

RESPIRÁCIA MŔTVEHO DREVA – METODICKÝ POSTUP A PRIEBEŽNÉ VÝSLEDKY

Peter Fleischer, st. • Peter Fleischer, ml. • Ľuboš Slameň • Jozef Rozkošný

Fleischer, P., st., Fleischer, P., ml., Slameň, L., Rozkošný, J.: Estimation of deadwood respiration – methodological approach and preliminary results. APOL, 2019, vol. 1, no. 1, p. 73–79.

Abstract: Dead wood influences a large number of ecosystem functions. Among the most important are biodiversity support and carbon (C) cycle. Deadwood stores large but transient amount of C which is released to the atmosphere in decomposition processes. Despite strong temperature dependence and sensitivity to climate change dead wood respiration and controlling factors are still poorly understood. Here we propose simple closed chamber method for estimation of dead wood respiration which was verified on 15 year old unmanaged wind throw in the Tatra Mts. Our results indicate that large dead wood stock ($327 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) during growing season 2019 acted as a C source emitting 670 kg C ha^{-1} and reduced forest ecosystem C sequestration capacity by 10%.

Key words: greenhouse gas; natural disturbances; Norway spruce forest; carbon sequestration

Úvod

Mŕtve drevo je prirodzenou súčasťou ako prírodných, tak aj hospodársky využívaných lesných porastov. Kým v prirodzených podmienkach je výskyt nekromasy dôsledkom starnutia stromov, účinku prírodných disturbancií a kompetičných vzťahov, v hospodárskych lesoch je to prevažne dôsledok manažmentových aktivít ako sú prerezávky, prebierky, alebo zvyšky po ťažbe v starších porastoch.

Mŕtve drevo je významnou súčasťou lesného ekosystému s viacerými kľúčovými ekologickými funkciami. V ochrane biodiverzity je význam mŕtveho dreva v tom, že vytvára habitaty pre mnohé lesné druhy, napr. v Škandinávii až 25 % rastlinných a živočíšnych lesných druhov závisí na prítomnosti mŕtveho dreva (Stockland et al., 2004). Ako indikátor biodiverzity lesov sa mŕtve drevo používa v mnohých klasifikačných schémach pre prírodu blízke a trvalo udržateľné obhospodarovanie lesov, napr. MCPFE v Európe, alebo CIFOR v tropických lesoch (Brin et al., 2008). Väčší ekologický význam sa všeobecne prisudzuje hrubému mŕtvemu drevu ako vhodnejšiemu substrátu pre saproxylické druhy (Simila et al., 2003).

Mŕtve drevo má významné miesto pri recyklácii živín, tokoch energie a látok a najmä v uhlíkovom cykle. Odumreté drevo je síce len dočasným, ale významným rezervoárom terestrického uhlíka (C), ktorý je v porovnaní s inou rastlinou nekromasou viac odolný voči rozkladu (Harmon, 2009). Globálne je mŕtvom dreve uložené okolo 70 mld t, čo je 8 % z celkovo viazaného C v lesoch (Pan et al., 2011). Rozkladom dreva sa časť C vracia späť do atmosféry vo forme oxidu uhličitého (CO_2) a časť sa stáva súčasťou pôdno-organických komplexov (humusu). Globálne sa pri rozklade mŕtveho dreva ročne uvoľní až 6 – 8 mld t C, čo je takmer identické množstvo aké sa do atmosféry dostáva zo spalovania fosílnych palív (Le Quéré et al., 2013). Doba a rýchlosť rozkladu mŕtveho dreva sú veľmi variabilné. Za najvýznamnejšie abiotické faktory ktoré ovplyvňujú rýchlosť rozkladu mŕtveho dreva sa považuje teplota a vlhkosť. Z biotických činiteľov sa na rozklade dreva najviac podieľajú huby (najmä *Ascomycota* a *Basidiomycota*, ktoré spôsobujúce mäkkú, červenú a bielu hnilobu (Rajala et al., 2011). Intenzita rozkladu dreva závisí aj od abundancie a diverzity húb, ktoré sa s vekom odumretého dreva prirodzene menia (Lindner et al., 2011; Yang et al., 2016). V záverečnej fáze rozkladu dreva sa uplatňujú ektomykorizné huby, ktoré sú vektorom C a dusíka do pôdy (Makipaa et al., 2017). V menšej miere

