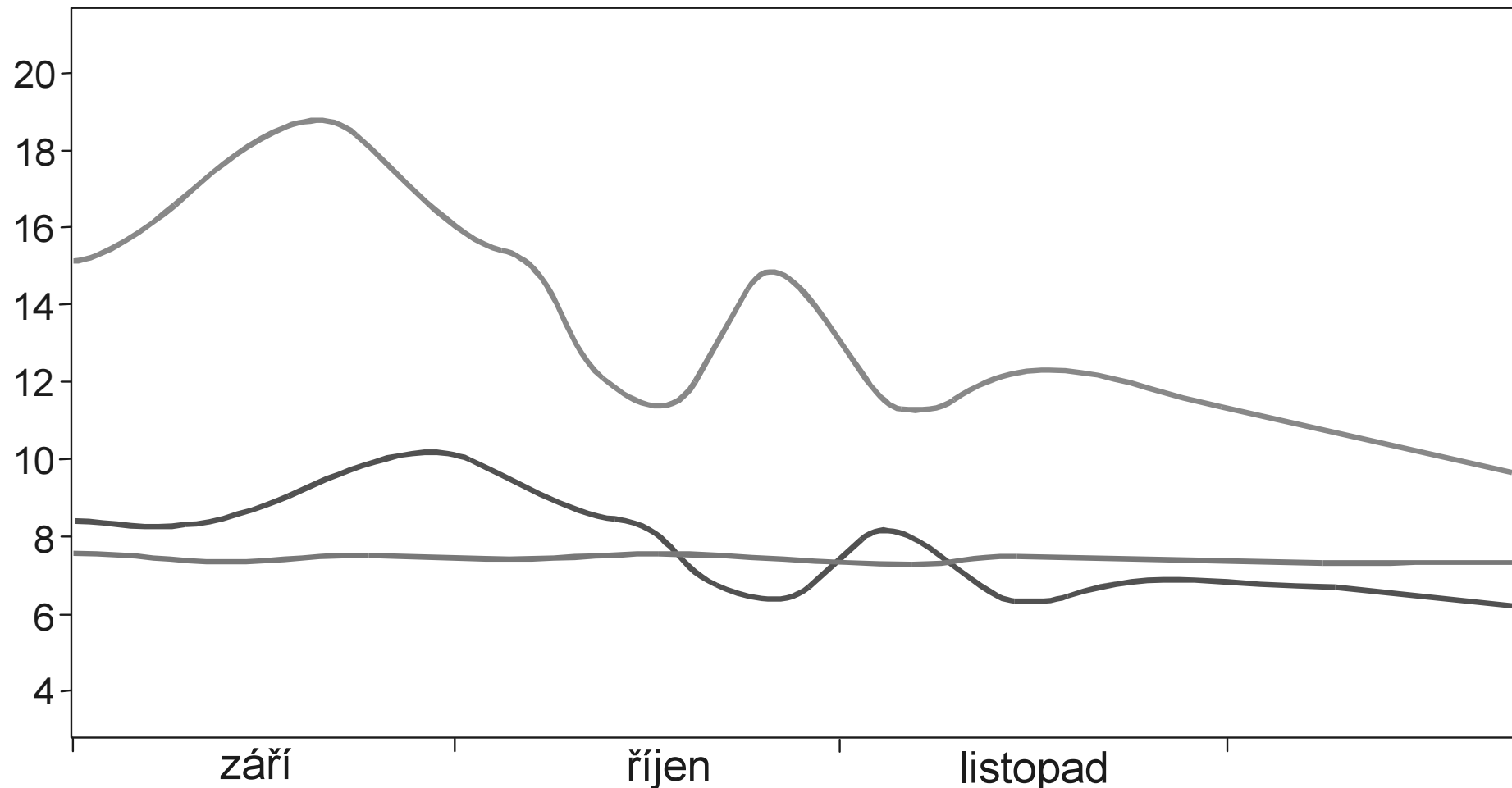
- odporové teploměry kovové
z čistých kovů (Pt, Ni, Cu)
ze slitin
- odporové teploměry nekovové
termistorové
polovodičové
- krystalové teploměry

