

Štatistická analýza hydraulické vodivosti pôdy v povodí rieky Hron

Statistical analysis of the hydraulic conductivity in the Hron catchment

Peter Šurda¹, Vlasta Štekauerová², Viliam Nagy³

^{1,2,3}Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava

Abstrakt

Cieľom príspevku je vyhodnotenie variability nameraných hodnôt hydraulické vodivosti pôdných druhov vyskytujúcich sa v povodí rieky Hron. Na stanovenie hodnôt K bola použitá laboratórna metóda merania v Kopeckého valčekoch s premenlivým hydraulickým sklonom. Odobratých bolo 91 vzoriek reprezentujúcich 4 pôdne druhy v dvoch intervaloch hĺbok pôdneho profilu; intervalu hĺbky 15-20 cm a hĺbky 40-45 cm pôdneho profilu. Súbory hodnôt nasýtenej hydraulické vodivosti, reprezentujúce jednotlivé pôdne druhy boli štatisticky vyhodnotené s pomocou aplikácie EasyFit 5.5 s cieľom popísať variabilitu tejto základnej hydrofyzikálnej charakteristiky pôdy.

Kľúčové slová: nasýtená hydraulická vodivosť, variabilita, pôdny druh, povodie

Abstract

The goal of this paper was to evaluate the variability of measured values of saturated hydraulic conductivity (K) of the soil types, which occurs in the Hron catchment. The laboratory falling head method was used for the estimation of the K values. We have taken 182 samples, representing 4 soil types in the two intervals of the soil profile depth, 15-20 and 40-45cm below the soil surface. The datasets of the values of saturated hydraulic conductivity, representing individual soil types were statistically evaluated through the use of software application EasyFit 5.5 with the aim to describe this essential hydrophysical characteristic.

Keywords: saturated hydraulic conductivity, variability, soil type, catchment

Úvod

Hodnota hydraulické vodivosti patrí medzi základné hydrofyzikálne charakteristiky pôdy a spolu s retenčnou krivkou sú to charakteristiky najdôležitejšie. Nameranie alebo stanovenie jej reprezentatívnej hodnoty je veľmi dôležité, pretože hodnota nasýtenej hydraulické vodivosti jednak charakterizuje vodivostné pomery pôdných vrstiev, resp. určitých vybraných oblastí pre rôzne účely a jednak je to kľúčový parameter pri matematickom modelovaní

vodného režimu pôd, ktorý patrí v súčasnosti medzi najproduktívnejšie metódy kvantifikácie vodného režimu pôd.

Na základe výsledkov mnohých vedeckých štúdií možno povedať, že hodnoty hydrofyzikálnych vlastností pôd sa značne líšia aj na malej ploche merania, osobitne to platí o hodnotách hydraulickej vodivosti, ktorých koeficienty variácie pri takýchto meraniach môžu presahovať 100 %. Anizotropia hydraulickej vodivosti je dôležitá najmä pri 2D a 3D modelovaní prúdenia vody a prenosu látok v nehomogénnej pôde. Pri rôznych pokusoch so stopovacími látkami sa zistilo, že prúdenie a prienik vody cez zónu aerácie pôdy je vysoko heterogénny jav na úrovni mierky metrovej ako aj centimetrovej a väčšej. Smer prúdenia ovplyvňujú zvyčajne štruktúrne rozhrania. Na povrchu pôdy pôdne agregáty, vznikajúce pri odlišnom spôsobe obrábania, podpovrchové rastlinné zvyšky v prechodnej zóne medzi vrchným a podložným horizontom alebo ukončenia spojitých biopórov v podložnom horizonte. Rýchlosť pretekania vody pôdou je silne ovplyvnená prítomnosťou preferovaných ciest v pôde, ktorými voda preteká rýchlejšie ako pôdnou matricou. Prítomnosť preferovaných ciest najviac ovplyvňuje hodnotu nasýtenej hydraulickej vodivosti. Určiť vplyv preferovaných ciest je možné pri meraní podtlakovým infiltrometrom.

Hydraulická vodivosť závisí od štruktúry a textúry pôdy. Jej merania sú preto silno ovplyvňované heterogénnosťou pôdneho zloženia ako aj všetkými procesmi, prirodzenými alebo antropogénnymi, ktoré menia štruktúru pôdy. Priestorová variabilita hydraulickej vodivosti sa prejavuje v horizontálnych smeroch ako aj v smere vertikálnom. Vyššia vodivosť vo vertikálnom smere ako v smeroch horizontálnych sa podľa niektorých autorov prejavuje najmä v pôdach s dobre vytvorenou štruktúrou, t.j. s vysokým obsahom pôdných agregátov. Naopak vyššia vodivosť v smeroch horizontálnych bola pozorovaná v zvrstvených a utlačených pôdach. Pôdna štruktúra je javom dynamickým, čo môže byť príčinou protirečiacich si výsledkov podobných vedeckých štúdií. Najčastejšou príčinou variability hydraulickej vodivosti v čase najmä vo vrchných pôdných horizontoch sú sezónne agrotechnické zásahy, meniace štruktúru pôdy, stabilita pôdných agregátov, sadanie, pokles a zhutňovanie pôdy, tvorba pôdných puklín v suchom období a tvorba pôdných biopórov. Štatistické rozdelenie hodnôt hydraulickej vodivosti závisí vo veľkej miere na priestorovej mierke daného merania. To znamená, že rozptyl nameraných hodnôt hydraulickej vodivosti je vždy funkciou veľkosti vzorky, vysoké koeficienty variácie sú typické pre malé vzorky, v ktorých sa môžu naplno prejaviť štruktúrne funkcie, ktoré umožňujú vznik extrémnych

podmienok prúdenia napr. spojený makropór alebo zhutnená vrstva pôdy bez neporušených agregátov.

