

Acta fytotechnica et zootechnica 2  
Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2011, s. 45–51

## BILANCIA ENERGIE A OXIDU UHLÍČITÉHO PRI RÔZNYCH TECHNOLOGIÁCH PESTOVANIA PŠENICE OZIMNEJ

### ENERGY AND CARBON DIOXIDE BALANCE BY DIFFERENT CULTIVATION TECHNOLOGIES OF WINTER WHEAT

Richard POSPIŠIL,<sup>1</sup> Jozef RŽONCA<sup>2</sup>

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Slovenská republika<sup>1</sup>  
O.S.A., Praha, Česká republika<sup>2</sup>

The aim of this work was to evaluate of energy balance and carbon dioxide emission by different cultivating technologies of the winter wheat (*Triticum aestivum* L.). The field trials were carried out on the experimental base of the Slovak Agricultural University in Dolná Malanta in years 2000 – 2007. The experiments were performed in natural field conditions using three ways of the soil tillage: conventional, reduced and minimal tillage. We have applied the following ways of the fertilization: without fertilization, balanced fertilization and balanced fertilization + ploughed remains after harvest. Winter wheat in conditions of haplic luvisol has a strongly positive energy balance. Balance of carbon dioxide was negative. The energy inputs were the lowest at the minimum tillage (mean 10.77 GJ.ha<sup>-1</sup>), higher at the reduced tillage (mean 11.42 GJ.ha<sup>-1</sup>) and the highest at the conventional tillage (mean 11.56 GJ.ha<sup>-1</sup>). We have obtained the most favorable indicators of the energetic evaluation and carbon dioxide balance at the minimum soil tillage and balanced fertilization with incorporation of remains after harvest.

**Key words:** winter wheat cultivation, energy efficiency, carbon dioxide fixation, soil tillage, fertilization

Obilniny tvoria kľúčovú skupinu plodín rastlinnej výroby Slovenska. Osevná plocha obilnín sa v pestovateľských ročníkoch 2004/05 až 2007/08 pohybovala v rozpätí od 739,9 do 819,1 tis. ha, z toho zastúpenie pšenice bolo na úrovni od 350,9 do 375,8 tis. ha (Masár a Jamborová, 2009). Európska poľnohospodárska organizácia COPA a COGECA varuje pred znížením produkcie obilnín, pretože ceny sa v predchádzajúcich dvoch rokoch znížili o 45 %, zatiaľ čo výrobné náklady sa v rokoch 2004 – 2009 zvýšili o 63 % (Jamborová a Masár, 2010). Z toho dôvodu je opodstatnený vyšší záujem o hodnotenie efektívnosti jednotlivých pracovných operácií v rámci produkčného procesu pestovania obilnín.

Ekonomická efektívnosť je zložitý jav, ktorý možno hodnotiť celou sústavou ukazovateľov, pričom základným je zisk. Ekonomika výrobných odvetví determinuje celkový hospodársky výsledok podnikateľského subjektu. Pritom ekonomiku výrobných odvetví ovplyvňuje množstvo rôznych faktorov a vzťahy medzi nimi. Najdôležitejším je vzťah medzi vstupmi a výstupmi, t. j. vzťah medzi nákladmi a cenami poľnohospodárskych komodít, ktorý v konečnom dôsledku vplyva na výšku efektu, t. j. zisku alebo straty (Kubátová a Izakovič, 2004). Preto by ekonomické hodnotenie nemalo byť jedinou alternatívou analýzy produkčného procesu pestovania poľných plodín. V analýze by mali mať uplatnenie aj energetické a ekologické aspekty poľnohospodárskej výroby (Sandoval, Estrada et al., 2003).

Energetickú rovinu je možné považovať za všeobecne porovnateľnú základňu všetkých dejov v krajinnom priestore. Poznanie všeobecných zákonitostí umožňuje na základe vypočítaných bilancií reguláciu vstupov a výstupov energie v zhode s prírodným potenciálom záujmového územia (Váchalová et al., 2004; Váchal et al., 2005). Energetické hodnotenie je významným objektívnym meradlom poľnohospodárskej výroby zhodnocujúcim rozdiely v charaktere výsledného produktu. Umožňuje tiež porovnávať efektívnosť systémov pestovania bez závislosti od cenových výkyvov. Poskytuje nový pohľad na

význam a postavenie jednotlivých plodín v štruktúre osevných postupov a náročnosti rôznych agrotechnických zásahov, čo umožňuje využitie týchto hľadísk pri návrhoch energetických racionalizačných opatrení (Pospišil a Vilček, 2000).

V posledných dvoch desaťročiach sa stalo štúdium obsahu CO<sub>2</sub> v atmosfére predmetom celosvetového výskumu, pretože jeho narastajúca koncentrácia má vplyv na všetky zložky ľudskej činnosti, vrátane poľnohospodárstva (Jůzl, Středa a Rožnovský, 2005). V priebehu deväťdesiatich rokov minulého storočia bola čistá bilancia medzi atmosférou a suchozemskými ekosystémami odhadnutá na úrovni 5,1 ± 2,6 a 6,2 ± 1,8 Gt CO<sub>2</sub> ročne (Houghton et al., 2001). Popri štúdiu bilancie energie v agrosektore, sa viacerí autori zaoberali aj štúdiom bilancie CO<sub>2</sub> (Risoud and Bochu, 2002; Flessa et al., 2002; Konga et al., 2003; Sandoval Estrada et al., 2003; Moureaux, Bodson and Aubinet, 2008; Bochu, Risoud and Mousset, 2008).

Cieľom príspevku bolo zhodnotenie pestovania pšenice letnej formy ozimnej (*Triticum aestivum* L.) pri uplatnení rôznych pestovateľských technológií z hľadiska bilancie energie a oxidu uhličitého.

