

## VPLYV TEPLoty NA PÔDNU RESPIRÁCIU V LESNOM EKOSYSTÉME A NA KALAMITNEJ PLOCHE TANAPu

### Influence of temperature on soil respiration on forest ecosystem and on the windfall area in TANAP

Nora Mezeiová<sup>1</sup>, Peter Fleischer<sup>2</sup>, Jaroslav Škvarenina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra prírodného prostredia, TU Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

<sup>2</sup>Výskumá stanica a múzeum TANAPu, 059 60 Tatranská Lomnica

#### Abstrakt

Terestriálne ekosystémy majú dôležitú úlohu v globálnom cykle uhlíka. Pôdna respirácia tvorí primárnu cestu, ktorou CO<sub>2</sub> fixovaný rastlinami sa vracia do atmosféry.

Vetrová kalamita z 19. novembra 2004 vo Vysokých Tatrách postihla územie o veľkosti 12 000 ha zahrňujúc 2,3 mil. m<sup>3</sup> drevnej hmoty. Jedna z najväčších veterných kalamít v histórii strednej Európy podnietila rozsiahly medzinárodný ekologický výskum.

Pôdnu respiráciu sme merali použitím prenosného uzatvoreného systému s Vaisala CARBOCAP hand – held carbon dioxide meter GM70. Pôdna komora bola umiestňovaná na fixované miesta (kruhy, ktoré pokrývali 0,071 m<sup>2</sup>) a boli zapustené do zeme 5 – 10 cm. Pôdna respirácia bola pri meraní korigovaná teplotou a atmosférickým tlakom.

Pôdna respirácia ukazuje veľkú priestorovú časovú variabilitu, čo je z veľkej miery ovplyvnené meteorologickými zmenami. Keďže pôdna respirácia je kombinovaným tokom z koreňov a mikroorganizmov z rôznych hĺbok pôdy, viacero faktorov a ich interakcií ovplyvňuje množstvo pôdnej respirácie. Jedným z najviac dominujúcich faktorov ovplyvňujúcich pôdnu respiráciu je teplota pôdy.

**Kľúčové slová: pôdna respirácia, teplota, TANAP**

#### Abstract

Terrestrial ecosystems play an important role in the global carbon cycle. Soil respiration is the primary path by which CO<sub>2</sub> fixed by land plants returns to the atmosphere.

A windstorm on November 19, 2004 in the High Tatra Mts. downed 12 000 ha comprising the wood volume of 2,3 mil m<sup>3</sup>. One of the largest windfall in history of central Europe initiated an extensive international ecological research.

Soil respiration was measured using a portable closed dynamic system with Vaisala CARBOCAP hand – held carbon dioxide meter GM70. The soil chamber was placed on fixed collars (each covering 0,071 m<sup>2</sup>) with 5 – 10 cm inserted into the soil. Soil respiration values were directly corrected by temperature and atmospheric pressure.

Soil respiration shows large spatial and temporal variation, which is largely influenced by meteorological changes. Since soil respiration is a combined flux from roots and microorganisms from different soil depths, several factors and their interactions affect soil respiration rates. One of the most dominant factors affecting the soil respiration rate is soil temperature.

**Key words: soil respiration, temperature, TANAP**

## Úvod

Rastúci atmosférický CO<sub>2</sub> a teplota pravdepodobne menia ekosystémový cyklus uhlíka, spôsobujú pozitívne aj negatívne zmeny klímy. Podzemné procesy hrajú dôležitú úlohu v globálnom cykle uhlíka, pretože regulujú zásobu veľkého množstva C a potenciálne sú veľmi citlivé na priame aj nepriame zmeny nadzemného CO<sub>2</sub> a teploty. Zásoby pôdnej organickej hmoty, koreňov a spojených rizosférych organizmov majú priamy vplyv na environmentálne zmeny, podobne ako dostupnosť C v substráte, ktorá môže regulovať všetky reakcie.

Vzhľadom na rozlohu lesov (40 mil. km<sup>2</sup>) a schopnosť dlhodobo viazať uhlík majú lesné ekosystémy významné miesto v globálnom cykle uhlíka. Lesy viažu uhlík v živej biomase, rozkladajúcich sa zvyškoch organickej hmoty a v pôde. Boreálne lesy, kam často zaraďujú aj tatranské lesy, viažu až 3 t C/ha ročne. V posledných rokoch sa rizikom pre akumuláciu C v lesoch stáva narastajúca časová i priestorová škála disturbancií. Zvýšená mineralizácia organickej zložky pôdy spôsobuje uvoľnenie C do atmosféry. Doteraz však chýbajú poznatky o dynamike C po veľkoplošných prírodných katastrofách (MURAY et al. 2000, DON et al., 2006).