Metódy stanovenia nasýtenej hydraulickej vodivosti, pokrývajú celú škálu metód, ktoré je možné použiť za určitých podmienok a za určitým cieľom. Delia sa na terénne metódy a laboratórne metódy. Pomocou terénnych metód sa stanovuje nasýtená hydraulická vodivosť pôdy z relatívne veľkej vzorky a zohľadňuje sa pohyb vody v matici a aj v preferovaných cestách vytvorených v biologicky aktívnom pôdnom profile edafónom, zoofónom, chemickými a mechanickými pochodmi v pôde (Kutílek, 1994). Nevýhodou však je to, že v poľných pomeroch sa obtiažne určí hydraulický sklon.

Medzi terénne metódy stanovenia nasýtenej hydraulickej vodivosti pôdy patria:

- *jednosondová metóda* (meranie za prítomnosti HPV, zmeria sa nasýtená hydraulická vodivosť v horizontálnom smere)
- *piezometrická metóda* (meranie za prítomnosti HPV, zmeria sa nasýtená hydraulická vodivosť v horizontálnom i vo vertikálnom smere)
- *metóda plnenej sondy* (meranie za neprítomnosti HPV, zmeria sa nasýtená hydraulická vodivosť v horizontálnom smere)
- *čerpacia skúška*
- *vsakovací pokus* (meranie za neprítomnosti HPV, zmeria sa nasýtená hydraulická vodivosť vo vertikálnom smere)
- *stanovenie vsakovacou aparátúrou typu Bouwera*
- *stanovenie Guelphským permeametrom* (meranie za neprítomnosti HPV, zmeria sa nasýtená hydraulická vodivosť, ktorá je výsledkom hydraulickej vodivosti v horizontálnom a vo vertikálnom smere)
- *stanovenie diskovým permeametrom* (zmeria sa nasýtená hydraulická vodivosť pôdnej matrice)

V laboratóriu meriame nasýtenú hydraulickú vodivosť na filtračných prístrojoch rozličnej konštrukcie, ktoré pri meraní nasýtenej hydraulickej vodivosti využívajú konštantný alebo premenlivý hydraulický sklon:

- *meranie hydraulickej vodivosti na zariadení s konštantným hydraulickým sklonom*
- *meranie hydraulickej vodivosti na zariadení s premenlivým hydraulickým sklonom*

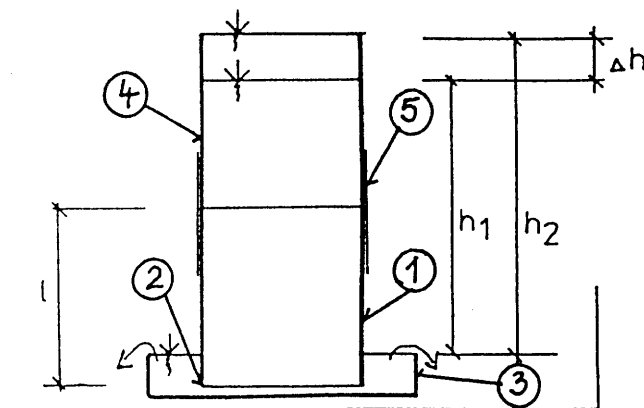
Prakticky každá metóda má obmedzenia, nedostatky a pri jej použití sa dopúšťame celej rady chýb. Ale rešpektovaním určitých obmedzení a odstránením subjektívnych chýb (resp. ich znížením na minimum), je možné dosiahnuť relatívne reprezentatívne výsledky.

Materiál a metódy

Meranie hydraulickej vodivosti na zariadení s premenlivým hydraulickým sklonom

Zásadne ju stanovujeme na neporušených vzorkách, odobratých z pôdy do odberných valčekov. Vzorky pôdy odoberáme do nehrdzavejúcich valčekov alebo valčekov z umelej hmoty veľkosti 100 cm³. Valček zatlačáme do pôdy ručne, pomocou pákového zdviháka alebo hydraulického mechanizmu miernym tlakom. Pri prevoze do laboratória treba zabrániť mechanickému porušeniu vzorky. Preto je výhodnejšie merať priamo v teréne (vylúčenie nepriaznivých dôsledkov transportu). Pred samotným meraním musíme pôdne vzorky nasýtiť vodou. Odberné valčky položené na filtračnom papieri a drôtenom site vkladáme do vodného kúpeľa. Hladina vody vo vodnom kúpeli má siahať 5 mm pod horný okraj valčeka. Nasycovanie podľa druhu pôdy a výšky valčeka má trvať 6 - 24 h.

Jednoduchý variant tejto metódy merania predstavuje úprava znázornená na Obr.1.



Obr.1. Zjednodušené zariadenie na meranie nasýtenej hydraulickej vodivosti pôdy s premenlivým hydraulickým sklonom. (1 - odberný valček so vzorkou pôdy, 2 - filtračný papier a drôtené sitko, 3 - Petriho miska, 4 – nadstavec, 5 – tesnenie).

Vzťah (1) pre výpočet K podľa Obr.1

$$K = \frac{l}{\Delta t} \cdot \ln \frac{h_2}{h_1} \quad [cm \cdot s^{-1}] \quad (1)$$

kde

- K = nasýtená hydraulická vodivosť
- l = výška vzorky

-h1,h2 = vid' Obr.1

Zájmové územie

Zájmovým územím je povodie rieky Hron, vybrané body pre odbery vzoriek sú uvedené v Tab.1.

