

# Metody hydrogeologického výzkumu III.

## **Konstrukce ekvipotenciál**

# Základní pojmy

## Hydraulická výška – piezometrická úroveň – potenciometrická úroveň

- hydraulický potenciál (hodnota energie) podzemní vody v daném bodě lze stanovit měřením hydraulické výšky
- tlaková výška nad srovnávací rovinou (obvykle hladina moře)

## Hydraulický gradient

- maximální rozdíl výšek při minimální stejné vzdálenosti paralelní se směrem proudění
- rozdíl mezi hydraulickými výškami způsobuje pohyb vody – proudění
- horizontální gradient – hydrogeologické vrty, studny, povrchové vody
- vertikální gradient – piezometry umístěné blízko sebe

**Hladina podzemních vod** – povrch saturované zóny, ve které je tlak ve zvodni roven atmosférickému tlaku

**Piezometrický povrch (potenciometrický povrch)** – úroveň hladiny, do které by vystoupala ve vrtu pronikajícím napjatou zvodní či úrovní s hydraulickou výškou převyšující hladinu podzemních vod

**Ekvipotenciála** – linie spojující místa se stejnou hydraulickou výškou

**Hydroizohypsa** – průmět ekvipotenciály do roviny

**Hydroizopieza** – dtto pro zvodeň s napjatou hladinou

**Proudnice** – podzemní voda proudí kolmo na průběh ekvipotenciál (při anizotropii hydr. vodivosti = 1), směr proudění ukazuje proudnice

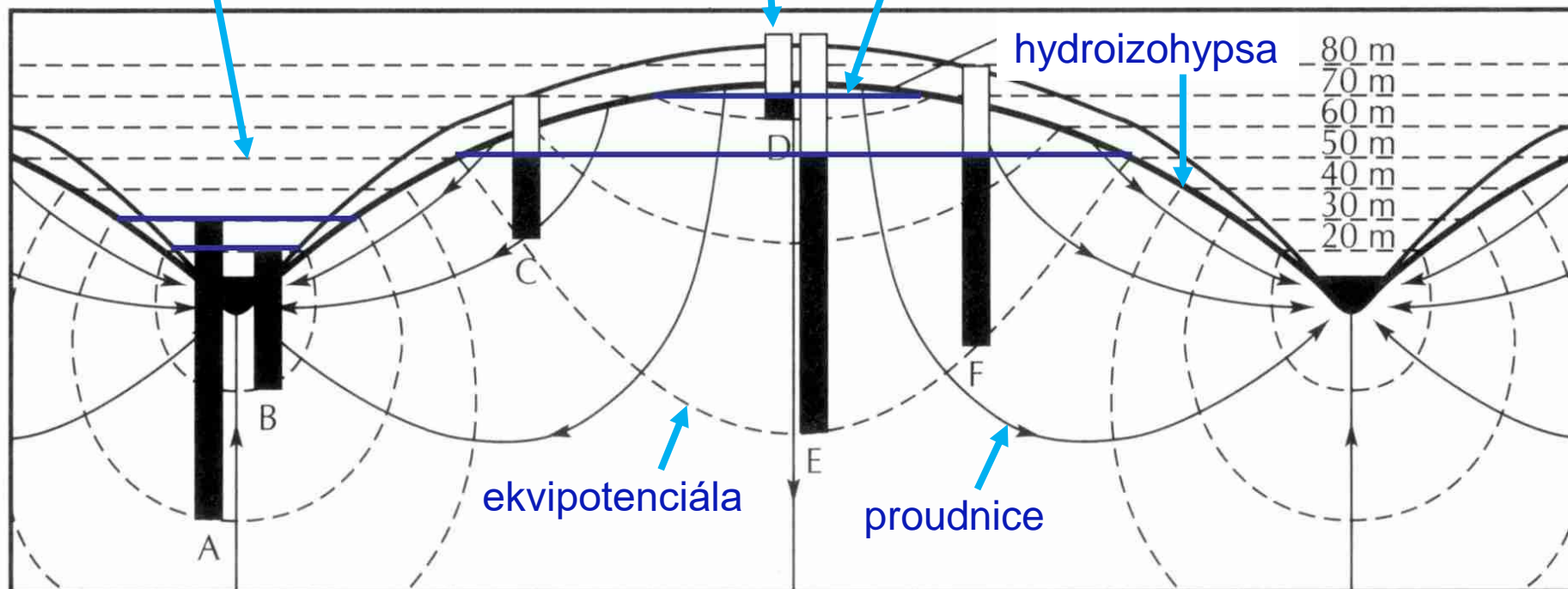
**Proudová síť** – znázornění systému proudění prostřednictvím ekvipotenciál a proudnic, půdorys či v řezu (výstupy z modelů možnost 3D zobrazení)

# Proudová síť

hydraulická výška  
(piezometrická úroveň)