## Materiál a metódy

Poľný polyfaktorový pokus bol riešený v rokoch 2000 až 2007 na Experimentálnej báze SPU Dolná Malanta na pozemku s pôdnym typom hnedozem kultizemná. Podrobný popis pôdných podmienok danej lokality publikovali Hanes et al. (1993). Pôdny profil má tri genetické horizonty (Ap, Bt, C), z ktorých je hlavný luvický horizont (Bt), ktorý vznikol ako dôsledok iluviálnej akumulácie premiestňovaných koloidov, horizonty Ap a C sú hlinité, smerom do hĺbky ílovito-hlinité. Merná hmotnosť je 2,60 – 2,63 t.m<sup>-3</sup>. Ornica je mierne utlačená s pórovitosťou (Pc) 45 – 48%, podornica je utlačená s pórovitosťou 40 – 42%. Pôda má vysokú kapilárnu nasiakavosť, vysokú retenčnú kapacitu,

Tabuľka 1 Poveternostné podmienky počas pokusného obdobia

Rok (1)	Mesiac (2)	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
2000	T (3) v °C	–	–	–	–	–	–	–	–	–	13,2	8,0	2,2
	P (4) v mm	–	–	–	–	–	–	–	–	–	28,0	89,0	45,0
2001	T (3) v °C	0,4	2,0	6,0	10,4	17,0	18,0	21,0	23,1	14,8	14,1	3,9	-5,1
	P (4) v mm	23,0	19,0	51,0	20,0	49,0	18,0	72,0	24,0	102,0	8,0	33,0	17,0
2002	T (3) v °C	-1,2	3,5	6,3	9,9	17,4	19,6	22,1	20,8	14,9	9,7	8,0	-0,4
	P (4) v mm	12,0	36,0	29,0	45,0	62,0	69,0	51,0	90,0	62,0	78,0	42,0	38,0
2003	T (3) v °C	-1,9	-1,8	5,1	10,7	18,8	21,3	21,2	22,7	15,8	10,1	4,9	0,5
	P (4) v mm	33,0	1,0	2,0	27,0	45,0	7,0	92,0	24,0	16,0	66,0	33,0	24,0
2004	T (3) v °C	-3,3	1,6	4,7	11,7	14,3	17,9	20,0	20,1	14,7	11,7	5,5	0,8
	P (4) v mm	56,0	31,0	53,0	36,0	34,0	94,0	34,0	19,0	35,0	45,0	46,0	27,0
2005	T (3) v °C	-0,1	-2,7	2,7	11,0	15,2	18,0	20,5	19,1	16,3	10,7	4,2	0,4
	P (4) v mm	31,0	53,0	3,0	79,0	61,0	31,0	59,0	95,0	47,0	12,0	43,0	113,0
2006	T (3) v °C	-4,1	-1,6	3,5	11,4	14,0	19,2	22,6	16,7	16,6	12,2	7,5	3,2
	P (4) v mm	57,0	39,0	35,0	48,0	96,0	64,0	24,0	84,0	13,0	15,0	24,0	8,0
2007	T (3) v °C	4,1	4,6	7,9	12,5	17,3	21,2	22,4	21,2	13,7	9,9	–	–
	P (4) v mm	45,0	35,0	64,0	0,0	102,0	42,0	28,0	113,0	82,0	35,0	–	–

Table 1 Weather conditions during experimental season (1) year, (2) month, (3) average month temperatures, (4) sum of month precipitation

Tabuľka 2 Energia hospodárskej úrody pšenice letnej f. ozimnej v jednotlivých ročníkoch v GJ.ha<sup>-1</sup>

Obrábanie (1)	Hnojenie (2)	Pestovateľský ročník (3)						
		00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07
B1	0	111,48	85,38	70,74	103,72	110,78	108,49	108,13
	PH	65,09	110,96	82,20	118,54	112,54	114,84	106,90
	PZ	106,72	89,43	100,55	116,07	124,19	136,00	103,90
	x	94,43	95,26	84,50	112,78	115,84	119,78	106,31
B2	0	94,90	86,79	80,26	114,31	107,07	123,66	92,79
	PH	84,14	113,60	75,50	121,72	97,20	125,24	111,66
	PZ	94,55	116,07	84,32	123,30	118,01	127,36	119,42
	x	91,20	105,49	80,03	119,78	107,43	125,42	107,96
B3	0	99,67	84,67	80,97	122,60	112,01	122,95	89,79
	PH	100,72	85,20	85,55	121,19	116,25	113,60	97,02
	PZ	92,08	115,01	89,08	117,84	108,49	130,01	122,07
	x	97,49	94,96	85,20	120,54	112,25	122,19	102,96

B1 – konvenčné obrábanie pôdy, B2 – redukované obrábanie pôdy, B3 – minimálne obrábanie pôdy, 0 – variant bez hnojenia (kontrola), PH – racionálne hnojenie, PZ – racionálne hnojenie so zapravením pozberových zvyškov, x – priemer  
 B1 – conventional tillage, B2 – reduced tillage, B3 – minimum tillage, 0 – unfertilized treatment (control), PH – balanced fertilization, PZ – balance fertilization + ploughed in after-harvest rests, x – mean

Table 2 Gross energy of yield of winter wheat in respective years in GJ.ha<sup>-1</sup> (1) soil tillage, (2) fertilization, (3) year

nižší bod vädnutia (8,0 – 9,0%), čo umožňuje zadržiavať dostatočné množstvo vody v profile. Obsah humusu v horizonte Ap je stredný (1,95 – 2,28%). Kationová sorpčná kapacita sa pohybuje v rozsahu 185 – 257 mmol (p+). kg<sup>-1</sup> pôdy. Humusový horizont siaha do hĺbky 0,31 m, pôdotvorný substrát je v hĺbke 0,95 m.

Hodnoty výmennej pôdnej reakcie sa pohybovali v rozpätí od 6,52 do 6,55. Obsah prístupných živín (Mehlich II.) bol nasledujúci: 72 – 85 mg.kg<sup>-1</sup> P; 345 – 380 mg.kg<sup>-1</sup> K; 1 700 – 2 300 mg.kg<sup>-1</sup> Ca a 158 – 205 mg.kg<sup>-1</sup> Mg.

