

## VPLYV PŮDNEJ VLHKOSTI NA EVAPOTRANSPIRÁCIU

František Matejka

Tatjana Hurtalová

**Abstrakt:** S využitím experimentálne verifikovaného matematického modelu prenosu hmoty a energie v systéme „pôda-porast-atmosféra“ boli stanovené denné chody aktuálnej evapotranspirácie mladého smrekového porastu. [*Picea Abies (L.) Karst.*] vo vrcholových polohách Moravskosliezskych Beskýd. Redukcia evapotranspirácie spôsobená nedostatkom vody v pôde bola vyjadrená porovnaním s potenciálnou evapotranspiráciou podľa Penmana. Získané výsledky viedli k záverom, podľa ktorých nízka pôdna vlhkosť síce redukovala aktuálnu evapotranspiráciu a jej zložky, avšak vplyv nedostatku vody v pôde bol súčasne kompenzovaný extrémne vysokými evaporáčnymi požiadavkami ovzdušia, takže denné úhrny evapotranspirácie a jej zložiek zostávali dosť vysoké, pričom však nízka pôdna vlhkosť výrazne ovplyvnila pomer medzi aktuálnou a potenciálnou evapotranspiráciou.

### Úvod

Na intenzitu aktuálnej evapotranspirácie a na jej štruktúru vplývajú charakteristiky pôdy, porastu a prízemnej vrstvy atmosféry, ktoré sa navzájom podmieňujú a ovplyvňujú (Novák, 1981). Hoci aktuálna evapotranspirácia závisí od viacerých faktorov, pôdna vlhkosť je jedným z najdôležitejších. Pri poklese pôdnej vlhkosti pod určitú hodnotu sa totiž pôdna voda stáva pre rastliny ťažšie dostupnou a súčasne rastie rezistencia povrchu pôdy pre prenos vody, čo má za následok redukciiu transpirácie i výparu z pôdy.

Vplyv pôdnej vlhkosti na evapotranspiráciu je ústrednou témou mnohých doteraz publikovaných prác. Viacerí autori pritom sústredili pozornosť na redukciiu aktuálnej evapotranspirácie, spôsobenú poklesom pôdnej vlhkosti, v porovnaní s potenciálnou evapotranspiráciou (Barton, 1979, Baunwort a Mack, 1987, Brun et al., 1985). V súvisi s tým sa často určuje aktuálna evapotranspirácia ako časť potenciálnej evapotranspirácie, pričom vzájomný pomer týchto dvoch veličín sa pokladá za funkciu vlhkosti pôdy (Novák, 1981, Tomlain, 1978). Tento metodický prístup a hranice jeho použiteľnosti analyzoval Wallace (1995).

Doteraz bolo publikovaných už pomerne veľa prác zameraných na problematiku vplyvu pôdnej vlhkosti na evapotranspiráciu a jej zložky. Prevažná väčšina z nich je však orientovaná na poľné plodiny a tak o evapotranspirácii lesných porastov v závislosti od zmien pôdnej vlhkosti je stále málo poznatkov. Preto je cieľom tohto príspevku analyzovať vzťah medzi vlhkosťou pôdy a evapotranspiráciou mladého smrekového porastu a kvantifikovať pokles evapotranspirácie spôsobený nedostatkom vody v pôde.

### Materiál a metódy

Výsledky mikroklimatických profilových meraní použité v tejto štúdií boli získané na Experimentálnom ekologickom pracovisku Laboratória ekologickej fyziológie Ústavu ekológie krajiny AV ČR v Brne, ktoré sa nachádza v lokalite Bílý Kříž (49° 30' 17'' severnej šírky, 18° 32' 28'' východnej dĺžky).

Experimentálny porast smreku obyčajného (*Picea abies (L.) Karst.*) sa nachádza vo vrcholovej časti pohoria v nadmorskej výške 898 až 908 m na miernom juhozápadnom svahu s maximálnym sklonom 13 stupňov. Porast bol založený v roku 1981 výsadbou

štvorročných sadeníc v severo-južne orientovaných radoch so sponom 2x1 m. Hustota porastu bola niekoľkokrát redukovaná pestovateľskými zásahmi, až vo vegetačnom období roku 1997 dosiahla hodnotu 2600 stromov na hektár.

Podľa morfogenetického klasifikačného systému pôd môžeme pôdny typ experimentálnej plochy označiť ako humusoželezitý podzol (mierny) na pieskovci (flyšové vrstvy).

