

ATMOSFÉRICKÉ SUCHO NA ZAČÍATKU TRETIEHO TISÍCROČIA

František Matejka, Jaroslav Rožnovský, Tatjana Hurtalová, Mojmir Kohut

Summary

Atmospheric drought at the beginning of third millennium

Seasonal changes in the vapour pressure deficit (VPD) were analyzed at three localities in southern Moravia. The obtained results showed an increase in daily and monthly means of the VPD observed during the period of years 2000 – 2003. Surprisingly high values were recorded at stations Velké Pavlovice and Brod n.D. in June 2002 and 2003 when the VPD reached the daily maximum of 55.5 hPa and 60.9 hPa, respectively. Similar values were recorded at Žabčice over the growing period of the year 2000 when the daily maximum of the VPD exceeded 3000 hPa nineteen times. Model simulations of evapotranspiration rates affected by changes in the VPD led to conclusion that high values of the VPD, which were recorded during the growing period of 2000, brought to intensive evapotranspiration what resulted in rapid decrease of the soil water content in the root zone.

Úvod

V posledných rokoch sa v odbornej literatúre stále častejšie venuje pozornosť rastúcej frekvencii extrémnych meteorologických javov (Karl et al., 1995; Tsonis, 1996). V tejto súvislosti sú najčastejšie diskutované teplotné anomálie (Krška a Munzar, 1984; Krška a Racko, 1993; 1996, Kyselý a kol., 2000; Pavlík a kol., 2003), pričom sa všeobecne hľadá ich súvislosť so skleníkovým efektom (Balling a. Idso, 1990). Témou značného počtu publikácií sú tiež extrémne meteorologické javy súvisiace so zrážkami ako búrky a privalové dažde (Willems, 2000; Wotling a kol., 2000; Gellens, 2002;).

Na druhej strane je však v rámci výskumu extrémnych meteorologických javov značná pozornosť venovaná aj problematike sucha (Gardner, 1981; Choudhury a Monteith, 1986; Sperry,

2000). Meteorologický slovník (1993) charakterizuje sucho ako „*veľmi neurčitý, avšak v meteorológii často používaný pojem znamenajúci v zásade nedostatok vody v pôde, rastlinách alebo aj v atmosfére*“. V posledných rokoch sa 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 (Gucci, 1996; Leonardi a kol., 2000; Habermann a kol., 2003; Xue a kol., 2004).

Predložený príspevok upozorňuje na výskyt období s extrémnym atmosférickým suchom, ktoré sa vyskytlo v poslednej dekáde minulého storočia a najmä v prvých rokoch tretieho tisícročia. Súčasne predložená práca hodnotí vplyv extrémneho atmosférického sucha na vodný režim porastu kukurice.

Kontaktné adresy

RNDr. Tatjana Hurtalová, CSc., geoftahu@savba.sk
RNDr. František Matejka, CSc., geofmate@savba.sk
Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 28 Bratislava, SR

RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc., roznovsky@chmi.cz
Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Zemědělská 1, 613 00 Brno, ČR

RNDr. Mojmir Kohut, mojmir.kohut@chmi.cz
Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 43, 616 67 Brno, ČR

Materiál a metódy

Atmosférické sucho je v predloženej štúdií charakterizované pomocou sýtostného doplnku, ktorý môže slúžiť aj ako kvantitatívne vyjadrenie evaporačných požiadaviek ovzdušia. Pre stanovenie dennej a sezónnej dynamiky sýtostného doplnku boli využité výsledky meraní teploty a vlhkosti vzduchu vykonávané na staniách ČHMÚ Velké Pavlovice (indikatív 725) a Brod n. D. (indikatív 729).

Pre podrobnejšiu analýzu vplyvu atmosférického sucha na vodný režim 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.

