

# TRANSPIRÁCIA POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PORASTOV A PRODUKCIA BIOMASY: MNOHOROČNÉ CHARAKTERISTIKY

V. Novák

Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava 3, e-mail: [novak@uh.savba.sk](mailto:novak@uh.savba.sk)

## Abstract

Vegetation period transpiration totals of the three agricultural canopies (maize, winter wheat, spring barley) were calculated for 31 vegetation periods, using the mathematical model HYDRUS –ET. Evapotranspiration and its components – evaporation and transpiration were calculated by the submodel incorporated in the HYDRUS –ET. The Penman – Monteith method, modified by Budagovskij and Novak was used. Frequency distribution curves of seasonal transpiration totals for the above mentioned canopies were designed, as well as frequency distribution curves of dry grain yields for the time period of 1971 –2000 and 2003 years in the site Most pri Bratislave (Field station of Hydromelioration, š.p., Bratislava). It was shown, that the yield distribution over this representative period of time is relatively homogeneous, which confirms good climate conditions for plants growth in the region of South Slovakia.

## Úvod

Transpirácia je významnou zložkou hydrologickej bilancie krajiny, v Európe porasty vytranspirujú približne polovicu zrážkového úhrnu (Baumgartner, Reichel, 1975). Na Slovensku reprezentuje ročný úhrn evapotranspirácie asi 66% ročného úhrnu zrážok, transpiračný úhrn reprezentuje približne 44% ročného úhrnu zrážok (Novák, 1990). Tieto skutočnosti významne ovplyvňujú tiež bilanciu energie krajiny a produkciu biomasy, ktorá je prvým článkom v potravinovom reťazci živočíchov.

Transpirácia je súčasťou produkčného procesu rastlín, preto sa hľadali spôsoby ako nájsť závislosť medzi produkciou biomasy a intenzitou transpirácie porastov.

Z početných meraní v podmienkach in vitro vyplynul poznatok, že pomer intenzity asimilácie a intenzity transpirácie je približne konštantná veličina (Hsiao, 1993). Z toho vyplýva existencia lineárnej závislosti medzi rýchlosťou fotosyntézy a intenzitou transpirácie. Skutočne, z literatúry je známy súbor výsledkov poľných meraní, ktoré dokumentujú existenciu lineárnej závislosti produkcia biomasy – úhrn transpirácie za vegetačné obdobie. Súhrnné informácie o konkrétnych závislostiach pre rozdielne podmienky a porasty je možné nájsť v prehľade Hanksa a Hilla (1980) v podmienkach Slovenska boli získané obdobné závislosti pre porast kukurice Vidovičom a Novákom (1987). Samozrejme, konkrétne lineárne závislosti medzi produkciou biomasy a transpiráciou sú platné len pre konkrétnu rastlinu, a vlastnosti prostredia (v tom sú zahrnuté vlastnosti pôdy, agrotechniky, hnojenia). Okrem toho, takáto závislosť platí len vtedy, ak porast nie je počas vegetačného obdobia postihnutý katastrofálnym suchom, alebo iným extrémnym prírodným alebo ľudským zásahom.

Cieľom tohoto príspevku je vypočítať úhrny transpirácie za vegetačné obdobie troch bežných poľnohospodárskych porastov- kukurice, ozimnej pšenice a jarného jačmeňa, počas dlhoročného obdobia, ich variabilitu a vplyv tejto variability na úrody vybraných plodín.

