

VYUŽITIE ZRNITOSTNÝCH ROZBOROV PRI STANOVENÍ NASÝTENEJ HYDRAULICKEJ VODIVOSTI

Juraj Jánošík, Miroslava Jarabicová, Mária Pasztorová, Justína Vitková

Nasýtená hydraulická vodivosť je schopnosť vodou nasýtenej zeminy viesť vodu, ktorá závisí najmä od zrnitosti a pôdnej štruktúry. Našou úlohou bolo analyzovať a porovnať hodnoty nasýtenej hydraulickéj vodivosti získané dvomi metódami, a to metódou laboratórnou a metódou výpočtovou podľa Špačka, ktorá vychádza zo zrnitostných rozborov. Pri hodnotení sme použili 43 vzoriek pôdy, ktoré boli odobraté v rámci projektu APVV na Záhorskej nížine z lokalít Veľké Leváre, Jakubov, Vysoká a Kostolište. Pri laboratórnej metóde sme použili zariadenie s premenlivým sklonom. Pre výpočtovú metódu podľa Špačka bol vykonaný zrnitostný rozbor hustomernou metódou a boli vynesené krivky zrnitosti pre jednotlivé pôdne vzorky. Z nich sa odčítali hodnoty d_{10} a d_{60} , ktoré sa použili na stanovenie hodnoty nasýtenej hydraulickéj vodivosti.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: nasýtená hydraulická vodivosť, zrnitostná krivka, zrnitostný rozbor

Exploitation grain analysis by the specified saturated hydraulic conductivity

Saturated hydraulic conductivity is the ability of water-saturated soil to run water, which depend on granularity and soil textures. Our task was to analyze and to compare the values of saturated hydraulic conductivity obtained by two methods: by the laboratory method and by using the Špaček computing method. By the evaluation we used 43 soil samples that where collected for the project of APVV at Záhorská nížina from locality Veľké Leváre, Jakubov, Vysoká and Kostolište. By the laboratory method we used the equipment with variable slope. For Špaček computing method it was made aerometric grain analysis and grain curves for soil samples were designed. These subtracted values d_{10} and d_{60} were used to determine the value of saturated hydraulic conductivity.

KEY WORDS: saturated hydraulic conductivity, grain curves, grain size analysis

Úvod

Význam pôdy pre život na zemeguli je nesmierny. Predovšetkým je pôda stanoviskom pre rastliny, a tým zároveň zabezpečuje akumuláciu slnečnej energie. Vývoj rastlín závisí okrem iného aj na vlhkosťných pomeroch pôdy. Nedostatok podobne ako i nadbytok vody v pôde zhoršuje podmienky pre pestovanie kultúrnych rastlín. Úprava vodných pomerov v pôde je fyzikálnym problémom, pre jeho riešenie sú potrebné dôkladné technické a hydrodologické znalosti. Moderné teórie sa napríklad snažia riešiť prúdenie vody od hladiny podzemnej vody cez nenasýtené pôdne prostredie a bunkové tkanivá až k listu rastlín a do atmosféry ako komplexný celok. Pôda sa vyvíjala, vyvíja a plní svoju funkciu v dialektickej jednote s materským substrátom, rastlinstvom a atmosférou, je teda súčasťou tohto systému.

Konečným cieľom hydromelioračných zásahov do pôdy by malo byť vytvorenie a udržanie optimálneho vodného režimu pôdy v koreňovej zóne pestovaných plodín s ohľadom na ich fyziologické požiadavky. Preto, aby sa splnila uvedená požiadavka, musíme poznať pôdne prostredie a zistiť jeho hydrofyzikálne charakteristiky.

Hydraulická vodivosť je jednou z najdôležitejších hydrofyzikálnych charakteristík pôdy. Jej hodnotu treba poznať pri riešení problémov týkajúcich sa prúdenia podzemných vôd, ale aj pri navrhovaní hydromelioračných opatrení.

Materiál a metódy

Nasýtená hydraulická vodivosť K je schopnosť vodou nasýtenej pôdy viesť vodu. Jej veľkosť závisí od štruktúry a textúry pôdy a od prítomnosti makropórov. Mení sa v priestore a čase.

