

Vplyv klimatických parametrov na modelovanie zásob pôdneho organického uhlíka modelom RothC

Influence of climate parameters on modelling of the soil organic carbon stock by RothC model

G. BARANČIKOVÁ

Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava, regionálne prac. Prešov, Raymannova 1, 08001 Prešov, Slovakia
(e-mail: bar@vupop.sk)

Abstract Soil organic matter presents a major pool of carbon in the biosphere and it can act both as a source and a sink for carbon and other greenhouse gases. At present time as a consequence of climate changes and rapid changes in the land use and the land management is a very important task of prediction of the soil organic carbon (SOC) stock in future time.

For modelling of SOC stock on agriculture land of Slovakia it was decided to use RothC-26.3 model, because of its simplicity and the availability of data to run the model. The RothC-26.3 model requires weather data, soil data and land use data.

Parameterisation of the model on several soil monitoring localities was done. On two of them influence of temperature (T) changes on finale output of SOC stock was study. Preliminary results show that increasing of average T about 10C decrease of finale output of SOC during 12years of modeling period about 1t/ha. Exact influence of T on finale output of SOC stock depends also on the soil, the land use and the land management data, mainly on plant residues and farmyard manure C input.

Key words: soil organic carbon, RothC- 26.3 model, modelling, temperature

Úvod

Pôdna organická hmota (POH) predstavuje hlavný zdroj organického uhlíka (Cox) v biosfére a v závislosti od podmienok môže eliminovať alebo sequestrovať skleníkové plyny v životnom prostredí. Sprievodným znakom intenzifikácie poľnohospodárstva (zmena kultúr, premena pasienkov na ornú pôdu, nízky prísun kvalitnej organickej hmoty) môže byť postupné znižovanie stavu POH, ktoré v konečnom dôsledku môže znamenať zníženie poľnohospodárskej produkcie, zvýšenie erózie, záplav, zhutnenia pôdy i zníženie pufrovacej schopnosti pôdy.

Vo všeobecnosti, každý pôdny typ je pri dosiahnutí rovnovážneho stavu charakterizovaný určitým intervalom obsahu Cox. Tiež je všeobecne známe, že orné pôdy obsahujú nižšie množstvo organického uhlíka ako pasienky, resp. vysokohorské lúky na tom istom pôdnom type (Guo, Gifford, 2002).

V dôsledku klimatických zmien a pomerne rýchlych zmien v hospodárení na pôde sa do popredia dostáva otázka krátkodobého aj dlhodobého prognózovania stavu POH na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Pri riešení tejto problematiky nám výrazným spôsobom môže pomôcť využitie modelovania zásob organického uhlíka pri predpokladaných zmenách klímy, resp. hospodárenia na pôde.

V súčasnosti je známych viacero modelov, ktoré sa využívajú pri zisťovaní stavu organického uhlíka v pôde, pričom najznámejšie a najviac využívané sú CENTURY, RothC a DAISY (Muller, 2000). RothC model bol pôvodne

vyvinutý a parametrizovaný na modelovanie kolobehu organického uhlíka na orných pôdach Rothamstedských dlhotrvajúcich poľných experimentov. Neskôr bol rozšírený na modelovanie kolobehu Cox aj na pasienkoch, resp. trvalých trávnych porastoch (Coleman, Jenkinson, 2005). Niektorí autori publikovali využitie RothC aj v lesných pôdach (Falloon a kol. 1998a, Keryn a Polglase, 2004). RothC model je možné aplikovať v časovom období od niekoľkých rokov až po stáročia a bol testovaný v dlhotrvajúcich experimentoch v rámci veľkého rozsahu pôdnych typov a klimatických podmienok v Európe (Coleman a kol. 1997, Smith a kol. 1997). Vo väčšine prípadov sa modely testujú pri lokálnych experimentoch s detailným popisom prírodných podmienok a s podrobnou charakteristikou jednotlivých zásahov do pôdy (Falloon a Smith, 2002, 2003). V poslednom období sa však čoraz častejšie uplatňujú aj pri modelovaní a prognózach uhlíka v regionálnom rozsahu (Falloon a kol. 1998a, Wesemael a kol. 2004, 2005) aj na poľnohospodárskych pôdach celej krajiny (Barančíková, 2005). V súčasnosti bol RothC model využitý aj pri prognózovaní zmien uhlíka v poľnohospodárskych pôdach Európy pre obdobie rokov 1990-2080 (Smith a kol. 2005).