## Teória

Rýchlosť fotosyntézy rastliny vyjadrenú rýchlosťou spotreby oxidu uhličitého je možné približne vyjadriť rovnicou (Bierhuizen, Slayter, 1964)

$$P = \frac{\Delta c_{ou}}{r_{ac} + r_{sc} + r_m} \quad (1)$$

rýchlosť transpirácie je možné vyjadriť vzt'ahom (van Honert, 1948)

$$E_t = \frac{\Delta c_v}{r_a + r_s} \quad (2)$$

$P$  – rýchlosť fotosyntézy [ $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ]

$E_t$  – rýchlosť transpirácie [ $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ]

$r_{ac}, r_{sc}, r_m$  – odpor hraničnej vrstvy vzduchu na povrchu listu, odpor prieduchov listu a odpor mezofylu pre transport oxidu uhličitého z atmosféry [ $\text{s m}^{-1}$ ]

$r_a, r_s$  – odpor hraničnej vrstvy vzduchu na povrchu listu; odpor prieduchov listu pre transport vodnej pary z listu do atmosféry [ $\text{s m}^{-1}$ ]

$\Delta c_{ou}$  – rozdiel hmotnostných koncentrácií vodných pár medzi listom a atmosférou [ $\text{kg m}^{-3}$ ]

$\Delta c_v$  – rozdiel hmotnostných koncentrácií vodných pár medzi listom (po karboxylácii) a atmosférou [ $\text{kg m}^{-3}$ ]

Kombináciou rovníc (1) a (2) dostaneme

$$\frac{E_t}{P} = \frac{r_{ac} + r_{sc} + r_m}{r_a + r_s} \frac{\Delta c_v}{\Delta c_{ou}} \quad (3)$$

Odpory prostredia sú zložitými funkciami vlastností rastliny a prostredia a menia sa v čase. Pre danú rastlinu, prostredie a čas je možné ako aproximáciu predpokladať konštantný pomer odporov vyjadrený zlomkom na pravej strane rovnice (3) a vyjadriť ho konštantou  $A'$ . Potom, dostaneme výraz pre rýchlosť fotosyntézy v tvare

$$P = \frac{E_t}{A'} \frac{\Delta c_{ou}}{\Delta c_v} \quad (4)$$

Pretože rozdiel koncentrácií oxidu uhličitého medzi atmosférou a mezofylom je v danom čase približne konštantný, môžeme ho zahrnúť do ďalšej konštanty