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, O₂ (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

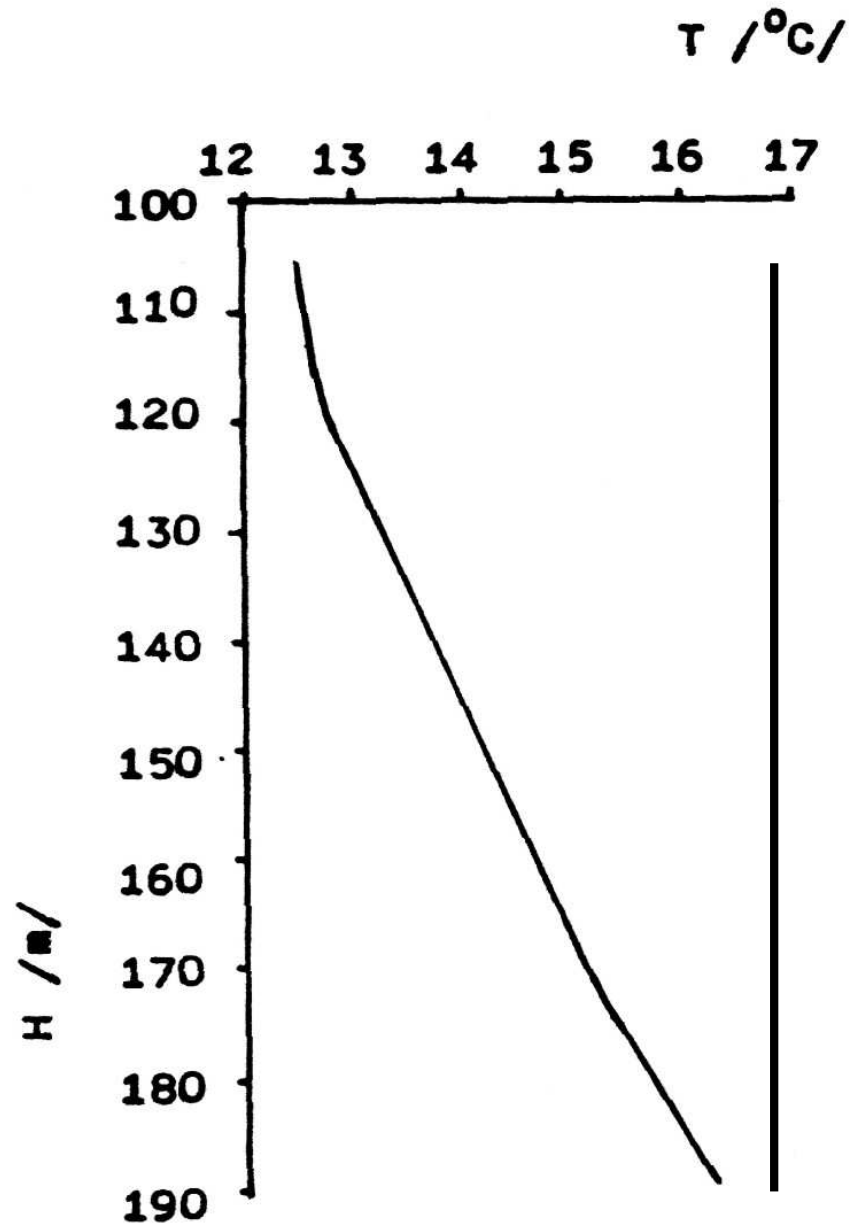
- vrty se samovolným přelivem – do 1 l/s pod úrovní terénu, nad 1 l/s přímo z přelivu
- srovnat s perforací – reprezentativní jsou jen perforované úseky
- srovnat s petrografickou charakteristikou hornin
- vhodné doplnit s měřením průtoku ve vrtech (přetoky mezi horizonty)
- konstrukce tzv. **termokarotážních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

