

SEQUESTRACE UHLÍKU V AGROEKOSYSTÉMU

T. Středa, V. Vlček, J. Rožnovský

Došlo: 12. února 2008

Abstract

STŘEDA, T., VLČEK, V., ROŽNOVSKÝ, J.: *Carbon sequestration in the agroecosystem*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2008, LVI, No. 2, pp. 167–174

Reduction of amount CO_2 is possible by carbon sequestration to the soil. Fixation potential of EU-15 agricultural land is c. 16–19 mil t C.year⁻¹. Amount and composition of post-harvest residues is essential for carbon soil sequestration. Long-term yield series of the most planted crops (winter wheat – *Triticum aestivum*, spring barley – *Hordeum vulgare*, corn and silage maize – *Zea mays*, winter rape – *Brassica napus*, potatoes – *Solanum tuberosum*, sugar beet – *Beta vulgaris*, alfalfa – *Medicago sativa*, red clover – *Trifolium pratense*, white mustard – *Sinapis alba* and fiddleneck – *Phacelia tanacetifolia*) in various agroecological conditions and growing technologies were used for carbon balance calculation. The carbon balances were calculated for main crop rotations of maize, sugar beet, cereal and potato production regions (24 crop rotations). The calculations were realized for following planting varieties: traditional, commercial, ecological and with higher rate of winter rape. All chosen crop rotations (except seven) have positive carbon balance in the tillage system. Amount of fixed carbon might be increases about 30% by the use of no-tillage system. Least amount of carbon is fixed by potatoes, high amount by cereals, alfalfa and sugar beet. For a short time (months) the crops sequestration of carbon is relatively high (to 4.4 t.ha⁻¹.year⁻¹) or to 5.7 t.ha⁻¹.year⁻¹ for no-tillage system. From the long time viewpoint (tens of years) the data of humified carbon in arable soil (max 400 kg C.ha⁻¹.year⁻¹) are important. Maximal carbon deficit of chosen crop rotation is 725 kg C.year⁻¹.

carbon cycle, soil carbon sequestration, carbon fixation

Na koloběh CO_2 má vliv také obdělávání půdy a způsob hospodaření v zemědělství, přičemž půdní ekosystémy jsou z pohledu uhlíkové bilance prozatím málo probádané (CÍLEK, 2001). Jedním ze způsobů jak snížit množství skleníkových plynů, které unikají do atmosféry, je zvýšení obsahu půdní organické hmoty (FAVOINO a HOGG, 2002). Fixace uhlíku v půdě je označována jako sequestrace uhlíku nebo propady uhlíku (carbon sinks). Biologický potenciál pro akumulaci uhlíku v evropských půdách (EU-15) je asi 90–120 mil. t.rok⁻¹ a je dosažitelný při používání minimalizačních technologií, pěstování vytrvalých plodin a hluboko kořenících plodin, efektivnější využívání organického hnojení, kompostování, aplikaci kalu, zlepšených osevních postupů, zavlažování, bioenergetických plodin, organického zemědělství a také zatrávňování nebo zalesňování orné půdy (SMITH, 2004). Reálně jsou podle FREIBAUERA *et al.* (2004) schopny zemědělské půdy stát EU-15 ukládat až 16–19 mil. t C.rok⁻¹. Značné rozdíly ve ztrátách CO_2 v různých pedologických regionech, při různých meteorologických

situacích i ve způsobu zemědělského užití půdního fondu způsobují potíže v globálním bilancování.

MATERIÁL A METODIKA

S využitím dlouhodobých výnosových řad a při znalosti koeficientů spotřeby CO_2 při tvorbě biomasy (fotosyntéze) lze zjistit, jaké přibližné množství CO_2 je porost určité plodiny schopen za vegetační období akumulovat. Pro sequestraci uhlíku do půdy je potom významné množství a složení posklizňových zbytků, které zůstávají na pozemku po sklizni hlavního, případně i vedlejšího produktu.

K výpočtům bilance uhlíku byly použity dlouhodobé výnosové řady v ČR nejpestovanějších zemědělských plodin (pšenice ozimá, ječmen jarní, kukurice setá na zrno a na siláž, řepka ozimá, brambory, řepa cukrová, vojtěška setá, jetel luční, hořčice bílá a svazanka vratičolistá) z rozdílných agroekologických podmínek a při použití rozdílných technologií pěstování.

Pro stanovení množství posklizňových zbytků u konkrétní plodiny byly použity střední hodnoty, které uvádějí FORCHTSAM *et al.* (1961). Hodnoty byly přepočteny na stoprocentní sušinu a následně podle chemického složení převedeny na čistý uhlík. Získané údaje byly použity jako vstupy do koloběhu uhlíku pro konkrétní plodinu.