Hodnota nasýtenej hydraulickej vodivosti závisí nielen od vlastností zeminy (rozmery, tvar, drsnosť stien pórov, kľukatosť a pod.), ale i od fyzikálnych vlastností prúdiacej kvapaliny (viskozita, merná tiaž). Má rozmer rýchlosti a v prípade jednotkového sklonu jej hodnota sa rovná filtračnej rýchlosti.

Pohyb vody vo vodou nasýtenej pôde, prebiehajúci len účinkom tiažovej sily, sa nazýva filtračným pohybom a jeho rýchlosť filtračnou rýchlosťou v . Vzťah vyjadrujúci lineárnu závislosť rýchlosti filtračného prúdenia vody na hydraulickom sklone I nazývame **Darcyho filtračný zákon** podľa H. Darcyho, ktorý ho odvodil v roku 1856 vo Francúzsku. Na základe svojich pokusov Darcy zistil, že filtračný prietok Q je v danom čase priamo úmerný nasýtenej hydraulickej vodivosti K , prietokovej ploche S , strate piezometrickej výšky Δh v smere prúdenia a nepriamo úmerný dĺžke dráhy častice prúdiacej kvapaliny l . Darcyho filtračný zákon sa môže vyjadriť nasledujúcou rovnicou (Velebný, Novák, 1989):

$$Q = K \cdot S \frac{\Delta h}{l} = K \cdot S \cdot I \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

Filtračnú rýchlosť v , ktorá je lineárne závislá od hydraulického sklonu a od nasýtenej hydraulickej vodivosti, určíme z výrazu (Velebný, Novák, 1989):

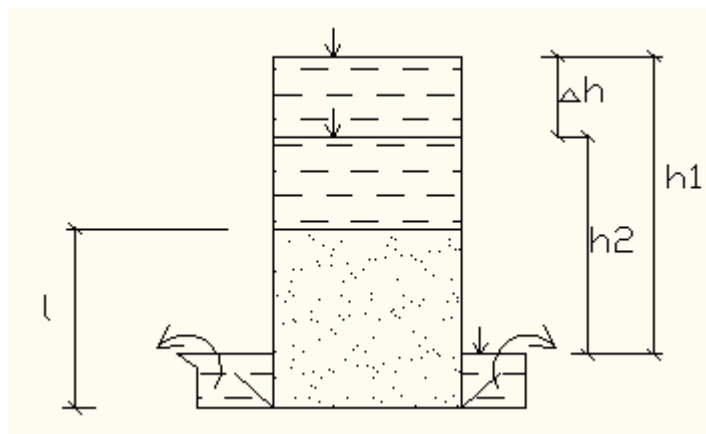
$$v = K \cdot I = K \cdot \frac{\Delta h}{l} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2)$$

Metódy určenia nasýtenej hydraulickej vodivosti môžeme rozdeliť na priame (laboratórne a terénne) a nepriame (výpočtové) metódy. Podrobný opis všetkých metód je uvedený v odbornej literatúre (napr. Velebný, Novák, 1989, Kutílek, 1978, Velebný, 1981).

Nepriame metódy určenia hodnoty nasýtenej hydraulickej vodivosti sú založené prevažne na výsledkoch zrnitostných rozborov. V literatúre sa uvádza množstvo vzťahov, ktoré ale môžu byť použité len pre podmienky, v ktorých boli zistené. V hydromelioračnej praxi sa odporúča použiť metódu odvodenú Špačkom (1987).

Našou úlohou bolo analyzovať a porovnať hodnoty nasýtenej hydraulickej vodivosti získané dvomi metódami, a to metódou laboratórnou a metódou podľa Špačka. Pri hodnotení sme použili vzorky pôdy odobraté v rámci projektu APVV na Záhorskej nížine, v lokalitách: V. Leváre, Jakubov, Vysoká a Kostolište. Celkový počet vzoriek bol 43 vzoriek.

Pri meraní nasýtenej hydraulickej vodivosti laboratórnou metódou sme použili jednoduché zariadenie s premenlivým hydraulickým sklonom (obr. 1). Postup merania je zrejmý z obr. 1.



