

ZMENY EVAPOTRANSPIRÁCIE VO VÝŠKOVOM PROFILE SLOVENSKA Z POHLADU MOŽNÉHO VÝVOJA KLÍMY

Bernard Šiška
František Špánik
Dušan Igaz

Summary

CHANGES OF EVAPOTRANSPIRATION IN ALTITUDE PROFILE OF SLOVAKIA FROM THE POINT OF VIEW OF POSSIBLE CLIMATE DEVELOPMENT

On the base of climatic data from 27 climatic stations on the territory of Slovak republic potential and actual evapotraspiration as well as evapotranspiration deficit are evaluated in dependence on altitude profile for period of years 1951-1980 (reference period of years - $1\times\text{CO}_2$), time horizons of years 2075 ($2\times\text{CO}_2$).

Calculations of evapotranspiration for horizons of years 2075 were based on regional outputs of general circulation model CCCM prep. (LAPIN, 2000).

Evapotranspiration deficit (E_0-E) was used as the criterion of draught in condition of Slovakia. Significant changes of this parameter were calculated especially towards higher altitude in more distanced time horizons.

key words: evapotranspiration, Slovakia, altitude

Abstrakt:

Potenciálna a aktuálna evapotranspirácia a evapotranspiračný deficit boli na území Slovenska vyhodnotené na základe údajov z 27 klimatických staníc vybraných so zreteľom na priestor a výškový profil Slovenska.

Výsledky boli zhodnotené k časovým horizontom rokov 1951-1980 (referenčný časový rad – $1\times\text{CO}_2$), a horizontu rokov 2075 ($2\times\text{CO}_2$). Výsledky pre časový horizont rokov 2075 boli spočítané na základe výstupov z modelu všeobecnej cirkulácie atmosféry CCCM prep. (Lapin, 2000). Evapotranspiračný deficit (E_0-E) bol použitý ako kritérium sucha v podmienkach Slovenska. Významné zmeny tohto parametru boli vypočítané hlavne pre vyššie položené lokality Slovenska a vzdialenejšie časové horizonty

klúčové slová: evapotranspirácia, Slovensko, nadmorská výška

Úvod

Evapotranspirácia ako významná zložka vodnej bilancie prostredia je vhodným ukazovateľom pre posúdenie vlhových pomerov územia v časopriestorovom vyjadrení. Zatiaľ čo potenciálna evapotranspirácia môže byť využitá ako ukazovateľ pre stanovenie potreby vody pri maximálnej produktivite ekosystémov (ŠIŠKA, 1992), presné stanovenie aktuálnej evapotranspirácie môže viesť k veľmi presným stanoveniam produkcie biomasy (STEINER *et al.*, 1986, NOVÁK, VIDOVIČ, 1985). V podmienkach Slovenskej republiky boli vzťahy medzi produkciou biomasy a evapotranspiráciou rozpracované pre niektoré poľné plodiny ako ozimná pšenica, cukrová repa a kukurica (VIDOVIČ,

NOVÁK 1985, ŠIŠKA, 1992, HUZULÁK, MATEJKA, 1985)

V porovnaní so zrážkami bola potenciálna evapotranspirácia tiež využitá ako ukazovateľ zavlaženia v krajinnom priestore (KURPELOVÁ, COUFAL, ČULÍK, 1975), resp. kritérium suchosti územia (TOMLAIN, 1997).

Rozdiel medzi potenciálnou a aktuálnou evapotranspiráciou (E_0-E) je potom vhodným ukazovateľom pre determináciu suchých období. V podmienkach Slovenskej republiky boli týmto spôsobom spracované posledné 2 klimatické normály (1931 – 1960 a 1961 – 1990, (TOMLAIN, 1978, TOMLAIN, 1997)

Cieľom tohto príspevku je vyhodnotiť zmeny úhrnov potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie, ako aj evapotranspiračného de-

ficitu vo výškovom profile Slovenska z pohľadu možného vývoja klímy počas vegetačného obdobia. Vývoj klimatických pomerov vychádza z regionálnych výstupov modelu všeobecnej cirkulácie atmosféry CCCM prep.(LAPIN, 2002)

Materiál a metódy

Modelový výpočet mesačných úhrnov potenciálnej (E_o), aktuálnej evapotranspirácie (E) a evapotranspiračného deficitu (E_o-E), vlhkosti pôdy (\bar{W}) sa realizovali spoločným riešením rovníc energetickej a vodnej bilancie povrchovej vrstvy pôdy (TOMLAIN, 1979).

