

VYUŽITIE PEDOTRANSFERNÝCH FUNKCIÍ NA URČENIE HYDROLIMITOV

ESTIMATION OF THE HYDROLIMITS USING PEDOTRANSFER FUNCTIONS

¹Skalová, J., ²Štekauerová, V., Šútor, J.

¹Stavebná fakulta, STU Bratislava, Katedra vodného hospodárstva krajiny, Radlinského 11, 813 68 Bratislava ☎ 07/ 59274 618 a 59274626 , E-mail: skalova@svf.stuba.sk

²Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83 811 Bratislava ☎ 07/ 49268302 , E-mail: stekauerova@uh.savba.sk ☎ 07/ 44259383 , E-mail: sutor@uh.savba.sk

Abstract

Experimental determination of the water retention curves is laborious, time consuming and expensive due to technical problems in the field. In addition to that, high spatial variability introduces additional element of uncertainty into the application of a water retention curve determined in a single point. Hence, numerous approaches have been proposed to estimate the water retention curves directly from the easily accessible soil survey data. The apparent relationship between the water retention curves and soil textures of 57 examined soil samples has led to formulation of equations (pedotransfer functions) which were used to calculate water retention curves. Hydrolimits were estimated from these water retention curves. A close agreement was observed between the calculated and directly measured curves and the hydrolimits.

Úvod

Určitá vlhkosť pôdy, ktorá je dosiahnutá za dohovorených, presne definovaných podmienok sa označuje ako hydrolimit. Pôvodne mali hydrolimity charakterizovať vlhkosti na rozhraní pôsobenia určitých síl, ako aj hranice rôznej pohyblivosti pôdnej vody a rôznej prístupnosti pôdnej vody pre rastliny. Aj keď je dnes jasné, že niektoré z hydrolimitov nemajú presný fyzikálny význam a že obecné nemôžu ako statické veličiny reprezentovať dynamické procesy prúdenia, sú stále vo veľkej miere používané vo vodohospodárskej a poľnohospodárskej praxi. Hydrolimity možno využiť pri bilanciách vody v pôdnom profile, napr. pri zisťovaní využiteľnej vodnej kapacity pôdneho profilu, obsahu vody prístupnej pre rastliny, pri výpočte závlahového množstva pre jednotlivé plodiny a potreby závlahovej vody pri návrhu závlah, atď.

Hydrolimity možno zistiť viacerými spôsobmi. Laboratórne určenie hydrolimitov je trocha zdĺhavé a má len jednostranné použitie. Ďalšou možnosťou je využitie vlhkostných retenčných kriviek (VRK) pôdy, pričom je známe pri akých hodnotách vlhkostného potenciálu pôdy, resp. pF možno jednotlivé hydrolimity z VRK odčítať. Problém určenia hydrolimitu sa potom sústreďuje na určenie závislosti vlhkostného potenciálu pôdy od objemovej vlhkosti pôdy $h_w(\Theta)$ v rovnovážnom stave, teda vlhkostnej retenčnej krivky. Meranie tejto funkcie, či už v teréne alebo v laboratóriu je časovo náročné a drahé, pričom sa môžu vyskytnúť rôzne technické problémy (Arya, Paris, 1981). Preto bolo venované veľké úsilie na získanie VRK z ľahšie dostupných charakteristík pôdy, ako je napr. zrnitostné zloženie pôdy. Zrejmy vzťah medzi $h_w(\Theta)$ a pôdnou textúrou viedol k formulácii modelov, ktoré sa pokúšajú dať do vzťahu napr. piesok, hlinu, íl, organickú hmotu a redukovanú objemovú hmotnosť ku $h_w(\Theta)$ (Gupta, Larson, 1979, Šútor, Štekauerová, 1999, Štekauerová, Skalová, 1999) a vo všeobecnosti sa nazývajú pedotransférne funkcie.

Cieľom tohoto príspevku je vypočítať hodnoty niektorých dôležitých hydrolimitov pomocou pedotransférnych funkcií a porovnať ich z hodnotami hydrolimitov určenými z nameraných retenčných kriviek.

