Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed.): XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě 2.-4. září 2002, ISBN 80-85813-99-8, s. 297-306

ŠTRUKTURA EVAPOTRANSPIRÁCIE PORASTU KUKURICE

František. Matejka
Jaroslav Rožnovský
Blanka Chalupníková
Taťjana Hurtalová

Abstract

STRUCTURE OF EVAPOTRANSPIRATION IN A MAIZE STAND

Daily and seasonal changes in evapotranspiration and its structure were analysed in a maize stand during the period between 3rd May 2000 and 18th October 2000. The cumulative evapotranspiration was determined over the season using the method of the water balance. The transpiration and soil evaporation hourly sums were calculated using an experimentally verified mathematical model.

The seasonal transpiration and soil evaporation over the whole analysed period reached 163.5 mm/day and 132.1 mm/day, respectively. It results in seasonal evapotranspiration which equals 295.6 mm/day The seasonal maximum in daily totals of the transpiration in the value of 3.05 mm/day fell on 14th August, when the sufficient soil moisture was accompanied with high values of the leaf area index. On the contrary, the maximal daily sum of the soil evaporation, 2.23 mm/day, occurred on 10th May, what was only one week after planting when the evaporating surface was represented by the bare soil without any vegetation.

The structure of the evapotranspiration varied significantly during the vegetation period. The ratio between the transpiration and soil evaporation reached its maximal values at the end of July and in the first decade of August when the transpiration accounted for 79% of the evapotranspiration and exceeded the soil evaporation more than three times. In the average over the whole analysed period, the transpiration reached 55% of the evapotranspiration and this ratio showed a significant seasonal variability connected with changes in the leaf area index.

In the analysed season there occurred also periods with the dry soil and extreme evaporative demands of the atmosphere what created conditions for an evaluation of the influence of soil and atmospheric drought on the structure of the evapotranspiration in the maize stand. The obtained results led to conclusions that, despite the high monthly totals of the evapotranspiration, the canopy suffered the water stress, especially in the first phases of its development.

Súhrn

Pre vegetačné obdobie roku 2000 bola na pokusnej ploche MZLU v Žabčiciach analyzovaná denná a sezónna dynamika transpirácie porastu kukurice a výparu z pôdy pod porastom. Pre stanovenie evapotranspirácie a jej zložiek bol použitý experimentálne verifikovaný matematický model, simulujúci vybrané charakteristiky vodného režimu porastu kukurice. Vstupné údaje do modelu tvorili výsledky mikrometeorologických meraní,

vykonávaných v poraste kukurice a nad ním. Súčasne bola stanovená evapotranspirácia v 5-10 denných intervaloch metódou vodnej bilancie.

Získané výsledky potvrdili, že štruktúru evapotranspirácie v priebehu vegetačného obdobia najvýznamnejšie ovplyvňuje sezónna dynamika indexu listovej pokryvnosti. Zodpovedajúcim spôsobom sa v priebehu vegetačného obdobia menil pomer transpirácie ku evapotranspirácii, ktorý dosahoval najvyššie hodnoty na prelome júla a augusta, kedy transpirácia tvorila až 79 % z evapotranspirácie a viac ako trojnásobne presahovala výpar z pôdy. V priemere za celé hodnotené obdobie od 3.5. do 18.10.2000 však predstavovala transpirácia len 54,7 % z evapotranspirácie, pričom tento pomer vykazoval výraznú sezónnu dynamiku, súvisiacu so zmenami indexu listovej pokryvnosti v priebehu vegetačného obdobia.

Zo získaných výsledkov ďalej vyplynulo, že pri poklese pôdnej vlhkosti pod bod zníženej dostupnosti vody pre porast, dochádza k súčasnej redukcii transpirácie aj výparu z povrchu pôdy, takže podiel transpirácie na evapotranspirácii takmer nie je nedostatkom vody v pôde ovplyvnený. Naproti tomu, vysoké evaporačné požiadavky suchého vzduchu prispievajú k nárastu oboch zložiek evapotranspirácie porastu kukurice, avšak tento nárast nie je v celom rozsahu proporcionálny, čo v konečnom dôsledku spôsobuje mierny pokles pomeru transpirácie k evapotranspirácii pri nízkej vlhkosti vzduchu.