Potenciálna evapotranspirácia bola stanovená rovnicou prenosu vodnej pary v atmosfére, teplota vyparujúceho povrchu z rovnice energetickej bilancie (TOMLAIN, 1979) a aktuálna evapotranspirácia podľa vzťahu

$$E = E_o \frac{\bar{W}}{W_o}, \quad (1)$$

kde \bar{W} je priemerná vlhkosť najvyššieho horizontu pôdy (bola stanovená z rovnice vodnej bilancie) a W_o je kritická vlhkosť pôdy.

Z rovnice (1) je zrejmé, že pri $\bar{W} < W_o$ pomer $\frac{E}{E_o} = \frac{\bar{W}}{W_o}$, t.j. $\frac{E}{E_o}$ je funkciou vlhkosti pôdy. Vstupnými údajmi modelu, ktorý

bol rozpracovaný na Katedre meteorológie a klimatológie Fakulty matematiky, fyziky a informatiky UK v Bratislave, sú teplota a vlhkosť vzduchu, oblačnosť, atmosferické zrážky a počet dní so snehovou pokrývkou, čo sú meteorologické prvky pravidelne merané v sieti meteorologických staníc.

Pre hodnotenie vývoja ukazovateľov evapotranspirácie boli využité meteorologické údaje z 27 klimatických staníc, ktoré reprezentujú územie v priestore Slovenska. Vegetačné obdobie je limitované nástupom a ukončením priemernej dennej teploty vzduchu $t \geq 5^\circ\text{C}$ (KURPELOVÁ, COUFAL, ČULÍK, 1973).

Pre hodnotenie zmeny klímy sa požili regionálne výstupy z modelu všeobecnej cirkulácie atmosféry CCCM, ktorý je v práci označovaný ako scenár CCCM prep30 (LAPIN, 2000). Použili sa výstupy pre teplotu vzduchu, úhrny atmosférických zrážok, globálne žiarenie, vlhkosť vzduchu a rýchlosti vetra. Následne boli potom vypočítané úhrny potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie, ako aj evapotranspiračného deficitu. Priemerné mesačné a ročné hodnoty z obdobia rokov 1951 – 1980 sa prepočítavali podľa prepočítavacích kvocientov v tabuľke 1, čím sa získali predpokladané parametre zmenenej klímy. Referenčné obdobie sa potom porovnávalo z rokom 2075 (2x CO₂).

Tab. 1 Scenáre zmien teploty vzduchu (T), zrážok (R) a globálneho žiarenia (GR) z výstupov modelu CCCMprep pre Slovensko - 30-ročný horizont 2xCO₂ s porovnaním s obdobím 1951 – 1980 (1xCO₂) (Lapin et al., 2000)

Tab. 1 Changes of mean air temperatures (T), precipitations (R) a global radiation (GR) according to regional outputs of CCCMprep. for Slovakia – 30-years period 2xCO₂ as compared with period of years 1951 – 1980 (1xCO₂) (Lapin et al., 2000)

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Rok |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T 2075 | 2,59 | 2,90 | 2,80 | 2,22 | 2,16 | 2,82 | 3,40 | 3,68 | 3,59 | 3,27 | 2,88 | 2,54 | 2,90 |
| R 2075 | 1,179 | 1,151 | 1,088 | 1,031 | 1,003 | 0,964 | 0,935 | 0,924 | 0,898 | 0,992 | 1,176 | 1,217 | 1,035 |
| GR 2075 | 0,991 | 0,989 | 0,992 | 1,003 | 1,015 | 1,023 | 1,024 | 1,017 | 1,018 | 1,010 | 0,986 | 0,984 | 1,011 |

Priemerné mesačné a ročné hodnoty jednotlivých klimatických ukazovateľov sa potom prepočítavali pre vegetačné obdobie, ktoré je definované priemernou dennou teplotou vzduchu teplotou $T \geq 5^\circ\text{C}$.

