

MODELOVANIE ZÁSOB UHLÍKA V ČERNOZEMI PRI PREDIKOVANEJ KLIMATICKEJ ZMENE

V. Balkovič, J. Sobocká

Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Bratislava, Slovenská republika
sobocka@vupu.sk, balkovic@vupu.sk

Abstrakt

Trends of nutrient regime development in link to organic carbon sequestration and organic matter supply were modeled, and simulated by CENTURY 5 model to provide inputs: predicted information and quantification about carbon fluxes and primary net of organic matter production. Soil conditions were represented by soil profile calcareous Haplic Chernozem in Pribeta (Danubian lowland). Regional climate scenario of predicted climate change was available for referenced meteorological station Hurbanovo (monthly air temperatures, rainfalls and other parameters) for the period 2000-2090. Model simulation CENTURY indicated that nutrient deficiency in soil could cause certain decreasing trend in carbon sequestration, mainly in slow and passive SOM tool at non-fertilized and non-irrigated cropping system alternative. However excluding of irrigation from cropping system indicates only very moderately decreasing trend in carbon sequestration in the period 2000-2090. This aspect can enhance influence of climate change and affecting of drought in the country. It could be assumed that significant decrease in yields and following reduced input of organic carbon into soil can be attended by decreased organic matter mineralization in dry periods, what can provoke chernozemic soil formation of humus. In the case of conventional fertilization by phosphorus and nitrogen, and regular irrigation CENTURY 5 do not predict serious changes in carbon sequestration in any SOM tools. There is a need to note that investigated soil profile is very fertile soil with high credit class, which could be able to sustain natural soil properties for a long time.

ÚVOD

Prognózovanie procesov živinového režimu v očakávaných klimatických podmienkach je dôležité nielen pre definovanie trendu zásob živín v pôdach, ale aj určenie celkovej produkčnej i ekologickej hodnoty pôd. Samotná prístupnosť živín je formulovaná na základe skutočných pomerov materiálu vstupujúceho do tvorby humusu ako lineárna funkcia veličín každého prvku v labilnej anorganickú minerálnej zložke pôdy. Tu dynamika uhlíka a dusíka hrá rozhodujúcu úlohu pre stanovenie potenciálu zásob živín. Ak je pomer C:N užší, platí lineárny funkčný vzťah väčšej zásobenosti pôd živinami.

Pre modelovanie scenára sekvestrácie uhlíka v poľnohospodárskej pôde v nadväznosti na existujúce scenáre klimatickej zmeny bol použitý model CENTURY 5. Táto verzia je posledným rozšírením modelu pôdneho organického uhlíka autorov Parton et al. (1992) s adaptáciou na agroekosystémy. Hlavným poslaním a ambíciou modelu CENTURY 5 je systémová analýza efektov globálnych zmien (napríklad klímy) a zmien vo využití pôdy na produktivitu a udržateľnosť agroekosystému v dlhých časových horizontoch. V modeli sú integrované vplyvy klímy a vlastností pôd, rovnako ako vplyvy rôznych pôdohospodárskych opatrení na dynamiku uhlíka a dusíka v systéme pôda – plodina. Integrácia osevných postupov, obrábacích praktík, hnojenia, zavlažovania a zberu plodín umožňuje simulácie komplexných poľnohospodárskych manažérskych systémov. Model CENTURY 5 je navrhnutý v programovacom jazyku C++ a poskytuje objektové užívateľské rozhranie typické pre aplikácie navrhnuté pre Windows.

MATERIÁL A METÓDY

CENTURY model simuluje dlhodobú dynamiku uhlíka (C), dusíka (N), fosforu (P) a síry (S) pre rôzne systémy pôda-rastlina. Model autorov Parton et al. (1987) a Sanford et al. (1991) je priebežne

modifikovaný do verzie 5.0. Môže simulovať dynamiku trvalých trávnych porastov, poľnohospodárskych plodín, lesných systémov a saván. Systémy TTP, poľnohospodárskych plodín a lesa sú spojené spoločným submodelom humusu (pôdnej organickej hmoty). Submodel humusu simuluje toky C, N, P a S cez rastlinný opad a cez rozdielne organické a anorganické formy (pools) v pôde. Vstupné údaje modelu CENTURY možno rozdeliť do skupín: (i) meteorologické vstupy, (ii) vstupy o pôde a (iii) vstupy o hospodárení na pôde.

Pre modelovanie sa použili sa regionálne klimatické scenáre mesačných hodnôt teploty vzduchu a zrážok a iných požadovaných parametrov pre roky 2000 - 2090 (Lapin *et al.* 2001, Takáč *et al.* 2006). Pre potreby simulácie bol vybraný scenár vývoja počasia navrhnutý pre meteorologickú stanicu Hurbanovo. Charakteristiky počasia (ročné priemery teploty vzduchu, priemerná minimálna a maximálna teplota vzduchu, ročné úhrny zrážok, ročné priemery tlaku vodnej pary a ročné úhrny globálneho žiarenia) pochádzajú z dlhodobých meteorologických meraní (1961-1990) a scenára zmeny klímy v horizonte 2090.

Pôdna situácia je reprezentovaná profilom ČMS 400130 (černozem čiernicová var. karbonátová) v obci Pribeta (z databázy VÚPOP). Pôdne vlastnosti boli prepočítané vzhľadom na požiadavky modelu (tab. 1) a udávané sú v jednotkách podľa Metherell *et al.* (1993). Pôdny profil bol rozdelený do 10 sub-horizontov s hrúbkou 10 cm, pričom pre každý interval boli vygenerované hydrofyzikálne vlastnosti pomocou modelu ROSETTA (Schaap 2000).