Možno povedať, že faktory okolitého prostredia významne ovplyvňujú evapotranspiráciu, porastu kukurice, avšak na jej štruktúru majú len malý vplyv. Podiel transpirácie, resp. výparu z pôdy na evapotranspirácii závisí v tomto prípade hlavne od hodnoty indexu listovej pokryvnosti porastu.

Úvod

Evapotranspitácia je významnou zložkou rovnice vodnej bilancie pôdy pokrytej rastlinným porastom. Z hľadiska optimalizácie závlahového režimu je množstvo vody spotrebované na evapotranspiráciu hlavnou stratovou zložkou dynamiky vlhkostného režimu pôd (Benetin, 1970). Okrem toho je evapotranspirácia úzko spojená s tvorbou biomasy a s vývojom rastlinných porastov (Gates, 1980).

Podľa svojej definície je evapotranspirácia súčtom výparu z listov, čiže transpirácie a výparu z pôdy pod porastom. Vzhľadom na to, že pre produkčné procesy a tvorbu biomasy je významné len množstvo vytranspirovanej vody, predstavujúce z fyziologického hľadiska užitočný výpar, je dôležité poznať nielen denné a sezónne zmeny evapotranspirácie, ale aj vedieť, v akom pomere sa evapotranspirácia delí na svoje dve zložky**.**

Vzhľadom na svoj multidisciplinárny charakter sa evapotranspirácia stala frekventovanou témou v hydrológii, pedológii, meteorológii a ekológii. K hlbšiemu poznaniu zákonitostí procesov evapotranspirácie významne prispeli práce autorov, ktorí rešpektovali fyzikálny koncept evapotranspirácie v biologickom kontexte (Monteith 1973, 1980,1981, Shuttlewort, 1979, Jarvis, 1981 a ďalší). So zameraním na oblasť strednej a východnej Európy sa evapotranspiráciou zaoberali viacerí autori, napr. Budagovskij, (1964), Pýcha (1965), Tomlain (1978), Benetin et al, (1982), Novák, (1995), Hurtalová (1990), Kowalik, (1994). a mnohí ďalší.

Vzhľadom na komplikované stanovenie jednotlivých zložiek evapotranspirácie bolo doteraz venovaných podstatne menej prác štruktúre evapotranspirácie. Cieľom predloženého príspevku je preto stanoviť pre porast kukurice nielen denné a sezónne chody evapotranspirácie, ale súčasne analyzovať v priebehu jedného vegetačného obdobia aj zmeny

transpirácie a výparu z pôdy pod porastom, a to v závislosti od meniacich sa biometrických charakteristík porastu a parametrov stavu okolitého prostredia

Popis lokality a metodika experimentu

Experimentálne podklady potrebne pre stanovenie evapotranspirácie a jej zložiek boli získané v Žabčiciach (ϕ = 49°01‘, λ = 16°37‘, 179 m n. m.) na pokusných plochách Mendelovej poľnohospodárskej a lesníckej univerzity. Pokusný porast tvorila kukurica (Zea mays L.), kultivar STIRA. Predplodinou bola ozimná pšenica. Kukurica bola vysiata 6. mája 2000 na ploche 0,55 ha s hustotou 12 rastlín/m^2. Pokusné pole nebolo zavlažované a podzemná voda neovplyvňovala vlhkostné pomery v koreňovej zóne, takže jediným zdrojom vody pre porast boli atmosferické zrážky.

Experimentálna plocha leží v teplom agroklimatickom makroregióne s miernou zimou (Rožnovský a Svoboda, 1995). Charakteristiky porastu, spolu s podrobným popisom pôdnych a klimatických podmienok danej lokality, boli už skôr publikované (Rožnovský a Valentová, 2001, Matejka et al., 2001).