V případě izolovaného hodnocení uhlíkové bilance u jednotlivých plodin není možné zohlednit efekt meziplodiny nebo organického hnojení, případně kvantifikovat množství organické hmoty v půdě v meziorostním období. Proto byly pro zvýšení objektivitu výpočtů bilance uhlíku navrženy a použity jako jednotky pro bilanci osevní postupy.

Výpočty bilance uhlíku byly provedeny pro vybrané nosné osevní postupy kukuřičné, řepařské, obilnářské a bramborářské výrobní oblasti (celkem 24 osevních postupů). Výpočty byly realizovány v těchto variantách:

1. „Tradiční“, vycházející ze zásad optimálního střídání plodin na orné půdě v rámci osevního postupu (např. na bázi tradičního Norfolkského osevního postupu) a využívající v maximální možné míře organické hnojení. Subvariantami byly u této varianty odvoz nebo zaorávka slámy obilnin a řepky.
2. „Tržní“, odrážející a respektující současnou ekonomickou situaci v zemědělství, tzn. preferující ve zvýšené míře pěstování obilnin pro potravinářské využití a řepky. Subvariantami byly u této varianty odvoz nebo zaorávka slámy obilnin a řepky.
3. „Ekologická“, vycházející z druhové skladby a výnosů v ekologickém systému hospodaření (zařazeno pouze v některých, k ekologickému zemědělství příhodných oblastech a osevních postupech).
4. „S vyšším podílem řepky“, vycházející ze současné situace vysokého podílu řepky v osevních postupech a možného růstu podílu v souvislosti s rostoucí spotřebou biopaliv.

Zastoupení plodin v modelových osevních postupech vychází z agroekologických podmínek prostředí a nároků plodin na půdní a klimatické faktory. Při sestavování osevních postupů byly zohledněny také faktory ekonomické a tržní. Impakt konkrétního osevního postupu se potom odvíjí od jeho reálného nebo potenciálního plošného zastoupení na území ČR. To je dáno agroekologickými podmínkami pro jeho realizování (rozlohou příhodné výrobní oblasti) a momentální strukturou pěstovaných plodin (tržní vlivy). Modelový postup výpočtu bilance uhlíku pro osevní postup č. 1 uvádí Obr. 1.

- *Vstupy celkem* udávají uhlík potřebný pro tvorbu organické hmoty při fotosyntéze + uhlík dodaný v hnojivech a osivu (sadbě).
- *Dýcháním zpět* udává množství uhlíku vyprodukovaného při dýchání rostlin a navraceného tak zpět do atmosféry.
- *Odvezeno produkci* udává, kolik uhlíku je z plochy odvezeno v podobě sklizeného produktu (v semelech, hlízách, v seně apod.).
- *Do půdy* udává, kolik uhlíku se dostane do půdy v podobě posklizňových zbytků, podzemních částí rostlin, opadu apod. + vysetá semena (sadba)

+ organická hnojiva (zelené hnojení, hnůj, kejda – s ohledem na současnou situaci v množství aplikovaných organických hnojiv). Jedná se o potenciální množství uhlíku, které je možné do půdy v rámci konkrétního osevního postupu „zabudovat“.

- *Rozkladem zpět* udává, jaké množství uhlíku se z půdy uvolní zpět do atmosféry při rozkladné činnosti mikroorganismů. V rámci osevního postupu, jako základní jednotky, je tato hodnota maximálně rovna množství uhlíku, který se do půdy dostane zaoráním zbytků a organických hnojiv. Na reálné množství uvolněného uhlíku (resp. CO₂) má vliv značné množství faktorů.

Přehled všech bilancovaných osevních postupů a jejich modifikací (v závorce je vždy uvedeno zelené hnojení nebo hnojení statkovými hnojivy):

Osevní postup 1: *Kukuřičná výrobní oblast (KVO) – „tradiční“ osevní postup, sláma zaorána*: vojtěška – vojtěška – pšenice ozimá – ječmen jarní – (hořčice) – kukuřice silážní – (kejda) – pšenice ozimá – (hnůj) – kukuřice zrnová – ječmen jarní.

Osevní postup 2: *KVO – „tradiční“ osevní postup, sláma odvezena*: vojtěška – vojtěška – pšenice ozimá – ječmen jarní – (hořčice) – kukuřice silážní – (kejda) – pšenice ozimá – (hnůj) – kukuřice zrnová – ječmen jarní.

Osevní postup 3: *KVO – „tržní“ osevní postup, sláma zaorána*: kukuřice silážní – (kejda) – pšenice ozimá – ječmen jarní.