$$A = \frac{\Delta c_{ou}}{A'} \quad (5)$$

potom dostaneme

$$P = A \frac{E_t}{\Delta c_v} \quad (6)$$

symbolom  $B$  označíme pomer

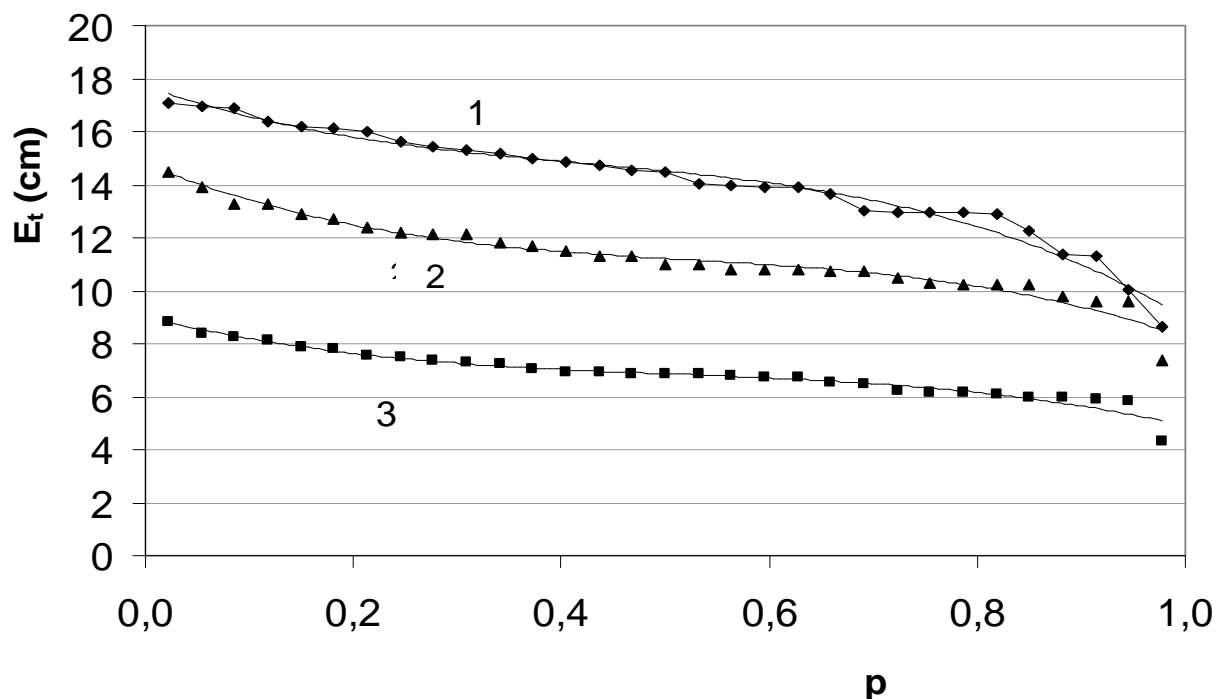
$$B = A / \Delta c_v \quad (7)$$

Nakoniec dostaneme rovnicu vyjadrujúcu rýchlosť fotosyntézy  $P$  úmernú rýchlosti transpirácie rastliny  $E_t$

$$P = B.E_t \quad (8)$$

Rovnica (8) vyjadruje úmernosť intenzity fotosyntézy na intenzite transpirácie. Procedúra odvodenia tohoto vzorca dáva predstavu o aproximatívnom prístupe. Pre praktické účely je však tento prístup vhodný, lebo existujú metódy na pomerne spoľahlivé určenie intenzity transpirácie. Tzv. produkčné modely, ktoré umožňujú modelovanie produkcie biomasy modelovaním procesu

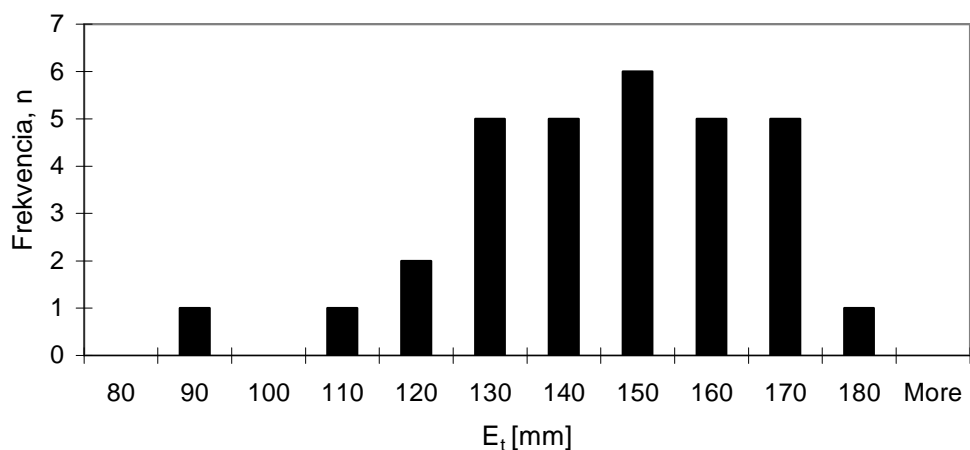
fotosyntézy (Hansen et al., 1990) vyžadujú množstvo ťažko merateľných parametrov a sú porastovo orientované.



Obr.1. Empirická čiara prekročenia úhrnov transpirácie  $E_t$  porastov kukurice (1), jarného jačmeňa (2) a ozimnej pšenice (3) počas vegetačných období rokov 1971–2000, 2003 v lokalite Most pri Bratislave  
Fig. 1. Curve of exceedance seasonal transpiration totals  $E_t$  of maize canopy (1), winter wheat(2) and spring barley (3) in years 1971-2000 a 2003, Most pri Bratislave site.