RothC model sme sa rozhodli využiť v rámci projektu APVV: Modelovanie prognóz stavu pôdnej organickej hmoty pri krátkodobom i dlhodobom prognózovaní stavu pôdneho organického uhlíka (POC) na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Aby bolo možné tento model aplikovať aj v našich podmienkach bolo nevyhnutné jeho testovanie na konkrétnych pôdnych lokalitách. Prvé úspešné testovanie RothC modelu bolo uskutočnené na dlhotrvajúcom pôdnom experimente v Žabčiciach na Morave (Barančíková,

Pospíšilová, 2006). Testovanie vhodnosti aplikácie RothC na Slovensku bolo realizované na piatich kľúčových monitorovacích lokalitách, ktoré zohľadňujú rozdielne pôdne typy a klimatické oblasti. Podrobné zhodnotenie validácie ROTHC-26.3 na vybraných lokalitách Slovenska je uvedené vo Vedeckých prácach VUPOP (Barančíková, 2007). V tomto príspevku sa zameriame na sledovanie vplyvu teploty na konečnú zásobu POC v priebehu 12 ročného modelovania na dvoch lokalitách (Macov, Nacina Ves), s rozdielnymi pedologickými ako aj klimatickými parametrami.

Materiál a metódy

Popis lokalít

Lokalita Macov sa nachádza na Podunajskej rovine v nadmorskej výške 120 m v okrese Dunajská Streda. Klíma na tejto lokalite je teplá, suchá, s miernou zimou a dlhším slnečným svitom. Pôdny typ je čiernica modálna-karbonátová, zrnitostne hlinitá.

Lokalita Nacina Ves je lokalizovaná v nadmorskej výške 122 m na Východoslovenskej nížine na Laboreckej nive. Klimatická oblasť na tejto lokalite je teplá, mierne vlhká s chladnou zimou. Pôdny typ je fluvizem glejová, zrnitostne ílovitá.

Na kľúčových monitorovacích lokalitách sa od roku 1994 každoročne stanovuje percento organického uhlíka v hĺbke 0-10 cm.

Popis modelu ROTHC 26.3

Pre korektný priebeh použitia ROTHC modelu sú nevyhnutné tri skupiny vstupných údajov:

- klimatické údaje
- pôdne údaje
- údaje o využití pôdy a o hospodárení na pôde

Klimatické údaje

ROTHC model vyžaduje priemerné mesačné hodnoty zrážok (mm), priemernú mesačnú teplotu vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) a mesačné hodnoty evapotranspirácie. Priemerná mesačná teplota vzduchu sa častejšie využíva ako teplota pôdy, nakoľko pre väčšinu modelovaných lokalít sa dá ľahšie získať a dostatočne reprezentuje priemernú teplotu pôdy v ornici (Coleman, Jenkinson, 2005). Priemerné mesačné úhrny zrážok a teploty vzduchu boli získané z meteorologickej stanice Gabčíkovo pre lokalitu Macov a z meteorologickej stanice Kamenica nad Cirochou pre lokalitu Nacina Ves. Mesačné hodnoty evapotranspirácie sa vypočítali na základe priemernej mesačnej teploty podľa empirického Thornthwaitovho vzorca (Shaw, 1994).

Pôdne údaje

Základné pôdne údaje nevyhnutné pre priebeh modelovania sú: percento ílovej frakcie, hĺbka pôdy (cm), počiatočný stav pôdneho organického uhlíka POC v tC/ha, inertný organický uhlík (IOM).