Vrty se stálým přelivem

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

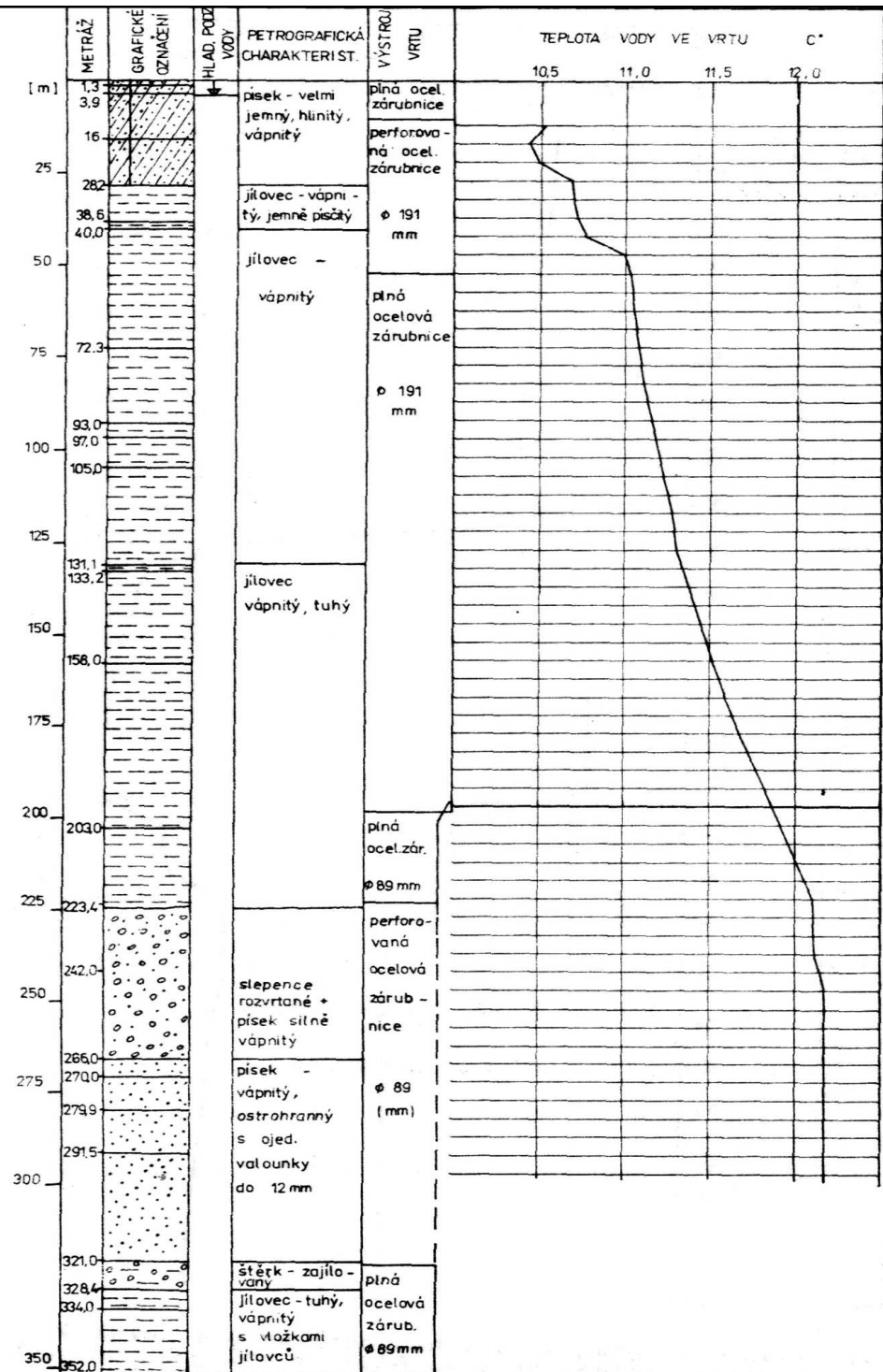
Vrty se stagnující vodou

- téměř lineární průběh ve vrtech bez proudění
- sklon křivky je určen tepelnou vodivostí a měrným teplem hornin
- čím vyšší sklon, tím vyšší tepelná 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