Obr. 1 Zariadenie s premenlivým hydraulickým sklonom na meranie nasýtenej hydraulickej vodivosti

Na výpočet nasýtenej hydraulickej vodivosti sme použili vzťah (3).

$$K = \frac{l}{t_2 - t_1} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (3)$$

Kde: h_1 – vzdialenosť od hladiny v Petriho miske po hladinu horného okraja Kopeckého odmerného valčeka [cm] v čase t_1 [min]

h_2 – vzdialenosť od hladiny v Petriho miske po hladinu v Kopeckom valčeku (nastavci) po poklese o Δh [cm], teda v čase t_2 [min]

Δh – rozdiel hladín [cm] za čas $\Delta t = t_2 - t_1$ [min]

l – výška Kopeckého odmerného valčeka s pôdnou vzorkou [cm]

Na ilustráciu je v tab. 1 uvedená časť dielčích výsledkov z meraní nasýtenej hydraulickej vodivosti ako aj vypočítané priemerné hodnoty nasýtenej hydraulickej vodivosti.

Vzorky, na ktorých bola meraná nasýtená hydraulická vodivosť, sa najskôr vysušili, oddelil sa skelet od jemnozeme a jemnozeme sa ďalej použila pri zrnitostnom rozbere hustomernou metódou, za účelom získania podkladov do metódy výpočtu nasýtenej hydraulickej vodivosti podľa Špačka.

Z výsledkov hustomernej metódy sme vyniesli krivky zrnitosti, ktoré sú na obr. 2 pre vzorky odobraté v lokalite V. Leváre, a na obr. 3 pre vzorky odobraté v lokalite Kostolište.

Z kriviek zrnitosti sme odčítali hodnoty d_{10} (veľkosť zrn v 10 % hmotnosti súčtovej čiary zrnitosti podľa Cassagrandeho [mm]) a d_{60} (veľkosť zrn v 60 % hmotnosti súčtovej čiary zrnitosti podľa Cassagrandeho [mm]), ktoré sme v ďalšom využili.

Pri výpočte nasýtenej hydraulickej vodivosti podľa Špačka sme pracovali so vzorcami 4 a 5, ktoré môžu byť použité za určitých predpokladov.

$$K = 20,577 \cdot d_{10}^{1,013} \cdot \left(\frac{0,5}{d_{60} - d_{10}} \right)^{0,059} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4)$$

Pre praktické využitie potom platí, že rovnicu (4) možno použiť, ak:

1. $d_{10} < 0,01$
2. $0,01 < d_{10} < 0,13$ a súčasne $d_{60} < 0,0567 + 0,567 \cdot d_{10}$

$$K = 108,4386 \cdot d_{10}^{0,8866} \cdot d_{60}^{0,7726} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (5)$$

Rovnicu (5) možno použiť ak:

