

POROVNANIE NASÝTENEJ HYDRAULICKEJ VODIVOSTI STANOVENEJ LABORATÓRNOU A EMPIRICKOU METÓDOU PODĽA ŠPAČKA

Michaela Danáčová, Radovan Nosko, Marcela Maliariková, Miroslav Kandra, Roman Výleta

Nasýtená hydraulická vodivosť charakterizuje vodivostné pomery pôdnych vrstiev rôznych oblastí, pričom je definovaná aj ako kľúčový parameter v oblasti matematického modelovania vodného režimu pôd. Jej meranie alebo nepriame určenie možno teda zaradiť medzi dôležité úlohy pri riešení problémov hydrologie pôdy. Príspevok sa zaoberá porovnaním dvoch metód určenia nasýtenej hydraulické vodivosti (K), a to laboratórnou metódou a empirickou metódou podľa Špačka na vybraných vzorkách v lokalite Myjava – Turá Lúka a lokalite Záhorie – Veľké Leváre na západnom Slovensku. Získané hodnoty K z jednotlivých metód boli zhodnotené a porovnané, a to pre oba pôdne druhy.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: nasýtená hydraulická vodivosť, zrnitostná krivka, pôdny druh, laboratórna metóda, empirická metóda podľa Špačka

COMPARISON OF SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY ESTIMATED BY LABORATORY AND EMPIRICAL METHOD OF ŠPAČEK. Saturated hydraulic conductivity characterizes the conductivity ratios of the soil layers of different areas. It is an important parameter in the mathematical modelling of the soil water regime. Its measurement and detection are one of the most important tasks in solving problems related in the soil hydrology. This paper deals compare two methods of determination of the saturated hydraulic conductivity obtained by a) the laboratory method, b) empirical method according to Špaček. These methods were applied in Myjava – Turá Lúka and Záhorie – Veľké Leváre, on the west locations in Slovakia. The obtained values of K from laboratory and empirical methods were evaluated and compared in the type of soil.

KEY WORDS: saturated hydraulic conductivity, grain curve, soil type, laboratory method, empirical method according to Špaček

Úvod

Nasýtená hydraulická vodivosť je definovaná ako schopnosť vodou nasýtenej zeminy viesť vodu, kde najväčší vplyv na jej hodnotu má zrnitosť a štruktúra zeminy. Meranie a stanovenie nasýtenej hydraulické vodivosti K je veľmi dôležité, pretože kvantitatívne určuje priepustnosť zeminy. Je jednou z dôležitých hydrofyzikálnych charakteristík zeminy a taktiež je významnou súčasťou pri návrhu a hodnotení praktických hydromelioračných zásahov do pôdy. Využitie tejto dôležitej charakteristiky pôdy sa netýka len návrhu zelených protipovodňových opatrení, ale aj problémov v oblasti zasolenia pôdy (Mallants a kol., 1997) a prenosu rozpustených látok v pôde počas intenzívneho dažďa (Dušek a Vogel, 2002). Problematiku merania a stanovenia nasýtenej hydraulické vodivosti, ako aj porovnanie metód na jej určenie

popisuje mnoho domácich a zahraničných autorov (Jabro, 1992; Tietje a Hennings, 1996; Arya a kol., 1999; Šurda a kol., 2013; Lopez a kol., 2015;). Existuje množstvo empirických vzťahov na jej stanovenie, avšak každý z nich má limitujúci rozsah uplatnenia a teda je potrebné venovať tejto téme dostatočnú pozornosť (napr. Říha a kol., 2018). V našich fyzicko-geografických podmienkach sa Dulovičová a kol. (2016) venovali porovnaniu a analýze hodnôt nasýtenej hydraulické vodivosti dnových sedimentov, ktoré boli získané z porušených vzoriek a stanovené podľa Beyera-Schweigera a Špačka, z neporušených vzoriek nánosov boli určené laboratórne. Neporušené vzorky mali hodnotu K až 10-krát vyššiu ako v prípade porušených vzoriek. Variabilitu hodnôt nasýtenej hydraulické vodivosti pre rôzne pôdne druhy sledovali Šurda a kol. (2013) v oblasti povodia rieky Hron, kde overili tvrdenia Štekauerovej a Mikulca (2009), že hod-

noty nasýtenej hydraulической vodivosti sa v prípade výskytu ľahkých a ťažkých pôd vyznačujú veľkou variabilitou. Sú závislé od pôdnej textúry a ak je rozdielna, tak spôsobuje rôzne režimy vody v pôde. Vo všeobecnosti platí, že ťažké pôdy majú nižšiu hydraulickú vodivosť a vyššiu zásobu vody ako ľahké (Nováková a kol., 1994; Gomboš a kol., 2005). Zvala a kol. (2017) poukazujú na priestorovú variabilitu nielen v horizontálnom, ale aj vertikálnom smere. Nagy a kol. (2003) vo svojej štúdií skúmali nielen priestorovú, ale aj časovú variabilitu hydraulической vodivosti, ktorá závisí najmä od stavu siete hydrologicky efektívnych makropórov. Práve makropóry a sieť puklín na povrchu pôdy umožňujú rýchly prenos vody a rozpustených látok do jej väčšej hĺbky. Počet hydrologicky efektívnych makropórov sa zvyšuje predovšetkým vďaka aktivite pôdných živočíchov, odumieranu koreňových systémov rastlín, znižovaniu vlhkosti ťažkých ílovitých pôd spojeného s tvorbou výsušných pórov (Gomboš a kol., 2001). Z ich výsledkov vyplynulo, že priestorová variabilita hydraulической vodivosti v daných lokalitách je podstatne vyššia ako časová.

Cieľom práce bolo porovnanie určenia hodnôt nasýtenej hydraulической vodivosti stanovených v laboratóriu na zjednodušenom zariadení s premenlivou piezometrickou výškou a nepriamym spôsobom hodnôt získaných empirickou metódou podľa Špačka. Vychádzalo sa zo skutočnosti, že na Slovensku sa stále uprednostňuje tento vzťah v porovnaní s inými empirickými vzťahmi aplikovanými v zahraničí. Ďalším cieľom bolo poukázať na vhodnosť výberu spôsobu stanovenia metódy nasýtenej hydraulической vodivosti v závislosti od druhu pôdy. Metodický postup bol aplikovaný na dvoch vybraných lokalitách v rámci západného Slovenska.