Pôdy môžu prírodnými procesmi akumulovať a uvoľňovať značné množstvo uhlíka zahrňujúc ukládanie opadu, dekompozíciu a respiráciu koreňov (SINGH a GUBTA, 1977; RAICH a SCHLESINGER, 1992; SUNDQUIST, 1993). Všeobecne pôdny systém obsahuje trikrát viac uhlíka ako nadzemná biomasa (SCHLESINGER, 1990; DIXON a TURNER, 1991).

Tok uhlíka z pôdy do atmosféry nastáva primárne vo forme CO<sub>2</sub> a je výsledkom „pôdnej respirácie“. Pôdna respirácia reprezentuje kombinovanú respiráciu koreňov a pôdnych mikro- a makro – organizmov. Odhady veľkosti tohto toku sú od 68 Pg C/rok (RAICH a SCHLESINGER, 1992) do 100 Pg C/rok (MUSSELMAN a FOX, 1991), čo robí pôdnu respiráciu jedným z hlavných tokov C v globálnom cykle, druhým pre veľkú primárnu produkciu, ktorej sa odhaduje rozsah od 100 do 120 Pg C/rok (HOUGHTON a WOODWELL, 1989). Len malé zmeny v pôdnej respirácii môžu takto vyrovnať alebo prevýšiť ročný vstup CO<sub>2</sub> do atmosféry, cez zmeny využívania krajiny a/alebo spaľovanie fosílnych palív, a môžu signifikantne zhoršiť, alebo zmenšiť, atmosférický nárast CO<sub>2</sub>, s vyplývajúcou spätnou väzbou na klimatickú zmenu.

Pôdna respirácia má dve hlavné zložky, a to respiráciu koreňov rastlín (autotrofná respirácia), ktorá je spojená s energiou metabolizmu vydanou pri tvorbe nových rastlinných pletív a pri zachovávaní živých pletív; a respiráciu mikroorganizmov (heterotrofná respirácia), ktorá závisí na kvalite a kvantite substrátu, maximálnej aktivite respiračných enzýmov, dopyte po respiračných produktoch, teplote a vlhkosti.

Množstvo pôdnej respirácie ukazuje veľkú priestorovú a časovú variabilitu obe v rámci a pozdĺž miest, ktoré sú len z časti ovplyvnené meteorologickými diferenciami (RAICH a NADELHOFFER, 1989; HANSON et al. 1993; NORMAN et al. 1997). Existuje množstvo faktorov, ktoré ovplyvňujú pôdnu respiráciu. Teplota pôdy a pôdna vlhkosť sú medzi najdôležitejšími faktormi riadiacimi tok CO<sub>2</sub> (RAICH a SCHLESINGER, 1992; RAICH a POTTER, 1995; DAVIDSON et al., 1998).

Jedným z najviac dominujúcich faktorov ovplyvňujúcich pôdnu respiráciu je práve teplota pôdy. Tok uhlíka z pôdy je vysoko senzitívny na zmeny teploty povrchu pôdy a relatívne malé zmeny v povrchovej teplote môžu mať veľký vplyv na veľkosť toku C z pôdy. Biochemické reakcie prebiehajú len za optimálnych teplotných podmienok a ich rýchlosť je závislá na teplote. Všeobecne platí, že so vzrastajúcou teplotou rýchlosť respirácie rastie.

Optimálna teplota pre pôdnu respiráciu, je teoreticky taká, pri ktorej biologické procesy majú maximálny vzrast (s inými faktormi prostredia sa stávajú konštantné), ak teplota

