

EVAPOTRANSPIRÁCIA PORASTU KUKURICE PRI VYSOKÝCH EVAPORAČNÝCH POŽIADAVKÁCH OVZDUŠIA

THE EVAPOTRANSPIRATION OF A MAIZE STAND BY HIGH EVAPORATIVE DEMANDS OF THE ATMOSPHERE

Matejka, František¹, Rožnovský, Jaroslav², Kohut, Mojmír³, Hurtalová, Tatjana¹

¹Geofyzikálny ústav SAV v Bratislave

²Ústav krajinnej ekológie MZLU v Brne

³Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Abstract: *The response of evapotranspiration to extremely high evaporative demands of the atmosphere was analyzed by means of an experimentally verified mathematical model. A linear dependence was found between vapour pressure deficit and evapotranspiration. Obtained results led to conclusion that the rise of daily maximum of the vapour pressure deficit equaling 1 hPa has as a result the increase in the daily total of the evapotranspiration about 0.08 mm/day. This response of the evapotranspiration to changes in the vapour pressure deficit can be interpreted as a manifestation of the feedback between evaporative surface and the atmosphere that is a stabilizing factor contributing to decrease in the daily a seasonal variability of air temperature and humidity in the boundary layer of the atmosphere.*

Key words: *vapour pressure deficit, soil water content, canopy resistance, microclimate.*

Úvod

Obsah vody v pôde je často limitujúcim faktorom pre transpiráciu (Denmead a Shaw, 1962). V posledných rokoch sa však v odbornej literatúre objavilo viacero prác, ktorých autori upozorňujú na skutočnosť, že nedostatok vody v atmosfére môže byť rovnako významným stresovým faktorom ako nedostatok vody v pôde. Výsledky viacerých doteraz publikovaných prác svedčia o tom, že sýtnostný doplnok je dôležitým environmentálnym faktorom, ktorý spolu s obsahom vody v pôde ovplyvňuje výmenu plynov medzi vegetáciou a atmosférou (Calvet 2000; Gucci a kol., 1996; Leonardi a kol., 2000; Habermann a kol., 2003). Už dávnejšie je známe, že medzi sýtnostným doplnkom a rezistenciou porastu pre prenos vodnej pary existuje tesný štatistický vzťah (Granier et al., 2000; Xue et al., 2004) je preto celkom pochopiteľné, že aj evapotranspirácia citlivo reaguje na zmeny sýtnostného doplnku (Turner a kol., 1984; Dai a kol., 1992; Bunce, 1996). Kým vzájomný vzťah medzi rezistenciou porastu a sýtnostným doplnkom

je často predmetom výskumu, vplyvu sýtosného doplnku na evapotranspiráciu nebola doteraz v odbornej literatúre venovaná náležitá pozornosť. Pritom sa však táto problematika stáva aktuálnou zvlášť v súvislosti s výskytom období s extrémnym atmosférickým suchom, ktoré sa vyskytlo v poslednej dekáde minulého storočia a najmä v posledných troch rokoch aj v strednej Európe.

Cieľom predloženého príspevku je preto kvantifikovať vplyv atmosférického sucha na evapotranspiráciu porastu kukurice a posúdiť možný dopad súčasného rastúceho trendu sýtosného doplnku na dynamiku vody v koreňovej zóne porastu kukurice, jeho vodný režim a jeho mikroklímu.

Materiál a metódy

Pre analýzu vplyvu atmosférického sucha na evapotranspiráciu porastu kukurice boli využité výsledky špeciálnych mikroklimatických meraní. Tieto experimentálne podklady boli získané v Žabčiciach ($\phi=49^{\circ}01'$, $\lambda=16^{\circ}37'$, 179 m n. m.) na pokusnej ploche Mendelovej poľnohospodárskej a lesníckej univerzity. Pokusný porast tvorila kukurica (*Zea mays* L.), kultivar STIRA. Experimentálna plocha leží v teplom agroklimatickom makroregióne s miernou zimou (Rožnovský a Svoboda, 1995). Z hľadiska zrážkových pomerov ide o najsuchší región v Českej republike s priemerným ročným úhrnom zrážok 480 mm. Charakteristiky porastu, spolu s podrobným popisom pôdných a klimatických podmienok danej lokality, boli už skôr publikované (Rožnovský a Valentová, 2001).