a na rozklade dreva podieľajú baktérie a hmyz. Rozdiely v rýchlosti rozkladu sú aj medzi drevinami, čo súvisí najmä s obsahom pomaly sa rozkladajúceho lignínu (Tuomi et al., 2011; Kahl et al., 2015). No aj pre identické druhy sú publikované poznatky často protirečivé. Napr. pre smrek uvádza Mellin et al. (2009) rýchly rozklad hneď po odumretí, ale celkový rozklad dreva uvádza až po 100 rokoch. Naopak Makinen et al. (2006) zaznamenal pomalý rozklad dreva v prvých desaťročiach, ale úplný rozklad už v priebehu 60 rokov od poškodenia. V podmienkach klimatickej zmeny s narastajúcou intenzitou prírodných disturbancií sa predpokladá zvyšujúce množstvo nespracovaného dreva v lesoch, jeho rýchlejší rozklad a teda aj rast emisie C z mŕtveho dreva. Nárast mŕtveho dreva je evidentný už v súčasnosti, čo súvisí so zhoršovaním zdravotného stavu lesných porastov, ale aj so zmenou doterajších metód obhospodarovania v prospech zámerného ponechávania dreva v porastoch.

Uvoľňovanie CO₂ do atmosféry pri rozklade dreva je sprievodný znak procesu, ktorý sa v biochémií označuje ako respirácia. Rozdiel, alebo bilancia, medzi emitovaným CO₂ (alebo C) v procese respirácie a CO₂ viazaným v procese fotosyntézy v priebehu roka je vyjadrením schopnosti lesa sekvestrovať C. Po poškodení lesné ekosystémy prirodzene menia C fotosyntetizujú v dôsledku redukcie asimilačných orgánov. Ku zhoršenej bilancii C tiež prispieva zvýšená emisia CO₂ z nekromasy (asimilačné orgány, vetvy, kmene, korene) a tiež zo zvýšenej mikrobiálnej činnosti v pôde, ktorú stimuluje vyššia teplota a vlhkosť po odkrytí pôdneho povrchu. Napriek mimoriadnemu významu mŕtveho dreva pre bilanciu C a vplyvu CO₂ na klimatický systém Zeme, je o faktoroch a procesoch riadiacich rozklad a respiráciu dreva pomerne málo poznatkov (Rinne-Garmston et al., 2019).

Tokom a bilancii C sa v Tatrách venujeme od veľkoplošného poškodenia smrekových porastov v r. 2004 (Fleischer et al., 2015). Doteraz však vplyvu odumretého dreva nebola venovaná žiadna pozornosť. Potreba zahrnúť mŕtve drevo do analýz uhlíkovej bilancie narastá s postupným rozkladom dreva, ale aj zvýšenou pozornosťou spoločnosti na nízko uhlíkové hospodárenie a súčasne ochranu biodiverzity. Naším cieľom v tomto príspevku bolo zistiť, či mŕtve drevo na zámerne nemanajovaných kalamitných plochách je 15 rokov po poškodení ešte depóniom, alebo už emitom C. Ak je ponechané drevo zdrojom C, potom posúdiť ktoré faktory riadia množstvo C emitovaného do atmosféry.