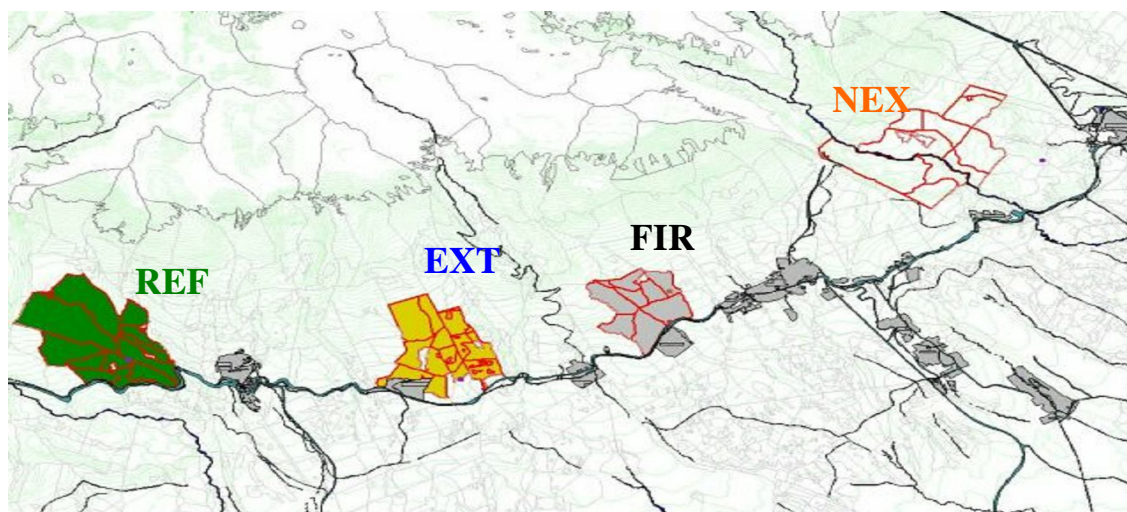
varíruje v širokom rozsahu. Toto optimum pre pôdnu respiráciu môže tiež závisieť na teplotnom režime pôdy, keďže existuje fyziologická adaptácia organizmov na ich prostredie (FANG a MONCRIEFF, 2001).

## Metodika

Veterná kalamita z 19.novembra 2004 v Tatranskom národnom parku a následné postihnutie územia požiarom 30.júla 2005 spôsobili zmeny v oblasti pôdy, vody, ovzdušia, živočíšstva, vegetácie, krajiny a pod., čo viedlo k následnému výskumu. Výskumné objekty boli starostlivo vybrané s prihliadnutím na reprezentatívnosť, porovnateľnosť, výmeru, dostupnosť a doterajšie výskumné aktivity (Obr. 1) (FLEISCHER, 2008).

Boli založené štyri výskumné objekty s rozlohou každého 100 hektárov podľa druhu poškodenia a následného manažmentu:

- REF – kalamitou nepostihnutá plocha – táto plocha sa nachádza nad Vyšnými Hágami, slúži ako referenčná;
- FIR – kalamita bola čiastočne spracovaná a následne plocha bola postihnutá požiarom;
- EXT – kalamita bola spracovaná, drevná hmota tu bola extrahovaná, následné zalesňovanie;
- NEX – kalamita bola na tejto ploche ponechaná na samovývoj.



**Obr. 1:** Zobrazenie výskumných objektov (FLEISCHER, 2008).

Všetky štyri výskumné objekty sa nachádzajú približne v rovnakej nadmorskej výške a to od 1000 do 1260 m n.m., majú južnú až juhovýchodnú expozíciu, sklon 5 -10%. Porasty, ktoré sa nachádzali na tomto území boli zaradené do skupiny lesných typov *Lariceto – Piceetum*. Pôdnym typom na všetkých výskumných plochách je kambizem podzolovaná. Výskum pôdy potvrdil rovnaké podmienky (pôdny typ, hĺbka, zrnitosť, pH) na výskumných plochách. Pôdne prostredie je vo všeobecnosti kyslé až veľmi kyslé (pH 3,0–4,5), podiel piesčitej frakcie je nad 70 %, hlinitej okolo 20 % a ílu menej ako 10 %. Podiel skeletu sa pohybuje v rozmedzí 5–20 %, Výnimkou je plocha EXT, na ktorej dosahuje až 50 % (FLEISCHER et al. 2008).

Pôdnu respiráciu meriame manuálne gazometrickou metódou s uzavretým systémom a IRGA sondou a to pomocou CARBOCAP Hand-Held Carbon Dioxide Meter GM70 od firmy Vaisala. Na meracej sonde CO<sub>2</sub> nastavujeme korekciu pre teplotu v °C a tlak vzduchu