Materiál a metódy

Zaujímavé lokality

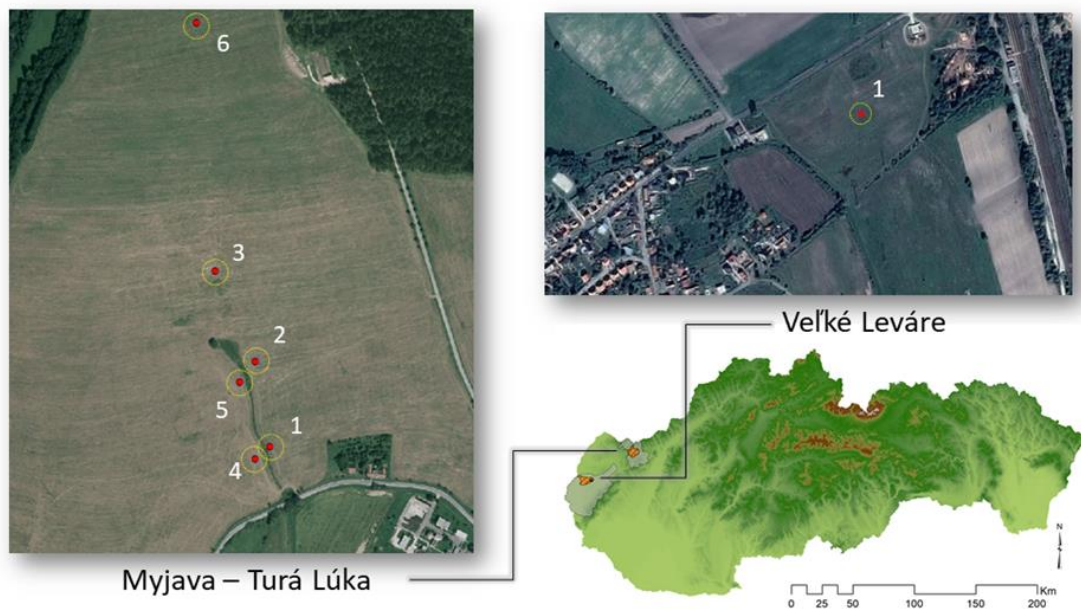
Na analýzu nasýtenej hydraulической vodivosti boli použité vzorky pôdy odobraté z regiónu Myjava a Záhoria, kde je výskyt pôdneho druhu odlišný. V určených lokalitách boli pomocou vŕtanej sondy odobraté neporušené vzorky do Kopeckého odberných valčekov s objemom 100 cm³ vo viacerých vertikálnych úrovniach, až do hĺbky 100 cm.

V rámci riešenia projektu *7RP RECARE*, ktorého hlavným cieľom bol návrh a prevencia územia pred vodnou eróziou, resp. ochrana pred degradáciou pôdy bola vybraná lokalita Myjava – Turá Lúka, v ktorej bol vykonaný v r. 2015 až 2016 pomerne rozsiahly hydroopedologický prieskum. V danej lokalite boli odobraté vzorky pôdy v transekte riešeného poľnohospodárskeho svahu (plocha 1 ha), kde bola upriamená pozornosť najmä na oblasť svahu s existujúcim eróznym výmoloňom. Celkovo bolo spracovaných 25 neporušených vzoriek zo 6 vŕtaných sond. V každej sonde bola odobratá do Kopeckého valčeka vzorka pôdy z hĺbky každých 25 cm, až do hĺbky 100 cm. Okrem laboratórneho stanovenia *K* bol vykonaný aj zrnitostný rozbor. Ako je znázornené na obrázku 2,

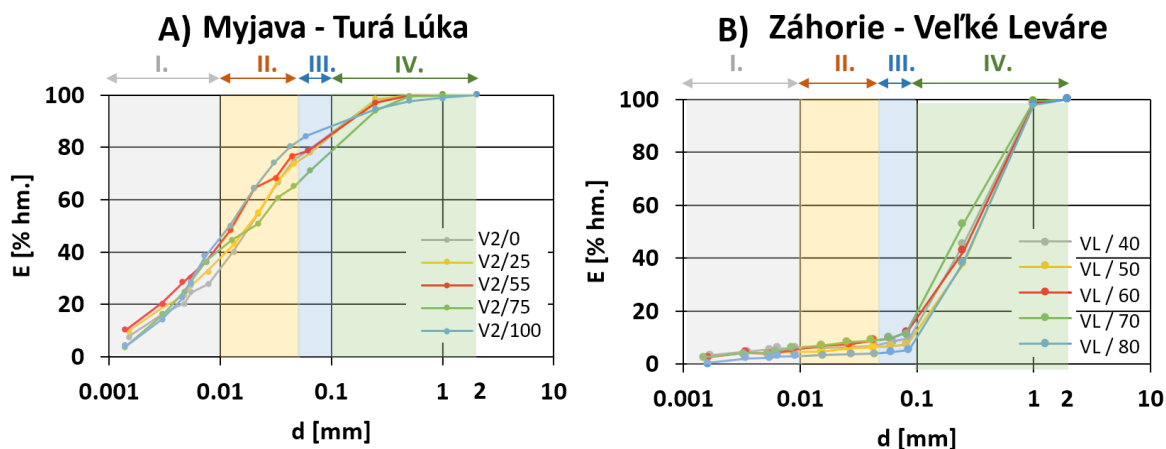
vybrané vzorky pôdy definované vo vertikálnych úrovniach (0, 25, 50, 75 a 100 cm) zo sondy č. 2 (reprezentuje stred svahu) podľa Kopeckého označenia kategórií (I. - IV.) jemnozeme pozostávajú z ílovitých častíc menších ako 0,01 mm (35 – 47 %), z prachu (30 – 35 %), práškového piesku (14 – 6 %) a z množstva piesku (21 – 12 %). Ak by sa pôda pre túto lokalitu klasifikovala podľa obrábateľnosti, tak je definovaná ako stredne ťažká, pričom podľa Novákovej klasifikácie ide o hlinité pôdy. Druhou vybranou lokalitou slúžiacou už však výlučne len na porovnanie hodnôt *K* v rámci tejto práce bol región Záhoria situovaný taktiež na západnom Slovensku. Odbery vzoriek pôdy a ich spracovanie boli vykonané pre lokalitu Záhorie – Veľké Leváre v rámci projektu APVT–51–019804, pričom sa jedná o oblasť s výskytom ľahkých pôd. Opäť ide o poľnohospodársky využívanú plochu, rovinatého charakteru s plochou približne 0,5 ha. Tu však bola vŕtaná sonda len jedna, avšak pre tento druh pôdy boli odobraté vzorky pôdy Kopeckého valčekov každých 10 cm až do hĺbky 100 cm. Zo zrnitostného rozboru uvedeného na obrázku 2 vyplýva, že vybrané vzorky pôdy definované vo vertikálnych úrovniach zo sondy podľa Kopeckého označenia kategórií jemnozeme pozostávajú z ílovitých častíc menších ako 0,01 mm (3 – 7 %), z prachu (2 – 4 %), práškového piesku (3 – 9 %) a z množstva piesku (92 – 80 %). Podľa Novákovej klasifikácie ide o výskyt piesočnatej pôdy. Zámerom projektu bolo vytvorenie databázy a regionalizácie hydrofyzikálnych charakteristík pôd Slovenska. Lokalizácie miest odberov vzoriek pôdy pre obe lokality sú uvedené na obrázku 1.