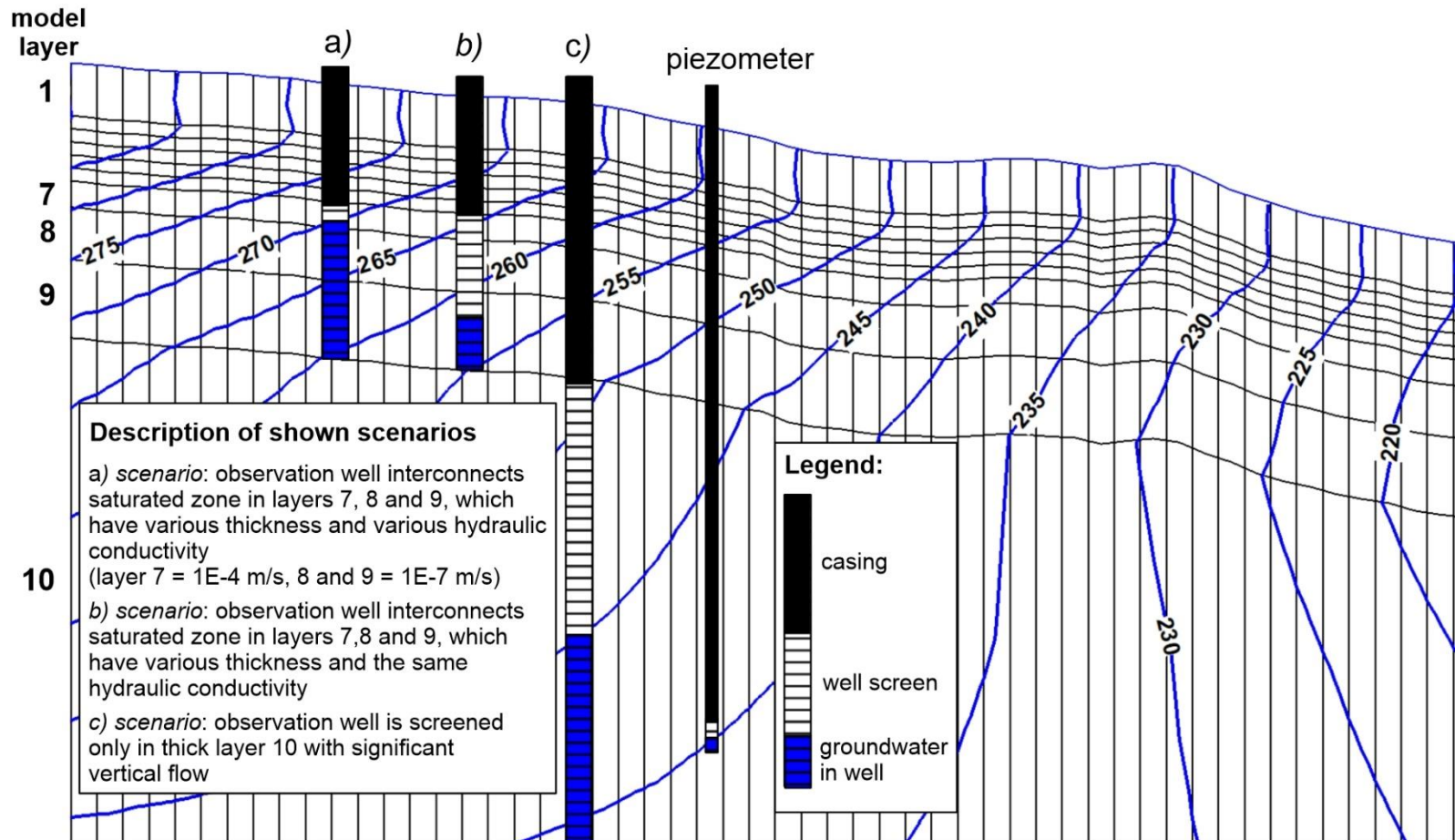
piezometr

hladina podzemních vod

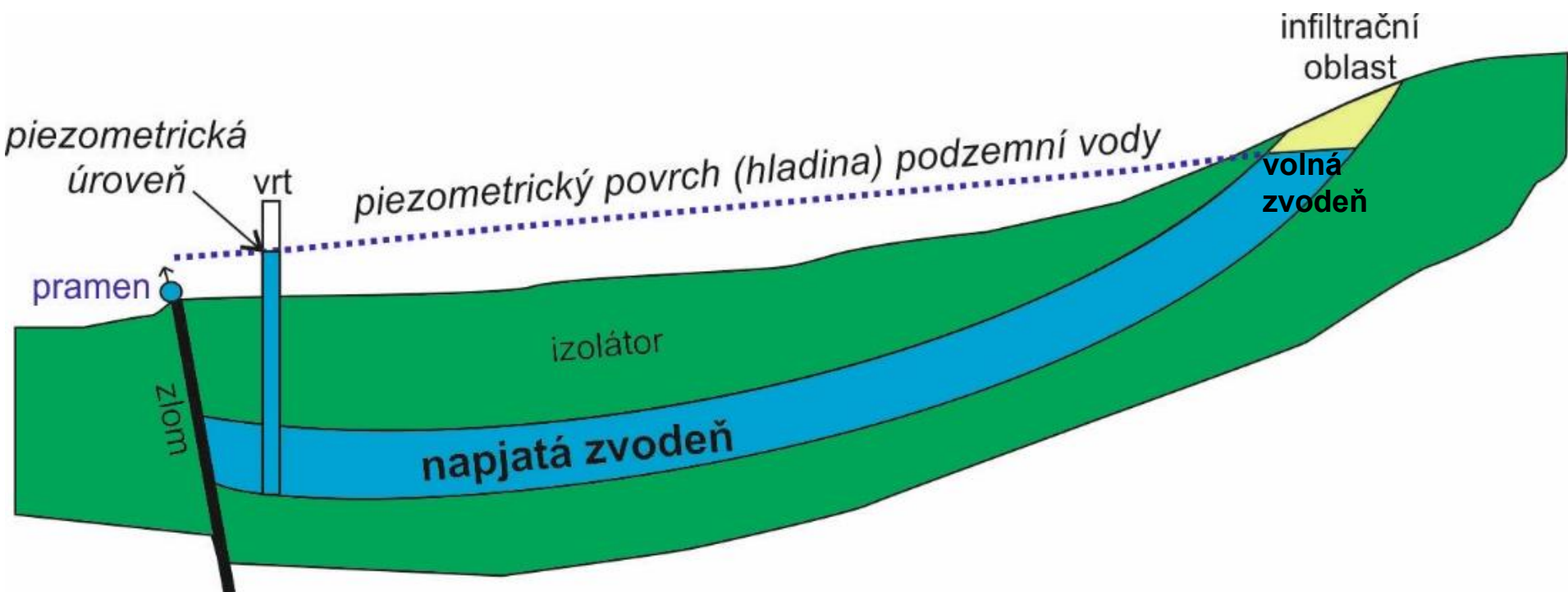


# Hydrogeologický vrt a piezometr

- vliv výškové polohy a délky filtrační části vrtu na měřenou hladinu (hydraulickou výšku) ve vrtu
- piezometr – bodová informace o hydraulické výšce

