

Terénní experimentální stanovení hydraulické vodivosti mokřadů v Jizerských horách v lokalitě Horní Maxov

Terrain experimental measurement of hydraulic conductivity of wetlands in
Jizerské hory in the area of Horní Maxov

Jakub Štibinger¹, Jitka Pešková¹

¹ Katedra biotechnických úprav krajiny, Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze

Abstrakt

V povrchových vrstvách homogenního, izotropního, plně saturovaného půdního pórovitého prostředí, kdy je hladina podzemní vody velmi blízko povrchu anebo je přímo totožná s úrovní povrchu terénu, může být pro měření nasycené hydraulické vodivosti K (M/T) použita modifikovaná jednosondová metoda s využitím aproximace S. B. Hooghoudta. Tato metoda může být použita za podmínek, kdy je úroveň nepropustného podloží na zájmové lokalitě v relativně větších hloubkách a předpokládá se, že neovlivní terénní experimentální měření. Vlastní měření bylo provedeno na zájmové lokalitě Horní Maxov (mokřadní louky), postupně ve čtyřech sondách (S1 - S4). Časový záznam naměřených úrovní hladin podzemní vody y (cm) a odpovídajících časů t (min) byl spolu geometrií příslušné sondy r (cm), d (cm)/ použit pro přímé stanovení nasycené hydraulické vodivosti K (M/T).

Klíčová slova: nasycená hydraulická vodivost, modifikovaná jednosondová metoda, mokřadní louky

Abstract

In the surface layers of a homogeneous, isotropic, fully saturated porous soil environment, where the water table is very close to the surface or is at the same level as the terrain, the modified auger hole method with the approximation of S. B. Hooghoudt can be used for measurement of the saturated hydraulic conductivity K (M/T). This method can be used when the level of the impervious subsoil layers in the area is relatively deep and is not likely to affect the experimental measurement. The actual measurement was performed in the area of Horní Maxov (wet meadows), using four boreholes (S1 - S4). The captured values of water table y (cm) at the time t (min) together with the geometry of the particular borehole r (cm), d (cm) were used for direct determination of the saturated hydraulic conductivity K (M/T).

Keywords: saturated hydraulic conductivity, modified auger hole method, wet meadows

Úvod

Pro stanovení hydro-fyzikálních vlastností povrchových vrstev na zájmové lokalitě modelového území Jizerských hor byla vybrána lokalita Horní Maxov. Mokřadní louky o rozloze 10 až 12 ha jsou charakteristické vysokou úrovní hladiny podzemní vody (dále jen HPV), která dosahuje na většině území až k úrovni povrchu terénu, a to zejména v období jarního tání. Vzhledem k vysoké úrovni HPV a skutečnosti, že předpokládané procesy pohybu vody v nasyceném pórovitém prostředí budou probíhat v povrchových vrstvách, bylo provedeno stanovení hydraulické nasycené vodivosti experimentálně, pomocí modifikované jednosondové metody s využitím aproximace S. B. Hooghoudta (Luthin 1957).

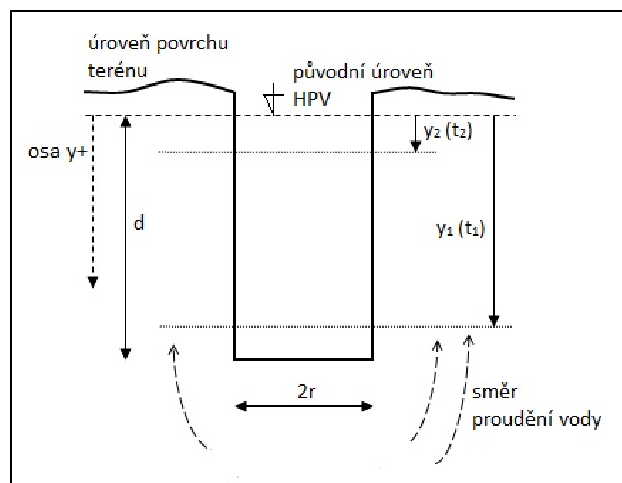
Stanovení hydro-fyzikálních vlastností, v tomto případě infiltračních schopností z nich odvozené hydraulické nasycené vodivosti povrchových vrstev vymezeného modelového území je založeno na analýze pohybu vody v nasycené a nenasycené zóně. Přímé určování hydraulické nasycené vodivosti modifikovanou jednosondovou metodou s aproximací S. B. Hooghoudta využívá tzv. hydraulických metod, založených na Dupuitových postulátech (Dupuit 1863, Mls 1984). Rovnice popisující 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), který zároveň s rovnicí kontinuity představuje základní výchozí vztahy pro další postupy.