Osevní postup 4: *KVO – „tržní“ osevní postup, sláma odvezena*: kukuřice silážní – (kejda) – pšenice ozimá – ječmen jarní.

Osevní postup 5: *Řepařská výrobní oblast (ŘVO) – „tradiční“ osevní postup, sláma zaorána*: vojtěška – vojtěška – pšenice ozimá – (hořčice) – ječmen jarní – (hořčice) – kukuřice silážní – (kejda) – pšenice ozimá – (hnůj) – (svazenka) – řepa cukrová – ječmen jarní.

Osevní postup 6: *ŘVO – „tradiční“ osevní postup, sláma odvezena*: vojtěška – vojtěška – pšenice ozimá – (hořčice) – ječmen jarní – (hořčice) – kukuřice silážní – (kejda) – pšenice ozimá – (hnůj) – (svazenka) – řepa cukrová – ječmen jarní.

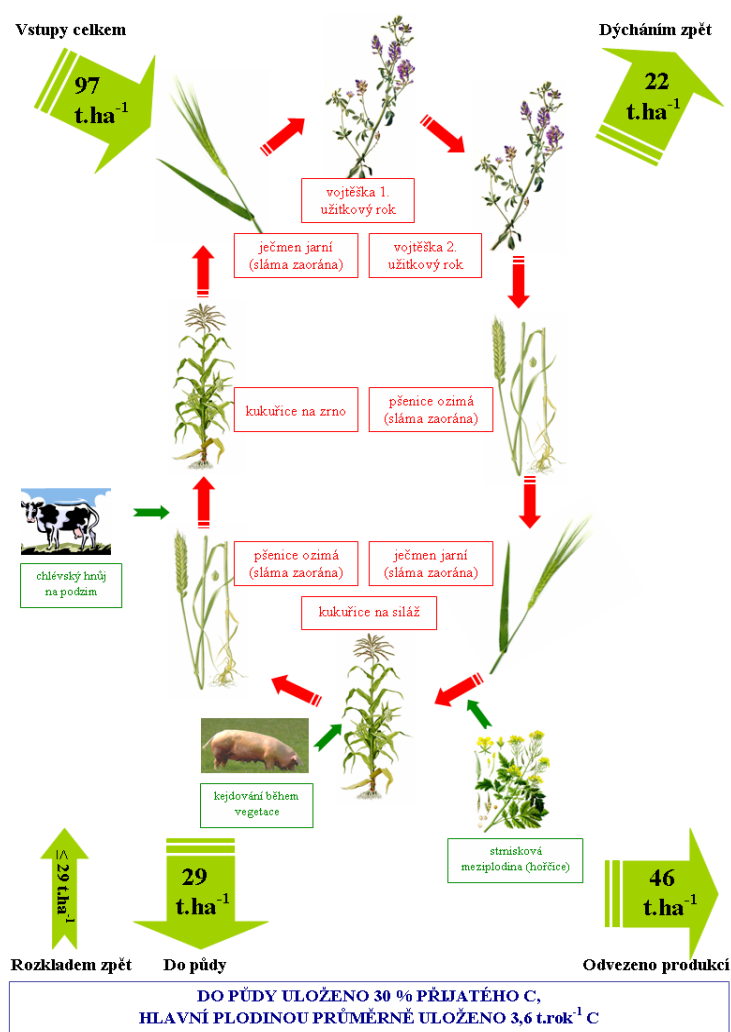
Osevní postup 7: *ŘVO – „tržní“ osevní postup, sláma zaorána*: kukuřice silážní – (kejda) – pšenice ozimá – (hořčice) – ječmen jarní – řepka ozimá – pšenice ozimá – ječmen jarní.

Osevní postup 8: *ŘVO – „tržní“ osevní postup, sláma odvezena*: kukuřice silážní – (kejda) – pšenice ozimá – (hořčice) – ječmen jarní – řepka ozimá – pšenice ozimá – ječmen jarní.

Osevní postup 9: *ŘVO – osevní postup s vyšším podílem řepky, sláma zaorána*: řepka ozimá – pšenice ozimá – kukuřice silážní – (kejda) – pšenice ozimá – ječmen jarní.

Osevní postup 10: *ŘVO – osevní postup s vyšším podílem řepky, sláma odvezena*: řepka ozimá – pšenice ozimá – kukuřice silážní – (kejda) – pšenice ozimá – ječmen jarní.

Osevní postup 11: *ŘVO – ekologický systém, sláma zaorána*: vojtěška – vojtěška – pšenice ozimá – (hořčice) – (hnůj) – brambory – ječmen jarní.