Stanovenie nasýtenej hydraulической vodivosti

Na určenie hodnôt nasýtenej hydraulической vodivosti sa používa množstvo metód, ktoré možno rozdeliť na priame a nepriame. Medzi priame metódy patria terénne (napr. jednosondová a piezometrická metóda, metóda plnnej sondy, čerpacie a vsakovacie pokusy, Guelphský permeameter) a laboratórne metódy, ktoré pri meraní nasýtenej hydraulической vodivosti využívajú konštantný alebo premenlivý hydraulický sklon. Podrobný opis všetkých metód je uvedený v literatúre (pozri napr. Velebný, 1981; Skalová a Štekauerová, 2011; Mohsenipour a Shahid, 2016). Štekauerová a Stehlová (2009) vo svojej práci porovnávali vybrané terénne metódy (Guelphský a diskový permeameter) s laboratórnou metódou. Nepriame metódy určenia hodnôt *K* sú založené prevažne na výsledkoch zrnitostných rozborov, resp. na základe pôdných vlastností. Väčšina metodických postupov vychádza zo zrnitostných kriviek, ktoré vstupujú do empirických vzorcov (Pokorná, 1996). V hydromelioračnej praxi je u nás najviac využívaná metóda podľa Špačka (1987), a dodnes sa jej aplikácia u nás odporúča. V zahraničí sú používané aj iné metodické postupy na určenie nasýtenej hydraulической vodivosti, ktorých základ tvoria viaceré empirické vzťahy, pričom ich prehľadom, porovnaním a hodnotením sa zaoberal Odong (2007) a mnohí ďalší. Z odporúčaní viacerých autorov možno vo všeo-



Obr. 1. Lokalizácia odberových miest: Myjava – Turá Lúka, Záhorie: Veľké Leváre.
 Fig. 1. The location of the sampling points: Myjava – Turá Lúka, Záhorie: Veľké Leváre.

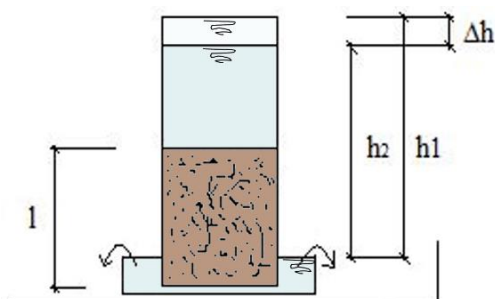


Obr. 2. Zrnitostné krivky: A) Myjava – Turá Lúka (sonda č. 2 / hĺbka); B) Záhorie – Veľké Leváre (VL / hĺbka).
 Fig. 2. The grain curves: A) Myjava – Turá Lúka (well no. 2 / depth); B) Záhorie – Veľké Leváre (VL / depth).

obecnosti povedať, že by mal byť použitý vzťah, ktorý bol odvodený v rámci regionalizácie pre danú oblasť a charakter územia. Týmto spôsobom je zabezpečená vysoká dôveryhodnosť a kvalita stanovených hodnôt nasýtenej hydraulickéj vodivosti.

Pre potreby tejto práce boli hodnoty K namerané v laboratóriu na zariadení s premenlivou piezometrickou výškou (obr. 3.) a získané empirickou metódou podľa Špačka (1987). Táto jednoduchá laboratórna metóda spočíva v tom, že nad odberný valec obsahujúci vzorku pôdy je

pripevnený prázdny valec (napr. tesniacou gumenou spojkou). Spodný valec so vzorkou je položený na kovovej sieťke, aby sa zabezpečil výtok vody z nej. Oba valce sú uložené v miske s vodou, kde je potrebné zabezpečiť stálu úroveň dolnej hladiny vody (jej výška nie je dôležitá). Po príprave vzorky a jej nasýtení sa meria čas Δt poklesu hladiny v hornom valci Δh (podrobnejšie napr. Novák a Hlaváčiková, 2016). V tabuľke č. 1 uvádzame ukážku jedného merania, kde sú potrebné vstupné hodnoty do rovnice (1) a výsledok výpočtu (tab. 1).



- l – výška odberného Kopeckého valčeka s meranou vzorkou zeminy [cm],
- h_1 – počiatočný rozdiel hladín: nad hladinou Petriho miske (referenčná hladina - výška hladiny na začiatku merania) po hranu horného valčeka naplneného vodou [cm],
- h_2 – výška hladiny na konci merania, $h_2 = h_1 - \Delta h$ [cm],
- Δh – pokles hladiny v zariadení [cm] za čas Δt [min].

Obr. 3. Zjednodušené zariadenie na meranie nasýtenej hydraulickkej vodivosti neporušenej vzorky
 Fig. 3. Simplified Equipment for measuring of saturated hydraulic conductivity of undisturbed sample.