Pre podrobnejšiu analýzu vplyvu atmosférického sucha na evapotranspiráciu bol použitý matematický model turbulen-

tných tokov tepla a vodnej pary nad rastlinným porastom (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. Tento model bol úspešne experimentálne verifikovaný pre porast kukurice (Matejka, 1995) i pre ďalšie porasty poľných plodín (Matejka, 1997).

Výsledky a diskusia

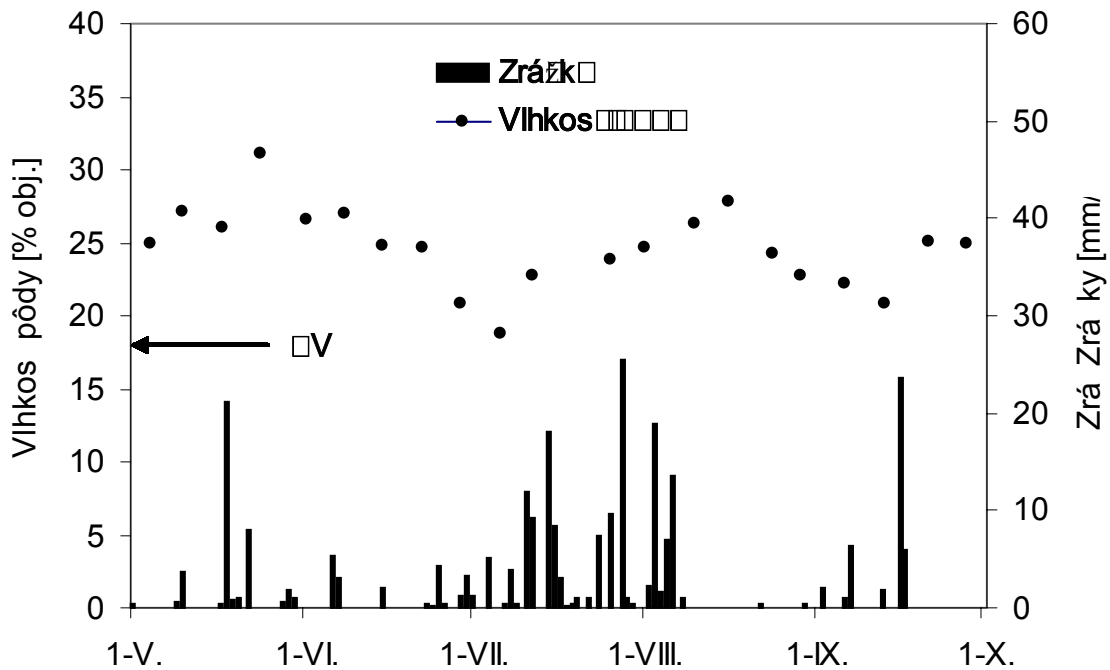
Extrémne atmosférické sucho, ktoré sa v oblasti juhovýchodných Čiech vyskytlo súčasne s pôdnym suchom, možno názorne ilustrovať na príklade vegetačného obdobia roku 2000. Začiatok tohto vegetačného obdobia bol sprevádzaný výrazným zrážkovým deficitom, ktorý začal už v mesiaci apríli, keď mesačný úhrn zrážok za apríl 2000 dosiahol len 2,4 mm, čo predstavuje 7,8% z klimatického normálu. V súvisi s tým boli aj hodnoty vlhkosti pôdy v prevažnej časti rastového obdobia mimoriadne nízke, pričom sa koncom júna a v prvej polovici júla blížili k hodnotám bodu trvalého vädnutia (obr. 1), ktorého priemerná hodnota v koreňovej zóne predstavuje 18 objemových percent (Eitzinger, 2003).

