

Program: „Kvalifikovaný stavitel koupacích jezírek“



Hydrogeologie a hydrogeologické metody v GT průzkumu



Typy p. v.

- Podzemní voda se v horninovém prostředí může vyskytovat jako **volná** nebo jako **vázaná** v minerálech
- **Volná voda** pak může mít dvojí charakter:
 - **kapilární voda** je ovládána kapilárními silami v pórech malých rozměrů (pod 0,003 mm) a za normálního atmosférického tlaku není zpravidla v pohybu
 - **gravitační voda** se nachází ve větších pórech, mezerách a dutinách (průlinách) a působením gravitace proudí ve směru hydraulického gradientu

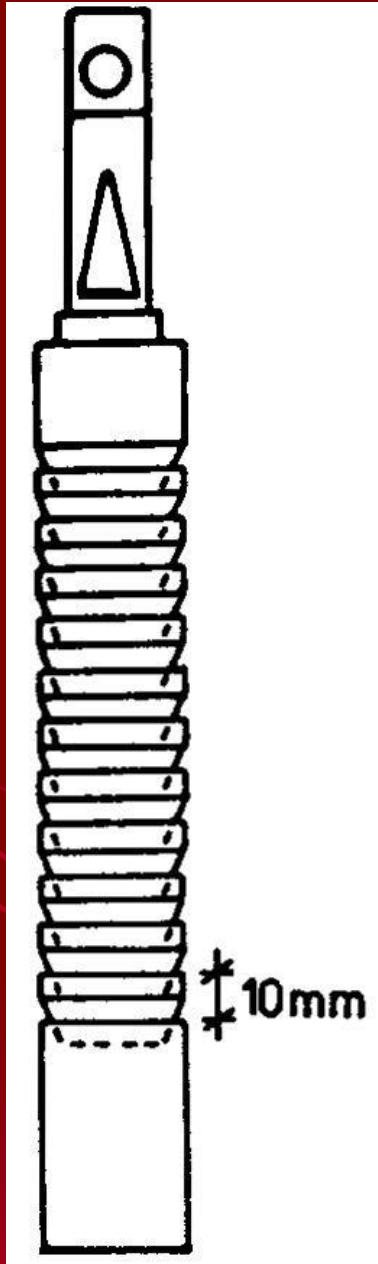
- ❑ P. v. je mimořádně závažným faktorem geologického prostředí. Pokud se p. v. (čl. 20 bývalé ČSN 73 1001/1988) nepříznivě uplatňuje při návrhu a komplikuje postup zakládání je to důvod pro určení **složitých základových poměrů**. Naopak **jednoduché základové poměry** jsou zde dány tím, že p. v. neovlivňuje uspořádání a návrh konstrukce
- ❑ V průzkumném díle je vždy nutné podle ČSN EN 1997-2 (73 1000)/2010 dokumentovat **h. p. v. naraženou (navrtanou) a ustálenou**. Sleduje se i kolísání h. p. v. Pokud není p. v. zastižena, je nezbytné tuto skutečnost výslovně zaznamenat
- ❑ Podle tlaku na úrovni h. p. v. může být:
 - **Hladina volná** (tlak na hladině p. v. je roven tlaku atmosférickému)
 - **Hladina napjatá - artéská** (tlak na hladině p. v. je vyšší než tlak atmosférický a voda po naražení vystoupá). Úroveň do které h. v. vystoupí se označuje jako **piezometrická (= výtlačná) výška**

Měření hladiny podzemní vody (h. p. v.)

- ❑ Je nedílnou součástí GT průzkumu
- ❑ První zjištění p. v. = **hladina naražená (navrtaná)**; k ní se měří po 24 [48] hodinách h. p. v. **ustálená**
- ❑ Není-li p. v. zastižena, je nutné to výslovně zaznamenat! = „**h. p. v. nebyla zastižena**“
- ❑ Hloubka v m, obvykle od terénu příp. od okraje (zhlaví) pažnice nebo roubení studny. Absolutní kóta h. p. v. se upraví podle nivelačního zaměření terénu
- ❑ Měření dříve: **vodoměrnou píšťalkou** na pásmu
- ❑ V současnosti: převážně bateriovými elektrokontaktními **hladinoměry**. Kovová sonda na vodivém pásmu; ve vodě => propojení okruhu = rozsvícení signálky, rozeznění bzučáku příp. vychýlení ručičky měřícího přístroje. Sonda hladinoměru může být i teploměrná

Měření h. p. v.

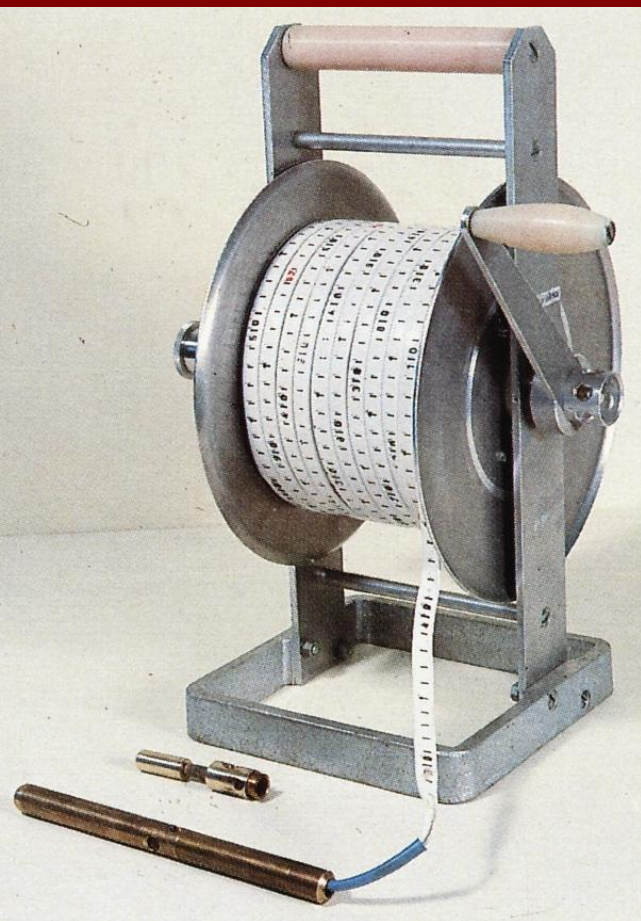
- Měření dřívě:
vodoměrnou
píšťalkou na
pásmu



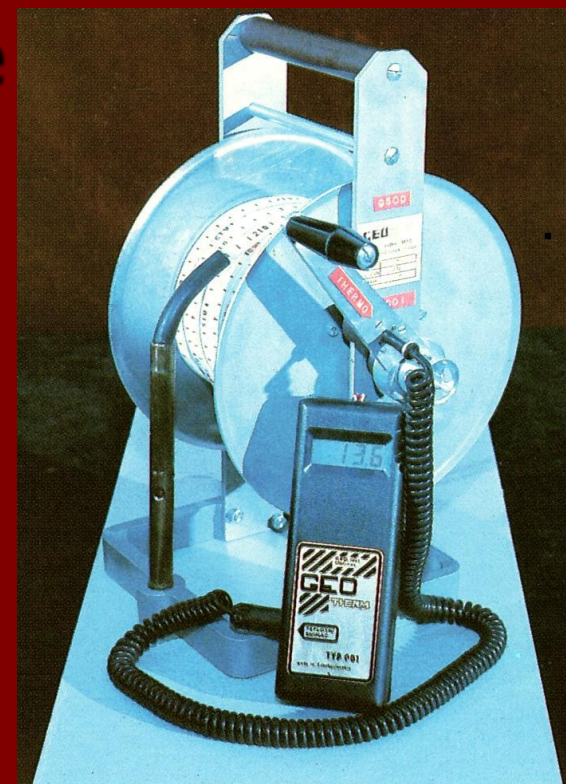
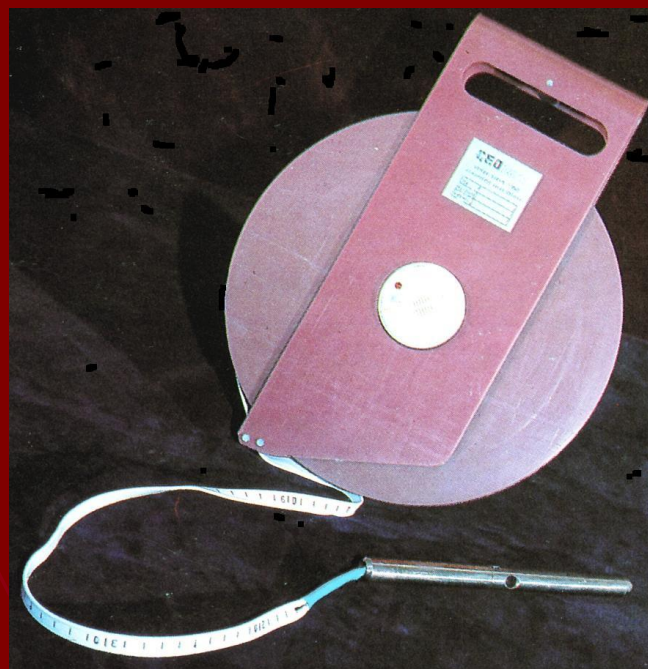
Měření h. p. v.