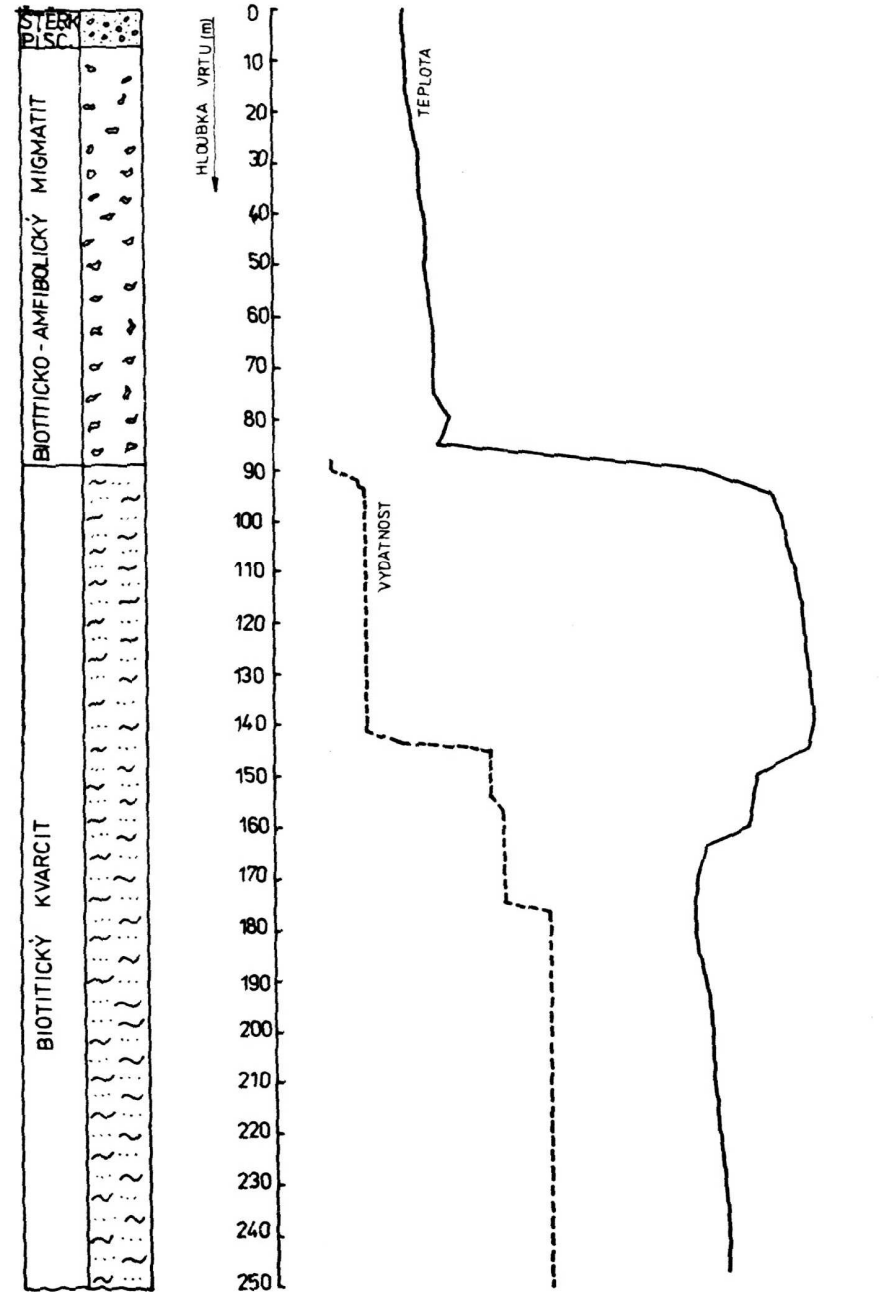
Pohyb vody ve vrtech

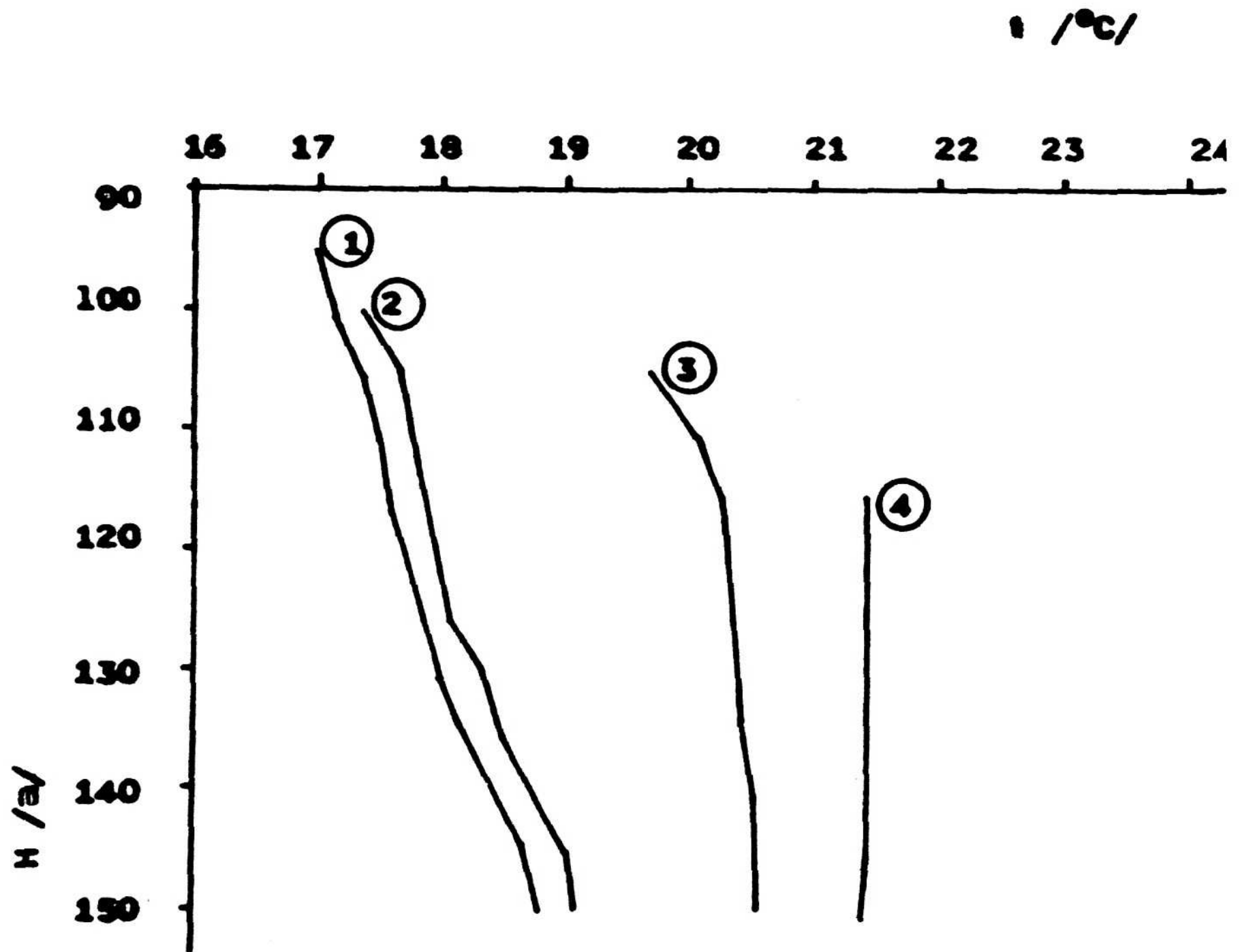
- zmenšení vlivu okolních hornin a teplotní gradient se zmenšuje
- ani ve zdánlivě stagnujícím vrtu nemusí teplota vody odpovídat teplotnímu gradientu, pokud dochází k přetoku vody mezi horizonty
- viz obr.
- vhodné doplnění termokarotáže určením vertikálního hydraulického gradientu nebo měřením průtoku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



