

Dôsledky zmeny klímy na úrody jarného jačmeňa v SR Climate change impact on spring barley yields in SR

J. TAKÁČ⁽¹⁾ and B. ŠIŠKA⁽²⁾

⁽¹⁾ Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, Bratislava, Slovenská republika (e-mail: takac@vupu.sk)

⁽²⁾ Katedra biometeorológie a hydrológie, SPU Nitra, Slovenská republika (e-mail: bernard.siska@uniag.sk)

Abstract Climate change impacts on yield of spring barley were evaluated according to agroecological model DAISY. Gradual increase of CO₂ concentrations according to emission scenarios SRES A2 and SRES B2 were taking into account for yield simulation. On the base of emission scenarios there were generated meteorological data according to general circulation model CCCM. Analyses were done for different agro-ecological conditions of Slovakia: Danubian and East Slovakian lowlands and submountain region represented by Liptov basin. Results of simulation confirmed supposed acceleration of spring barley development as a consequence of rising air temperatures. Direct effect of CO₂ concentration on formation of maximum yields was found in years where sufficient water and nutrition levels were simulated. Irrigation was found as a significant factor of yield stability in course of years.

Key words: *climate change, GCM, spring barley, yield, modeling*

Úvod

Globálne otepľovanie klímy vyvolané antropogénnou emisiou skleníkových plynov je jedným z najvýznamnejších environmentálnych problémov v histórii ľudstva. Prehľbujúce sa globálne rozpory medzi klimatickým systémom Zeme ako prírodného zdroja a požiadavkami na energetické a vodné zdroje ako primárneho predpokladu ďalšieho rozvoja ľudstva prispievajú k nárastu potenciálnych rizík v oblasti poľnohospodárstva. Možná zmena klímy môže mať rozhodujúci vplyv na celú poľnohospodársku produkciu, čo sa prejaví radom socioekonomických dopadov.

V Slovenskej republike boli možné dôsledky zmeny klímy na poľnohospodárstvo hodnotené vo viacerých prácach riešených v rámci U.S. Country Study program (Špánik et al., 1997, Takáč, Heldí, 1996), resp. Národného klimatického programu SR program (Špánik et al., 1996, Šiška, Mališ, 1997, Takáč, 2001).

Prakticky jedinou komplexnou možnosťou ako stanoviť reakciu plodín na zmenu klimatických podmienok bez realizácie nákladných pokusov je využitie simulačných modelov. Modelovému hodnoteniu úrod boli v minulosti na území

Slovenska podrobené predovšetkým obilniny. Najčastejšie modelovanou plodinou rastlinnými simulačnými modelmi bola pšenica, nakoľko patrí na našom území k strategickým plodinám a je zaradovaná do nosných výrobných programov väčšiny subjektov rastlinnej výroby. Jarný jačmeň hodnotený z pohľadu možných dôsledkov zmeny klímy zriedkavejšie, analýzy však boli zamerané aj na vyhodnotenie možného aklimačného efektu (Šiška, 1997). Všetky úrody boli simulované na úrovni živinami nestresovaných úrod.

Cieľom tohto príspevku je zhodnotiť možné zmeny v rozložení úrod jarného jačmeňa v podmienkach klimatickej zmeny na Slovensku.

Materiál a metódy

Hodnotenie dôsledkov zmeny klímy na úrody jarného jačmeňa bolo založené na numerických simuláciách agroekologickým modelom DAISY. DAISY je jednorozmerný model agroekosystému, ktorý na základe agrotechnických informácií a údajov o počasí simuluje rast plodiny, vodný režim, tepelný režim, bilanciu organickej hmoty a dynamiku dusíka v poľnohospodárskych pôdach. Model DAISY simuluje tie časti vodného, uhlíkového a dusíkového cyklu, ktoré súvisia s poľnohospodárskymi pôdnymi systémami. V rámci hydrologického cyklu sú modelované procesy akumulácie a topenia snehovej pokrývky, intercepcia, výpar z porastu, infiltrácia, výtopy, povrchový odtok, prúdenie vody v pôdnej matici, prúdenie v makropóroch a trubková drenáž. Model simuluje teplotu pôdy, zamŕzanie a rozmŕzanie pôdy. V rámci režimu roztokov model simuluje transportné, sorpčné a transformačné procesy. Zvláštny dôraz je kladený na režim dusíka v agroekosystémoch. Simulované sú procesy mineralizácie, imobilizácie, nitrifikácie, denitrifikácie, sorpcie NH_4 , odberu NO_3 a NH_4 a priesaku NO_3 a NH_4 . Tiež sú modelované procesy degradácie, sorpcie, odberu a transportu agrochemikálií ako sú pesticídy.

Plodinový model je zrejme najkomplexnejšou časťou modelu DAISY. Hlavné procesy rastu rastliny, ktoré model simuluje, sú fotosyntéza, respirácia, akumulácia sušiny a dusíka v rôznych častiach rastliny, odumieranie listov a koreňov, stresové faktory a štruktúra porastu. Fotosyntéza je počítaná ako funkcia LAI, globálneho žiarenia, teploty vzduchu a vodného a dusíkového stresu. Model umožňuje budovanie komplexných scenárov hospodárenia. Podrobný popis modelu, jeho konštrukcia a algoritmy sú uvedené v publikáciách autorov modelu Hansen et al. (1990), Hansen (2000) a Abrahamsen a Hansen (2000).

Plodinové parametre boli pre slovenské podmienky optimalizované na základe experimentálnych údajov z poľného pokusu na VPS VÚZH v Moste pri Bratislave z rokov 1981 – 1987 a verifikované na základe experimentálnych výsledkov z RD Lehnice a z poľného stacionárneho pokusu na VPS VÚZH v Moste pri Bratislave z obdobia 1990 – 1994 (Takáč a Košč, 1995).