- ❑ V současnosti: bateriovými elektrokontaktními **hladinoměry**
- ❑ Sonda hladinoměru může být i teploměrná

Elektrokontaktní hladinoměr s teploměrem GEOtherm



Elektrokontaktní hladinoměry G100 a G10



- ❑ Při mělké h. p. v. může k zaměření hladiny postačit i skládací metr
- ❑ Má-li se zaměřit hladina artéské vody, musí být pažnice vytažena nad terénem. Měříme pak výšku vystoupané hladiny. Při vyšších artéských tlacích je pažnice uzavřena a opatřena manometrem pro změření hydrostatického tlaku

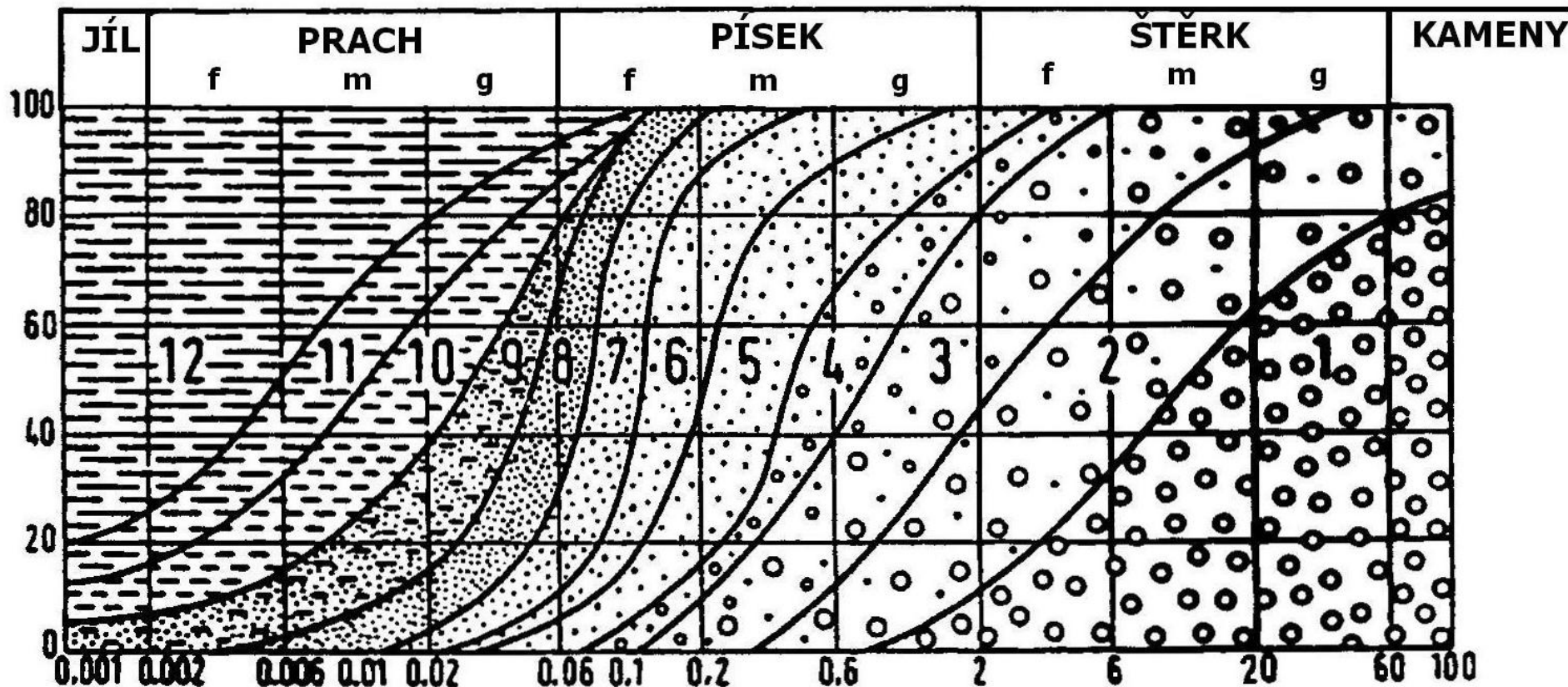
Propustnost

- ❑ Základní GT kritérium pro HG posouzení horninového prostředí. Její stanovení je jedním z úkolů GT průzkumu a základním úkolem HG průzkumu
- ❑ **Hydrofyzikální vlastnost** = schopnost propouštět vodu. Typy propustností horninového prostředí:
 - P. **průlinová**
 - P. **puklinová**
 - P. **kavernózní, krasová, smíšená**
- ❑ Z pohledu propustnosti lze v geologickém prostředí vyčlenit:
 - **Hydrogeologický kolektor** (prostředí v němž se voda snadno šíří a shromažďuje). Vodní těleso vyplňující kolektor = **zvodeň**
 - **Hydrogeologický poloizolátor** (prostředí kterým přitéká voda)
 - **Hydrogeologický izolátor** (prostředí nepropustné)

Stanovení koeficientu filtrace/propustnosti (hydraulické vodivosti)

- ❑ a) Přibližně u zemin **odečtem z křivky zrnitosti** nebo **empirickými vzorci**
- ❑ b) V laboratoři na vzorcích zemin a hornin, obvykle **v propustoměrech** (s konstantním či proměnným spádem)
- ❑ c) V terénu (in situ) **čerpací zkouškou**
- ❑ d) V terénu **nálevovou** nebo **vsakovací zkouškou**, případně **zkouškami indikátorovými**
- ❑ e) V terénu (skalní a/nebo poloskalní horniny) **Vodní Tlakovou Zkouškou** (VTZ)
- ❑ f) V terénu (průlinové horniny) **presiopermeametrem**

a) Odečtem z křivky zrnitosti zeminy



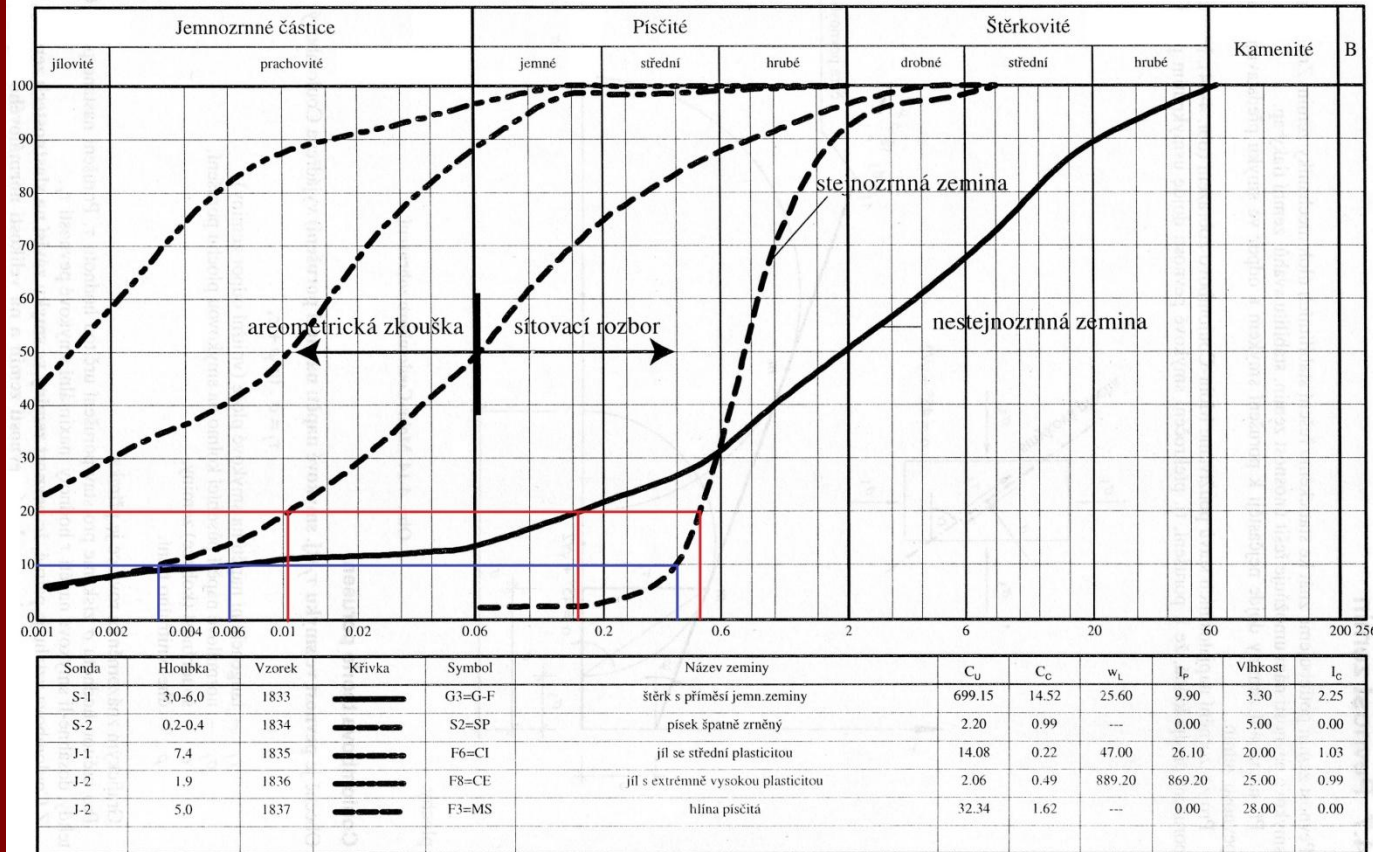
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$< 1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$