1. $d_{10} \geq 0,13 \text{ mm}$
2. $0,01 \leq d_{10} < 0,13$

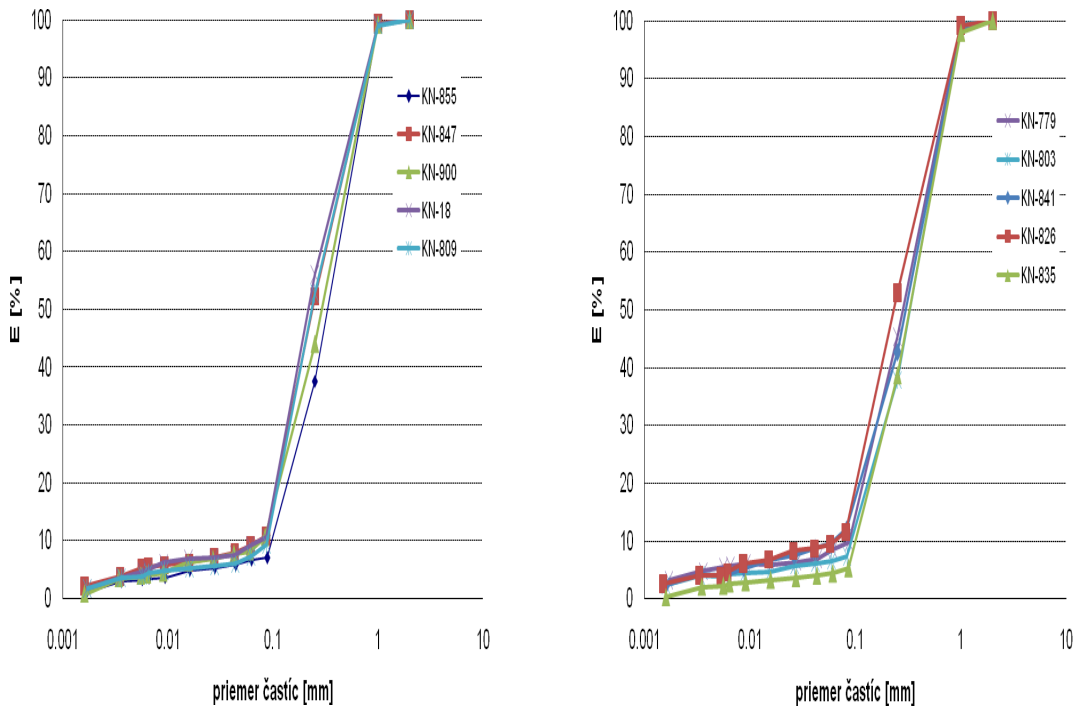
Prehľad hodnôt nasýtenej hydraulickej vodivosti pôdy vypočítaných z kriviek zrnitosti podľa Špačka uvádzame v tab. 2.

Tab.1 Časť výsledkov laboratórneho merania nasýtenej hydraulickej vodivosti K (označenie z obr. 1)