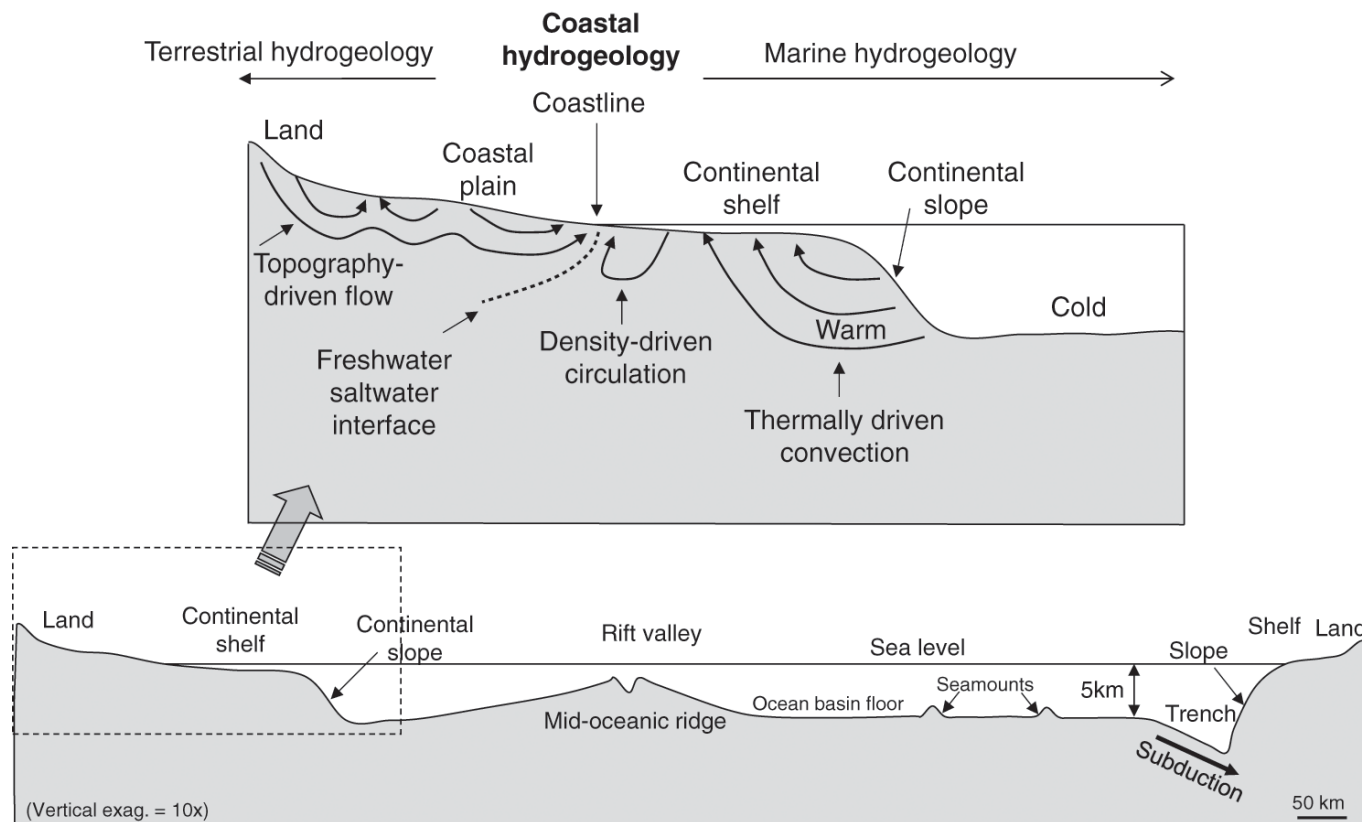


# Napjatá zvodeň



# Měření hydraulické výšky v prostředí s různou hustotou vod

- různá hustota vody – rozdíly v mineralizaci, teplotě, tlaku
- obvykle pobřežní oblasti, hluboké sedimentární pánve
- vliv na hydraulický gradient  $q = -k \cdot \text{grad}h$



# Měření hydraulické výšky v prostředí s různou hustotou vod

Zhodnocení proudění podzemních vod v prostředí s různou hustotou vod jako **ekvivalentu hydraulické výšky v prostředí s čerstvou vodou** (Ekivalent Fresh Water Head):

- bodová hydraulická výška  $h_i$  se skládá z polohové výšky  $z_i$  a z tlakové výšky  $h_{p,i}$

$$h_i = z_i + h_{p,i} \quad h_{p,i} = \frac{P_i}{\rho_i g}$$

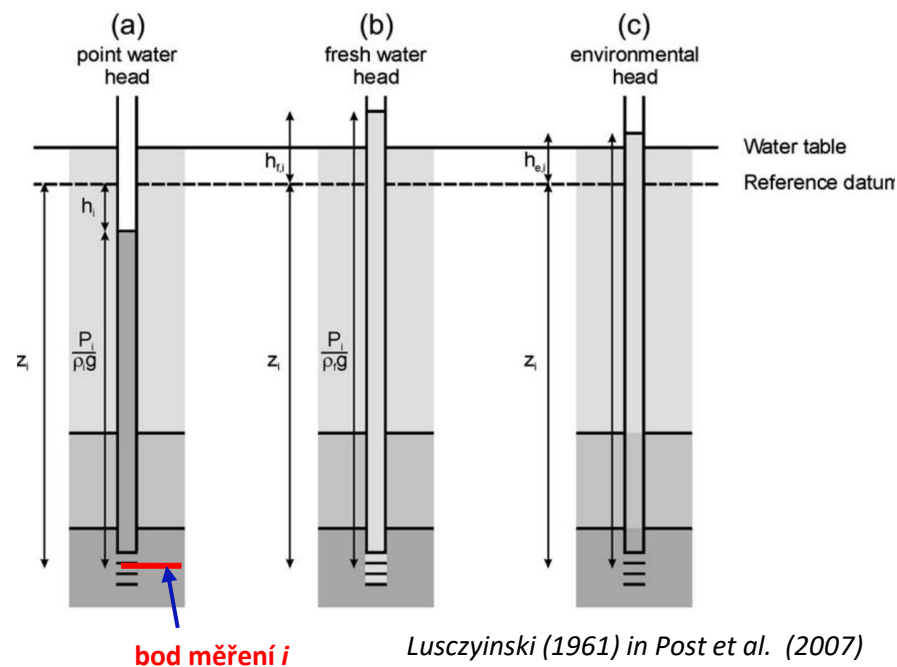
- normalizace  $h_{p,i}$  pomocí referenční hustoty  $\rho_f$  na  $h_{f,i}$  → sloupec vody v každém bodě pozorování hydraulické výšky  $h_{p,i}$  bude nahrazen odpovídajícím sloupcem vody  $h_{f,i}$  se stejnou hustotou  $\rho_f$

$$h_{f,i} = z_i + \frac{P_i}{\rho_f g}$$

- na hodnotě  $\rho_f$  nezáleží, obvykle se však používá hustota „čerstvé“ vody → *fresh water head*  $h_{f,i}$
- $h_{f,i}$  může být spočtena z bodové hydr. výšky  $h_i$

$$h_{f,i} = \frac{\rho_i}{\rho_f} h_i - \frac{\rho_i - \rho_f}{\rho_f} z_i$$

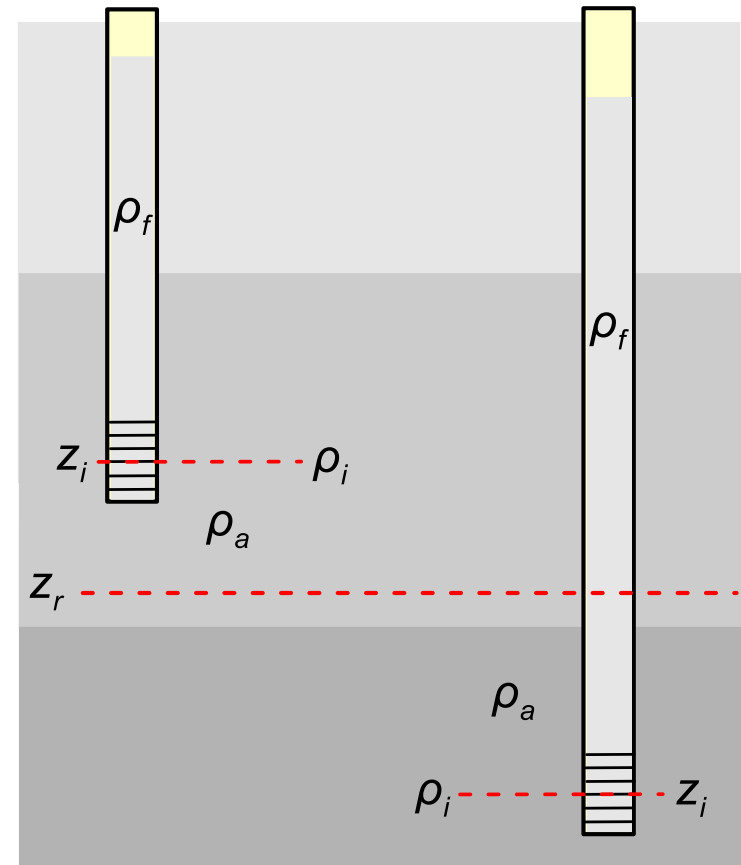
- stanovení hustoty  $\rho_i$  – tabulky, speciální software