Materiál a metody

1. Teorie modifikované jednosondové metody s použitím aproximace S. B. Hooghoudta

Modifikovanou jednosondovou metodu s využitím aproximace S. B. Hooghoudta lze uplatňovat při určování nasycené hydraulické vodivosti K (M/T), kde M je délková a T časová jednotka, v povrchových vrstvách homogenního, izotropního, plně saturovaného půdního pórovitého prostředí, kdy HPV je velmi blízko povrchu anebo je přímo totožná s úrovní povrchu terénu. Úroveň nepropustného podloží je relativně ve velkých hloubkách a neovlivní terénní experimentální měření s cílem stanovit hydraulickou nasycenou vodivost K (M/T) povrchových vrstev.

Princip způsobu odhadu K (M/T) je založen na měření úrovně stoupající HPV v sondě v čase t . Po vyhloubení sondy s určitým poloměrem r (M) a hloubkou d (M) od úrovně původní HPV na dno sondy a po vyčerpání podzemní (podpovrchové) vody ze sondy se zaznamenává nárůst úrovně hladiny vody v sondě v čase t (T). Vodorovná srovnávací (referenční) úroveň je totožná s původní úrovní HPV v sondě před čerpáním. Po vyčerpání vody ze sondy ($t=0$) se měří čas a zaznamenávají se odpovídající, zvyšující se úrovně HPV v sondě (viz schéma na obr. 1).



Obr. 1 - Schéma modifikované jednosondové metody s aproximací S. B. Hooghoudta pro výpočet nasycené hydraulické vodivosti K (M/T)

Při matematicko-fyzikálním popisu tohoto jevu se vychází z tvrzení, že změna průtoku dQ je rovna změně objemu vody v sondě o poloměru r (m) v čase t , platí tedy vztah

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

kde y (M) reprezentuje vertikální osu kladnou směrem dolů. Vzhledem k tomu, že voda prosakuje dnem i stěnami sondy je možné průsakovou plochu S (M²) definovat výrazem

$$S = \pi r d + \pi r^2 \quad (2)$$

S použitím Darcyho zákona a rovnice kontinuity platí pro změnu průtoku dQ

$$dQ = -S \cdot K \cdot I \quad (3)$$

Záporné znaménko na pravé straně rovnice symbolizuje proudění podzemní (podpovrchové)

vody směrem vzhůru, tedy proti kladnému směru osy y . Hydraulický sklon $I = \frac{y}{L}$ je v tomto případě vyjádřen pomocí Hooghoudtovy aproximace (Luthin 1957), která definuje

předpokládanou dráhu při proudění vody empirickým vzorcem L (m) = $\frac{r \cdot d}{0,19}$,

ve kterém je potřeba dosazovat hodnotu 0,19 v metrech, stejně jako poloměr sondy r (m)

a hloubku sondy d (m). Pro I (-) podle Hooghoudta pak platí $I(-) = \frac{y}{L} = y \cdot \frac{0,19}{r} \cdot d$.

S využitím rovnic (1), (2) a (3) a s uplatněním výše zmiňovaného Hooghoudtova empirického vztahu pro dráhu L (m) ve výrazu pro hydraulický sklonje možné formulovat výchozí diferenciální rovnici

$$\pi r^2 \frac{dy}{dt} = -(\pi r d + \pi r^2) K \frac{y \cdot 0,19}{r \cdot d} \quad (4)$$

po úpravě pak

$$-\int_{y_1}^{y_2} y^{-1} dy = K \left(\frac{2d}{r} + 1 \right) \frac{0,19}{r \cdot d} \int_{t_1}^{t_2} dt \quad (5)$$

Po integraci obdržíme výsledný výraz pro stanovení nasycené hydraulické vodivosti K (M/T)

$$K = \left(\frac{r \cdot d}{0,19} \right) \left(\frac{2d}{r} + 1 \right)^{-1} \cdot \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) \ln \left(\frac{y_1}{y_2} \right) \quad (6)$$

kde y_1 (M), y_2 (M) jsou naměřené úrovně hladin vody v sondě v odpovídajících časech t_1 (T), t_2 (T), viz obr. 1. Dosadíme-li za hodnoty r , d , a y metry a za čas t sekundy hodnota nasycené hydraulické vodivosti K bude $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Podle rovnice (6) pak byla vyhodnocena naměřená data z přímých terénních experimentů na ploše zájmové lokality Horní Maxov v modelové oblasti Jizerských hor.

2. Zájmová lokalita Horní Maxov (modelové území Jizerské hory)

Jedná se o trvalé travní porosty mokřadního charakteru s vysokou úrovní hladiny podzemní vody. Kořenový systém travního porostu je zde dobře vyvinutý, černohnědá až černošedá organogenní půda s obsahem 8 % hm. jílnatých částic má kyselou půdní reakci. V půdním profilu je patrné větší množství organických částic, zejména menších kořenů a kořínků. Obsah minerálních částic je menší. Všechna čtyři vybraná místa pro terénní experimentální měření hydraulické nasycené vodivosti K byla výrazně zvodnělá, úroveň HPV vystupovala až ke kořenovému systému travního porostu. Vlastní měření bylo provedeno postupně ve čtyřech sondách, sondě S_1 , S_2 , S_3 a S_4 . Časový záznam naměřených úrovní hladin podzemní vody y (cm) a odpovídajících časů t (min) byl spolu geometrií příslušné sondy $/r$ (cm), d (cm)/ použit v rovnici (6) pro přímé stanovení (odhad) nasycené hydraulické vodivosti K (M/T).