Na tejto experimentálnej ploche boli počas celého vegetačného obdobia roku 2000 vykonávané nepretržité automatizované mikroklimatické profilové merania rýchlosti vetra, teploty a vlhkosti vzduchu. Súčasne s profilovými meraniami boli pri použití pyranometra CM 6B automaticky zaznamenávané hodnoty globálneho žiarenia vo výške 12 m nad povrchom pôdy. Pre meranie toku tepla do pôdy pod porastom kukurice boli použité dva snímače typu HFT-3. Základné agrometeorologické merania boli registrované pomocou automatickej meracej ústredne Campbell CR 10. Pre monitorovanie mikroklímy porastu kukurice slúžila druhá meracia ústredňa typu CR10x. Obe meracie zariadenia boli naprogramované na snímanie hodnôt meraných prvkov v intervaloch desať sekúnd a na ukladanie štvrťhodinových priemerov na pamäťové médium. Sezónny chod koeficientu dynamickej drsnosti kukuričného poľa a efektívnej výšky porastu kukurice bol stanovený na základe profilových meraní rýchlosti vetra (Hurtalová, 2002). Radiačná bilancia bola vypočítaná z meraných hodnôt globálneho žiarenia s využitím poznatkov o existencii tesného štatistického vzťahu medzi globálnym žiarením a radiačnou bilanciou (Fritschen, 1967, Gay, 1971, Nkemdirim, 1973).

Pôdna vlhkosť bola zisťovaná vážením pôdnych vzoriek odoberaných v týždňových intervaloch zo štyroch vrstiev pôdneho profilu do hĺbky 60 cm. V rovnakých intervaloch bola meraná priemerná výška porastu a na základe hodnoty slnečného žiarenia absorbovaného v poraste bol určovaný index listovej pokryvnosti. Denné úhrny zrážok boli zisťované štandardnou metodikou.

Zo zmien obsahu vody v hodnotenom pôdnom profile 0 – 60 cm a zo sumy zrážok za príslušné obdobie bola stanovená evapotranspirácia pre všetky intervaly medzi dvoma za sebou idúcimi meraniami pôdnej vlhkosti metódou vodnej bilancie (Novák, 1995). Pre podrobnejšiu analýzu boli potom zložky evapotranspirácie vypočítane pomocou matematického modelu turbulentných 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 rôzne porasty poľných plodín pestovaných v rôznych geografických, pôdnych a klimatických podmienkach (Hurtalová a Matejka, 1995, Matejka, 1997).

Výsledky a diskusia

Pri analýze sezónnych zmien evapotranspirácie bola v prvom rade porovnaná kumulatívna evapotranspirácia za hodnotené obdobie stanovená metódou vodnej bilancie a vypočítaná pomocou matematického modelu (obr. 1). Vzhľadom na to, že metóda vodnej bilancie je principiálne veľmi jednoduchá, vychádza z priamo meraných údajov a je často považovaná za štandardný postup, môžeme výsledok znázornený na obrázku č. 1 chápať aj ako istú verifikáciu modelových výstupov. Je zrejmé, že obe metódy poskytujú dobre porovnateľné výsledky. Zvlášť dobrá zhoda sa dosiahla pri hodnote evapotranspirácie za celé uvažované obdobie, kde z oboch metód vychádza prakticky rovnaký výsledok. Vzhľadom na dobrú zhodu modelových simulácií evapotranspirácie s hodnotami, stanovenými štandardnou metódou vodnej bilancie, budeme v ďalšej analýze intenzívne využívať výsledky modelových simulácií, pretože použitý model umožňuje analyzovať nielen evapotranspiráciu, ale aj jej zložky a následná analýza môže byť vykonaná podrobne, z časového hľadiska s denným, alebo aj hodinovým krokom. Vzhľadom na to, že vlhkosť pôdy v koreňovej zóne sa v hodnotenom období menila v širokom intervale svojich hodnôt, bolo možné výsledky modelových simulácií využiť aj pre zhodnotenie vplyvu pôdneho sucha na evapotranspiráciu a jej štruktúru.

Výsledky analýzy sezónnej variability denných súm evapotranspirácie a jej zložiek ukázali, že porast ako celok začal zreteľne transpirovať koncom druhej májovej dekády. Na rozhraní júla a augusta, keď index listovej pokryvnosti dosahoval svoje sezónne maximum, kulminoval aj podiel transpirácie na evapotranspirácii. V dôsledku poklesu zelenej plochy listov, jej podiel na celkovej ploche listov v druhej polovici septembra rýchlo klesal a v dôsledku toho sa asi týždeň pred zberom transpirácia porastu prakticky zastavila.