Materiál a metóda

Na vytvorenie pedotransférnych funkcií bol použitý súbor pozostávajúci z 57 odvodňovacích vetiev VRK, ktoré boli namerané na pôdných vzorkách v laboratórnych podmienkach na pretlakovom prístroji Soil Moisture Equipment, Santa Barbara, Kalifornia. Boli stanovené vlhkosti pri vlhkostných potenciáloch $h_w = -3, -30, -300, -800, -1300$ cm. Pôdne vzorky pochádzali z lokalít Kráľovská lúka, Baka, Horný Bar, Šamorín, Gabčíkovo, Čilistov, Čiližská Radvaň, Šintava, Gáň, Sereď, Trakovice, Bučany, Šulekovo, Lošonec, Sekule. Ďalej boli pre každú vzorku stanovené obsah $CaCO_3$ na Jankovom prístroji a redukovaná objemová hmotnosť ρ_d . Zrnitostné zloženie pôdných vzoriek bolo stanovené hustomernou metódou.

Pedotransférne funkcie (PDF) boli získané šesťnásobnou lineárnou regresiou pre objemové vlhkosti pôd Θ_{hw} vo vlhkostných potenciáloch h_w rovných $-3, -30, -300, -800, -1300$ cm v závislosti od percentuálneho obsahu I., II., III. a IV. zrnitostnej kategórie podľa Kopeckého, ďalej od percentuálneho obsahu $CaCO_3$ a od ρ_d [$g \cdot cm^{-3}$].

Výsledné PDF majú obecný tvar:

$$\Theta_{hw} = A \cdot \% I.kat + B \cdot \% II.kat + C \cdot \% III.kat + D \cdot \% IV.kat + E \cdot \% CaCO_3 + F \cdot \rho_d + G$$

kde A, B, C, D, E, F, G sú regresné koeficienty.

Koeficienty regresných vzťahov sú uvedené v tabuľke 1 pre všetky vlhkosťné potenciály spolu s korelačným koeficientom R.

Tabuľka 1 Koeficienty regresných vzťahov A,B,C,D,E,F,G a korelačný koeficient R

h _w [cm]	koeficienty regresných vzťahov							R
	A	B	C	D	E	F	G	
-3	0,309	0,222	0,232	0,164	-0,038	-28,953	67,504	0,9032
-30	0,212	0,135	0,032	-0,049	0,032	-17,464	58,398	0,8309
-300	0,267	0,081	-0,512	-0,054	-0,137	-7,159	48,034	0,8188
-800	0,270	0,049	-0,610	-0,023	-0,126	-5,487	42,921	0,8095
-1300	0,261	0,033	-0,562	-0,037	-0,118	-6,303	42,287	0,8002

Hodnota reziduálnej vlhkosti Θ_r bola pre všetky pôdne vzorky vypočítaná zo vzťahu (Šútor, Majerčák, 1988) :

$$\Theta_r = 0,20058.\% I.kat + 1,03747$$

Z príbuzných lokalít, z ktorých bol získaný súbor 57 odvodňovacích vetiev VRK určených na stanovenie PDF, bol získaný nový súbor odvodňovacích vetiev VRK nameraných na 9 pôdnych vzorkách. VRK týchto vzoriek boli tiež namerané vyššie uvedenou metódou pre vlhkosťné potenciály -3, -30, -300, -800, -1300 cm. Týchto 9 VRK bolo aproximovaných vzťahom van Genuchtena (1980), čím sme získali hodnoty koeficientov α_m a n_m , kde index m znamená, že sa jedná o koeficienty získané pre merané odvodňovacie vetvy VRK. Tento súbor aproximovaných VRK bol označený S_m . Zo zrnitostného zloženia týchto pôdnych vzoriek, z obsahu $CaCO_3$ a z hodnôt redukovaných objemových hmotností ρ_d boli pomocou PDF vypočítané hodnoty bodov VRK vo vlhkosťných potenciáloch -3, -30, -300, -800, -1300 cm. Tieto boli tiež aproximované vzťahom van Genuchtena, čím sme získali hodnoty koeficientov α_{PDF} a n_{PDF} , kde index PDF znamená, že sa jedná o koeficienty získané pre VRK vypočítané pomocou PDF. Tento súbor aproximovaných VRK bol označený S_{PDF} .