v mb, ktoré zisťujeme pri každom meraní (pomocou teplomeru Radelkis, Barometra Suunto, Finland). Koncentráciu CO<sub>2</sub> sonda meria v ppm (parts per million). Pri meraní používame bezodné komory, ktoré sa skladajú z trvalo osadených kruhov (valcov) s priemerom 30cm a výškou 20cm, ktoré sú spodným okrajom zapustené do zeme asi 10cm. Druhou súčasťou bezodných komôr je vrch komory, ktorý je z toho istého materiálu, s priemerom 30 cm a výškou 15 cm. Na styčnej hrane je tesnenie pre dôkladné uzavretie týchto dvoch častí komory. Do stredu vrchnej časti komory vkladáme sondu prístroja Vaisala CARBOCAP Hand – Held Carbon Dioxide Meter GM70. Vo vrchnej časti komory je tiež inštalovaný malý ventilátor, ktorý zabezpečuje premiešavanie vzorky vzduchu v komore. Tlak v komore je s okolitým prostredím vyrovnávaný pomocou 20 cm dlhej teflónovej trubičky a priemerom 4 mm, keďže pri meraní toku CO<sub>2</sub> z pôdy môže dochádzať k rozdielom tlaku vzduchu medzi komorou a jej okolím. Pôdnu respiráciu sme merali približne 10 minút, pričom sa hodnoty koncentrácie CO<sub>2</sub> zaznamenávajú každých 5 sekúnd. Pri meraní sme sa zameriavame len na pôdnu respiráciu, preto vyrastajúcu vegetáciu pred meraním vždy vystrihneme. Tok CO<sub>2</sub> z pôdy sme z nameraných hodnôt rastu koncentrácie vypočítali zo stavovej rovnice pre plyny:

$$F_{cs} = \frac{aPVS_m}{RTA}$$

kde:

V – je objem komory (m<sup>3</sup>),

A - je plocha pôdy zakrytá komorou (m<sup>2</sup>),

S<sub>m</sub> – je prírastok koncentrácie CO<sub>2</sub> (mol C mol<sup>-1</sup>suchého vzduchu s<sup>-1</sup>) v priestore komory počas merania,

T – je teplota vzduchu v komore (K) počas merania v každej komore,

P – je atmosférický tlak (Pa),

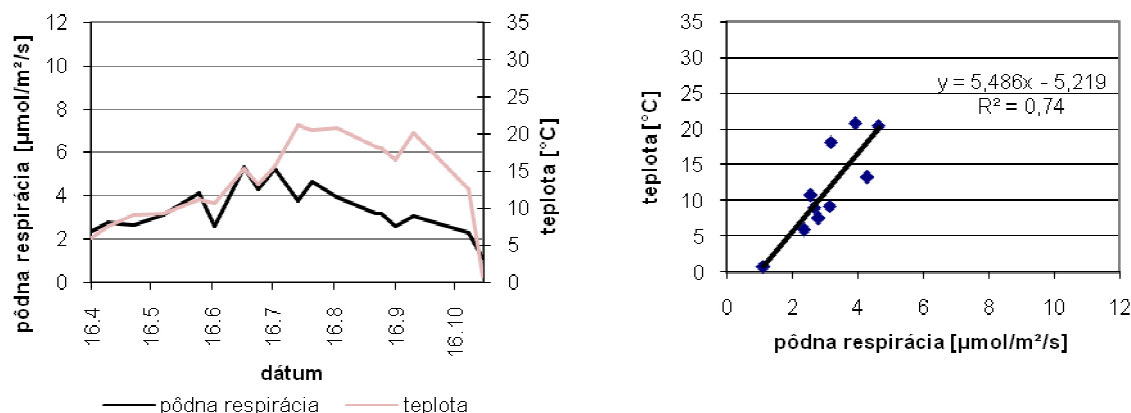
R - je univerzálna plynová konštanta (8,314 J mol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>).

Korekčný faktor a, je založený na stratách CO<sub>2</sub> z priestoru komory počas merania z príčin adsorpcie na stenách komory, úniky cez tesnenie komory.