Tabuľka 1. Merané hodnoty potrebné pre výpočet hydraulickkej vodivosti vzorky pôdy
 Table 1. The measured values to calculate the hydraulic conductivity of the soil sample

Číslo vzorky	t_1 [h:min]	t_2 [h:min]	Δt [min]	h_1 [cm]	h_2 [cm]	Δh [cm]	l [cm]	K [cm.min ⁻¹]	K [m.deň ⁻¹]
VL 40	8:02	8:06	4	8,22	7,16	1,06	4,7	0,162	2,56

Pozn. merania sa niekoľkokrát zopakujú a treba brať ohľad, aby sa pri prilievaní vody neporušil povrch vzorky

Výpočet nasýtenej hydraulickkej vodivosti bol realizovaný pomocou vzťahu:

$$K = \frac{l}{\Delta t} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (1)$$

Nepriama metóda podľa Špačka vychádza zo zrnitostného rozboru pôdnej vzorky hustomernou metódou podľa Casagrandeho (Skalová a Štekauerová, 2011). Na výpočet K sa využívajú vzťahy (2) a (3) odvodené Špačkom (1987), do ktorých vstupujú hodnoty d_{10} a d_{60} odčítané z krivky zrnitosti.

Tento vzťah je však možné použiť za predpokladu, ak:

$$\left. \begin{array}{l} d_{10} < 0,01 \\ \text{alebo} \\ 0,01 \leq d_{10} < 0,13 \\ \text{a zároveň} \\ d_{60} < 0,0567 + 0,567d_{10} \end{array} \right\} K = 20,577d_{10}^{1,013} \left(\frac{0,5}{d_{60} - d_{10}} \right)^{0,059} \quad (2)$$

kde

d_{10} – veľkosť zrn v 10 % hmotnosti súčtovej čiary zrnitosti [mm],

d_{60} – veľkosť zrn v 60 % hmotnosti súčtovej čiary zrnitosti [mm],

K – nasýtená hydraulická vodivosť [m.d⁻¹].

Ak vstupné údaje (d_{10} a d_{60}) nespĺňajú tieto podmienky, tak možno použiť nasledujúci vzťah:

$$\left. \begin{array}{l} d_{10} \geq 0,13 \\ \text{alebo} \\ 0,01 \leq d_{10} < 0,13 \\ \text{a zároveň} \\ d_{60} > 0,0576 + 0,5765d_{10} \end{array} \right\} K = 108,438d_{10}^{0,8866} d_{60}^{0,7726} \quad (3)$$

Výsledky a diskusia

Lokalita Myjava – Turá Lúka

Odber vzoriek bol vykonaný na poľnohospodársky obrábanom svahu, na ktorom sa tvorí značná ryhová a výmlová erózia. V tomto prípade sa pracovalo so vzorkami stredne ťažkých pôd a bolo odobratých celkovo 25 neporušených vzoriek v stanovenom transekte poľnohospodárskeho svahu z hĺbky 0 až 100 cm zo 6 vŕtaných sond (obr. 1). Výsledky hodnôt K získané empirickou metódou podľa Špačka a laboratórnymi meraniami sú uvedené v tab. 2. Pred zberom neporušených vzoriek pôdy sa odstránila najskôr najvrchnejšia časť ornice, a to z dôvodu existencie zvyškov rastlín. Následne z tejto časti povrchu bola odobratá prvá vzorka pôdy, pre ktorú bola stanovená nasýtená hydraulická vodivosť označovaná v nulovej hĺbke. Od tejto hĺbky boli potom definované ďalšie úrovne vo vertikálnom smere.

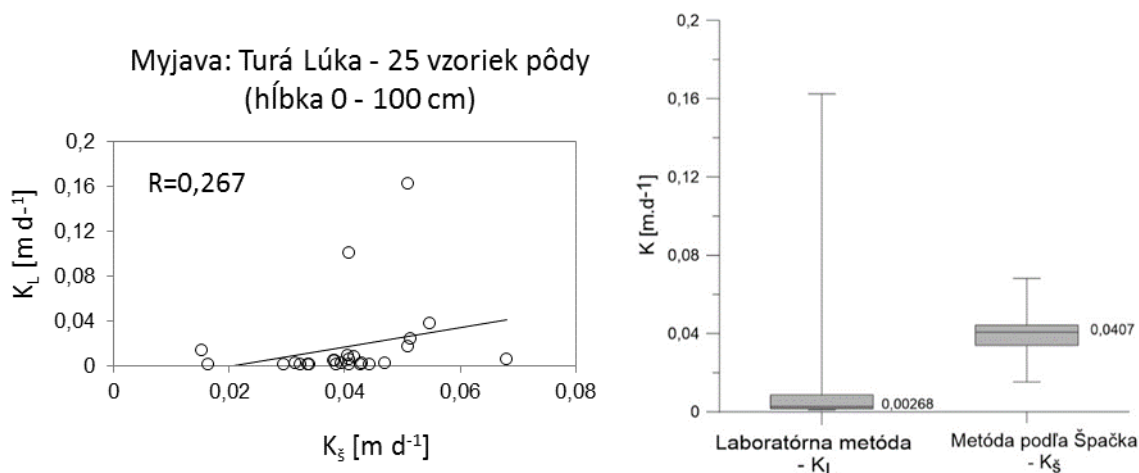
Korelačný koeficient popisujúci vzťah medzi vybranými metódami dosahuje v prípade vzoriek z lokality Myjava – Turá Lúka hodnotu $R = 0,267$, čo predstavuje nízku korelačnú závislosť, priam skoro žiadnu (obr. 4). Kvalita tejto závislosti je ovplyvnená vyššími hodnotami K stanovenými laboratórnou metódou, hlavne z pôdnych vzoriek Turá Lúka 1 / 50 a Turá Lúka 2 / 0. Nízka korelácia môže byť spôsobená viacerými faktormi a chybami merania, napr. jednotlivé merania môžu byť ovplyvnené stenovým efektom v Kopeckého valčeku, teda netesnosťou a na ich elimináciu sa používajú rôzne tesniace hmoty. Prípadne čiastočným porušením pôdnych vzoriek pri ich odbere, resp. preprave alebo manipulácii. Na obrázku 4 je vykreslený krabicový graf z hodnôt labora-

tórnej metódy – K_L a empirickej metódy podľa Špačka – K_S , kde možno vidieť extrémne hodnoty a celkovú variabilitu hodnôt K pri oboch metódach. Je badateľné, že rádo vo vyšší medián je pri metóde podľa Špačka ako laboratórnej metóde. Iba v dvoch spomenutých vzorkách pô-

dy (Turá Lúka 1 / 50 a Turá Lúka 2 / 0) boli hodnoty K vyššie z merania s premenlivým hydraulickým sklonom ako podľa Špačka. Možno sa domnievať, že pri stredne ťažkých pôdach metóda podľa Špačka nadhodnocuje hodnotu nasýtenej hydraulickej vodivosti.