1: Modelový příklad – bilance uhlíku v osevním postupu č. 1

Osevní postup 12: ŘVO – ekologický systém, sláma odvezena: vjetěška – vjetěška – pšenice ozimá – (hořčice) – (hnůj) – brambory – ječmen jarní.

Osevní postup 13: Obilnářská výrobní oblast (OVO) – „tradiční“ osevní postup, sláma zaorána: jetel – pšenice ozimá – (kejda) – řepka ozimá – (hořčice) – ječmen jarní.

Osevní postup 14: OVO – „tradiční“ osevní postup, sláma odvezena: jetel – pšenice ozimá – (kejda) – řepka ozimá – (hořčice) – ječmen jarní.

Osevní postup 15: OVO – „tržní“ osevní postup, sláma zaorána: kukuřice silážní – (kejda) – pšenice ozimá – (hořčice) – ječmen jarní.

Osevní postup 16: OVO – „tržní“ osevní postup, sláma odvezena: kukuřice silážní – (kejda) – pšenice ozimá – (hořčice) – ječmen jarní.

Osevní postup 17: Bramborářská výrobní oblast (BVO) – „tradiční“ osevní postup, sláma zaorána: jetel – pšenice ozimá – (hořčice) – kukuřice silážní – (kejda) – ječmen jarní – (kejda) – řepka ozimá – pšenice ozimá – (hnůj) – brambory – ječmen jarní.

Osevní postup 18: BVO – „tradiční“ osevní postup, sláma

odvezena: jetel – pšenice ozimá – (hořčice) – kukuřice silážní – (kejda) – ječmen jarní – (kejda) – řepka ozimá – pšenice ozimá – (hnůj) – brambory – ječmen jarní.

Osevní postup 19: BVO – „tržní“ osevní postup, sláma zaorána: jetel – pšenice ozimá – řepka ozimá – (kejda) – ječmen jarní.

Osevní postup 20: BVO – „tržní“ osevní postup, sláma odvezena: jetel – pšenice ozimá – řepka ozimá – (kejda) – ječmen jarní.

Osevní postup 21: BVO – osevní postup s vyšším podílem řepky, sláma zaorána: řepka ozimá – (kejda) – pšenice ozimá – (svazenka) – ječmen jarní.

Osevní postup 22: BVO – osevní postup s vyšším podílem řepky, sláma odvezena: řepka ozimá – (kejda) – pšenice ozimá – (svazenka) – ječmen jarní.

Osevní postup 23: BVO – ekologický systém, sláma zaorána: jetel – pšenice ozimá – (hořčice) – (hnůj) – brambory – ječmen jarní.

Osevní postup 24: BVO – ekologický systém, sláma odvezena: jetel – pšenice ozimá – (hořčice) – (hnůj) – brambory – ječmen jarní.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky výpočtů bilance uhlíku v jednotlivých osevních postupech jsou uvedeny a seřazeny v Tab. I. K hodnocení přínosu konkrétního osevního postupu k sequestraci uhlíku v půdě byly využity poznatky o:

- průměrném množství uhlíku ukládaného plodinami do půdy v posklizňových zbytcích,
- o množství 4–4,5 t.ha⁻¹ organické hmoty každoročně rozložené v půdě (RICHTER, HLUŠEK a RYANT, 2001),
- a o chemickém složení organické hmoty, respektive obsahu uhlíku (40–50 %).

Na půdu je tedy nutno každoročně aplikovat cca 1800–2025 kg nehumifikovaného uhlíku. Tuto dávku lze brát jako množství nutné pro udržení stávajícího obsahu humusu v půdě. Organicky vázaný uhlík nad tuto hranici bude zčásti mineralizován a zčásti použit na tvorbu humusových látek. Osevní postup je brán jako celek, protože záporná bilance jednoho roku může být (a často i je) vyrovnávána ze

zásob z let minulých. Z nezmineralizovaných organických látek je v půdě humifikováno pouze omezené množství (<10 %). Proto je k vytvoření větší zásoby humusu třeba desetiletí až staletí (NĚMEČEK, SMOLÍKOVÁ a KUTÍLEK, 1990). Ve výsledné bilanci uhlíku je tak kalkulováno s humifikovaným ideálním množstvím 10 %. V případě, že by byla pro kultivaci půdy použita bezorebná technologie, mohl by být dle údajů z literatury (DERSCH a BOEHM, 2001; REICOSKY, 1998; VYN, *et al.*, 2006; a další) nezmineralizovaný zbytek v průměru o 30 % větší – Tab. II. Podle projektu EU INSEA je redukována orba, provozovaná nepřetržitě přes 20 let, schopna sequestraci zvýšit průměrně o 0,2 t C.ha⁻¹.rok⁻¹ ve srovnání s konvenční orbou a minimalizace zpracování půdy zajistí redukcí o 0,31 t C.ha⁻¹.rok⁻¹. Několik studií z USA (BRUCE *et al.*, 1999; FOLLETT, 2001; SCHUMANN *et al.*, 2002) informuje o potenciálech sekvestrace při minimalizaci pohybu jících se mezi 0,3 a 0,8 t C.ha.rok⁻¹ pro orné půdy a 0,1–0,4 C.ha.rok⁻¹ pro půdy pod trvalými travními porosty (pastviny).