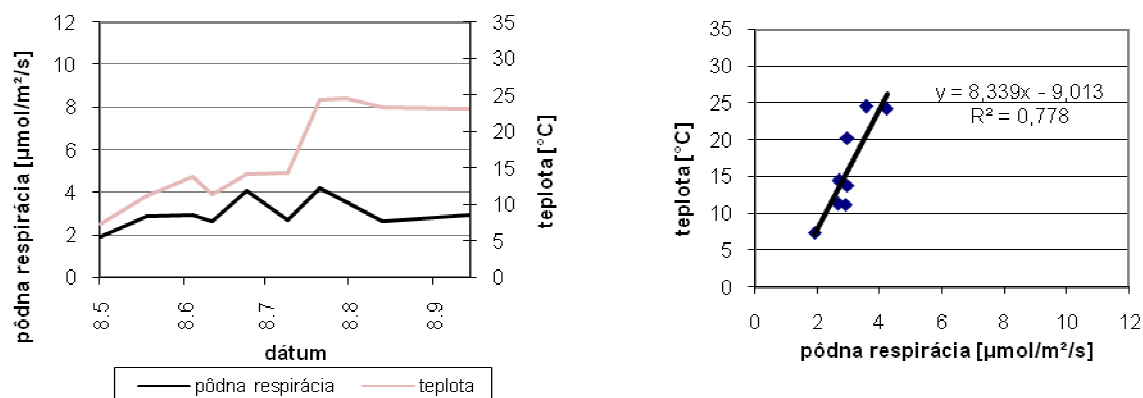
## Výsledky a diskusia

Teplota vzduchu vo vegetačnom období v roku 2009 bola v priemere 0,4 °C nad dlhodobým priemerom. Medzi jednotlivými kalamitnými plochami boli zaznamenané len minimálne rozdiely v teplote okrem referenčnej plochy, kde priemerná teplota počas vegetačného obdobia bola o 2 °C nižšia ako na ostatných kalamitných plochách (FLEISCHER et al., 2009).

Na všetkých našich plochách môžeme vidieť, počas sezóny 2009, koreláciu medzi pôdnou respiráciou a teplotou vzduchu v komore (MIŠÍKOVÁ et al., 2009b; FLEISCHER et al., 2009b). Viacero autorov uvádza pozitívnu koreláciu medzi teplotou a pôdnou respiráciou (SINGH a GUBTA, 1977; LLOYD a TAYLOR 1994; PAVELKA et al., 2007). Priebeh pôdnej respirácie a teploty na jednotlivých plochách je znázornený na obr. 2 - 5. Koeficient korelácie na jednotlivých plochách REF, EXT, FIR, NEX v tomto poradí bol r<sup>2</sup> = 0,85; r<sup>2</sup> = 0,74; r<sup>2</sup> = 0,81; r<sup>2</sup> = 0,78.

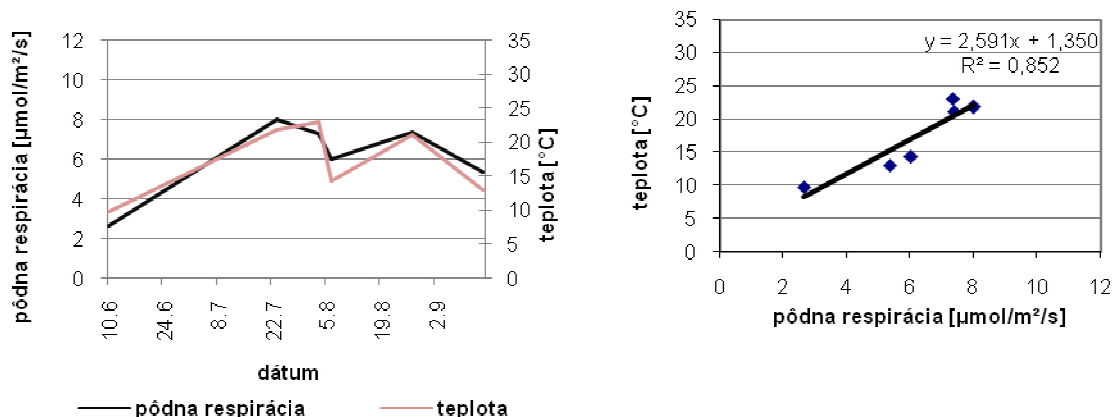


**Obr. 2:** Priebeh pôdnej respirácie a teploty na ploche postihnutej kalamitou (EXT) v sezóne 2009 (vľavo), korelačný vzťah pôdnej respirácie a teploty (vpravo).