Územie, na ktorom boli pokusy realizované patrí do agroklimatickej oblasti veľmi teplej so sumou priemerných denných

teplôt vzduchu (TS ≥ 10 °C) za hlavné vegetačné obdobie 3 000 °C a viac. Vysokú teplotnú zabezpečenosť (≥ 90%) majú poloskoré hybridy kukurice na zrno, poloneskoré (75 – 90%) a neskoré hybridy sú zabezpečené na 60 – 70%. Agroklimatická podoblasť je veľmi suchá s ukazovateľom zavlaženia v letných mesiacoch (K<sub>VI – VIII</sub> = 150 mm) čo zaraďuje stanovište k najsuchším. Zásoba vody v pôde na začiatku jarného obdobia je 150 – 160 mm. V mesiacoch IV. – V. sa prejavuje deficit 60 – 90 mm ako dôsledok zvyšovania retenčnej bilancie a sýstového doplnku. Agroklimatický okrsok je s miernou zimou s priemernou hodnotou absolútnych teplotných miním (T<sub>min</sub> ≥ 18 °C).

Poveternostné podmienky počas pokusného obdobia sú uvedené v tabuľke 1.

Pšenica letná f. ozimná (odroda Bonita) bola pestovaná v rámci nasledovného osevného postupu: ďatelina lúčna – pšenica letná f. ozimná – hrach siaty – kukurica siata na zrno – jačmeň jarný s podsevom ďateliny lúčnej.

Na každom hone sme použili nasledovné spôsoby obrábania pôdy: B-1 – konvenčné obrábanie pôdy (hĺbka do 0,25 m), B-2 – redukované obrábanie pôdy (hĺbka do 0,18 m) a B-3 – minimalizačné obrábanie pôdy (hĺbka 0,10 – 0,12 m).

V rámci výživy a hnojenia plodín sme uplatnili varianty: 0 – bez hnojenia, PH – racionálne hnojenie (bilančné) na priemernú úrodovú hladinu (6 t. ha<sup>-1</sup>), PZ – hnojenie priemyselnými hnojivami (bilančné) + zapravenie pozberových zvyškov.

Dávky dusíka boli aplikované formou predsejbového (sírán amónny), regeneračného, produkčného a kvalitatívneho hnojenia (LAD). Živiny P a K boli aplikované zásobným hnojením na jeseň, vo forme trojitého superfosfátu a draselnej soli 60 %.

Pre výpočet absorpcie oxidu uhličitého v biomase pšenice ozimnej sme použili koeficienty fixácie zistené na oddelení výživy rastlín CEBAS (Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura) (Carvajal, 2010). Kvantifikáciu emisií oxidu uhličitého vznikajúcich vo výrobnom procese sme realizovali podľa Wellsa (2001).

Bilanciu CO<sub>2</sub> sme vypočítali:

$$\Delta \text{CO}_2 = \text{emisie CO}_2 - \text{fixácia CO}_2 \text{ v biomase, t.ha}^{-1} \text{CO}_2$$

V bilancii sme nezohľadňovali emisie CO<sub>2</sub> vznikajúce vplyvom strát organického uhlíka z pôdy.

Pre výpočet energetickej bilancie boli do vstupov dodatkovvej energie (VDE) započítané nasledovné ukazovatele: energia živej práce, fosílna energia, energia aplikovaných chemických prostriedkov, energia v strojoch a energia v osive. Kvantifikácia energetických vkladov, použité energetické ekvivalenty a spôsob výpočtu a vyjadrenia výstupov energie (EHÚ) sa uskutočnili podľa Preiningera (1987).

Z energetických ukazovateľov sa vypočítali nasledovné:

- *energetický zisk (EZ)*  $EZ = EHÚ - VDE, \text{ GJ.ha}^{-1}$ ,

- *koeficient energetickej účinnosti (KEÚ)*  $KEÚ = EHÚ / VDE$ ,
- *potreba energie na 1 tonu produkcie (PE)*  $PE = VDE / \text{hospodárska úroda, GJ.t}^{-1}$ .

Dosiahnuté výsledky z riešenia danej problematiky sme spracovali matematicko-štatistickými metódami, za použitia multifaktorovej analýzy rozptylu. Hodnotenie vzájomných vzťahov bolo robené metódami popísanými v práci Hendela (2004).

## Výsledky a diskusia

Pri energetických bilanciách produkčného procesu je veľmi dôležitá kvantifikácia vstupov a výstupov energie, ako aj ďalšie energetické ukazovatele. V sledovanom osevnom postupe, v priebehu ročníkov 2000/2001 až 2006/2007, sa hodnoty energie hospodárskej úrody pšenice ozimnej pohybovali v rozpätí od 65,09 GJ.ha<sup>-1</sup> (var. B1PH, ročník 00/01) do 136 GJ.ha<sup>-1</sup> (var. B1PZ, ročník 05/06). Z aspektu siedmich pestovateľských ročníkov sme zaznamenali najvyšší priemerný výstup energie hospodárskej úrody pri redukovanom obrábaní pôdy (priemer 125,24 GJ.ha<sup>-1</sup>) a najnižší pri konvenčnom obrábaní pôdy (119,78 GJ.ha<sup>-1</sup>). Porovnateľné údaje uvádzajú Risoud (1999) Kotorová et al. (2004). Kotorová (2001) uvádza energetickú hodnotu úrody pšenice v podmienkach východoslovenskej nížiny na úrovni od 98,78 do 137,42 GJ.ha<sup>-1</sup>. Medzi jednotlivými spôsobmi obrábania pôdy sme nezaznamenali štatisticky preukazné rozdiely. Najvyššie úrody a teda aj výstupy energie sme zaznamenali pri variante hnojenia priemyselnými hnojivami so zapravením pozberových zvyškov (PZ). Medzi variantom bez hnojenia (0) a variantom racionálneho hnojenia (PH) sme nezaznamenali štatisticky významné rozdiely. Naše výsledky korešpondujú s výsledkami Mištinu a Buša (2005). Pestovateľský ročník mal štatisticky vysoko preukazný vplyv na výšku výstupu energie hospodárskej úrody pšenice ozimnej. Významný vplyv pestovateľského ročníka na formovanie úrody zrna pšenice ozimnej popisujú mnohí autori (Ball a Kotorová, 2003; Illéš, Karabínová a Mečiar, 2004; Miština a Bušo, 2005; Žák, Lehocká a Gavurníková, 2006.).