Metodické postupy

Opis výskumnej plochy

Na hodnotenie emisie CO₂, resp. C z odumretého dreva sme vybrali výskumnú plochu vo Vysokých Tatrách. Plocha s označením NEX (=non extracted) reprezentuje v dlhodobom výskume lesný ekosystém, ktorý bol po veľkoplošnom poškodení vetrom v r. 2004 ponechaný bez spracovania. Výskumná plocha má výmeru približne 100 ha. Plocha je situovaná na juhovýchod orientovanom, mierne sklonenom svahu (5 – 10°) na terminálnej wurmskej moréne vo výške 1 100 – 1 150 m n. m. Na plytkej, silne skeletnej oligotrofnej kambizemi tu pred poškodením v r. 2004 rástli 80 – 100-ročné prevažne smrekové lesy spoločenstva *Lariceto-Piceetum* s primiešaným smrekovcom opadavým a borovicou lesnou (Fleischer et al., 2015). V prvých rokoch po poškodení viac C respirovala pôda z plochy NEX, ale po 10 rokoch sa rozdiely vyrovnali. Takmer identickú pôdnu respiráciu na spracovanej a nespracovanej výskumnej lokalite sme zistili v roku 2019. V posledných dvoch rokoch boli na sledovaných výskumných plochách inštalované tzv. „flux towers“, ktoré merajú bilanciu CO₂ na úrovni celého ekosystému pomocou metódy vírivej kovariancie (eddy covariance, EC). Výsledky vo vegetačnom období r. 2019 poukázali na menej priaznivú C bilanciu na ploche s nespracovanou kalamitou NEX. Doplňujúce merania však potvrdili minimálne rozdiely ako v hrubej primárnej produkcii (fotosyntéze), tak v pôdnej respirácii. To naznačovalo, že okrem respirácie pôdy, ako doteraz jediného možného zdroja C, tu bude existovať ešte ďalší zdroj.

Inventarizácia a charakteristika mŕtveho dreva

Hodnotenie množstva a kvality mŕtveho dreva sme uskutočnili na 48 plochách s rozmerom 5×5 m. Stredy meracích plôch boli umiestnené v 10 m odstupoch na 8 líniah vychádzajúcich od EC stožiaru pod uhlom 0, 45, 90, 120, 180, 210, 270, a 315°. Predmetom inventarizácie bolo mŕtve drevo (kmene, vetvy, príp. korene) hrubšie ako 2 cm. Na každej plôške sme zistili prislúchajúcu dĺžku mŕtveho dreva, hrúbku kmeňa v strede, druh dreviny, prípadne plodnice drevokazných húb a stupeň rozkladu mŕtveho dreva. Stupeň rozkladu sme posúdili podľa 4 člennej stupnice (1 – drevo tvrdé, 2 – drevo mäkké, ale kompaktné, 3 – mäkké, rozpadajúce sa, 4 – drevo rozpadnuté, čiastočne ponorené do pôdy). Pre zjednodušenie výpočtu objemu mŕtveho dreva sme všetky merané vzorky považovali za valce. Na prepočet objemu mŕtveho dreva na hmotnosť sme použili charakteristiky stanovené laboratórne (objemová hmotnosť, obsah vody) z približne 3 cm širokých kotúčov. Kotúče sme sušili voľne položené v laboratóriu (teplota 20 °C, RH 30 %) do konštantnej hmotnosti.