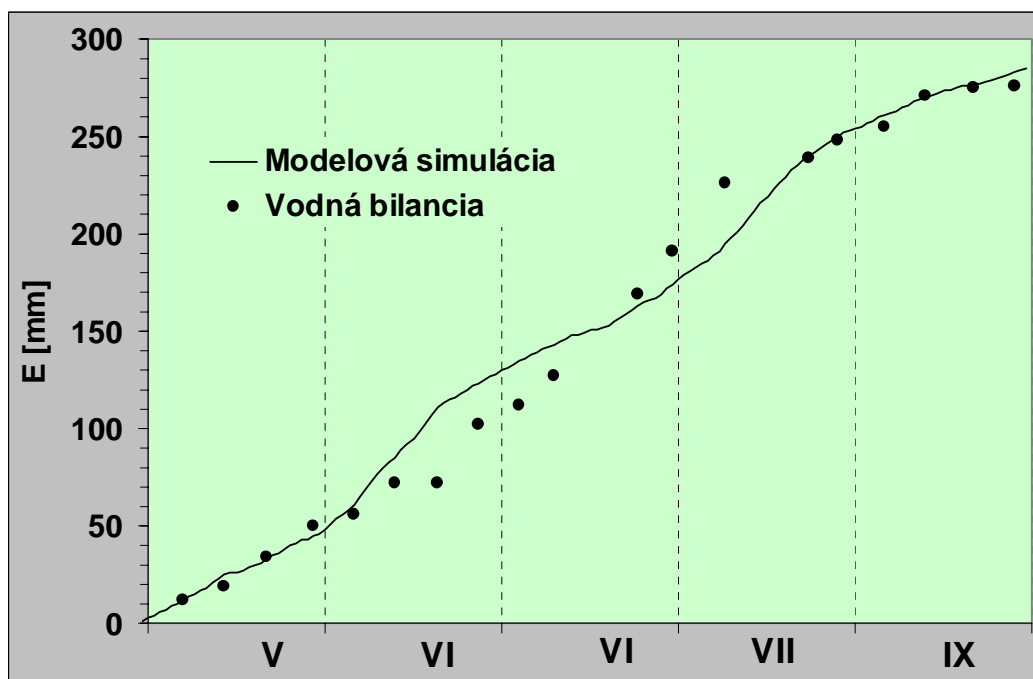
Na tejto experimentálnej ploche boli počas celého vegetačného obdobia roku 2000 vykonávané nepretržité mikroklimatické profilové merania, ktorých výsledky boli registrované pomocou automatickej meracej ústredne. Okrem mikroklimatických meraní bola zisťovaná aj pôdna vlhkosť, a to vážením pôdných vzoriek odoberaných v týždňových intervaloch zo štyroch vrstiev pôdneho profilu do hĺbky 60 cm. K dispozícii boli aj denné úhrny zrážok merané štandardnou metodikou.

Z výsledkov meraní zrážok a pôdnej vlhkosti boli v období máj – september 2000 vypočítané týždenné sumy evapotranspirácie metódou vodnej bilancie (Novák, 1995). Súčasne boli v tom istom období stanovené denné chody hodinových súm evapotranspirácie metódou Bowenovho pomeru (Brutsaert, 1982).

Vplyv atmosférického sucha na evapotranspiráciu bol analyzovaný pomocou matematického modelu výmeny tepla a vodnej pary medzi rastlinným porastom a prízemnou vrstvou atmosféry (Matejka, 1997). Vstupnými údajmi do modelu sú hydrofyzikálne parametre pôdy, biometrické charakteristiky porastu a hodinové priemery globálneho žiarenia, rýchlosti vetra, teploty a vlhkosti vzduchu nad porastom. Na výstupe modelu získavame hodnoty evapotranspirácie a jej zložiek, teda transpirácie a výparu z pôdy pod porastom. Tento model bol úspešne experimentálne verifikovaný pre porast kukurice (Matejka, 1995) i pre ďalšie porasty poľných plodín (Matejka, 1997, Matejka Hurtalová, 2003).