Experimentálne podklady pre matematické modelovanie tokov tepla a vodnej pary tvorili výsledky automatizovaných profilových meraní rýchlosti vetra, teploty a vlhkosti vzduchu vo výškovej hladine 11 m nad povrchom lesnej pôdy, doplnené o výsledky merania globálneho žiarenia a pôdnej vlhkosti.

V predloženom príspevku sú prezentované výsledky z obdobia 15.5. – 13.6.2000. Prevažnú časť tohto obdobia možno charakterizovať veľmi nízkou pôdnou vlhkosťou, vysokými dennými sumami globálneho žiarenia a pre túto lokalitu extrémne vysokými hodnotami denných maxim sýtostného doplnku.

Na modelovú simuláciu evapotranspirácie a jej zložiek sme použili matematický model interakčných vzťahov v systéme pôda-porast-atmosféra (Bichele et al., 1980, Choudhury a Monteith, 1988, Matejka 1977). Použitý model je stacionárny a dvojdvojový, pričom sa simuluje separátne transpirácia a výpar z pôdy pod porastom. Pritom sa vychádza z predstavy, že intenzita odberu vody koreňovým systémom sa rovná intenzite transpirácie. Použitá verzia modelu teda neuvažuje vplyv zásob vody v kmeni na intenzitu transpirácie ani neberie do úvahy biochemické procesy, umožňujúce prenos informácií medzi koreňovým systémom a prieduchovým aparátom. Základnými modelovými rovnicami sú:

- vzťah medzi vodným potenciálom listov, rezistenciou porastu a transpiráciou,
- závislosť medzi vodným potenciálom listov a prieduchovou rezistenciou,
- Penman-Monteithova rovnica.

Vstupnými údajmi modelu sú charakteristiky pôdy (vodný potenciál, hydraulická vodivosť), porastu (priemerná výška, LAI, koeficient dynamickej drsnosti povrchu, reakcia prieduchového aparátu na zmeny parametrov okolitého prostredia, stupeň rozvoja koreňového systému) a atmosféry (globálne žiarenie, teplota a vlhkosť vzduchu, rýchlosť vetra v referenčnej hladine nad porastom). Na výstupe modelu možno získať hodnoty transpirácie a výparu z pôdy. Aktuálna evapotranspirácia je potom stanovená ako súčet týchto dvoch zložiek. Potenciálna evapotranspirácia bola stanovená podľa Penmana.

## Výsledky a diskusia

Z hľadiska meteorologických podmienok možno analyzované obdobie od 15. mája do 13. júna 2000 rozdeliť do dvoch rozdielnych častí. Na začiatku a na konci tohto obdobia prevládalo slnečné a teplé počasie s nízkou vlhkosťou pôdy a extrémne vysokými evaporačnými požiadavkami ovzdušia s dennými maximami sýtostného doplnku nad 20 hPa (Tab. 1).

Naproti tomu, v strede analyzovaného obdobia sa vyskytlo niekoľko chladnejších dní s pomerne vysokou vlhkosťou pôdy, ktorá sa na prelome mája a júna blížila k tridsiatim objemovým percentám. Prevažná časť zrážok, ktoré sa vyskytli v analyzovanom období bola zaznamenaná na konci mája a na začiatku júna, pričom zrážkový úhrn za celé sledované obdobie predstavoval 121,4 mm. Napriek týmto relatívne vysokým zrážkam, pôdna vlhkosť klesla až pod 20 % obj., čo svedčí o intenzívnej evapotranspirácii.

S použitím matematického modelu popísaného vyššie, bola s hodinovým krokom vypočítaná aktuálna transpirácia, výpar z pôdy a konečne evapotranspirácia ako súčet

týchto dvoch zložiek. Vstupnými údajmi do modelu boli hodnoty rýchlosti vetra, teploty a vlhosti vzduchu merané vo výške 11 m nad povrchom lesnej pôdy.