Vztah mezi propustností a zrnitostí zemín

k [m/s]

KŘIVKY ZRNITOSTI ZEMINY

Název akce: BO - Kamenná čtvrť



a) Z křivky zrnitosti zeminy pomocí empirických vzorců

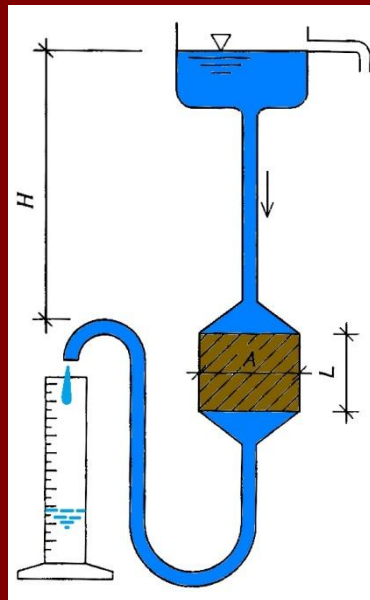
Podle Talbota

d_{20} [mm]	k [m.s ⁻¹]	d_{20} [mm]	k [m.s ⁻¹]
0,005	$0,03 \cdot 10^{-6}$	0,10 až 0,20	$(1,8 \text{ až } 9,0) \cdot 10^{-5}$
0,01	$0,1 \cdot 10^{-6}$	0,20 až 0,40	$(1,0 \text{ až } 4,5) \cdot 10^{-5}$
0,02	$0,4 \cdot 10^{-6}$	0,40 až 0,60	$(4,5 \text{ až } 11,0) \cdot 10^{-5}$
0,03 až 0,05	$(0,9 \text{ až } 2,8) \cdot 10^{-6}$	0,60 až 0,80	$(1,1 \text{ až } 2,2) \cdot 10^{-5}$
0,06 až 0,1	$(4,5 \text{ až } 18,0) \cdot 10^{-6}$	0,80 až 1,0	$(2,2 \text{ až } 3,7) \cdot 10^{-5}$

Podle Hazena $k = 116 \cdot d_{10}^2$

b) V laboratorních propustoměrech

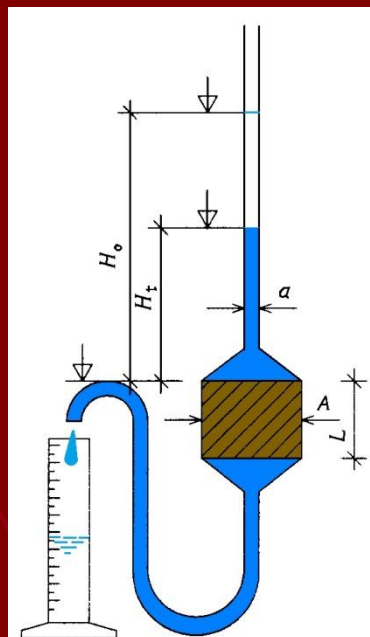
□ Propustoměr s
konstantním
(hydraulickým)
spádem



$$k = \frac{V_w \cdot L}{A \cdot H \cdot t} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$$

- V_w – objem prosáklé vody [m³]
- L – výška zkušební vzorku před zkouškou [m]
- A – průřezová plocha zkušební vzorku [m²]
- H – rozdíl tlakových výšek hladin [m]
- t – časový interval měření [s]

□ Propustoměr s
proměnným
(hydraulickým)
spádem

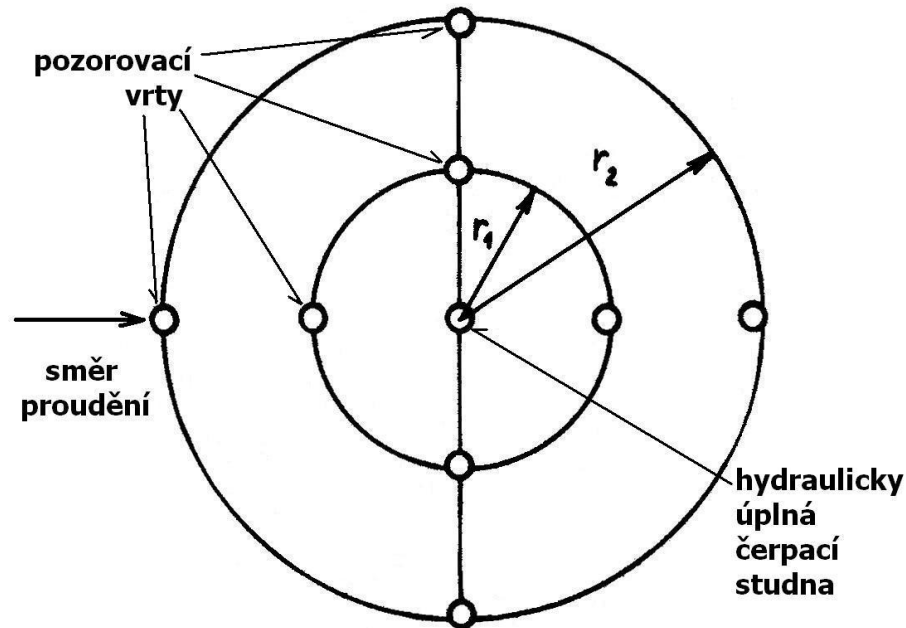
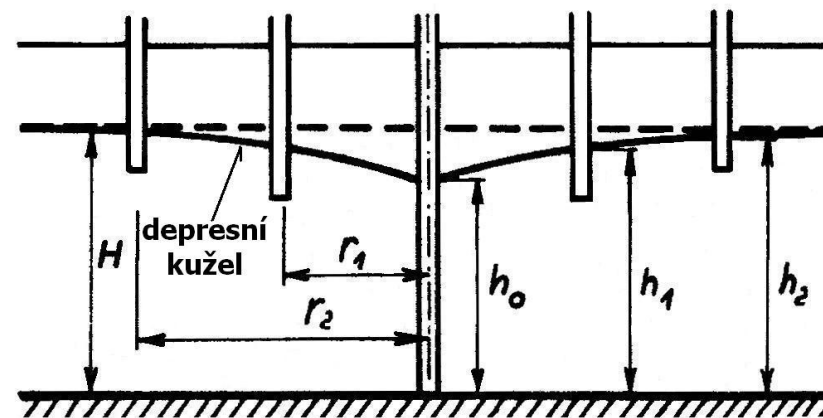


$$k = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \ln \frac{H_o}{H_1} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$$

- a – je vnitřní průřezová plocha měřicí trubice [m²]
- A – průřezová plocha zkušební vzorku v [m²]
- H_o – je počáteční rozdíl tlakových výšek hladin v čase $t = 0$ [m]
- H_1 – rozdíl tlakových výšek hladin v čase $t = t_1$ [m]
- L – výška zkušební vzorku před zkouškou [m]
- t – časový interval měření [s]