# Měření hydraulické výšky v prostředí s různou hustotou vod

- při hodnocení horizontálního proudění je klíčové, aby hydraulické gradienty byly hodnoceny z  $h_{f,i}$  ve stejné hloubce –  $h_{f,i}$  se může měnit s hloubkou ( $i$  v prostředí bez vertikálního proudění)
- pokud pochází měření tlaku  $P_i$  z piezometrů s různou hloubkou filtrační částí, je nutné, vypočítat  $h_{f,i}$  ve vhodně zvolené referenční hloubce  $z_r$
- následně vypočteme hydraulickou výšku  $h_{f,r}$  odpovídající hustotě „čerstvé“ vody  $\rho_f$  a srovnávací úrovni  $z_r$ , kde  $\rho_a$  je průměrná hustota vody mezi bodem měření ( $z_i$ ) a srovnávací úrovní ( $z_r$ ):

$$h_{f,r} = z_r + \frac{P_r}{\rho_f g} = z_r + \frac{\rho_i}{\rho_f} (h_i - z_i) - \frac{\rho_a}{\rho_f} (z_r - z_i)$$



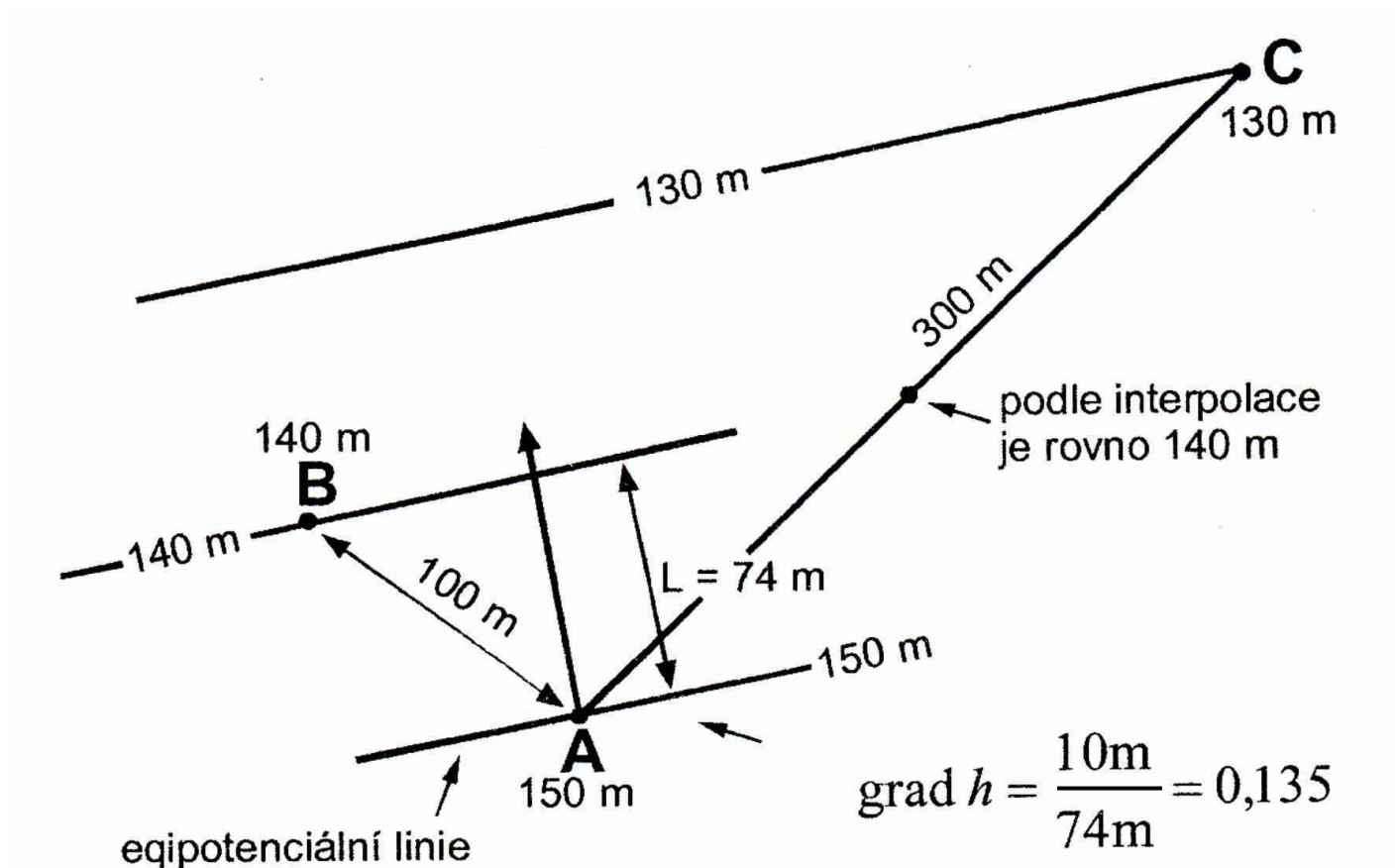
Nejistoty ve stanovení hydraulické výšky:

- přesnost stanovení závisí na znalosti prostorového rozložení hustoty vody a tedy určení  $\rho_a$
- hustota vody se může měnit nejenom ve vertikálním, ale i v horizontálním směru