Tab.1. Lokality odberu vzoriek pre určenie K

Číslo lokality	Lokalita	Zem. šírka	Zem. dĺžka	Pôdny druh
1	Euba	47,86681°	18,59672°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
2	Kamenín	47,89561°	18,63922°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
3	Bíňa	47,92797°	18,64053°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
4	Čata	47,96294°	18,65133°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
5	Veľký Dvor	48,04475°	18,60481°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
6	Želiezovce	48,09575°	18,64189°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
7	Gbelce	47,85514°	18,51919°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
8	Bruty	47,90953°	18,52906°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
9	Bruty1	47,92747°	18,54844°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
10	Kuraľany	47,97861°	18,53678°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
11	Veľký Dvor2	48,04336°	18,60153°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
12	Šárovce	48,09656°	18,58625°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
13	Tekovské Lužany	48,09950°	18,59822°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
14	Nová Vieska	47,86436°	18,47489°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
15	Svodín	47,89339°	18,52906°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
16	Ludince	47,95783°	18,51569°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
17	Farné	47,96639°	18,51872°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
18	Čaka	48,02547°	18,46906°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
19	Plavé Vozokany	48,09792°	18,52772°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
20	Bajka	48,11989°	18,64825°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
21	Tekovské Lužianky	48,18700°	18,51725°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
22	Strekov	47,89372°	18,41150°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
23	Dubník	47,97342°	18,40692°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
24	Rúbané	47,92683°	18,37344°	ľahké pôdy
25	Jasová	47,99119°	18,40711°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
26	Kolta	48,02222°	18,02222°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
27	Dedinka	48,10536°	18,40319°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
28	Dolný Pial	48,14219°	18,45806°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
29	Lok	48,19022°	18,45281°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
30	Rohožnica	48,21197°	18,45844°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
31	Nový Tekov	48,25597°	18,51242°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
32	Kamenný Most	47,84728°	18,66628°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
33	Nána	47,81667°	18,70197°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
34	Pavlová	47,90761°	18,67944°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
35	Sikenička	47,92897°	18,69367°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
36	Zalaba	47,96525°	18,73992°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
37	Malé Ludince	47,99744°	18,70161°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
38	Šalov	48,01061°	18,71544°	stredne ťažké pôdy - ľahšie

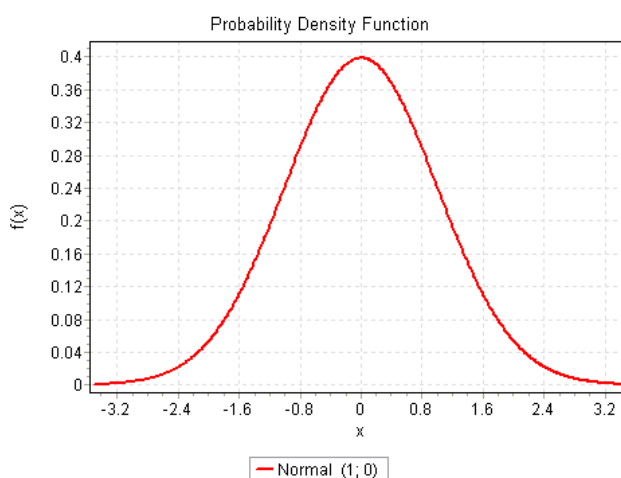
39	Kamenica	47,87078°	18,63608°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
40	Kamenín	47,90586°	18,63364°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
41	Bíňa	47,92947°	18,64208°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
42	Čata	47,96431°	18,65100°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
43	Pohronský Ruskov	47,99361°	18,65339°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
44	Želiezovce	48,02603°	18,65511°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
45	Látky	48,57711°	19,63892°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
46	Detvianska Huta	48,56692°	19,59719°	ľahké pôdy
47	Detvianska Huta2	48,56981°	19,57131°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
48	Hriňová	48,58611°	19,50986°	ľahké pôdy
49	Korytársky Mittarovci	48,53478°	19,48669°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
50	Korytársky Mittarovci2	48,54606°	19,46383°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
51	Stožok	48,53947°	19,35333°	ťažké pôdy
52	Pstruška	48,54806°	19,30397°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
53	Zolná	48,58778°	19,23233°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
54	Sielnica	48,62781°	19,12164°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
55	Budča	48,57197°	19,05442°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
56	Pitelová	48,60042°	18,94647°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
57	Lúčky	48,69464°	18,89825°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
58	Lutica	48,60847°	18,83211°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
59	Jánova Lehota	48,65369°	18,77533°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
60	Lovča	48,56586°	18,79981°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
61	Lehôtka pod Brehmi	48,54217°	18,79836°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
62	Bzenica	48,53319°	18,73394°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
63	Kozárovce1	48,33378°	18,49292°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
64	Kozárovce2	48,32394°	18,51267°	ťažké pôdy
65	Tesárske Nemce	48,34547°	18,54078°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
66	Tlmače	48,28561°	18,54281°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
67	Čakajov	48,28858°	18,59444°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
68	Hontianske Kosihy	48,27044°	18,58458°	ťažké pôdy
69	Tekovská Ves	48,26639°	18,61475°	ťažké pôdy
70	Drženice	48,30336°	18,69953°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
71	Pukanec	48,33936°	18,73831°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
72	Bátovce	48,30844°	18,72261°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
73	Podlužany	48,24911°	18,61900°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
74	Kalnica	48,21564°	18,51208°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
75	Dolná seč	48,18456°	18,57336°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
76	Jur nad Hronom	48,13683°	18,63083°	ťažké pôdy
77	Starý Hrádok	48,15339°	18,64728°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
78	Kalinčiakovo	48,20361°	18,65225°	stredne ťažké pôdy - ťažšie
79	Čankov	48,18853°	18,72183°	ťažké pôdy
80	Trhyňa	48,05047°	18,69028°	ťažké pôdy
81	Tekovský Hrádok	48,15614°	18,56189°	ťažké pôdy
82	Telgárt1	48,84850°	20,19092°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
83	Telgárt2	48,84169°	20,18261°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
84	Zlatno	48,84169°	20,09922°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
85	Pohorelá	48,85872°	20,01117°	ľahké pôdy
86	Heľpa	48,86075°	19,98314°	stredne ťažké pôdy - ľahšie