Výsledky a diskusia

Zo získaných experimentálnych podkladov boli v celom hodnotenom období pre porast kukurice stanovené týždenné sumy evapotranspirácie metódou vodnej bilancie a denné chody hodinových súm evapotranspirácie metódou Bowenovho pomeru. Súčasne boli hodinové sumy evapotranspirácie simulované pomocou matematického modelu, ktorého vstupnými údajmi boli zmerané charakteristiky pôdy, porastu a atmosféry. Sezónne zmeny kumulatívnej evapotranspirácie stanovené metódou vodnej bilancie a modelovými simuláciami sú veľmi podobné (obr. 1).

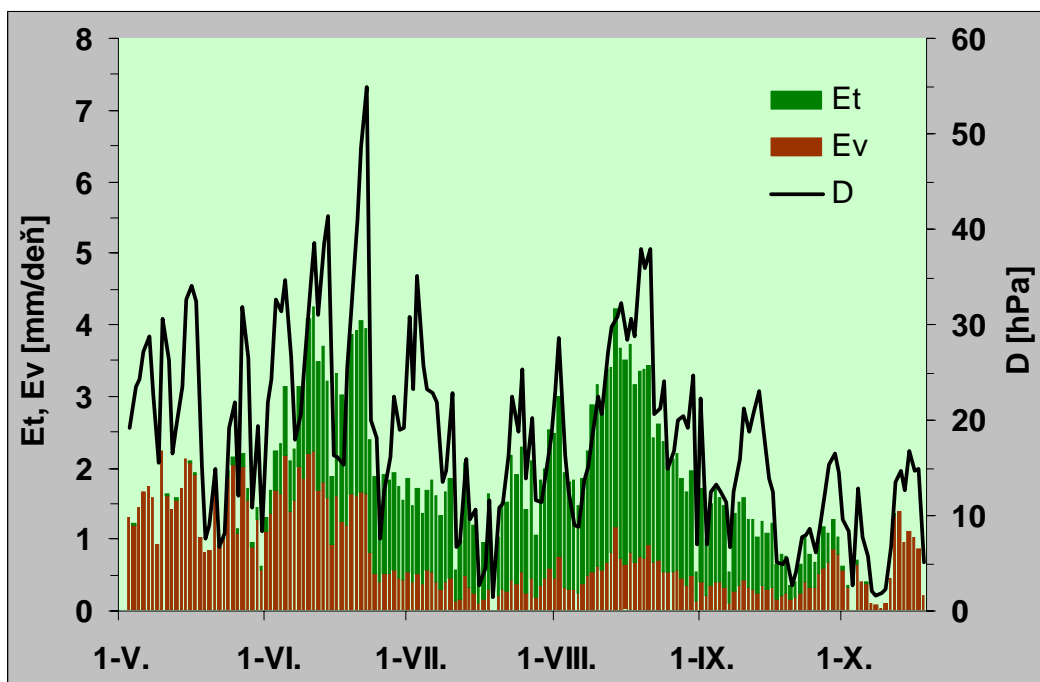


Obr. 1. Sezónne zmeny kumulatívnej evapotranspirácie E v období máj - september 2000 stanovené metódou vodnej bilancie (body) a modelovými simuláciami (čiara).

Z hľadiska využiteľnosti matematického modelu je dôležitá dlhodobá konzistentnosť simulovaných hodnôt s kumulatívnou evapotranspiráciou stanovenou metódou vodnej bilancie. Okrem toho je treba zdôrazniť, že v prvých troch týždňoch po sejbe bol vývoj porastu značne spomalený, takže vyparujúci povrch tvorila prevažne holá pôda, model teda musel tomto období simulovať hlavne výpar z pôdy. V mesiacoch júl a august bol však už porast celkom zapojený, takže model simuloval obe zložky evapotranspirácie. Porovnanie prezentované na obrázku 1 svedčí o tom, že výsledky modelových simulácií sú dlhodobo dobre porovnateľné s kumulatívnou evapotranspiráciou stanovenou metódou vodnej bilancie. Z toho však vyplýva, že výsledky modelových simulácií môžu slúžiť nielen na analýzu evapotranspirácie ale aj výparu z pôdy a transpirácie.