V hodnotenom období sa však v poludňajších hodinách jasných letných dní súčasne s pôdnym suchom vyskytovali aj mimoriadne nízke hodnoty relatívnej vlhkosti vzduchu. Popri tom bol rok 2000 v uvažovanej lokalite hodnotený ako mimoriadne teplý, keď priemerná ročná teplota vzduchu dosiahla $16,7^{\circ}\text{C}$, čo je najvyšší ročný priemer za celkove veľmi teplé desaťročie 1991-2000 (Svoboda a Brotan 2003). Vysoké teploty vzduchu, sprevádzané jeho nízkou relatívnou vlhkosťou, ktoré sa vyskytovali najmä v máji a júni 2000, mali za následok nárast sýtostného doplnku, ktorý sa prejavil aj pri porovnaní s hodnotami cha-

rakteristickými pre polovicu minulého storočia (tab.1).

Ešte výraznejšie sa teplé a suché počasie v lete roku 2000 prejavilo v raste denných maxim sýtostného doplnku. V priebehu hodnoteného obdobia hodnota denného maxima sýtostného do-

plnku 19-krát prekročila 3000 hPa. Absolútne denné maximum 54,8 hPa pripadlo na 22. júna 2000, pričom v dvoch predchádzajúcich dňoch dosiahli denné maximá 40,94 hPa, resp. 48,54 hPa (obr. 2).



Obr. 1 Sezónny priebeh priemernej vlhkosti pôdy v koreňovej zóne a denné úhrny zrážok v období máj – september 2000 v lokalite Žabčice. Šípka v grafe indikuje hodnotu bodu trvalého vädnutia.

Tab. 1 Mesačné priemery sýtostného doplnku v Žabčiciach v mesiacoch máj-september 2000 porovnané s mesačnými priemermi sýtostného doplnku v Bratislave za desaťročie 1956-1965 (Murínová a Ostrožlík, 1979).

Sýtostný doplnok [hPa]	V	VI	VII	VIII	IX	V-IX
Žabčice, rok 2000	9,5	13,0	6,5	9,5	4,7	43,3
Bratislava, 1956-1965	6,3	7,9	9,2	8,4	6,4	38,2

Obr. 2 Sezónny priebeh denných maxim sýtostného doplnku v období máj – september 2000 v lokalite Žabčice.

Výskyt takýchto vysokých denných maxim sýtostného doplnku je v našich klimatických pomeroch veľmi málo pravdepodobný. Podobné denné maximá sýtostného doplnku sú typické pre aridné klimatické oblasti. Môže teda vzniknúť pochybnosť, či extrémne vysoké denné maximá sýtostného doplnku stanovené vo vegetačnom období roku 2000 v Žabčiciach neboli ovplyvnené chybami merania alebo vyhodnotenia nameraných dát. Je teda celkom prirodzené položiť si otázku, či sa mimoriadne vysoké hodnoty sýtostného doplnku vyskytli aj na iných

staniciach v okolí Žabčíc. S cieľom potvrdiť alebo spochybniť mimoriadny sezónny chod sýtostného doplnku vo vegetačnom období roku 2000 v Žabčiciach boli analyzované výsledky meraní z dvoch blízkych bodov staničnej siete ČHMÚ, konkrétne z automatických staníc 725 Velké Pavlovice a 729 Brod n. D. Výsledky vykonanej analýzy, viedli k záveru, že aj v týchto dvoch lokalitách boli denné maximá sýtostného doplnku mimoriadne vysoké, a to nielen v roku 2000 ale aj v nasledujúcich rokoch, najmä v roku 2003 (Tab. 2).