Tab. 1 Vstupné údaje o pôde (ČMč – ČMS 400130) použité pre model CENTURY2090

Iniciálne pôdne parametre:	BULK(1): 1,13	AWILT(10): 0,100	RCELIT(1,1): 41
IVAUTO: 0	BULK(2): 1,13	AFIEL(1): 0,281	RCELIT(1,2): 188
NELEM: 2	BULK(3): 1,13	AFIEL(2): 0,281	RCELIT(2,1): 68
SAND(1): 0,325	BULK(4): 1,25	AFIEL(3): 0,281	RCELIT(2,2): 243
SAND(2): 0,325	BULK(5): 1,25	AFIEL(4): 0,286	AGLCIS(1): 0
SAND(3): 0,325	BULK(6): 1,25	AFIEL(5): 0,286	AGLIVE(1): 0
SAND(4): 0,313	BULK(7): 1,25	AFIEL(6): 0,286	AGLIVE(2): 0
SAND(5): 0,313	BULK(8): 1,25	AFIEL(7): 0,286	BGLCIS(1): 0
SAND(6): 0,313	BULK(9): 1,35	AFIEL(8): 0,286	BGLIVE(1): 0
SAND(7): 0,313	BULK(10): 1,35	AFIEL(9): 0,320	BGLIVE(2): 0
SAND(8): 0,313	THICK(1): 10	AFIEL(10): 0,320	STDCIS(1): 0
SAND(9): 0,283	THICK(2): 10	PH: 7,9	STDEDE(1): 0
SAND(10): 0,283	THICK(3): 10	PSLSRB: 1,5	STDEDE(2): 0
SILT(1): 0,455	THICK(4): 10	SORPMX: 34	
SILT(2): 0,455	THICK(5): 10		Iniciálne parametre
SILT(3): 0,455	THICK(6): 10	Iniciálne parametre	minerálneho N, P:
SILT(4): 0,454	THICK(7): 10	humusu:	MINERL(1,1): 0,25
SILT(5): 0,454	THICK(8): 10	SOM1CI(1,1): 0,61	MINERL(1,2): 35,4
SILT(6): 0,454	THICK(9): 10	SOM1CI(2,1): 108,6	PARENT(2): 50
SILT(7): 0,454	THICK(10): 10	SOM2CI(1): 1860	SECNDY(2): 27,8
SILT(8): 0,454	NLAYER: 9	SOM3CI(1): 1836	
SILT(9): 0,488	NLAYPG: 8	RCES1(1,1): 16	Iniciálne parametre
SILT(10): 0,488	DRAIN: 0,5	RCES1(1,2): 50	obsahu vody:
CLAY(1): 0,220	BASEF: 0,19	RCES1(2,1): 10	RWCF(1): 0,037
CLAY(2): 0,220	STORMF: 0	RCES1(2,2): 50	RWCF(2): 0,0001
CLAY(3): 0,220	AWILT(1): 0,110	RCES2(1): 13	RWCF(3): 0,0001
CLAY(4): 0,233	AWILT(2): 0,110	RCES2(2): 100	RWCF(4): 0,243
CLAY(5): 0,233	AWILT(3): 0,110	RCES3(1): 7	RWCF(5): 0,280
CLAY(6): 0,233	AWILT(4): 0,105	RCES3(2): 50	RWCF(6): 0,280
CLAY(7): 0,233	AWILT(5): 0,105		RWCF(7): 0,290
CLAY(8): 0,233	AWILT(6): 0,105	Iniciálne parametre	RWCF(8): 0,290
CLAY(9): 0,229	AWILT(7): 0,105	rastlinných zvyškov:	RWCF(9): 0,290
CLAY(10): 0,229	AWILT(8): 0,105	CLITTR(1,1): 5,5	RWCF(10): 0,400
	AWILT(9): 0,100	CLITTR(2,1): 207	

Dynamika pôdneho uhlíka a dusíka je hodnotená vzhľadom na navrhnutý typ hospodárenia na pôde, presnejšie pre 5-ročný oševný postup ozimná pšenica – kukurica – ovos (na zeleno) – lucerna – lucerna. Detailnejšie plánovanie úkonov v rámci konvenčnej alternatívy oševného postupu (KONV) je prezentované v tab. 2. Tento oševný postup bol vytvorený s ohľadom na možnosti, ktoré poskytuje samotný model so snahou priblížiť sa čo najvernejšie možnej realite.

Tab. 2 Konvenčný oševný postup (pšenica – kukurica – ovos – lucerna – lucerna)

Rok	Mesiac	Udalosť	Popis
R1	M1	Plodina (OAT)	Ovos
R1	M3	Hnojenie (N5)	5 gN/m ²
R1	M3	Kultivácia (Herbicíd)	
R1	M3	Kultivácia (Kultivátor)	
R1	M3	Sejba	
R1	M3	Klíčenie	
R1	M5	Hnojenie	5 gN/m ²
R1	M6	Kosba (HAY)	Zvyšky 25%
R1	M6	Koniec plodiny (OAT)	
R1	M7	Kultivácia (orba)	
R1	M7	Kultivácia (Kultivátor)	
R1	M7	Plodina (ALF)	Lucerna
R1	M7	Sejba	
R2	M5	Kosba (HAY)	Zvyšky 25%
R2	M6	Závlaha	5 cm
R2	M8	Kosba (HAY)	Zvyšky 25%
R2	M8	Závlaha	5 cm
R2	M9	Kosba (HAY)	Zvyšky 25%
R3	M5	Kosba (HAY)	Zvyšky 25%
R3	M6	Závlaha	5 cm
R3	M8	Kosba (HAY)	Zvyšky 25%
R3	M8	Koniec plodiny (ALF)	
R3	M9	Hnojenie (PS1)	125 kg Superfosfát/ha
R3	M9	Kultivácia (orba)	
R3	M9	Plodina (W2)	Ozimná pšenica
R3	M9	Kultivácia (Kultivátor)	
R3	M10	Kultivácia (Herbicíd)	
R3	M10	Sejba	
R3	M11	Klíčenie	
R4	M3	Hnojenie (N3)	3 gN/m ²
R4	M4	Hnojenie (N3)	3 gN/m ²
R4	M5	Hnojenie (N3)	3 gN/m ²
R4	M7	Žatva (G75)	Zvyšky 25% slamy
R4	M7	Koniec plodiny (W2)	
R4	M8	Kultivácia (Kultivátor)	
R4	M9	Hnojenie (maštalný hnoj)	40 t/ha
R4	M9	Hnojenie (PS1)	125 kg Superfosfát / ha
R4	M9	Kultivácia (orba)	
R5	M1	Plodina (C3)	Kukurica na zrno
R5	M4	Hnojenie (N10)	10 gN/m ²
R5	M4	Kultivácia (Kultivátor)	
R5	M4	Kultivácia (Herbicíd)	
R5	M4	Sejba	
R5	M5	Klíčenie	
R5	M5	Kultivácia (ROW)	Riadkový kultivátor
R5	M6	Závlaha	5 cm
R5	M6	Kultivácia (ROW)	Riadkový kultivátor
R5	M6	Hnojenie (N10)	10 gN/m ²
R5	M7	Závlaha	5 cm
R5	M10	Žatva (G75)	Zvyšky 25% kôrovia
R5	M10	Koniec plodiny (C3)	
R5	M11	Hnojenie (PS1)	125 kg Superfosfát / ha
R5	M11	Kultivácia (orba)	