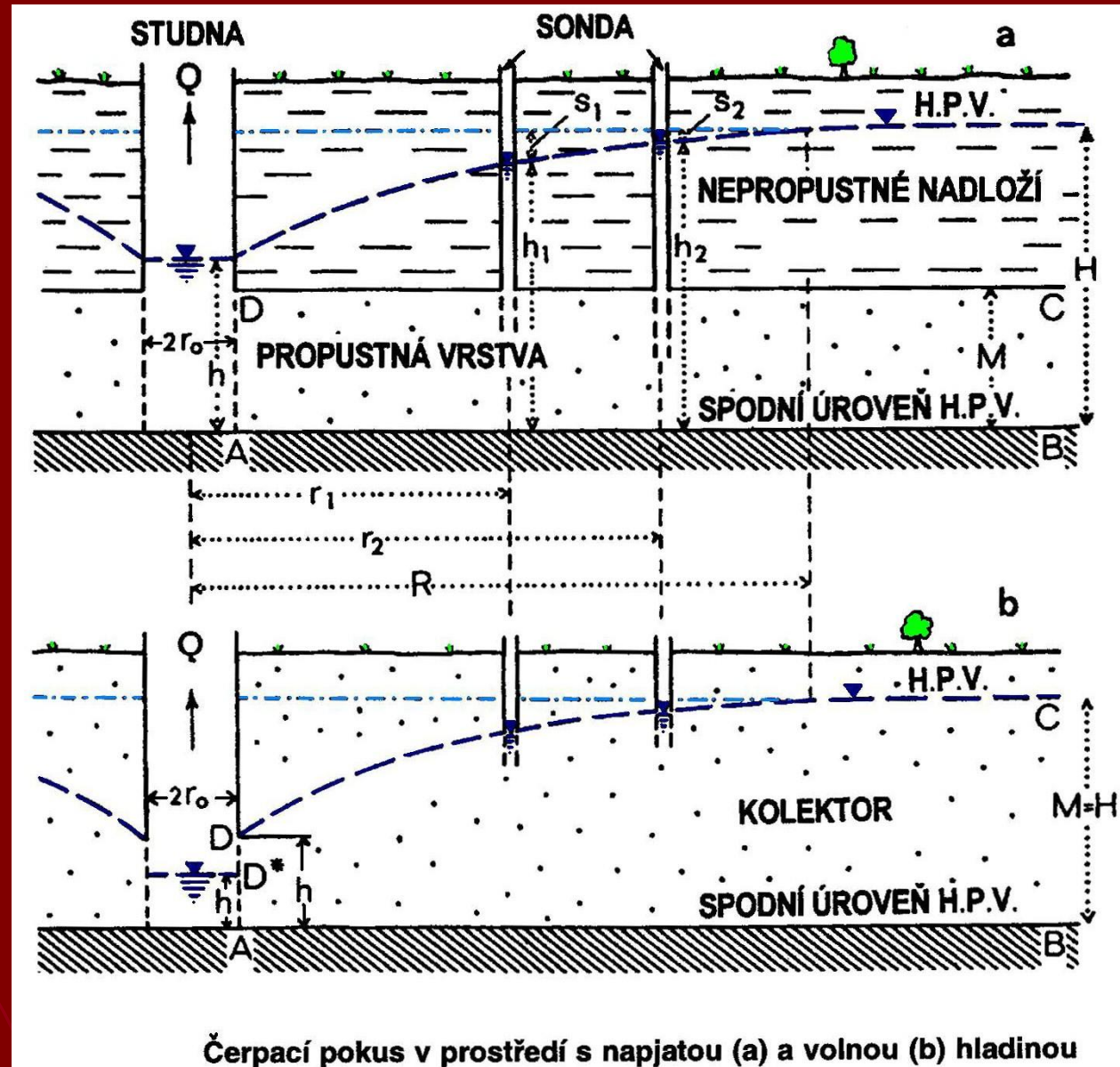
- ❑ **Polní stanovení.** Voda se čerpá ze studny (vrtu) => informace o vydatnosti čerpacího objektu, o parametrech testovaného kolektoru a zvodně a možném účinku odběru vody na okolí
- ❑ Vychází se z **ustáleného proudění** (množství vody přitékající = množství vody čerpané). Při ustáleném proudění se vytvoří v h. p. v. **depresní kužel** – ve svislém řezu **depresní křivka**
- ❑ Řádně vystrojená **čerpací studna** (Ø 150 ÷ 400 mm), **hydraulicky úplná dokonalá** (kruhový Ø, až na nepropustné podloží)
- ❑ Depresní křivka se měří v **pozorovacích vrtech** na **hydraulickém kříži**

c) Čerpací zkouška



□ Napjatá (artéská)
zvodeň:

$$k = \frac{Q \log \frac{r_2}{r_1}}{\pi 2M (h_2 - h_1)}$$

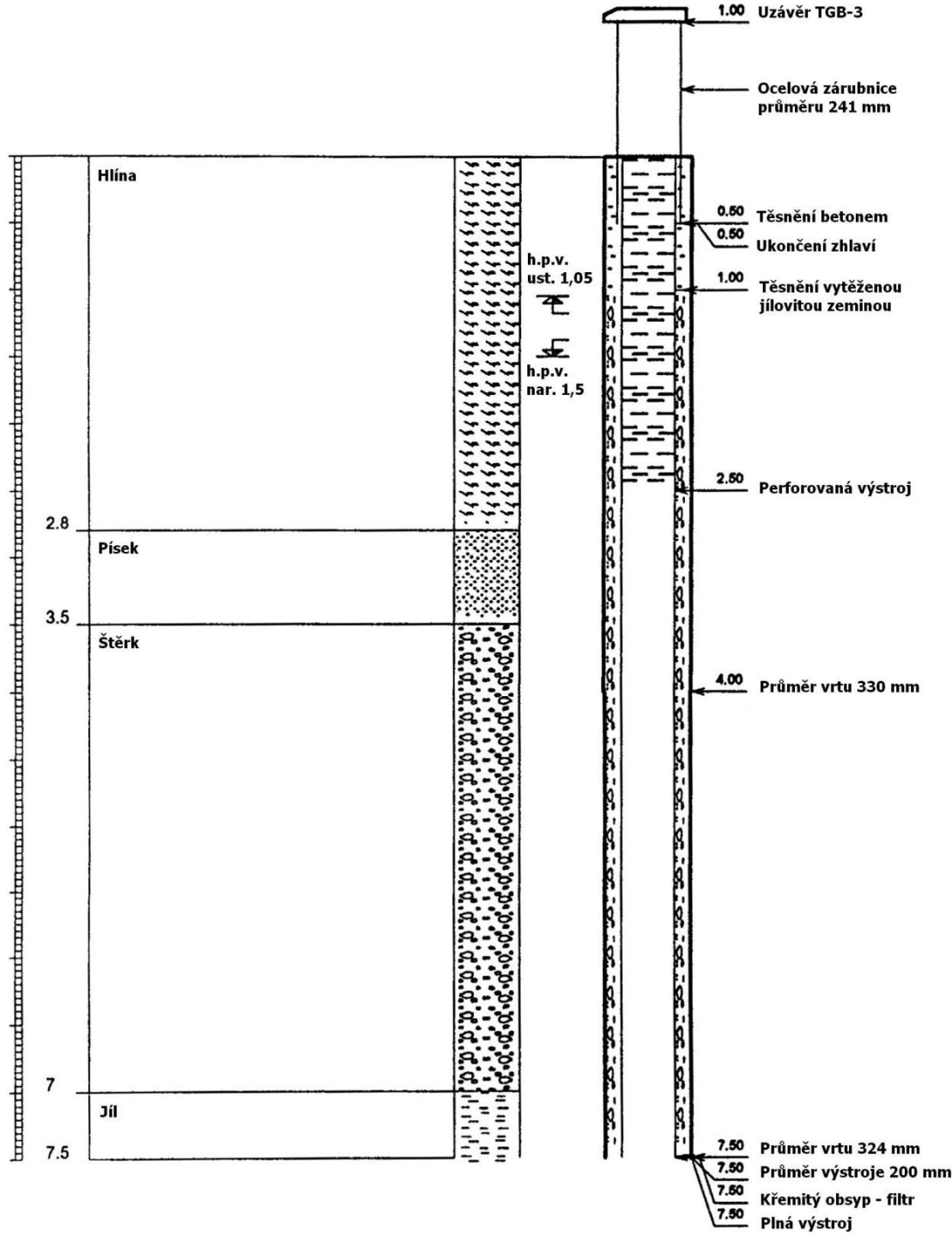


Čerpací pokus v prostředí s napjatou (a) a volnou (b) hladinou

Vystrojování hydrovrtů (studní)

- ❑ **Studny** = standardní prostředek HG průzkumu a jímání p. v.
- ❑ Podle účelu **studny: průzkumné, jímací, pozorovací a odvodňovací**. Musí být vhodně vybaveny
- ❑ Výstroj HG vrtu = vnitřní kolona – tzv. **zárubnice**, nad a pod **zvodní** (= **kolektorem, vodonosnou vrstvou**) **plná**; ve zvodni **s otvory (filtry)**, umožňujícími vtékání vody
- ❑ Minimální vnitřní Ø odpovídá ponornému čerpadlu příp. sacímu koši
- ❑ Proti vnikání jemného kalu je zárubnice chráněna filtračním obsypem **kačírku** (prvotřídní přírodní praný křemitý štěrčík frakce 4/8÷8/16) nebo ovinutím jemnou plastovou síťovinou (geotextilií) i speciální filtry
- ❑ Zárubnice černé (pažnice); v úseku filtrů svrtávané nebo s podélnými či příčnými otvory. Kvůli korozi však dnes plastové, mimořádně (minerální vody etc.) i nerezové
- ❑ **Zhlaví studny** = plná zárubnice vytažená nad terén s uzamykatelným **uzávěrem** a obetonováním vyspádovaným od osy hydrovrtu. V případě nebezpečí výronu plynů (z podloží, z vody) musí být uzavěry plynotěsné!