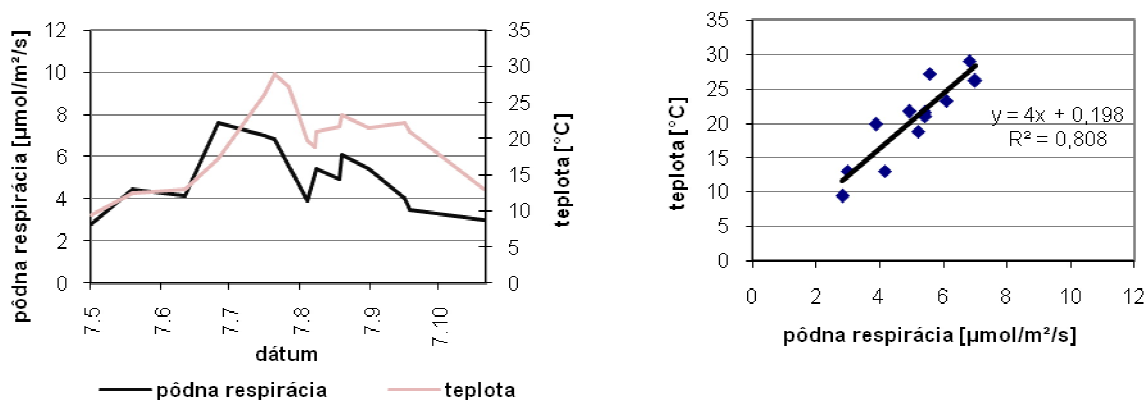


**Obr. 3:** Priebeh pôdnej respirácie a teploty na ploche postihnutej kalamitou a ponechanej na samovývoj (NEX) v sezóne 2009 (vľavo), korelačný vzťah pôdnej respirácie a teploty (vpravo).

Ďalej porovnáme plochy REF a FIR, ktoré množstvom pôdnej respirácie sú podobné, ale výrazne sa líšia podmienkami prostredia, teda les a kalamitná plocha. Plocha REF ako plocha stojaceho lesa vytvára svoju mikroklimu typickú pre les. Plocha FIR, ako plocha postihnutá kalamitou vytvára extrémnejšie podmienky, čo sa týka teploty a to nie len plochy ako celku ale aj v mikroklimatickom meradle (MIŠÍKOVÁ et al., 2009). Najvyššie hodnoty pôdnej respirácie sme namerali na týchto plochách REF a FIR ( $11,85 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ,  $11,29 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) a to v období keď teplota v roku dosahovala najvyššie hodnoty, konkrétne 23. a 22. júla roku 2009, kedy boli zaznamenané teploty pri meraní pôdnej respirácie na ploche REF  $26,6^{\circ}\text{C}$  a na ploche FIR  $28,9^{\circ}\text{C}$ . Naopak najnižšie hodnoty pôdnej respirácie sme zaznamenali na začiatku a na konci vegetačného obdobia. Na referenčnej ploche sme v roku 2009 mali pomerne málo meraní, preto nami zaznamenaná najnižšia hodnota je až 10. júla a to  $1,99 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  pri teplote  $9,8^{\circ}\text{C}$ . Na ploche spáleniska (FIR) sme najnižšiu hodnotu pôdnej respirácie zaznamenali až na konci, resp. po skončení vegetačného obdobia, a to  $1,56 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , 27. októbra 2009, pri teplote  $6,79^{\circ}\text{C}$ .



**Obr. 4:** Priebeh pôdnej respirácie a teploty na ploche stojaceho lesa (REF) v sezóne 2009 (vľavo), korelačný vzťah pôdnej respirácie a teploty (vpravo).



**Obr. 5:** Priebeh pôdnej respirácie a teploty na kalamitnej ploche postihnutej požiarom (FIR) v sezóne 2009 (vľavo), korelačný vzťah pôdnej respirácie a teploty (vpravo).

V dôsledku zvýšenia teploty by mohlo dôjsť k intenzívnejšiemu rozkladu pôdnej organickej hmoty a následne k vyššej produkcii  $\text{CO}_2$  (KULHAVÝ, 2002). Na druhej strane narastajúca koncentrácia  $\text{CO}_2$  v atmosfére môže vyvolať „hnojivý efekt“ u pôd a viesť k vyššej rastlinnej produkcii. Tieto úvahy sa vzťahujú najmä pre polohy v stredných a vyšších nadmorských výškach. Keďže so stúpajúcou nadmorskou výškou klesá teplota vzduchu a stúpa úhrn zrážok, možno predpokladať aj zmeny v mikrobiálnej aktivite pôd a v súvislosti s ňou aj zmeny v dekompozícii a mineralizácii organickej hmoty. Potenciálne zvýšenie koncentrácie  $\text{CO}_2$  v póroch pôdy môže byť dôležitým parametrom pôdnych zmien. Môže mať vplyv na fyziologické procesy rastlín, na skladbu a vitalitu pôdnej flóry a fauny. Zmena klímy a zmena teploty sú preto najdôležitejšie.