Výsledky sa potom spracovali metódou regresnej analýzy s cieľom zhodnotenia závislosti zmeny klimatických ukazovateľov

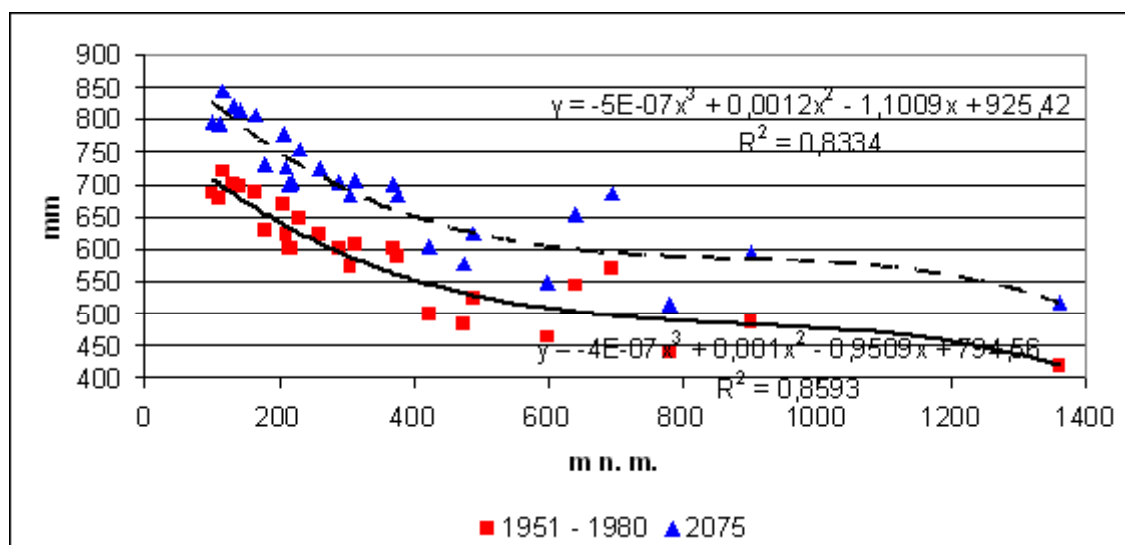
s rastúcou nadmorskou výškou pre podmienky klímy z rokov 1951-1980 (1xCO₂) a zmenenej klímy v časovom horizonte rokov 2075 (2xCO₂).

Výsledky a hodnotenie

V predloženej práci je graficky a štatisticky analyzovaná zmena úhrnov potenciálnej (E_0) a aktuálnej evapotranspirácie (E) v závislosti od nadmorskej výšky poľnohospodársky využívanej krajiny Slovenska k rokom 1951–1980 ($1xCO_2$) a k časovému horizontu roku 2075 ($1xCO_2$). Evapotranspiračný deficit ($E_0 - E$) počas vegetačného obdobia ($T \geq 5,0$ °C) bol použitý ako kritérium pre hodnotenia sucha v podmienkach meniacej sa klímy Slovenska.

Zmena úhrnov potenciálnej evapotranspirácie (E_0 v mm)

Potenciálnou sa chápe maximálne možná evapotranspirácia za daných meteorologických podmienok zo štandardného povrchu. Závisí len od energetickej bilancie a podmienok výmeny vodnej pary medzi vyparujúcim povrchom a atmosférou. Závislosť E_0 počas vegetačného obdobia od nadmorskej výšky na Slovensku k uvedeným časovým horizontom vyjadrená funkciou kvadratickej paraboly je štatisticky vysoko preukazná (obr. 1).