I: Průměrné roční množství uhlíku fixovaného v půdě v závislosti na osevním sledu, výrobní oblasti a variantě hospodaření (seřazeno sestupně)

Varianta	Bilance uhlíku				
	Krátkodobě uloženo (měsíce)	Střednědobě uloženo (max. roky)		Dlouhodobě uloženo (desítky, stovky let)	
		kg C.ha ⁻¹		kg C.ha ⁻¹	
Osevní postup a varianta hospodaření	průměrně kg C.ha ⁻¹	min	max	min	max
5: ŘVO – tradiční OP	4400	2375	2600	238	260
1: KVO – tradiční OP	3600	1575	1800	158	180
13: OVO – tradiční OP	3300	1275	1500	128	150
17: BVO – tradiční OP	3300	1275	1500	128	150
21: BVO – OP s vyšším podílem řepky	3300	1275	1500	128	150
15: OVO – tržní OP	3200	1175	1400	118	140
6: ŘVO – tradiční OP s odvozem slámy	3000	975	1200	98	120
7: ŘVO – tržní OP	3000	975	1200	98	120
11: ŘVO – ekologický systém	2800	775	1000	78	100
19: BVO – tržní OP	2800	775	1000	78	100
23: BVO – ekologický systém	2800	775	1000	78	100
2: KVO – tradiční OP s odvozem slámy	2750	725	950	73	95
9: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky	2700	675	900	68	90
12: ŘVO – ekologický systém, odvoz slámy	2400	375	600	38	60
3: KVO – tržní OP	2300	275	500	28	50
24: BVO – ekologický systém, odvoz slámy	2300	275	500	28	50
18: BVO – tradiční OP s odvozem slámy	2100	75	300	8	30
14: OVO – tradiční OP s odvozem slámy	2000	-25	200	0	20
16: OVO – tržní OP s odvozem slámy	2000	-25	200	0	20
22: BVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	1800	-225	0	-225	0
20: BVO – tržní OP s odvozem slámy	1750	-275	-50	-275	-50
8: ŘVO – tržní OP s odvozem slámy	1700	-325	-100	-325	-100
10: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	1400	-625	-400	-625	-400
4: KVO – tržní OP s odvozem slámy	1300	-725	-500	-725	-500

II: Průměrné roční množství uhlíku fixovaného v půdě v závislosti na osevním sledu, výrobní oblasti a variantě hospodaření při bezorebném zpracování půdy (seřazeno sestupně)

Varianta	Bilance uhlíku				
	Krátkodobě uloženo (měsíce)	Střednědobě uloženo (max. roky)		Dlouhodobě uloženo (desítky, stovky let)	
	průměrně kg C.ha ⁻¹	kg C.ha ⁻¹		kg C.ha ⁻¹	
Osevní postup a varianta hospodaření		min	max	min	max
5: ŘVO – tradiční OP	5720	3695	3920	370	392
1: KVO – tradiční OP	4680	2655	2880	266	288
13: OVO – tradiční OP	4290	2265	2490	227	249
17: BVO – tradiční OP	4290	2265	2490	227	249
21: BVO – OP s vyšším podílem řepky	4290	2265	2490	227	249
15: OVO – tržní OP	4160	2135	2360	214	236
6: ŘVO – tradiční OP s odvozem slámy	3900	1875	2100	188	210
7: ŘVO – tržní OP	3900	1875	2100	188	210
11: ŘVO – ekologický systém	3640	1615	1840	162	184
19: BVO – tržní OP	3640	1615	1840	162	184
23: BVO – ekologický systém	3640	1615	1840	162	184
2: KVO – tradiční OP s odvozem slámy	3575	1550	1775	155	178
9: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky	3510	1485	1710	149	171
12: ŘVO – ekologický systém, odvoz slámy	3120	1095	1320	110	132
3: KVO – tržní OP	2990	965	1190	97	119
24: BVO – ekologický systém, odvoz slámy	2990	965	1190	97	119
18: BVO – tradiční OP s odvozem slámy	2730	705	930	71	93
14: OVO – tradiční OP s odvozem slámy	2600	575	800	58	80
16: OVO – tržní OP s odvozem slámy	2600	575	800	58	80
22: BVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	2340	315	540	32	54
20: BVO – tržní OP s odvozem slámy	2275	250	475	25	48
8: ŘVO – tržní OP s odvozem slámy	2210	185	410	19	41
10: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	1820	-205	20	-205	0
4: KVO – tržní OP s odvozem slámy	1690	-335	-110	-335	-110

Poznámka (platí pro Tab. I i II):

Základním fontem jsou označeny varianty s pozitivním efektem na ukládání uhlíku do půdy.

