



Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-17-0644**

Uhlíková bilancia diferencovane manažovaných lesných ekosystémov TANAPu po prírodných disturbanciách

Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. Peter Fleischer, PhD.**

Príjemca **Technická univerzita vo Zvolene**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Technická univerzita vo Zvolene
Lesnícka fakulta
Katedra integrovanej ochrany lesa a krajiny

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

-

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

-

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

Zahraničné karentové publikácie:

1. Fleischer, P., Holko, L., Celer, S., Čekovská, L., Rozkošný, J., Škoda, P., Olejár, L., Fleischer, P., 2020: Carbon balance and streamflow at a small catchment scale 10 years after the severe natural disturbance in the Tatra Mts, Slovakia. Water [elektronický zdroj]. - ISSN 2073-4441. - Vol. 12, issue 10 (2020), art. no. 2917 [23 p.] [online]. (2019: 2.544 – IF, <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/10/2917/htm>)
2. Pavlík, M., Fleischer, P., Fleischer, P., Pavlík, M., Šuleková, M., 2020: Evaluation of the carbon dioxide production by fungi under different growing conditions. Current microbiology. ISSN 0343-8651. - Vol. 77, issue 9 (2020), p. 2374-2384. (2019: 1.746 - IF, 1.739)
3. Konôpková, A., Pšídová, E., Kurjak, D., Stojnič, S., Petřík, P., Fleischer, P., Kučerová, J., Ježík, M., Peter, A., Gomory, D., Kmeť, J., Longauer, R., Ditmarová, L., 2020: Photosynthetic performance of silver fir (*Abies alba*) of different origins under suboptimal growing conditions. Functional plant biology, ISSN 1445-4408. - Vol. 47, no. 11 (2020), p. 1007-1018
4. Kubov, M., Fleischer, P., Rozkošný, J., Kurjak, D., Konôpková, A., Galko, J., Húdoková, H., Lalík, M., Rell, S., Pittner, J., Fleischer, P., 2020: Drought or severe drought? Hemiparasitic yellow mistletoe (*Loranthus europaeus*) amplifies drought stress in sessile oak trees (*Quercus petraea*) by altering water status and physiological responses. In Water [elektronický zdroj]. - ISSN 2073-4441. - Vol. 12, issue 11 (2020), art. no. 2985 [19 p.] [online] <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/11/2985/htm>

5. Buchholzerová, A., Fleischer, P., Štefánik, P., Bičárová, S., Lukasová, V., 2021: Specification of modified jarvis model parametrization for Pinus cembra. Atmosphere 12 (11), 1388

6. Petřík, P., Petek-Petrik, A., Konôpková, A., Fleischer, P., Stojnic, S., Zavadilová, I., Kurjak, D., 2022: Seasonality of PSII thermostability and water use efficiency of in situ mountainous Norway spruce (Picea abies). Journal of Forest Research, <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01476-3>

Domáce karentové publikácie

1. Leštianska, A., Fleischer, P., Merganičová, K., Fleischer, P., Střelcová, K., 2020: Interspecific variation in growth and tree water status of conifers under water-limited conditions. Journal of hydrology and hydromechanics [elektronický zdroj] = JHH. - ISSN 0042-790X. - Vol. 68, no. 4 (2020), p. 368-381 [online].

Domáce nekarentované vedecké časopisy

1. Jamnická, G., Konôpková, A., Fleischer, P., Kurjak, D., Petřík, P., Petek, A., Húdoková, H., Fleischer, P., Homolová, Z., Ježík, M., Ditmarová, L., 2020: Physiological vitality of Norway spruce (Picea abies L.) stands along an altitudinal gradient in Tatra National Park. Central European forestry journal. - ISSN 2454-034X. - Vol. 66, no. 4 (2020), p. 227-242

Publikácie v recenzovaných zborníkoch zo zahraničných konferencií

1. Pavlík, M., Fleischer, P., Fleischer, P. jr., Pavlík, M., Šuleková, M., 2019: Estimation of mycelial respiration and its relation to growing conditions. 10th International Medicinal Mushroom Conference, Nantong, China. Book of abstracts, p. 163