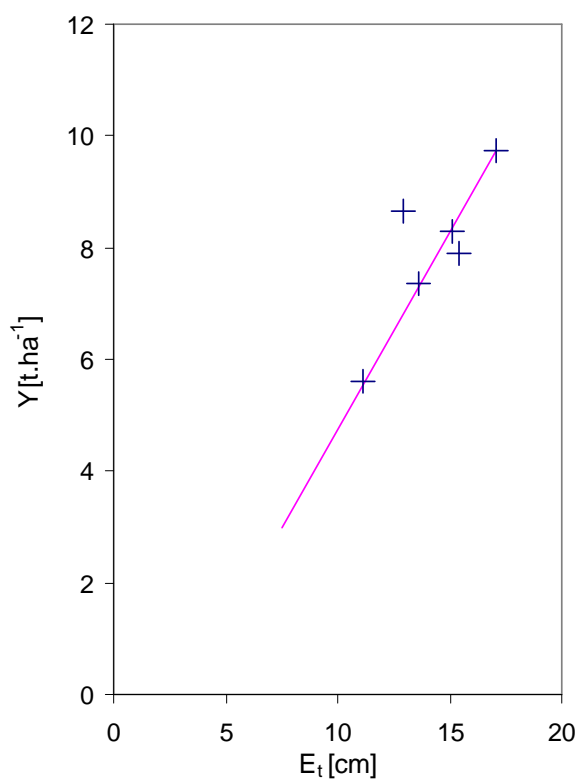
## Metóda

Mnohoročné charakteristiky vodného režimu pôdy VRP boli určené tzv. retrospektívnym matematickým modelovaním. To znamená, že sezónne chody denných úhrnov, alebo priemerných denných hodnôt charakteristík VRP (vlhkosť pôdy, vlhkosťný potenciál pôdy, denný úhrn evapotranspirácie a jej zložiek) boli spätne vypočítané za predpokladu nemennosti vlastností pôdy a porastu – menili sa len charakteristiky atmosféry. Pre modelovanie bol využitý model verzie 1. HYDRUS – ET (Šimůnek et al., 1997). Je to modifikácia známeho jednorozmerného modelu HYDRUS (verzia 6.1) a HYDRUS1D s interaktívnym grafickým rozhraním. Tento program je založený na numerickom riešení Richardsovej rovnice pre vodou nenasýtené pórovité prostredie a konvektívne – disperznej rovnice pre prenos rozpustených látok a tepla. Rovnica prenosu obsahuje člen pre výpočet odberu vody koreňami rastlín. Model HYDRUS – ET obsahuje programy pre výpočet intercepcie zo zrážok alebo závlahy postrekom ako aj pre výpočet evapotranspirácie a štruktúry jej zložiek rozdielnych porastov. Pre výpočet evapotranspirácie a jej zložiek bola použitá modifikovaná metóda Penman – Monteitha a Budagovského (Novák, 1995). Pre účely tejto práce boli modelované len toky vody v systéme pôda – rastlina – atmosféra.



Obr. 2. Histogram rozdelenia početností úhrnov transpirácie porastu kukurice  $E_t$  za vegetačné obdobie rokov 1971-2000 a 2003, Most pri Bratislave.

Fig. 2. Histogram of frequency distribution of maize canopy seasonal transpiration totals  $E_t$  in years 1971-2000 a 2003, Most pri Bratislave.



Obr. 3. Empirická závislosť úrody, vyjadrenej hmotnosťou suchých zŕn kukurice  $Y$  vo vzťahu k sumárnej transpirácii kukurice za jej vegetačné obdobie  $E_t$ . Empirická závislosť reprezentuje 5 vegetačných období rokov 1971-2000 a 2003.

Fig.3. Mass of dry weight of dry maize grains yield  $Y$  and transpiration totals of maize, during its vegetation period  $E_t$ . Empirical relationship represents 5 seasons within the time interval 1971-2000 a 2003.

## Pôdy

Výpočet evapotranspirácie a jej zložiek (transpirácia, výpar z povrchu pôdy) bol urobený pre piesočnato-hlinitú pôdu s porastom kukurice na experimentálnych pozemkoch Hydromeliorácií, š.p. v Moste pri Bratislave. Jej základné vlastnosti sú v tabuľke 1.