Schéma standardního vystrojení jednoduchého hydrovrtu - studny



VRTANÁ STUDNA S ÚPRAVOU ZHLAVÍ

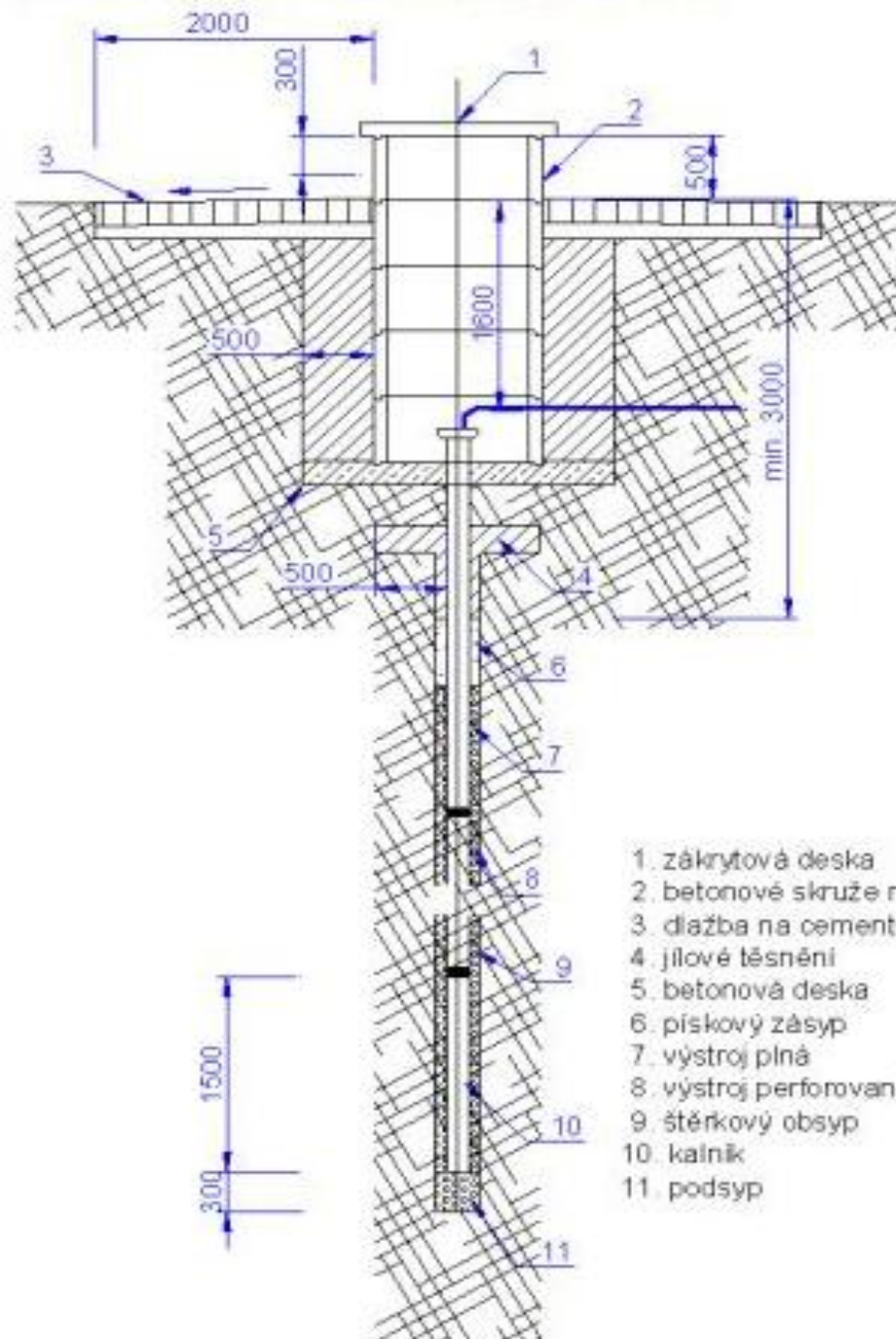
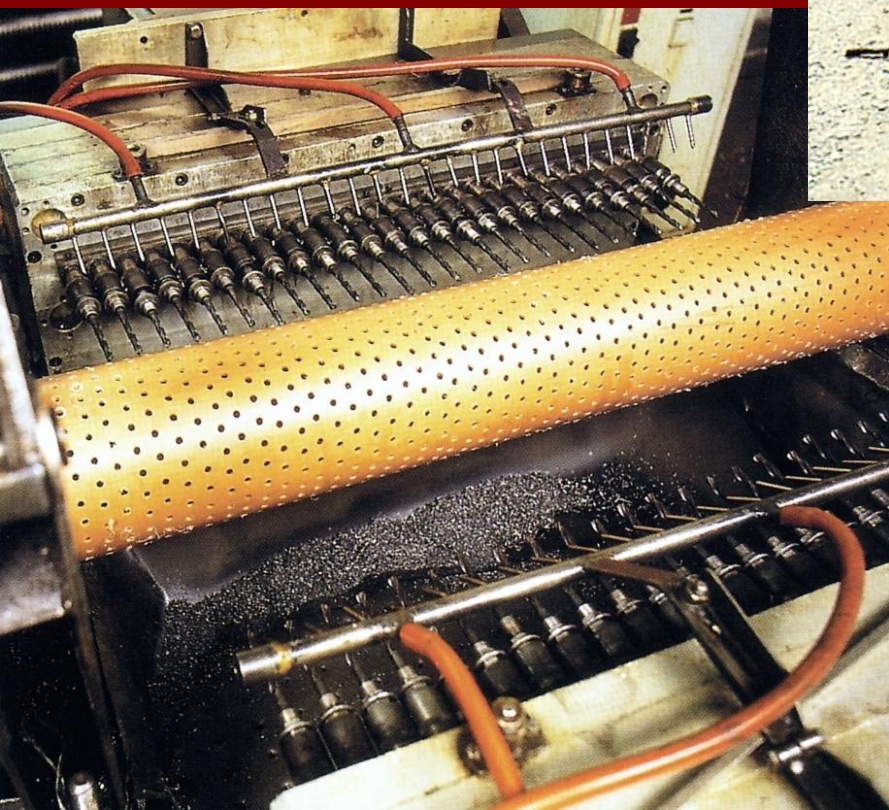


Schéma náročného provedení vrtané studny s úpravou zhlaví v šachtici

Prořezávané šterbinové zárubnice

Svrtávání plastové zárubnice



Plynotěsný uzávěr zhlaví



d) Nálevková (vsakovací) zkouška

- ❑ Jednodušší a rychlejší než zkouška čerpací, výrazně nižší přesnost
- ❑ Jde o postupné hloubení vrtu s pažnicí, nalévání vody a měření jejího vsáklého množství (objemem, výškou sloupce). Voda vsakuje buď pouze dnem nebo dnem i stěnou vrtu
- ❑ Vsakovací zkouška může být realizovaná i na povrchu
- ❑ Velmi přibližně lze koeficient propustnosti stanovit podle