# Hydrogeologický trojúhelník

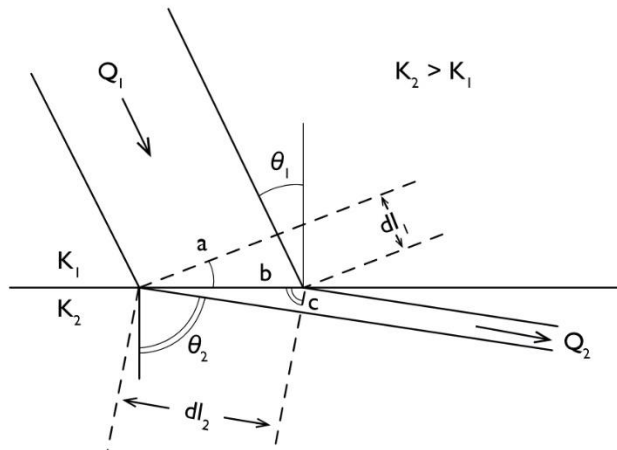
- určení směru proudění podzemních vod – minimálně 3 změřené objekty
- izolinie spojuje místa se stejnou výškou nacházející se mezi měřenými objekty
- interval izolinií – při velkých rozdílech hladin v metrech, malé rozdíly - desetiny metrů



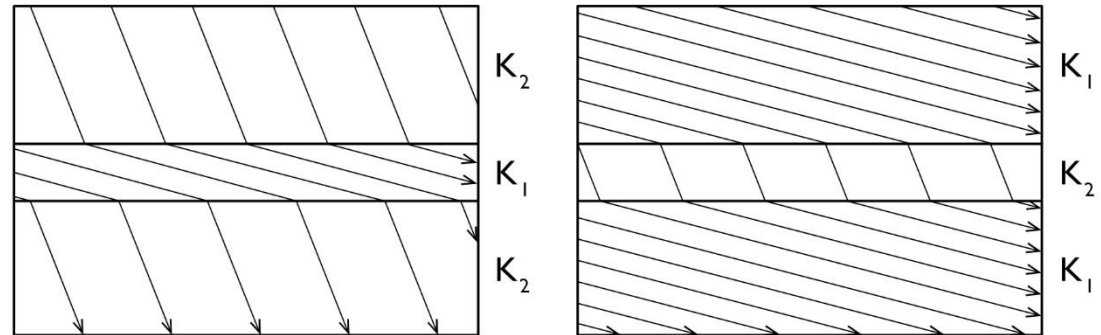
# Pravidla tvorby ekvipotenciál v heterogenním a izotropním prostředí

- proudnice a ekvipotenciály se musí křížit v pravých úhlech
- ekvipotenciály se musí setkat s nepropustnou hranicí v pravém úhlu
- ekvipotenciály musí být paralelní s okrajovou podmínkou typu konstantní hladina
- u geologických rozhraní (kontakt např. dvou vrstev s odlišnou hydraulickou vodivostí) platí *Snellův zákon*:

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2}$$



Refrakce proudnic na geologické hranici



$$\frac{K_1}{K_2} = 10$$

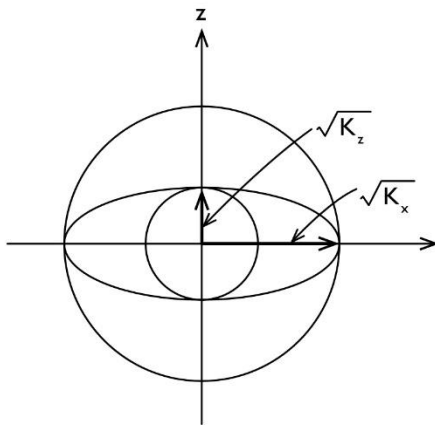
Refrakce proudnic ve více-vrstevném systému (Hubbert, 1940)

# Pravidla tvorby ekvipotenciál v homogenním a anizotropním prostředí

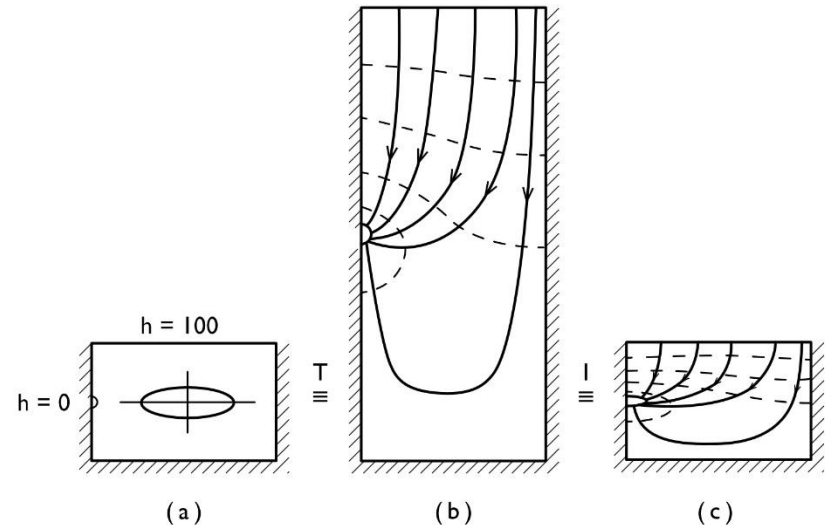
Transformace měřítka regionu proudění podél os X nebo Z (předpoklad uniformního rozložení anizotropie):

$$X = \frac{x\sqrt{K_z}}{\sqrt{K_x}}$$

$$Z = \frac{z\sqrt{K_x}}{\sqrt{K_z}}$$



Elipsa hydraulické vodivosti pro anizotropní prostředí s  $K_x/K_z = 5$ . Kružnice reprezentují dvě možné izotropní transformace



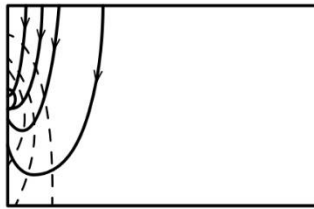
a) proudění v homogenním anizotropním prostředí s  $\sqrt{K_x}/\sqrt{K_y}=4$ , b) proudová síť v úseku transformovaném na izotropní prostředí, c) proudová síť v původním (inverzním) anizotropním prostředí

Nesoulad mezi směry anizotropie a směrem proudění:

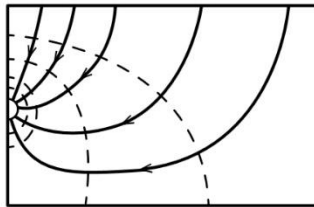
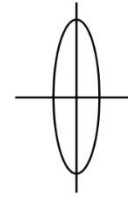
➔ Před transformací měřítka natočit region proudění podél jedné z os anizotropie, po transformaci opět vrátit do původní orientace

# Pravidla tvorby ekvipotenciál v homogenním a anizotropním prostředí

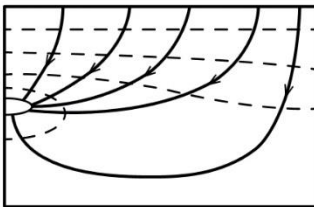
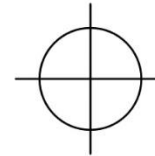
Vliv anizotropie na proudění podzemních vod



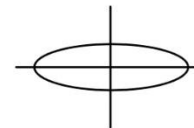
(a)



(b)