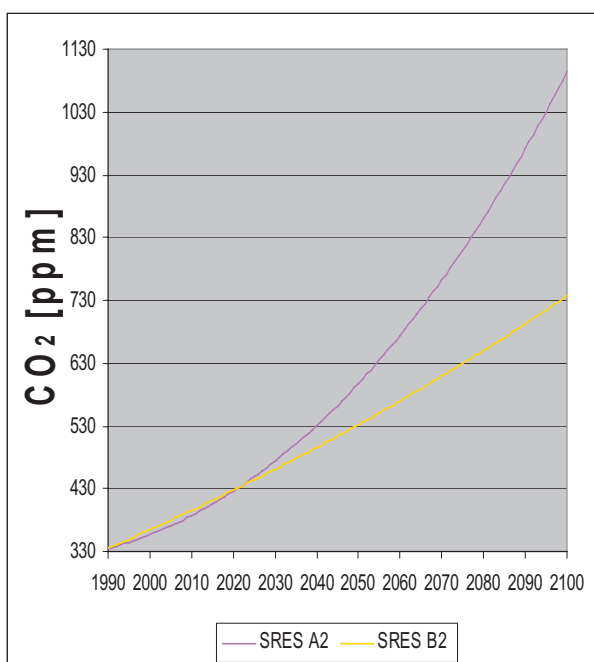
Numerické simulácie modelom DAISY boli vykonané pre referenčné obdobie 1966 – 1985 a pre emisné scenáre klimatickej zmeny SRES A2 a SRES B2 podľa výstupov modelu všeobecnej cirkulácie atmosféry CCCM 2000. Štatistické charakteristiky klimatických prvkov za vybrané referenčné obdobie na všetkých uvažovaných meteorologických staniách boli blízke štatistickým charakteristikám 30 – ročného obdobia 1961 – 1990, ktoré je v súčasnosti považované za normálové obdobie. Pre numerické simulácie boli vytvorené denných hodnôt globálneho žiarenia, teploty vzduchu a atmosférických zrážok z meteorologických staníc Hurbanovo, Michalovce a Liptovský Hrádok reprezentujúce regióny Podunajská nížina, Východoslovenská nížina a severoslovenské kotliny. (Lapin et al., 2001)

Efekt koncentrácie CO_2 na fotosyntézu nie je v modeli DAISY priamo zahrnutý. Preto bol tento efekt pre účely nášho hodnotenia zahrnutý do parametrizácie modelu prostredníctvom maximálnej rýchlosti fotosyntézy pri svetelnom nasýtení F_m [$\text{g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$] a počiatkovej účinnosti využitia svetla ϵ [$(\text{g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}) / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$].

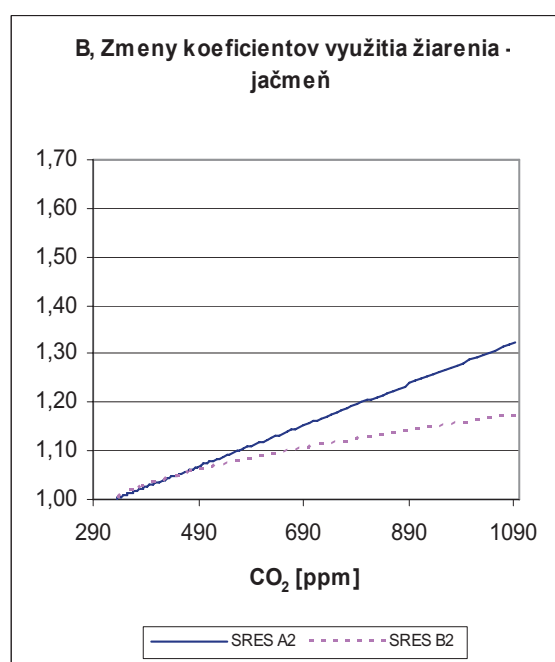
Podľa predpokladanej koncentrácie CO_2 v atmosfére bola vypočítané koeficienty využitia žiarenia, resp. odozvy zvýšenej koncentrácie CO_2 na fotosyntézu jarného jačmeňa. Emisné scenáre SRES A2 a SRES B2 predpokladajú odlišný nárast koncentrácie CO_2 (IPCC, cit in Melo, 2004), čo podmieňuje okrem fyzikálnych aj fyziologické procesy. Na základe zmien koncentrácie CO_2 je potom možné zostrojiť krivky potenciálneho vplyvu CO_2 na produkciu biomasy poľných plodín (obr. 2.). Z uvedeného vyplýva, že vhodné načasovanie vegetačného obdobia poľných plodín, ktoré vedie k optimálnemu využitiu príkonu žiarenia, môže byť účinným adaptačným opatrením na zmiernenie negatívnych dôsledkov zmeny klímy.

Simulácie boli vykonané pre reprezentatívne pôdne profily vybraných regiónov. Pôdne horizonty pôdných profilov boli definované zrnitostným zložením, parametrami retenčnej čiary, hydraulickou vodivosťou, obsahom humusu, pomerom C:N a ďalšími vlastnosťami. Podľa zrnitostného zloženia boli pôdy Podunajskej nížiny a severoslovenských kotlin charakterizované hlinitými pôdnymi profilmi a pôdy Východoslovenskej nížiny ílovitohlinitým pôdnym profilom.

Plodiny boli usporiadané do osevných postupov s tromi variantmi hnojenia a závlahy: 1) nehnojený a nezavlažovaný, 2) hnojený a nezavlažovaný a 3) hnojený a zavlažovaný. Pod jarný jačmeň bolo v simuláciách aplikovaných 60 kg N.ha⁻¹ v minerálnej forme, pričom hnojivo bolo rozdelené do 2 dávok: 40 kg N.ha⁻¹ pred sejbou a 20 kg N.ha⁻¹ po sejbe v máji. V simuláciách so závlahou boli závlahové dávky aplikované v automatickom závlahovom režime pri poklese zásoby pôdnej vody v koreňovej zóne plodiny pod 50 % využiteľnej vodnej kapacity (VVK). Aplikovaná závlahová dávka bola 30 mm, pričom interval medzi dvomi dávkami bol minimálne 10 dní. Tento reštrikčný predpoklad bol zvolený preto, lebo v budúcnosti v súvislosti so zmenou klímy sa očakáva obmedzenie zdrojov vody pre závlahu. Nebol simulovaný variant s neobmedzeným prísunom živín a vody, nakoľko v minulosti už bol hodnotený (napr. Šiška, Takáč a Igaz, 2004).



Obr. 1. Časové horizonty zmien koncentrácie CO₂ (bez agregovaného účinku iných GHG) podľa emisných scenárov SRES A2 a SRES B2 (spracované podľa IPCC 2000)



Obr. 2 Zmeny koeficientov využitia žiarenia porastom jačmeňa podľa emisných scenárov SRES A2 a SRES B2

Výsledky

V dôsledku oteplenia nastane posun fenofáz. Podľa scenára B2 by sa malo urýchliť kvitnutie a zber jarného jačmeňa v desaťročí 2041 - 2050 v porovnaní s referenčným obdobím 1966 - 1985 v priemere o 10 dní, podľa scenára A2 v priemere o 13 dní.

Z porovnania simulovaných úrod v jednotlivých regiónoch podľa variantov závlahy a hnojenia vyplynulo (tab. 1), že v referenčnom období 1966-1985 boli úrody jarného jačmeňa v Podunajskej nížine priaznivo ovplyvnené klimatickými pomermi, pričom boli limitované dostupnosťou vody v použítom pôdnom profile. Na Východoslovenskej nížine boli úrody jarného jačmeňa okrem vody determinované pôdnymi vlastnosťami a čiastočne limitované aj vodou. V Liptovskej kotline boli úrody jarného jačmeňa limitované klimatickými pomermi a pôdnymi vlastnosťami.