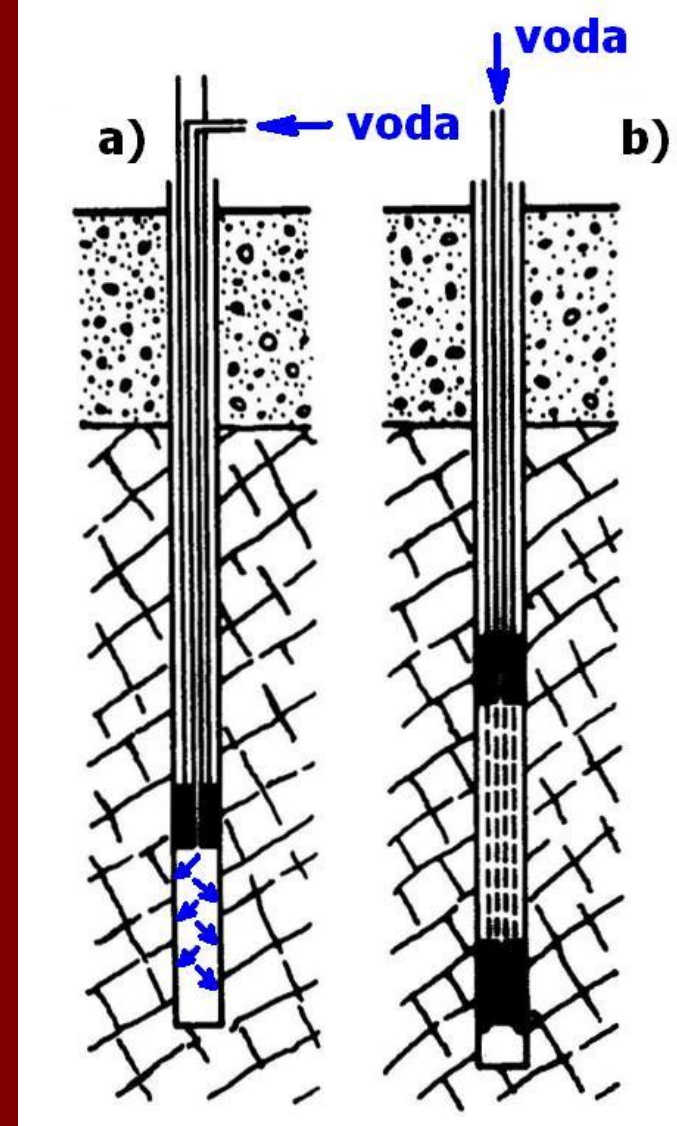
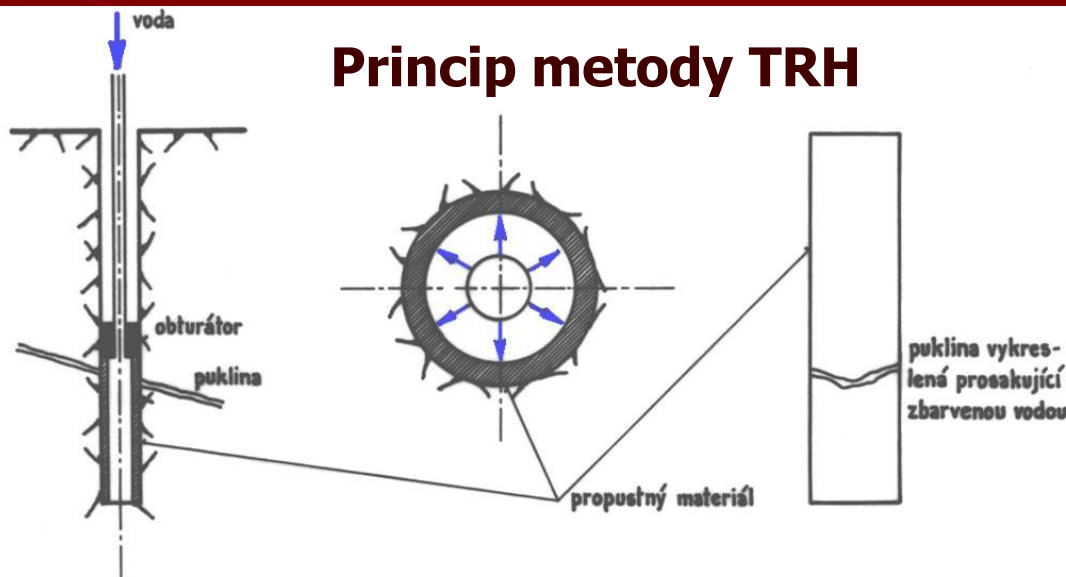
$$k = \frac{h}{t}$$

Indikátorové zkoušky

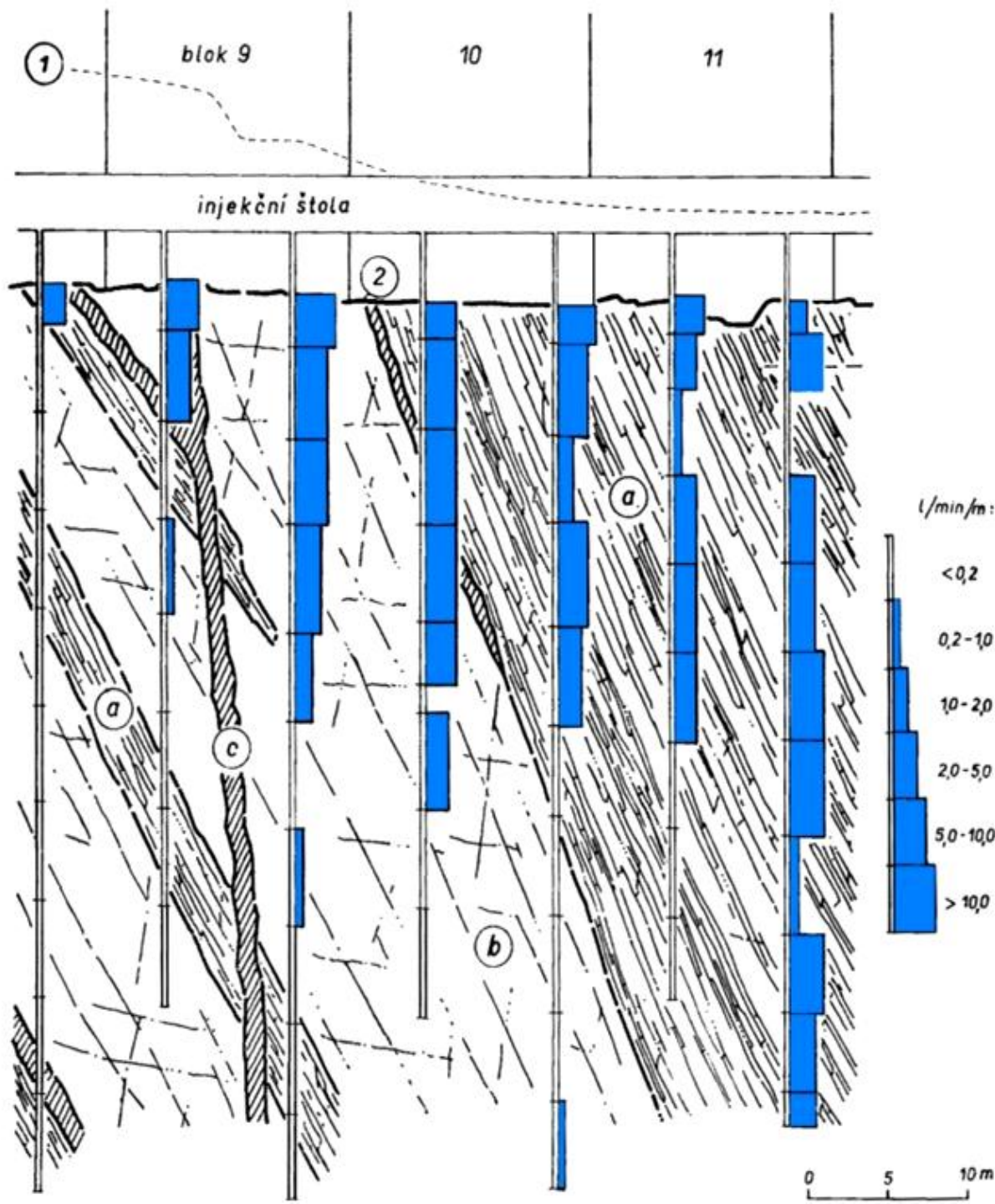
- ❑ Používají se ke stanovení **směru a rychlosti proudění**, bez čerpání
- ❑ Do studny či pozorovacího vrtu se zavede indikátor (barviva, radioaktivní látky, elektrolyty [nejčastěji jednoduchý, laciný a ekologický NaCl]) a v pozorovacích vrtech po proudu se měří čas po kterém je k nim indikátor dopraven proudící vodou
- ❑ K takovýmto měřením se nejčastěji používají 3 pozorovací vrty (studny, sondy) v řadě

e) Vodní tlakové zkoušky (VTZ)

- ❑ Nejčastější polní test pro stanovení propustnosti ve skalních a poloskalních horninách
- ❑ V nezapažených vrtech s jednoduchým nebo dvojitým obturátorem, penetrováním vody do masívu vzestupným či sestupným způsobem [Lugeonova a Jähdeho kriteria]



