

CHANGE OF YIELD AND EVAPOTRANSPIRATION AT PERMANENT GRASSLAND IN CONSEQUENCE CLIMATE CHANGE

ZMĚNA VÝNOSŮ A EVAPOTRANSPIRACE U TRVALÝCH TRAVNÍCH POROSTŮ V DŮSLEDKU KLIMATICKÉ ZMĚNY

Honsová D., Daňhelka J.

Katedra agroekologie a biometeorologie, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské university v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika.

E-mail: honsovad@af.czu.cz , danhelka@chmi.cz

ABSTRACT

Paper presents the evaluation of climate impact (precipitation, temperature, Lang factor and evapotranspiration balance) on permanent grassland yields and evapotranspiration. Černíkovice grassland experiment (CGE) was founded on mesophytic to mesohydrophytic about 35 km south of Prague in 1966. Soil type was fluvisol - gleysol with loamy texture, $pH_{(KCl)}$ 5.0. Depth of underground water table oscillates between 0.1-0.7 m during the vegetation season. The potential climate change impact on the permanent grassland was also researched for target year 2050 based on two different climate change scenarios of Hadley Center global circulation model and stochastic weather generator LARS-WG. Time series covering the period 1961 – 2005 were reconstructed taking into account the distance of rain gauge for computing precipitation time series, while for temperature and air pressure the elevation correction was made. Results showed that researched mesophytic and mesohydrophytic localities hadn't the direct relation between the climate characteristics and yields, however climate conditions are limiting factor for summer yields especially, what is more significant for nutrition donated treatments. Climate change simulation proved the increasing occurrence of extreme summer climate condition similar or more severe as those of 2003. Also the probability of extreme condition repeating in consecutive years will increase significantly during 21st century. Based on the results the estimate of average yields reduction by 5 to 50 % depending on climate change scenario and N nutrition of the grassland was made. With increasing average temperature (°C) will to growth potential evapotranspiration in permanent grassland but it will decrease about LAI.

Key words: permanent grassland, climate, yield, climate change

ÚVOD

Dopad změny klimatu na travní ekosystémy lze sledovat globálně jako předpokládaný posun hranice lesa, nebo lokálně jako dopad na produkci a biodiverzitu konkrétního typu travního porostu (McGuire et al., 1995). Podle Nikolaeva (2007) lze mezi pozitivní dopady očekávané změny klimatu zařadit zvýšení úrody v převážné většině středních zeměpisných šířek, při zajištění dostatečné závlahy a eliminace chorob a patogenů. Podle Partona et al., (1995) bude mít vliv na průměrné výnosy nejen změna teplot a srážek, ale také zvýšení koncentrace CO₂. Očekávaná klimatická změna zřejmě ovlivní floristickou skladbu porostu a nepřímo i mikrobiologickou aktivitu půdy, a to díky zvýšené fotosyntetické aktivitě a delšímu vegetačnímu období (Hunt et al., 1991), ale také potenciální evapotranspiraci porostu. Přitom na změnu evapotranspirace bude mít vliv zejména změna teploty vzduchu, ale také změna LAI porostů.

Potenciálním dopadem klimatické změny a vhodností využití jednotlivých simulací klimatické změny pro podmínky ČR se zabývala např. Kalvová a kol. (2002). Závěry Daňhelky a Honsové (2006), kteří vyhodnocovali vliv klimatických podmínek na výnosy trvalých travních porostů na mezohygrofitním stanovišti v ČR prokázaly ovlivnění výnosů TTP průměrnou teplotou. Naopak nebyl prokázán vliv průměrných srážek, Langova dešťového faktoru a evapotranspirační bilance. Z jejich výsledků také vyplývá, že extrémně teplá a suchá léta ovlivňují výnosy a floristické složení u trvalých travních porostů daleko významněji a že s předpokládanou klimatickou změnou bude takových let významně přibývat. Cílem tohoto příspěvku bylo zhodnotit vliv klimatických podmínek a jejich předpokládané změny na výnosy lučních porostů a potenciální evapotranspiraci.