Z VRK aproximovaných vzťahom van Genuchtena boli určené hydrolimity poľná vodná kapacita Θ_{PK} , bod zníženej dostupnosti Θ_{BZD} a bod vädnutia Θ_{BV} pre obidva súbory S_m a S_{PDF} .

Výsledky a diskusia

Základné parametre získané aproximáciou VRK vzťahom van Genuchtena pre obidva súbory S_m a S_{PDF} sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Základné parametre VRK (α , n) získané aproximáciou vzťahom van Genuchtena, kde S_m je pre merané VRK, S_{PDF} je pre VRK vypočítané pomocou PDF, Θ_S je plná vodná kapacita a Θ_r je reziduálna vlhkosť rovnaká pre obidva súbory.

VRK	S_m			S_{PDF}			Θ_r
	α_m	n_m	Θ_S	α_{PDF}	n_{PDF}	Θ_S	
A1	0,00330	1,37767	0,4357	0,00093	1,61187	0,4105	0,0230
A2	0,00139	1,45891	0,5275	0,00147	1,46676	0,5175	0,0438
A3	0,00252	1,41742	0,4493	0,00092	1,62261	0,4117	0,0217
A4	0,00273	1,40949	0,5199	0,00126	1,54450	0,4549	0,0236
A5	0,00216	1,45351	0,4771	0,00099	1,61262	0,4258	0,0195
A6	0,00217	1,42879	0,4482	0,00103	1,59491	0,4657	0,0211
A7	0,00464	1,35311	0,4838	0,00147	1,51833	0,4805	0,0197
A8	0,00275	1,40446	0,5418	0,00145	1,51428	0,4619	0,0234
A9	0,00253	1,41720	0,4821	0,00111	1,59504	0,4898	0,0185

Poľná vodná kapacita Θ_{PK} je hydrolimit, ktorý je charakterizovaný vlhkosťou pôdy na hranici medzi kapilárnou a gravitačnou vodou a vyjadruje maximálne množstvo zavesenej vody v skutočnom pôdnom profile odmerané v poľných podmienkach. Je definovaný (Antal, 1996) pre vlhkosťový potenciál pôdy z intervalu $pF_{PK} = (2,0-2,9)$. Bod zníženej dostupnosti Θ_{BZD} je hydrolimit charakterizovaný vlhkosťou pôdy, pri ktorej sa už podstatne znižuje pohyblivosť pôdnej vody a jej prístupnosť pre rastliny. Je definovaný pre vlhkosťový potenciál pôdy z intervalu $pF_{BZD} = (3,1-3,5)$. Bod vädnutia Θ_{BV} je hydrolimit charakterizovaný vlhkosťou pôdy, pri ktorej sú rastliny trvale nedostatočne zásobované pôdnou vodou, pretože intenzita absorpcie vody koreňmi rastlín je podstatne nižšia ako je intenzita transpirácie, v dôsledku čoho rastliny vädnú a hynú. Je definovaný pre vlhkosťový potenciál pôdy $pF_V = 4,18$.

Z vlhkosťových retenčných kriviek zo súboru S_{PDF} sme vypočítali Θ_{PK} a Θ_{BZD} pre stredné hodnoty vlhkosťových potenciálov z príslušných intervalov a Θ_V . Z vlhkosťových retenčných

kriviek zo súboru S_m sme vypočítali Θ_{PK} a Θ_{BZD} aj pre hraničné hodnoty vlhkosných potenciálov príslušných intervalov. Výsledky sú uvedené v tabuľke 3.

Na obr.1 sú zobrazené vlhkosné retenčné krivky A1 až A9 z obidvoch súborov. Na obrázku sú vyznačené aj hodnoty troch uvedených hydrolimitov. Zo zobrazení VRK je možné určiť aj hodnotu ďalšieho hydrolimitu, ktorým je plná vodná kapacita Θ_s , ktorý je charakterizovaný vlhkosťou pôdy pri úplnom nasýtení pôdných pórov vodou. Vyjadruje maximálne množstvo vody, ktoré sa môže v pôde nachádzať a je definovaný pre vlhkosný potenciál pôdy $h_w = 0$ cm. Ako možno vidieť v tabuľke 1, priradili sme mu hodnotu vlhkosti nameranú, resp. vypočítanú PDF pre vlhkosný potenciál $h_w = -3$ cm.