Tab. 1 Denné sumy a maximá globálneho žiarenia  $Q$  a denné priemery a maximá teploty vzduchu  $T$  a sýtosného doplnku  $D$  vo výške 11 m nad povrchom lesnej pôdy spolu s dennými úhrnmi zrážok  $Z$  a priemernou vlhkosťou pôdy  $W$  vo vrstve 0- 40 cm

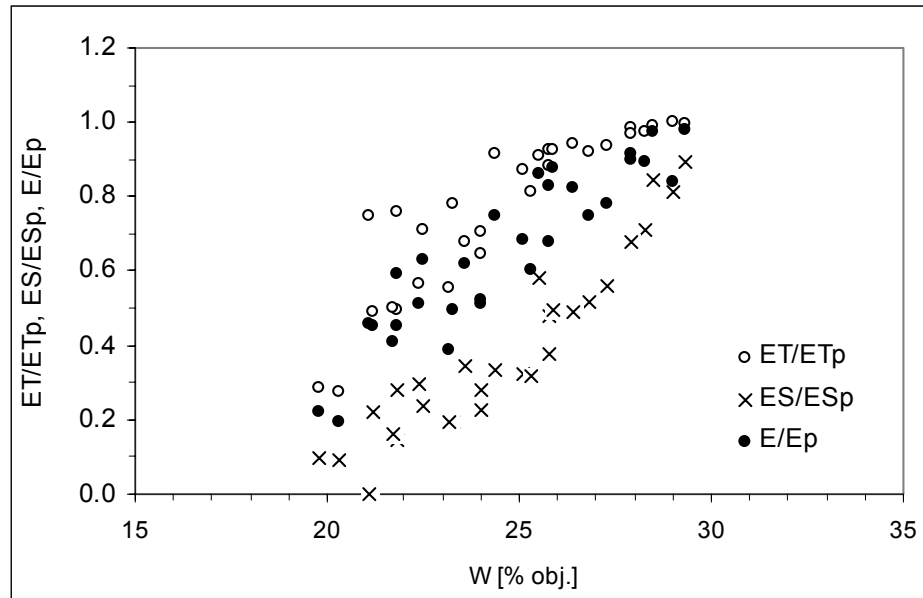
DÁTUM	$Q_{\text{sum}}$ [W/m <sup>2</sup> ]	$Q_{\text{max}}$ [MJ/m <sup>2</sup> d]	$T_{\text{priem}}$ [°C]	$T_{\text{max}}$ [°C]	$D_{\text{priem}}$ [hPa]	$D_{\text{max}}$ [hPa]	$Z$ [mm/d]	$W$ [% obj.]
15.5.2000	22,86	796	16,7	22,5	10,99	18,4		22,4
16.5.2000	17,11	650	18,4	23,0	12,77	19,9		21,8
17.5.2000	21,86	769	18,5	22,2	12,88	19,6		
18.5.2000	17,72	743	16,3	20,9	7,50	15,0	24,8	19,8
19.5.2000	3,90	182	7,5	9,9	0,07	0,5	6,0	
20.5.2000	7,29	273	5,4	7,4	0,45	1,2	2,1	
21.5.2000	12,59	606	6,6	10,4	2,24	5,2	1,1	
22.5.2000	5,35	390	7,5	10,1	2,26	4,5	30,0	
23.5.2000	0,47	145	8,1	9,8	0,44	1,6	3,3	
24.5.2000	17,29	635	12,0	15,4	4,62	8,7		
25.5.2000	21,50	784	15,1	19,0	6,70	11,7		25,8
26.5.2000	15,98	784	15,6	19,2	4,99	8,4		25,8
27.5.2000	24,29	771	18,2	22,5	9,83	17,1	0,3	25,3
28.5.2000	21,28	736	17,1	21,7	7,30	14,4	23,0	24,0
29.5.2000	7,08	395	8,4	16,6	1,27	6,8	6,3	27,9
30.5.2000	21,80	788	8,1	12,0	4,25	8,2	2,2	29,3
31.5.2000	2,09	200	6,4	8,3	0,87	4,6	6,3	
1.6.2000	25,17	849	9,1	13,6	4,33	9,1		
2.6.2000	25,98	788	13,1	17,7	7,37	11,5		
3.6.2000	23,75	793	17,3	22,7	9,17	15,0		
4.6.2000	25,84	788	19,2	22,9	11,85	19,5		
5.6.2000	23,84	823	21,1	24,4	13,10	17,9		
6.6.2000	17,39	679	18,0	22,4	6,29	10,4	13,4	
7.6.2000	11,54	698	9,8	14,1	1,48	5,8	0,8	
8.6.2000	6,71	705	13,5	16,5	6,72	10,2		25,5
9.6.2000	22,76	828	15,9	21,3	7,99	13,4		23,6
10.6.2000	26,48	798	20,0	24,9	12,09	20,4		24,0
11.6.2000	23,66	725	21,5	25,6	13,80	22,0		23,2
12.6.2000	23,18	771	20,3	23,6	7,08	12,3		21,7
13.6.2000	17,49	772	18,4	26,5	6,58	18,8	1,8	