Tabuľka 2. Nasýtená hydraulická vodivosť získaná laboratórnou metódou – K_L a empirickou metódou podľa Špačka – K_S v lokalite Myjava – Turá Lúka (hlinité pôdy)
Table 2. Saturated hydraulic conductivity estimated by the laboratory experiment – K_L and empirical method of Špaček – K_S in Myjava–Turá Lúka (loamy soil)

P. č.	Lokalita / hĺbka [cm]	K_L [m.d ⁻¹]	K_S [m.d ⁻¹]	P. č.	Lokalita / hĺbka [cm]	K_L [m.d ⁻¹]	K_S [m.d ⁻¹]
1	Turá Lúka 1 / 0	0,01737	0,0510	14	Turá Lúka 4 / 0	0,00156	0,0408
2	Turá Lúka 1 / 25	0,00778	0,0416	15	Turá Lúka 4 / 25	0,00159	0,0385
3	Turá Lúka 1 / 50	0,16248	0,0510	16	Turá Lúka 4 / 50	0,00510	0,0382
4	Turá Lúka 1 / 75	0,03723	0,0547	17	Turá Lúka 4 / 75	0,00239	0,0431
5	Turá Lúka 1 / 100	0,00109	0,0443	18	Turá Lúka 4 / 100	0,00201	0,0394
6	Turá Lúka 2 / 0	0,10050	0,0407	19	Turá Lúka 5 / 0	0,00118	0,0336
7	Turá Lúka 2 / 25	0,00104	0,0339	20	Turá Lúka 5 / 25	0,00139	0,0427
8	Turá Lúka 2 / 55	0,00110	0,0323	21	Turá Lúka 5 / 55	0,00600	0,0681
9	Turá Lúka 2 / 75	0,00268	0,0470	22	Turá Lúka 5 / 75	0,00212	0,0315
10	Turá Lúka 2 / 100	0,02415	0,0515	23	Turá Lúka 6 / 0	0,00155	0,0295
11	Turá Lúka 3 / 0	0,00862	0,0405	24	Turá Lúka 6 / 25	0,00138	0,0163
12	Turá Lúka 3 / 25	0,00406	0,0383	25	Turá Lúka 6 / 100	0,01392	0,0152
13	Turá Lúka 3 / 100	0,00573	0,0408				



Obr. 4. Vzťah medzi hodnotami nasýtenej hydraulickej vodivosti z laboratórnej metódy – K_L a metódy podľa Špačka – K_S v lokalite Myjava – Turá Lúka (hlinité pôdy) and krabicové grafy.
Fig. 4. Relationship between the values saturated hydraulic conductivity from a laboratory experiment – K_L and the method of Špaček – K_S in Myjava–Turá Lúka (loamy soil) and box plots.

Lokalita Záhorie - Veľké Leváre

V danej lokalite bolo spolu odobratých a spracovaných len 10 neporušených vzoriek z poľnohospodárskej pôdy z jednej vŕtanej sondy (monitoring v rámci projektu APVT–51–019804). Rozpätie hĺbky sa pohybovalo v rozmedzí 10 až 100 cm. Prehľad odberov je uvedený v tab. 3 (Jánošík a kol., 2010). Sme si vedomí, že pre korektné závery a hodnovernú štatistiku, z ktorej je možné

odvodiť relevantné závery je potrebné odobrať väčší počet vzoriek. No pre potreby tohto článku sme sa rozhodli pracovať len s týmto počtom spracovaných vzoriek. Korelačný koeficient dosahuje v prípade lokality Záhorie – Veľké Leváre hodnotu $R = 0,412$, čo znamená, že ide o strednú korelačnú závislosť vzťahu medzi hodnotami K získanými laboratórnou metódou a metódou podľa Špačka. Vzťah nasýtenej hydraulickej vodivosti medzi hodnotami z laboratórnej metódy – K_L a metódy podľa Špačka

– K_S je znázornený na obrázku 5. Taktiež aj v prípade ľahkých pôd sú hodnoty K z laboratórnej metódy nižšie ako z metódy podľa Špačka. Výskyt vyšších hodnôt nasýtenej hydraulickéj vodivosti oproti hodnotám stanovených laboratórne boli iba v dvoch vzorkách pôdy, konkrétne V. Leváre / 50 a V. Leváre / 60. Krabicové grafy vyhotovené z výsledkov danej lokality poukazujú na väčšiu variabilitu hodnôt K stanovených metódou podľa Špačka vychádzajúc z hodnôt 1. a 3. kvartilu, kde aj v tejto metóde je vyšší medián ako pri laboratórnej metóde (obr. 5), podobne ako v lokalite Myjava – Turá Lúka. No rozdiel už nie je rádový, čo potvrdzuje tesnejší vzťah medzi oboma metódami.

Výsledky hodnôt nasýtenej hydraulickéj vodivosti potvrdili ich pomerne veľkú variabilitu a taktiež aj fakt, že ľahké pôdy dosahujú vo všeobecnosti vyššie hodnoty tejto charakteristiky pôdy ako stredne ťažké.

V lokalite Záhorie – Veľké Leváre s prevažne piesočnatými pôdami boli hodnoty K získané laboratórnou metódou max. do $13,3 \text{ m.d}^{-1}$ a vyjadrené metódou podľa Špačka do $9,1 \text{ m.d}^{-1}$. Hodnota mediánu bola v prípade laboratórnej metódy $2,491 \text{ m.d}^{-1}$ a metódy podľa Špačka $6,089 \text{ m.d}^{-1}$. V lokalite Myjava – Turá Lúka s výskytom

prevažne stredne ťažkých pôd, hlinité pôdy boli dosiahnuté max. hodnoty K laboratórnou metódou do $0,16 \text{ m.d}^{-1}$ (medián $2,68 \cdot 10^{-3} \text{ m.d}^{-1}$), resp. metódou podľa Špačka do $0,0681 \text{ m.d}^{-1}$ (medián $0,0407 \text{ m.d}^{-1}$).