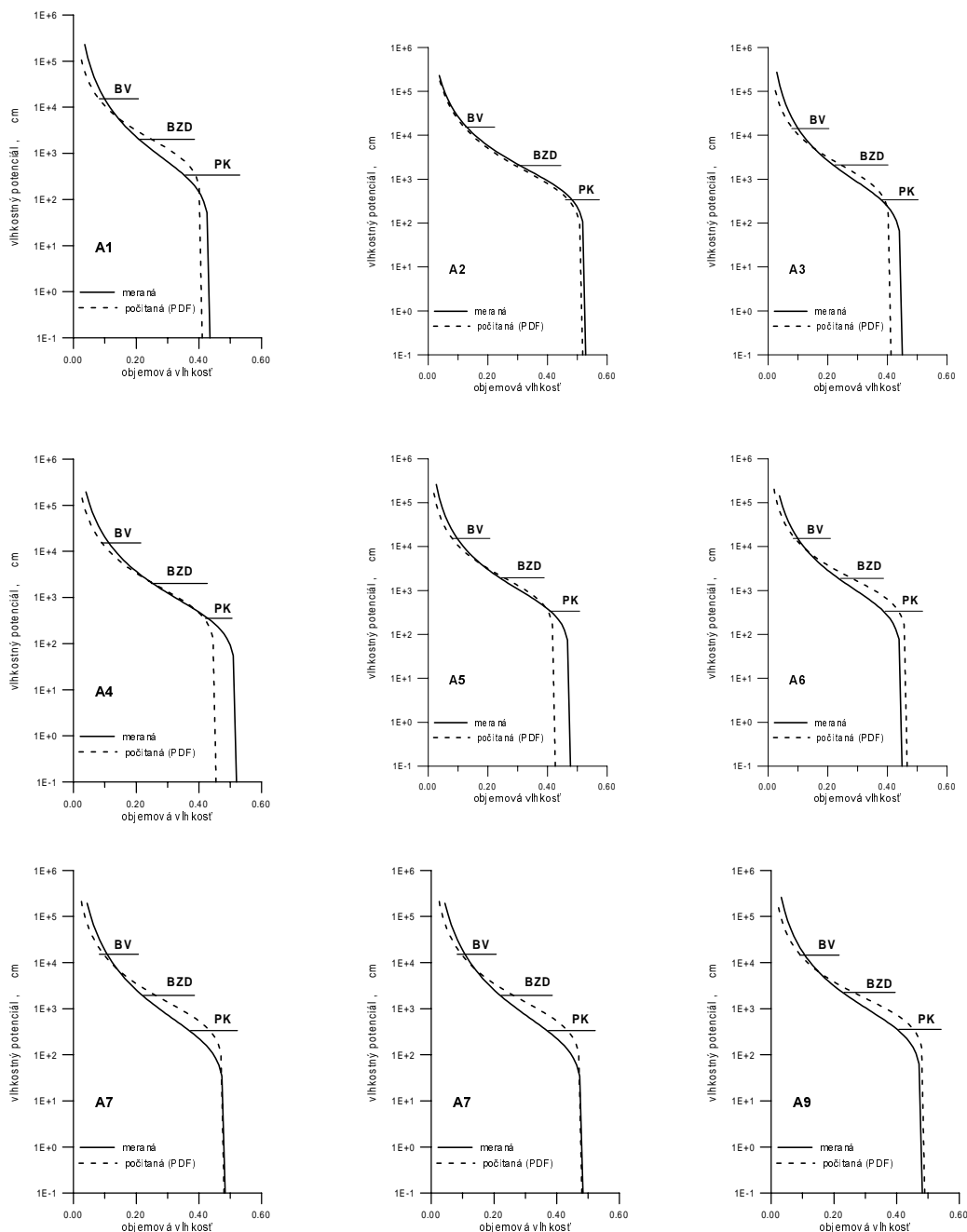
Tabuľka 3 Hydrolimity vypočítané z vlhkosných retenčných kriviek aproximovaných vzťahom van Genuchtena pre obidva súbory S_m a S_{PDF} .