Respirácia mŕtveho dreva

Na stanovenie respirácie sme testovali dve metódy. Obe sú založené na sledovaní zmeny koncentrácie CO_2 za určitý čas (Δ ppm) v uzavretej v komore, kde je umiestnená vzorka mŕtveho dreva. Pri postupe podľa Kahla et al. (2015) sme na ležiaci kmeň nasadili plastový sud (výška 50 cm, priemer 30 cm) s otvoreným dnom a utesnili pomocou gumových pásov a sťahovacích popruhov okolo kmeňa. Problémom pri použití metódy bolo nasadenie komory kvôli vetvám a prístupu ku kmeňom ležiacim na zemi. Nedostatkom bolo aj nejednoznačné stanovenie objemu meranej vzorky, potrebné pre interpretáciu výsledkov. Alternatívna metóda bola založená na odobratí vzorky (výrezu) a až následnom meraní respirácie a stanovení charakteristík vzorky (rozmery, teplota, vlhkosť dreva a pod). Pre hodnotenie týmto spôsobom sme na meranie emisie CO_2 z mŕtveho dreva na výskumnej lokalite odobrali 75 náhodne vybraných vzoriek. Pomocou akumulátorovej reťazovej píly sme zo stredu každého vzorníka odrezali 25 cm dlhý klátik, ktoré sme vložili do plastového suda (výška 32 cm, priemer 34 cm) s uzatvárateľným vrchnákom. Na vrchnáku bol upevnený snímač koncentrácie CO_2 (CARBOCAP GMP 343, Vaisala, Finland). Meranie v uzavretom sude trvalo 5 min a koncentrácia CO_2 bola zaznamenávaná každých 5 s prostredníctvom datalogeru MI70 (Vaisala). Podľa stavovej rovnice sme z nameraných hodnôt zmeny koncentrácie CO_2 (ppm) vypočítali priemernú emisiu C zo štandardizovanej plochy (m^2), resp. hmotnosti (kg) alebo objemu (m^3) za časovú jednotku (s, hodina, deň, sledované obdobie) osobitne pre každý klátik. Pred samotným meraním respirácie sme na každom klátiku zmerali teplotu v hĺbke 1 cm a vo vzdialenosti 1 cm od vonkajšieho obvodu kovovým zapichovacím teplomerom. Následne sme zmerali priemer a hmotnosť klátika. Vplyv teploty, ako jeden z najvýznamnejších faktorov na rýchlosť respirácie mŕtveho dreva, sme posúdili opakovaným meraním respirácie pri rôznych teplotných podmienkach. Keďže experiment sme uskutočnili na konci vegetačného obdobia, výrazné zvýšenie teploty, zodpovedajúce vrcholu vegetačného obdobia, sme dosiahli až po prenesení vzoriek do laboratória. Odhadnutý stupeň rozkladu dreva v teréne sme upresnili na základe objemovej hmotnosti stanovenej na odobratých kotúčoch v laboratóriu. Použili sme klasifikáciu pre smrek podľa Rinne-Garmston et al. (2019), ktorá má 5 kategórií rozkladu.

Výsledky a diskusia

Inventarizácia mŕtveho dreva

Na základe meraní na 48 plochách na sledovanej lokalite NEX sme stanovili priemernú zásobu mŕtveho dreva na $327 \pm 195 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Zásoba sa na jednotlivých 2,5 árových plôškach pohybovala od 56 do $890 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, čo odráža vysokú variabilitu zásob dreva v pôvodnom poraste v dôsledku mimoriadne pestrých miestnych stanovištných podmienok. Takmer 80 % hodnotených kmeňov malo hrúbku do 25 cm. Podľa terénneho posúdenia bolo vyše 60 % hodnoteného mŕtveho dreva zaradeného do stupňa rozkladu 2, zvyšok do 3. V stupni 1 a 4 sa podľa terénneho hodnotenia nenachádzalo ži-

adne mŕtve drevo. Odhadnutá miera rozkladu pomerne dobre korešponduje s klasifikáciou Rinne-Garmston (2019) podľa laboratórne stanovenej objemovej hmotnosti (hustoty). Dobrá zhoda je najmä v oblasti strednej intenzity rozkladu. Strednému rozkladu (stupeň 2) zodpovedajú triedy II až IV so 77 % podielom (tab. 1). Počas terénneho hodnotenia sme už aj začínajúci rozklad (priemerná objemová hmotnosť dreva $0,46 \text{ g cm}^{-3}$) klasifikovali do 2. stupňa. Tieto najmenej rozložené kmene boli najčastejšie vývraty a zlomy, ktoré boli poškodené neskôr ako väčšina kalamitnej plochy. Výskyt dreva v záverečnej fáze rozkladu (V trieda) nepotvrdilo ani laboratórne hodnotenie vzoriek (kotúčov).