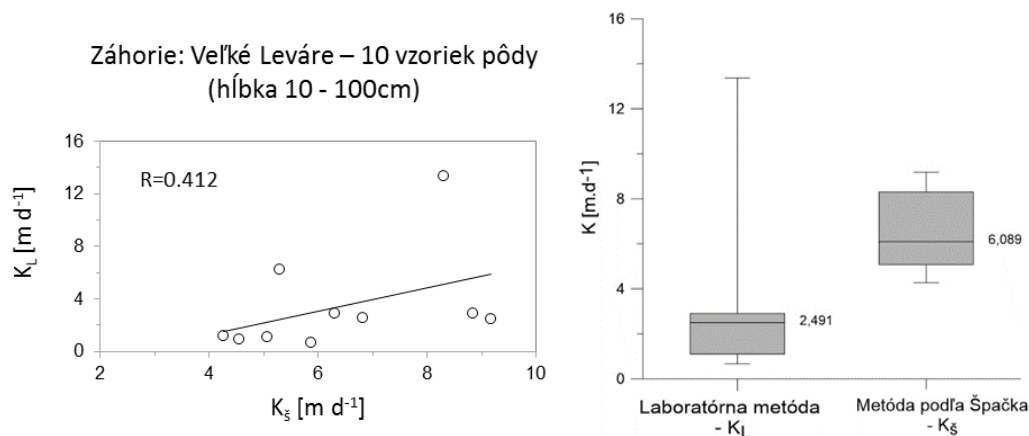
Pre lepšiu interpretáciu výsledkov a zovšeobecnenie záverov v rámci lokality Myjava – Turá Lúka boli zohľadnené zvolené vertikálne úrovne odobratých vzoriek zo všetkých 6 vŕtaných sond tým, že boli príslušné hodnoty K v rovnakej hĺbke spriemerované. Dochádza tým síce k skresleniu skutočne nameraných hodnôt (variabilita v priestore) a znižuje sa ich počet, no cieľom tohto prístupu bolo porovnať hodnoty K v jednotlivých výškových úrovniach v rámci sond. Tieto kroky smerovali aj k poznaniu alebo skôr porovnaniu nameraných hodnôt z oboch lokalít. Keďže v lokalite Záhorie neboli odobrané vzorky z hĺbky 25 a 75 cm a aj s cieľom zachovať rovnaký počet vzoriek, tak sa pristúpilo ešte k ich úprave, že boli priemerované hodnoty K z hĺbky 20 a 30 cm, resp. 60 a 70 cm.

Pre ilustráciu a konštatovanie sú uvedené na obrázku 6 regresie, kde možno porovnať tesnosť vzťahu rovnakého počtu vzoriek, pre dané výškové úrovne 0 – 10, 25, 50, 75 a 100 cm.

Tabuľka 3. Nasýtená hydraulická vodivosť získaná laboratórnou metódou – K_L a metódou podľa Špačka – K_S v lokalite Záhorie – Veľké Leváre (piesočnaté pôdy) (zdroj: Jánošík a kol., 2010)

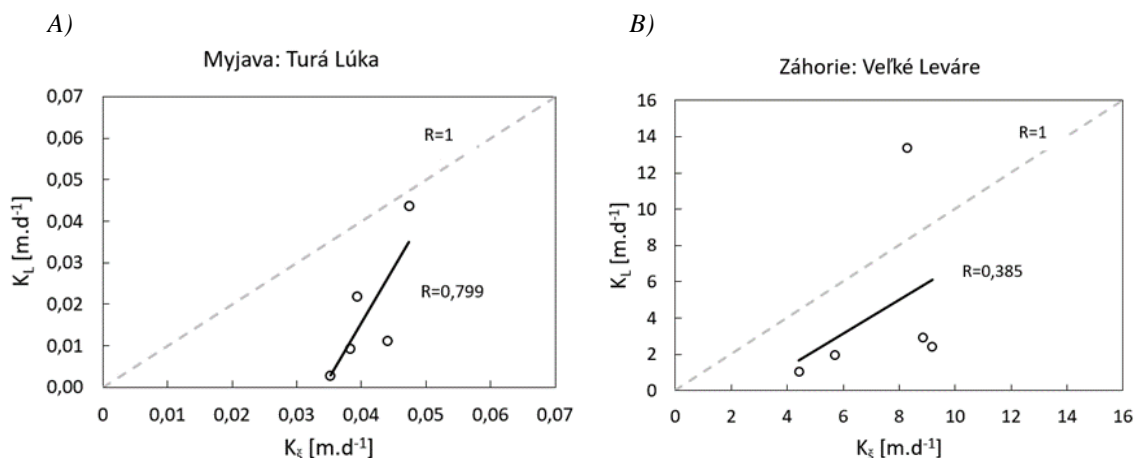
Table 3. Saturated hydraulic conductivity estimated by the laboratory experiment – K_L and the method of Špaček – K_S in Záhorie – Veľké Leváre (sand soil) (Jánošík a kol., 2010)

P. č.	Lokalita / hĺbka [cm]	K_L [m.d^{-1}]	K_S [m.d^{-1}]	P. č.	Lokalita / hĺbka [cm]	K_L [m.d^{-1}]	K_S [m.d^{-1}]
1	V. Leváre / 10	2,9100	8,8485	6	V. Leváre / 60	6,2226	5,2957
2	V. Leváre / 20	1,0961	5,0714	7	V. Leváre / 70	1,1520	4,2697
3	V. Leváre / 30	2,8579	6,3112	8	V. Leváre / 80	0,8993	4,5570
4	V. Leváre / 40	2,5606	6,8302	9	V. Leváre / 90	0,6655	5,8666
5	V. Leváre / 50	13,3616	8,2989	10	V. Leváre / 100	2,4214	9,1807



Obr. 5. Krabicové grafy a vzťah medzi hodnotami nasýtenej hydraulickéj vodivosti z laboratórnej metódy – K_L a metódy podľa Špačka – K_S v lokalite Záhorie – Veľké Leváre (piesočnaté pôdy).