Tab. 1 Priemery hospodárskych úrod jarného jačmeňa [$t \cdot ha^{-1}$] podľa variantov závlahy a hnojenia v jednotlivých regiónoch v referenčnom období 1966 - 1985

Oblasť	Nehnojené nezavlažované	Hnojené nezavlažované	Hnojené zavlažované
Podunajská nížina	3.05	4.22	5.83
Východoslovenská nížina	1.23	4.71	5.10
Severoslovenské kotliny	2.05	3.52	3.52

Vplyv klimatických pomerov na úrody dobre vystihujú charakteristiky evapotranspirácie, ktoré v sebe integrujú vplyv viacerých klimatických prvkov (podľa použitej metódy výpočtu globálneho žiarenia, teploty vzduchu, zrážok a ďalších). V referenčnom období boli najvyššie ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie (vypočítané metódou podľa Makkinka) pre oblasť Podunajskej nížiny a najnižšie pre oblasť severoslovenských kotlin (tab. 2). Postupné zvyšovanie teplôt vzduchu podľa scenárov zmeny klímy bude viesť k zvyšovaniu úhrnov potenciálnej evapotranspirácie.

Simulované ročné úhrny aktuálnej evapotranspirácie s porastom jačmeňa v referenčnom období boli v dôsledku najmenších zrážkových úhrnov najnižšie na Podunajskej nížine a naopak, vďaka priaznivým zrážkovým pomerom najvyššie v podhorských oblastiach (tab. 3). Pre scenáre klimatickej zmeny bol simulovaný nárast ročných úhrnov aktuálnej evapotranspirácie, najväčší pre severoslovenské kotliny. Na základe týchto výsledkov možno očakávať v Podunajskej nížine mierne zvýšenie relatívnej evapotranspirácie (vyjadrujúcej relatívne pokrytie požiadaviek plodín na vodu) a pokles deficitu evapotranspirácie. Na Východoslovenskej nížine bol simulovaný pokles relatívnej evapotranspirácie a nárast deficitu evapotranspirácie. V podhorských oblastiach podľa scenárov zmeny klímy relatívna evapotranspirácia sa udrží na úrovni referenčného obdobia a deficit evapotranspirácie napriek zvýšeniu ostane malý. Na základe hodnôt evapotranspiračných charakteristík by sa dali predpokladať vhodnejšie podmienky rastu plodín podľa scenárov zmeny klímy v porovnaní s referenčným obdobím. Navyše, zvýšená koncentrácia CO_2 v atmosfére vedie k zvýšenému rastu biomasy a napomáha tiež k zvýšeniu účinnosti využitia vody rastlinou.

Tab. 2 Priemerné úhrny potenciálnej evapotranspirácie ET_0 [mm] vo vybraných regiónoch v referenčnom období 1966 – 1985 a podľa scenárov zmeny klímy SRES A2 a SRES B2

Oblasť	1966 – 1985	SRES A2		SRES B2	
		2011-30	2031-50	2011-30	2031-50
Podunajská nížina	830	852	853	841	859
Východoslovenská nížina	735	806	807	795	813
Severoslovenské kotliny	624	711	715	703	719

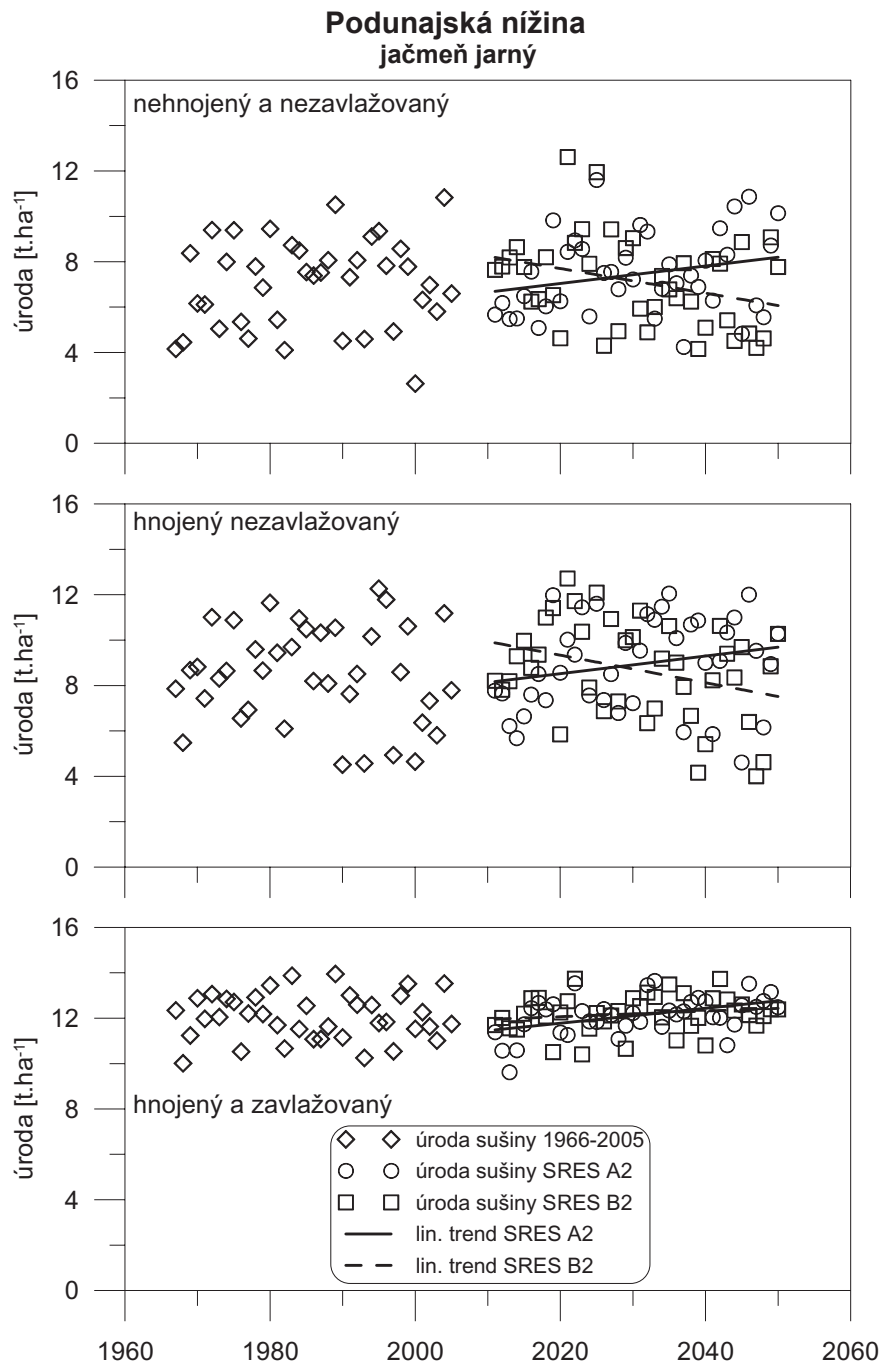
Tab. 3 Priemerné úhrny aktuálnej evapotranspirácie ET [mm] vo vybraných regiónoch v referenčnom období 1966 – 1985 a podľa scenárov zmeny klímy SRES A2 a SRES B2