**Tabuľka 3** Energetická bilancia pestovania pšenice letnej f. ozimnej priemer rokov 2001 – 2007

Obrábanie a hnojenie (1)	Brutto energia hlavného produktu (2) v GJ.ha <sup>-1</sup>	Energetický zisk (3) v GJ.ha <sup>-1</sup>	Energetická účinnosť (4)	Potreba energie na t hlavného produktu (5) v GJ.t <sup>-1</sup>	
B1	0	99,83	92,32	13,33	1,38
	PH	101,61	87,67	7,28	2,51
	PZ	110,96	97,77	8,51	2,17
	x	104,13	92,59	9,71	2,02
B2	0	99,95	92,56	13,55	1,36
	PH	104,15	90,32	7,55	2,43
	PZ	111,88	98,86	8,70	2,12
	x	105,33	93,91	9,94	1,97
B3	0	101,82	95,16	15,36	1,20
	PH	102,82	89,58	7,80	2,32
	PZ	110,64	98,22	9,08	2,03
	x	105,09	94,32	10,75	1,85

B1 – konvenčné obrábanie pôdy, B2 – redukované obrábanie pôdy, B3 – minimálne obrábanie pôdy, 0 – variant bez hnojenia (kontrola), PH – racionálne hnojenie, PZ – racionálne hnojenie so zapravením pozberových zvyškov, x – priemer

B1 – conventional tillage, B2 – reduced tillage, B3 – minimum tillage, 0 – unfertilized treatment (control), PH – balanced fertilization, PZ – balanced fertilization with ploughed in after – harvest rests, x – mean

**Table 3**

Energy balance of winter wheat cultivation in GJ.ha<sup>-1</sup>

(1) soil tillage and fertilization, (2) gross energy of yield, (3) energy profit, (4) energy efficiency, (5) energy need for 1 t of yield

**Tabulka 4** Emisie oxidu uhličitého v produkčnom procese pšenice letnej f. ozimnej v t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>

Obrábanie (1)	Hnojenie (2)	Pestovateľský ročník (3)						
		00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07
B1	0	337,64	348,12	333,14	533,41	482,25	536,82	475,73
	PH	477,75	562,48	572,39	818,26	849,69	879,65	805,48
	PZ	477,75	543,92	572,39	762,79	845,27	762,44	760,79
	x	431,04	484,84	492,64	704,82	725,74	726,3	680,67
B2	0	351,98	335,38	320,39	520,67	469,50	524,07	467,50
	PH	492,09	549,74	649,98	895,85	836,95	910,08	798,26
	PZ	492,09	346,52	559,64	750,04	832,52	737,18	750,14
	x	445,38	410,55	510,00	722,18	712,99	723,78	671,96
B3	0	331,90	278,02	273,24	463,11	411,94	466,51	415,36
	PH	472,01	482,19	602,82	838,29	821,56	838,61	752,63
	PZ	472,01	278,97	512,48	692,48	830,65	665,71	704,67
	x	425,31	346,39	462,85	664,63	688,05	656,94	624,22

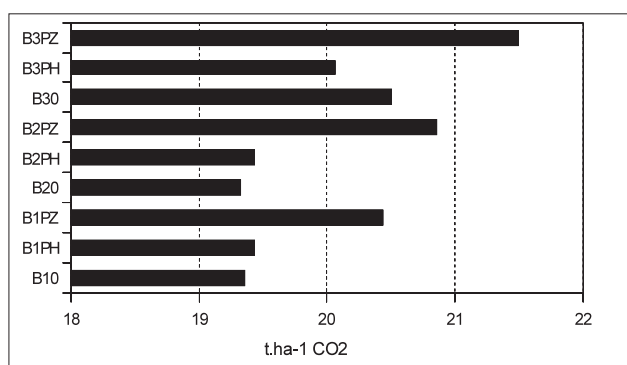
B1 – konvenčné obrábanie pôdy, B2 – redukované obrábanie pôdy, B3 – minimálne obrábanie pôdy, 0 – variant bez hnojenia (kontrola), PH – racionálne hnojenie, PZ – racionálne hnojenie so zapravením pozberových zvyškov, x – priemer  
 B1 – conventional tillage, B2 – reduced tillage, B3 – minimum tillage, 0 – unfertilized treatment (control), PH – balanced fertilization, PZ – balanced fertilization + ploughed in after-harvest rests, x – mean

**Table 4** Emissions of carbon dioxide in production process of winter wheat in t.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> (1) soil tillage, (2) fertilization, (3) year