Zároveň bol oseedný postup modifikovaný do dvoch alternatív:

1. Alternatíva 1 (ALT1): s hnojením minerálnym dusíkom a fosforom a bez umelej závlahy
2. Alternatíva 2 (ALT2): bez umelej závlahy a bez hnojenia minerálnym dusíkom a fosforom

Porovnanie alternatívnych prevedení oseedného postupu umožňuje hodnotiť očakávané zmeny v zásobách uhlíka vo vzťahu k potrebám doplnkových vstupov do pôdy (hnojenie, zavlažovanie) a ich váhy pre simulované veličiny.

Priebeh počasia bol v prípravnej fáze simulácie generovaný stochasticky zo štatistických ukazovateľov získaných z rokov 1961-1990 (tab. 3) s využitím generátora, ktorý je súčasťou modelu CENTURY 5.

Tab. 3 Štatistické ukazovatele priebehu priemerných úhrnov zrážok (v cm) jednotlivých mesiacoch pre stanicu Hurbanovo (1961-1990)

	Mean	-95%	95%	Min	Max	Range	Var.	Std. Dev.	Skewness	Kurtosis
<i>JAN</i>	3,32	2,65	3,99	0	6,3	6,3	3,23	1,797	-0,256	-1,00
<i>FEB</i>	3,33	2,48	4,17	0,1	8,7	8,6	5,15	2,270	0,719	-0,22
<i>MAR</i>	2,72	2,23	3,21	0,5	6,4	5,9	1,73	1,316	0,343	0,75
<i>APR</i>	3,87	3,10	4,64	1,1	7,8	6,7	4,26	2,064	0,471	-1,13
<i>MÁJ</i>	5,64	4,31	6,97	0,3	14,3	14	12,65	3,556	0,803	0,07
<i>JÚN</i>	5,80	4,89	6,71	1,5	10,4	8,9	5,99	2,447	0,192	-1,05
<i>JÚL</i>	5,18	3,93	6,42	0,9	16,6	15,7	11,17	3,342	1,610	3,73
<i>AUG</i>	5,77	4,45	7,09	0,6	14,6	14	12,47	3,531	0,754	0,55
<i>SEP</i>	3,92	2,87	4,96	0,1	9,9	9,8	7,83	2,799	0,600	-0,72
<i>OKT</i>	3,26	2,16	4,36	0,1	13	12,9	8,64	2,940	1,870	3,91
<i>NOV</i>	5,36	4,03	6,70	1,6	15,7	14,1	12,80	3,578	1,282	1,20
<i>DEC</i>	3,96	3,23	4,69	0,6	8,7	8,1	3,84	1,960	0,027	-0,36

Scenár CENTURY 2090 simuluje všetky tri zdroje uhlíka v pôde samostatne pri alternatívach zvoleného oseedného postupu. Tieto zložky SOM sú pre účel simulácie považované za indikátory sekvestrácie. Zdroje organického uhlíka v pôde (SOM) možno s ohľadom na rýchlosť rozpadu rozdeliť do troch zložiek: (i) aktívny zdroj SOM (C_L), (ii) pomalý zdroj SOM (C_S) a (iii) pasívny zdroj SOM (C_P) s rôznou potenciálnou mierou odbúravania. Aktívny zdroj zahŕňa labilné produkty mikrobiálneho rozkladu, ktorých existencia v pôdach sa dá odhadovať na mesiace. Zásoby slabo aktívneho uhlíka predstavujú rezistentný pôdny materiál odvodený z lignínovej bázy a stabilizované produkty mikrobiálneho rozkladu. Zásoby pasívneho uhlíka predstavujú organické látky veľmi rezistentné k mikrobiálnemu rozkladu.

Pre odhad iniciálnych hodnôt organického uhlíka a dusíka v pôde a v rastlinných zvyškoch boli použité výsledky zo sondy ČMS 400130 a údaje publikované v prácach Jurčová (1998, 2001), Jurčová, Torma (2001), Kobza et al. (2002) a Barančíková (1998). Súbor iniciálnych vstupov bol konfrontovaný s požiadavkami a odporúčaniami publikovanými v Metherell et al. (1993).

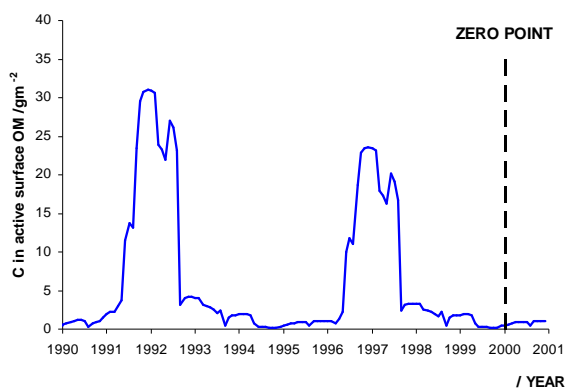
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vstupné hodnoty, ktoré sú často len odhadom, boli pre potreby modelovania optimalizované pre zvolený spôsob hospodárenia pomocou 10-ročnej prípravnej simulácie (1990-2000), pričom výstup tejto prípravnej fázy slúži ako harmonizovaný vstup do modelu CENTURY2090.