Na oboch kľúčových lokalitách sa stanovuje organický uhlík v hĺbke 0-10 cm, a hodnoty Cox sa stanovujú v percentách. Tieto hodnoty Cox sa prepočítajú na základe hodnôt objemovej hmotnosti pre danú lokalitu a hĺbku pôdy na pôdny organický uhlík (POC) v t/ha. Inertný organický uhlík v ROTHC modeli predstavuje malú, stabilnú a biologicky inertnú frakciu pôdneho uhlíka s vysokým rádiouhlíkovým vekom. Ak nie sú k dispozícii údaje IOM získané z rádiouhlíkových údajov, inertný organický uhlík je možné vypočítať z hodnoty počiatočného stavu organického uhlíka podľa Falloona (Falloon a kol. 1998b). Počiatočné údaje o množstve uhlíka ako aj IOM hodnoty a percentuálne zastúpenie ílovej frakcie na jednotlivých lokalitách sa nachádzajú v tabuľke 1.

Údaje o využití pôdy a hospodárení na pôde

Základné údaje nevyhnutné pri modelovaní ROTHC sú následovné: pôdny pokryv, mesačný vstup rastlinných zvyškov (tC/ha), mesačný vstup organického hnojiva (tC/ha), faktor kvality rastlinných zvyškov (DPM/RPM pomer). Vstup rastlinných zvyškov je množstvo uhlíka vstupujúceho do pôdy mesačne a vypočíta sa na základe úrody hlavného produktu a hodnoty prepočítavacieho koeficientu pre dané rozpätie úrod podľa Jurčovej (Jurčová a Bielek, 1997).

Množstvo uhlíka vstupujúceho do pôdy z maštalného hnoja (MH) sa uvádza oddelene, nakoľko vstup org. uhlíka z použitého maštalného hnoja sa líši od vstupu z čerstvých rastlinných zvyškov (Colenamn, Jenkinson, 2005) a vypočíta sa tiež podľa Jurčovej (Jurčová a Bielek, 1997).

Odhad rozkladu vstupujúceho rastlinného materiálu reprezentuje pomer DPM/RPM. V modeli ROTHC-26.3 je pôdny organický uhlík rozdelený do štyroch aktívnych zložiek a malého množstva inertnej organickej hmoty (IOM). Štyri aktívne zložky predstavujú:

- rozložiteľný rastlinný materiál (DPM: decomposable Plant Material)
- rezistentný rastlinný materiál (RPM: resistant Plant Material)
- mikrobiálna biomasa (BIO)
- humifikovaná organická hmota (HUM)

Uhlík vstupujúci z rastlinných zvyškov je rozdelený medzi DPM a RPM v závislosti od pomeru DPM/RPM vstupujúceho rastlinného materiálu. Pre väčšinu poľnohospodárskych plodín a kosených tráv je pomer DPM/RPM=1.44.

Osevný postup, úrody jednotlivých plodín, hnojenie maštalným hnojom (MH) a ďalšie agrotechnické údaje zo sledovaných lokalít sú uvedené v predchádzajúcej práci (Sobocká a kol. 2006). Priemerné vstupy uhlíka rastlinných a koreňových zvyškov, resp. maštalného hnoja pre jednotlivé lokality sú uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1 Základné pôdne údaje, meteorologické stanice, vstupy uhlíka z rastlinných zvyškov a maštalného hnoja pre testované kľúčové lokality

Lokalita	Pôdny typ	Meteorologická stanica	% ílovej frakcie	POC (t/ha)	IOM (t/ha)	C rastl. zvyškov (t/ha)	C MH (t/ha)	C rovnovážne (t/ha)
Macov	ČA	Gabčíkovo	44	25,8	1,96	1,11	0,4	0,66
Nacina Ves	FMg	Kamenica n/Cirochou	66	21,1	1,58	0,77 (1994-1998) 1,25 (1999-2005)	1,46	0,47

Porovnanie modelovaných a experimentálne zistených hodnôt POC bolo uskutočnené na základe strednej kvadratickej odchýlky RMSE.