Tab.1. Charakteristiky hlinitopiesočnatej pôdy v Moste pri Bratislave (Experimentálna plocha Hydromeliorácie, š.p., Bratislava).

$\theta_v$ [m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ]	0.18
$\theta_{zd}$ [m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ]	0.28
$\theta_{pk}$ [m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ]	0.35
$\theta_s$ [m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ]	0.4
$K$ [m s <sup>-1</sup> ]	5.6. 10 <sup>-7</sup>
$\alpha$ [-]	0.0577
$n$ [-]	1.299

$\theta_v$  – vlhkosť pôdy zodpovedajúca hydrolimitu bod vädnutia,  $\theta_{zd}$  - vlhkosť pôdy zodpovedajúca „bodu zníženej dostupnosti“ vody v pôde pre rastliny, určenej podľa rovnice (1),  $\theta_{pk}$  – vlhkosť pôdy zodpovedajúca poľnej vodnej kapacite,  $\theta_s$  – vlhkosť vodou nasýtenej pôdy,  $K$  – hydraulická vodivosť vodou nasýtenej pôdy), m. s<sup>-1</sup>,  $\alpha$   $n$  – koeficienty v rovnici van Genuchtena (1980).

## Porasty

Pre výpočet boli vybrané tri druhy porastov: kukurica, ozimná pšenica a jarný jačmeň, ktoré neboli zavlažované a jediným zdrojom vody pre porasty boli atmosférické zrážky. Dĺžky ich vegetačných období (Tab. 2), ako aj agrotechnické termíny sú rozdielne, z čoho vyplývajú aj rozdielne úhrny transpirácie. V prípade ozimnej pšenice je vegetačné obdobie dlhšie ako je v tabuľke, pretože porast vegetuje aj počas jesenného a skorého jarného obdobia. Pretože pre potreby produkcie biomasy sú významné obdobia s vysokými intenzitami transpirácie, takto stanovené vegetačné obdobie je z tohoto hľadiska vhodné.

Tab. 2. Dĺžky vegetačných období porastov

Rastlina	Vegetačné obdobie	Počet dní veg. obdobia
Kukurica	5.5 – 16.9.	134
Ozimná pšenica	1.4. – 25.6.	86
Jarný jačmeň	7.4. – 25.6.	79

## Výsledky a diskusia

Výsledky výpočtu mnohoročných úhrnov transpirácie troch plodín (kukurica, ozimná pšenica a jarný jačmeň) sú na obr. 1. Je to empirická čiara prekročenia úhrnov transpirácie  $E_t$  porastov kukurice, jarného jačmeňa a ozimnej pšenice počas vegetačných období rokov 1971–2000, 2003. Napriek rovnakej dĺžke vegetačného obdobia počas modelovaného časového úseku, sa úhrny transpirácie výrazne líšia, čo je dané samozrejme rozdielnymi meteorologickými podmienkami, hlavne úhrnom zrážok za vegetačné obdobie. Histogram rozdelenia početností úhrnov transpirácie porastu kukurice  $E_t$  za vegetačné obdobie rokov 1971–2000 a 2003, je na obr. 2.