2. Pavlík, M., 2019: Educational project on cognition and use of wood-destroying fungi at the Technical University in Zvolen (Slovak Republic). In Revista de silvicultură și cinegetică 43 , p. 47--51. ISSN 1583-2112

3. Fleischer, P., Fleischer, P., Rozkošný, J., 2020: Carbon balance on differently managed forest sites after large scale destruction. https://www.vulhm.cz/files/uploads/2020/10/Book-of-Abstracts_Forest-future-2020

4. Fleischer, P., Fleischer, P. Jr., Rozkošný, J., Tomes, J., 2021: Carbon balance on differently managed forest sites after large scale destruction. Online workshop FORESTS'FUTURE 2021 Consequences of bark Beetle calamity for Future of Forestry in Central Europe. 23.-24.3.2021 Strnady.

https://www.vulhm.cz/files/uploads/2021/03/14_Forests-Future_2021.pdf

5. Fleischer, P., Tomes, J., Ceter, S., Fleischer, P. jr., 2022: Carbon fluxes in mountain Norway spruce ecosystems after large-scale natural disturbances in the Tatra Mts., Slovakia. Holisoils workshop, Helsinki 17.-19.5.2022

6. Pavlík, M., Dzurenko, M., Pavlík, M. ml., 2022: Mycorestoration – overview of the possibilities of using fungi in communal environments. In: 22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2022, Albena, 2-11.7.2022 (WOS, SCOPUS)

Publikované príspevky na domácich konferenciách

1. Fleischer, P., Fleischer, P. ml., Tomes, J., 2021: Hodnotenie bilancie uhlíka v smrekových ekosystémoch Vysokých Tatier postihnutých prírodnými disturbanciami. Ochrana prírody, Supplement 19, online: sopsr.sk/vedeckakonferencia/files/supplement-vedecka-konferencia.pdf

Popularizačné aktivity

1. Slovenský rozhlas 19.11.2019 ranné správy 7:00, informácia o výskume tokov CO₂ po kalamitnom poškodení tatranských lesov

2. LES a Lesokruhy, sept. 2019, s. 28-29, Predstavujeme KIOLaK LF TUZVO – výskum uhlíka v projekte aplikovaného výskumu

3. Les a Lesokruhy, november 2019 P. Rozhovor s P. Fleischerom o výskume vplyvu lesov na skleníkové plyny

4. Les a Lesokruhy: Fleischer, P., 2020: Sekvestrácia uhlíka v tatranských lesoch po prírodných kalamitách. Letokruhy, roč. 2020, č. 10

5. Korzár Spiš 17.1.2020 Klimatické zmeny môžu ohroziť zdravie tatranských stromov

<https://spis.korzar.sme.sk/c/22304587/klimaticke-zmeny-mozu-ohrozit-zdravie-tatranskych-stromov.html>

6. Slovenský plynárenský priemysel SPP, facebook SPP, rozhovor na výskumných plochách pre sledovanie bilancie uhlíka ku Deň zeme,

<https://www.facebook.com/VaseSPP/videos/4753151854796376>

7. Konferencia Stav a procesy v lesných ekosystémoch 15 rokov po veľkoplošnom

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky projektu predstavujú vôbec prvé viacročné merania tokov a hodnotenie bilancie CO₂ v lesných ekosystémoch na Slovensku. Unikátne je porovnanie dlhodobých dôsledkov prírodných disturbancií a následného rozdielneho lesníckeho manažmentu v poškodených porastoch.

Lesné porasty sa po rozpade stali veľkým zdrojom emisie uhlíka do atmosféry, čo potvrdzuje význam zdravých, funkčných lesov pre mitigáciu klimatickej zmeny. Zhoršenie bilancie uhlíka spôsobil nielen pokles listovej plochy, ktorá zabezpečuje fotosyntetický príjem CO₂, ale aj zvýšená respirácia mikroorganizmov v odkrytej pôde.

Aktívnou lesníckou starostlivosťou sa bilancia CO₂ vyvíjala priaznivejšie v lesnícky obhospodarovaných porastoch, najmä kvôli rýchlejšej obnove vegetačného krytu v dôsledku zalesňovania, ale aj stimulácie intenzívneho rozvoja sukcesnej vegetácie a náletu tzv. pionierskych drevín na povrch pôdy narušený spracovaním kalamitného dreva.