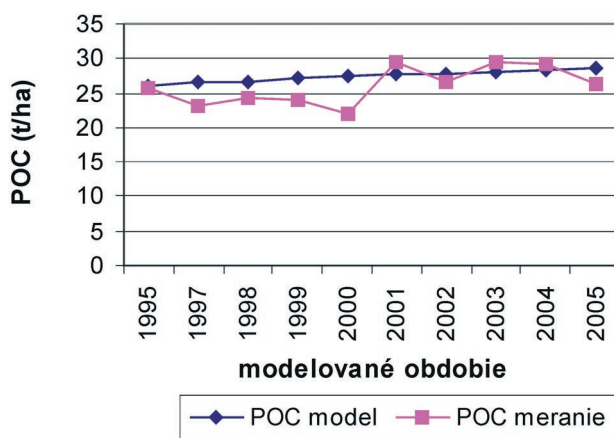
Na testovanie vplyvu teploty na konečnú zásobu pôdneho organického uhlíka boli použité hodnoty z troch klimatických scénarov:

- Scenár A: priemerné klimatické údaje na obdobie 1993-2004
- Scenár B: priemerné klimatické údaje za obdobie 1961-1991
- Scenár C: reálne mesačné klimatické údaje za obdobie 1993-2004.

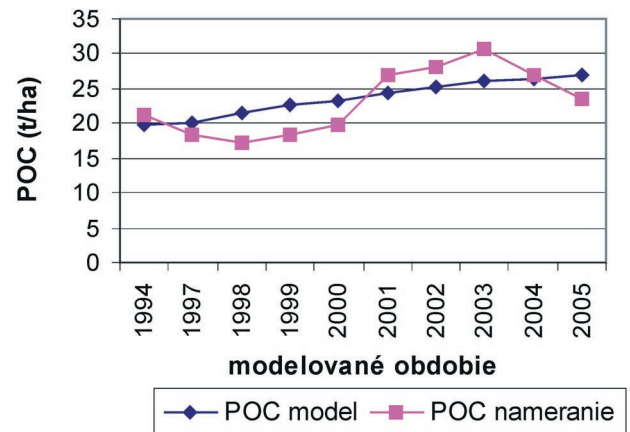
Výsledky a diskusia

Validácia modelu RothC: Porovnanie modelových a experimentálne stanovených údajov POC za obdobie 1994-2005

Zhoda medzi modelovými a experimentálne stanovenými hodnotami POC bola na základe strednej kvadratickej odchýlky (RMSE) na lokalite Macov 10% a na lokalite Nacina Ves 13,8 %. Ako je možné vidieť na obr. 1 a 2 na oboch lokalitách počas sledovaného obdobia bol zaznamenaný nárast POC, ktorý bol zreteľnejší na lokalite Nacina Ves. Pokiaľ v prípade modelu je nárast POC na tejto lokalite pozvoľný, namerané hodnoty majú skôr sínusoidný charakter (Obr. 2).



Obr. 1 Porovnanie modelových a nameraných údajov POC (t/ha) na lokalite Macov



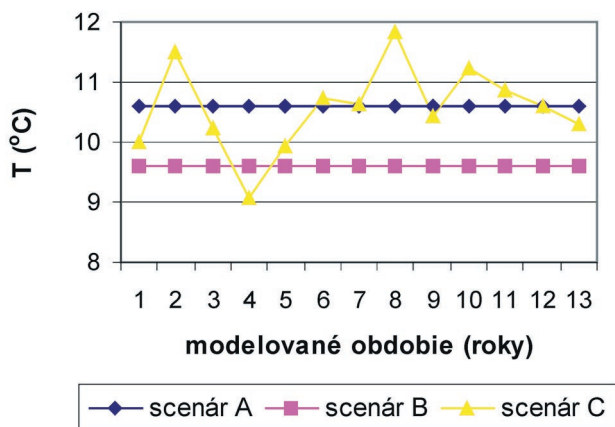
Obr. 2 Porovnanie modelových a nameraných údajov POC (t/ha) na lokalite Nacina Ves