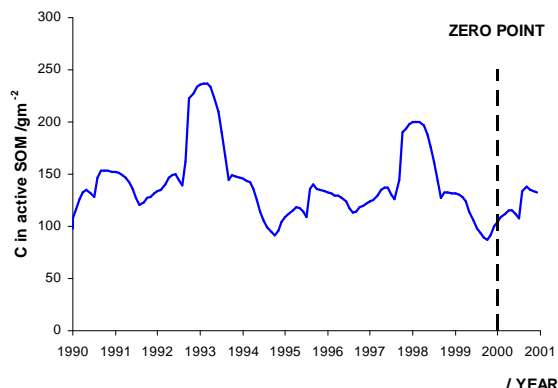
Pre parametrizáciu iniciálnych vstupov modelu CENTURY2090 boli použité výstupné hodnoty prípravnej simulácie dosiahnuté na začiatku roku 2001, čo zodpovedá aj začiatku nového cyklu oseedného postupu. Prípravná simulácia predpokladá konvenčnú alternatívu oseedného postupu tak ako parametrizáciu vybraných vlastností pôdnej organickej hmoty (SOM). Prípravná simulácia je zobrazená na obr. 1 a súhrn optimalizovaných vstupov o pôde pre model CENTURY2090 je prezentovaný v tab.1.

Obř. 1 Optimalizácia iniciálnych hodnôt frakcionácie organickej hmoty pomocou prípravnej simulácie 1990-2000 (konvenčný oševný postup)

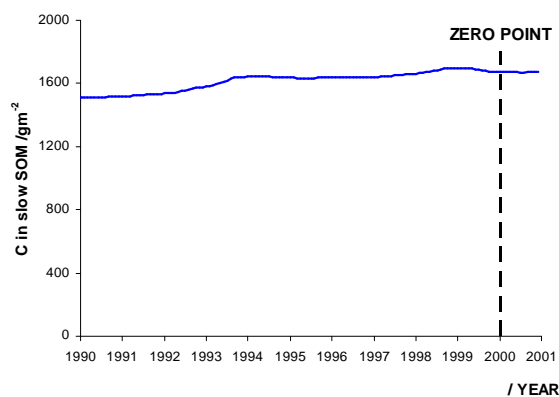
(a) aktívny zdroj C v povrchovej organickej hmotě



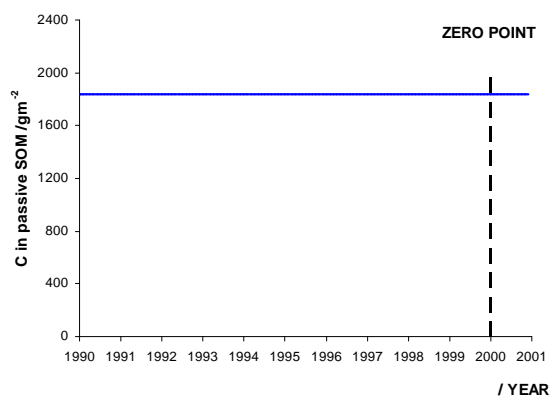
(b) aktívny zdroj C v pôdnej organickej hmotě



(c) pomalý zdroj C v pôdnej organickej hmotě



(d) pasívny zdroj C v pôdnej organickej hmotě



Napriek prvotnej inicializácii modelu v prípravnej simulácii pri modelovaní sekvestracie jednotlivých obsahov uhlíka nastala prudká zmena v obsahoch zložiek SOM, ktorú možno pozorovať od začiatku simulácie do roku 2005. To svedčí o autonómnej inicializácii modelu. Tento fenomén môže byť spôsobený relatívne veľkými rozdielmi v počasí medzi scenárom do roku 2090 a počasím zaznamenaným na stanici Hurbanovo v rokoch 1961-1990, ktoré bolo použité v prípravnej simulácii. Bilancia jednotlivých zložiek SOM, rovnako ako analýza trendu v chode obsahov týchto zložiek, bola preto analyzovaná počínajúc rokom 2005. Štatistické vyhodnotenie lineárneho trendu obsahu jednotlivých zložiek SOM od času v intervale rokov 2005-2090 je uvedené v tab. 4.

Tab. 4 Štatistická analýza trendu v obsahu jednotlivých zložiek SOM v intervale 2005-2090

Alternatíva		β	SE(β)	A	SE(A)	B	SE(B)	p-level
KONV	C _L	0,021	0,0311	0,0282	0,0417	90,39	85,521	0,4984
KONV	C _S	-0,036	0,0311	-0,0444	0,0382	2072,6	78,283	0,2451
KONV	C _P	-0,806***	0,0184	-0,0267	0,0006	1891,4	1,256	< 0,0001
KONV	C _{TOT}	-0,022	0,0311	-0,0429	0,0606	4054,4	124,18	0,4788
ALT1	C _L	-0,086***	0,0310	-0,0810	0,0291	316,63	59,78	0,0056
ALT1	C _S	-0,451***	0,0278	-0,4689	0,0289	3008	59,21	< 0,0001
ALT1	C _P	0,675***	0,0230	0,0134	0,0004	1812,3	0,936	< 0,0001
ALT1	C _{TOT}	-0,354***	0,0291	-0,5365	0,0441	5137	90,37	< 0,0001
ALT2	C _L	-0,018	0,0311	-0,0158	0,0277	175,4	56,86	0,5673
ALT2	C _S	-0,588***	0,0252	-0,7377	0,0316	3472,3	64,75	< 0,0001
ALT2	C _P	-0,989***	0,0045	-0,0792	0,0003	1997,3	0,740	< 0,0001

ALT2	C _{TOT}	-0,489 ^{***}	0,0272	-0,8328	0,0463	5645	94,78	< 0,0001
------	------------------	-----------------------	--------	---------	--------	------	-------	----------

β – korelačný koeficient, SE – štandardná chyba, A, B – parametre regresie $Y=AX+B$, p-level – štatistická významnosť výsledku lineárnej regresie, *** – štatisticky významný výsledok na hladine významnosti 0,01

Výsledky simulácie CENTURY2090 pre jednotlivé frakcie pôdneho uhlíka sú znázornené pri konvenčnej alternatíve oševného postupu (KONV) na obr. 3, pri nezavlažovanej a hnojenej alternatíve oševného postupu (ALT1) na obr. 4 a pri nezavlažovanej a nehnojenej alternatíve oševného postupu (ALT2) na obr. 5.