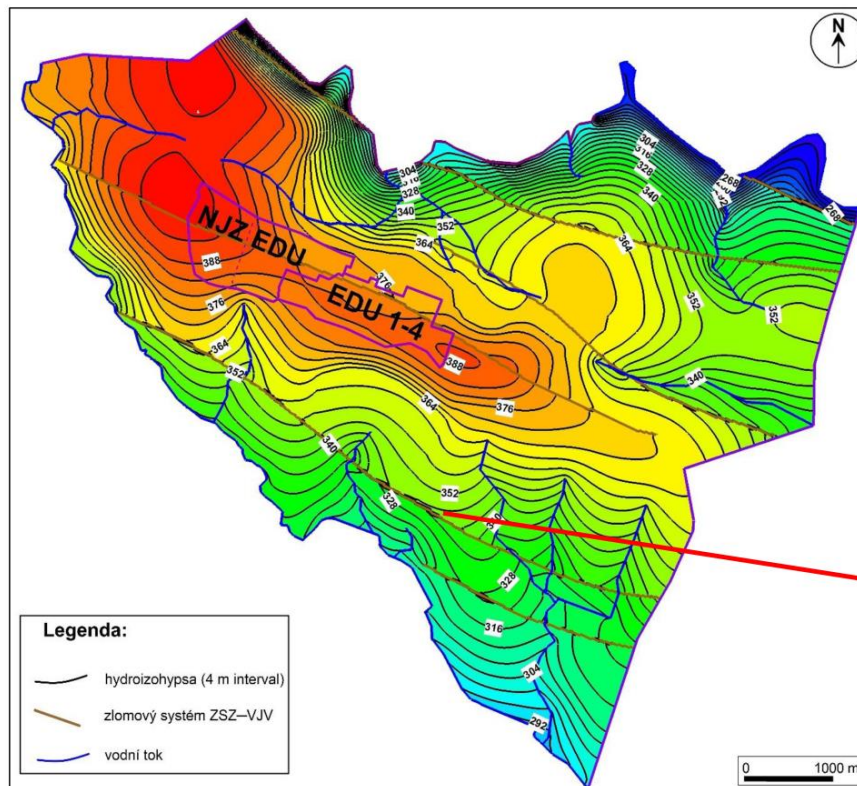
(c)



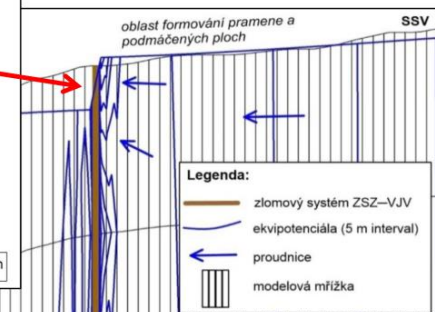
Proudová síť pro  $\sqrt{K_x}/\sqrt{K_z} =$  a) 1.4; b) 1; c) 4  
(podle Maaslanda, 1957)

# Výskyt a hodnoty anizotropie

- závislost na geologické stavbě
- běžná je vertikální anizotropie – nižší hydraulická vodivost ve směru Z, např. fluviální prostředí – protažení klastů ve směru proudící vody, „snazší“ proudění podél jejich protažení tedy v horizontálním směru
- běžné hodnoty vertikální anizotropie jsou  $K_x/K_z = 3$  až  $10$
- horizontální anizotropie  $K_x/K_y$  – např. v puklinovém prostředí - vyšší  $K$  podél určitého směru puklin



- Tvary horninových těles
- Zlomový systém ZSZ-VJV
- Anizotropie hydraulické vodivosti



# Pravidla měření hladiny vod

## Měření hladiny podzemních vod

Vrty, studny – ověřit nečerpají-li se, popř. je-li vydatnost odběru podzemních vod dlouhodobě stabilní

Trvání jedné etapy měření - měření více objektů v co nejkratším časovém intervalu (kolísání hladin)

Režimní měření – několik etap měření v průběhu roku – rozložit tak, aby byly zachyceny vysoké stavy hladin (březen, duben) i nízké stavy hladin (srpen, září)

## Měření hladiny povrchových vod

Pro konstrukci mapy hydroizohyps nezbytné zaměřit také hladinu povrchových vod (potoky, řeky, drenážní rýhy).

Jezy, splavy – zaměřit hladinu nad a pod vodním stupněm

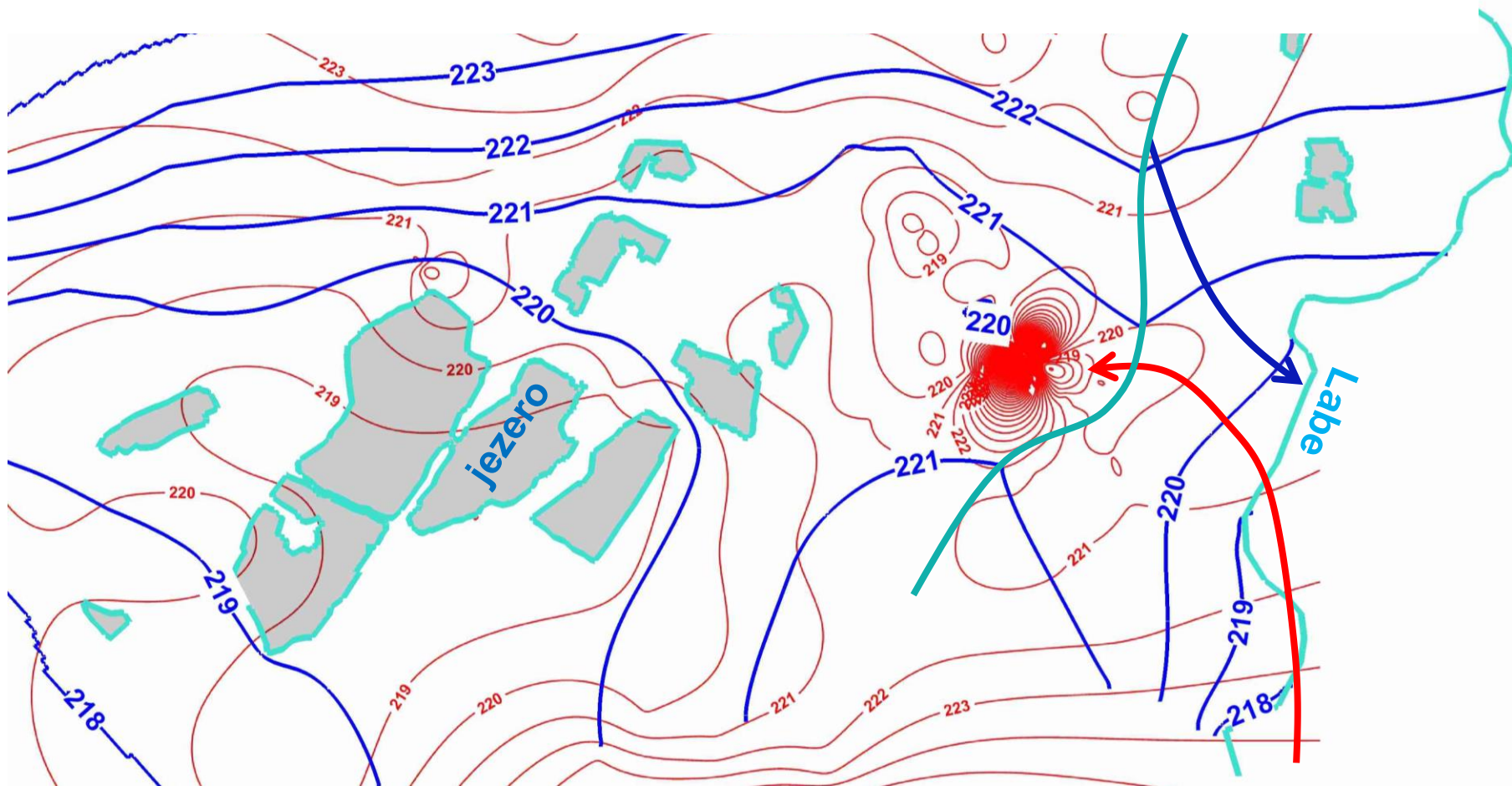
Je nutné ověřit, jsou-li povrchové vody v hydraulické spojitosti s podzemními vodami (změna průtoku mezi dvěma body jeho měření, charakter hydrogramu → shodný sklon recesních větví, log. měřítko).