MATERIÁL A METODIKA

Pokus, na kterém byla sledována změna výnosů a potenciální evapotranspirace v důsledku klimatické změny, byl založen v roce 1966 v Černíkovcích (okr. Benešov) na údolní louce mezofytního až mezohygrofytního stanoviště. Pokusná lokalita leží v nadmořské výšce 363 m s ročním úhrnem srážek 600 mm a s průměrnou roční teplotou 8,1 °C. Hladina podzemní vody se pohybuje v rozmezí 0,1-0,5 m pod povrchem půdy a je tedy pro rostliny dobře dostupná. Půdní typ je glej, půdní druh (0-0,2m) hlinitý, pH_(KCl) 5,0. Experiment je uspořádán metodou náhodných bloků ve čtyřech opakováních. Velikost pokusných dílců je 30 m² (5 m x 6 m). Vyhodnocení bylo provedeno pro porost hnojený N₂₀₀ P₄₀ K₁₀₀ (v kg·ha⁻¹) a kontrolní, nehnojenou variantu. Dusík je dodáván jednorázově na jaře ve formě ledku

amonného s vápencem (LAV 27,5 %). Fosfor je aplikován ve formě superfosfátu na podzim a draslík v draselné soli po první seči. Porost je sečen třikrát ročně (květen, červenec, říjen).

V prvním kroku byl hodnocen vliv průměrné teploty, úhrnu srážek a Langova dešťového faktoru (LDF) na výnosy pro červen až srpen za období let 1967 až 2005. Langův faktor (LDF) byl vypočítán podle vzorce 1., kde P je suma srážek (mm) a T je průměrná teplota (°C).

$$LDF = \frac{P}{T} \quad (1)$$

Pro výpočet evapotranspirace (ET) byl použit Penman-Monteith ET model (Monteith, 1965).

$$ET = K_c \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_e)} \quad (2)$$

Kde K_c je koeficient transpirace daného porostu vzhledem k referenční ET, R_n je radiace ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{den}^{-1}$), G je tepelný tok do podloží ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{den}^{-1}$), T je průměrná teplota ve 2 m (°C), u_2 je rychlost větru ve 2 m (m.s^{-1}), e_s je tlak nasycení vodních par (kPa), e_a je aktuální tlak vodních par (kPa), $e_s - e_a$ je deficit tlaku vodních par (kPa), Δ je sklon křivky tlaku vodní páry ($\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$) a γ je psychrometrická konstanta ($\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$).

Na základě ET byla dále vypočtena vodní bilance stanoviště (Han a kol., 2003). Vzorec 3 uvádí dlouhodobou dostupnost vody.

$$W_L = t_{CL} \frac{ET_{aSE}}{ET_{rSE}} \quad (3)$$

Kde ET_{aSE} je aktuální evapotranspirace kumulovaná od počátku sezóny, ET_{rSE} je potenciální evapotranspirace kumulovaná od počátku sezóny a t_{CL} je parametr definující limitní poměr dlouhodobé dostupnosti vody ($t_{CL}=4$).

Ze vzorce č. 4. byla vypočítána krátkodobě dostupná voda.

$$W_S = t_{CS} \frac{ET_{aW}}{ET_{rW}} \quad (4)$$

Kde ET_{aW} a ET_{rW} je aktuální a potenciální evapotranspirace kumulovaná za období 6 dnů a t_{CS} je parametr definující limitní poměr krátkodobé dostupnosti vody ($t_{CS}=3$).