VRK	S_{PDF}			S_m						
	Θ_{PK}	Θ_{BZD}	Θ_V	Θ_{PK}	Θ_{PK}	Θ_{PK}	Θ_{BZD}	Θ_{BZD}	Θ_{BZD}	Θ_V
	pF=2,5	pF=3,3	pF=4,18	pF=2,1	pF=2,5	pF=2,9	pF=3,1	pF=3,3	pF=3,5	pF=4,18
A1	0,3097	0,2496	0,0810	0,4129	0,3574	0,2838	0,2454	0,2097	0,1778	0,0994
A2	0,4732	0,2950	0,1212	0,5185	0,4856	0,4142	0,3636	0,3098	0,2584	0,1299
A3	0,3922	0,2498	0,0795	0,4321	0,3827	0,3062	0,2632	0,2226	0,1861	0,0981
A4	0,4215	0,2552	0,0910	0,4979	0,4374	0,3482	0,2991	0,2532	0,2122	0,1131
A5	0,4033	0,2515	0,0807	0,4621	0,4141	0,3321	0,2838	0,2375	0,1960	0,0979
A6	0,4396	0,2738	0,0905	0,4341	0,3905	0,3167	0,2731	0,2309	0,1927	0,1001
A7	0,4379	0,2589	0,0959	0,4470	0,3741	0,2928	0,2535	0,2177	0,1862	0,1077
A8	0,4218	0,2514	0,0940	0,5187	0,4559	0,3635	0,3129	0,2654	0,2229	0,1197
A9	0,4593	0,2782	0,0910	0,4635	0,4104	0,3282	0,2821	0,2385	0,1995	0,1052

Pri porovnaní VRK nameraných a vypočítaných pomocou PDF je zrejماً dobrá zhoda, ako vidieť na obr.1. V obr. 1, ako už bolo spomínané, sú vynesené hodnoty hydrolimitov: poľnej vodnej kapacity – označenie v obrázku ako PK, bodu zníženej dostupnosti BZD a bodu vädnutia BV. Pre hydrolimit Θ_{PK} sa rozdiel medzi hodnotami zo súboru S_m a S_{PDF} pohybuje okolo 1 až 2 % objemovej vlhkosti a len v dvoch prípadoch okolo 4-5 %. Pre hydrolimit Θ_{BZD} je tento rozdiel vo väčšine prípadov 1 až 2 % objemovej vlhkosti a nepriesahol 5 % a pre hydrolimit Θ_{BV} je tento rozdiel len 1-2 % pre všetky prípady.

Záver

Boli získané pedotransférne funkcie z 57 odvodňovacích vetiev vlhkosťnych retenčných kriviek. Tieto PDF boli použité na výpočet priebehu 9 VRK, ktoré boli aj namerané a neboli zahrnuté do predchádzajúceho súboru. VRK v oboch prípadoch boli aproximované vzťahom van Genuchtena. Ako vidieť z obr.1 zhoda pre všetkých 9 VRK je dobrá. Namerané aj vypočítané VRK boli použité na určenie hodnôt hydrolimitov poľnej vodnej kapacity Θ_{PK} , bodu zníženej dostupnosti Θ_{BZD} a bodu vädnutia Θ_{BV} . Zistilo sa, že rozdiely medzi hodnotami hydrolimitov Θ_{PK} a Θ_{BZD} určenými z aproximovaných VRK nameraných a vypočítaných z PDF neprevýšil 5 % objemovej vlhkosti a rozdiel Θ_{BV} neprevýšil 2 % pre všetky prípady.



Obr. 1 VRK aproximované vzťahom van Genuchtena, kde S_m je pre merané VRK, S_{PDF} je pre VRK vypočítané pomocou PDF (PK, BZD a BV sú označené hodnoty hydrolimitov po rade poľnej vodnej kapacity, bodu zníženej dostupnosti a bodu vädnutia).