Tabuľka 1. Objemová hmotnosť mŕtveho dreva (g cm^{-3}) v jednotlivých triedach rozkladu (triedy rozkladu podľa Rinne-Garmston et al. 2019)

Table 1. Deadwood density (g cm^{-3}) in specific decomposition categories (classification according to Rinne-Garmston et al. 2019)

Trieda rozkladu	I	II	III	IV
Početnosť [n, %]	17 (23 %)	31 (42 %)	15 (21 %)	10 (14 %)
Priemerná objemová hmotnosť [g cm^{-3}]	0,46	0,34	0,23	0,16
SD	$\pm 0,07$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$	$\pm 0,02$
Rozpätie	0,40–0,62	0,28–0,39	0,18–0,27	0,12–0,17

Priemerná vlhkosť mŕtveho dreva bola $58,7 \pm 17,6 \%$ s rozpätím od 16 do 88 %. Vzťah medzi vlhkosťou dreva a objemovou hmotnosťou, ktorá je mierou rozkladu, sa nepotvrdil. Plodnice drevo rozkladajúcich húb boli na sledovanej lokalite veľmi zriedkavé. Zaznamenali sme len 16 nálezov, takmer výlučne druh práchnovček pásikavý (*Fomitopsis pinicola*). Typické červenohnedého sfarbenia a kockovitý rozpad dreva sme pozorovali na vyše 90 % laboratórných vzoriek a okrem práchnovčeka je pravdepodobne spôsobený aj koreňovkou vrstevnatou (*Heterobasidion annosum*), ktorú sme bez prítomnosti plodníc a mycélia nevedeli spoľahlivo identifikovať.

Respirácia mŕtveho dreva

Respiráciu sme zmerali na 76 náhodne vybratých vzorkách (25 cm výrezy zo stredu vybratého vývratu, ležiaceho alebo stojaceho zlomu). Merania sme uskutočnili v troch opakovaníach, prvé okamžite po odbere vzoriek. Meranie sme zopakovali, keď bola teplota vzoriek vyššia v priemere o $7 \text{ }^\circ\text{C}$. Tretie opakovanie sme uskutočnili po zvýšení teploty klátikov na približne $20 \text{ }^\circ\text{C}$ v laboratóriu. Priemerná respirácia vzoriek ($\text{g C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) pre jednotlivé teplotné intervaly je v tabuľke 2.

Tabuľka 2. Respirácia mŕtveho dreva ($\text{g C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) pri rôznych teplotných pomeroch

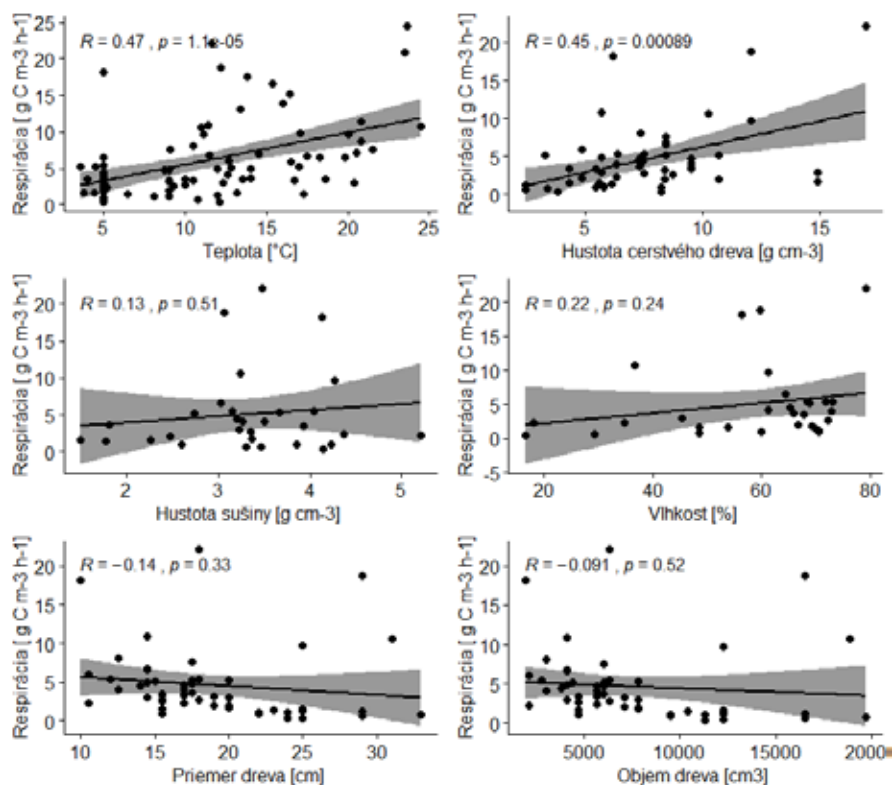
Table 2. Deadwood respiration ($\text{g C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) in different temperature intervals