V štúdiu KIRSCHBAUM (1995) sa pojednáva o tom, že existuje veľký potenciál pozitívnej spätnej väzby v obrovskom množstve C, ktoré je aktuálne viazané do organickej hmoty v pôde. Nebezpečné je, že tento uhlík môže byť uvoľnený prostredníctvom globálneho otepľovania, a tak značne pridaný do  $\text{CO}_2$  v atmosfére. V tomto kontexte je znepokojujúce, že teplota vo vyššej zemepisnej šírke sa predpokladá, že narastie významnejšie ako v regiónoch, kde je teraz teplejšie.

## Záver

Výskum pre túto prácu sa uskutočnil na štyroch rôznych výskumných plochách, založených po vetrovej kalamite z 19. novembra 2004. Tieto plochy boli založené s ohľadom na poškodenie a následný manažment danej lokality. Porovnávacou plochou bola referenčná plocha REF (stojaci referenčný les).

Na všetkých štyroch výskumných plochách počas sezóny 2009 sme zistili koreláciu medzi pôdnou respiráciou a teplotou pôdy. Koeficient korelácie na jednotlivých plochách REF, EXT, FIR a NEX v tomto poradí bol  $r^2 = 0,85$ ;  $r^2 = 0,74$ ;  $r^2 = 0,81$ ;  $r^2 = 0,78$ . Najvyššie hodnoty pôdnej respirácie sme namerali na plochách REF a FIR ( $11,85 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  a  $11,29 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) a to v období, keď teplota dosahovala maximálne hodnoty v roku. Naopak najnižšie hodnoty pôdnej respirácie ( $1,99 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) sme zaznamenali na začiatku a na konci vegetačného obdobia spolu s poklesom teploty.

Množstvo uhlíka v pedosfére je dvojnásobne vyššie ako v atmosfére (MELILLO et al., 1990), zmeny v tejto zásobe môžu mať značnú spätnú väzbu na množstvo  $\text{CO}_2$  v atmosfére a tým na globálne otepľovanie. Relatívne straty alebo prirastanie uhlíka v pôdach je podmienené vzájomným pôsobením fyzikálnych, chemických a biologických faktorov. Musíme ďalej zlepšovať naše chápanie týchto procesov pre získanie lepšieho porozumenia pravdepodobných budúcich vzťahov medzi globálnym cyklom uhlíka a klimatickou zmenou, a tak byť schopní adekvátne predpokladať podstatu vplyvov spätnej väzby, ktoré podčiarkuje pôdna a atmosférická zásoba uhlíka. RAICH a POTTER (1995) a tiež v IPCC (1996) sa uvádza, že zmeny klímy a využívania krajiny majú potenciál zvýšiť alebo znížiť tok  $\text{CO}_2$  z pôdy. Zmeny v teplote a zrážkach a tiež zmeny z lesného na poľnohospodárske využívanie krajiny alebo zmena manažmentu môžu ovplyvniť pôdnu respiráciu, a tak zásobu uhlíka v terestriálnych ekosystémoch.

## Pod'akovanie

Autori ďakujú za podporu projektu VEGA MŠ SR No. 1/0642/10 a projektu "Centrum excelentnosti: Integrovaný manažment povodí v meniacich sa podmienkach prostredia", na základe podpory OP Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja na základe zmluvy č. 26220120062.

## Použitá literatúra

- DAVIDSON, E. A., BELK, E., BOONE, R. D., 1998: Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology* 4. 217 – 227.
- DIXON, R. K., TURNER, D. P., 1991: The global climate cycle and climate change: responses and feedbacks from belowground systems. *Environmental Pollut.* 72, 245 – 262.
- DON, A., FRAUBAUER, A., BARWOLF, A., NEBELUNC, K., SCHRUMPF, M., SCHULZE, E. D., 2006: C and N cycling on soils after a wind throw in the High Tatra Mts. Poster. Book of abstracts. Open Science Conference, The CHG cycle in Northern Hemisphere, Sissi Lasithi, Crete, p. 210.
- FANG, C., MONCRIEFF, J. B., 2001: The dependence of soil  $\text{CO}_2$  efflux on temperature. In: *Soil Biology & Biochemistry* 33., 155 – 165.
- FLEISCHER, P., 2008: Windfall research and monitoring in the High Tatra Mts., objectives, principles, methods, and current status. In: *Contribution to Geophysics and Geodesy* 38/3, 233 -248.
- FLEISCHER, P., HYBLER, J., 2008: Teplota a vlhkosť vzduchu na trvalých výskumných plochách pokalamitného výskumu. In: P. Fleischer, F. Matejka (eds): Pokalamitný