Napriek nedostatočným údajom o vstupe uhlíka z rastlinných zvyškov, resp. MH zhoda medzi nameranými a modelovanými hodnotami POC bola uspokojivá, keďže na oboch sledovaných lokalitách sa hodnoty RMSE pohybovali v rozmedzí 10-13,8%. V literatúre sa hodnoty RMSE modelu RothC na dlhotrvajúcich poľných experimentoch pohybujú v rozpätí 2-30% (Smith a kol. 1997, Falloon a Smith, 2002). Na základe dosiahnutých výsledkov sa domnievame, že RothC model s dostatočnou presnosťou dokáže modelovať reálne hodnoty pôdneho organického uhlíka v orných pôdach Slovenska na rôznych pôdnych typoch, zrnitostnom zložení aj v rozdielnych klimatických podmienkach. Podrobnejšie zhodnotenie vývoja jednotlivých zložiek POC v priebehu modelovania je uvedené v inej našej práci (Barančíková, 2007).

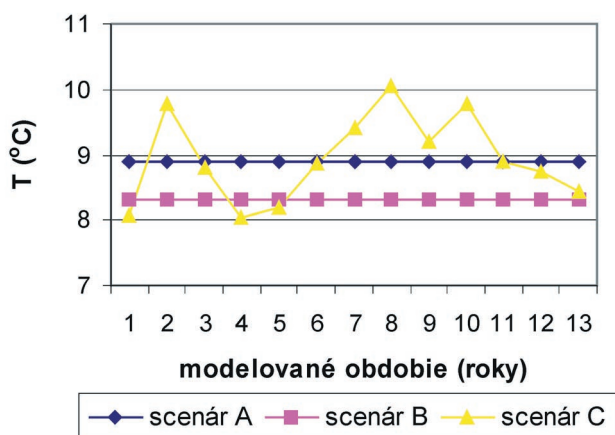
Testovanie vplyvu teploty na hodnoty POC (výstupy modelovania)

Pri testovaní vplyvu teploty na modelovaný obsah organického uhlíka v pôde RothC modelom sme použili tri rozdielne klimatické scenáre. Pri scenári A ako vstupné údaje boli použité priemerné hodnoty teploty, vlhkosti a evapotranspirácie za modelované obdobie 1993-2005. Nakoľko najstaršie hodnoty klimatických parametrov z oboch meteorologických staníc bolo možné získať od roku 1961, pri scenári B boli použité priemerné hodnoty klimatických parametrov za obdobie 1961-1993. Tieto údaje sme použili aj ako vstupné údaje pri stanovení rovnovážneho

stavu uhlíka. Priemerná hodnota teploty (T) za obdobie 1961-1993 bola podstatne nižšia ako za obdobie 1993-2005. Pri scenári C boli použité reálne mesačné hodnoty v jednotlivých rokoch za modelované obdobie 1993-2005, pričom priemerné hodnoty T v scenári A a C boli rovnaké a rozdiel teplôt medzi scenárom B na jednej strane a scenármi A a C na druhej strane bol v prípade meteorologickej stanice Gabčíkovo 1 °C a v prípade meteorologickej stanice Kamenica nad Cirochou 0.6 °C (obr. 3, 4).