Teplotný interval [$^\circ\text{C}$]	n Počet meraní	Priemerná respirácia a SD [$\text{g C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$]	min	max
3,6 – 6,5	27	$0,28 \pm 0,18$	0	0,65
8,1 – 14,5	41	$0,45 \pm 0,33$	0,03	1,31
15,4 – 26,5	30	$0,79 \pm 0,41$	0,14	1,66

Výsledky merania potvrdili predpoklad, že respirácia mŕtveho dreva štatisticky významne narastá s teplotou (obr. 1). Podľa publikovaných údajov (Kahl et al., 2015), by zvýšenie teploty o $10 \text{ }^\circ\text{C}$ malo zvýšiť hodnoty respirácie 2 až 3-násobne. Túto závislosť vyjadruje kvocient $Q_{10} = 2$, resp. 3. Hodnoty Q_{10} v našom experimente po ohriatí nad $20 \text{ }^\circ\text{C}$ však dosahovali hodnoty 5. Či sa jednalo len o okamžitú a krátkodobú reakciu na rýchle zvýšenie teploty, alebo skutočne ide o mimoriadnu citlivosť odumretého smrekového dreva v súčasnom stave rozkladu na vyššie teploty sa momentálne nedá posúdiť.

Podľa našich výsledkov respirácia klesá so stupňom rozkladu dreva. Rozdiely medzi triedami rozkladu dreva sú štatisticky významné len medzi krajnými kategóriami (trieda I a IV), ale klesajúci trend respirácie s narastajúcim rozkladom je jednoznačný. Je to prekvapujúce zistenie, lebo literatúra uvádza nárast respirácie úmerne s mierou rozkladu dreva a pokles až v záverečných štádiách rozkladu dreva (Rinne-Garmston et al., 2019). Na obrázku 2 je vzťah medzi respiráciou a objemovou hmotnosťou (hustotou), ktoré je vyjadrením miery rozkladu dreva.

Vlhkosť dreva sa pohybovala v rozpätí 20 – 70 %, čo je považované za optimálne rozpätie pre činnosť drevo rozkladajúcich húb. Prekročením hodnôt na oboch stranách intervalu sa vlhkosť stáva imitujúcim faktorom respirácie. Ako uvádzame na obrázku 1 s rastúcou vlhkosťou stúpala respirácia. Z našich výsledkov vyplýva, že rozklad a intenzita dekompozičných procesov nastupujú relatívne skoro po odumretí stromov. Jedným z dôvodov môže byť aj fakt, že väčšina mŕtveho dreva sú kmene stále spojené koreňovou časťou s pôdou, prípadne ide o kmene ležiace na zemi. Mŕtve drevo ležiace na zemi malo štatisticky významne vyššiu respiráciu ako drevo vo vzduchu, alebo stojace zlomy ($p < 0,05$). Zvýšená vlhkosť tak môže urýchľovať rozklad dreva a rýchlu emisiu C. Hodnoty respirácie z jednotlivých tried rozkladu sú v tabuľke 3.