Celková dostupnost vody byla vypočítána ze vzorce č. 5., kde C a M jsou koeficienty modelu zohledňující charakteristiky stanoviště (Černíkovice C=0.6, M=2).

$$W_A = [CW_L^M + (1-C)W_S^M]^{1/M} \quad (5)$$

Dále byl hodnocen možný vliv klimatické změny na velikost výnosů a evapotranspirace. Na podkladě práce Kalvové a kol., (2002) byly použity výstupy modelu HADCM3. Ten předpokládá vzestup průměrné teploty v období červen až srpen ve své nižší variantě (SRESB2) o cca 0,8 °C, ve vyšší variantě (SRESA2) pak o 2,3 °C, pro horizont roku 2050. Za využití stochastického generátoru počasí LARS-WG (Semenov a kol., 1998) byly simulovány dvousetleté řady denních srážkových úhrnů a teplot pro variantu současného klimatu, SRESB2 a SRESA2, které byly následně analyzovány. Na základě odvozených korelačních vztahů byly odhadnuty předpokládané poklesy výnosů (LAI) v důsledku klimatické změny.

Do vzorce č. 6. byl dosazen vypočítaný pokles velikosti listové plochy (LAI) v důsledku klimatické změny.

$$A_{cm} = 1 - \left(\frac{LAI}{LAI_{dense}} \right)^{0.5} \quad (6)$$

Kde A_{cm} je koeficient opravy K_c v rovnici ET (rov. 2), LAI je aktuální hodnota LAI (po klimatické změně), LAI_{dense} je optimální hodnota LAI pro daný porost.

Opravená hodnota rostlinného koeficientu v evapotranspirační rovnici K_{Cad} při klimatické změně je vypočtena dle vzorce č.7.

$$K_{Cad} = K_C - A_{cm} \quad (7)$$

Na závěr byly vypočteny předpokládané změny hodnoty potenciální evapotranspirace nejen v důsledku očekávaných změn klimatických charakteristik, ale rovněž v důsledku změněných charakteristik travního porostu pro rok 2050 pro oba uvažované scénáře.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Ročník ovlivňoval celkový výnos z 27,9 %. Vliv klimatu na výnos (kg/ha) se více projevoval u varianty N₂₀₀ P₄₀ K₁₀₀ než na variantě kontrolní (nehnojené). Průkazný vliv

($p=0,002$) na průměrné roční výnosy měla průměrná teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$). Výnos porostu nebyl výrazněji ovlivněn průměrnými srážkami a to zřejmě díky mezofytnímu až mezohydrofytnímu charakteru stanoviště, které bývá v jarních měsících podmáčené. Také sledovaný vliv LDF (obr.1.) na výnos byl statisticky neprůkazný ($p=0,676$), avšak při velmi nízkých hodnotách LDF již lze pozorovat pokles výnosů. To v zásadě odpovídá zjištěním Haberleho a Mikyskové (2004), že na podzemní vodou neovlivněných stanovištích s rostoucím LDF až do určitého bodu rostou i výnosy.

Porovnání výsledků evapotranspiračního modelu s výnosy vyplynulo (obr. 1.), že ani zde neexistuje jednoznačná závislost, opět z důvodu dostatečného zdroje podzemní vody v blízkosti povrchu. Hodnocení dále prokázalo, že letní období roku 2003 bylo extrémním z hlediska klimatických podmínek, které zapříčinily extrémní snížení výnosu druhé sklizně. V případě takto extrémních událostí nebyly zdroje půdní vody dostatečné pro pokrytí ztráty evapotranspirací a nedostatečných srážek. Ze simulace klimatické změny vyplývá značné zvýšení průměrné teploty v zájmovém období při současném zachování přibližně stejného množství ročních srážek. Pokles srážkových úhrnů nastane zejména na konci léta a na podzim, což ve svých studiích naznačuje také Grime et al., (2001).

S předpokládaným snižováním průměrné hodnoty LDF lze předpokládat i pokles výnosů ve většině let v lokalitách neovlivněných zdroji podzemní vody. Simulace také potvrzují nárůst výskytu extrémních let jako byl rok 2003 a to i jejich opakování v po sobě následujících letech. Což může vést k botanickým změnám porostu (White et al. 2001).