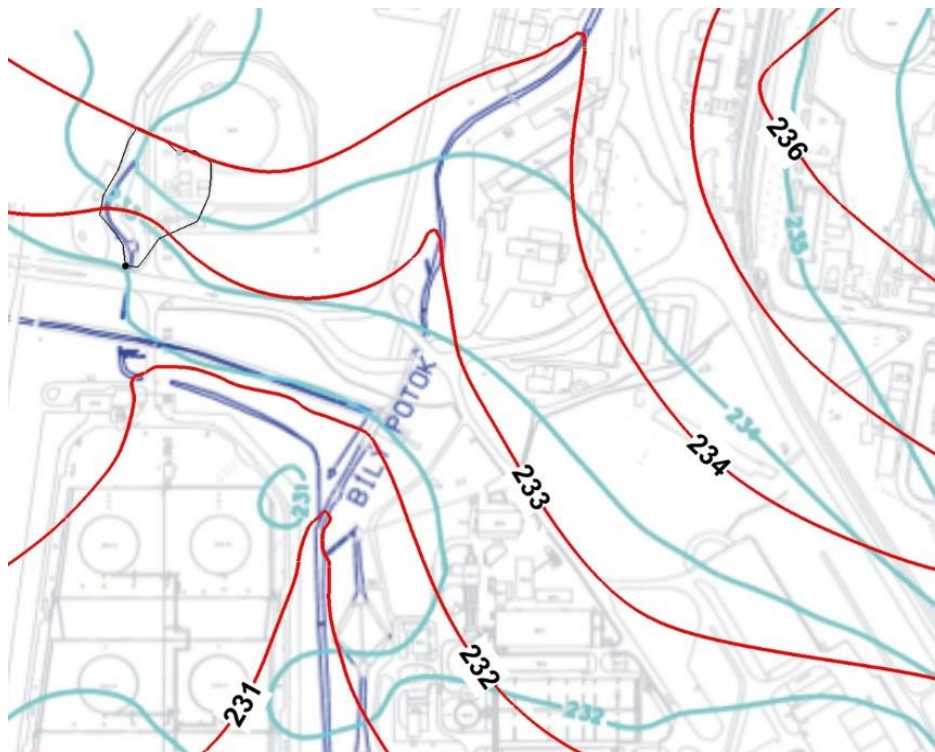
# Interpretace naměřených hladin

- automatická interpolace (např. Surfer, GIS): viz. obrázek (obr. - červené křivky)
- ruční kreslení hydroizohyps (výkres nebo grafický program)
- numerické modelování proudění
- nezbytná interpretace vztahu mezi povrchovými a podzemními vodami (obr. - modré křivky), či proměnlivosti transmisivity, anizotropie.....



# Interpretace naměřených hladin

- automatická interpolace (např. Surfer, GIS): viz. obrázek (obr. - červené křivky)
- ruční kreslení hydroizohyps (výkres nebo grafický program)
- numerické modelování proudění
- nezbytná interpretace vztahu mezi povrchovými a podzemními vodami (obr. - modré křivky), či proměnlivosti transmisivity, anizotropie.....





# Odměrný bod

- výškově stálý bod, od kterého je měřena hloubka hladiny podzemní či povrchové vody
- okraj vrtu, studny (je-li skruž či zhlaví vrtu ukloněné tak OB vyznačit sprejem)
- v případě poklopu na vrtu – poklop odložit, poklop na studni posunout (opět vrátit!)
- od OB bodu měřit i během dalších etap měření
- popsat OB do terénního deníku



# Zaměření odměrného bodu

## Polohové souřadnice:

GPS, detailní mapový podklad

## Nadmořská výška všech hydrogeologických objektů – tachymetrie, nivelace

**Tachymetrie** – zaměření polohy a výšky bodu

zaznamenává se horizontální a vertikální úhel

moderní přístroje tzv. totální stanice mají laserový dálkoměr





# Zaměření odměrného bodu

## Polohové souřadnice:

GPS, detailní mapový podklad

## Nadmořská výška všech hydrogeologických objektů – nivelace

**Geografická nivelace** – určuje převýšení mezi body: nivelační přístroj + nivelační lať (+ výchozí nivelační bod k určení absolutní nadmořské výšky, česká státní nivelační síť - <http://bodovapole.cuzk.cz>)



čepová značka (ve stěně)



hřebová značka (na zemi)