Oblasť	1966 – 1985	SRES A2		SRES B2	
		2011-30	2031-50	2011-30	2031-50
Podunajská nížina	433	497	507	507	471
Východoslovenská nížina	532	521	560	538	561
Severoslovenské kotliny	588	653	676	656	668

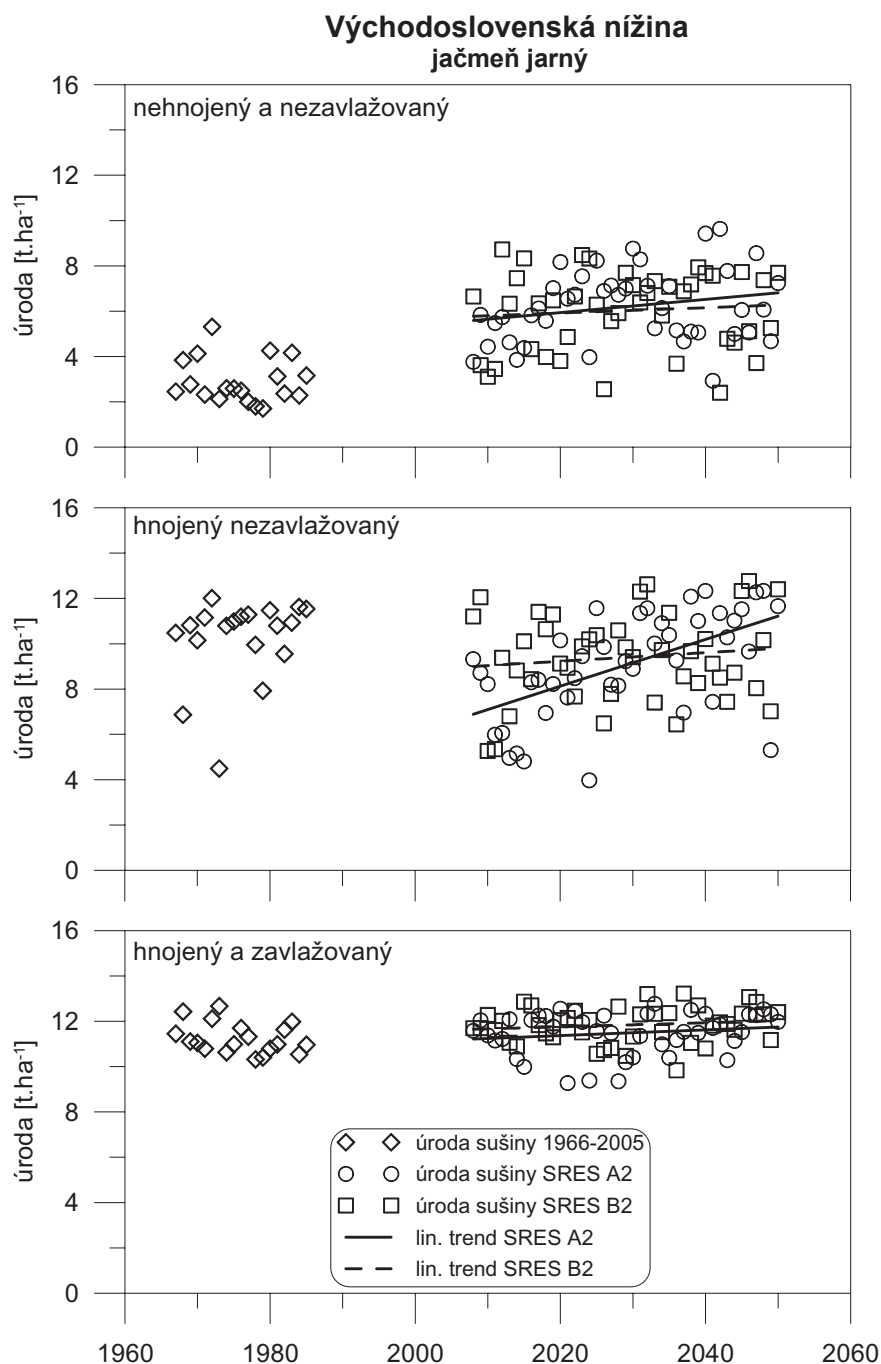
Simulované úrody jarného jačmeňa podľa oboch scenárov kolísali. Vypočítané úrody podľa scenárov boli primárne determinované koncentráciou CO_2 v atmosfére. V scenároch sa však prejavili niektoré negatívne tendencie vo vývoji prvkov atmosférického prostredia, čo v konečnom dôsledku viedlo často k depresii vypočítaných úrod. Rast úrod všeobecne nezodpovedá teoretickým rastom koeficientov využitia žiarenia.

Výsledky simulácií preukázali, že pôsobenie jednotlivých uvažovaných faktorov na úrody je interaktívne. Nedostatok vody alebo dusíka, resp. s nedostatkom vody spojená nedostupnosť dusíka, sa prejavila poklesom úrod. Jačmeň vykazoval menšie nárasty biomasy a hospodárskych úrod aj preto, že jeho vegetačné obdobie bolo v rámci modelových situácií posúvané k začiatku roka, teda do obdobia