87	Polomka1	48,85169°	19,88531°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
88	Polomka2	48,85133°	19,84572°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
89	Čierny Balog1	48,25336°	19,62997°	ľahké pôdy
90	Čierny Balog2	48,75483°	19,62836°	stredne ťažké pôdy - ľahšie
91	Čierny Balog Pusté	48,73350°	19,68361°	stredne ťažké pôdy - ľahšie

Štatistické zhodnotenie

Výsledky meraní, t.j. určité empiricky získané rozdelenie početností, sa považuje za náhodný výber zo súboru veličín, ktorých rozdelenie bolo odvodené teoreticky. Teoretické rozdelenie početnosti sa považuje za matematický model daného empirického rozdelenia, pomocou ktorého je možné vysvetliť výsledky daného merania. Teoretických početností je viacero a ich podrobné charakteristiky je možné nájsť v prácach zaoberajúcich sa teóriou matematickej štatistiky.

- *Normálne rozdelenie.* Je v praxi najčastejšie sa vyskytujúcim rozdelením. Až 70% merateľných premenných sa riadi touto frekvenčnou funkciou. Frekvenčná funkcia normálneho rozdelenia je funkciou hustoty rozdelenia pravdepodobnosti a má tvar



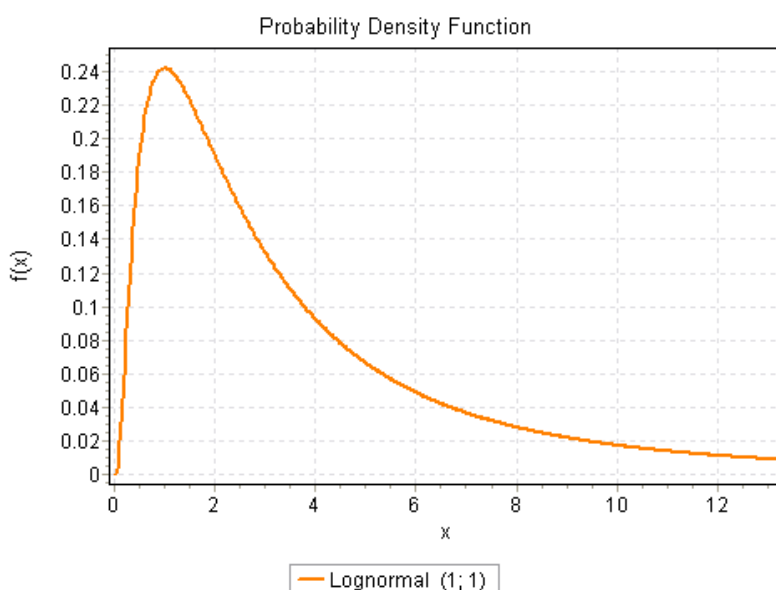
Obr. 2. Gaussova krivka normálneho rozdelenia

Najpočetnejší výskyt znakov má hodnotu priemeru a početnosť výskytu nad a podpriemerných hodnôt rovnakej odchýlky od priemeru je rovnaký. Normálne rozdelenie jednoznačne charakterizujú stredná hodnota a rozptyl. Rozdelenie je symetrické. Na poznaní či empirické dáta sú zhodné s teoretickým rozdelením početnosti je postavená celá štatistická analýza dát. Tzv. normalita dát je základným predpokladom mnohých štatistických analýz. Je preto nevyhnutné overiť, či empirické dáta spĺňajú tento predpoklad.

Pre spojité náhodné premenné (ak nejde o normálne rozdelenie) sa najčastejšie používajú:

- *Lognormálne rozdelenie.* Logaritmicke-normálne rozdelenie sa používa často na modelovanie ekonomických veličín, stretávame sa s ním aj v modeloch antropometrických dát, pri opise veľkosti častíc disperzných fáz kovových materiálov alebo veľkosti častíc sypkých materiálov alebo v teórii spoľahlivosti. Náhodná premenná X má logaritmicke-normálne rozdelenie s parametrami μ a σ^2 , pričom $\mu \in R$, $\sigma > 0$, ak jej hustota pravdepodobnosti sa rovná