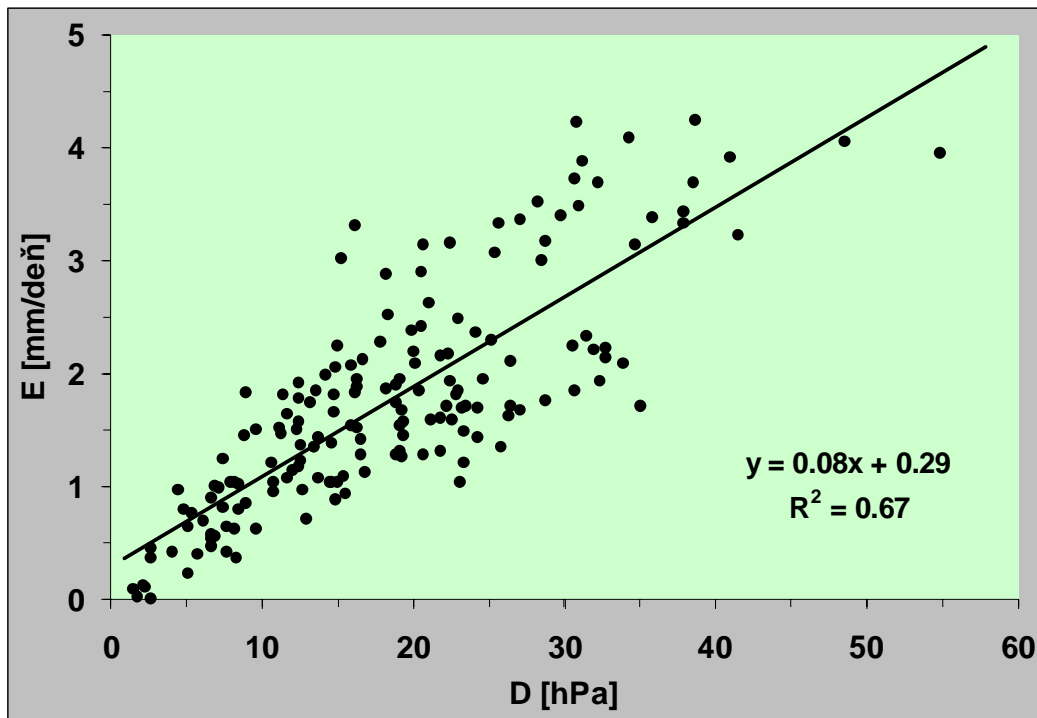
V snahe overiť presnosť a spoľahlivosť simulačného modelu aj na úrovni denných chodov, boli za celé hodnotené obdobie porovnané výsledky výpočtu evapotranspirácie metódou Bowenovho pomeru so zodpovedajúcimi modelovými simuláciami. Týmto porovnaním sa zistilo, že oba súbory hodinových súm evapotranspirácie sú tesne korelované s koeficientom korelácie 0,76, signifikantným na hladine významnosti $p = 0,01$. Smerodajná odchýlka rozdielov medzi hodinovými sumami evapotranspirácie stanovenými metódou Bowenovho pomeru a simulovanými matematickým modelom bola rovná 0,09 mm/h, čo zodpovedá pravdepodobnej chybe modelu rovnej 0,06 mm/h. Keď uvažíme, že hodnoty evapotranspirácie získané metódou vodnej bilancie, ako aj metódou Bowenovho pomeru sú tiež zaťažené určitými chybami, môžeme presnosť simulačného modelu považovať za celkom vyhovujúcu pre použitie modelu pri analýze dynamiky evapotranspirácie pri vysokých evaporačných požiadavkách ovzdušia.