Změny teploty ovlivněné jinými faktory

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





MĚŘENÍ T V R L

(mocností vrstev volných fází kapalin nemísitelných s vodou)

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

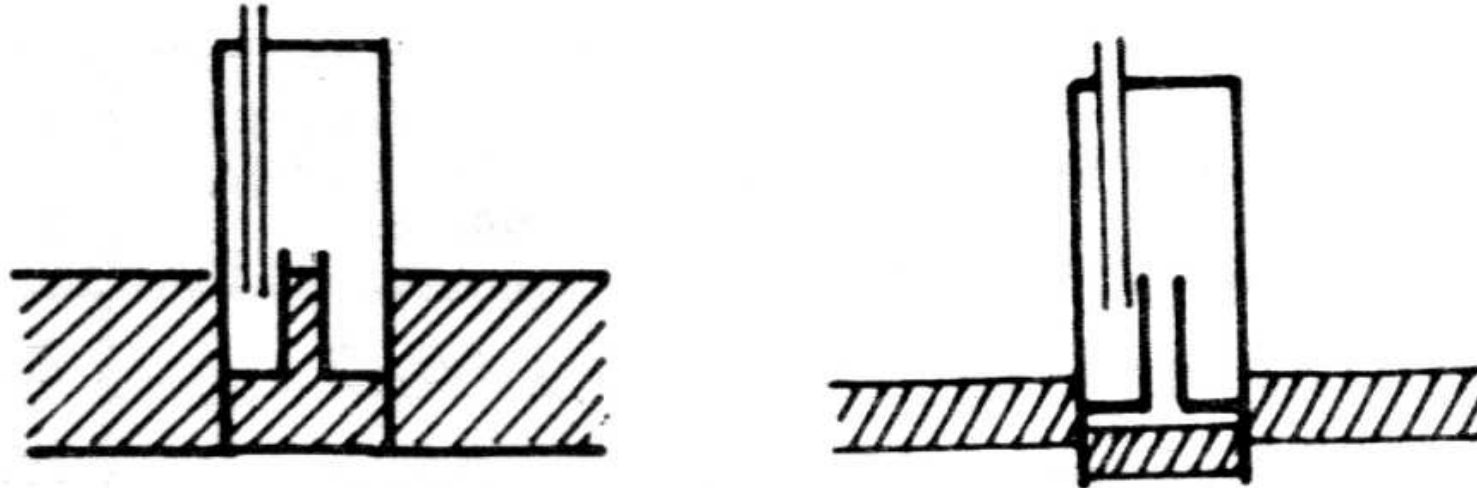
DNAPL

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 hladinoměrů
- 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