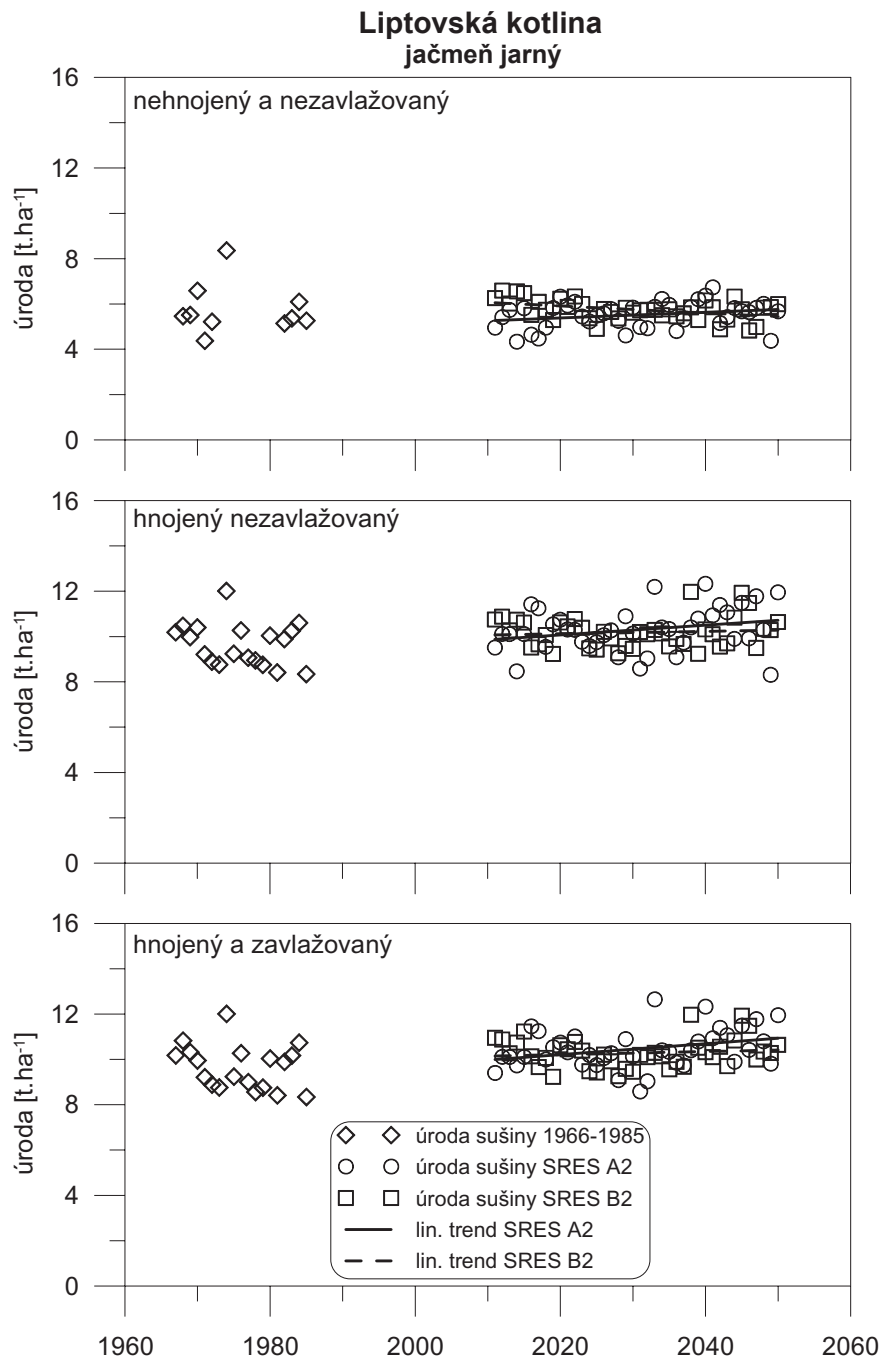
s nižšími príkonmi globálneho žiarenia. Podľa výsledkov simulácií bez závlahy pri zohľadnení dusíka je fertilizačný účinok CO₂ na úrody nadzemnej biomasy jarného jačmeňa zrejmy podľa scenára SRES A2, ktorý predpokladá väčší nárast koncentrácie CO₂ v atmosfére. Podľa scenára SRES B2 v Podunajskej nížine je efekt CO₂ v neskorších časových horizontoch nepostačujúci na kompenzáciu negatívnych vplyvov ostatných faktorov prostredia a po počiatočnom náraste úrod v období 2011 – 2030 v porovnaní s referenčným obdobím bol simulovaný pokles úrod v období 2031 – 2050 pod úroveň referenčného obdobia. Na Východoslovenskej nížine a v Liptovskej kotline je aj podľa scenára SRES B2 naznačený nepatrný nárast úrod.



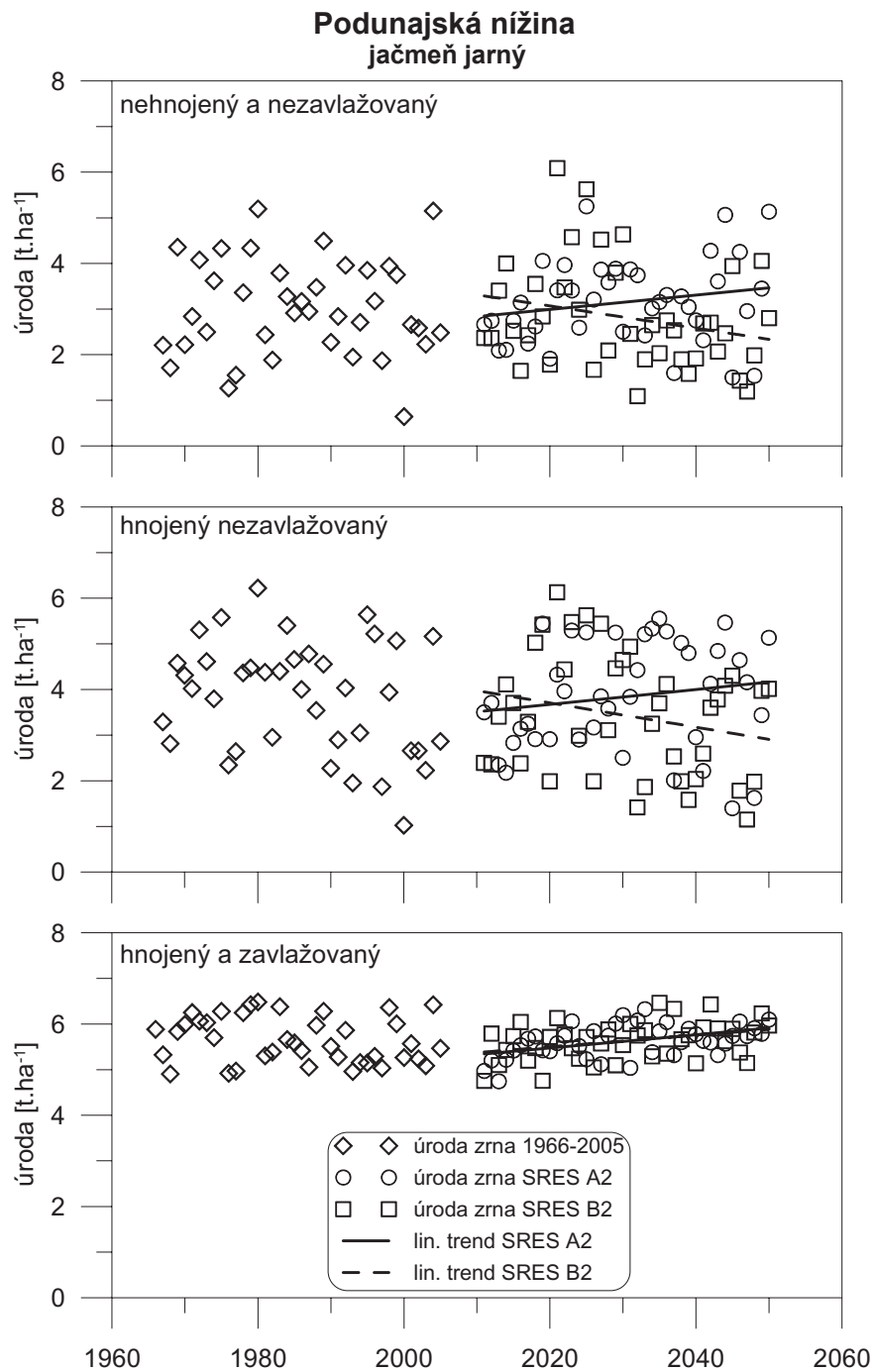
Obr. 3 Simulované úrody sušiny nadzemnej časti jarného jačmeňa [t.ha⁻¹] podľa variantov závlahy a hnojenia v Podunajskej nížine v období 1966 – 2005 a podľa scenárov zmeny klímy SRES A2 a SRES B2.