Všetky nasledujúce výsledky teda vychádzajú z modelových simulácií transpirácie porastu kukurice a výparu z pôdy pod porastom, vykonaných s hodinovým krokom v období máj – september 2000. Sezónny chod evapotranspirácie porastu kukurice a jej zložiek je prezentovaný na obr. 2 spolu s dennými maximami sýtostného doplnku na hladine 2 m nad efektívnou výškou porastu.



Obr. 2. Sezónny chod denných súm transpirácie porastu kukurice E_t (zelené stĺpce) a výparu z pôdy pod porastom E_v (hnedé stĺpce) porovnaný so sezónnou dynamikou denných maxim sýtostného doplnku D (čierna čiara).

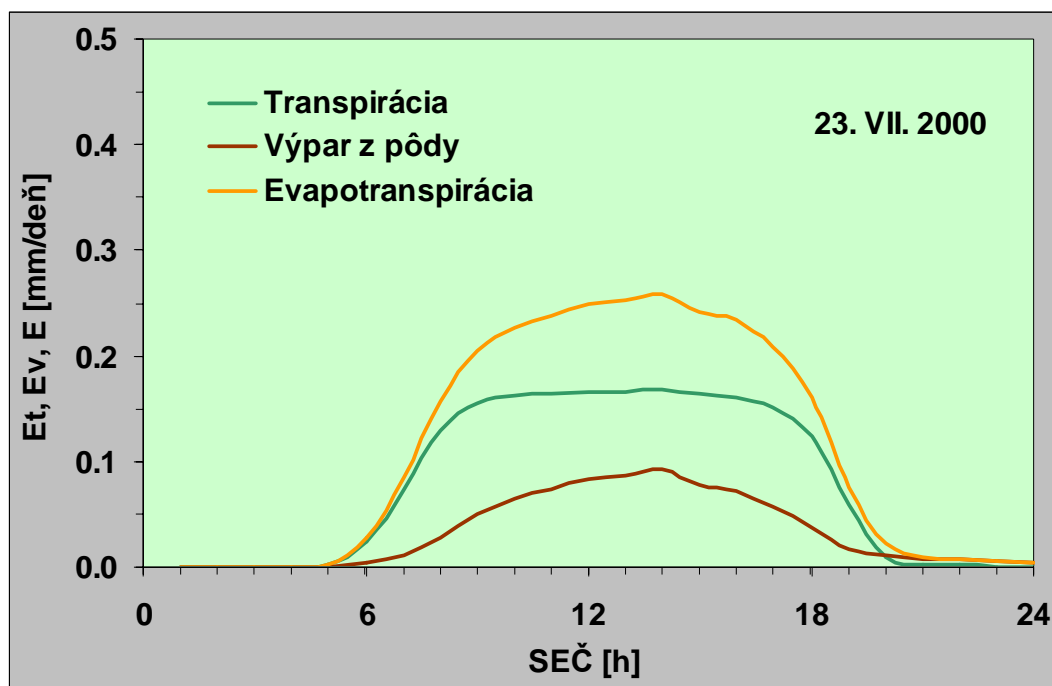
Z obrázku je na prvý pohľad zrejماً podobnosť sezónnych priebehov denných súm evapotranspirácie a jej zložiek so sezónnou dynamikou denných maxim sýtosťného doplnku. Z výsledkov vykonanej štatistickej analýzy vyplynulo, že s rastom sýtosťného doplnku približne lineárne rastie aj evapotranspirácia pričom medzi týmito veličinami existuje tesný štatistický vzťah s koeficientom korelácie rovným 0,89.



Obr. 3. Závislosť medzi dennými maximami sýtosťného doplnku a dennými sumami evapotranspirácie porastu kukurice za obdobie máj – september 2000.