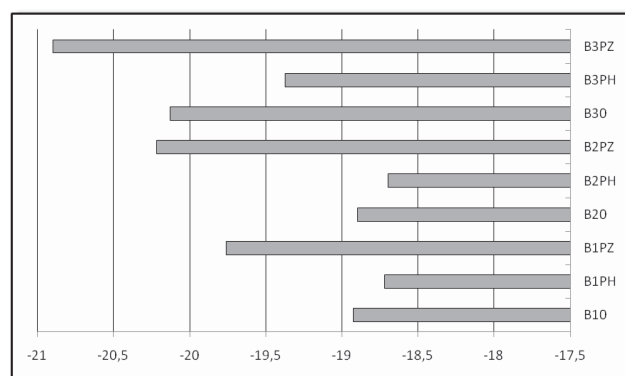
V štruktúre vstupov energie pri konvenčnom spôsobe obrábania pôdy najväčšiu časť tvorili vstupy vo forme hnojív (3,78 GJ.ha<sup>-1</sup>; 27,91 %), osív (2,81 GJ.ha<sup>-1</sup>; 26,33 %) a strojov (2,48 GJ.ha<sup>-1</sup>; 22,89 %). Vstupy energie formou pohonných hmôt (2,21 GJ.ha<sup>-1</sup>) tvorili 20,46 % z celkových vstupov dodatkovkej energie. Vstupy energie prostredníctvom pesticídov (0,17 GJ.ha<sup>-1</sup>) predstavovali 1,61 % z celkových vstupov dodatkovkej energie a najmenší podiel mala energia vo forme ľudskej práce (0,09 GJ.ha<sup>-1</sup>; 0,81%). Pri redukovanom obrábaní pôdy sme zaznamenali priemerné vstupy energie v rozpätí od 7,39 GJ.ha<sup>-1</sup> (variant 0) do 13,82 GJ.ha<sup>-1</sup> (variant PH). Pri minimálnom obrábaní pôdy sme zaznamenali vstupy dodatkovkej energie v rozpätí od 6,66 GJ.ha<sup>-1</sup> (variant B30) do 13,24 GJ.ha<sup>-1</sup> (variant B3PH). V ich štruktúre najväčšiu časť tvorili vstupy energie vo forme hnojív (30,19 %), energie osív (28,73 %), nasledovali vklady prostredníctvom strojov

(23,19 %) a vklady vo forme pohonných hmôt (15,01 %). Pesticídy predstavovali 1,75 % z celkových vstupov dodatkovkej energie a najnižší podiel tvorili energetické vstupy vo forme ľudskej práce (0,73 %). Redukciou obrábania pôdy došlo k zníženiu vstupov energie pri pohonných hmotách o 0,72 GJ.ha<sup>-1</sup> a pri strojoch o 0,13 GJ.ha<sup>-1</sup> oproti konvenčnému obrábaniu pôdy. Štruktúra foriem dodatkovkej energie bola v podstate zhodná s členením vstupov energie v prácach Kotorovej (1998, 1999).

V tabuľke 3 sú uvedené vypočítané ukazovatele energetickej bilancie. Hodnotiac celé pokusné obdobie (ročníky 2000/01 – 2006/07), môžeme konštatovať, že najvyšší energetický zisk bol dosiahnutý pri minimalizačnom obrábaní pôdy (89,58 – 98,22 GJ.ha<sup>-1</sup>). Pri redukovanom obrábaní pôdy sme zaznamenali priemerné hodnoty energetického zisku na úrovni

**Obrázok 1** Fixácia CO<sub>2</sub> vo fytomase pšenice letnej f. ozimnej v t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>

B1 – konvenčné obrábanie pôdy, B2 – redukované obrábanie pôdy, B3 – minimálne obrábanie pôdy, 0 – variant bez hnojenia (kontrola), PH – racionálne hnojenie, PZ – racionálne hnojenie so zapravením pozberových zvyškov

**Figure 1** Carbon dioxide fixation of winter wheat in t.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> B1 – conventional tillage, B2 – reduced tillage, B3 – minimum tillage, 0 – unfertilized treatment (control), PH – balanced fertilization, PZ – balanced fertilization + ploughed in after-harvest rests**Obrázok 2** Bilancia CO<sub>2</sub> v produkčnom procese pšenice letnej f. ozimnej v t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>

B1 – konvenčné obrábanie pôdy, B2 – redukované obrábanie pôdy, B3 – minimálne obrábanie pôdy, 0 – variant bez hnojenia (kontrola), PH – racionálne hnojenie, PZ – racionálne hnojenie so zapravením pozberových zvyškov

**Figure 2** Carbon dioxide balance in production process of winter wheat in t.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>

B1 – conventional tillage, B2 – reduced tillage, B3 – minimum tillage, 0 – unfertilized treatment (control), PH – balanced fertilization, PZ – balanced fertilization + ploughed in after-harvest rests

**Tabuľka 5** Analýza rozptylu ukazovateľov bilancie energie a CO<sub>2</sub> produkčného procesu pšenice letnej f. ozimnej

Ukazovateľ (1)	d.f.	Obrábanie (2)	Hnojenie (3)	Ročník (4)	Residuum
		2	2	6	
Brutto energia hl. produktu (5)	MS	25,26	1 968,06	5 131,13	204,17
	F	0,12	9,64 <sup>***</sup>	25,13 <sup>***</sup>	
Vstupy dodatkovj energie (6)	MS	10,81	788,23	22,41	0,79
	F	13,66 <sup>***</sup>	996,23 <sup>***</sup>	28,33 <sup>***</sup>	
Energetický zisk (7)	MS	51,76	1 306,14	4 983,59	203,254
	F	0,25	6,43 <sup>**</sup>	24,52 <sup>***</sup>	
Energetická účinnosť (8)	MS	18,89	761,54	46,17	3,06
	F	6,19 <sup>**</sup>	249,54 <sup>***</sup>	15,13 <sup>***</sup>	
Potreba energie na t hlavného produktu (9)	MS	0,47	20,57	2,23	0,11
	F	4,37 <sup>*</sup>	190,71 <sup>***</sup>	20,64 <sup>***</sup>	
Fixácia CO <sub>2</sub> vo fytomase (10)	MS	0,982	76,45	199,35	7,94
	F	0,12	9,63 <sup>***</sup>	25,12 <sup>***</sup>	
Emisie CO <sub>2</sub> (11)	MS	54 202,5	1 501 910,0	488 618,0	2 973,2
	F	18,23 <sup>***</sup>	505,15 <sup>***</sup>	164,34 <sup>***</sup>	
Balancia CO <sub>2</sub> (12)	MS	1,23	677,86	183,61	7,94
	F	0,16	8,55 <sup>***</sup>	23,12 <sup>***</sup>	