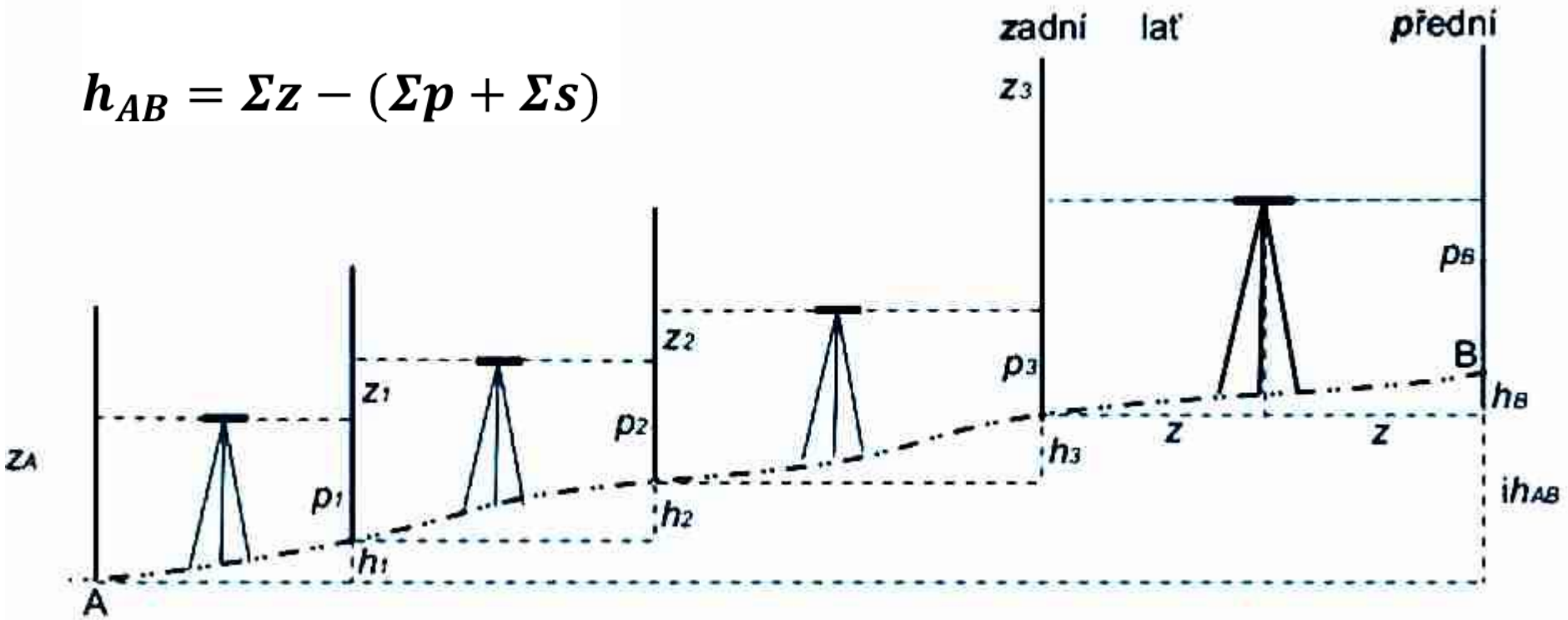


# Výšková nivelace

- 1) vyhledat výchozí nivelační bod
- 2) první měření je tzv. **čtení vzad (z)**
- 3) další měření směrem k cílovému bodu, který chceme zaměřit je tzv. **čtení vpřed (p)**
- 4) pokud při hlavní trase nivelujeme také okolní body jde o tzv. **čtení stranou (s)**
- 5) Výsledná výška bodu je dána rozdílem sumy čtení vzad a sumy čtení vpřed

$$h_{AB} = \Sigma z - \Sigma p$$

$$h_{AB} = \Sigma z - (\Sigma p + \Sigma s)$$



# Výšková nivelace

výpočet výšky *konečného* niveláčního bodu

Zápisník pro nivelaci

niveláční bod [m n. m.]	čtení na lati [mm]			nadmořská výška objektu [m]	poznámka	hloubka hladiny od odměrného bodu + datum měření [m]
	vzad	vpřed	stranou			
	+	-	-			
501.205	808					
		250				
	1235					
			2685	500.313		DR St1
		303				
	2719					
			110	505.304		DR SKL2
			430	504.984		DR SKL1
		1118				
	2900					
		800		=B5+((C5+C7+C10+C14)-(D6+D9+D13+D15))/1000		HV2

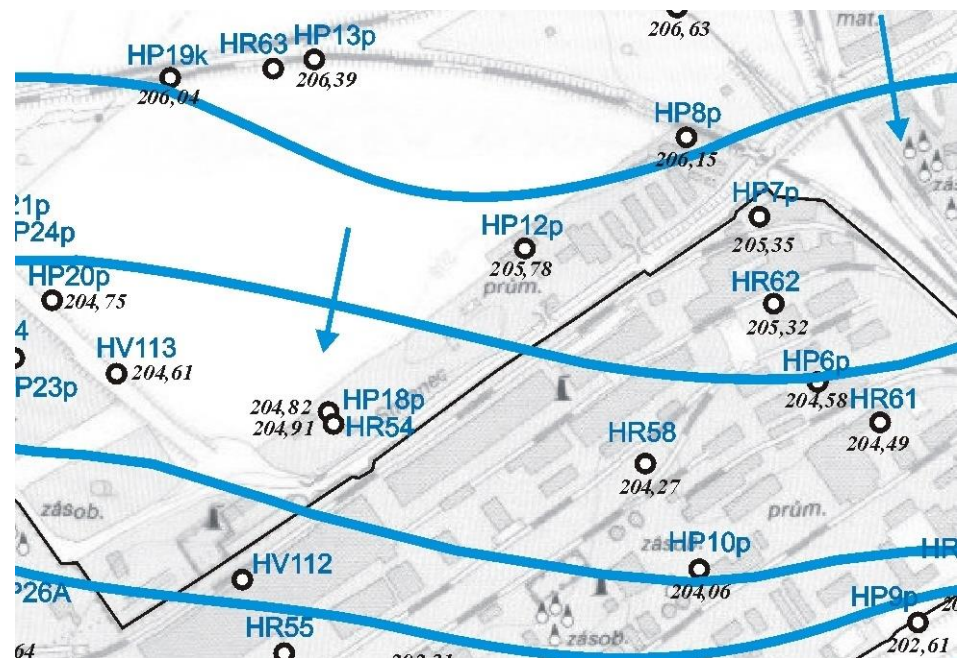
Zápisník pro nivelaci

niveláční bod [m n. m.]	čtení na lati [mm]			nadmořská výška objektu [m]	poznámka	hloubka hladiny od odměrného bodu + datum měření [m]
	vzad	vpřed	stranou			
	+	-	-			
501.205	808					
		250				
	1235					
			2685	500.313		DR St1
		303				
	2719					
			110	=B5+((C5+C7+C10)-(D6+D9+E11))/1000		DR SKL2
			430			DR SKL1

výpočet výšky niveláčního bodu situovaného *stranou* trasy ke konečnému niveláčnímu bodu

# Náležitosti mapy hydroizohyps (hydroizopiez)

- měřené objekty a jejich označení (vrty, studny, drenáže, povrchové toky – jezy, místa měření na vodoteči)
- hladiny vod k určitému datu
- izolinie
- směry proudění podzemních vod
- legenda



<p>Diplomová práce</p>		
<p>Ochrana prameniště Troubky před znečištěním z chemického závodu PRECHEZA</p>		
<p>Mapa hydroizohyps a směrů proudění podzemních vod ze dne 23. 4. 2003</p>	<p>Měřítko 1 : 10 000</p>	
<p>Mapa hydrogeologických objektů</p>	<p>Příloha č. 1</p>	