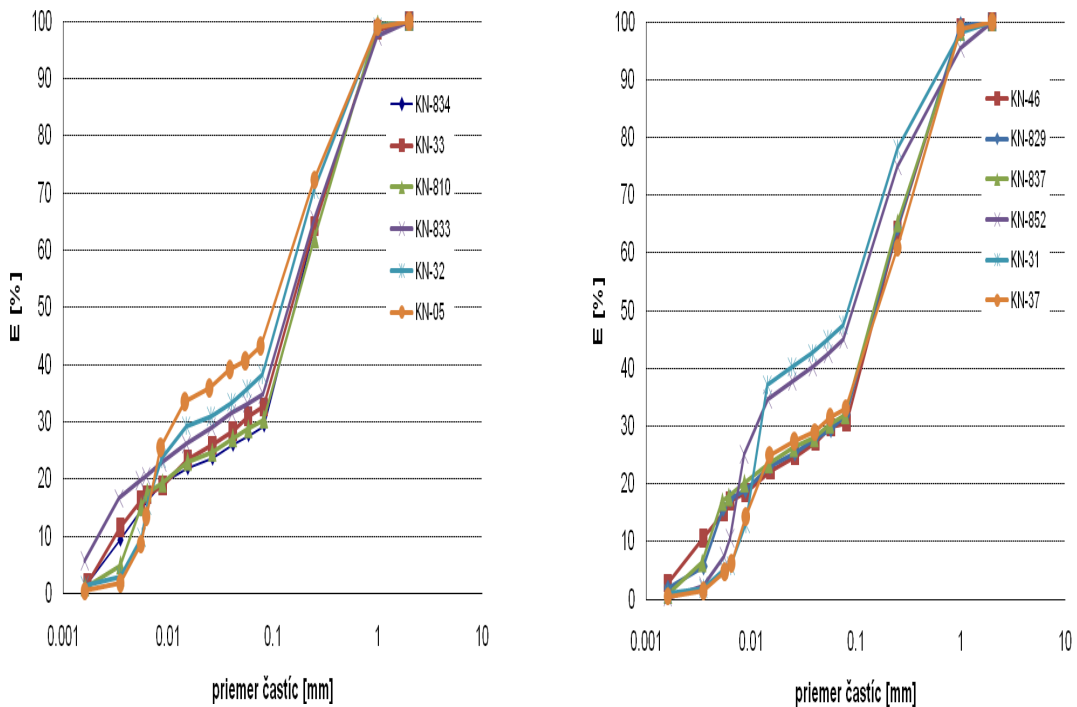
Lokalita a hĺbka	Číslo valca	Výška [cm]	h1 [cm]	t [min]	Δh [cm]	h2 [cm]	K [cm.min-1]	K [m.d-1]	K výsledné [m.d-1]
V. Leváre	855	4,7	8,11	7	2,1	6,01	0,201	2,897	2,909
10	855	4,7	8,11	11	2,955	5,155	0,194	2,788	
	855	4,7	8,11	15	3,93	4,18	0,208	2,990	
	855	4,7	8,11	6	1,87	6,24	0,205	2,957	
	855	4,7	8,11	11	3,05	5,06	0,202	2,902	
	855	4,7	8,11	17	4,22	3,89	0,203	2,925	
V. Leváre	847	4,7	7,39	5	0,49	6,9	0,064	0,929	1,096
20	847	4,7	7,39	10	1,13	6,26	0,078	1,123	
	847	4,7	7,39	16	1,94	5,45	0,089	1,288	
	847	4,7	7,39	6	0,54	6,85	0,059	0,856	
	847	4,7	7,39	14	1,53	5,86	0,078	1,121	
	847	4,7	7,39	43	4,07	3,32	0,087	1,259	
V. Leváre	900	4,7	7,38	3	0,8	6,58	0,180	2,589	2,857
30	900	4,7	7,38	8	2,18	5,2	0,206	2,962	
	900	4,7	7,38	14	3,4	3,98	0,207	2,985	
	900	4,7	7,38	4	1,08	6,3	0,186	2,677	
	900	4,7	7,38	9	2,44	4,94	0,210	3,019	
	900	4,7	7,38	13	3,165	4,215	0,203	2,916	
V. Leváre	779	4,7	8,22	4	1,06	7,16	0,162	2,336	2,560
40	779	4,7	8,22	9	2,3	5,92	0,171	2,468	
	779	4,7	8,22	15	3,59	4,63	0,180	2,590	
	779	4,7	8,22	5	1,415	6,805	0,178	2,557	
	779	4,7	8,22	8	2,26	5,96	0,189	2,720	
	779	4,7	8,22	12	3,12	5,1	0,187	2,692	
V. Leváre	803	4,7	7,7	2	2,62	5,08	0,977	14,074	13,361
50	803	4,7	7,7	1	1,31	6,39	0,876	12,621	
	803	4,7	7,7	3	3,31	4,39	0,880	12,676	

Tab.2 Prehľad hodnôt nasýtenej hydraulickej vodivosti vypočítaných metódou podľa Špačka