Tab. 2. Mesačné maximá sýtostného doplnku vyjadrené v hPa na staniciach 725 Velké Pavlovice (indikatív 725) a Brod n. D. (indikatív 729).

	indikatív	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Rok 2002	725	12,8	10,6	16,3	16,5	28,0	34,5	40,1	26,7	25,0	13,7	10,5	6,1
	729	12,7	10,5	16,5	17,2	25,9	34,3	37,1	27,1	23,7	10,9	10,4	6,1
Rok 2003	725	4,2	8,3	19,2	23,5	32,7	38,1	38,6	55,5	32,4	15,1	8,7	6,1
	729	6,1	8,4	20,5	22,5	29,5	42,8	46,8	60,9	35,4	12,1	9,0	4,1

Absolútne maximum sýtostného doplnku z celého analyzovaného obdobia pripadlo na oboch stanicach zhodne na deň 13. augusta 2003. Na stanici 725 Velké Pavlovice sa absolútne denné maximum s hodnotou 55,5 hPa vyskytlo pri teplote vzduchu 37,5 °C a relatívnej vlhkosti 14%. Na stanici 729 Brod n. D. bola v čase absolútneho denného maxima 60,9 hPa zmeraná teplota vzduchu 39,0 °C pri relatívnej vlhkosti 13%.

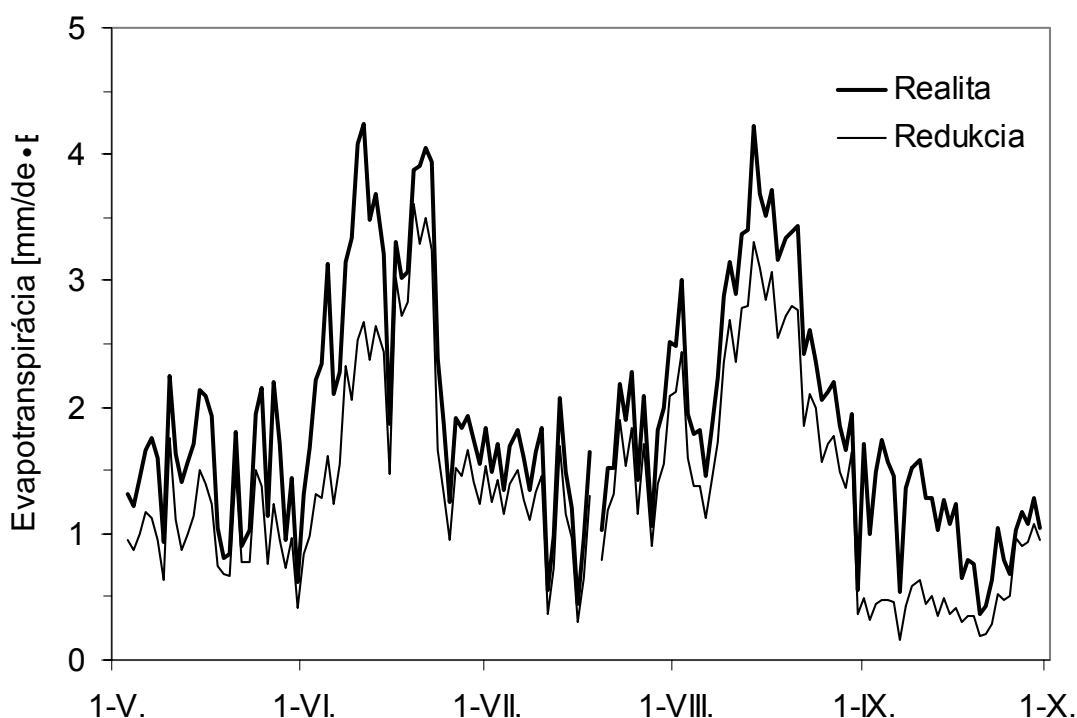
Možno teda konštatovať, že výskyt extrémne vysokých denných maxim sýtostného doplnku sa potvrdil aj v ďalších dvoch lokalitách blízko Žabčíc. Zistené absolútne denné maximum v týchto bodoch dokonca ešte prekonal najvyššie denné maximum zo Žabčíc. To znamená, že v prvých rokoch tohto storočia sa v oblasti južnej Moravy prekvapujúco zvýšili denné maximum sýtostného doplnku. Zvýšenie sa pritom týka nielen hodnôt denných maxim ale aj frekvencie prekročenia hodnoty 30 hPa.