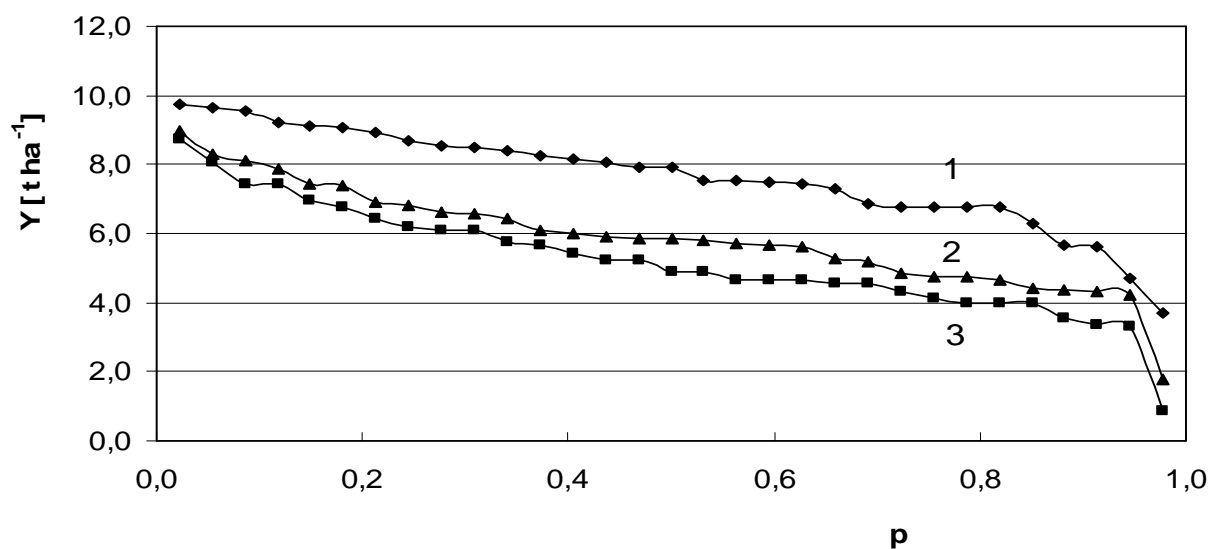
V tab.3 sú uvedené charakteristické hodnoty transpirácie troch študovaných porastov v období rokov 1971 –2000 a 2003. Zaujímavé je, že minimálne úhrny transpirácie boli vypočítané v roku 1988 pre všetky tri porasty, ale maximálne úhrny transpirácie boli určené v roku 1996 pre obilniny, avšak kukurica dosiahla najnižší úhrn transpirácie (a tým aj najnižšiu úrodu) v roku 1985. To znamená, že

v druhej polovici roku 1996 sa vyskytli výdatné zrážky a že kvalita vegetačného obdobia je tiež porastovo orientovaná.

Tab. 3. Charakteristiky transpirácie porastov počas vegetačného obdobia. Priemerné hodnoty, vypočítané z výsledkov modelovania počas 31 vegetačných období porastov. ( $E_t$  je priemerný ročný úhrn transpirácie porastu,  $E_{tp}$  je priemerný ročný úhrn potenciálnej transpirácie porastu,  $E_{t,d}$  je priemerný denný úhrn transpirácie porastu,  $E_{t,max}$ ,  $E_{t,min}$  sú priemerné úhrny transpirácie porastu v roku s najväčším úhrnom transpirácie a priemerné úhrny transpirácie porastu v roku s najmenším úhrnom transpirácie.

Rastlina	$E_t$ [mm/rok]	$E_{tp}$ [mm/rok]	$E_t/E_{tp}$	$E_{t,d}$ [mm/deň]	$E_{t,max}$ [mm/deň]	$E_{t,min}$ [mm/deň]
Kukurica	144	161	0,88	1,07	1,27	0,64
Ozimná pšenica	113	148	0,78	1,13	1,68	0,85
Jarný jačmeň	68,9	82	0,83	0,87	1,1	0,55

Empirická závislosť úrody, vyjadrenej hmotnosťou suchých zŕn kukurice  $Y_t$  vo vzťahu k sumárnej transpirácii kukurice za jej vegetačné obdobie  $E_t$  je na obr. 3. Takéto závislosti boli získané meraním aj pre ďalšie dva porasty. Tieto závislosti boli použité na výpočet úrody retrospektívnou metódou. Výsledok je na obr. 4, kde sú čiary prekročenia úrod sušiny zrna troch študovaných porastov – kukurice, ozimnej pšenice a jarného jačmeňa  $Y$ , úrody sušiny zrna počas 31 rokov 1971-2000, 2003 pre lokalitu Most pri Bratislave.



Obr. 4. Čiary prekročenia úrod  $Y$ , úrody zrna kukurice (1), ozimnej pšenice (2) a jarného jačmeňa počas 31 rokov 1971-2000, 2003, (Most pri Bratislave).