K podobnému záveru prišli pre rôzne porasty aj ďalší autori (Turner a kol., 1984; Dai a kol., 1992; Bunce, 1996). Xue a kol., (2004) však upozornili na skutočnosť, že transpirácia porastu pšenice síce rastie s rastom sýtosťného doplnku, avšak len vtedy, keď je porast dostatočne zásobený pôdnou vodou. V prípade, keď porast trpel vodným stresom, transpirácia s rastom sýtosťného doplnku klesala. Takúto situáciu však citovaní autori prezentujú na úrovni hodinových priemerov a len na pomerne malom súbore údajov získaných v priebehu troch dní. Treba však hlavne zdôrazniť, že v diskutovanom prípade nešlo o evapotranspiráciu, ale o transpiráciu, ktorá je do značnej miery regulovaná reakciou prieduchového aparátu na zmeny charakteristík okolitého prostredia. Je známe, že jedným z dôsledkov takejto fyziologickej regulácie transpirácie je vznik poludňajšej depresie na krivke denného chodu intenzity transpirácie, zapríčinennej nedostatkom vody v pôde (Olioso, 1996). To má za následok, že intenzita transpirácie začína v dennom chode klesať už pred poludním, kým sýtosťný doplnok dosahuje svoje denné

maximum jednu až dve hodiny po dennom maxime teploty vzduchu. V tomto časovom intervale teda sýtostný doplnok rastie a súčasne transpirácia klesá. Podobné prípady sa vyskytli aj v sledovanom poraste kukurice, kde v obdobiach pôdneho sucha intenzita transpirácie strácala svoj typický denný chod s výrazným poludňajším maximom, ktoré bolo nahradene niekoľkohodinovým úsekom s takmer konštantnou intenzitou transpirácie (obr. 4).



Obr. 4. Príklad denného chodu evapotranspirácie E , výparu z pôdy E_v a transpirácie E_t porastu kukurice trpiaceho vodným stresom.

Redukcia transpirácie v poludňajších hodinách dňa 23. 7. 2000 bola jednoznačne zapríčinená nízkou vlhkosťou pôdy, ktorá v uvedenom dni predstavovala len 27 % z využiteľnej vodnej kapacity. Napriek tomu bola intenzita evapotranspirácie a jej zložiek toho dňa pomerne vysoká. Tento zdanlivý paradox možno vysvetliť vysokými evaporačnými požiadavkami ovzdušia, ktoré zodpovedali intenzívnemu globálnemu žiareniu s maximálnou dennou hodnotou 877 W/m^2 a vysokým hodnotám sýtostného doplnku s denným maximom 22,4 hPa.

Možno teda konštatovať, že rast sýtostného doplnku môže vyvolať pokles evapotranspirácie, avšak len počas poludňajších hodín dní s vysokými evaporačnými požiadavkami ovzdušia a len v prípade porastu trpiaceho vodným stresom. Na úrovni denných súm však už transpirácia, ako aj evapotranspirácia jednoznačne rastie s rastom sýtostného doplnku, pričom, ako to vyplýva z obr. 3, zvýšenie denného maxima sýtostného doplnku o 1 hPa zodpovedá rastu evapotranspirácie približne o 0,08 mm/deň. Takáto reakcia evapotranspirácie na zmeny sýtostného doplnku môže byť interpretovaná ako prejav spätnej väzby

medzi vyparujúcim povrchom a atmosférou, čo pôsobí ako stabilizačný faktor, prispievajúci k zníženiu dennej aj sezónnej variability teploty a vlhkosti vzduchu v hraničnej vrstve atmosféry.

Pod'akovanie. Autori ďakujú Grantovej agentúre VEGA (projekt č. 2/2093/24) a Grantovej agentúre Českej republiky (grant č. J08/98:432100001) za finančnú podporu pri riešení uvedených projektov.

Súhrn

Použitím experimentálne overeného matematického modelu bola analyzovaná reakcia evapotranspirácie porastu kukurice na extrémne vysoké evaporačné požiadavky ovzdušia. Bol zistený lineárny vzťah medzi dennými maximami sýtostného doplnku a evapotranspiráciou, pričom rast hodnoty denného maxima sýtostného doplnku o 1 hPa mal za následok zvýšenie dennej sumy evapotranspirácie o 0,08 mm/deň. Táto závislosť medzi evapotranspiráciou a sýtostným doplnkom môže byť interpretovaná ako prejav spätnej väzby medzi vyparujúcim povrchom a atmosférou, čo pôsobí ako stabilizačný faktor prispievajúci k zníženiu dennej a sezónnej variability teploty a vlhkosti vzduchu v hraničnej vrstve atmosféry.