Najvyššie hodnoty denných súm evapotrasnspirácie sa vyskytli v mesiaci júni a potom v polovici augusta. (obr. 2). V tomto období boli denné maximá sýtostného doplnku mimoriadne vysoké a súčasne bol porast dostatočne zásobený pôdnou vodou (obr. 3). Absolútne maximum denných súm evapotranspirácie s hodnotou 4,24 mm/deň pripadlo na 11.6.2000. Pritom sa však najvyššia denná suma výparu z pôdy vyskyla už 10.5.2000, kedy táto hodnota dosiahla 2,23 mm/deň. Najviac vody vytranspiroval porast kukurice dňa 14.8.2000, a to 3,05 mm/deň.

Naproti tomu, v polovici mesiaca júla denné sumy evapotranspirácie výrazne poklesli. Stalo sa tak počas niekoľkodenného obdobia s chladnejším, oblačným a daždivým počasím, keď bola evapotranspirácia redukovaná vysokou vlhkosťou vzduchu, nízkym príkonom slnečného žiarenia a hodnotami pôdnej vlhkosti pod bodom zníženej dostupnosti vody pre porast. Nízke hodnoty evapotranspirácie a jej zložiek boli charakteristické hlavne pre druhú júlovú dekádu. Priemerná denná suma evapotranspirácie dosiahla v tomto desaťdennom období len 1,16 mm/deň pri priemernej dennej transpirácii 0,92 mm/deň a priemernom dennom výpare z pôdy 0,24 mm/deň.

Základnú predstavu o sezónnych zmenách štruktúry evapotranspirácie porastu kukurice v hodnotenom období poskytuje tabuľka č.1.

Tab. 1 Mesačné sumy transpirácie ET, výparu z pôdy ES a evapotranspirácie E vo vegetačnom období roku 2000 spolu s hodnotami potenciálnej evapotranspirácie podľa Penmana EP, relatívnej evapotranspirácie E/EP a podielu transpirácie na evapotranspirácii ET/EP.

	V	VI	VII	VIII	IX	X	V - X
ET [mm/mesiac]	1,04	41,72	36,07	62,49	22,00	0,18	163,50
ES [mm/mesiac]	42,19	40,04	10,94	18,02	10,88	10,09	132,15
E [mm/mesiac]	43,23	81,76	47,01	80,51	32,88	10,27	295,65
EP [mm/mesiac]	145,33	209,65	134,93	179,22	100,61	44,53	814,27
E/EP	0,30	0,39	0,35	0,45	0,33	0,23	0,36
ET/E	0,02	0,51	0,77	0,78	0,67	0,02	0,55

Údaje v predposlednom riadku tabuľky č. 1 svedčia o tom, že porast kukurice v celom hodnotenom období trpel vodným stresom. Táto skutočnosť vystúpi do popredia zvlášť zreteľne, ak porovnáme údaje z predposledného riadku tabuľky č. 1 s hodnotami relatívnej evapotranspirácie pre Brno, ktoré uvádza Tomlain (1978) ako dlhodobé priemery. Z tohto porovnania vyplýva, že hodnoty relatívnej evapotranspirácie boli v Žabčiciach podstatne nižšie, než priemerné hodnoty pre Brno, a to najmä v máji a júni (0.30 a 0,39 oproti 0.75, resp. 0,81), teda pôdne sucho ovplyvnilo vývoj porastu zvlášť v jeho počiatočných vývojových fázach.