Denné sumy evapotranspirácie a jej zložiek dosahovali pomerne vysoké hodnoty s výnimkou začiatku a konca analyzovaného obdobia, keď bola pôda evidentne suchá. Priemerný denný úhrn transpirácie bol 1,28 mm/deň a maximálny denný úhrn dosiahol 2,69 mm/deň. O niečo nižšie hodnoty boli získané pre výpar z pôdy, konkrétne 0,29 m/deň ako priemerná denná suma a 3,84 mm/deň ako najvyššia denná suma.

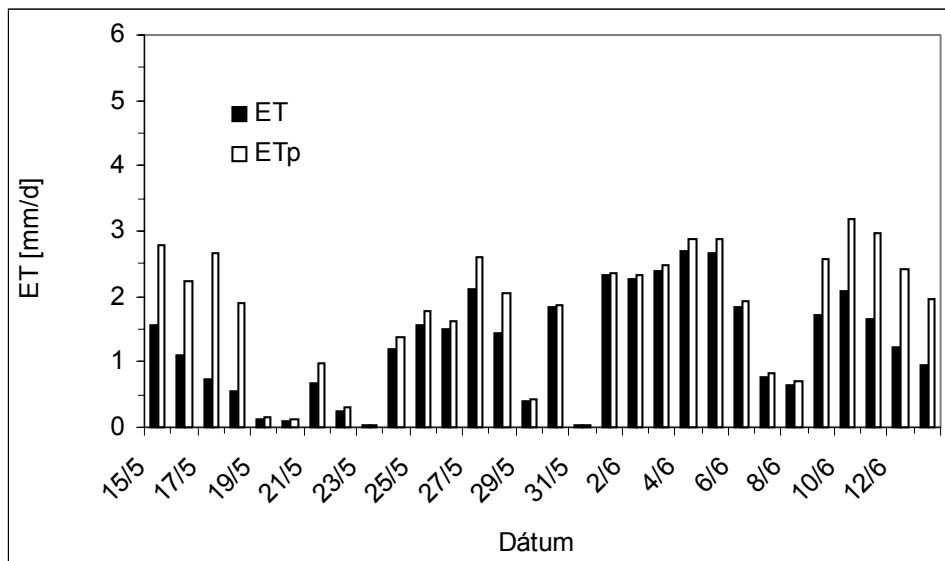
Na tomto mieste treba uviesť, že samotné denné sumy evapotranspirácie nestačia na posúdenie redukcie evapotranspirácie nízkou pôdnou vlhkosťou. Ani empirický vzťah medzi pôdnou vlhkosťou a evapotranspiráciou nemusí byť pre tento účel vhodný, pretože takáto štatistická závislosť odráža a rešpektuje aj skutočnosť, že pôda je vlhká obvykle pri

zrážkach alebo krátko po nich, keď sú denné sumy evapotranspirácie nízke v dôsledku nízkych denných súm globálneho žiarenia.

Berúc do úvahy obmedzené možnosti aplikácie formálnych štatistických metód, bude pre kvantifikáciu redukcie transpirácie následkom poklesu vlhkosti pôdy použitý iný prístup. Vplyv nedostatku vody v pôde na evapotranspiráciu môže byť analyzovaný na základe porovnania aktuálnej a potenciálnej evapotranspirácie (obr. 1). Z obrázku je zrejmé, že pomer aktuálnej a potenciálnej evapotranspirácie citlivo reaguje na zmeny obsahu vody v pôde hlavne pri vlhkostiach pôdy z intervalu hodnôt približne medzi bodom trvalého vädnutia a bodom zníženej dostupnosti.