Obr. 3 Hodnoty T troch scenárov meteorologickej stanice Gabčíkovo pri modelovaní POC na lokalite Macov

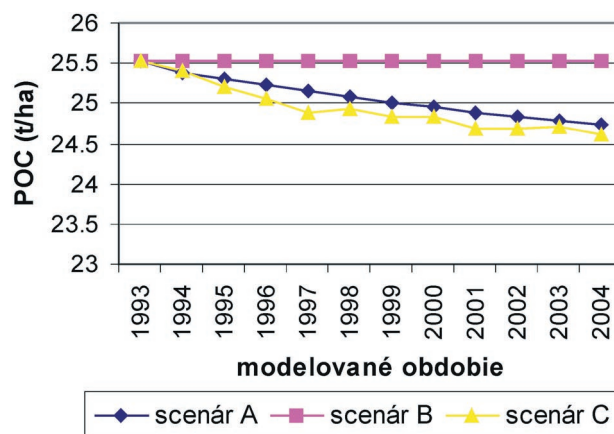


Obr. 4 Hodnoty T troch scenárov meteorologickej stanice Kamenica nad Cirochou pri modelovaní POC na lokalite Nacina Ves.

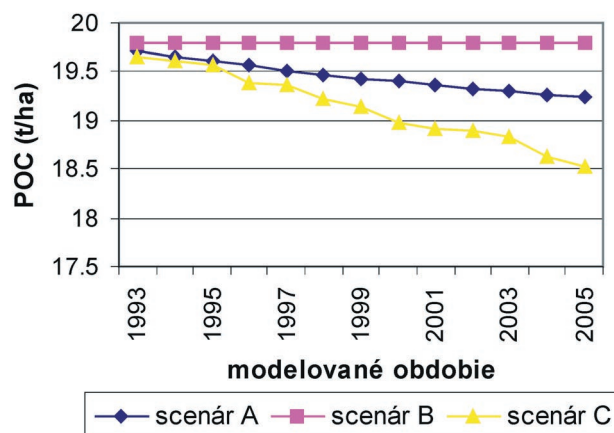
Aby bol vplyv teploty na modelované hodnoty POC zreteľný, vstupná hodnota uhlíka, ktorá dominantne ovplyvňuje hodnoty POC pri modelovaní bola totožná s rovnovážnou hodnotou pri všetkých troch klimatických scenároch. Nakoľko klimatický scenár B bol použitý pri stanovení rovnovážnej hodnoty POC a počas modelovania bol vstup uhlíka totožný s rovnovážnou hodnotou (oba vstupné parametre pri variante B sa nemenili), výstupné hodnoty POC na tomto variante počas celého modelovaného obdobia boli nemenné (obr. 5, 6).

Ako je možné vidieť z obr. 5 a 6, na oboch sledovaných lokalitách pri vyšších teplotách (scenáre A a C) pozorujeme

pokles hodnôt pôdneho organického uhlíka, pričom pri scenári A je tento pokles rovnomerný a hodnoty POC sú o niečo vyššie (počas modelovaného obdobia 12 rokov) ako pri scenári C, napriek tomu, že priemerné hodnoty klimatických parametrov sú identické. Rozdiel medzi scenármi A a C spočíva v tom, že pokiaľ pri scenári A sú počas celého obdobia modelovania použité priemerné hodnoty klimatických parametrov, pri scenári C sú použité reálne mesačné hodnoty v jednotlivých rokoch. Použitie skutočných mesačných hodnôt klimatických parametrov v jednotlivých rokoch sledovaného časového obdobia ako vstupných parametrov pri modelovaní POC namiesto priemerných podáva reálnejší odraz vplyvu teploty na modelové hodnoty pôdneho organického uhlíka, ktoré sú po určitom počiatocnom období o niečo nižšie ako pri použití priemerných hodnôt (Obr. 5, 6). Rozdiel medzi modelovanými hodnotami POC pri scenároch A a C na oboch sledovaných lokalitách závisí predovšetkým na maximálnych kladných, resp. záporných (vyššia, resp. nižšia skutočná teplota ako priemerná) odchýlok od priemerných hodnôt klimatických parametrov.