Evapotranspiráciu a jej zložky však okrem atmosferických faktorov ovplyvňujú aj rezistencia porastu a jeho biometrické charakteristiky. Je známe, že sezónny chod denných súm evapotranspirácie korešponduje so sezónnou dynamikou indexu listovej pokryvnosti (Steduto a Hsiao, 1998). Táto súvislosť nie je z obr. 2 zrejmá, pretože v hodnotenom období roku 2000 sa vyskytli netypické sezónne chody vlhkosti pôdy, globálneho žiarenia, teploty a vlhkosti vzduchu a účinok týchto atmosferických faktorov prekryl očakávaný vplyv indexu listovej pokryvnosti na evapotranspiráciu. Napriek tomu, že sa v hodnotenej sezóne jednoznačne neprejavil vplyv indexu listovej pokryvnosti na evapotranspiráciu ako celok, index listovej pokryvnosti však napriek tomu markantne ovplyvňoval jej zložky. Túto skutočnosť názorne ilustrujú obrázky č. 4 a 5.

Až do tretej májovej dekády bola transpirácia porastu kukurice takmer rovná nule, potom však pomer transpirácie k evapotranspirácii začal rýchlo rásť. Na konci prvej dekády júna už tvorila transpirácia polovicu evapotranspirácie. V auguste a v prvej polovici septembra bola transpirácia dominantnou zložkou evapotranspirácie, keď pomer ET/E dosahoval v percentuálnom vyjadrení hodnoty blízke 80 % a transpirácia prevyšovala takmer štvornásobne výpar z pôdy pod porastom. Posledné dva týždne pred zberom už porast kukurice takmer netranspiroval a štrukttúra evapotranspirácie opäť pripomínala situáciu v prvých dvoch týždňoch po sejbe. Tvar sezónneho chodu pomeru transpirácie k evapotranspirácii sa veľmi podobá krivke sezónnej dynamiky indexu listovej pokryvnosti. Závislosť štruktúry evapotranspirácie od indexu listovej pokryvnosti je ešte výraznejšie vyjadrená na obr. 5, z ktorého vyplýva, že štruktúra evapotranspirácie najcitlivejšie reaguje na zmeny indexu listovej pokryvnosti pri jeho malých hodnotách, meniacich sa v intervale 0 – 1. V prípade, že sa porast zapojí, čomu obvykle zodpovedajú hodnoty indexu listovej pokryvnosti LAI>3, znamená to, že transpirácia zapojeného porastu je už stále dominantnou zložkou evapotranspirácie a výpar z pôdy pod porastom kukurice v takýchto situáciách dosahuje už len 25 - 30 % z evapotranspirácie. Možno teda povedať, že zapojenie porastu je najdôležitejšou podmienkou redukcie neužitočného výparu, umožňujúcou z fyziologického hľadiska optimalizovať štruktúru evapotranspirácie.

Existuje však ešte ďalší faktor, ktorý nepochybne ovplyvňuje evapotranspiráciu a jej zložky, a tým je vlhkosť pôdy v koreňovej zóne. Vplyv pôdnej vlhkosti na transpiráciu a výpar z pôdy ilustrujú pre analyzovaný porast kukurice a hodnotené obdobie obrázky č. 6 a 7. Trendové čiary na obr. 6 svedčia o tom, že pôdna vlhkosť pri svojom poklese významne redukuje obe zložky evapotranspirácie, pričom pri suchej pôde transpirácia porastu reaguje na zmeny pôdnej vlhkosti menej citlivo, než výpar z pôdy. Tento rozdiel možno vysvetliť schopnosťou koreňového systému kukurice získavať aj ťažšie dostupnú pôdnu vodu.

Vzhľadom na to, že transpirácia aj výpar z pôdy pod porastom kukurice reagujú približne rovnako citlivo na zmeny obsahu vody v pôde, nie je vplyv pôdnej vlhkosti na štruktúru evapotranspirácie už taký zrejmý (obr. 7). Možno však povedať, že vďaka schopnosti koreňového systému získavať aj menej dostupnú vodu z pôdy, je podiel transpirácie na evapotranspirácii pomerne vysoký aj pri nedostatku vody v pôde.

Za celé hodnotené obdobie teda porast kukurice vytranspiroval 163,5 mm vody. Z pôdy pod porastom sa za tú istú dobu vyparilo 132, 1 mm vody, čo spolu predstavuje sezónny úhrn evapotranspirácie vo výške 295, 6 mm. V hodnotenom období pritom spadlo celkom 264,9 mm zrážok, teda okrem zrážok sa na zabezpečenie evapotranspirácie muselo využiť aj 30,7 mm z obsahu vody v pôde.