Potenciální evapotranspirace u trvalých travních porostů bude funkcí nejen zvýšené teploty vzduchu, ale i snížené LAI. Z tabulky 1 je zřejmé, že srpnová potenciální ET se na kontrolní variantě pro rok 2005 při scénáři SRESA2 zvýší o 15 %, naopak při scénáři SRESB2 se sníží o necelá 3 % v porovnání se současnou PET a na variantě $N_{200} P_{40} K_{100}$ při SRESA2 zvýší o 12,3 % a při SRESB2 sníží o 5 %.

Tabulka 1. Porovnání současné průměrné srpnové potenciální evapotranspirace PET s potenciální evapotranspirace PET pro rok 2050.

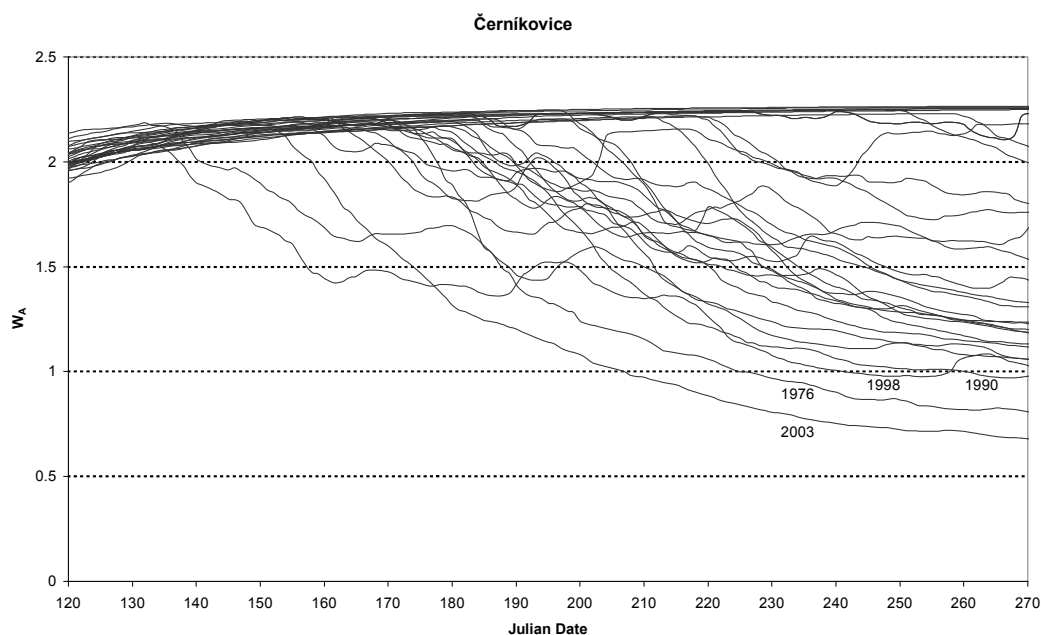
Varianta	Současná PET	Rok 2050 PET (SRESA2)	Rok 2050 PET (SRESB2)
Kontrolní (Kc=0.75)	42,4	48,9	41,4
$N_{200} P_{40} K_{100}$ (Kc=1.05)	59,3	66,7	56,4

Tabulka 2. Porovnání rozdílu průměrných předpokládaných srpnových srážek s potenciální evapotranspirací v současné době a v roce 2050.

	Současné klima	Rok 2050 (SRESA2)	Rok 2050 (SRESB2)
Srážky (mm)	77,5	62,8	74,2
Srážky - PET (mm) kontrolní varianta	35,1	13,9	32,8
Srážky - PET (mm) N ₂₀₀ P ₄₀ K ₁₀₀	18,2	-3,9	17,8

Z tabulky č. 2. vyplývá, že průměrné srpnové srážky na zkoumaném stanovišti převyšují vypočtenou potenciální evapotranspiraci pro současné klima. Velká část srážek se však odehrává ve formě přívalových bouřkových srážek, jejíž podstatná část rychle odtéká a není tak použita pro pokrytí evapotranspiračních nároků porostu. Přitom při předpokládané klimatické změně podíl přívalových srážek na celkovém srpnovém úhrnu dále poroste. V cílovém roce 2050 dojde k poklesu množství srpnových srážek v porovnání se současnými úhrny, pro SRESA2 to bude až o 20 %. Současně bude docházet ke snížení rozdílu množství spadlých srážek a evapotranspirace a to zejména u SRESA2, kde u hnojené varianty byla simulována dokonce v průměru negativní bilance mající posléze významný dopad na aktuální evapotranspiraci travního porostu.