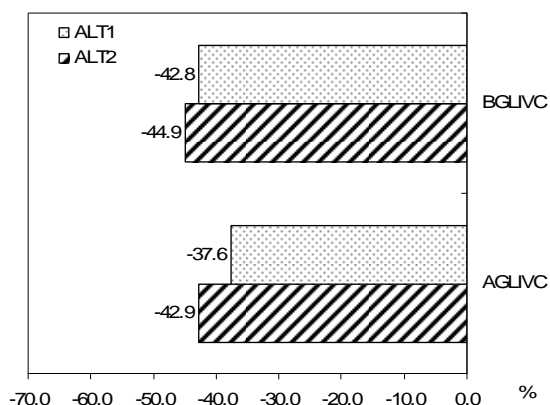
Z analýzy grafov vyplýva, že zásoba silne a slabo aktívneho uhlíka (C_L , C_S) nevykazuje pri konvenčnom prevedení oševného postupu štatisticky významný trend v závislosti od času. Mierne klesajúci trend je očakávaný pre pasívny uhlík (C_P), avšak na priebehu celkového pôdneho uhlíka (C_{TOT}) sa tento pokles neprejaví. To znamená, že v prípade konvenčnej alternatívy hospodárenia na pôde sa neočakávajú významné dopady klimatickej zmeny na celkové zásoby uhlíka v pôde.

V prípade nezavlažovanej alternatívy oševného postupu ukazuje model postupný, aj keď len veľmi mierny pokles zásob celkového uhlíka počas simulovaného obdobia (obr. 4). Tento pokles je spôsobený predovšetkým poklesom v zásobách slabo aktívneho uhlíka (C_S). Hoci je klesajúci trend len veľmi mierny, z dlhodobého hľadiska (pravdepodobne presahujúceho horizont 2090) sa dá predpovedať aj významnejší pokles zásob uhlíka v pôde.

Vypustenie priemyselného hnojenia dusíkom a fosforom aj umelých závlah by podľa modelu CENTURY2090 podmienilo v časovom horizonte 2090 výrazne klesajúci trend v sekvestracii celkového uhlíka, predovšetkým jeho slabo aktívnej a pasívnej zložke (obr. 5).

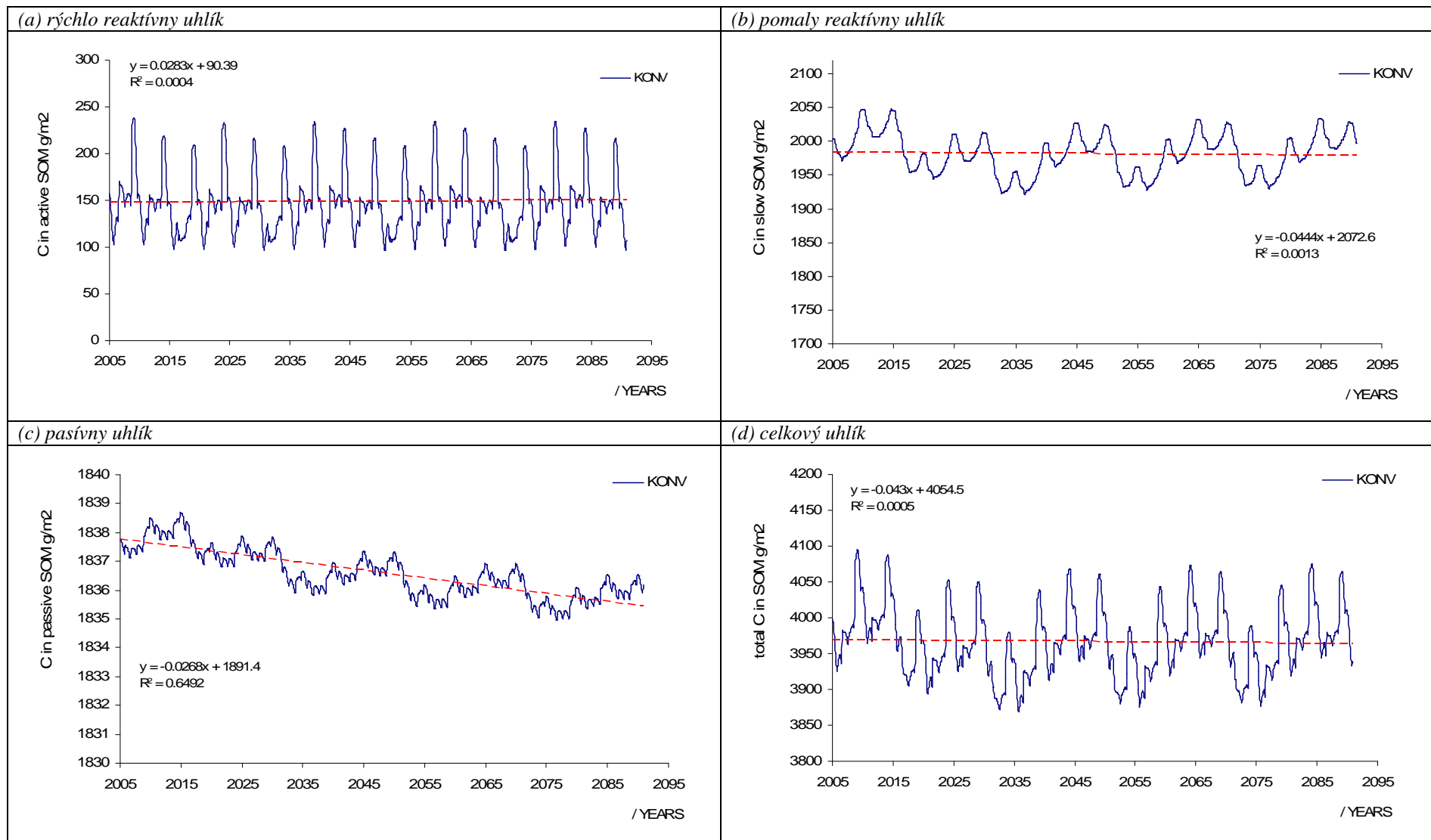
Na obr. 2 je ukázaná bilancia živej biomasy a zložiek SOM v časovom intervale 2005-2090. Bol porovnaný priemerný obsah uhlíka v živej nadzemnej a koreňovej biomase pre alternatívy oševného postupu vo vzťahu ku konvenčnému oševnému postupu.