Záver

Získané výsledky svedčia o tom, že evapotranspiráciu porastu kukurice a jej zložky ovplyvňujú hlavne evaporačné požiadavky ovzdušia, index listovej pokryvnosti porastu a vlhkosť pôdy v koreňovej zóne. Pritom faktory okolitého prostredia, ako teplota a vlhkosť vzduchu, príkon slnečného žiarenia a vlhkosť pôdy v koreňovej zóne vplývajú na evapotranspiráciu ako celok. Naproti tomu index listovej pokryvnosti porastu je rozhodujúcim činiteľom určujúcim pomer, v akom sa evapotranspirácia delí na transpiráciu a výpar z pôdy pod porastom.

Napriek pomerne vysokým mesačným úhrnom evapotranspirácie porast trpel nedostatkom vody v pôde, a to hlavne v prvej polovici vegetačného obdobia a na jeho konci, kedy hodnoty pomeru aktuálnej a potenciálnej evapotranspirácie nepresiahli v percentuálnom vyjadrení 40 % (tab. 1). Relatívna evapotranspirácia porastu kukurice v Žabčiciach bola porovnateľná s dlhodobými priemermi pre Brno a okolie (Tomlain, 1978) len v mesiaci auguste, kedy aj transpirácia dosiahla svoje sezónne maximum. V hodnotenom vegetačnom období roku 2000 teda rast a vývoj porastu kukurice najmä v prvých vývojových fázach výrazne ovplyvňoval nedostatok vody v pôde, keď obsah pôdnej vody nepokrýval extrémne vysoké evaporačné požiadavky ovzdušia.

Poďakovanie. *Autori ďakujú za čiastočnú finančnú podporu Slovenskej grantovej agentúre VEGA (granty č. 2/7064/21 a 2/2093/22) a Ministerstvu školstva, mládeže a telovýchovy ČR (grant č. J08/98:432100001).*

Adresy autorov

RNDr. Taťjana Hurtalová, CSc., RNDr. František Matejka, CSc.
Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 842 28 Bratislava, SR

geoftahu@savba.sk, geofmate@savba.sk

RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc.
Ústav krajinné ekologie, MZLU v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, ČR
roznovsky@chmi.cz

Ing. Blanka Chalupníková, PhD.
Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 43, 616 67 Brno, ČR
chalupnikova@chmi.cz

Zoznam použitej literatúry

Benetin, J.: Dynamika pôdnej vlahy. Bratislava, Vydavateľstvo SAV 1970, 272 s.

Benetin, J., Tomlain, J., Novák, V.: The study of evapotranspiration in Czechoslovakia. National Commitee of Hydrology, Bratislava 1982, 35 s.

Budagovskij, A. I.: Isparenie počvennoj vlagi. Moskva, Nauka 1964,242 s.

Fritschen, L. J.: Net and solar radiation relations over irrigated field crops. Agric. Meteorol., 4, 1967, 55-62.

Gates, D. M.: Biophysical ecology. Springer Verlag, New York, 1980, 611 pp.

Gay, L. W.: The regression of net radiation upon solar radiation. Arch. Meteorol. Geophys. Bioclimatol., Ser. B, 19, 1971, 1-14.

Hurtalová, T.: Evapotranspiration of maize canopy in onthogenesis. Contr. Geophys. Inst. SAS, Ser. Meteorol., Vol. 10, 1990, 42-51.

Hurtalová, T., Matejka, F.: Aerodynamical properties of air layer affected by different crop canopies. Technical report of the NOPEX program, No. 11, Geophysical Institute of the SAS, 1995, Bratislava, 25 pp.

Hurtalová, T.: Aerodynamické vlastnosti systému porast kukurice-prostredie. In: Zborník referátov z XIV Česko-slovenskej bioklimatologickej konferencie. "Bioklima-prostředí-hospodářství", Lednice 2002, CD-ROM.