Obrázek 1. Výsledky evapotranspiračního modelu udávající průběh dostupné vody v průběhu vrcholného vegetačního období.



ZÁVĚR

Výsledky prokázaly, že extrémní klimatické podmínky v letním období (sucho a vysoké teploty) jsou limitujícím faktorem pro produkci trvalého travního porostu. Simulace podmínek při klimatické změně potvrzuje významný, mnohonásobný nárůst extrémních let odpovídajících podmínkám roku 2003 v průběhu 21. století. Se zvyšujícím nárůstem teploty vzduchu, se bude měnit rovněž potenciální evapotranspirace. Její nárůst však bude výrazně eliminován očekávaným snížením množství produkované biomasy (LAI) u travních porostů. Očekávaná změna průměrné PET v letním období pro rok 2050 je v rozmezí -5 až +15 % v závislosti na botanickém složení porostu a použitém scénáři klimatické změny.

LITERATURA

Grime J. P., Brown V. K., Thompson K., Masters G. J., Hillier S. H., Clarke I. P., Askew A. P., Corker D. & KIELTY J. P. (2000): The Response of Two Contrasting Limestone Grasslands to Simulated Climate Change. - *Science*, 289: 762-765.

Haberle, J., Mikysková, J. (2004): Výnosy obilnin, stabilita výnosů a půdně-klimatické podmínky ČR, *Úroda* 11/2004, str. 26 – 29

Han D., O'Kiely P. & Sun D. W. (2003): Application of water-stress models to estimate the herbage dry matter yield of a permanent grassland pasture sward regrowth. - *Biosystems Engineering*, 84: 101 – 111.

Hunt H. W., Trlica M. J., Redente E. F., Moore J. C., Detling J. K., Kittel T. G. F., Walter D. E., Fowler M. C., Klein D. A. & Elliott E. T. (1991): Simulation model for the effects of climate change on temperate grassland ecosystems. - *Ecological Modelling*, 53, no. 3-4: 205-246.

Kalvová J., a kol. (2002): Scénáře změny klimatu na území České republiky a odhady dopadů klimatické změny na hydrologický režim, sektor zemědělství, sektor lesního hospodářství a na lidské zdraví. - *Národní klimatický program NKP 32, ČHMÚ, Praha.*

Marek M. V. (2005): Globální klimatická změna a její možné účinky na zemědělství. - *Úroda* 12/2005: 31 – 33.

McGuffie K., Henderson-Sellers A. (2005): *A climate modelling primer.* - John Wiley Sons Ltd., Chichester, UK.

Monteith J. L. (1965): Evaporation and environment. - *Proceedings of the 19th Symposia of the Society for Experimental Biology*, 8-12 September 1964, Swansea, Cambridge UK, University of Cambridge Press: 205-234.

Parton W. J., Scurlock J. M. O., Ojima D. S., Schimel D. S. & Hall, D. O. (1995): Impact of Climate Change on Grassland Production and Soil Carbon Worldwide. - *Global Change Biology*, 1: 12-22.

Semenov M. A., Brooks R. J., Barrow E. M. & Richardson C. W. (1998): Comparison of WGEM and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. - *Climate Research*, 10: 95 – 107.

White T. A., Campbell B. D., Kemp P. D. & Hunt C. L. (2001): Impacts of extreme climatic events on competition during grassland invasions. – *Global Change Biology*, 7: 1 – 13.

Poděkování

This research was supported by Research Project MSM No. 6046070901.