Fig. 5. Box plots and correlation of values saturated hydraulic conductivity from a laboratory experiment – K_L and the method of Špaček – K_S in Záhorie – Veľké Leváre (sand soil).



Obr. 6. Vzťah medzi priemerovanými hodnotami nasýtenej hydraulickéj vodivosti z laboratórnej metódy – K_L a metódy podľa Špačka – K_S v lokalite: A) Myjava – Turá Lúka (hlinité pôdy); B) Záhorie – Veľké Leváre (piesočnaté pôdy).

Fig. 6. Correlation average of saturated hydraulic conductivity between of values from a laboratory experiment – K_L and the method of Špaček – K_S in locality: A) Myjava – Turá Lúka (loamy soil); B) Záhorie – Veľké Leváre (sand soil).

Záver

Cieľom príspevku bolo vyhodnotiť nami odobraté vzorky pre potreby riešenia projektu RECARE, ktorý je zameraný na degradáciu pôdy a následne porovnať hodnoty nasýtenej hydraulickéj vodivosti stanovené dvomi metódami v rôznych lokalitách západného Slovenska. Konkrétne boli odobraté a porovnané pôdne vzorky z lokality Myjava – Turá Lúka, výskyt stredne ťažkých pôd a pôdne vzorky pochádzajúce z ľahkých pôd, región Záhorie – Veľké Leváre. Výsledky hodnôt nasýtenej hydraulickéj vodivosti potvrdili ich pomerne veľkú variabilitu na danom mieste a taktiež aj fakt, že ľahké pôdy dosahujú vo všeobecnosti vyššie hodnoty tejto charakteristiky ako ťažké pôdy. Medián hodnôt nasýtenej hydraulickéj vodivosti bol v prípade ľahkých aj ťažkých pôd o niečo vyšší v metóde podľa Špačka ako z laboratórnej metódy. V niektorých prípadoch sa v spracovaných vzorkách vyskytli extrémne hodnoty nasýtenej hydraulickéj vodivosti K stanovených laboratórnou metódou, a to v oboch regiónoch. Príčin môže byť viacero, ako napr. stenový efekt, porušenie vzorky, objem valčeka, no v rámci uvedeného článku sme sa nimi detailnejšie nezaoberali. Stupeň závislosti medzi hodnotami K stanovených metódou podľa Špačka a laboratórnou metódou bol hodnotený mierou tesnosti štatistickej závislosti – korelačným koeficientom. V prípade lokality Myjava – Turá Lúka s výskytom stredne ťažkých pôd bola zistená korelačná závislosť medzi hodnotenými prvkami a hodnota $R = 0,267$. Vzhľadom aj na vyšší počet odborných sond a predovšetkým na elimináciu možných chýb meraní boli hodnoty K priemerované v rovnakej hĺbke, čím sa odstránila aj ich priestorová variabilita. Takýmto rozhodnutým sa

hodnota korelačného koeficienta zvýšila na hodnotu $R = 0,799$ (obr. 6), ale treba upozorniť na veľmi nízky počet hodnotiacich prvkov. V prípade lokality Záhorie – Veľké Leváre, kde bol spracovaný menší počet vzoriek, bola definovaná korelačná závislosť a jej tesnosť vyjadrená prostredníctvom koeficienta korelácie $R = 0,412$. Pre možnosť porovnania rovnakého počtu hodnôt K pre obe lokality a v rovnakých hĺbkach boli vzorky pôdy priemerované vo vertikálnom smere (pre výškové úrovne 25 cm a 75 cm), čo malo za dôsledok mierne zníženie korelačného koeficienta $R = 0,385$ pre túto lokalitu. Záverom možno konštatovať, že boli v prípade tohto výskumu dosiahnuté pomerne dobré korelačné závislosti medzi hodnotami hydraulickéj vodivosti stanovenými podľa Špačka a laboratórnou metódou v lokalite Myjava – Turá Lúka.

Priemerovaním vzoriek v rovnakých výškových úrovniach v lokalite Myjava – Turá Lúka sa podarilo znížiť vplyv priestorovej variability K a eliminovať tak extrémne hodnoty. V lokalite Záhorie – Veľké Leváre sa vplyv počtu hodnôt na tesnosť vzťahu vo vertikálnom smere nepotvrdil. Výsledky analýzy boli ovplyvnené aj nižším počtom vzoriek, ktorých databázu je nutné ešte doplniť a porovnanie metód zopakovať, a to možno aj s inými ďalšími empirickými vzťahmi.

Pod'akovanie

Článok bol vytvorený a podporený Európskou komisiou v rámci projektu 7RP RECARE, kontrakt č. 603498, Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-15-0497 a grantom VEGA č. 1/0891/17.