Obr. 2 Bilancia organického uhlíka v nadzemnej (AGLIVC) a podzemnej (BGLIVC) biomase relatívne ku konvenčnej alternatíve oševného postupu

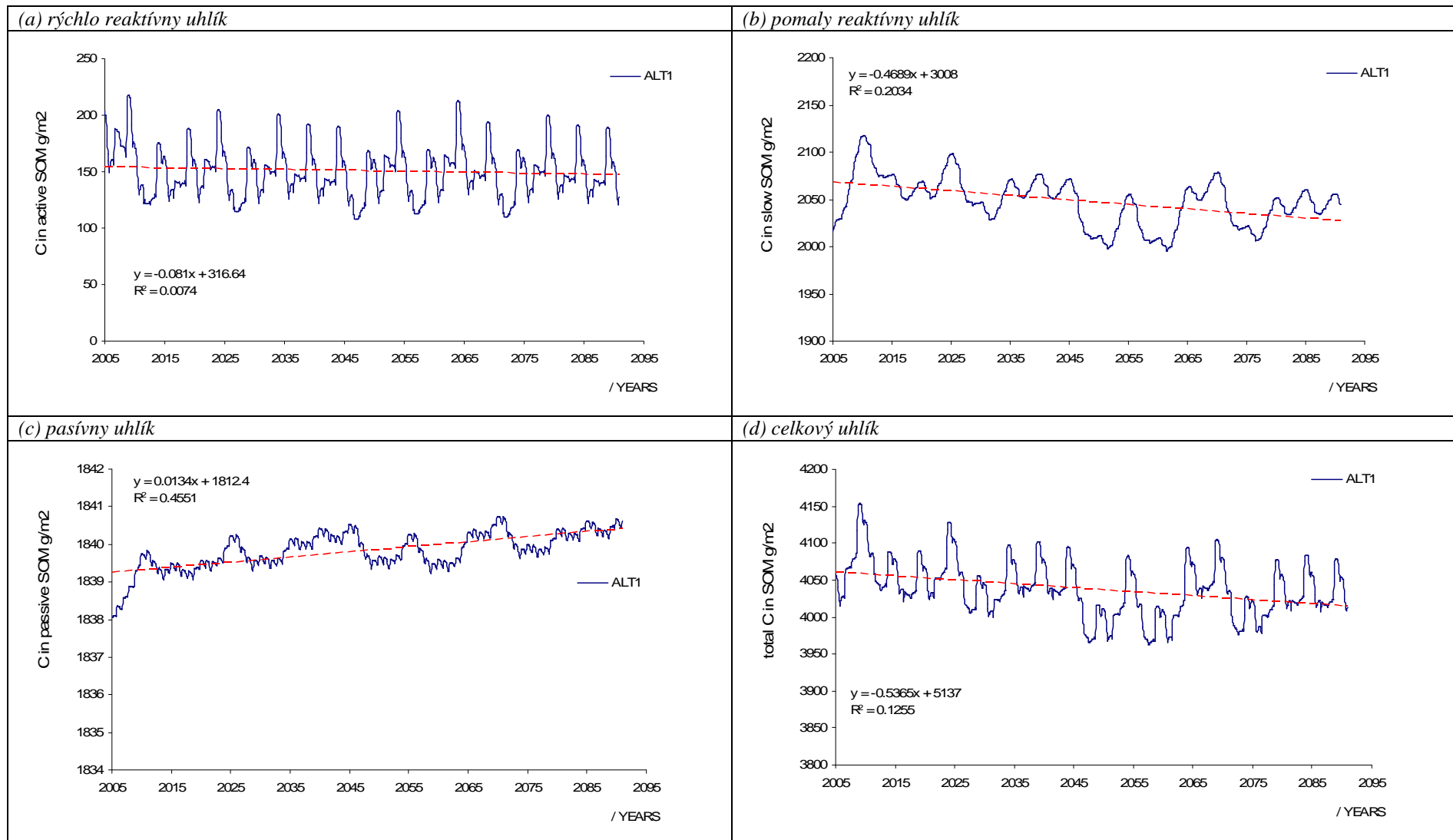


Z grafu je zrejmé, že v prípade nezavlažovanej alternatívy oševného postupu klesol priemerný obsah uhlíka v živej nadzemnej biomase o takmer 38 % a podzemnej biomase o 43 % oproti konvenčnej alternatíve oševného postupu. To znamená, že v predikovanom období možno očakávať významný pokles ročného vstupu uhlíka do pôdy. Ešte drastickjšie zmeny v celkových úrodách sa dajú očakávať v prípade druhej alternatívy (nehnojená a nezavlažovaná), kedy sa pokles vstupov uhlíka pohybuje okolo 45 % pre koreňové zvyšky a 43 % pre nadzemnú biomasu. V odhadovanom scenári musíme teda očakávať pokles výnosov pre obe alternatívy oševných postupov (ALT1, ALT2).