Kľúčové slová: sýtostný doplnok, obsah vody v pôde, rezistencia porastu, mikroklima.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Brutsaert, W., 1982: Evaporation into the Atmosphere. Dordrecht, D. Reidel Publishing Company, 269 s.
- [2] Bunce, J.A., 1996: Does transpiration control stomatal responses to water vapour pressure deficit? *Plant Cell Environ.* 19, 131-135.
- [3] Calvet, J.C., 2000. Investigating soil and atmospheric plant water stress using physiological and micrometeorological data. *Agric. Forest Meteorol.*, 103, 229–247.
- [4] Dai, Z., Edwards, G.E., Ku, M.S., 1992: Control of photosynthesis and stomatal conductance in *Ricinus communis* L. (castor bean) by leaf-to-air vapour pressure deficit *Plant Physiol.* 99, 1426-1434.
- [5] Denmead, O. T., Shaw, R. T., 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. J.*, 54, 358-390.
- [6] Granier, A., Biron, P., Lemoine, D., 2000: Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stands. *Agric. For. Meteorol.* 100, 291-308.
- [7] Gucci, R., Massai, R., Xiloyanis, C., Flore, J.A., 1996: The Effect of Drought and Vapour Pressure Deficit on Gas Exchange of Young Kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*) Vines. *Annals of Botany* 77, 605-613.

- [8] Habermann, G., Machado, E.C., Rodrigues, J.D., Medina, C.L., 2003: Gas exchange rates at different vapor pressure deficits and water relations of 'Pera' sweet orange plants with citrus variegated chlorosis (CVC). *Scientia Horticulturae* 98, 233–245.
- [9] Leonardi, Ch., Guichard, S., Bertin, N., 2000: High vapour pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae* 84, 285-296.
- [10] Matejka F., 1995: Vplyv meteorologických faktorov na evapotranspiráciu. *Met. zprávy*, 48, 87-90.
- [11] Matejka, F., 1997: A three layer SVAT model for homogeneous land surfaces. *Contr. Geophys. Inst. SAS, Ser. Meteorol.*, 17, 44-53.
- [12] Matejka, F., Hurtalová, T., 2003: Mathematical modelling of surface resistances and evapotranspiration rates at agricultural sites. *Contr. Geophys. Inst. SAS.*, 33, 191-212.
- [13] Novák, V., 1995. *Vyparovanie vody v prírode*. Bratislava, VEDA, 253 s.
- [14] Olioso, A., Carlson, T.N., Brisson, N., 1996: Simulation of diurnal transpiration and photosynthesis of a water stressed soybean crop. *Agric. And Forest Meteorol.*, 81, 41-59.
- [15] Rožnovský, J., Svoboda, J., 1995: Agroclimatological characterization of Žabčice field. Mendel University of Agriculture and Forestry, Brno, 49 s.
- [16] Rožnovský, J., Valentová, B., 2001: Effect of maize stand on soil heat flux. *Contrib. Geophys.and Geodesy*, 31, 477-482.
- [17] Turner, N.C., Schulz, E.D., Gollan, T., 1984: The response of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water contents. *Oecologia* 63, 338-342.
- [18] Xue, Q., Weiss, A. Arkebauer, T.J., Baenziger, P.S., 2004: Influence of soil water status and atmospheric vapor pressure deficit on leaf gas exchange in field-grown winter wheat. *Environmental and Experimental Botany* 51, 167–179.

Kontaktná adresa:

RNDr. František Matejka, CSc.,

Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 28 Bratislava, SR

Tel.: +421 02 54772309

Fax : +421 02 59410626

E-mail: geofmate@savba.sk