Jarvis, P. G.: Models of plant and crop water use. In: Mathematics and Plant physiology. (eds. D. A. Rose, D. A. Charles-Edwards), New York, Acad. Press 1981, 151-194.

Kowalik, P. J.: Flow of Water and Chemicals in Terrestrial Ecosystems. Univ. of Florence 1994, 234 s.

Matejka, F.: Vplyv meteorologických činiteľov na evapotranspiráciu. Met. zprávy, 48, 1995, 87-90.

Matejka, F.: A three layer SVAT model for homogeneous land surfaces. Contr. Geophys. Inst. SAS, Ser. Meteorol., 17, 1997, 44-53.

Matejka, F., Hurtalová, T., Rožnovský, J., Chalupníková, B.: Effect of soil drought on evapotranspiration of maize stand. Contrib. Geophys. and Geodesy, **31**, 2001, 455-466.

Monteith, J. L.: Principles of Environmental Physics. London, Edward Arnold 1973, 241 s.

Monteith, J. L.: Coupling of plants to the atmosphere. In: Plants and their atmospheric environment. (J. Grace, D. E., .Ford, P. G., Jarvis, eds.). Blackwell Sci. Publ., London, 1980, 1-29.

Monteith, J. L.: Evaporation and surface temperature. Q. J. Roy. Meteorol. Soc., Vol. 107, No. 451, 1981, 1-27.

Nkemdirim, L. C.: Radiative flux relations over crops. Agric. Meteorol., 11, 1973, 229-242.

Novák, V.: Vyparovanie vody v prírode. Bratislava, VEDA 1995, 260 s.

Pýcha, M.: Vliv půdní vlhkosti na evapotranspiraci zemědělských plodin. Sborník ÚVTI – Meliorace, 1, 1965, 3-12.

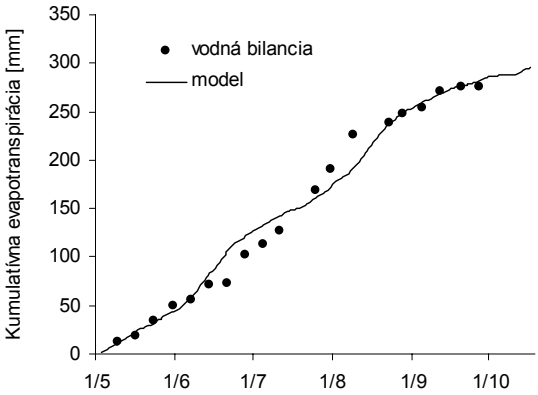
Shuttleworth, W. J.: Evaporartion. Report No. 56, Wallingford 1979, 61 s.

Rožnovský, J, Svoboda, J.: Agroklimatologické charakteristiky oblasti Žabcic. Folia, Series A, Brno, Mendel Agricultural and Forestry University 1995, 49 p.

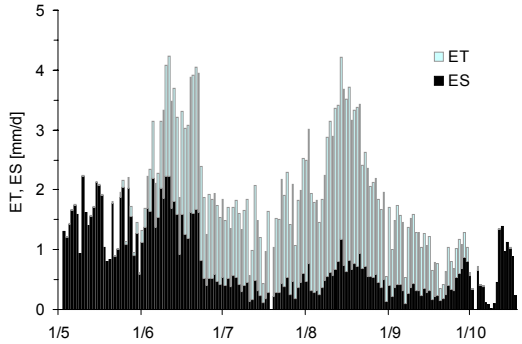
Rožnovský, J., Valentová, B.: Effect of maize stand on soil heat flux. Contrib. Geophys.and Geodesy, 31, 2001, 477-482.

Steduto, P., Hsiao, T. C.: Maize canopies under two soil water regimes. I. Diurnal patterns of energy balance, carbon dioxide flux and canopy conductance. Agric. Forest Meteorol., 89, 1998, 169-184.