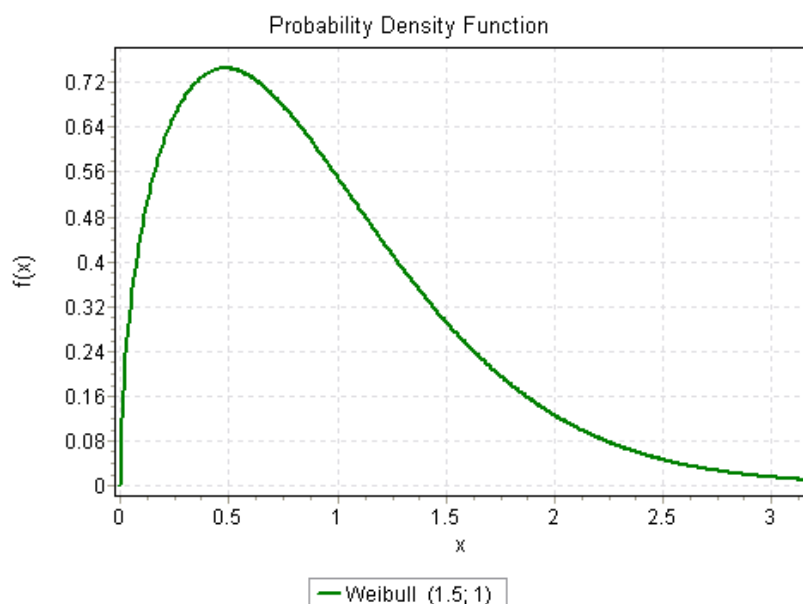
$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right], & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases}$$



Obr.3. Tvar funkcie hustoty pravdepodobnosti pri logaritmicke-normálnom rozdelení

- *Weibullovo rozdelenie.* Náhodná premenná X má Weibullovo rozdelenie pravdepodobnosti s parametrami δ a c , pričom $\delta > 0$, $c > 0$, ak má hustotu pravdepodobnosti

$$f(x) = \begin{cases} \frac{cx^{c-1}}{\delta^c} \exp\left[-\left(\frac{x}{\delta}\right)^c\right] & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases}$$



Obr.4. Hustota pravdepodobnosti Weibullovo rozdelenia pre $\delta=1,5$ $c=1$

Pre grafické posúdenie či dáta pochádzajú z nejakého známeho rozdelenia sa používajú:

- *Kvantil-kvantilový graf (graf Q-Q)*, (os x : $Q_T(P_i)$, os y : $x_{(i)}$) umožňuje posúdiť zhodu vybraného empirického rozdelenia, charakterizovaného kvantilovou funkciou $Q_E(P)$ s kvantilovou funkciou zvoleného teoretického rozdelenia $Q_T(P)$. Pre odhad kvantilovej funkcie výberu hodnôt sa používajú charakteristiky prvkov výberu $x_{(i)}$ usporiadané vzostupne ($x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$). Pri zhode vybraného empirického rozdelenia hodnôt so zvoleným teoretickým rozdelením musí platiť približná rovnosť kvantilov $x_{(i)} = Q_T(P_i)$, kde P_i je pravdepodobnosť výskytu prvkov výberu $x_{(i)}$ usporiadaných vzostupne. Ak je rozdelenie výberu zhodné so zvoleným teoretickým rozdelením, je závislosť $x_{(i)}$ na $Q_T(P_i)$ lineárna a výsledná závislosť sa nazýva graf Q-Q. Tesnosť lineárnej závislosti experimentálnych bodov je možné posúdiť korelačným koeficientom a využiť ho ako rozhodujúce kritérium pri hľadaní typu reoretického rozdelenia.
- *Pravdepodobnostný graf (P-P graf)*, (os x : P_i , os y : $F_T(S_{(i)})$). Pravdepodobnostné grafy sú alternatívou ku Q-Q grafom. Využívajú sa na porovnanie distribučnej

funkcie výberu, vyjadrenej pomocou pravdepodobnosti výskytu prvkov výberu $x_{(i)}$ usporiadaných vzostupne, so štandardizovanou distribučnou funkciou zvoleného teoretického rozdelenia. Štandardizovaná premenná je definovaná vzťahom: $S_{(i)} = (x_i - Q)/R$, kde Q je parameter polohy alebo prahová hodnota a R je parameter rozptylu alebo aj parameter mierky.

Pri analýze súborov nameraných hodnôt K bol použitý software EasyFit 5.5 od firmy MathWave Technologies (<http://www.mathwave.com/company.html>), ktorým bolo štatisticky vyhodnotené ktorá funkcia teoretického rozdelenia najviac zodpovedá rozdeleniu nameraných hodnôt, t.j. bolo vytvorené poradie dostupných a najviac vyhovujúcich rozdelení, pričom ranking bol urobený na základe Anderson-Darlingovho testu a Kolmogorov-Smirnovovho testu.

Kolmogorov-Smirnovov test (alebo skrátene K-S test) je v teórii pravdepodobnosti a matematickej štatistike neparametrický test. Jeho testovacia štatistika sleduje najväčšiu odchýlku medzi teoretickou distribučnou funkciou (ktorú označujeme $F(x)$) a empirickou distribučnou funkciou (ktorá sa označuje $F_n(x)$), respektíve medzi dvoma empirickými distribučnými funkciami. Empirickú distribučnú funkciu získame z náhodného výberu. Týmto testom sledujeme, či jednorozmerná náhodná veličina má predpokladané, čiže teoretické rozdelenie. V takomto prípade hovoríme o jednovýberovom teste.

Výsledky a diskusia

Cieľom príspevku je vyhodnotenie variability nameraných hodnôt hydraulickej vodivosti pôdnych druhov vyskytujúcich sa v povodí rieky Hron. V rámci záujmového povodia bolo vybraných 91 lokalít z ktorých boli odobraté pôdne vzorky z hĺbok 15-20 a 40-45 cm. Na týchto 182 vzorkách bola na zariadení s premenlivým hydraulickým sklonom stanovená hodnota nasýtenej hydraulickej vodivosti K [cm/min]. Na základe pôdnej mapy boli rovnomerne vybrané lokality, s pôdnymi druhmi zastúpenými v zájmovom povodí. V rámci tohoto povodia sú to

- ľahké pôdy
- stredne ťažké pôdy – ľahšie
- stredne ťažké pôdy – ťažšie
- ťažké pôdy

Výsledky meraní, t.j. určité empiricky získané rozdelenie početností, sa považujú za náhodný výber zo súboru veličín, ktorých rozdelenie bolo odvodené teoreticky. Teoretické rozdelenie početnosti sa považuje za matematický model daného empirického rozdelenia, pomocou ktorého je možné vysvetliť výsledky daného merania. T.j. cieľom práce bolo nájsť teoretické rozdelenie početnosti, ktoré by najviac zodpovedalo empirickému rozdeleniu súboru nameraných hodnôt. Predpokladom bolo, na základe výsledkov práce Štekauerová, Mikulec (2009) a Mikulec (2005), že hodnoty K majú lognormálne rozdelenie početnosti.