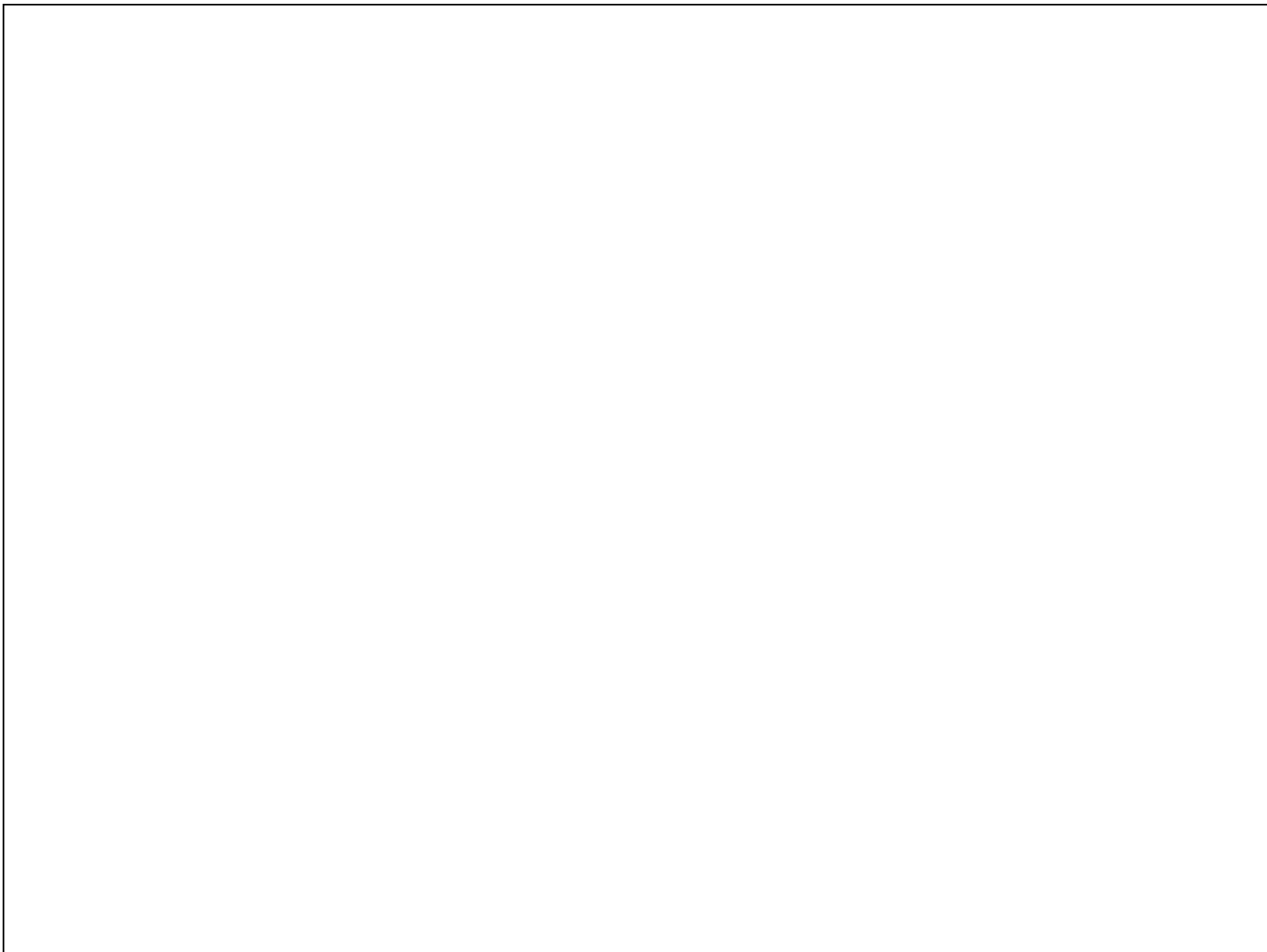
- přímá detekce fázového rozhraní – přístroje
- odčerpávání z počvy vrtu a analýza vzorku odčerpané kapaliny
- použití speciálního hlubinného vzorkovače
- analýza vzorku kapaliny zachycené na bavlněném provázku