Napriek tomu, že sa rast hodnôt sýtostného doplnku prejavil najmä na denných maximách a len menej výrazne na denných a mesačných priemeroch, je dôvod považovať tento fenomén za významný, najmä ak uvážime, že extrémne javy počasie sú významnejšie ako priemerné hodnoty (Katz a Brown, 1992). Sýtostný doplnok je totiž často používaný ako charakteristika evaporačných požiadaviek ovzdušia a ako taký je významným faktorom ovplyvňujúcim evapotranspiráciu. Vzniká teda otázka, ako sa prejaví rast hodnôt sýtostného doplnku na dennú a sezónnu dynamiku evapotranspirácie. Pri riešení tejto problematiky bol použitý experimentálne verifikovaný matematický model turbulentných tokov tepla a vodnej pary nad rastlinným porastom (Matejka, 1997). Napred boli pomocou tohto modelu stanovené denné a sezónne chody aktuálnej evapotranspirácie z analyzovaného kukuričného poľa v Žabčiciach pre reálne hodnoty všetkých vstupných údajov charakterizujúcich

system „pôda-porast-atmosféra“ včítane sýtostného doplnku. Potom bol ten istý postup zopakovaný s tým rozdielom, že hodnoty sýtostného doplnku na vstupe modelu boli vydelené dvoma, čím sa jeho denné maximum priblížilo k úrovni obvyklej v našich klimatických podmienkach. Samozrejme, ostatné vstupné veličiny sa v porovnaní s prvým simulačným výpočtom nezmenili. Takto kvantifikovaný vplyv sýtostného doplnku na sezónnu dynamiku evapotranspirácie je v grafickej forme prezentovaný na obr.3.

Z obrázku je zrejmé, že redukcia hodnôt sýtostného doplnku na vstupe simulačného modelu mala za následok pokles denných súm aktuálnej evapotranspirácie, pričom k najvýraznejšej redukcii evapotranspirácie dochádzalo v obdobiach s teplým a suchým počasím a s nízkou pôdnou vlhkosťou. Z časového hľadiska sa pokles najvýraznejšie prejavil v prvej polovici júna a v prvých dvoch dekádach septembra, čo sa odzrkadlilo aj v porovnaní mesačných súm aktuálnej evapotranspirácie pre reálne podmienky a po redukcii vstupných hodnôt sýtostného doplnku (tab. 3).

Inak povedané, extrémne vysoké hodnoty sýtostného doplnku, ktoré sa reálne vyskytli v priebehu hodnoteného obdobia viedli k intenzívnejšej evapotranspirácii, čo bolo príčinou rýchleho vysušovania pôdy v koreňovej zóne a v konečnom dôsledku aj výskytu období pôdneho sucha. Zostáva však doteraz neznáme, čo je príčinou zistených prekvapujúco vysokých denných maxim sýtostného doplnku. Možno, že východiskovým bodom pre získanie odpovede na takto formulovanú otázku by mohlo byť zistenie Choudhuryho a Monteitha (1986), ktorí prišli k záveru, že redukcia transpirácie spôsobená vodným stresom má za následok rast teploty povrchu listov a pokles vlhkosti vzduchu v okolí porastu. Táto problematika si však zrejme vyžiada ďalší intenzívny výskum.



Obr. 3. Sezónny priebeh denných súm aktuálnej evapotraspirácie v období máj – september 2000 v lokalite Žabčice pre reálne podmienky (hrubá čiara) a po redukovanií vstupných hodnôt sýtostného doplnku na polovicu (tenká čiara).

Tab. 3. Mesačné sumy aktuálnej evapotraspirácie vyjadrené v mm/deň v období máj – september 2000 v lokalite Žabčice pre reálne podmienky a po redukcii vstupných hodnôt sýtostného doplnku na polovicu.