Kvôli veľkosti testovaných súborov sú uvádzané len výsledky pre pôdne druhy stredne ťažké pôdy – ťažšie a stredne ťažké pôdy – ľahšie.

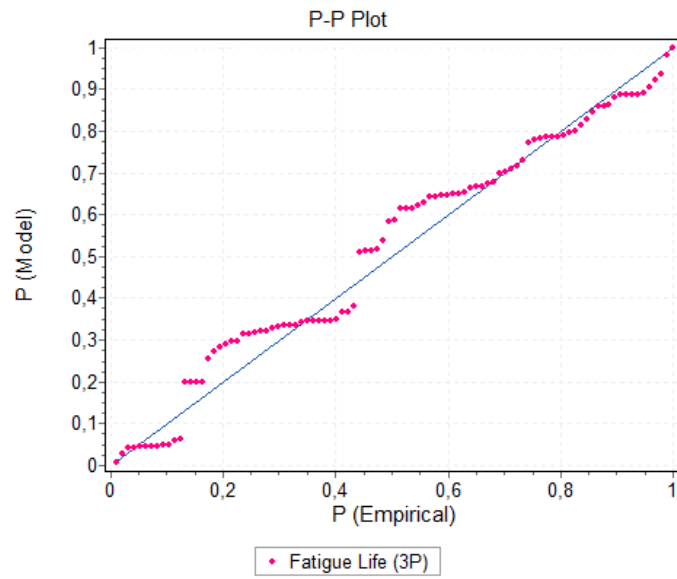
Stredne ťažké pôdy – ťažšie

Na základe štatistickej analýzy (Tab.2) možno povedať že najviac empirickému rozdeleniu zodpovedá Birnbaum–Saundersove (Fatigue life distribution) rozdelenie (1,3), vyhovujúce sú aj Weibullovo (3,1) a lognormálne (5,4) rozdelenie.

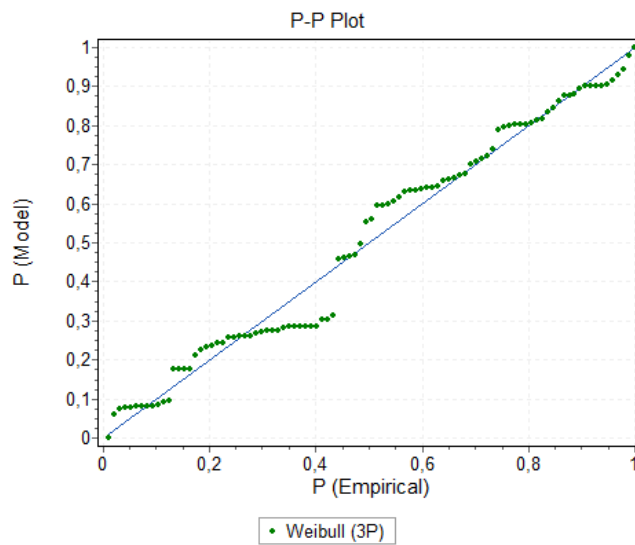
P-P grafy vybraných rozdelení sú uvedené ako Obr.5 – 7.

Tab.2. Poradie dostupných a najviac vyhovujúcich teoretických rozdelení, na základe Anderson-Darlingovho testu a Kolmogorov-Smirnovovho testu

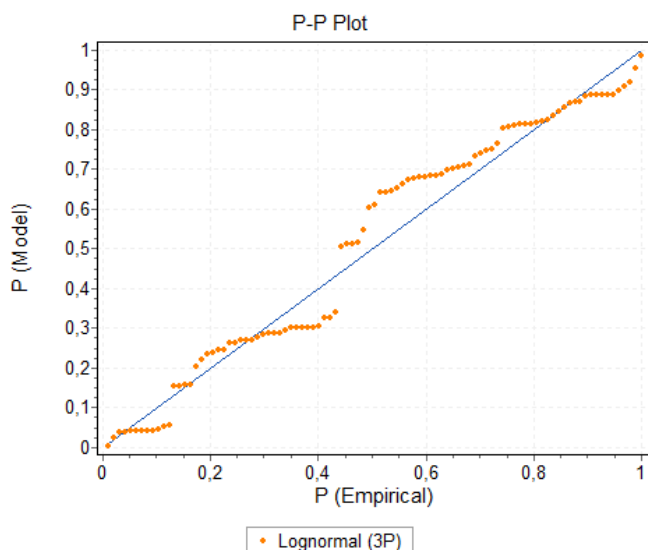
Rozdelenie	Kolmogorov Smirnov		Rozdelenie	Anderson Darling	
	Statistic	Rank		Statistic	Rank
Fatigue Life (3P)	0,10762	1	Weibull (3P)	1,1186	1
Gamma (3P)	0,11836	2	Fatigue Life (3P)	1,3388	2
Weibull (3P)	0,11897	3	Fatigue Life	1,7098	3
Gen. Gamma (4P)	0,11962	4	Lognormal	1,7657	4
Lognormal	0,13543	5	Log-Logistic (3P)	1,9258	5
Log-Logistic (3P)	0,13693	6	Dagum (4P)	2,2393	6
Dagum (4P)	0,13734	7	Log-Pearson 3	2,2607	7
Levy	0,13931	8	Lognormal (3P)	2,2741	8
Dagum	0,15353	9	Burr	2,2919	9
Frechet (3P)	0,15711	10	Levy	2,3668	10