- výskum v TANAPe 2008, Zborník príspevkov, Tatranská Lomnica, 25 – 26 okt. 2008, Bratislava: Geofyzikálny ústav SAV. CD-ROM.
- FLEISCHER, P. a kol. 2009: Selected climate conditions in 2009 on the windfall. In: Homolová, Z., Fleischer, P. (eds.): Pokalamitný výskum v TANAPe 2009, Zborník prezentácií zo IV. seminára. VS ŠL TANAPu.
- FLEISCHER, P., FLEISCHER, P. (ml), 2009: Vlhkosť pôdy v r. 2009 v lesných porastoch postihnutých vetrovou kalamitou v novembri 2004 vo Vysokých Tatrách. In: Tužinský, L., Gregor, J. (eds): Vplyv vetrovej kalamity na vývoj lesných porastov vo Vysokých Tatrách, TU Zvolen, s. 21 – 31.
- HANSON, P. J., WULLSCHLEGER, S. D., BOHLMAN, S. A., TODD, D. E., 1993: Seasonal and topographic patterns of forest floor CO<sub>2</sub> efflux from an upland oak forest. *Tree Physiology* 13, 1 – 15.
- HOUGHTON, R. A. & WOODWELL, G. M., 1989: Global climate change. *Scientific American* 260, 36 – 44.
- IPCC, 1996: Climate Change 1995: The science of Climate Change. Houghton, J. H., Meira Filho, L.G., Callander, B. A., Harris, N., Kattenberg, A., a Maskell, K. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 572 s.
- KIRSCHBAUM, M. U. F., 1995: The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biology and Biochemistry* 27, 753 – 760.
- KULHAVÝ J., 2002: Hodnocení změn v lesních půdách v důsledku očekávané klimatické změny. *Lesnická práce*, 81, 109 – 111.
- LLOYD, J., TAYLOR, J. A., 1994: On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology* 8, 315 – 323.
- MELILLO J. M., CALLAGHAN T. V., WOODWARD F. I., SALATI E., SINHA S. K., 1990: Effects on ecosystems. In: *Climate Change: the IPCC Scientific Assessment* (J.T. Houghton, G. J. Jenkins, J. J. Ephraums, Eds.), 283 – 310. University Press, Cambridge.
- MIŠÍKOVÁ, N., ŠKVARENINA, J., 2009: Mikroklimatické podmienky kalamitnej plochy požiariska v Tatranskom národnom parku a jej zmeny. In: *Meteorologický časopis, Meteorological Journal* 1, Slovenský hydrometeorologický ústav. 31 – 36.
- MURRAY, B. C., PRISLEY, S. P., BIRDSEY, R. A., SAMPSON, R. N., 2000: Carbon sink in the Kyoto Protocol – potential relevance for us foresters, *J. For.*, 6 – 11.
- MUSSELMAN, R. C. & FOX, D. G., 1991: A review of the role of temperate forests in the global CO<sub>2</sub> balance. *Journal of the Air and Waste Management Association* 41, 798 – 807.
- NORMAN, J. M., KUCCHARIK, C. J., GOWER, S. T., BALDOCCHI, D. D., CRILL, P. M., RAYMENT, M. B., SAVARAGE, K., STRIEGL, R. G., 1997: A comparison of six methods for measuring soil – surface carbon dioxide fluxes. *Journal of Geophysical Research* 102, 28773 – 28777.
- PAVELKA, M., ACOSTA, M., MAREK, M. V., KUTSCH, W., JANOUŠ, D., 2007: Dependency of the Q<sub>10</sub> values on the depth of soil temperature measuring point. *Plant and Soil*, 292. 171 – 179.
- RAICH, J. W., NADELHOFFER, K. J., 1989: Belowground carbon allocation in forest ecosystems: global trends. *Ecology* 70, 1346 – 1354.
- RAICH, J. W., SCHLESINGER, W. H., 1992: The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. In: *Tellus* 44B, 81 – 99.
- RAICH, J. W., POTTER, CH. P., 1995: Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. In: *Global biogeochemical cycles* 9, 23 – 36.
- SCHLESINGER, W. H., 1990: Evidence from chronosequence studies for a low carbon – storage potential of soils. *Nature* 348, 232 – 234.



SINGH, J. S., GUBTA, S. R., 1977: Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. The botanical Revue 43, 449 – 528.

SUNDQUIST, E., 1993: The global carbon dioxide budget. Science 259, 934 – 941.

**Kontaktná adresa:**

Ing. Nora Mezeiová, PhD., Katedra prírodného prostredia, TU vo Zvolene, T. G. Masaryka  
24, 960 53 Zvolen, nora.misikova@gmail.com