$\alpha = 0,05$ ;  $^{**}\alpha = 0,01$ ;  $^{***}\alpha = 0,001$

**Table 5** Analysis of variance of energy and carbon dioxide balance indicators

(1) parameter, (2) soil tillage, (3) fertilization, (4) year, (5) gross energy of yield, (6) inputs of complementary energy, (7) energy profit, (8) energy efficiency, (9) energy need for 1 t of yield, (10) carbon dioxide fixation in phytomass, (11) carbon dioxide emissions, (12) balance of carbon dioxide

**Tabuľka 6** Mnohonásobný LSD-test ( $\alpha = 0,05$ ) porovnávania vybraných ukazovateľov bilancie energie a CO<sub>2</sub> produkčného procesu pšenice letnej f. ozimnej

Ukazovateľ (1)	Priemer (2)	Homogéna skupina (3)			Ukazovateľ (1)	Priemer (2)	Homogéna skupina (3)		
Brutto energia hl. produktu v GJ.ha <sup>-1</sup> (4)	B1	104,13	x		Energetický zisk v GJ.ha <sup>-1</sup> (7)	B1	92,59	x	
	B2	105,33	x			B2	93,91	x	
	B3	105,09	x			B3	94,32	x	
	0	100,53	x			0	93,34	x	x
	PH	102,86	x			PH	89,19		x
	PZ	111,16				PZ	98,28	x	
Vstupy dodatkovj energie v GJ.ha <sup>-1</sup> (5)	B1	11,55	x		Emisie CO <sub>2</sub> v t.ha <sup>-1</sup> (8)	B1	606,58	x	
	B2	11,42	x			B2	599,55	x	
	B3	10,77		x		B3	552,63		x
	0	7,19	x			0	413,18	x	
	PH	13,67		x		PH	709,85		x
	PZ	12,88				x	PZ	635,74	
Potreba energie na t hlavného produktu v GJ.t <sup>-1</sup> (6)	B1	2,02	x		Balancia CO <sub>2</sub> v t.ha <sup>-1</sup> (9)	B1	19,92	x	
	B2	1,97	x			B2	20,16	x	
	B3	1,85		x		B3	20,16	x	
	0	1,31	x			0	19,40	x	
	PH	2,42		x		PH	19,57	x	
	PZ	2,11				x	PZ	21,28	

**Table 6** Multiple LSD-test comparing the parameters of energy and carbon dioxide balance of winter wheat production process

(1) parameter, (2) mean, (3) homogenous group, (4) gross energy of yield, (5) inputs of complementary energy, (6) energy need for 1 t of yield, (7) energy profit, (8) carbon dioxide emissions, (9) balance of carbon dioxide

od 90,32 do 98,86 GJ.ha<sup>-1</sup>. Najnižšie priemerné hodnoty energetického zisku sme zaznamenali pri konvenčnom obrábaní pôdy (87,67 – 97,77 GJ.ha<sup>-1</sup>). Rovnakú tendenciu sme zaznamenali aj pri ostatných ukazovateľoch energetickej bilancie. Tieto rozdiely neboli štatisticky preukazné.

Spôsob výživy a hnojenia bol významnejším faktorom, ktorý ovplyvňoval ukazovatele energetickej bilancie. Výsledky vplyvu výživy a hnojenia na ukazovatele energetickej bilancie uvádzame v tabuľke 6.

S energetickou náročnosťou produkčného procesu, ako aj so štruktúrou vstupov energie, je úzko spätá problematika emisií CO<sub>2</sub>. Prehľad priemerných hodnôt bilancie CO<sub>2</sub> za sledované obdobie uvádzame v tabuľke 4 a obrázku 1 a 2. Pri konvenčnom obrábaní pôdy sme kvantifikovali emisie CO<sub>2</sub> v rozpätí od 333,14 kg.ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> (B10 ročník 02/03) do 879,65 kg.ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> (B1PH ročník 05/06). Pri redukovanom obrábaní pôdy sa emisie CO<sub>2</sub> pohybovali v rozpätí od 320,39 kg.ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> (B20 ročník 02/03) do 910,08 kg.ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> (B2PH ročník 05/06). Uplatnenie minimálneho obrábania pôdy, v porovnaní s konvenčným obrábaním pôdy, znamenalo redukcii emisií v priemere o 8,89 % (60,84 kg.ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>). Rovnakú tendenciu poklesu emisií CO<sub>2</sub> uvádzajú aj West a Marland (2002). Celkové ročné straty organického uhlíka kvantifikované podľa Jurčovej a Bieleka (1997) dosahovali hodnotu 2,81 t.ha<sup>-1</sup> C, čo zodpovedá 10,3 t.ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>. Vo výslednej bilancii sme však nezohľadňovali emisie CO<sub>2</sub> vynikajúce vplyvom strát organického uhlíka z pôdy.

Fixáciu CO<sub>2</sub> v biomase pšenice ozimnej pri konvenčnom obrábaní pôdy zistil Jůzl (2005) v rozpätí od 22,37 t.ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> (v zemiarskej výrobnnej oblasti) do 23,07 t.ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> (v repárskej výrobnnej oblasti). V našich podmienkach sme kvantifikovali priemernú ročnú fixáciu CO<sub>2</sub> vo fytomase na úrovni 20,53 t.ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>, pri konvenčnom spôsobe obrábania pôdy, pri redukovanom spôsobe obrábania pôdy 20,76 t.ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>, a pri minimálnom spôsobe obrábania pôdy 20,72 t.ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>. Rôzne spôsoby obrábania pôdy nemali štatisticky preukazný vplyv na množstvo fixovaného CO<sub>2</sub> vo fytomase. Na zvýšenie fixácie CO<sub>2</sub>, vo fytomase štatisticky významne vplýval pestovateľský ročník a uplatnenie racionálneho hnojenia so zapravením pozberových zvyškov. Rovnakú tendenciu vplyvu ročníka, ako aj agrotechnických operácií popisujú Moureaux, Debacq, Hoyaux et al. (2008).