Výsledky

Z hodnot nasycených hydraulických vodivostí K ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) jednotlivých sond (viz. Tabulka 1), jenž byly získány vyhodnocením přímých terénních experimentálních testů a ověřeny laboratorním měřením vyplývá, že se nacházejí v intervalu:

$$10^{-6} (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) < (K_1, K_2, K_3, K_4) < 10^{-5} (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}).$$

Ve vztahu k proudění vody v pórovitém nasyceném prostředí je možné propustnost těchto půd (lokalita Horní Maxov) označit jako střední (Kutílek 1994).

Označení sondy	$K \cdot 10^{-6} (\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	propustnost
S ₁	3,18	střední
S ₂	2,84	střední
S ₃	6,79	střední
S ₄	1,90	střední

Tabulka 1. Hodnoty K ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) z jednotlivých sond (Kovář a kol., 2009)

Diskuze

Srovnatelné hodnoty nasycené hydraulické vodivosti K (M/T) obdržíme, učíme-li K (M/T) jako parametr rovnice (6), kde závisle proměnná y (M) by byl vektor časové řady poklesů hladin vody, nezávisle proměnou t (T) bude vektor časové řady odpovídajících časů, $t = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_i, \dots, t_n)$ /oproti $y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_i, \dots, y_n)$ /.

Parametr K (M/T) se pak odhadne pomocí nelineární regrese s využitím metody Marquardtových parametrů při vyhlazování naměřených hodnot y (M) a t (T) podle rovnice (6). Výše uvedený postup je v souvislosti se stanovením K (M/T) zřejmě správnější (pracnější, časově náročnější s prokazatelně vyššími nároky na záznam měření) nicméně získané hodnoty nasycené hydraulické vodivosti K (M/T) tímto postupem a hodnoty K (M/T) vypočtené podle rovnice (6) jsou srovnatelné.

Závěr

Na základě experimentálního měření nasycené hydraulické vodivosti K (M/T), které proběhlo na mokřadních loukách zájmové lokality Horní Maxov (Jizerské Hory) a jejího následného laboratorního ověření lze říci, že v povrchových vrstvách homogenního, izotropního, plně saturovaného půdního pórovitého prostředí, kdy HPV je velmi blízko povrchu anebo je přímo

totožná s úrovní povrchu terénu je možné pro měření nasycené hydraulické vodivosti K (M/T) použít modifikovanou jednosondovou metodu s využitím aproximace S. B. Hooghoudta. Tato metoda může být použita pouze za podmínek, kdy je úroveň nepropustného podloží na zájmové lokalitě v relativně větších hloubkách, čímž je splněn předpoklad, že jím terénní experimentální měření ovlivněno. Použití této metody je relativně časově i finančně nenáročné a lze díky ní získat dobrý orientační odhad této významné hydro-fyzikální vlastnosti zkoumané půdy.

Literatura

- Darcy, H., 1856: Les fontaines publique da la ville de Dijon. Dalmont, Paříž, Francie.
- Dupuit, J., 1863: Ethudes theoretiques et pratiques sur le mouvement des eaux dam les canaux découverts et a travers les terrains permeables. Dunod, Paříž, Francie.
- Kovář, P. a kol., 2009: Metodika návrhu a realizace infiltračních a záchytných opatření v rámci obnovy hydrologických poměrů a způsobů hospodaření v krajině. Číslo grantu QH 92 086/2009. Dílčí zpráva za rok 2009
- Kutílek, M. and Nielsen, D. R., 1994: Soil hydrology. Geo-ecology textbook, Catena Verlag, 38162 Cremlingen Destedt, Germany. ISBN 3-923381-26-3, pp. 98-102.
- Luthin, J. N., 1957: Drainage of Agricultural Lands. The American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, US. Luthin J. N. 1973. Drainage Engineering. New York: Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington, US.
- Mls, J., 1984: Hydraulika podzemní vody. Skriptum ČVUT Praha, fakulta stavební, Praha, ČR.

Poděkování

Autoři příspěvku děkují Národní agentuře zemědělského výzkumu za finanční podporu výzkumného projektu NAZV QJ1220050 Posílení infiltračních procesů regulací odtoku vod z malých povodí.

Kontakt:

doc. Ing. Jakub Štibinger, CSc.

Česká zemědělská univerzita v Praze

Kamýcká 129

165 21 Praha – 6

+420 606 875 231, stibic@email.cz