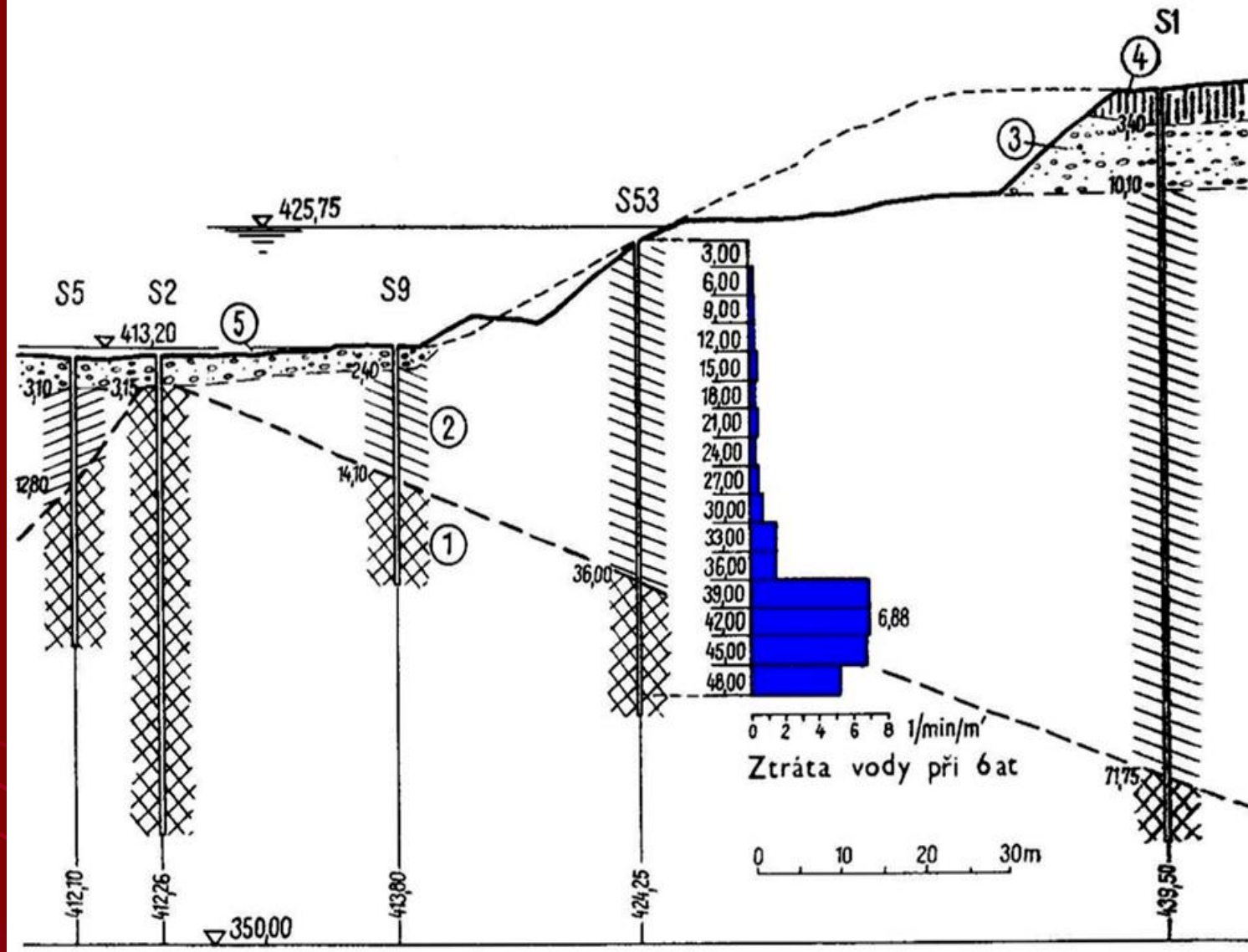
Vodní tlaková zkouška (VTZ) s jednoduchým a dvojitým obturátorem



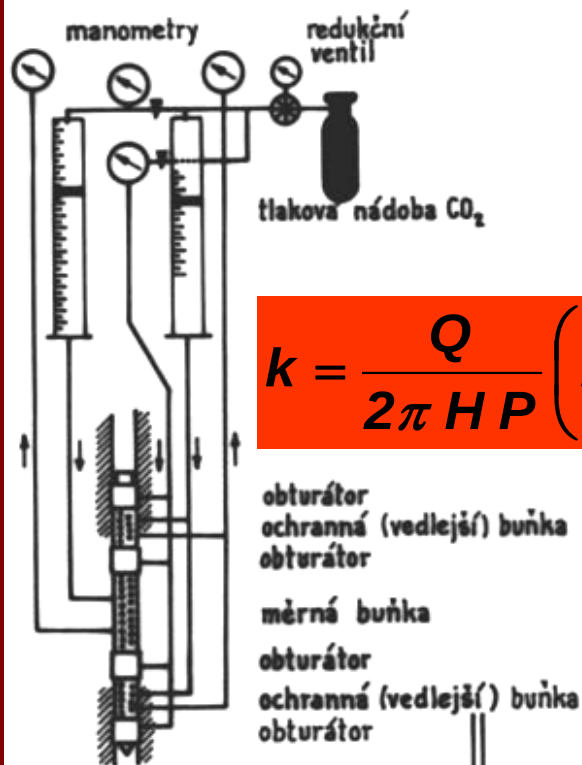
Orlická přehrada

VTZ pod
základovou
spárou

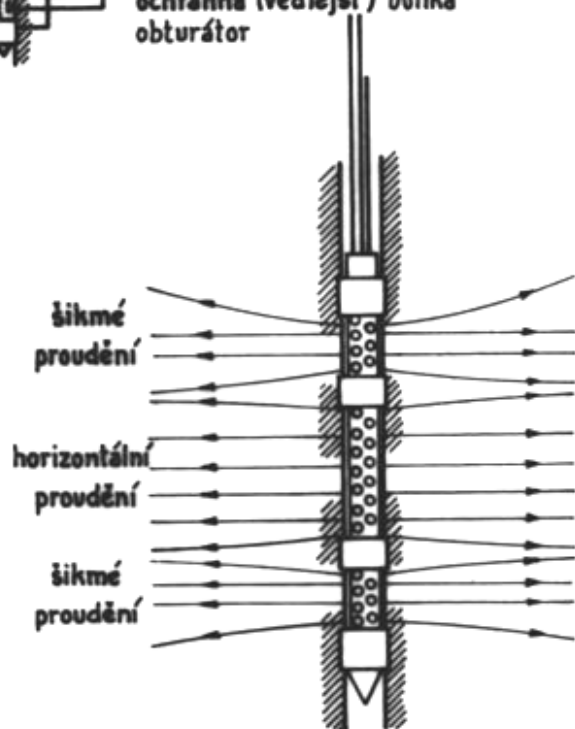
a-amfibolity
b-epidiority
c-mineta



VTZ na kontaktu dvou horninových typů (1-rozpukané triasové dolomity, 2-paleogenní nepropustné břidlice)



$$k = \frac{Q}{2\pi H P} \left(\ln \frac{H}{r} + \frac{1}{2} \right)$$

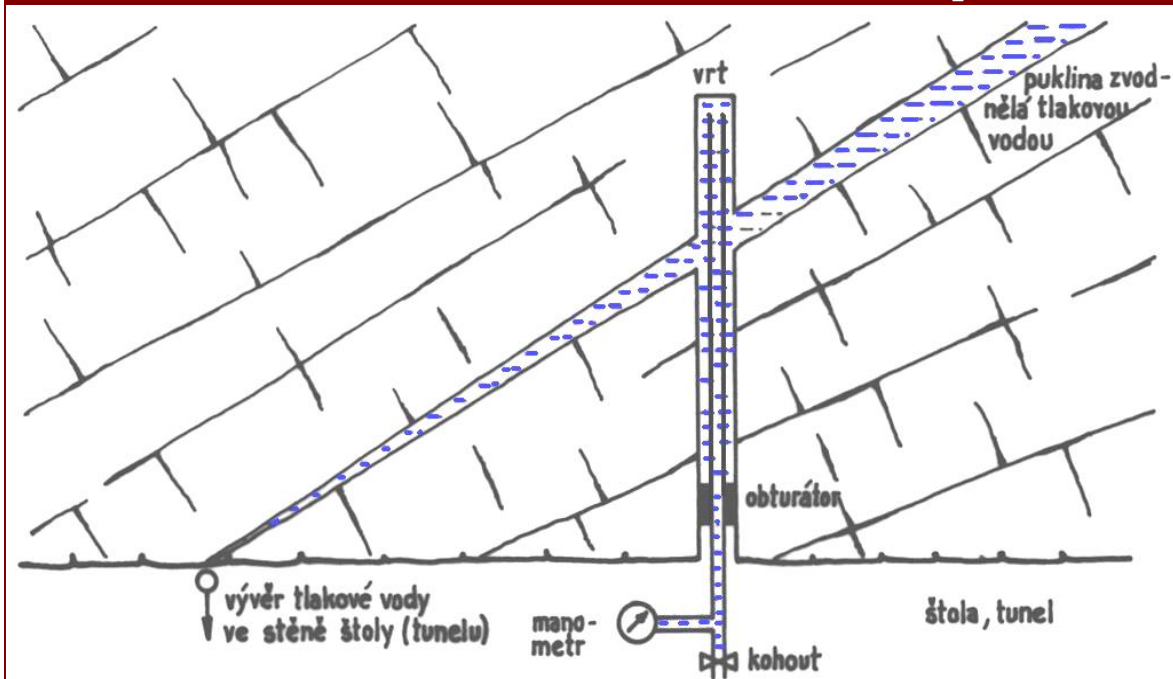


f) Presiopermeametr

fy Mènard.