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

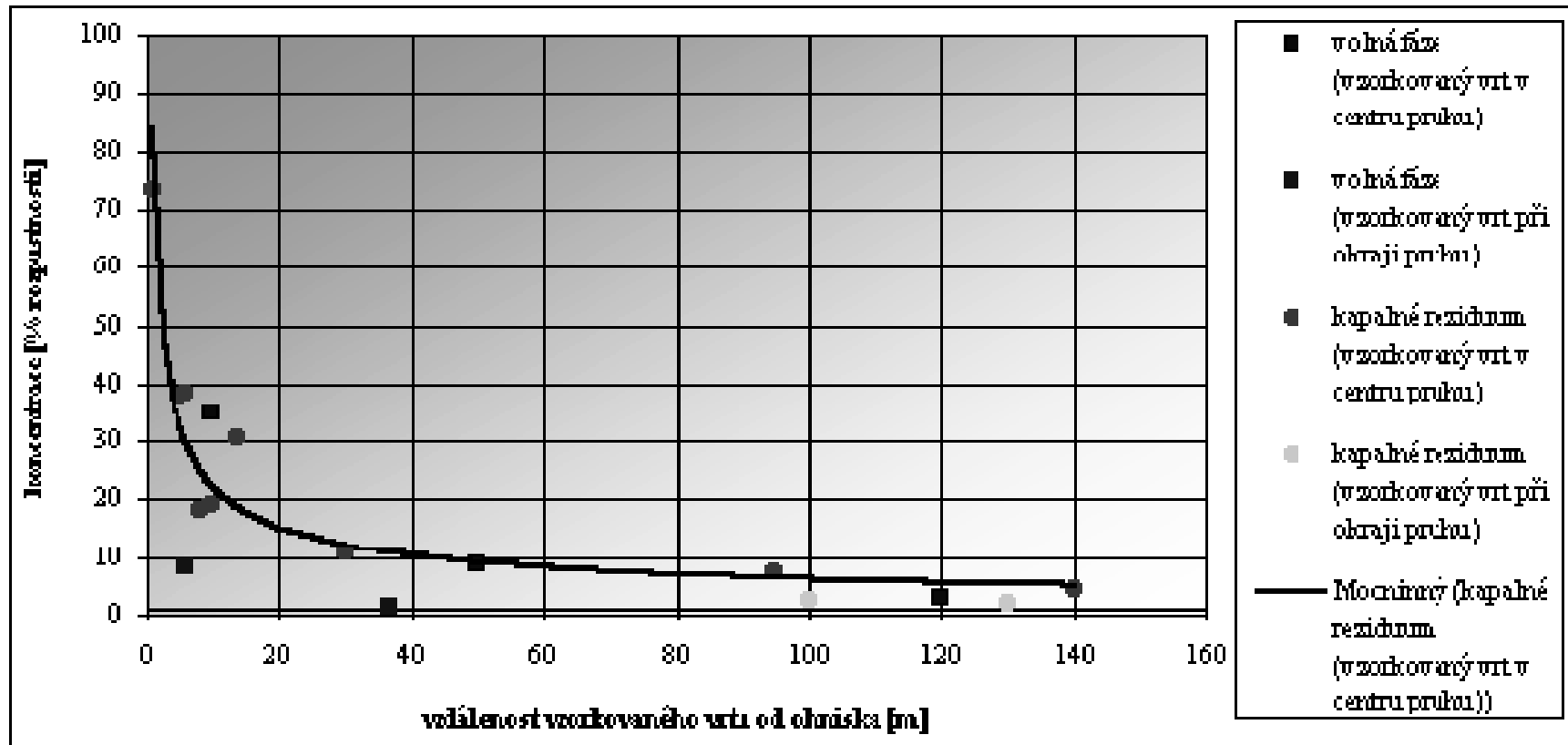
- UV fluorescence
- obarvení hydrofobními barvivy
- protřepání vzorku s vodou bez přidání barviv (barva DNAPL může být odlišná od zeminy)
- separace v centrifuze (přidání vody) a vizuální detekce 2 oddělených fází
- experiment s filtrem – přidání vody do vzorku zeminy a na filtru se sleduje případná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