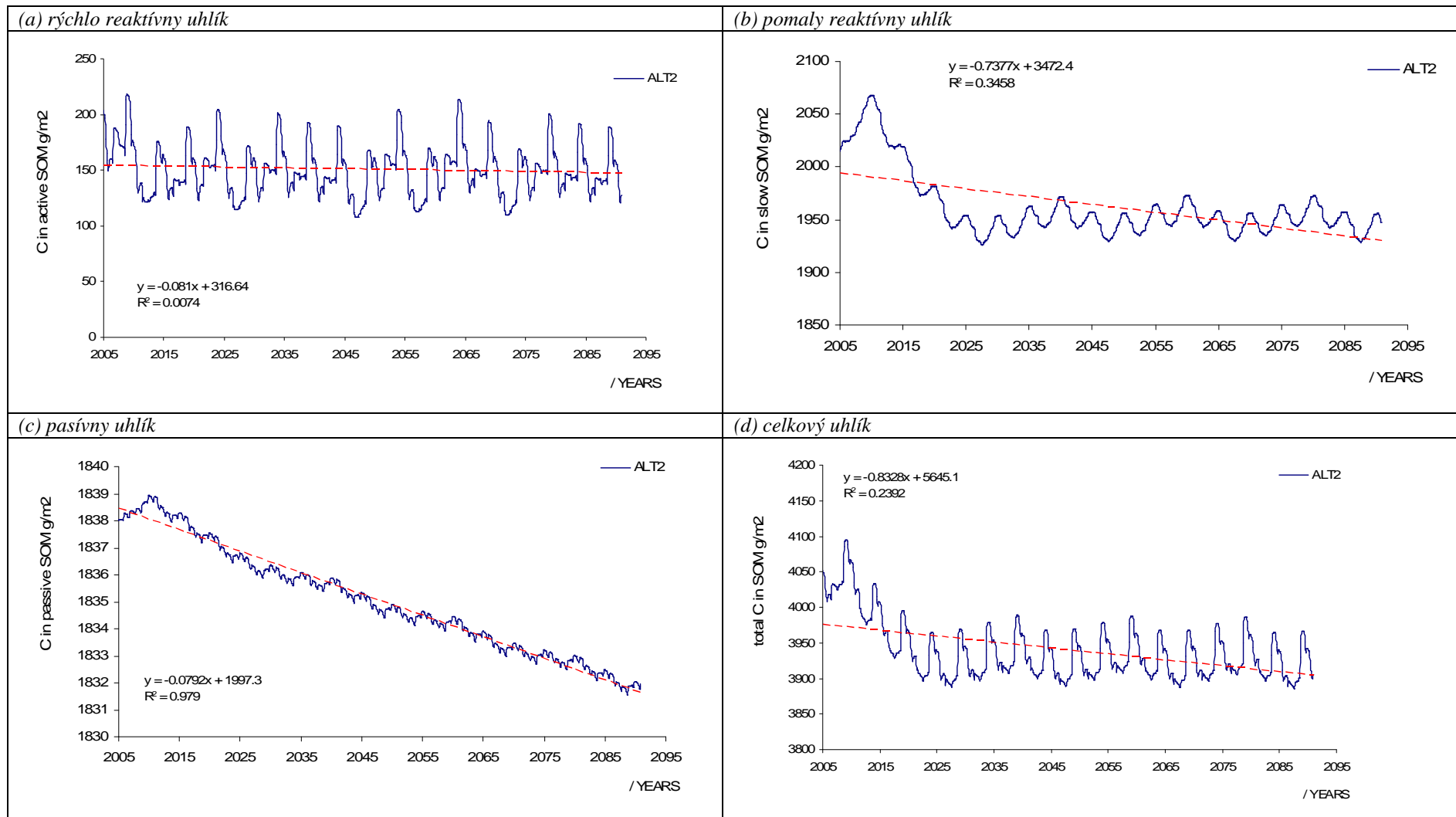
Obr. 3 Výsledky simulácie CENTURY2090 pre jednotlivé frakcie pôdneho uhlíka pri konvenčnej alternatíve oševného postupu (KONV)



Obr. 4 Výsledky simulácie CENTURY2090 pre jednotlivé frakcie pôdneho uhlíka pri nezavlažovanej a hnojenej alternatíve oševného postupu (ALT1)



Obr. 5 Výsledky simulácie CENTURY2090 pre jednotlivé frakcie pôdneho uhlíka pri nezavlažovanej a nehnojenej alternatíve oševného postupu (ALT2)



Na druhej strane suché počasie a pokles vstupov uhlíka do pôdy v prípade nezavlažovaného variantu sa prekvapujúco významnejšie neprejavilo na celkových zásobách uhlíka v pôde. Model CENTURY2090 dokonca predpokladá v sledovanom období 2005-2090 mierny nárast zásob uhlíka v pôde, v priemere o 1,6 % pri C_L , 3,3 % pri C_S , 0,2 % pri C_P a o 1,8 % pri C_{TOT} oproti konvenčnému osevnému postupu.

Takýto nárast však nie je výsledkom rastúceho trendu v sekvestracii uhlíka (ten je naopak klesajúci), ale veľmi rýchlej počiatkovej inicializácie jeho zložiek vo vnútri modelu. Jednotlivé frakcie uhlíka sú rýchlo ustálené (v priebehu simulovaného obdobia 2001-2005) do rovnováhy s nižším dekompozičným faktorom, ktorý je funkciou vlhkosti a teploty pôdy. Model CENTURY predpokladá pokles faktoru dekompozície o približne 30 % pri ALT1 a ALT2 oproti konvenčnému osevnému postupu.

Predĺženie suchej periódy a skrátenie obdobia intenzívneho mikrobiálneho rozkladu pri vynechaní závlah, navyše v pôdach s prítomnosťou karbonátov, podmieňuje stabilizáciu humusu černoziemného typu, predovšetkým humínových kyselín a fulvokyselín. Otázkou ostáva, do akej miery môžu byť absolútne zásoby uhlíka v pôde blízke realite a do akej miery sú len výsledkom vnútornej kalibrácie modelu. V každom prípade sú tieto zmeny len malé a možno konštatovať, že ani v prípade vynechania závlah scenár CENTURY 2090 neočakáva zásadné zmeny v zásobách uhlíka v pôde. Alternatíva osevného postupu, pri ktorej sa nepoužijú N, P hnojivá a umelá závlaha vedie k zníženiu zásob uhlíka vo všetkých jeho pôdnych zložkách.