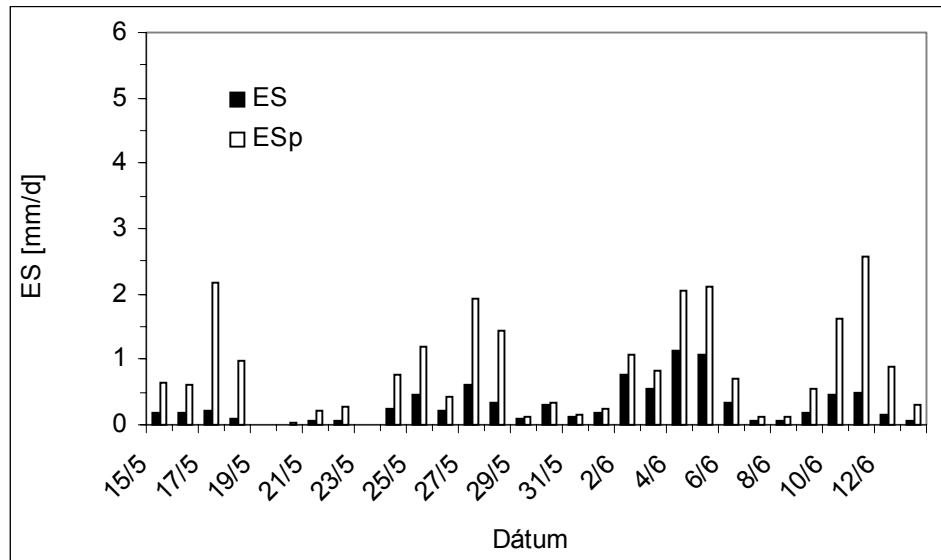


Obr. 1 Závislosť pomeru aktuálnych a potenciálnych hodnôt evapotranspirácie  $E$ , výparu z pôdy  $ES$  a transpirácie  $ET$  od vlhkosti pôdy  $W$ .

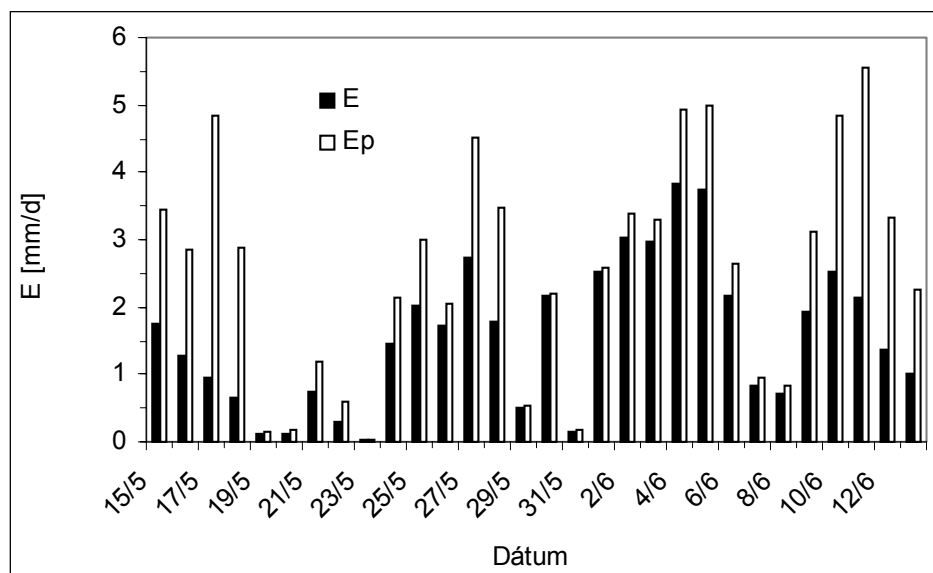


Obr. 2 Redukcia aktuálnej transpirácie  $ET$  zníženou vlhkosťou pôdy v porovnaní s potenciálnou transpiráciou  $ETp$ .

Detailný pohľad na rozdiely medzi potenciálnymi a aktuálnymi hodnotami evapotranspirácie a jej zložiek poskytujú obrázky č. 2, 3 a 4. Z týchto obrázkov jasne vyplýva, že vo všetkých troch prípadoch sú rozdiely medzi aktuálnymi a potenciálnymi hodnotami najväčšie pri nízkych vlhkostiach pôdy, kedy je redukcia evapotranspirácie a jej zložiek najvýraznejšia.



Obr. 3 Redukcia aktuálneho výparu z pôdy ES zníženou vlhkosťou pôdy v porovnaní s potenciálnym výparom z pôdy ESp.



Obr. 4 Redukcia aktuálnej evapotranspirácie E zníženou vlhkosťou pôdy v porovnaní s potenciálnou evapotranspiráciou Ep.