P č	Lokalita a hĺbka [cm]	Číslo vzorky	% zastúpenie zrnitostných kategórií				priemer zrna [mm]		K [m.d ⁻¹]	K [m.s ⁻¹]
			I	II	III	IV	d ₁₀	d ₆₀		
1	V. Leváre 10	855	3,72	2,29	3,21	90,78	0,104	0,523	8,8485	1,02E-04
2	V. Leváre 20	847	5,87	2,47	5,96	85,70	0,075	0,374	5,0714	5,87E-05
3	V. Leváre 30	900	4,65	3,20	5,94	86,21	0,078	0,468	6,3112	7,30E-05
4	V. Leváre 40	779	6,08	1,34	5,18	87,40	0,088	0,453	6,8302	7,91E-05
5	V. Leváre 50	803	4,43	1,97	4,07	89,53	0,097	0,520	8,2989	9,61E-05
6	V. Leváre 60	841	5,58	3,58	6,12	84,71	0,063	0,483	5,2957	6,13E-05
7	V. Leváre 70	826	6,28	2,90	7,05	83,77	0,063	0,364	4,2697	4,94E-05
8	V. Leváre 80	18	6,33	1,92	6,23	85,53	0,076	0,318	4,5570	5,27E-05
9	V. Leváre 90	809	4,85	1,63	6,39	87,14	0,089	0,367	5,8666	6,79E-05
10	V. Leváre 100	835	2,93	1,27	3,95	91,86	0,109	0,520	9,1807	1,06E-04
11	Kostolište 10	834	19,71	7,06	6,12	67,11	0,004	0,232	0,0759	8,78E-07
12	Kostolište 20	46	19,21	9,39	5,63	65,78	0,003	0,230	0,0670	7,75E-07
13	Kostolište 30	33	19,52	10,16	6,30	64,02	0,003	0,228	0,0645	7,47E-07
14	Kostolište 40	810	19,85	8,08	5,87	66,19	0,005	0,240	0,0903	1,05E-06
15	Kostolište 50	829	19,80	8,95	6,89	64,36	0,004	0,227	0,0871	1,01E-06
16	Kostolište 60	837	20,97	8,48	6,61	63,93	0,004	0,223	0,0817	9,46E-07
17	Kostolište 70	833	23,56	8,90	5,86	61,68	0,002	0,220	0,0463	5,36E-07
18	Kostolište 80	32	24,76	10,07	7,37	57,80	0,006	0,194	0,1139	1,32E-06
19	Kostolište 90	O5	27,55	12,72	6,84	52,89	0,006	0,177	0,1171	1,36E-06
20	Kostolište100	852	27,47	14,48	7,18	50,86	0,006	0,163	0,1270	1,47E-06
21	Kostolište110	31	18,02	26,46	7,29	48,23	0,008	0,147	0,1632	1,89E-06
22	Kostolište120	37	16,21	14,23	5,92	63,64	0,008	0,244	0,1534	1,78E-06



Obr. 2. Priebek kriviek zrnitosti pre vzorky pôdy odobraté z lokality V. Leváre



Obr. 3. Priebek kriviek zrnitosti pre vzorky pôdy odobraté z lokality Kostolište

Výsledky

Našou úlohou bolo porovnanie hodnôt nasýtenej hydraulickéj vodivosti získaných laboratórnym meraním s hodnotami vypočítanými Špačkovou metódou. Prehľad hodnôt nasýtenej hydraulickéj vodivosti pôdy nameraných v laboratóriu K_L a vypočítaných z kriviek zrnitosti podľa Špačka K_ξ sú v tab. 3.

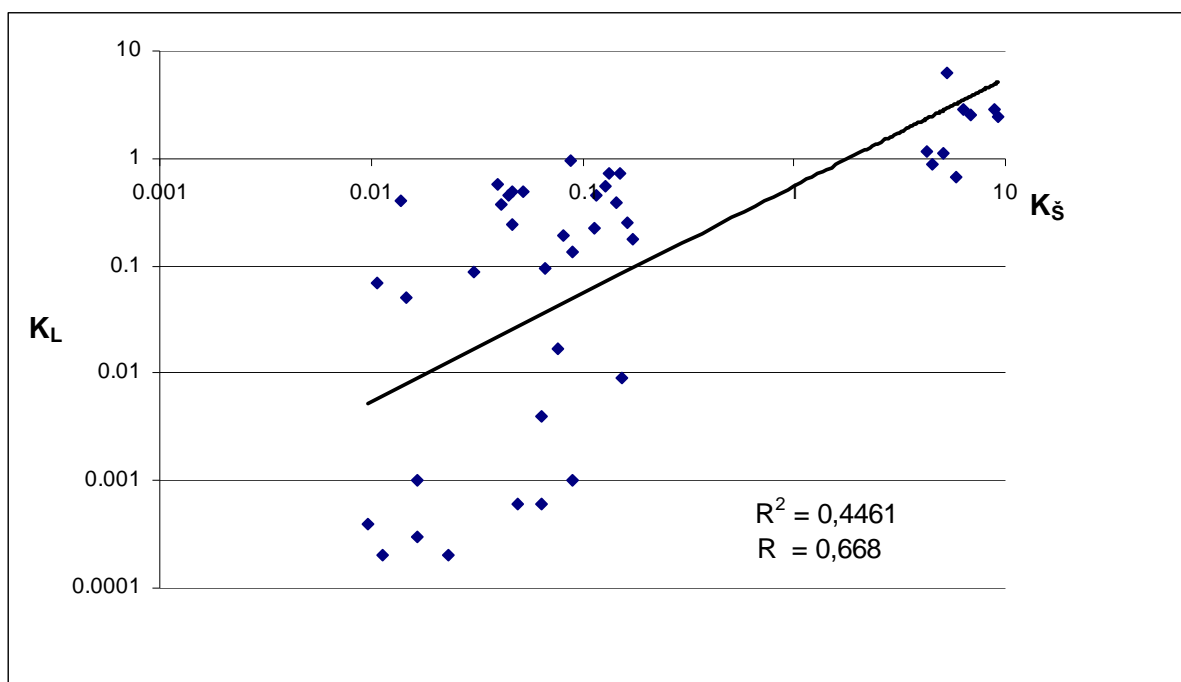
Na posúdenie závislosti medzi hodnotenými prvkami sa používa koeficient korelácie R . Pre praktické posúdenie tesnosti vzťahu pomocou koeficientu korelácie možno použiť viaceré klasifikačné stupnice. My sme použili stupnicu podľa Janka, ktorý uvádza, že korelačný súčiniteľ (Šoltész, Dzubák, 1956) :