Obr.1 Úhrny potenciálnej evapotranspirácie (E_0) za vegetačné obdobie ($T \geq 5,0$ °C) referenčného časového radu rokov 1951-1980 ($1xCO_2$) a k časovému horizontu rokov 2075 ($2xCO_2$)

Fig. 1 Potential evapotranspiration (E_0) totals during vegetative period ($T \geq 5,0$ °C) in reference period of years 1951-1980 ($1xCO_2$) and up to time horizon of years 2075 ($2xCO_2$)

Predpokladané zvyšovanie teploty vzduchu a v nadväznosti predĺžovanie vegetačného obdobia spôsobujú jednoznačné zvyšovanie E_0 k uvedeným časovým horizontom, čo súvisí nielen so zvyšujúcimi sa hodnotami energetickej bilancie aktívneho povrchu, ale aj predĺžovaním vegetačného obdobia. Z hľadiska ekosystémov v klimatických podmienkach Slovenska je táto skutočnosť závažná, pretože vysušanie prostredia nadmerným výparom nastane pravdepodobne v skorších mesiacoch roka, nakoľko zrážkové scenáre predpokladajú v druhej polovici vegetačného obdobia zrážkové úhrny nižšie ako tomu bolo v minulosti. To na väčšine území Slovenska v nadmorskej výške do 400 m n.m. spôsobí nedostatok vody v pôdnom profile pôd z nízkou hladinou podzemných vôd a teda silne závislých od atmosférických zrážok.

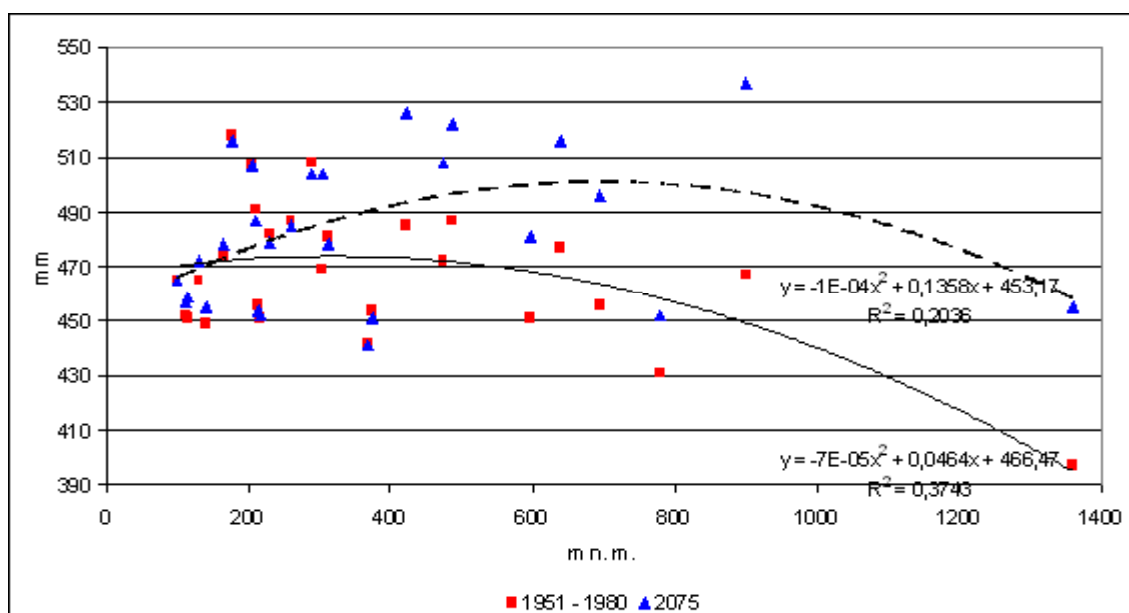
Pre klimatickú stanicu Hurbanovo reprezentujúcu rozsiahle nížinné podmienky južného časti Slovenska boli vypočítané v podmienkach klímy $2xCO_2$ úhrny E_0 vyššie až o 23%, čo reprezentuje v priemere nárast o 153 mm. Už v horizonte roku 2010 sa predpokladá zvýšenie úhrnov E_0 o 55 mm, a roku 2030 o 87 mm.