### Záver

Na základe našich výsledkov môžeme konštatovať:

- pri pšenici letnej f. ozimnej v podmienkach hnedozeme kultizemnej bola energetická účinnosť jednoznačne v prospech výstupov energie,
- v jednotlivých rokoch boli hodnoty energetického výstupu a fixácie CO<sub>2</sub>, vo fytomase pšenice ozimnej značne variabilné,
- rôzne systémy obrábania pôdy významne vplývajú na spotrebu energie fosílnych palív,
- vplyvom minimálneho obrábania pôdy došlo k zníženiu energetickej náročnosti produkčného procesu a zníženiu emisií CO<sub>2</sub> o 8,89%,
- hnojenie vplývalo na pozitívnu bilanciu CO<sub>2</sub>,
- minimalizačné spôsoby obrábania pôdy umožňujú úspory v spotrebe neobnoviteľnej energie a zvyšujú energetickú efektívnosť produkčného procesu pestovaných plodín,
- uplatnenie racionálneho hnojenia priemyselnými hnojivami so zapravením pozberových zvyškov vedie k posunu bilancie CO<sub>2</sub> v smere zvýšenia fixácie pred emisiami.

### Súhrn

Cieľom tejto práce bolo hodnotenie bilancie energie a emisie oxidu uhličitého pri uplatnení rôznych technológií pestovania pšenice letnej formy ozimnej (*Triticum aestivum* L.). Poľný polyfaktorový pokus bol riešený v rokoch 2000 až 2007 na Experimentálnej báze SPU Dolná Malanta. Sledovania prebiehali v prirodzených podmienkach s uplatnením nasledujúcich spôsobov obrábania pôdy: konvenčné, redukované a minimálne. V rámci jednotlivých spôsobov obrábania pôdy sme použili nasledovné spôsoby výživy a hnojenia porastu: bez hnojenia (kontrola), racionálne hnojenie na priemernú úrodovú hladinu a racionálne hnojenie na priemernú úrodovú hladinu so zapravením pozberových zvyškov. Pri pšenici letnej f. ozimnej v podmienkach hnedozeme kultizemnej bola energetická bilancia jednoznačne v prospech výstupov energie. Bilancia oxidu uhličitého bola negatívna. Najnižšie vstupy dodatkového energie boli zaznamenané pri minimálnom obrábaní pôdy (10,77 GJ.ha<sup>-1</sup>), vyššie boli pri redukovanom spôsobe obrábania pôdy (11,42 GJ.ha<sup>-1</sup>) a najvyššie pri konvenčnom spôsobe obrábania pôdy (11,56 GJ.ha<sup>-1</sup>). Najpriaznivejšie ukazovatele energetickej bilancie, ako aj bilancie emisií oxidu uhličitého sme zaznamenali pri minimálnom spôsobe obrábania pôdy a racionálnom hnojení na priemernú úrodovú hladinu so zapravením pozberových zvyškov.

**Kľúčové slová:** pestovanie pšenice, energetická účinnosť, fixácia oxidu uhličitého, obrábanie, hnojenie

### Podakovanie

Tento príspevok vznikol z finančnou podporou grantu VEGA 1/0152/08: „Systémy hospodárenia na pôde, ich vplyv na produkčnú schopnosť pôdy pre udržanie racionálnej produkcie plodín“

### Literatúra

- BALLA, P. – KOTOROVÁ, D. 2003. Vplyv spracovania pôdy na úrodu obilnín v podmienkach východoslovenskej nížiny. In: *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 49, 2003, no. 5, p. 243 – 249
- BOCHU, J. L. – RISOU, B. – MOUSSET, J. 2008. Consommation d'énergie et émissions de GES de exploitations en agriculture biologique: synthèse de résultats PLANETE 2006. In: *Colloque international Agriculture biologique et changement climatique*, Enita Clermont, France 17 – 18 avril 2008. [cit. 20.7.2010] Dostupné na internete: [http://www.prodinra.inra.fr/prodinra/pinra/data/2008/06/PROD2008b4e9a848\\_20080612032309849.pdf](http://www.prodinra.inra.fr/prodinra/pinra/data/2008/06/PROD2008b4e9a848_20080612032309849.pdf)
- CARVAJAL, M. et al. 2010. Investigación sobre la absorción de CO<sub>2</sub> por los cultivos más representativos de la región de Murcia. CSIC: Murcia. p. 41 [cit. 2.8.2010] Dostupné na internete: <http://www.lesco2.es>
- FLESSA, H. et al. 2002. Integral evaluation of greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) from two farming systems in southern Germany. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 91, 2002, p. 175 – 189
- HANES, J. – MUCHA, V. – SISÁK, P. – SLOVÍK, R. 1993. Charakteristika hnodozemnej pôdy na výskumno-experimentálnej báze AV VŠP Nitra, Dolná Malanta. Nitra : SPU, 1993, 32 p. ISBN 80-7137-095-9
- HENDL, J. 2004. Přehled statistických metod zpracování dat. Praha : Portál, 2004, 584 s. ISBN 80-7178-820-1
- HOUGHTON, J. T. et al. 2001. Climate change 2001: The scientific basis. WGI-Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge : Cambridge University Press, 2001, 881 p.
- ILLÉŠ, L. – KARABÍNOVÁ, M. – MEČIAR, L. 2004. Úroda a kvalita pšenice letnej formy ozimnej v závislosti od systémov obrábania