Fig. 4. Curve of exceedance dry maize grain yields  $Y$ , of maize canopy (1), winter wheat (2) and spring barley (3) during the seasons in years 1971-2000 a 2003, Most pri Bratislave site.

## Súhrn

1. Matematickým modelom HYDRUS – ET, v ktorom bola inkorporovaná metóda Penman–Monteitha v modifikácii Budagovského a Nováka, bola vypočítaná evapotranspirácia a jej zložky pre tri porasty poľnohospodárskych plodín: kukurice, ozimnej pšenice a jarného jačmeňa.

2. Priemerné hodnoty transpirácie týchto porastov za 31 vegetačných období (1971-2000 a 2003) boli vypočítané pre lokalitu Most pri Bratislave (Výskumná báza Hydromeliorácií, š.p. Bratislava). Pre kukuricu bol priemerný sezónny úhrn transpirácie kukurice 144 mm vody, pre ozimnú pšenicu 113,1 mm, pre jarný jačmeň 69 mm vody. Maximálny úhrn transpirácie za vegetačné obdobie v sledovanom intervale času je asi dvojnásobok minimálneho úhrnu v tom istom období. Pomerná transpirácia ( $E/E_p$ ) je pre kukuricu 0,88, ozimú pšenicu 0,78 a pre jarný jačmeň 0,83, čo je možné hodnotiť ako dobré zabezpečenie porastov vodou.

3. Zo známej empirickej závislosti medzi produkciou biomasy ( $Y$ ) a úhrnom transpirácie za vegetačné obdobie ( $E_t$ ) (obr. 1), boli vypočítané čiary prekročenia úrod študovaných porastov. Ako vidieť z obr. 3, čiary rozdelenia úrod sú relatívne vyrovnané, čo svedčí o dobrých klimatických podmienkach pre ich produkciu.

## Pod'akovanie

Autor ďakuje grantovej agentúre VEGA (Grant. 2/4066/04) za podporu výskumu.

## Literatúra

Baumgartner, A., Reichel, E. 1975. The world water balance. Elsevier, Amsterdam – New York, pp.179.

Bierhuizen, J.F., Slayter, R.D. 1964. An apparatus for the continuous and simultaneous measurements for photosynthesis and transpiration under controlled environmental conditions. CSIRO Austr. Div.Land Research Tech. Paper, v.24.

Hanks, R.J., Hill, R.W. 1980. Modeling crop responses to irrigation in relation to soils, climate and salinity. Inter. Irrig. Inform. Center, Publ. No. 6, Bet Dagan, Israel, pp. 57.

Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E., Svendsen, H. 1990. DAISY: A soil Plant System Model. Danish simulation model for transformation and transport of energy and matter in the soil plant atmosphere system. The national Agency for Environmental Protection, Copenhagen, 369 pp.

Hsiao, T.C. 1973. Effect of drought and elevated CO<sub>2</sub> on plant water use efficiency and productivity. NATO ASI Series, Vol.I 16. Interacting Stresses on Plants in a Changing Climate. (M.B. Jackson & C.R. Black, Eds.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

Novák, V. 1990. Vodný komponent v krajinnom systéme. Vodohosp. Čas., 38,376–379.

Novák, V. 1995. Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania, VEDA, Bratislava

Šimůnek, J., Huang, K., Šejna, M., van Genuchten, Th. M., Majerčák, J., Novák, V., Šútor, J. 1997. The HYDRUS -ET software package for simulating the one - dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably - Saturated media. Version 1.1. Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava.

Van den Honert T.H. 1948. Water transport in plants as a catenary process. Discuss. Faraday Soc., 3,146–153.

van Genuchten, M.Th. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci.Soc. Am.J. 44, 892 – 898.

Vidovič, J., Novák, V.,1987.The relation between maize yield and canopy evapotranspiration. Rostlinná výroba, 33, 6, 663-670, (In Slovak with English summary).