Pre vyššie položené – severné časti Slovenska (klimatická stanica Liptovský Hrádok) boli vypočítané v absolútnom vyjadrení síce menej zvýšené hodnoty E_0 ako na nížinách (v podmienkach $2xCO_2$ s predpokladá v priemere nárast o 123 mm), ale v relatívnom vyjadrení sú ešte výraznejšie ako na nížinách Slovenska, keď tieto sú vyššie v podmienkach $2xCO_2$ až o 25 %.

Zmena úhrnov aktuálnej evapotranspirácie (E v mm)

Aktuálna – skutočná evapotranspirácia predstavuje množstvo vody vyparené z pôdy pokrytej vegetáciou pri danom stave pôdnej vlhkosti. Je silne ovplyvňovaná okrem fyzikálnych charakteristík prostredia, ktoré dominantne ovplyvňuje v podmienkach Slovenska nadmorská výška stanovišťa, aj dostupnosť vody k vyparovaniu. Závislosť E od nadmorskej výšky (obr. 2) nie je taká tesná ako pri E_0 . Táto skutočnosť je pravdepodobne spôsobená protichodnými tendenciami faktorov ovplyvňujúci E vo výškovom profile Slovenska počas vegetačného obdobia. Skracujúce sa ve-

getačné obdobie z rastúcou nadmorskou výškou podmieňuje aj nižšie sumy globálneho žiarenia a energetickej bilancie. Vyššie úhrny zrážok vo vyšších nadmorských výškach podmieňujú vyššie hodnoty vlhkosti vzduchu, ale aj vlhkosti pôdy. Preto vo vyšších polohách Slovenska (približne nad 700 m n.m.) je limitujúcim faktorom evapotranspirácie príkon energie dostupnej pre proces vyparovania, naopak na nížinách bude limitom hlavne voda dostupná k vyparovaniu. Najvyššie hodnoty E teda budú typické pre polohy 200-700 m n.m. Tento trend bude pravdepodobne výraznejší v podmienkach zmenenej klímy.