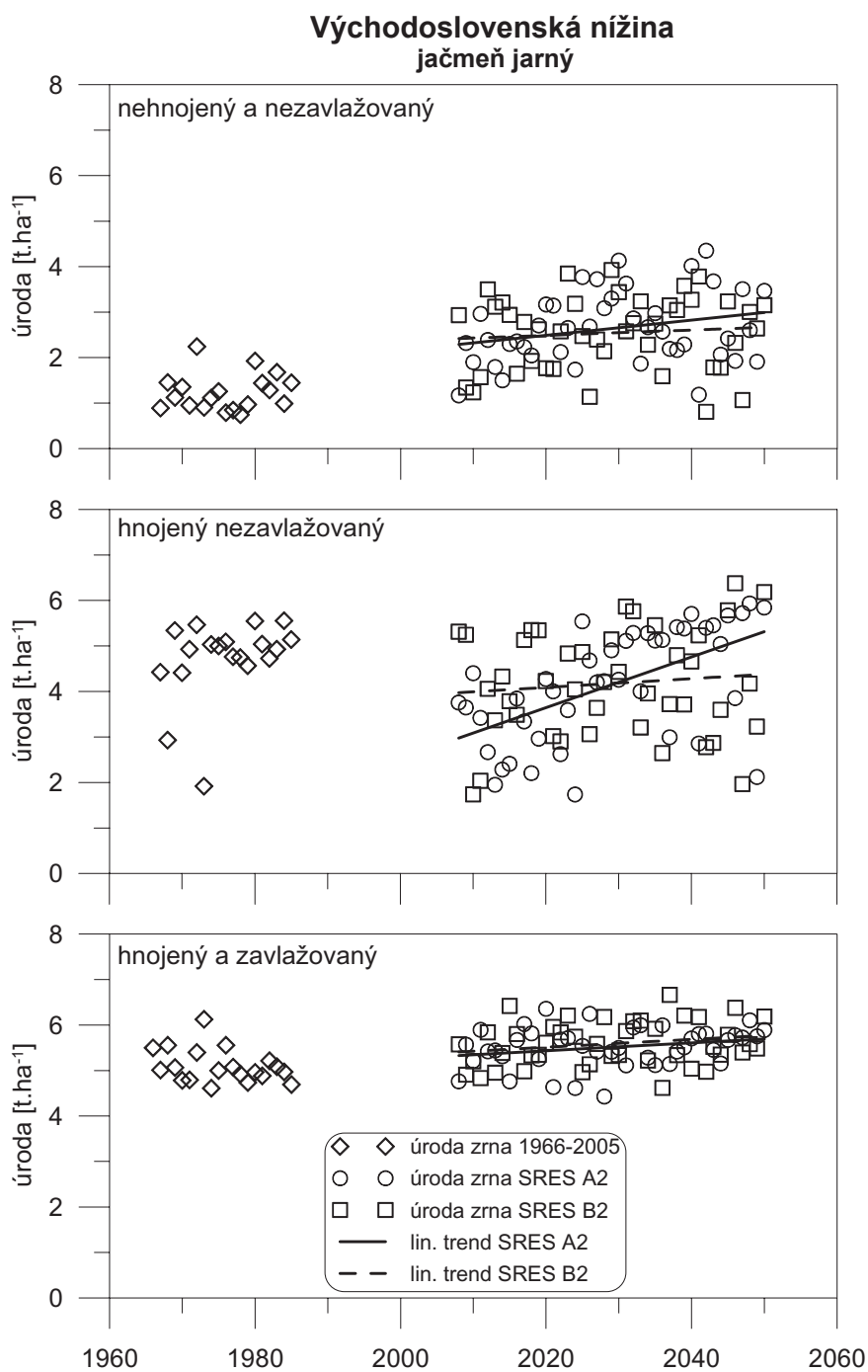
Obr. 4 Simulované úrody sušiny nadzemnej časti jarného jačmeňa [t·ha⁻¹] podľa variantov závlahy a hnojenia na Východoslovenskej nížine v referenčnom období 1966 – 1985 a podľa scenárov zmeny klímy SRES A2 a SRES B2.