Obr. 5 Priebeh modelovania POC na lokalite Macov pri troch klimatických scenároch a inpute uhlíka totožnom s rovnovážnym stavom



Obr. 6 Priebeh modelovania POC na lokalite Nacina Ves pri troch klimatických scenároch a inpute uhlíka totožnom s rovnovážnym stavom

Ako je možné vidieť z obr. 5 a 6 už za relatívne krátke obdobie (12 rokov) sa pri vyššej teplote (scenáre A,C) znížilo množstvo pôdneho organického uhlíka takmer o 1 t/ha na oboch sledovaných lokalitách, nakoľko zvýšením teploty sa zvyšuje rozklad POC a teda hodnoty pôdneho organického uhlíka klesajú (Webb a kol.2003). Uvedenú tendenciu strát organického uhlíka v dôsledku postupného zvyšovania teploty v období rokov 1990-2080 uvádza aj Smith (Smith a kol. 2005) na poľnohospodárskych pôdach 15 krajín EÚ a na orných pôdach Európskeho Ruska a Ukrajiny pre obdobie 1990-2070 (Smith a kol.2007)

Záver

Výsledky validácie (porovnanie modelových a experimentálne stanovených hodnôt POC) modelu RothC-26.3 ukázali, že tento model s dostatočnou presnosťou dokáže modelovať reálne hodnoty pôdneho organického uhlíka v orných pôdach Slovenska na rôznych pôdnych typoch a je vhodný na modelovanie dlhodobého prognózovania stavu pôdneho organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. V tejto práci sme sa sústredili predovšetkým na testovanie vplyvu teploty na hodnoty POC získané modelovaním. Dosiahnuté výsledky sú v súlade s výsledkami ostatných odborníkov, ktorí sa venujú tejto problematike a ukazujú, že pri vyššej teplote dochádza k rýchlejšej mineralizácii POC a jeho zásoby v pôde sa znižujú. Všetky v súčasnosti vypracované klimatické scenáre udávajú postupné zvyšovanie teploty v blízkej budúcnosti aj na Slovensku, ktoré môžu mať, ako ukázali naše predbežné modelové výsledky, nepriaznivý stav na zásoby organického uhlíka v pôdach Slovenska. Z uvedeného dôvodu bude potrebné zabezpečiť zvýšený prísun kvalitnej organickej hmoty (vhodný oševný postup, zaorávanie pozberových zvyškov, aplikácia kvalitného maštalného hnoja) aby sme eliminovali negatívny vplyv zvyšujúcej sa teploty na zásoby organického uhlíka v pôde.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0333-06.

Literatúra

[1] Barančíková, G., van Wesemael, B., Lettens, S., Roelandt, C., 2005. Application of RothC. 26-3 Model at the regional scale; a case study for Belgian agricultural soils. Zborník z konferencie: Humic Substances in Ecosystems 6, 9-12

[2] Barančíková, G., Pospíšilová, E., 2006: Simulácia stavu pôdneho organického uhlíka na dlhotrvajúcom experimente za použitia modelu RothC 26.3. Pedogenez a kvalitatívny zmeny pud v podmínkach prírodných a antropicky ovplyvnených území. Šarapatka, B., Bednář, M.(eds.) Sborník referátu z 11. pedologických dnu Kouty nad Desnou, 20.-21.9.2006. Olomouc, 97-102.

[3] Barančíková, G., 2007: Validácia modelu RothC na vybraných monitorovacích lokalitách pôd Slovenska. Vedecké práce, č.29, v tlači

[4] Coleman, K., Jenkinson, D. S., Crocker, G. J., Grace, P. R., Klir, J., Korschens, M., Poulton, P. R., Richter, D. D., 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3. *Geoderma*, 81, 29-44.

[5] Coleman, K., Jenkinson, D.S., 2005. RothC-26.3 A model for the turnover of carbon in soil. Model description and windows users guide, November 1999 issue (modified April, 2005), 45 str, http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/aen/carbon/mod26_3_win.pdf

[6] Falloon, P. D., Smith, P., Smith, J. U., Szabo, J., Coleman, K., Marshall, S., 1998a. Regional estimates of carbon sequestration potential: linking the Rothamsted Carbon Model to GIS databases. *Biology and Fertility of Soils* 27, 236-241.