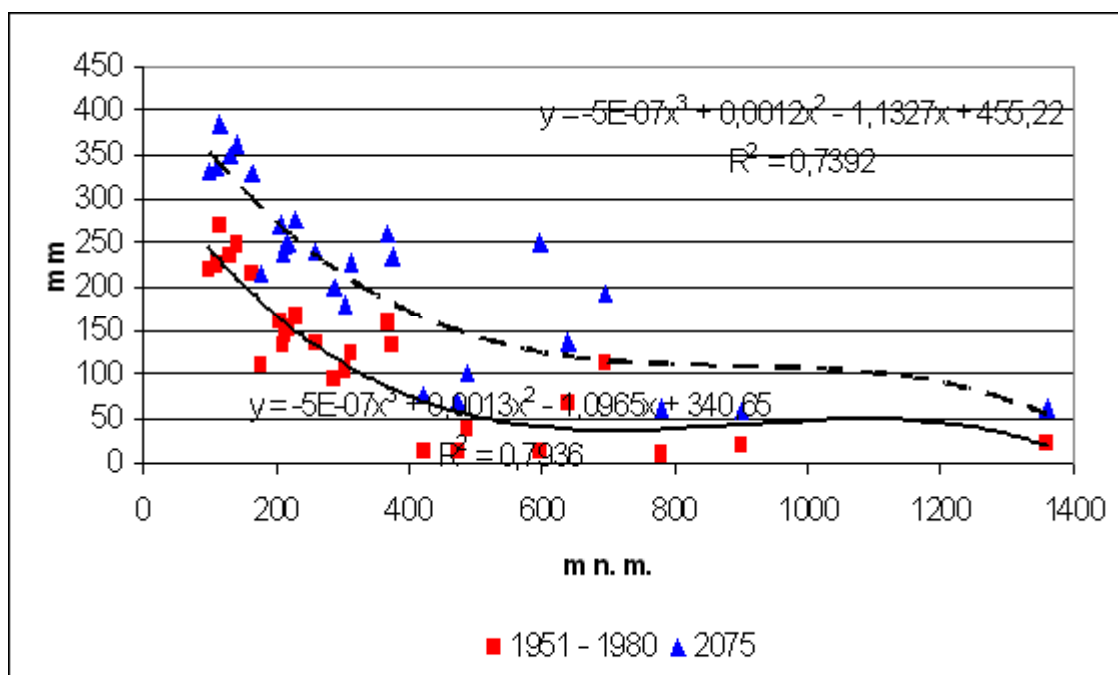


Obr.2 Úhrny aktuálnej evapotranspirácie (E) za vegetačné obdobie ($T \geq 5,0$ °C) referenčného časového radu rokov 1951-1980 ($1xCO_2$) a k časovému horizontu rokov 2075 ($2xCO_2$)

Fig. 2 Actual evapotranspiration (E) totals during vegetative period ($T \geq 5,0$ °C) in reference period of years 1951-1980 ($1xCO_2$) and up to time horizon of years 2075 ($2xCO_2$)

Celkove sa však budú úhrny E meniť len málo, keď v nížinných oblastiach južnej časti Slovenska (klimatická stanica Hurbanovo) sa predpokladá nárast E v podmienkach klímy $2xCO_2$ v priemere len o 27 mm (to je asi 4%) a vyššie položené – severné časti Slovenska

(klimatická stanica Liptovský Hrádok) platí zvýšenie E o 57 mm (t.j. o 13 %). Tento mierny nárast je na celom území Slovenska podmienený predĺžovaním vegetačného obdobia.



Obr. 3 Úhrny evapotranspiračného deficitu (E_0-E) za vegetačné obdobie ($T \geq 5,0$ °C) referenčného časového radu rokov 1951-1980 ($1xCO_2$) a k časovému horizontu roku 2075 ($2xCO_2$)

Fig. 2 Evapotranspiration deficit (E_0-E) totals during vegetative period ($T \geq 5,0$ °C) in reference period of years 1951-1980 ($1xCO_2$) and up to time horizon of year 2075 ($2xCO_2$)

Zmena úhrnov evapotranspiračného deficitu (E_0-E v mm)

Rozdiel medzi potenciálnou a aktuálnou evapotranspiráciou charakterizuje dostatok či nedostatok vody v pôde pre rast rastlín. Tento rozdiel teda definuje na základe energetickej a vodnej bilancie nedostatok vody a teda aj suchosť prostredia. Funkčné vzťahy $E_0 - E$ od nadmorskej výšky sú štatisticky vysoko preukazné (obr. 3). Zatiaľ čo v podmienkach klímy $1xCO_2$ sa podľa trendovej čiary hodnoty deficitu 100 mm a menej vyskytujú v lokalitách z nadmorských výškach nad 300 m a sú teda charakteristické pre podhorské a horské polohy, tak v podmienkach klímy $2xCO_2$ sa táto hranica posunie až na úroveň 1000 m n.m. Na základe uvedeného sa dá teda očakávať výskyt klimatického sucha v oveľa vyšších polohách ako tomu bolo doteraz. Táto skutočnosť spolu z rastom teploty vzduchu veľmi pravdepodobne ovplyvní nielen zonalitu vhodnosti (ŠPÁNIK, TOMLAIN *et al.*, 1997) pre pestovanie poľných plodín, ale vyvolá aj novú sukcesiu lesných ekosystémov.

Z hľadiska vodnej bilancie podmienenej úhrnom zrážok, teplotou vzduchu, vlhkosťou vzduchu i ďalších faktorov, predpokladá sa zvyšovanie ročného deficitu evapotranspirácie. Pre nížinné – južné časti Slovenska (klimatická stanica Hurbanovo) sa predpokladá v podmienkach zmenenej klímy zvýšenie deficitu o 126 mm, to je o 50 %. Pre vyššie položené – severné časti Slovenska (klimatická stanica Liptovský Hrádok) sa predpokladá v podmienkach zmenenej klímy zvýšenie deficitu len o 66 mm, čo však v týchto polohách predstavuje nárast o 111 %

Závery

Potenciálna a aktuálna evapotranspirácia a evapotranspiračný deficit boli na území Slovenska vyhodnotené na základe údajov z 27 klimatických staníc vybraných so zreteľom na výškový profil Slovenska.