Schéma zapojení přístroje,
měrná buňka (Ø 44, 60, 70
mm)

Měření tlaku p.v.



Režimní pozorování podzemních vod

- ❑ Na konkrétní lokalitě: vytvořením pozorovacích objektů [PHJ.., PHV..] s monitorováním kolísání h. p. v.. Doba pozorování musí být pro důležité stavby min. 1 rok. Odečítání h. p. v. je klasické (píšťalka, hladinoměr), u velmi významných průzkumů se zřizují automatické (limnigrafické) stanice s kontinuálním záznamem kolísání h. p. v., příp. s dálkovým přenosem dat
- ❑ Důležité je porovnání kolísání h. p. v. se srážkovými úhrny. Ty vede a poskytuje CHMÚ (www.chmi.cz)
- ❑ Území republiky je pokryto sítí trvale a dlouhodobě sledovaných pozorovacích objektů rovněž ve správě CHMÚ (pobočka Brno má ve svém referátu 221 těchto pozorovacích vrtů)
- ❑ Často bývá součástí režimního pozorování i sledování chemismu a teploty p. v.

Chemismus podzemní vody

- ❑ Je velmi významný vždy, když je p. v. zastižena a stavební (základové) konstrukce mohou být pod její hladinou
- ❑ Působení p. v. na stavební materiály může být i krajně nebezpečné
- ❑ Z pohledu stavebního jsou nejdůležitější:
 - **a) Tvrdost**
 - **b) pH (kyselost)**
 - **c) Síranová agresivita**
 - **d) Uhličitá agresivita**
- ❑ **Odběr vzorků vody** (z průzkumných děl, pramenů, studní, vodotečí) se provádí do skleněných lahví se zabroušenou zátkou nebo PE lahví se šroubovací zátkou. Odebírá se dostatečné množství vody (alespoň 2 x 1 l), s řádným označením (objekt, doba, teplota, vzorkař). Vzorky bez prodlení předat do laboratoře

a) Tvrdost p. v.

- Dána obsahem rozpuštěných solí alkalických zemin, především iontů Ca^{2+} a Mg^{2+}
- Rozlišuje se tvrdost **celková, přechodná, trvalá, uhličitá, neuhličitá**.
- Udává se v mval l^{-1} ($1 \text{ mval l}^{-1} = 20,04 \text{ mg l}^{-1} \text{ Ca}^{2+}$ nebo $12,16 \text{ mg l}^{-1} \text{ Mg}^{2+}$). V ČR se používají i stupně německé ($1^\circ \text{N} = 10 \text{ mg l}^{-1} \text{ CaO}$). Ve světě jsou používány též $^\circ$ francouzské, anglické a americké
- Podle tvrdosti máme vody:
 - **velmi měkké (= hladové)** [do $1,5 \text{ mval l}^{-1}$] – vyluhují karbonáty ze staviv - např. dešťová voda
 - **měkké** [do 3 mval l^{-1}]
 - **mírně tvrdé** [do 6 mval l^{-1}]
 - **tvrdé** [do 9 mval l^{-1}]
 - **velmi tvrdé** [nad 9 mval l^{-1}] – mohou být agresivní

b) pH p. v. (kyselost)

- ❑ Představuje zápornou hodnotu dekadického logaritmu aktivity vodíkových iontů ($pH = -\log a_{H^+}$). Destilovaná voda má při 25°C $pH = 7$, a tedy **neutrální** reakci. Prostředí s nižším pH je **kyselé**, prostředí s vyšším pH je **zásadité**. pH podzemní vody se většinou pohybuje mezi 4,5 až 8 (rašeliniště až 3,6)
- ❑ Kyselé vody s přebytkem iontů H^+ rozkládají některé minerály (např. živce) a tím snižují pevnost horniny. Stejně působí kyselé deště na stavební kámen
- ❑ Zásadité vody s přebytkem iontů OH^- zpravidla naznačují, že se voda již dostala do styku s betonem (cementem) nebo byla jinak chemicky ovlivněna

c) Síranová agresivita p. v.

- Je dána přebytkem iontů SO_4^{2-} oxidací sirníků (pyrit, pyrhotin – z uhelných slojí, z rudných ložisek, z ordovických vrstev), rozpuštěním síranů (sádrovec v neogénu a paleogénu), kontaminací srážkovými a odpadními vodami (kyselé deště, úniky z kanalizace)
- Důsledkem je tzv. „**cementový bacil**“ = portlandský slinek se mění na sádrovec či síran vápenato-hlinitý s rozpínavými účinky a beton se stráven rozbíjí na kamenivo
- Ochranou je použití hutných betonů (s vodním součinitelem $< 0,5$) a struskoportlandských či struskových cementů = tzv. **primární ochrana**, případně izolace povrchu konstrukce = tzv. **sekundární ochrana**

d) Uhličitá agresivita p. v.

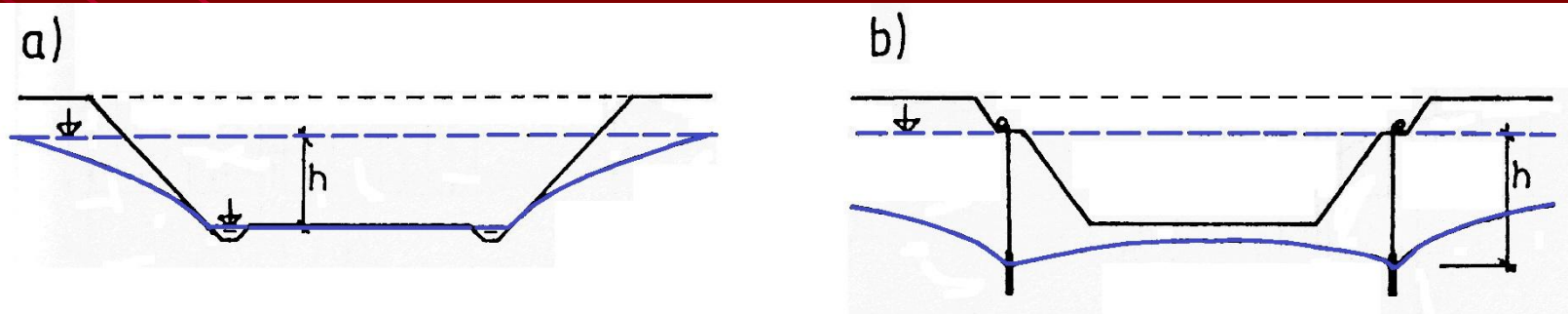
- ❑ Zvýšeným obsahem rozpuštěného CO_2 . Rozeznáváme:
 - **vody slabě uhličitě**
 - **vody středně uhličitě**
 - **vody silně uhličitě (= kyselky)**
- ❑ CO_2 je volný a rovnovážný; dále může být CO_2 agresivní na Fe nebo na CaCO_3
- ❑ Uhličitá agresivita p. v. je velmi až mimořádně nebezpečná i tím, že ochrana před ní je velmi obtížná. Používají se izolační hmoty a fólie, speciální receptury betonu, zvýšené krytí konstrukce (předimenzování). Extrémním případem je použití nerezových ocelí

Průzkum by měl vždy zvážit intenzitu a tendenci vývoje zdroje agresivity, rozložení agresivity po ploše staveniště a pohyb (proudění) agresivní vody. Jedná se o velmi obtížný úkol, ne vždy zcela splnitelný.

V případě pochyb je na místě vysoká opatrnost a skeptická prognóza vývoje!!

Odvodňování základové půdy

- ❑ Odvodňujeme proto, že potřebujeme stavět v suchu
 - **Povrchové** – levnější, vyžaduje dostatek prostoru. Voda se svádí svahovanými příkopy po obvodu do sběrných jímek a odčerpává se postupně s hloubením. Používá se u nehlubokých svahovaných jam v relativně stabilních zeminách (Š, P, poloskalní a skalní horniny) – vtékající voda snižuje stabilitu svahů!
 - **Hloubkové** – systémem čerpacích studní po obvodu jámy. Z nich se zahájí čerpání v předstihu, takže se hloubí již zcela v suchu



Odvodnění stavebních jam: a - povrchové, b - hloubkové