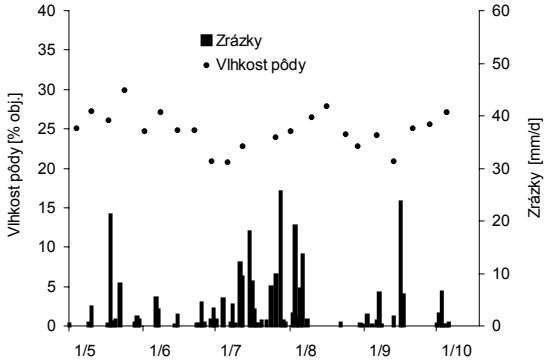
Tomlain, J.: Relative Verdunstung und ihre Verteilung auf dem Territorium der ČSSR. Contribb. Geophys. Inst. SAS, Ser. Meteorol., 2, 1978, 207-224.



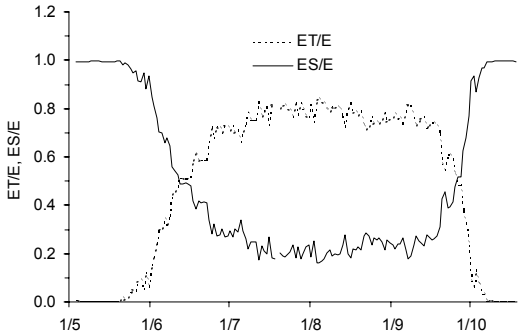
Obr. 1. Porovnanie hodnôt kumulatívnej evapotranspirácie stanovených metódou vodnej bilancie a pomocvou modelových simulácií.



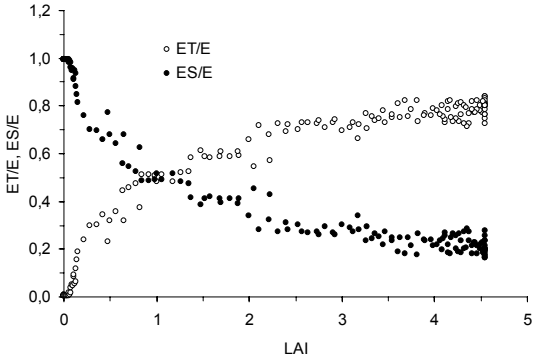
Obr. 2. Denné sumy transpirácie ET a výparu z pôdy ES v období 3.5. – 18.10.2000



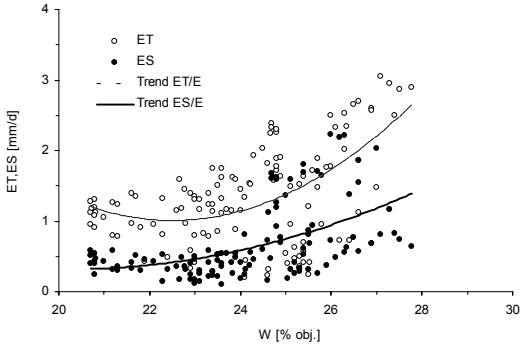
Obr. 3. Priemerná vlhkosť pôdy v koreňovej zóne porastu kukurice a denné zrážkové úhrny v období 3.5. – 18.10.2000.



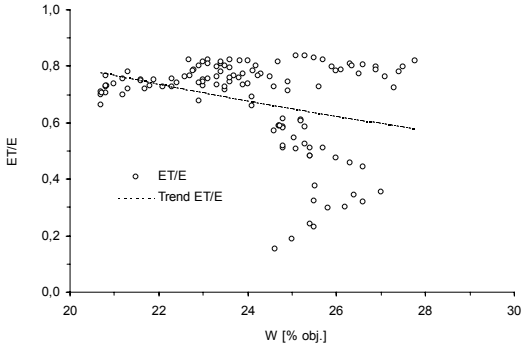
Obr. 4. Sezónny priebeh hodnôt pomeru transpirácie ET a výparu z pôdy ES k evapotranspirácii E.



Obr. 5. Závislosť hodnôt pomeru ET/E, resp. ES/E od zmien indexu listovej pokryvnosti LAI.



Obr. 6 Závislosť transpirácie ET, resp. výparu z pôdy ES od pôdnej vlhkosti v koreňovej zóne W v období od začiatku júna do konca septembra.



Obr. 7. Závislosť pomeru transpirácie k evapotranspiráci ET/E od pôdnej vlhkosti v koreňovej zóne W v období od začiatku júna do konca septembra.