- pôdy. In: Aktuálne problémy riešené v agrokomplexe. Zborník príspevkov. Nitra : SPU, 2004, s. 110 – 114. ISBN 80-8069-488-6
- JAMBOROVÁ, M. – MASÁR, I. 2010. Obilniny. Situačná a výhľadová správa k 31. 12. 2009. Bratislava : VÚEPP, 2010, 43 s. ISSN 1337-4478
- JURČOVÁ, O. – BIELEK, P. 1997. Metodika bilancie pôdnej organickej hmoty a stanovenia potreby organického hnojenia. Bratislava : VÚPÚ, 1997, 154 s. ISBN 80-85361-26-4.
- JÚZL, M. – STŘEDA, T. – ROŽNOVSKÝ, J. 2005. Koloběh uhlíku v agroekosystému a možnosti zvýšení jeho ukládání v biomase polních plodin. In: Bioklimatologie současnosti a budoucnosti. Sborník referátů z mezinárodní konference. Křtiny: ČBKs a ČHMÚ, 2005, 40 s.
- KONGA, N. – TSURUTA, H. – TSUJI, H. – NAKANO, H. 2003. Fuel consumption – derived CO<sub>2</sub> emissions under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan. In: Agriculture, Ecosystems & Environment, vol. 99, 2003, p. 213 – 219.
- KOTOROVÁ, D. 1998. Energetická bilancia pestovania obilnín na fluvizemi glejovej. In: Trvalo udržateľný rozvoj poľnohospodárskej výroby na regionálnej úrovni. Zborník referátov. Michalovce : OVÚA, 1998, p. 53 – 58
- KOTOROVÁ, D. 1999. Optimalizácia produkčného procesu pšenice ozimnej so zreteľom na tvorbu biomasy, čistotu prostredia a kvalitu produkcie. Dizertačná práca. Nitra : SPU, 1999, 127 s.
- KOTOROVÁ, D. 2001. Produkčný proces pšenice letnej formy ozimnej na východoslovenskej nížine. Michalovce : OVÚA, 2001, 86 s.
- KOTOROVÁ, D. a i. 2004. Porovnanie energetickej bilancie pestovania hustosiatych obilnín na fluvizemi glejovej a hnedozemi kultizemnej. In: Zborník vedeckých prác OVÚA Michalovce. Michalovce : Oblastný výskumný ústav agroekológie, 2004, č. 20, s. 119 – 127
- KUBANKOVÁ, M. – IZAKOVIČ, T. 2004. Efektívnosť výrobných odvetví a jej prognóza v poľnohospodárstve SR. In: Ekonomika poľnohospodárstva, roč. 4, 2004, s. 25 – 36
- MASÁR, I. – JAMBOROVÁ, M. 2009. Obilniny. Situačná a výhľadová správa k 31. 12. 2008. Bratislava : VÚEPP, 2009, 43 s. ISSN 1337-4478
- MIŠTINA, T. – BUŠO, R. 2005. Vplyv rôzneho obrábania pôdy na úrodu pšenice letnej formy ozimnej. In: Realizáciou poznatkov vedy a výskumu k trvalo udržateľnému poľnohospodárstvu. Zborník referátov. Michalovce : VÚRV – ÚAE, 2005, s. 104 – 111
- MOUREAUX, Ch. – BODSON, B. – AUBINET M. 2008. Mesure des flux de CO<sub>2</sub> et bilan carboné de grandes cultures: état de la question et méthodologie. In: Biotechnol. Agron. Soc. Environ., vol. 12, 2008, no. 3, p. 303 – 315
- MOUREAUX, Ch. – DEBACQ, A. – HOYAUX, J. et al. 2008. Carbon balance assessment of a Belgian winter wheat crop (*Triticum aestivum* L.) In: Global Change Biology, vol. 14, 2008, p. 1 – 14
- POSPIŠIL, R. – VILČEK, J. 2000. Energetika sústav hospodárenia na pôde. Bratislava : VÚPaOP, 2000, 108 s.
- PREININGER, M. 1987. Energetické hodnocení výrobných procesů v rostlinné výrobě. Praha : UVTIZ, 1987, 29 s.
- RISOUD, B. 1999. Développement durable et analyse énergétique d'exploitations agricoles. In: Economie rurale, 1999, no. 252, p. 16 – 27
- RISOUD, B. – BOCHU, J.L. 2002. Bilan énergétique et émission de gaz à effet de serre à l'échelle de la ferme: résultats en ariculture biologique et en agriculture conventionnelle. In: Alter Agri., vol. 55, 2002, p. 10 – 13
- SANDOVAL ESTRADA, M. et al. El secuestro de carbono en la agricultura y su importancia con el calentamiento global. In: Theoria, vol. 12, 2003, p. 65 – 71
- VÁCHAL, J. – VÁCHALOVÁ, R. – PÁRTLOVÁ, P. 2005. The regulation of energetic substance flow in landscape through spatial functional optimization. In: EKOTREND 2005 – Renewal and function of anthropogenic impacted landscape. Proceeding of 6<sup>th</sup> international scientific meeting. České Budějovice : ZF JU, 2005, p. 88. ISBN 80-7040-783-2
- VLACHOVÁ, P. – VÁCHALOVÁ, R. – VÁCHAL, J. – ONDR, P. 2004. The regulation of energetic substance flow in landscape through spatial functional optimization. In: Collection of Scientific Papers, Faculty of Agriculture in České Budějovice, Series for Crop Sciences, vol. 21, 2004, no. 2, p. 213 – 216
- WELLS, C. 2001. Total Energy Indicators of Agricultural Sustainability: Dairy Farming Case Study. Technical Paper. MAF : Wellington, 2001, 81 p.
- WEST, T. O. – MARLAND, G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. In: Agriculture, Ecosystems & Environment, vol. 91, 2002, p. 217 – 232
- ŽÁK, Š. – LEHOČKÁ, Z. – GAVURNÍKOVÁ, S. 2006. Energetická bilancia pestovania pšenice letnej f. ozimná v ekologickom a low-input systéme. In: Agriculture (Poľnohospodárstvo), roč. 52, 2006, no. 1, p. 2 – 13

## Kontaktná adresa:

prof. Dr. Ing. Richard Pospíšil, FAPZ, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76, Nitra, Slovenská republika, e-mail: Richard.Pospisil@uniag.sk