	V	VI	VII	VIII	IX	V-IX
Reálne podmienky	43,23	81,76	47,01	80,51	32,88	285,38
Redukcia sýtostného doplnku	29,75	60,71	37,92	65,17	15,06	208,62

Na tomto mieste treba pripomenúť, že extrémne vysoké hodnoty sýtostného doplnku ovplyvňujú okrem evapotranspirácie aj ďalšie procesy, významné z hľadiska meteorológie, hydrológie alebo fyziológie rastlín. Autori viacerých doteraz publikovaných prác upozorňujú na skutočnosť, že sýtostný doplnok je významným faktorom výmeny oxidu uhličitého medzi vegetáciou a atmosférou a v súvisi s tým aj vonkajším činiteľom ovplyvňujúcim rýchlosť fotosyntézy (Gucci a kol., 1996; Habermann a kol.,

2003; Xue a kol., 2004). Zistilo sa tiež, že vysoké hodnoty sýtostného doplnku ovplyvňujú efektívnosť využívania radiačnej energie v porastoch kukurice (Kiniry a kol., 1998). Z environmentálneho hľadiska je dôležité vedieť, že extrémne vysoké hodnoty sýtostného doplnku, spolu s nedostatkom pôdnej vlhkosti, redukovávajú emisiu prchavých organických látok (Núñez a kol., 2002).

Vzhľadom na to, že časová a priestorová variabilita sýtostného doplnku je doteraz len zriedkavo predmetom výskumu

v meteorológii a klimatológii, bude určite užitočné venovať v najbližšej budúcnosti tejto problematike náležitú pozornosť. Samozrejme, v tejto súvislosti bude potrebné aj identifikovať príčinu výskytu týchto extrémov.

Záver

Z predbežnej analýzy sezónnej dynamiky sýtosťného doplnku v oblasti južnej Moravy v prvých rokoch tohto storočia vyplynulo, že priemerné hodnoty, ale najmä

denné maximá tejto veličiny prekvapujúco vzrástli v porovnaní s hodnotami, ktoré boli charakteristické pre niekoľko predchádzajúcich desaťročí.

Výsledky modelových simulácií ukázali, že extrémne vysoké hodnoty sýtosťného doplnku viedli k intenzívnejšej evapotranspirácii, čo bolo príčinou rýchleho vysušovania pôdy v koreňovej zóne a v konečnom dôsledku aj výskytu období pôdneho sucha.

Pod'akovanie. *Autori ďakujú Grantovej agentúre VEGA (projekt č. 2/2093/22) a Národnej agentúre zem'ed'elského výzkumu České republiky (projekt QF 3100) za finančnú podporu pri riešení uvedených projektov.*

Použitá literatúra

- [1] Balling Jr., R.C., Idso, S.B., 1990: Effects of greenhouse warming on maximum summer temperatures. *Agric. For. Meteorol.* 53, 143–147.
- [2] Calvet, J.C., 2000: Investigating soil and atmospheric plant water stress using physiological and micrometeorological data. *Agric. Forest Meteorol.*, 103, 229–247.
- [3] Eitzinger, J., Štastná, M., Žalud, Z., Dubrovský, M., 2003: A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios. *Agric. Water Manage.*, 61, 195–217.
- [4] 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, 1996
- [5] 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.
- [6] Choudhury, B.J., Monteith, J.L., 1986: Implications of stomatal response to saturation deficit for the heat balance of vegetation. *Agric. Forest Meteorol.*, 36, 215–225.
- [7] Gardner, R.B., Blad, B.L., Watts, D.G., 1981. Plant and air temperatures in differentially irrigated corn. *Agric. Meteorol.*, 25, 207–217.
- [8] Gellens, D., 2002: Combining regional approach and data extension procedure for assessing GEV distribution of extreme precipitation in Belgium. *Journal of Hydrology*, 268, 113–126.
- [9] Karl, T.R., Knight, R.W., Plummer, N., 1995: Trends in high frequency climate variability in the twentieth century. *Nature*, 377, 217–220.
- [10] Katz, R.W., Brown, B.G., 1992. Extreme events in a changing climate variability is more important than averages. *Climatic Change* 21, 289–302.