Súhrn

Hydrolimity možno využiť pri bilanciách vody v pôdnom profile, napr. pri zisťovaní využiteľnej vodnej kapacity pôdneho profilu, obsahu vody prístupnej pre rastliny, pri výpočte závlahového množstva pre jednotlivé plodiny a potreby závlahovej vody pri návrhu závlah, atď. Hydrolimity možno zistiť viacerými spôsobmi. Laboratórne určenie hydrolimitov je trochu zdĺhavé a má len jednostranné použitie. Ďalšou možnosťou je využitie vlhkostných retenčných kriviek (VRK) pôdy. Problém určenia hydrolimit sa potom sústreďuje na určenie vlhkostnej retenčnej krivky. Meranie tejto funkcie či už v teréne alebo v laboratóriu je časovo náročné a drahé. Preto bolo venované veľké úsilie na získanie VRK z ľahšie dostupných charakteristík pôdy, ako je napr. zrnitosťné zloženie pôdy. Toto viedlo k formulácii modelov, ktoré sa pokúšajú dať do vzťahu napr. piesok, hlinu, íl, organickú hmotu a redukovanú objemovú hmotnosť ku h_w a vo všeobecnosti sa nazývajú pedotransférne funkcie.

Cieľom tohoto príspevku je vypočítať hodnoty niektorých dôležitých hydrolimitov pomocou pedotransférnych funkcií a porovnať ich z hodnotami hydrolimitov určenými z nameraných retenčných kriviek.

Boli získané pedotransférne funkcie z 57 odvodňovacích vetiev vlhkostných retenčných kriviek. Tieto PDF boli použité na výpočet priebehu 9 VRK, ktoré boli aj namerané a neboli zahrnuté do predchádzajúceho súboru. VRK v oboch prípadoch boli aproximované vzťahom van Genuchtena. Ako vidieť z obr.1 zhoda pre všetkých 9 VRK je dobrá. Namerané aj vypočítané VRK boli použité na určenie hodnôt hydrolimitov poľnej vodnej kapacity Θ_{PK} , bodu zníženej dostupnosti Θ_{BZD} a bodu vädnutia Θ_{BV} . Zistilo sa, že rozdiely medzi hodnotami hydrolimitov Θ_{PK} a Θ_{BZD} určenými z aproximovaných VRK nameraných a vypočítaných z PDF neprevýšil 5 % objemovej vlhkosti a rozdiel Θ_{BV} neprevýšil 2 % pre všetky prípady.

Kľúčové slová: hydrolimity, vlhkostná retenčná krivka, pedotransférne funkcie

Literatúra

ANTAL, J. (1996): Agrohydrológia. VŠP Nitra, 160 s.

ARYA, L. M., PARIS, J. F. (1981): A physioempirical Model to predict the soil moisture characteristic from Particle Size distribution and Bulk density data. Soil Sci. Soc. Am. J., 45 (6), 1023 – 1030.

GUPTA, S. C., LARSON, W. E. (1979): Estimating Soil Water Retention Characteristics from Particle Size Distribution, Organic Matter Percent, and Bulk Density. Water Res. Res., 15 (6), 1633-1635.

ŠTEKAUEROVÁ, V., SKALOVÁ, J. (1999): Výpočet odvodňovacích retenčných čiar z ľahšie merateľných parametrov pôdy. In: VII. posterový deň s medzinárodnou účasťou Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda - rastlina - atmosféra. ÚH a UG SAV Bratislava, , s. 133-134.

ŠÚTOR, J., MAJERČÁK, J. (1988): Extrapolácia nameraných hodnôt hydrofyzikálnych charakteristík pôdy v rámci daného pôdneho druhu. Vodohosp. čas., 36, 639 – 654.

VAN GENUCHTEN, M. TH. (1980): A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil.Sci. Soc. Am. J., 44, 892 – 898.

ŠÚTOR, J., ŠTEKAUEROVÁ, V. (1999): Pedotransférne funkcie pôd prírodného prostredia Žitného ostrova. J.Hydrol.Hydromech. 47 (6), 443-458.

Ing. Jana Skalová, PhD., Stavebná fakulta, STU Bratislava, Katedra vodného hospodárstva krajiny, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

☎ 07/ 59274 618 a 59274626 , E-mail: skalova@svf.stuba.sk

RNDr. Vlasta Štekauerová, CSc., RNDr. Július Šútor, DrSc., Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83 811 Bratislava

☎ 07/ 49268302 , E-mail: stekauerova@uh.savba.sk

☎ 07/ 44259383 , E-mail: sutor@uh.savba.sk