Kurzívou jsou označeny varianty s mírně pozitivním efektem na ukládání uhlíku do půdy.

Tučným fontem jsou označeny varianty s neutrálním nebo negativním efektem na ukládání uhlíku do půdy.

Krátkodobě (na dobu max. několika měsíců) lze do půdy v posklizňových zbytcích uložit značné množství uhlíku. Procesem mineralizace je však uhlík ze snadno rozložitelné organické hmoty poměrně rychle uvolňován zpět do atmosféry.

Střednědobý horizont možného poutání uhlíku do půdy vychází z poznatků o množství uhlíku ukládaného každoročně plodinou do půdy, z množství organické hmoty každoročně rozloženého v půdě (1800–2025 kg C) a přibližné délky rozkladu organické hmoty v půdě, kterou uvádějí RICHTER a HLUŠEK (1999). Sledováno je tak konkrétně množství uhlíku, které je v organické hmotě fixováno po dobu max. několika let, tzn. po obdobnou délku, jako má osevní postup. Poté dochází u větší části tohoto materiálu k mineralizaci.

Z pohledu dlouhodobé fixace uhlíku je nejpodstatnějším ukazatelem množství humifikovaného uhlíku (v Tab. I a II sloupec dlouhodobě uloženo – desítky, stovky let), tedy ne uhlíku v živném hu-

musu, který je rychle mineralizován, ale ve stálém, trvalém humusu. Každoroční průměrné množství dlouhodobě ukládaného uhlíku lze pak odhadnout z množství uhlíku ukládaného konkrétní plodinou do půdy, z množství organické hmoty každoročně rozložené v půdě (1800–2025 kg C) a humifikovaného množství nezmineralizovaného zbytku (10 %).

Kromě osevních postupů číslo 14, 16, 22, 20, 8, 10 a 4 mají všechny hodnocené osevní postupy (orebně obhospodařované) alespoň mírně kladnou uhlíkovou bilanci (Tab. I). To znamená, že by docházelo k poutání C v půdě. Maximálního výsledku je dosaženo v osevním postupu č. 5 (řepařská výrobní oblast, tradiční osevní postup, sláma zaorána). Osevní postup je založen na bázi Norfolkského osevního postupu (obecný sled plodin: jetelovina – ozim – organicky hnojená okopanina – jařina) a ve vysoké míře je dále využíváno zelené hnojení meziplodinami a zaorávka posklizňových zbytků.

Výsledek je možno ještě umocnit použitím bezorebných technologií. WEST a POST (2002) zjistili vyhodnocením dlouhodobých experimentů s přechodem od konvenčního k bezorebnému způsobu hospodaření zvýšení obsahu uhlíku o $570 \text{ kg} \pm 140 \text{ kg}$ na hektar a rok. K dosažení maximálního obsahu uhlíku v půdě dochází 5.–10. rok od přechodu na bezorebný systém a rovnovážný stav nastává 15–20 let po změně hospodaření. Z námi hodnocených osevních postupů byla i přes kalkulaci pro bezorebnou technologii u některých osevních postupů shledána negativní uhlíková bilance (osevní postup č. 10 – ŘVO, osevní postup s vyšším podílem řepky ozimé a s odvozem slámy a osevní postup č. 4 – KVO, „tržní“ osevní postup s odvozem slámy). V praxi by to znamenalo uvolňování již zhumifikovaného uhlíku z půdní zásoby, s maximálním poklesem až o 0,028 % humusu za rok (ztráta až cca $725 \text{ kg C} \cdot \text{ha}^{-1}$ v osevním postupu č. 4 při orebné technologii).

Výsledky deficitních osevních postupů v průměru korespondují s výsledky ŠKARDY a DAMAŠKY (1982), kteří ve své práci uvádějí snížení obsahu humusu v půdě bez organického hnojení asi o 0,0123 % za rok (přibližně $320 \text{ kg C} \cdot \text{ha}^{-1}$ za rok).

