



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta životního  
prostředí**

## **Stanovení hydraulické vodivosti $K$ (M.T-1) terénním vsakovacím experimentem**

27.10.2012

## Stanovení hydraulické vodivosti $K$ ( $M.T^{-1}$ ) terénním vsakovacím experimentem

### Terénní vsakovací experiment - metoda plněné sondy (MPS)

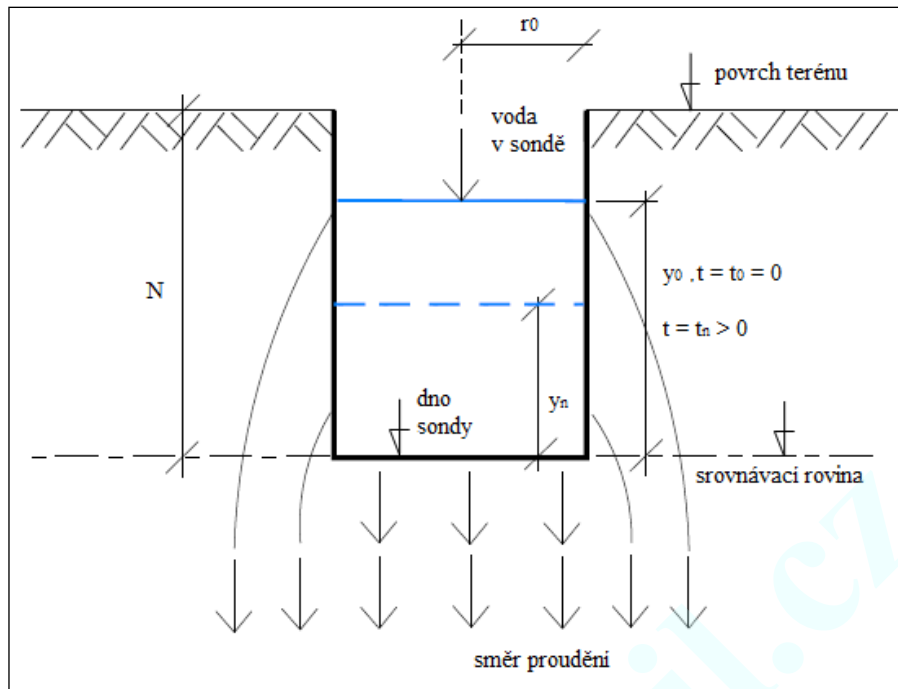
Metodu lze použít v nenasycené zóně v homogenním izotropním půdním pórovitém prostředí. Předpokládá se, že úroveň nepropustného podloží je relativně ve velkých hloubkách a neovlivní terénní experimentální měření s cílem stanovit hydraulickou vodivost  $K$  ( $M.T^{-1}$ ), kde ( $M$ ) je délková a ( $T$ ) časová jednotka. V případě vrstevnatého prostředí, je potřeba provádět terénní měření zvlášť pro danou vybranou zkoumanou vrstvu.

Metodu plněné sondy (MPS) s využitím aproximace jednotkového gradientu hydraulické výšky (jednotkového hydraulického spádu), ve francouzské literatuře nazývanou Porchetova metoda (Ritzema 2006), lze uplatňovat v případě zakleslé hladiny podpovrchové (podzemní) vody při určování hydraulické vodivosti  $K$  ( $M.T^{-1}$ ).

Rovnice popisující neustálené proudění podzemní (podpovrchové) vody v nasyceném půdním prostředí byly odvozeny ze zákonitostí mechaniky podzemní vody v pórovitém prostředí s použitím axiomu kontinua a Darcyho zákona (Darcy 1856, Todd a Mays 2005), který zároveň s rovnicí kontinuity představuje základní výchozí vztahy pro další postupy.

Princip určování  $K$  ( $M.T^{-1}$ ) je založen na měření úrovně klesající vody v sondě v čase  $t$  ( $T$ ). Po vyhloubení sondy s určitým poloměrem  $r$  ( $M$ ) a hloubkou  $N$  ( $M$ ) od úrovně povrchu terénu ke dnu sondy, se po naplnění sondy vodou zaznamenává pokles úrovně hladiny vody v sondě v čase  $t$  ( $T$ ).

Vodorovná referenční úroveň je totožná se dnem sondy, osa  $y$  ( $M$ ) je kladná směrem vzhůru. Po naplnění sondy vodou ( $t = 0$ ,  $y = y_0$ ) se měří průběžný čas a zaznamenávají se odpovídající snižování úrovní hladin vody v sondě  $y_n$  ( $M$ ) v časech  $tn$  ( $T$ )  $> 0$  (viz schéma na obr. 1). Proudění je neustálené (nestacionární), ve svislém směru shora dolů, tedy proti kladnému směru osy  $y$  ( $M$ ).