Obr.5. P-P graf: Birnbaum–Saundersove (Fatigue life) rozdělení (středně těžké půdy – těžšie)



Obr.6. P-P graf: Weibullovo rozdělení (středně těžké půdy – těžšie)



Obr.7. P-P graf: Lognormálne rozdelenie (stredne ťažké pôdy – ťažšie)

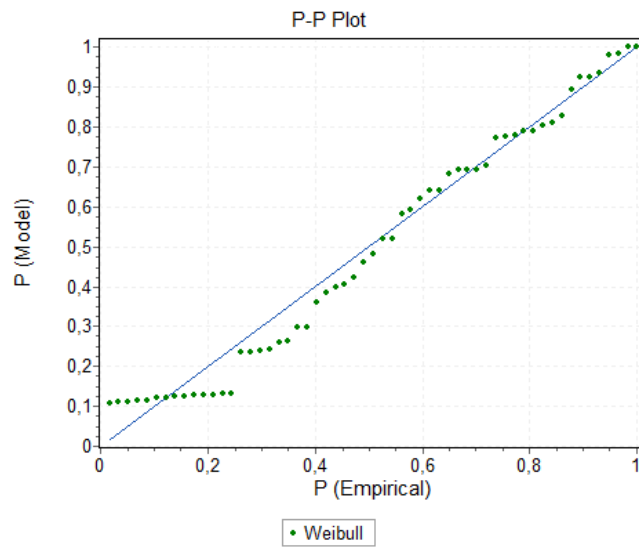
Stredne ťažké pôdy – ľahšie

Na základe štatistickej analýzy (Tab.2) možno povedať že najviac empirickému rozdeleniu zodpovedá Weibullovo rozdelenie (2,4), vyhovujúce sú aj lognormálne (6,6) a Burrovo (5,2) rozdelenie.

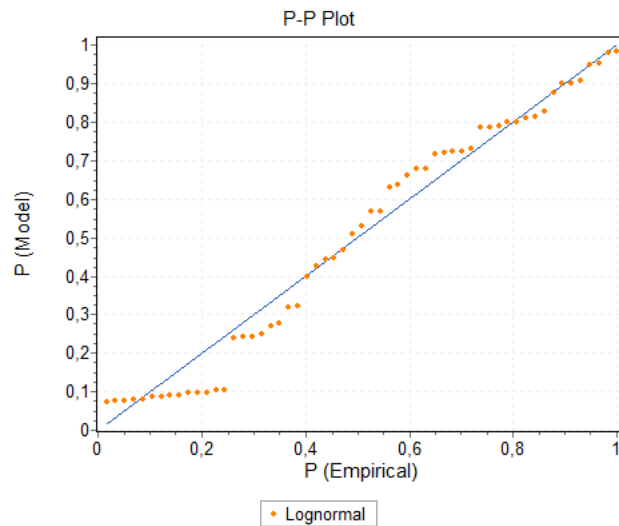
P-P grafy vybraných rozdelení sú uvedené ako Obr.5 – 7.

Tab.3. Poradie dostupných a najviac vyhovujúcich teoretických rozdelení, na základe Anderson-Darlingovho testu a Kolmogorov-Smirnovovho testu

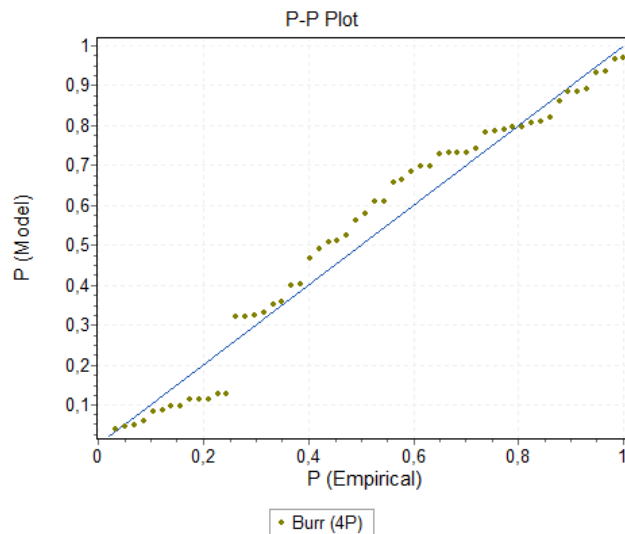
Rozdelenie	Kolmogorov Smirnov		Rozdelenie	Anderson Darling	
	Statistic	Rank		Statistic	Rank
Gen. Gamma (4P)	0,09676	1	Fatigue Life	0,89186	1
Weibull	0,1123	2	Burr (4P)	0,91869	2
Gamma (3P)	0,11638	3	Kumaraswamy	1,02	3
Johnson SB	0,11738	4	Weibull	1,0322	4
Burr (4P)	0,1193	5	Log-Pearson 3	1,0372	5
Lognormal	0,12387	6	Lognormal	1,0412	6
Weibull (3P)	0,12387	7	Log-Logistic	1,0863	7
Burr	0,12667	8	Pearson 6	1,092	8
Log-Logistic	0,12792	9	Gen. Pareto	1,1563	9
Kumaraswamy	0,13217	10	Pareto 2	1,1943	10