Deficitní osevní postupy jsou charakteristické zpravidla malou diverzitou plodin (někdy jen tři druhy), nízkou úrovní hnojení statkovými hnojivy (chybí okopaniny), odvozem slámy obilnin a řepky (energetické využití, podestýlka, zkrmování), absencí nebo nízkým podílem jetelovin a vysokým podílem obilnin. Obecně lze konstatovat logický výrazný vliv konkrétní plodiny, způsobu hospodaření i nakládání s posklizňovými zbytky na možnost ukládání uhlíku do půdy při hospodaření na orné půdě. Nejméně posklizňových zbytků, a tím i uhlíku, ukládají obecně brambory. Brambory jsou však organicky hnojenou plodinou a v rámci osevního postupu tak lze předpokládat k bramborám vysoké dávky statkových hnojiv, spojené s vylepšením uhlíkové bilance. Nejvíce posklizňových zbytků a tím uhlíku ukládají do půdy obilniny na zrno při zaorávce slámy, vojtěška a cukrová řepa při zaorávce chrástu. Nižší množství posklizňových zbytků, resp. uhlíku se do půdy dostává při ekologickém způsobu hospodaření. Důvodem jsou celkově nižší dosahované výnosy biomasy než při konvenčním hospodaření. Množství uhlíku ukládaného do půdy je také

značně ovlivňováno nakládáním s posklizňovými zbytky, respektive s vedlejším produktem pěstování (sláma a chrást). Při zaorávce slámy nebo chrástu se do půdy dostává výrazně větší množství organických látek, a tím i uhlíku.

Doporučení pro praxi z pohledu zvýšení sequestrace uhlíku v orné půdě:

- Změna osevního postupu (zvýšení zastoupení leguminóz, víceletých pícnin, organicky hnojených a hluboko kořenících plodin). Cílem je vyprodukovat co nejvíce podzemní biomasy nebo zapravit do půdy maximální množství organických hnojiv.
- Pěstování nových, výkonných odrůd, které efektivněji využívají podmínky prostředí k produkci biomasy. Cílem je vyprodukovat větší množství biomasy, než je tomu u stávajících odrůd a biomasu buď zpracovat nebo uložit do půdy (zaorat).
- Pěstování plodin pro účely fytoenergetiky. Využití vhodných druhů pěstovaných na orné půdě (jednoletých a hlavně víceletých) k produkci bioethanolu, methylesteru, bioplynu a pro přímé spalování. Cílem je zejména uzavřený koloběh CO_2 při získávání energie a omezení kultivačních zásahů u víceletých plodin.
- Zapravování organických hnojiv (statkových hnojiv, zeleného hnojení, slámy, kompostů, kalů, mulčování) do půdy. Cílem je maximalizace množství ukládané organické biomasy do půdy.
- Omezení období, kdy jsou pozemky bez vegetace (období tzv. „černého úhoru“). Cílem je omezit neproduktivní období, kdy jsou organické látky v půdě mineralizovány a nedochází k dalšímu nárůstu fytohmoty.
- Precizní zemědělství s vyváženým poměrem výnos x výživa (POST, et. al., 2004). Při nadměrném hnojení dusíkem dochází k intenzivnějšímu rozkladu organických látek.
- Konzervace půdy – zatravnění orné půdy. Drnový fond zanechává značné množství biomasy pod zemí. Trvalé travní porosty nejsou intenzivně kultivovány (orány), a proto zůstává organická hmota, resp. uhlík v ní dlouhodobě fixován v půdě.
- Konzervace půdy – zalesnění, ať už rychle rostoucími dřevinami nebo dlouhodobě zalesnění. Při fixaci uhlíku do dřevní biomasy je uhlík imobilizován až na několik stovek let.

SOUHRN

Analýza koloběhu uhlíku v zemědělském ekosystému naznačuje značné rozdíly v potenciálu plodin při ukládání uhlíku do půdy. Ze sledovaných plodin (sledováno celkem 49 variant) do půdy ukládaly nejméně uhlíku brambory v ekologickém systému pěstování. Nejvíce uhlíku fixovala kukuřice na zrno v kukuřičné výrobní oblasti. Druhovité rozdíly se potom promítají i do bilancí uhlíku v rámci osevních postupů (sledováno 24 variant). Značná diference v množství fixovaného uhlíku se projevuje také v časovém aspektu. Krátkodobě (měsíce) je plodinami do půdy ukládáno značné množství uhlíku (až $4,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ročně). Na rozdíl od srovnatelného množství uhlíku poutaného v lesním ekosystému (cca $4,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ročně) je však uhlík z orné půdy mineralizací brzy emitován zpět do atmosféry. Proto mají z dlouhodobého hlediska význam zejména údaje o množství uhlíku humifikovaného v orné půdě (max. cca $400 \text{ kg C} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$). S použitím finančního ocenění jedné tuny uhlíku je mož-

né kvantifikovat finanční přínos (nebo újmu) osevního postupu pro koloběh CO₂. Oceňování uhlíku ukládaného v agroekosystémech však zatím není ani ve světě kodifikováno.