ZÁVER

Scenár dopadu očakávanej klimatickej zmeny na sekvestraciu uhlíka a dusíka na poľnohospodárskej pôde bol simulovaný pomocou modelu CENTURY2090 v časovom horizonte do roku 2090. Vybraný bol scenár priebehu počasia navrhnutý pre stanicu Hurbanovo a pôdna situácia opísaná profilom černozieme čiernicovej karbonátovej (ČMS 400130) v katastri obce Pribeta, ktorá má veľmi priaznivé fyzikálne aj chemické vlastnosti. Pre účely modelovania bol navrhnutý 5-ročný osevný postup ozimná pšenica – kukurica – ovos (na zeleno) – lucerna – lucerna v konvenčnom prevedení, teda zavlažovaný a hnojený N,P hnojivami, a dve alternatívy: (i) bez umelých závlah a (ii) bez závlah a hnojenia minerálnymi hnojivami.

Výsledky modelu ukazujú, že v prípade konvenčného zavlažovania a doplnkového hnojenia dusíkom a fosforom sa pri zvolenom osevnom postupe neočakávajú vážne zmeny v zásobách uhlíka a dusíka ani v jednej zo zložiek SOM. Trend zmeny klímy sa výrazne neprejavil ani v jednom zo sledovaných indikátorov sekvestrácie C a N.

Vynechanie závlah z osevného postupu indikuje len veľmi mierny klesajúci trend v zásobách pôdneho uhlíka v horizonte 2090. Výrazný pokles vo výnosoch a následne aj znížené vstupy uhlíka do pôdy je sprevádzaný zníženou mineralizáciou humusu v suchých periódach. Otvorenou otázkou ostáva, či takéto zostepnenie ekotopu v skutočnosti podmieni černoziemnú genézu humusu ako to predpokladá model. Scenár do roku 2090 však neočakáva dramatické zmeny v zásobách humusu v pôde ani pri nezavlažovanej alternatíve.

Tretia alternatíva osevného postupu s vylúčením hnojenia N a P aj závlah slúži ako referenčná „nulová“ alternatíva pre odhad dopadov zavlažovania a hnojenia na sekvestraciu uhlíka a dusíka. Simulácie ukazujú, že hlavne nedostatok živín spôsobí výrazne klesajúci trend v zásobách uhlíka, a to hlavne v pomalej a pasívnej zložke SOM. Tento negatívny trend je spôsobený predovšetkým prudkým poklesom v biomase koreňov a nadzemných tiel rastlín za živinového deficitu.

Celkovo v prípade modelovania dopadov predpokladanej klimatickej zmeny na pôdny typ černozem čiernicová nedôjde k zásadnejším stratám uhlíka, ani k zmene pomeru C/N. Ide o veľmi kvalitnú pôdu s vysokou bonitnou hodnotou, ktorá dokáže dlhodobjšie zachovať prirodzené pôdne vlastnosti.

Záverom treba tiež dodať, že celkový priebeh simulácie je citlivý na vstupné hodnoty a interpretácia modelového riešenia je relevantná pre konkrétny typ pôdy a jej využitie.

LITERATÚRA

- Barančíková, G. 1998: Structure of humic acids in Slovak soil types. In: Zaujec, A., Gonet, S.S., Bielek, P.: Humic Substances in Ecosystems. VÚPOP Bratislava, SPU Nitra, 1998, pp. 29-33.
- Jurčová, O., 1998: Plant remains nutrient potential. In: Zaujec, A., Gonet, S.S., Bielek, P.: Humic Substances in Ecosystems. VÚPOP Bratislava, SPU Nitra, 1998, p. 93-101.
- Jurčová, O., 2001: The quality and quantity of organic substances in plant remains. In: Zaujec, A., Bielek, P., Slawomir, S.G.: Humic Substances in Ecosystems 4. VÚPOP Bratislava, SPU Nitra, 2001, pp. 51-63.
- Jurčová, O., Torma, S., 2001: Metodika kvantifikácie živinového potenciálu rastlinných zvyškov. VÚPOP Bratislava, 2001.
- Kobza, J. et al., 2002: Monitoring pôd Slovenskej republiky – súčasť stav a vývoj monitorovaných vlastností pôd. VÚPOP Bratislava, 2002.
- Lapin, M., Damborská, I., Melo, M., 2001: Scenáre súborov viacerých vzájomne fyzikálne konzistentných klimatických prvkov. Národný klimatický program SR, VI, No. 11, SHMÚ a MŽP SR, Bratislava, 2001, 5-30.
- Metherell, A.K., Harding, L.A., Cole, C.V., Parton, W.J., 1993: Century Manual – Agroecosystem Version 4.0. Great Plains System Research Unit Technical Report No. 4. USDA-ARS, Fort Collins Colorado.
- Parton, W.J., Schimel, D.S., Cole, C.V., Ojima, D.S., 1987: Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. Soil Science Society of America Journal 51: 1173-1179.
- Parton W.J., McKeown, B., Kirchner, V., Ojima, D. 1992: User manual for the Century model, 1992.
- Sanford Jr., R.L., W.J. Parton, D.S. Ojima, D.J. Lodge. 1991. Hurricane effects on soil organic matter dynamics and forest production in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico: Results of simulation modelling. Biotropica 23(4a):364-372
- Schaap, M.G., 2000: Rosetta Version 1.2. U.S. Salinity Laboratory ARS-USDA 450 w. Big Springs Road Riverside, CA 92507. hydrological/water quality model for mesoscale watersheds.
- Takáč, J. et al., 2006: Prebiehajúca klimatická zmena a jej dopady na rozvoj spoločnosti. Súhrnná záv. správa ŠPVV “Aktuálne otázky rozvoja spoločnosti”. Hydromeliorácie, š.p., 109s.