- <0,30 udáva nízky stupeň tesnosti vzťahu a nie je príliš významný, obzvlášť pri malom rozsahu súboru,
- 0,30 – 0,50 udáva mierny stupeň tesnosti vzťahu, ak je pravdepodobná chyba malá,
- 0,50 – 0,70 ukazuje na význačnú tesnosť vzťahu,
- 0,70 – 0,90 je ukazovateľom vysokého stupňa tesnosti,
- >0,90 udáva veľmi tesný vzťah, čiže veľmi vysoký stupeň viazanosti medzi premennými.

Výsledkom korelačnej analýzy bol koeficient $R = 0,667$, ktorý patrí do intervalu 0,50 – 0,70 a teda poukazuje na význačnú tesnosť vzťahu medzi hodnotami nasýtenej hydraulickéj vodivosti vypočítanými metódou podľa Špačka K_ξ a hodnotami nameranými v laboratóriu K_L . Na obr. 4 je vynesená táto závislosť graficky. Na základe uvedeného možno konštatovať, že na určenie hodnôt nasýtenej hydraulickéj vodivosti K možno použiť aj výpočet podľa Špačka.

Tab. 3 Prehľad hodnôt nasýtenej hydraulickéj vodivosti pôdy nameraných v laboratóriu K_L a vypočítaných metódou podľa Špačka K_ξ

P	Lokalita a hĺbka	Číslo	K_L	K_ξ	K_ξ	K_L
č	[cm]	vzorky	[m.d ⁻¹]	[m.d ⁻¹]	[m.s ⁻¹]	[m.s ⁻¹]
1	V. Leváre 10	855	2,9100	8,8485	1,02E-04	3,37E-05
2	V. Leváre 20	847	1,0961	5,0714	5,87E-05	1,27E-05
3	V. Leváre 30	900	2,8579	6,3112	7,30E-05	3,31E-05
4	V. Leváre 40	779	2,5606	6,8302	7,91E-05	2,96E-05
5	V. Leváre 50	803	13,3616	8,2989	9,61E-05	1,55E-04
6	V. Leváre 60	841	6,2226	5,2957	6,13E-05	7,20E-05
7	V. Leváre 70	826	1,1520	4,2697	4,94E-05	1,33E-05
8	V. Leváre 80	18	0,8993	4,5570	5,27E-05	1,04E-05
9	V. Leváre 90	809	0,6655	5,8666	6,79E-05	7,70E-06
10	V. Leváre 100	835	2,4214	9,1807	1,06E-04	2,80E-05
11	Kostolište 10	834	0,0166	0,0759	8,78E-07	1,92E-07
12	Kostolište 20	46	0,0950	0,0670	7,75E-07	1,10E-06
13	Kostolište 30	33	0,0042	0,0645	7,47E-07	4,83E-08
14	Kostolište 40	810	0,1340	0,0903	1,05E-06	1,56E-06
15	Kostolište 50	829	0,9714	0,0871	1,01E-06	1,12E-05
16	Kostolište 60	837	0,1920	0,0817	9,46E-07	2,22E-06
17	Kostolište 70	833	0,2394	0,0463	5,36E-07	2,77E-06
18	Kostolište 80	32	0,2223	0,1139	1,32E-06	2,57E-06
19	Kostolište 90	O5	0,4473	0,1171	1,36E-06	5,18E-06
20	Kostolište 100	852	0,5527	0,1270	1,47E-06	6,40E-06
21	Kostolište 110	31	0,2531	0,1632	1,89E-06	2,93E-06
22	Kostolište 120	37	0,0094	0,1534	1,78E-06	1,09E-07