Pre transpiráciu je priemerná hodnota pomeru aktuálnych a potenciálnych hodnôt rovná číslu 0,77 treba však dodať, že v dňoch s najnižšou vlhkosťou pôdy tento pomer klesal až pod hodnotu 0,5. To znamená, že nedostatok vody v pôde spôsobil v niekoľkých dňoch redukciu aktuálnej transpirácie až na polovicu v porovnaní so situáciou, keď vlhkosť pôdy nebola limitujúcim faktorom transpirácie. Ešte intenzívnejšie ovplyvňovala pôdna vlhkosť výpar z lesnej pôdy, keď priemerná hodnota pomeru jeho aktuálnych a potenciálnych hodnôt predstavovala len 0,4. s minimom rovným 0,16. Takúto silnú redukciu výparu z pôdy možno zdôvodniť tým, že pri poklese podnej vlhkosti najrýchlejšie klesá obsah vody v povrchovej vrstve pôdy, v dôsledku čoho jej rezistencia prudko narastá. Korene stromov sú však schopné získať vodu z podpovrchových vrstiev koreňovej zóny, a preto je redukcia transpirácie o niečo nižšia v porovnaní s redukciou výparu z pôdy. Aj tak však možno konštatovať, že mladý smrekový porast bol na začiatku a na konci analyzovaného obdobia vystavený intenzívnemu vodnému stresu.

### **Záver**

Evapotranspirácia sledovaného mladého smrekového porastu a jej zložky boli vo vybranom období od 14.5. do 13.6.2000 výrazne redukované v dôsledku nedostatku vody v pôde, keď denné sumy transpirácie dosiahli v priemere len 77 % z hodnôt potenciálnej transpirácie. Ešte výraznejšie bol redukovaný výpar z pôdy, a to až na priemernú úroveň 40 %.

Napriek tejto redukcii však denné sumy evapotranspirácie a jej zložiek zostávali pomerne vysoké aj v dňoch s veľmi nízkou pôdnou vlhkosťou. Takúto situáciu vyvolali extrémne vysoké evaporačné požiadavky ovzdušia, ktoré redukciu transpirácie čiastočne kompenzovali.

### **POĎAKOVANIE**

Táto práca bola čiastočne podporená finančnými prostriedkami z grantového projektu č. 2/7064/21 Komisie VEGA pre vedy o Zemi a vesmíre.

### **Zoznam použitej literatúry**

BAUNWORTH, W., S., MACK, B., J., 1987: Evapotranspiration and yield comparisons among soil-water balance and climatebased equation for irrigation scheduling of sweet corn, *Agron. Journal*, 79, 837-841.

BARTON, I., J., 1979: A parameterization of the evapotranspiration from nonsaturated surfaces. *J. Appl. Meteorol.*, 18, 43-47.

BICHELE, Z., MOLDAU, H., ROSS, J., 1980: Mathematical Modelling of Plant Transpiration and Photosynthesis under Soil Moisture Stress (in Russian). *Gidrometeoizdat, Leningrad*: 222.

BRUN, J., L., PRUNTZ, L., LARSEN, J., K., ENTZ, J. W., 1985: Evapotranspiration and soil water relationships for spring wheat and soybean. *Soil Science*, 139, 6, 547-662.

CHOUDHURY, B. J. - MONTEITH, J., L., 1988: A four-layer model for the heat budget of homogeneous land surfaces. *J. R. Meteorol. Soc.*, 114: 373-398.

MATEJKA, F., 1977: A three-layer SVAT model for homogeneous land surfaces. *Contr. Geophys. Inst. SAS., Ser. Meteorol.*, 17: 44-53.

NOVÁK, V., 1981: Štruktúra evapotranspirácie. I. Metódy výpočtu výparu a transpirácie. Vodohosp. Čas. 29, 5, 476-492.

TOMLAIN, J., 1975: Relative Verdunstung und ihre Verteilung auf dem Territorium der ČSSR Contrib. Geophys. Inst. SAS, Ser. Meteorol., Vol. 2, 207-224.

WALLACE, J. S., 1995: Calculating evaporation: resistance to factors. Agric. and Forest Meteorol., 73: 353-366.

**Adresy autorov:**

RNDr. František Matejka, CSc., e-mail: [geofmate@savba.sk](mailto:geofmate@savba.sk)

RNDr. Tatjana Hurtalová, CSc., e-mail: [geoftahu@savba.sk](mailto:geoftahu@savba.sk)

Geofyzikálny ústav SAV

Dúbravská cesta 9

SK-842 28 Bratislava

Slovenská republika