Obrázok 1. Korelačné vzťahy (R) a ich významnosť (p) s 95 % intervalom spoľahlivosti medzi respiráciou mŕtveho dreva a sledovanými faktormi

Figure 1. Correlation (R) with 95% CI among deadwood respiration and observed factors

Tabuľka 3. Respirácia mŕtveho dreva ($\text{g C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) podľa tried rozkladu ako sú charakterizované v tabuľke 1

Table 3. Deadwood respiration ($\text{g C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) in different decomposition categories according to table 1

Trieda rozkladu	I	II	III	IV
N (počet meraní)	10	24	40	20
Priemerná respirácia	8,6	6,5	5,8	3,2
Sd	$\pm 7,1$	$\pm 5,3$	$\pm 5,5$	$\pm 1,7$

Na prepočet emisie C zo vzoriek na zásobu mŕtveho dreva na výskumnej lokalite (327 m^3) sme použili vážený priemer respirácie pre jednotlivé triedy rozkladu. Pri priemernej emisii $5,1 \text{ g C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ bude emisia C za sledované obdobie (máj – október) $6,7 \text{ g C z 1 kg sušiny}$, alebo 67 g C m^{-2} (670 kg C ha^{-1}). Pri interpretácii výsledkov sme nezohľadnili priebeh teplôt. Použili sme priemer z troch meracích termínov ($12,1 \text{ }^\circ\text{C}$), ktorý veľmi dobre zodpovedá priemernej teplote počas vegetačného obdobia na tejto výskumnej lokalite (vlastné merania).

Podľa údajov z eddy kovariančných veží (EC) lokalita NEX emitovala za porovnávacie obdobie v r. 2019 o 33 g C m^{-2} viac ako plocha so spracovanou kalamitou. To znamená, že sekvestračná schopnosť porastov na NEX bola znížená o 10 % oproti manažovaným porastom. Keďže hodnoty pôdnej respi-

rácie sú takmer identické (Fleischer et al. in prep), môžeme potvrdiť, že rozdiel je spôsobený emisiou C z mŕtveho dreva. Absolútny rozdiel 34 g C medzi teoreticky očakávanými a skutočne nameranými hodnotami je veľmi uspokojivý. Je zároveň potvrdením vhodnosti použitia komorovej metódy na stanovenie respirácie mŕtveho dreva na rozsiahlej kalamitnej ploche. Predpokladáme, že meranie respirácie počas celého vegetačného obdobia a nie len v jeho závere, by výsledné hodnoty ešte viac priblížilo údajom z EC meraní.

Záver

Zistili sme, že meranie respirácie mŕtveho dreva komorovou metódou na výrezoch je vhodná a relatívne jednoduchá metóda na zistenie okamžitej emisie C z dreva v rôznom stupni rozkladu. Výsledky potvrdili, že nespracovaná vetrová kalamita je po 15. rokoch zdrojom C a za sledované obdobie (máj – október 2019) emitovala 670 kg C ha⁻¹. Výsledok ovplyvnil najmä fakt, že najvyššiu respiráciu sme prekvapujúco zistili v iníciaľných štádiách rozpadu, ktoré sú na 15-ročnom kalamitisku skôr výnimočné. V súčasnosti je prevažná časť mŕtveho dreva v strednom stupni rozkladu a zrejme už po kulminácii emisie C. Táto krátkodobá štúdia nemohla zachytiť vplyv zmien teploty počas vegetačného obdobia, ani dynamiku sukcesie drevokazných húb na priebeh respirácie. Analýza vplyvu týchto kľúčových faktorov si vyžaduje cielejší a hlavne dlhodobější výskum.