Obr.8. P-P graf: Weibullovo rozdelenie (stredne ťažké pôdy – ľahšie)



Obr.9. P-P graf: Lognormálne rozdelenie (stredne ťažké pôdy – ľahšie)



Obr.10. P-P graf: Burrovo rozdelenie (stredne ťažké pôdy – ľahšie)

Záver

V rámci záujmového povodia (Hron) bolo vybraných 91 lokalít z ktorých boli odobraté pôdne vzorky z hĺbok 15-20 a 40-45 cm. Na týchto 182 vzorkách bola na zariadení s premenlivým hydraulickým sklonom stanovená hodnota nasýtenej hydraulickej vodivosti K [cm/min].

Kvôli veľkosti testovaných súborov sú uvádzané výsledky pre pôdne druhy: stredne ťažké pôdy – ťažšie a stredne ťažké pôdy – ľahšie.

Cieľom práce bolo nájsť teoretické rozdelenie početnosti, ktoré by najviac zodpovedalo empirickému rozdeleniu súboru nameraných hodnôt. Predpokladom bolo, že hodnoty K nemajú normálne rozdelenie početnosti.

Pri analýze súborov nameraných hodnôt K bol použitý software EasyFit 5.5 od firmy MathWave Technologies (<http://www.mathwave.com/company.html>), ktorým bolo štatisticky vyhodnotené, ktorá funkcia teoretického rozdelenia najviac zodpovedá rozdeleniu nameraných hodnôt, t.j. bolo vytvorené poradie dostupných a najviac vyhovujúcich rozdelení, pričom ranking bol urobený na základe Anderson-Darlingovho testu a Kolmogorov-Smirnovovho testu.

Na základe Tab.2 a 3 a Obr.5-10, možno povedať, že najviac empirickému rozdeleniu zodpovedá Weibullovo rozdelenie a lognormálne rozdelenie. Burrovo a Birnbaum-Saundersove rozdelenie vyhovuje menej.

Literatúra

Bagarello, V., Sferlazza, S., Sgroi, A. 2009. Testing laboratory methods to determine the anisotropy of saturated hydraulic conductivity in a sandy-loam soil. *Geoderma*, Volume 154, Issues 1–2, 15 December 2009, Pages 52-58

Bagarello, V., Sgroi, A. 2007. Using the simplified falling head technique to detect temporal changes in field-saturated hydraulic conductivity at the surface of a sandy loam soil. *Soil and Tillage Research*, Volume 94, Issue 2, June 2007, Pages 283-294

Bodner, G., Loiskandl, W., Buchan, G., Kaul, H.-P. 2008. Natural and management-induced dynamics of hydraulic conductivity along a cover-cropped field slope. *Geoderma*, Volume 146, Issues 1–2, 31 July 2008, Pages 317-325

Comegna, V., Damiani, P., Sommella, A. 2000. Scaling the saturated hydraulic conductivity of a vertic ustorthens soil under conventional and minimum tillage. *Soil and Tillage Research*, Volume 54, Issues 1–2, March 2000, Pages 1-9

Ebina, T., Minja, R. J.A., Nagase, T., Onodera, Y., Chatterjee, A. 2004. Correlation of hydraulic conductivity of clay–sand compacted specimens with clay properties. *Applied Clay Science*, Volume 26, Issues 1–4, August 2004, Pages 3-12

Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics*, Academic Press, 385 p.

Hwang, S. I., Hong, S. P. 2006. Estimating relative hydraulic conductivity from lognormally distributed particle-size data. *Geoderma*, Volume 133, Issues 3–4, August 2006, Pages 421-430

Kutílek, M., Nielsen D.R. 1994. *Soil Hydrology. GeoEcology textbook*. Co Catena VERLAG, Cremlingen-Dested, Germany, 370 p.

Mikulec, V. 2005. Impact of Saturated Hydraulic Conductivity of Soils on Numerical Simulation of Soil Water Movement. Eds. W. Skierucha, R. T. Walczak. *Monitoring and Modeling the Properties of Soil as Porous Medium*. ISBN 83-87385-95-6, Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, , 86-94.

Petersen, C.T., Trautner, A., Hansen, S. 2008. Spatio-temporal variation of anisotropy of saturated hydraulic conductivity in a tilled sandy loam soil. *Soil and Tillage Research*, Volume 100, Issues 1–2, July–August 2008, Pages 108-113

Soracco, G. C., Lozano, L.A., Sarli, G. O., Gelati, P. R., Filgueira, R.R. 2010. Anisotropy of Saturated Hydraulic Conductivity in a soil under conservation and no-till treatments. *Soil and Tillage Research*, Volume 109, Issue 1, July 2010, Pages 18-22

Štekauerová, V., Mikulec, V. 2009. Variability of saturated hydraulic conductivities in the agriculturally cultivated soils. *Soil and Water Research*, ISSN 1801-5395, vol. 4, 4, pp. 14-21

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou pre podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory č. APVV-0139-10, APVV MVTS SK-CZ-0192-11 a grantovou agentúrou VEGA 2/0083/11. Táto publikácia bola vytvorená realizáciou projektu ITMS 26220120062 Centrum excelentnosti pre integrovaný manažment povodí v meniacich sa podmienkach prostredia, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Kontakt:

Ing. Peter Šurda, PhD.

Ústav hydrológie SAV

Račianska 75, 831 02 Bratislava

tel: +421268253, e-mail: surda@uh.savba.sk