Literatúra

- Arya, L. M., Leij, F. J., Shouse, P. J., Van Genuchten, M. T. (1999): Relationship between the hydraulic conductivity function and the particle-size distribution, *Soil Science Society of America Jour.*, 63(5), 1063–1070.
- Dulovičová, R., Velísková, Y., Schügerl, R. (2016): Hydraulická vodivosť nánosov Chotárneho kanála na Žitnom ostrove, *Acta Hydrologica Slovaca*, Roč. 17, č. 2, 149 – 156.
- Dušek, M., Vogel, T. (2002): Modelování pohybu kadmia ve strukturních půdách. In: Jambor, P. (ed.): Zborník príspevkov z konferencie: Prvé pôdoznalecké dni v SR. Diel A. VÚPOP, Bratislava 2002, 175 – 179.
- Gomboš, M., Šútor, J., Ivančo, J. (2001): Charakteristiky ílovito-hlinitých pôd Východoslovenskej nížiny. I. Charakteristiky puklinovej siete. *Acta Hydrologica Slovaca*, Roč. 2, č. 2, 206 – 214.
- Gomboš, M., Šútor, J., Tall, A. (2005): Vplyv pôdných prostredí na ich vodný režim, Štvrté pôdoznalecké dni v SR, Zborník referátov z vedeckej konferencie pôdoznalcov SR, Čingov, 14 – 16.6.2005, Výskumný ústav pôdoznectva, 96 – 101.
- Jabro, J. D., (1992): Estimation of saturated hydraulic conductivity of soils from particle size distribution and bulk density data, *Transactions of the ASAE*, 35(2), 557–560.
- Jánošík, J., Jarabíková, M., Pasztorová, M., Vitková, J. (2010): Využitie zrnitosťných rozborov pri stanovení nasýtenej hydraulikkej vodivosti, In 9. konferencia mladých vodohospodárov: Zborník súťažných prác mladých odborníkov. SHMÚ Bratislava, 10.11.2010.
- Lopez, O. M., Jadoon, K. Z., Missimer, T. M. (2015): Method of relating grain size distribution to hydraulic conductivity in dune sands to assist in assessing manage daquifer recharge projects: Wadi Khulays dune field, western Saudi Arabia, *Water*, 7(11), 6411–6426.
- Mallants, D., Mohanty, B. P., Vervoort, A., Feyen, J. (1997): Spatial analysis of saturated hydraulic conductivity in a soil with macropores. *Soil Technol.*, 10, 115–131.
- Mohsenipour, M., Shahid, S. (2016): Estimation of Saturated Hydraulic Conductivity, Chapter 1, 26.
- Nagy, V., Houšková, B., Lichner, E. (2003): Priestorová a časová variabilita hydraulických vlastností pôdy, In *Hydrologie pôdy v malém povodí*, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Praha, 21 – 29.
- Nováková, K., Takáč, J., Košč, V. (1994): Vyhodnotenie retenčných, transportných a vybraných chemických vlastností pôd ovplyvňujúcich vodný režim pôd a kontamináciu podzemnej vody. Záverečná správa. VÚZH, Bratislava, 43.
- Odong, J. (2007): Evaluation of empirical formula for determination of hydraulic conductivity based on grain-size analysis, *Journal of American Science*, 3(3), 54–60.
- Pokorná, M., (1996): Posudzovanie metód určovania nasýtenej hydraulikkej vodivosti, Diplomová práca, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, 71.
- Říha, J., Petrula, L., Hala, M., Alhasan, Z. (2018): Assessment of empirical formulae for determining the hydraulic conductivity of glass beads. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 66 (3): 337–347.
- Skalová, J., Štekauerová, V. (2011): Pedotransférové funkcie a ich aplikácia pri modelovaní vodného režimu pôd, Slovenská technická univerzita v Bratislave, 101.
- Špaček, J. (1987): Stanovení koeficientu filtrace z totálních křivek zrnitosti, *Meliorace*, č. 1, 1 – 13.
- Štekauerová, V., Mikulec, V. (2009): Variability of Saturated Hydraulic Conductivities in the Agriculturally Cultivated Soils, *Soil & Water Res.*, 4, (Special Issue 2), 14–21.
- Štekauerová, V., Stehlová, K., (2009): Analysis of saturated hydraulic conductivity to the root's water supply stress, *Cereal Research Communicat.*, 37, 489–492.
- Šurda, P., Štekauerová, V., Nagy, V. (2013): Štatistická analýza hydraulikkej vodivosti pôdy v povodí rieky Hron, Mezinárodní konference Voda, půda, rostliny, Křtiny 29–30.5.2013.
- Tietje, O., Hennings, V. (1996): Accuracy of the saturated hydraulic conductivity prediction by pedotransfer functions compared to the variability within FAO textural classes, *Geoderma*, 69(1–2), 71–84.
- Velebný, V. (1981): *Hydropedológia: Učebná pomôcka na cvičenia*, 173, SVŠT, Bratislava.
- Zvala, A., Orfánus, T., Stojkovicová, D., Nagy, V. (2017): Hydraulická vodivosť pokrývkových horizontov lesnej pôdy, *Acta Hydrol. Slovaca*, Roč. 18, č. 1, 112 – 119.

COMPARISON OF SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY ESTIMATED BY LABORATORY AND EMPIRICAL METHOD OF ŠPAČEK

The main aim of this paper is to estimate the values of saturated hydraulic conductivity obtained by two methods: by the laboratory method and by using the Špaček computing/empirical method. Saturated hydraulic conductivity (K) is the ability of water-saturated soil to run water, which depend on granularity and soil textures. The paper compares the values of saturated hydraulic conductivity which were took from Myjava – Turá Lúka during period 2015–2016 (loamy soil) and Veľké Leváre (sand soil) in 2008 (as undistur-

bed samples). To determine the values of the K by the laboratory method was used the equipment with variable slope. For Špaček empirical method the aerometric grain analysis was made. Subsequently, grain curves for the soil samples were designed. We have confirmed that sandy soils have a higher K value than clay soil. In the locality of Veľké Leváre, the values obtained by laboratory achieved max. $13.3 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ (by empirical method $9.1 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$). On Myjava – Tura Lúka (loamy soil) the maximum values K for the laboratory

method 0.16 m.d^{-1} , resp. calculated at 0.0681 m.d^{-1} were determined. In comparison, the median of K values was higher than the empirical method as laboratory determination. To assess the dependence between the values of saturated hydraulic conductivity of these two methods the correlation coefficient $R=0.267$ was determined. This result indicates a low relation between the evaluated elements. For higher number of sampling probes and elimination of possible measurement errors, the K values were averaged at the same depth, thus eliminating their

spatial variability. The correlation coefficient was increased to $R=0.799$. For the V. Leváre (sand soil), the correlation coefficient $R=0.412$ (i.e., moderate degree of correlation) was determined, respectively after averaging $R=0.385$.

The determination of saturated hydraulic conductivity of the soil confirmed the variability in the horizontal directions. By visual inspection of box plot and scatter plot was concluded that the values of the K exhibit a wide range of the numerical values.

Ing. Michaela Danáčová, PhD.
Ing. Radovan Nosko
Ing. Marcela Maliariková
Bc. Miroslav Kandra
Ing. Roman Výleta, PhD.
Katedra vodného hospodárstva krajiny
Stavebná fakulta, STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava
Tel.: + 4212 59 274 627
E-mail: michaela.danacova@stuba.sk
radovan.nosko@stuba.sk
marcela.maliarikova@stuba.sk
xkandra@stuba.sk
roman.vyleta@stuba.sk