Podakovanie

Práca vznikla aj vďaka finančnej podpore Agentúry pre rozvoj vedy a výskumu pre projekt APVV 17-0644 Uhlíková bilancia diferencovane manažovaných lesných ekosystémov po prírodných disturbanciách v smrekových ekosystémoch. Za pomoc pri terénnych prácach ďakujeme Ing. H. Hudokovej, Ing. P. Petříkovi a Mag. biol. A. Petekovi.

Literatúra

- Fleischer, P., Fleischer, P., ml., Homolová, Z., 2015: Uhlíková bilancia sukcesných ekosystémov na manažovaných lokalitách 10 rokov po vetrovej kalamite. Štúdie o TANAP, 11: 125–134.
- Harmon, M. E., 2009: Woody detritus mass and its contribution to carbon dynamics of old growth forests. Ecological Studies, 207: 159–189.
- Kahl, T., Baber, K., Ott, P. et al., 2015: Emission rates from dead wood logs of 13 species in the initial decomposition phase. Forests, 6: 2484–2504.
- Le Quéré, C., Andres, R. J., Boden, T. et al., 2013: The global carbon budget 1959–2011. Earth System Science Data, 5: 165–185.
- Lindner, D. L., Vasaitis, R., Kubartová, A. et al., 2011: Initial fungal colonizer affects mass loss and fungal community development in *Picea abies* logs 6 yr after inoculation. Fungal Ecology, 4: 449–460.
- Mäkinen, H., Hynynen, J., Siitonen, J., Sievänen, R., 2006: Predicting the decomposition of Scots pine, Norway spruce and birch stems in Finland. Ecological Applications, 16: 1865–1879.
- Mäkipää, R., Rajala, T., Schigel, 2017: Interactions between soil- and dead wood-inhabiting fungal communities during the decay of Norway spruce logs. The ISME Journal, 11: 1–11.
- Melin, Y., Petersson, H., Nordfjell, T., 2009: Decomposition of stump and root systems of Norway spruce in Sweden – A modelling approach. Forest Ecology and Management, 257: 1445–1451
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J. et al., 2011: A large and persistent carbon sink in the world's forests. Science, 333: 988–993.
- Rajala, T., Peltoniemi, M., Hantula, J., Mäkipää, R., Pennanen, T., 2011: RNA reveals a succession of active fungi during the decay of Norway spruce logs. Fungal Ecology, 4: 437–448.

- Simila, M., Kouki, J., Martikainen, P., 2003. Saproxylic beetles in managed and seminatural Scots pine forests: quality of dead wood matters. *For. Ecol. Manage.*, 174: 365–381.
- Stokland, J. N., Tomter, S. M., Soderberg, U., 2004. Development of dead wood indicators for biodiversity monitoring: experiences from Scandinavia. In: Marchetti, M. (ed.): *Monitoring and Indicators of Forest Biodiversity in Europe – From Ideas to Operationality*. Florence, Italy, p. 207–226.
- Tuomi, M., Laiho, R., Repo, A., Liski, J., 2011: Wood decomposition model for boreal forests. *Ecological Modelling*, 222: 709–718.
- Yang, Ch., Schaefer, D. A., Liu, W. et al., 2016: Higher fungal diversity is correlated with lower CO₂ emissions from dead wood in a natural forest. *Scientific Reports*, 6: 31066.
-

Adresa:

doc. Ing. Peter Fleischer, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Masarykova 24, 960 01 Zvolen a Štátne lesy TANAPu, Tatranská Lomnica, SK – 059 60 Vysoké Tatry

e-mail: p.fleischersr@gmail.com

Ing. Peter Fleischer, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Masarykova 24, SK – 960 01 Zvolen a Ústav ekológie lesa SAV, L. Štúra 1774/2, SK – 960 01 Zvolen

Ing. Luboš Slameň

Štátne lesy TANAP-u, Tatranská Lomnica, SK – 059 60 Vysoké Tatry

Ing. Jozef Rozkošný

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Masarykova 24, SK – 960 01 Zvolen