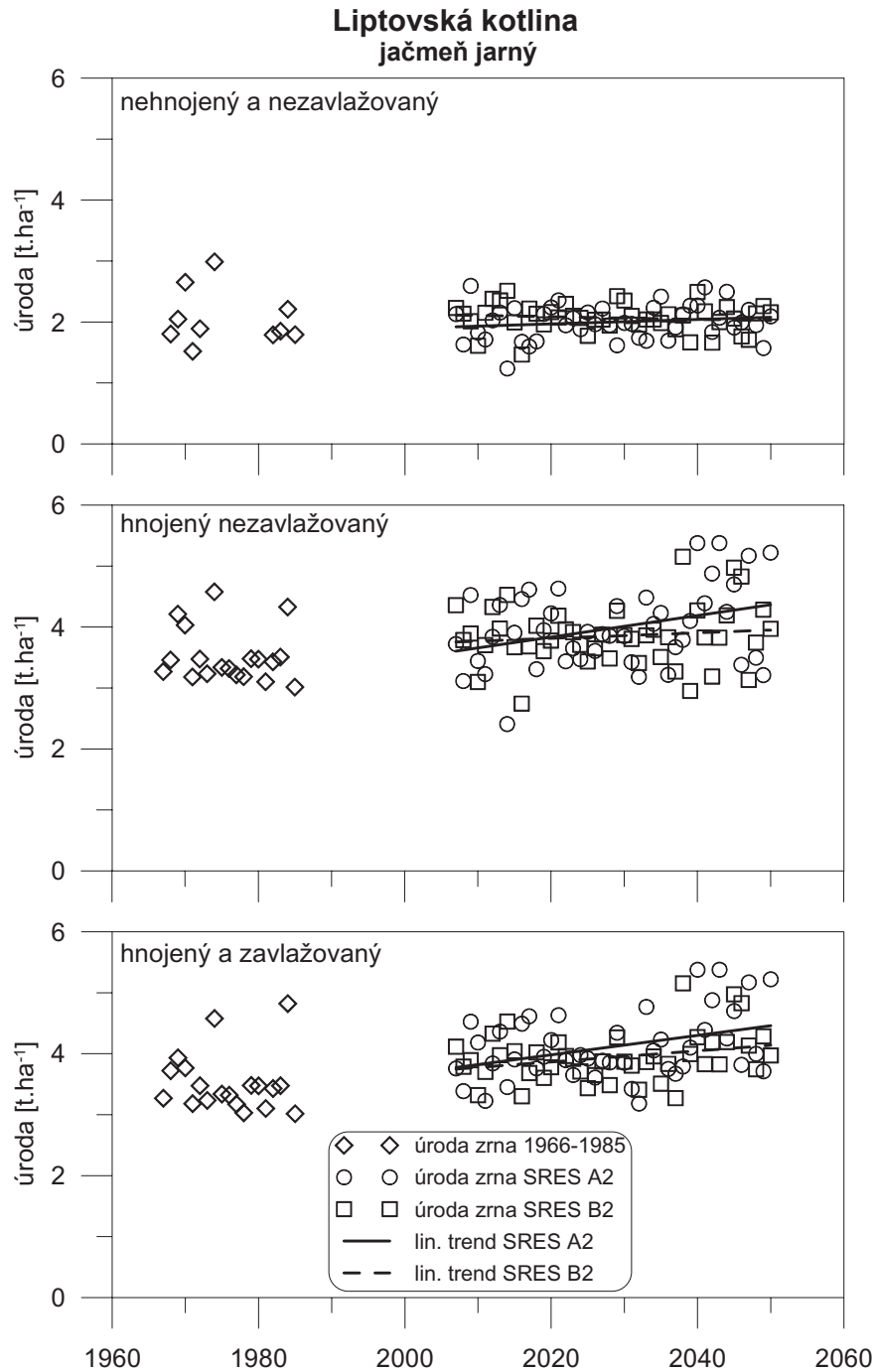
Obr. 5 Simulované úrody sušiny nadzemnej časti jarného jačmeňa [t.ha⁻¹] podľa variantov závlahy a hnojenia v Liptovskej kotline v referenčnom období 1966 – 1985 a podľa scenárov zmeny klímy SRES A2 a SRES B2.



Obr. 6 Simulované hospodárske úrody jarného jačmeňa [t·ha⁻¹] podľa variantov závlahy a hnojenia v Podunajskej nížine v období 1966 – 2005 a podľa scenárov zmeny klímy SRES A2 a SRES B2.



Obr. 7 Simulované hospodárske úrody jarného jačmeňa [t·ha⁻¹] podľa variantov závlahy a hnojenia na Východoslovenskej nížine v referenčnom období 1966 – 1985 a podľa scenárov zmeny klímy SRES A2 a SRES B2.



Obr. 8 Simulované hospodárske úrody jarného jačmeňa [t.ha⁻¹] podľa variantov závlahy a hnojenia v Liptovskej kotline v referenčnom období 1966 – 1985 a podľa scenárov zmeny klímy SRES A2 a SRES B2.

Nárast úrody biomasy podľa scenárov zmeny klímy je na nezavlažovanej pôde tvorený hlavne nárastom úrody slamy. Na nezavlažovanej pôde v nížinách bol simulovaný pokles podielu zrna na úrode o 2 – 12 % v porovnaní s referenčným obdobím. Na Východoslovenskej nížine bol na zavlažovanej pôde vypočítaný priemerný podiel zrna podľa scenárov vyšší ako v referenčnom období a na Podunajskej nížine nižší o 1 – 2 %. Nižší podiel zrna na úrode pravdepodobne súvisí s výskytom vysokých teplôt v období dozrievania, čo spôsobuje predčasné dozrievanie a zabraňuje účinnému presunu asimilátov z tela rastliny do zrna (Šiška, 1997). Podľa získaných výsledkov by sa na

nezavlažovanej pôde mala zvýšiť variabilita tejto charakteristiky, najviac na Východoslovenskej nížine (tab. 4).

Tab. 4 Priemerný podiel zrna na úrode nadzemnej biomasy jarného jačmeňa \bar{x} [%] a smerodajná odchýlka σ vo vybraných regiónoch na nezavlažovanej pôde v referenčnom období 1966 – 1985 a podľa scenárov zmeny klímy SRES A2 a SRES B2

Oblasť	1966 – 1985		SRES A2				SRES B2			
			2011-30		2031-50		2011-30		2031-50	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Podunajská nížina	48	5.2	43	5.1	42	6.9	40	7.5	36	7.1
Východoslovenská nížina	46	3.5	44	9.7	46	9.2	44	7.0	44	9.0
Severoslovenské kotliny	36	2.7	38	3.7	39	4.8	38	2.7	38	3.5

Hlavným limitujúcim faktorom úrod jarného jačmeňa v nížinných oblastiach sa javí byť voda, ako to naznačujú aj hodnoty relatívnej evapotranspirácie a deficitu evapotranspirácie. Pri simuláciách so živinami a vodou nestresovanými plodinami boli vypočítané úrody podľa scenárov klimatickej zmeny primárne determinované koncentráciou CO₂ v atmosfére, keď nárast úrod biomasy k časovému horizontu 2075 predstavoval 27 % a nárast hospodárskych úrod jarného jačmeňa k tomuto časovému horizontu 24 % (Šiška, Takáč a Igaz, 2004). Podľa výsledkov simulácií s limitovanou závlahou pri zohľadnení dusíka je fertilizačný účinok CO₂ na úrody jarného jačmeňa potlačený, hlavne podľa scenára SRES B2, ktorý predpokladá menší nárast koncentrácie CO₂ v atmosfére.