[7] Falloon, P., Smith, P., Coleman, K., Marshall, S., 1998b: Estimating the size of the inert organic matter pool from total soil organic carbon content for use in the Rothamsted carbon model. *Soil Biol. Biochem.* vol. 30, č. 8/9, 1207-1211

[8] Falloon, P., Smith, P., 2002. Simulating SOC changes in long-term experiments with RothC and CENTURY: model evaluation for a regional scale application. *Soil Use and Management* 18, 101-111.

[9] Falloon, P., Smith, P., Szabo, J., Pasztor, L., 2002. Comparison of approaches for estimating carbon sequestration at the regional scale. *Soil Use and Management* 18, 164-174.

[10] Falloon, P., Smith, P., 2003. Accounting for changes in soil carbon under the Kyoto Protocol: need for improved long-term data sets to reduce uncertainty in model projections. *Soil and Use Management* 19, 265-269.

[11] Guo, L. B., Gifford, R. M., 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8, 345-360.

[12] Jurčová, O., Bielek, P., 1997: Sorces, losses and balance of soil organic matter. Zborník z konferencie: Humic Substances in Environment 1, Polish Humic Substances Society, 9-12

[13] Keryn, P., Polglase, P., 2004. Calibration of the RothC model to turnover of soil carbon under eucalypts and pines. 3rd Australian New Zealand Conference, 5-9 December 2004, str. 1-3, www.regional.org.au/au/assi/

[14] Muller, C., 2000: Modelling Soil-Biosphere Interactions. New York, 104-116.

[15] Shaw, E., 1994. Hydrology in practice. London: Chapman & Hall, 259-271.

[16] Smith, P. Smith, J. U., Powlson, D. S., McGill, W. B., Arah, J. R. M., Chertov, O. G., Coleman, K., Franko, U., Frolking, S., Jenkinson, D. S., Jensen, L. S., Kelly, R. H.M., Klein-Gunnewiek, H., Komarov, A. S., Li, C., Molina, J. A. E., Mueller, T., Parton, W.J., Thorney, J.H.M., Whitmore, A.P., 1997: A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma* 81, 153-225.

[17] Smith J., Smith, P., Wattenbach, M., Zaehle, S., Hiederer, R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Rounsevell, M., Reginster, I., Ewert, F., 2005: Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands, 1990-2080. *Global Change Biology*, 11, 2141-2152

[18] Smith, J., Smith, P., Wattenbach, M., Gottschalk, P., Romanenkov, V.A., Ševcova, L.K., Sirotenko, O.D., Rukhovič, D.I., Koroleva, P.V., Romanenko, I.A., Lisovoj, N.V., 2007: Projected changes in the organic carbon stocks of cropland mineral soils of European Russia and the Ukraine, 1990-2070. *Global Change Biology*, 13, 342-354.

[19] Sobocká, J., Balkovič, J., Barančíková, G., Dodok, S., Jaďuďa, M., Skalský, R., Šurina, B., Trasovičová, Z., Vilček, J. 2006: Detekcia a cielená regulácia pôdnych zdrojov SR vo vzťahu ku klimatickej zmene. *Priebežná správa, VÚPOP*, 134 str.

[20] Webb, J., Bellamy, P., Loveland, P.J., Goodlass, G., 2003: Crop residue returns and equilibrium soil organic carbon in England and Wales. *Soil Sci. Soc. Am.J.*, 67, 928-936

[21] van Wesemael, B., Lettens, S., Roelandt, C., Van Orshoven, J., 2004: Changes in soil carbon stocks from 1960 to 2000 in the main Belgian cropland areas. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* , 8, 133-139.

[22] van Wesemael, B., Lettens, S., Roelandt, C., Van Orshoven J., 2005: Modelling the evolution of regional carbon stocks in Belgian cropland soils. *Can. J. Soil .Sci.*, 85, 511-521.