koloběh uhlíku, sequestrace uhlíku v půdě, fixace uhlíku

SUMMARY

Analyses of carbon cycle in agroecosystem shows significant difference of crop potential for carbon sequestration to the soil. Potatoes in ecological planting system sequestered minimal amount of carbon. The maximal amount of carbon was sequestered by corn maize in maize production region. Species variability is obvious also in carbon balance of single crop rotations (24 observed varieties). For a short time (months) the crops sequestration of carbon is relatively high (to 4.4 t.ha⁻¹.year⁻¹). In contrast to comparable carbon amount fixed by forest ecosystem (c. 4.1 t.ha⁻¹.year⁻¹) the carbon of agriculture land is earlier emitted to the atmosphere. Therefore the data of amount of humified carbon in agroecosystem (to c. 400 kg C.ha⁻¹.year⁻¹) are the most important. Also economical benefit of single crop rotations is possible to express on the base of this data. Valuation of carbon sequestered in agroecosystems is not codified worldwide.

Práce vznikla s podporou grantu MŽP ČR „CzechCarbo – studium cyklu uhlíku v terestrických ekosystémech ČR v souvislostech Evropského projektu CARBOEUROPE“ č. SM/640/18/03 (VaV/640/18/03).

LITERATURA

- BRUCE, J. P. *et al.*, 1999: Carbon sequestration in soils. *J. Soil Water Conserv.*, vol. 54, p. 365–373.
- CÍLEK, V., 2001: Pralesy pod zemí. *Vesmír: přírodovědecký časopis*, roč. 80, č. 6, s. 349.
- DERSCHE, G., BOEHM, K., 2001: Effects of agronomic practices on the soil carbon storage potential in arable farming in Austria. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 60, No. 1–3, p. 49–55.
- FAVOINO, E., HOGG, D., 2002: Composting and Climate Change: a preliminary assessment. *Proc. EC (European Commission) Conference “Biological Treatment of Biodegradable Waste: Technical Aspects”*, Brussels.
- FOLLET, R. F., 2001: Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil Tillage Res.*, vol. 61, No. 1–2, p. 77–92.
- FORCHTSAM, V. *et al.*, 1961: Zemědělská výroba v kostce. SZN Praha, 1144 s.
- FREIBAUER, A. *et al.*, 2004: Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*, vol. 122, No. 1, p. 1–23.
- NĚMEČEK, J., SMOLÍKOVÁ, L., KUTÍLEK, M., 1990: Pedologie a paleopedologie. Academia Praha, 103 s.
- POST, W. M., *et al.*, 2004: Enhancement of carbon sequestration in US soils. *Bioscience*, vol. 54, No. 10, p. 895–908.
- REICOSKY, D. C., 1998: Conservation tillage and carbon cycling: Soil as a source or sink for carbon. In: *Emerging Soil Management Options for California. Conf. Proc.*, Davis, CA, p. 12–28.
- RICHTER, R., HLUŠEK, J., RYANT, P., 2001: Organická hnojiva a jejich význam pro udržení půdní úrodnosti. *Zemědělec*, roč. 13, č. 47, s. 11–12.
- RICHTER, R., HLUŠEK, J., 1999: Výživa a hnojení rostlin: I. Obecná část. Skripta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 171 s.
- SCHUMANN, G. E., JANZEN, H. H., HERRICK, J. E., 2002: Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. *Environ. Pollut.*, 2002, vol. 116, p. 391–396.
- SMITH, P., 2004: Carbon sequestration in croplands: The potential in Europe and the global context. *European Journal of Agronomy*, vol. 20, No. 3, p. 229–236.
- ŠKARDA, M., DAMAŠKA, J., 1982: Problém humusu v orné půdě ČSR. *Úroda*, roč. 30, č. 7, s. 321–323.
- VYN, *et al.*, 2006: Soil sequestration and gas emissions of carbon after 3 decades of tillage systems for corn and soybean production in Indiana. *Proceedings CD for the 17th International Soil Tillage Research Organization Conference*, Kiel, Germany.
- WEST, T. O., POST, W. M., 2002: Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 66, No. 6, p. 1930–1946.

Adresa

Ing. Tomáš Středa, Ph.D., Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství, Ing. Vítězslav Vlček, Ph.D., Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc., Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno, Česká republika, e-mail: streda@mendelu.cz, xvlcek1@mendelu.cz, roznovsky@chmi.cz.