Obr.1 Schéma metody plněné sondy (MPS) pro výpočet hydraulické vodivosti  $K$  ( $M \cdot T^{-1}$ )

Stejně jako v předchozím případě, také zde se předpokládá, že změna průtoku  $Q_z$  je rovna změně objemu vody v sondě o poloměru  $r$  (M) v čase  $t$  (T). Pro vyjádření změny průtoku tedy platí vztah definovaný rovnicí (1).

$$Q_z = \pi r^2 \frac{dy}{dt} \quad (1)$$

S využitím Darcyho zákona, rovnice kontinuity a s uplatněním výše zmiňované aproximace jednotkového gradientu hydraulické výšky, tedy pro  $I = I$  (-), je možné formulovat výchozí diferenciální rovnici ve tvaru

$$\pi r^2 \frac{dy}{dt} = -(2\pi r y + \pi r^2) K \quad (2)$$

Po zavedení substituce  $Y = y + 0,5r$  a  $dY = dy$ , po integraci a po dalších úpravách dostáváme výsledný výraz pro stanovení hydraulické vodivosti  $K$  (M/T)

$$K = \left( \frac{0,5r}{tn} \right) \ln \left( \frac{y_0 + 0,5r}{y_n + 0,5r} \right) \quad (3)$$

kde  $y_0$  (M) a  $y_n$  (M) jsou naměřené úrovně hladin vody v sondě v odpovídajících časech  $t_0 = 0$  a  $t_n$  (T), viz obr.2.

Rovnici (3) je možné také vyjádřit ve tvaru

$$[y] = \left( \frac{y_0 + 0,5r}{\exp\left(\frac{K \cdot [t]}{0,5r}\right)} \right) + 0,5r \quad (3a)$$

kde symbol  $[y]$  reprezentující vektor poklesů hladin vody v sondě  $[y] = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_i, \dots, y_n)$  představuje zároveň závisle proměnnou veličinu.

Odpovídající nezávisle proměnná veličina je parametr  $[t]$ , vektor časové řady odpovídajících časů, pro který platí  $[t] = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_i, \dots, t_n)$ .

Výsledky z terénních měření metodou plněné sondy (MPS) se pak promítají do známých hodnot vektorů  $[y]$  a  $[t]$  v monotónní sestupné časové řadě,  $[y] = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_i, \dots, y_n)$  a  $[t] = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_i, \dots, t_n)$ .

Neznámý parametr  $K$  ( $M \cdot T^{-1}$ ), kterým je hledaná hodnota hydraulické vodivosti  $K$  ( $M \cdot T^{-1}$ ) se pak odhadne pomocí nelineární regrese s využitím quasi-Newtonovy metody.

Metoda plněné sondy byla úspěšně použita při určování hydraulické vodivosti na experimentálních plochách v zájmových lokalitách „Křísák“ a „Maliník“ v oblasti Jizerských hor (Štibinger, 2010).

V případě použití vsakovací rýhy obdélníkového tvaru o šířce ve dně  $a$  (m, cm), délce  $b$  (cm, m) a výšce větší než  $y_0$  (cm, m), pro výpočet hydraulické vodivosti  $K$  ( $M \cdot T^{-1}$ ) platí

$$K = \left( \frac{C}{m} \right) \ln \left( \frac{y_0}{C} + 1 \right) \quad (4)$$

kde konstanta  $C = \frac{ab}{2(a+b)}$  (m)

## Použitá literatura

**Darcy H., 1856:** *Les fontaines publique da la ville de Dijon*. Dalmont, Paříž, Francie

**Ritzema H. P., 2006:** *Subsurface flows to drains*. In: H. P. Ritzema (Ed) *Drainage Principles and Applications* (pp. 283-294). ILRI Publ. 16, Wageningen, The Netherlands.

**Štibinger J., 2010:** *Metodika návrhu a realizace infiltračních a záchytných opatření v rámci obnovy hydrologických poměrů a způsobů hospodaření v krajině*. Publikováno v: Kovář P. a kol. 2010. *Metodika návrhu a realizace infiltračních a záchytných opatření (zkráceno)*. Číslo grantu: QH 92 086/2009 (pro MZe ČR). Výroční zpráva za r. 2009. Vydavatel: ČZU Praha, FŽP, KBÚK, ČR.

**Todd D. K. and Mays L. W., 2005:** *Groundwater Hydrology*. John Wiley and Sons, Inc. pp. 125-142, ISBN 0-471-45254-8 (WIE), ISBN 0-471-05937-4 (cloth), US.