Doplňková závlaha je nevyhnutnou podmienkou optimalizácie vodného režimu pôdy a stabilizácie úrod poľnohospodárskych plodín. Simuláciami s nelimitovaným závlahovým režimom bolo zistené zvýšenie závlahovej potreby jarného jačmeňa v nížinných regiónoch o 3 – 20 % v závislosti od pôdnych podmienok, lokality, použitého scenára a časového horizontu. Podľa týchto simulácií sa posunie začiatok závlahovej sezóny v nížinách na skorší termín o 2 – 20 dní v závislosti od použitého scenára a časového horizontu (Takáč, 2001). Na druhej strane, bude priemerná produkčná účinnosť závlahy na hospodársku úrodu jarného jačmeňa klesať, i keď sa v suchých rokoch zvýšia maximálne hodnoty produkčnej účinnosti závlahy na 4.1 – 4.3 kg.m⁻³.

Podľa štatistického vyhodnotenia výsledkov simulácií bol interakčný vplyv závlahy a hnojenia na výšku hospodárskych úrod jarného jačmeňa preferovaný pred vplyvom jedného z týchto faktorov. Interakčným vplyvom závlahy a hnojenia boli simulované úrody jarného jačmeňa na Podunajskej nížine zvýšené v období 2011 – 2030 o 85 – 90 % a v období 2031 – 2050 o 95 – 110 %.

Záver

Dôsledky zmeny klímy na produkciu jarného jačmeňa boli hodnotené agroekologickým modelom DAISY. V simuláciách bolo zohľadnené postupné zvyšovanie koncentrácie CO₂ v atmosfére podľa emisných scenárov SRES A2 a SRES B2. Meteorologické údaje boli podľa emisných scenárov generované modelom všeobecnej cirkulácie atmosféry CCCM. Analýza bola realizovaná pre rozdielne agroekologické podmienky Slovenska: Podunajskú a Východoslovenskú nížinu a podhorskú oblasť reprezentovanú Liptovskou kotlinou. Výsledky simulácií potvrdili predpokladané urýchlenie vývoja jarného jačmeňa v dôsledku zvýšenia teplôt vzduchu.

Vypočítané úrody podľa scenárov boli primárne determinované koncentráciou CO₂ v atmosfére. Niektoré negatívne tendencie vo vývoji klimatických prvkov v scenároch zmeny klímy viedli často k depresii vypočítaných úrod. Bol vypočítaný pokles podielu zrna na úrode biomasy. Rast úrod všeobecne nezodpovedá teoretickým rastom koeficientov využitia žiarenia.

Hlavným limitujúcim faktorom úrod jarného jačmeňa v nížinných oblastiach bola voda. Závlaha sa ukázala ako výrazný stabilizačný faktor výšky úrod jarného jačmeňa. Obmedzenie závlahy v simuláciách na 10-dňový interval sa ukázalo ako postačujúce na zabezpečenie stabilizácie úrod, neumožnilo však plné využitie interakcie s fertilizačným účinkom atmosféry.

PodĎakovanie

Prezentované výsledky boli získané v rámci riešenia úlohy č. 2004 SP 20/06K0A03/0000010 „Prebiehajúca klimatická zmena a jej dopady na rozvoj spoločnosti“ Štátneho programu výskumu a vývoja „Aktuálne otázky rozvoja spoločnosti“ a 6.RP CECILIA.

Literatúra

- [1] ABRAHAMSEN, P., HANSEN, S., 2000. Daisy: An Open Soil – Plant - Atmosphere System Model. *Environmental Modelling & Software*, 15. 313 - 330.
- [2] 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. Copenhagen. The National Agency for Environmental Protection, 272 p. ISBN 87-503-8790-1.
- [3] HANSEN, S., 2000. DAISY, a Flexible Soil – Plant - Atmosphere System Model. Equation Section 1. The Royal Veterinary And Agricultural University. Copenhagen. 1 – 47.
- [4] LAPIN, M., MELO, M., DAMBORSKÁ, I. 2001: Scenáre súborov viacerých vzájomne fyzikálne konzistentných klimatických prvkov. In.: Nové scenáre klimatickej zmeny a ich využitie, Národný klimatický program SR, VI, No. 11, SHMÚ a MŽP SR, Bratislava, 5-30, ISBN 80-88907-25-X.
- [5] MELO, M. 2004. Teplota vzduchu, atmosferické zrážky a merná vlhkosť vzduchu v Hurbanove podľa pôvodných emisných scenárov „IS92a“ a nových emisných scenárov „A2-SRES“ A „B2-SRES“ In „Zmeny podnebia – extrémny počasie – organizmy a ekosystémy“ [CD-ROM]. Viničky (Bioklimatologické pracovné dni 2004
- [6] ŠIŠKA, B., 1997. Predpokladané dopady zvýšenej koncentrácie CO₂ na úrody jarného jačmeňa v oblasti Podunajskej nížiny. *Acta horticulturae et regio tecturae* 2: 107-120.
- [7] ŠIŠKA, B., MALIŠ J., 1997. Slovak Agricultural University, Nitra, Slovakia: Supposed Changes in Production of Winter Wheat in Consequence of Climate Change in Danubian Lowland up to Year 2075. Bratislava 1997, NKP 7: 84-92.
- [8] ŠIŠKA, B., TAKÁČ, J., IGAZ, D., 2004. Môžeme očakávať zmeny v rozdelení výšky úrod obilnín v oblasti Podunajskej nížiny v dôsledku klimatickej zmeny? In: Bioklimatologické pracovné dni. Medzinárodná vedecká konferencia. Viničky. SPU Nitra, 2004, 16 s. ISBN 80-8069-402-8
- [9] ŠPÁNIK, F., ŠIŠKA, B., et al., 2004. *Biometeorológia*, VES SPU Nitra, 2004, 227 s. ISBN 80-8069-315-3.
- [10] ŠPÁNIK, F., ŠIŠKA, B., KOSTREJ, A., LIŠKA, E., TAKÁČ, J., 1997. Climate Change Impacts on Plant Production and Adaptive Measures. Final Report. Slovak Republic's Country Study, AgTU (VŠP) Nitra, 1-41.
- [11] ŠPÁNIK, F., ŠIŠKA, B., REPA, Š., 1996: Dôsledky klimatických zmien na poľnohospodárstvo a adaptačné opatrenia. NKP SR III, zv. 4.
- [12] TAKÁČ, J. 2001. Dôsledky zmeny klímy na bilanciu vody v poľnohospodárskej krajine. NKP SR, 2001, zv. 10, Bratislava, s. 16 - 26.
- [13] TAKÁČ, J., HELDI, A., 1996. Možné dôsledky klimatickej zmeny na závlahové hospodárstvo. Záverečná správa. SR's Country Study. MŽP SR, SHMÚ, VÚZH Bratislava, 25 s.
- [14] TAKÁČ, J., KOŠČ, V., 1995. Nenasýtená zóna a poľnohospodárstvo. Záverečná správa za podporný projekt k projektu PHARE/EC/WAT/1 Danubian Lowland Ground Water Model. VÚZH, Bratislava. 64 s.