Obr. 4. Vyjadrenie závislosti hodnôt nasýtenej hydraulickej vodivosti pôdy nameraných v laboratóriu K_L a vypočítaných z kriviek zrnitosti $K_{\text{š}}$

Záver

Úlohou práce bolo analyzovať a porovnať hodnoty nasýtenej hydraulickej vodivosti získané dvomi metódami, a to metódou laboratórnou a metódou podľa Špačka. Na tento účel boli použité vzorky pôdy odobraté v rámci projektu APVV na Záhorskej nížine, v lokalitách : V. Leváre, Jakubov, Vysoká a Kostolište. Celkový počet vzoriek bol 43 vzoriek. Na stanovenie hodnôt nasýtenej hydraulickej vodivosti laboratórnou metódou sme použili zariadenie s premenlivým sklonom a pri stanovení nasýtenej hydraulickej vodivosti podľa Špačka bol vykonaný zrnitostný rozbor hustomernou metódou, na základe ktorého boli vynesené krivky zrnitosti pre jednotlivé pôdne vzorky. Z nich sa odčítali hodnoty d_{10} a d_{60} , ktoré sa použili pri výpočte. Na posúdenie závislosti medzi hodnotami nasýtenej hydraulickej vodivosti oboma metódami bola určená hodnota korelačného koeficientu $R = 0,668$, ktorá poukazuje na význačnú tesnosť medzi hodnotenými prvkami. Na základe uvedeného možno konštatovať, že na určenie hodnôt nasýtenej hydraulickej vodivosti možno použiť aj výsledky zrnitostného rozboru konkrétne v tejto práci overovanú metódu podľa Špačka.

Zoznam použitej literatúry

Špaček, J.: Stanovení koeficientu filtrace z totálních křivek zrnitosti, Meliorace, 1987, č.1, s. 1- 13
Velebný, V., Novák, V.: Hydropedológia, I. Vydanie, 230 s., SVŠT, Bratislava, 1989, ISBN 80-227-0013-4
Velebný, V.: Hydropedológia : Učebná pomôcka na cvičenia, 173 s., SVŠT, Bratislava, 1981

PodĎakovanie

Autori ďakujú za finančnú podporu z projektov APVV-0271-07, APVT-51-019804 a VEGA 1/0585/08, za pomoci ktorých vznikol tento príspevok.

Exploitation grain analysis by the specified saturated hydraulic conductivity

Task of the thesis was to analyze and compare the values of saturated hydraulic conductivity obtained by two methods: laboratory methods and the method according to Špaček. The 43 soil samples taken at Záhorská nížina were used for this purpose. To determine the values of saturated hydraulic conductivity by laboratory method, we used a device with variable slope. For determining the saturated hydraulic conductivity according to Špaček was performed densimetric method from which we made grain curves for each soil sample. The values d_{10} and d_{60} were subtracted from grain curves, which were used in the calculation. To assess the dependence between the values of saturated hydraulic conductivity of this two methods was determined correlation coefficient $R = 0.668$, which indicating a high relation between the evaluated elements. On this basis, it can be concluded that for the determination of saturated hydraulic conductivity can be used also the computing method by Špaček.

Ing. Juraj Jánošík

Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta STU
Radlinského 11, 813 68 Bratislava
juraj.janosik@stuba