Výsledky boli zhodnotené k časovým horizontom rokov 1951-1980 ($1xCO_2$), a 2075 ($2xCO_2$) pre vegetačné obdobie definovaným výskytom priemernej dennej teploty vzduchu ≥ 5 °C.

Predpokladané zvyšovanie teploty vzduchu a v nadväznosti predlžovanie vegetačného obdobia spôsobujú jednoznačné zvyšovanie E_0 k uvedeným časovým horizontom, čo súvisí nielen so zvyšujúcimi sa hodnotami energetickej bilancie aktívneho povrchu, ale aj predlžovaním vegetačného obdobia.

Úhrny E sa však budú meniť len málo, keď v horských oblastiach Slovenska nad 700 m n.m. Slovenska bude limitujúcim faktorom evapotranspirácie príkon energie dostupnej pre proces vyparovania, naopak na nížinách bude limitom hlavne voda dostupná k vyparovaniu. Najvyššie hodnoty E budú typické pre polohy 200-700 m n.m.

Zatiaľ čo v podmienkach klímy $1\times\text{CO}_2$ sa hodnoty E_0-E 100 mm a menej vyskytujú v lokalitách z nadmorských výškach nad 300 m a sú teda charakteristické pre podhorské a horské polohy, tak v podmienkach klímy $2\times\text{CO}_2$ sa táto hranica posunie až na úroveň 1000 m n.m. Na základe uvedeného sa dá teda očakávať výskyt klimatického sucha v oveľa vyšších polohách ako tomu bolo doteraz.

Táto skutočnosť spolu s rastom teploty vzduchu veľmi pravdepodobne ovplyvní nielen zonalitu vhodnosti pre pestovanie poľných plodín, ale vyvolá aj sukcesiu lesných ekosystémov.

Podakovanie: Príspevok vznikol za podpory pri riešení vedeckého projektu VEGA 1/0622/03 a 1/1313/04.

Literatúra

- HUZULÁK, J. - MATEJKA, F.: Analýza mikroklimy porastu. Bratislava 1985, s. 1 – 256.
- KURPELOVÁ, M. - COUFAL, J. - ČULÍK, K., 1975: Agroklimatické podmienky ČSSR, Bratislava, 1975
- LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., MELO, M. (2000): Modifikované GCMs scenáre časových radov teploty vzduchu a zrážok pre Slovensko. In: Atmosféra 21. storočia, organizmy a ekosystémy, BPD 2000, Zvolen, 207-214
- STEINER, J.L. – SMITH, R.C.G. – MEYER, W.S. – ADENEY, J.A., 1985: Water use, foliage temperature and yield of irrigated wheat in SE Australia. Australian Journal of Agricultural research, 36, 1985, 1-11.
- ŠIŠKA, B.: Aktuálna a potenciálna evapotranspirácia vo vzťahu k potenciálnej produkcii ozimnej pšenice v Západoslovenskom kraji. Kandidátska dizertačná práca, VŠP Nitra, 1992, 100 s.
- TOMLAIN, J., 1979: Metódy určovania potenciálneho a skutočného výparu z povrchu pôdy. Meteorologické zprávy, 32, 1979, 2, 72-79
- TOMLAIN, J., 1997: Modelový výpočet dôsledkov očakávanej zmeny klímy na obsah vody v pôde na Slovensku. NKP SR, N°7, Bratislava, s. 68-83.
- VIDOVIČ, J., - NOVÁK, V. 1987: Závislosť úrody kukurice od evapotranspirácie porastu. Rostlinná výroba 33, 1987, 6, 663-670