- [11] Kiniry, J.R., Landivar, J.A., Witt, M., Gerik, J., Cavero, J., Wade, L.J., 1998: Radiation-use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. *Field Crops Research*, 56, 265-270.
- [12] Kolektív autorov, 1993: Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Praha, MŽP ČR, 594 s.
- [13] Krška, K., Munzar, J., 1984: Teplotní zvláštnosti tropického léta 1983 v ČSSR a v Evropě. *Met. zprávy*, 37, 33-40.
- [14] Krška, K., Racko, S., 1993: Horúce leto 1992 v Českej a Slovenskej republike, jeho synoptický výklad a klimatologické zhodnotenie. *Met. zprávy*, 46, 33-41.
- [15] Krška, K., Racko, S., 1996: Mimoriadne teplé leto 1994 v Českej a Slovenskej republike. *Met. zprávy* 49, 12-21.
- [16] Kyselý, J., 2003: Časová proměnlivost horkých vln v České republice a extrémní horká vlna z roku 1994. *Met. zprávy*, 56, 13-18.
- [17] Leonardì, Ch., Guichard, S., Bertin, N., 2000: High vapour pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae* 84, 285-296.
- [18] Matejka F., 1995: Vplyv meteorologických faktorov na evapotranspiráciu. *Met. zprávy*, 48, 87-90.
- [19] Matejka, F., 1997: A three layer SVAT model for homogeneous land surfaces. *Contr. Geophys. Inst. SAS, Ser. Meteorol.*, 17, 44-53.
- [20] Murínová, G., Ostrožlík, M., 1979: Vlhkosť vzduchu. In: *Klíma a bioklíma Bratislavy* (ed. M. Konček), Bratislava, VEDA, 117 – 132.
- [21] Núñez, L., Plaza, J., Pérez-Pastor, R., Pujadas, M., Gimeno, B.S., Bermejo, V., García-Alonso, S., 2002: High water vapour pressure deficit influence on *Quercus ilex* and *Pinus pinea* field monoterpene emission in the central Iberian Peninsula (Spain). *Atmospheric Environment* 36, 4441–4452.
- [22] Pavlík, J., Němec, L., Tolazs, R., Valter, J., 2003: Mimořádné léto roku 2003 v České republice. *Met. Zprávy*, 56, 161-165.
- [23] Rožnovský, J., Svoboda, J., 1995: Agroclimatological characterization of Žabčice field. *Mendel University of Agriculture and Forestry, Brno*, 49 p.
- [24] Rožnovský, J., Valentová, B., 2001: Effect of maize stand on soil heat flux. *Contrib. Geophys.and Geodesy*, 31, 477-482.
- [25] Sperry, S., 2000. Hydraulic constraints on plant gas exchange. *Agric. Forest Meteorol.*, 104, 13-23.
- [26] Svoboda, J., Brotan, J., 2003: Změna některých klimatických charakteristik v oblasti Žabčic za období 1991 až 2000. In: *Bioklimatologické pracovné dni, 2003, Račkova dolina, Slovakia, 2.-4. September 2003, Slov.biokl. spol. pri SAV*, CD-ROM, 14.
- [27] Tsonis, A.A., 1996: Widespread increases in low-frequency variability of precipitation over the past century. *Nature*, 382, 700-702.
- [28] Wotling, G, Bouvier, Ch., Danloux, J., Fritsch, J- M., 2000: Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment. *Journal of Hydrology*, 233, 86-101.
- [29] Willems, P., 2000: Compound intensity/duration/frequency-relationships of extreme precipitation for two seasons and two storm types. *Journal of Hydrology*, 233, 189-205.
- [30] 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.