V nemanažovaných porastoch sa bilancia príjmu a výdaja CO₂ vyvíjala podobne, pričom veľkosť príjmu fotosyntézou a výdaja respiráciou bola menšia ako na manažovaných plochách.

Po takmer 20 rokoch plochy po vetrovej kalamite sú stabilným depóniom C. Menšie toky v nemanažovaných porastoch sú bližšie ku tokom v dospelom, nepoškodenom lese, ale z hľadiska sekvestrácie C medzi kontrastnými spôsobmi post-disturbančného manažmentu nie je zásadný rozdiel. Treba však zdôrazniť, že tak stav pred poškodením, tak aj po spracovaní kalamity bol v manažovaných porastoch prírode blízky a preto rozdiely medzi sledovanými lokalitami boli menšie ako sa všeobecne predpokladalo. V nemalej mier k priaznivému vývoju sekvestrácie C určite prispel aj priebeh počasia počas trvania projektu. Vegetačné obdobia síce boli teplejšie ako normál, ale úhrn zrážok bol mierne nadnormálny. Výsledky naznačujú, že v podmienkach zníženej dostupnosti vody sa môže nielen bilancia C, ale aj ďalšie fyziologické charakteristiky významne meniť.

Hodnotenie bilancie C sme na sledovaných plochách realizovali dvomi nezávislými metódami, ktoré priniesli veľmi podobné výsledky. Môžeme konštatovať, že obe použité metódy sú vhodné na hodnotenie bilancie v podobných podmienkach, t.j. na nízkej vegetácii. Nižšia cena je prednosťou komorových metód, ale na úkor extrémne vysokej práce.

Krátkodobé experimenty naznačujú často kritické zmeny vo fyziologických procesoch vyvolané typickými prejavmi klimatickej zmeny, t.j. zvýšená teplota a deficit zrážok, resp. dostupnosť pôdnej vody. Smrek je považovaný za drevinu mimoriadne citlivú na takéto zmeny. Dvojročný experiment so sadenicami exponovanými zvýšenou teplotou a zvýšeným výparom oproti „normálnym“ podmienkam prostredníctvom otvorených skleníkov typu ITEX potvrdil štatisticky významné zmeny vo fotosyntetickej aktivite s následným poklesom hrúbkového prírastku. Opakované merania po roku na tých istých jedincoch však nepotvrdzovali stresovú reakciu drevín, čo môžeme považovať za prejav ich adaptácie. Na mladých (15 r. smrekoch) sme zistili prekvapivo rýchlu adaptáciu na vysoké teploty už v priebehu jedného roka. Vegetačné obdobie 2018 bolo mimoriadne teplé. Už na jeho začiatku sa negatívne fyziologické zmeny prejavili vyššou fluorescenciou a nižším kvantovým výťažkom. Vo vrchole vegetačného obdobia, s najvyššími teplotami, sa náhle v ihliciach začal zvyšovať pomer chlorofylu ku karotenoidom, čo podporovalo rezistenciu fotosystému II voči stresu z tepla. Podobne reagoval aj ukazovateľ efektivity využitia vody (water use efficiency). Riziko krátkodobých sledovaní fyziologickej odozvy jednotlivých zložiek ekosystému na vonkajšie faktory už v minulosti naznačili výsledky merania pôdnej respirácie. V pasívne ohrievaných mikroekosystémoch pôdna respirácia stúpala o 30 až 50% v prvom roku, ale v nasledujúcich rokoch bola takmer identická ako na referenčnej pôde s povrchovou teplotou nižšou o 2-3 °C.

Rozklad mŕtveho dreva v lese hubami je všeobecne známy proces. Je však len málo poznatkov, ktoré Na kvantifikovanie respirácie mŕtveho dreva sme navrhli a prakticky overili viacero metód. Nedeštrukčná metóda merania časti kmeňov mŕtveho dreva síce najmenej ovplyvňuje prostredie, ale je extrémne zdĺhavá a prácna. Oveľa efektívnejšia je metóda pri ktorej sa odoberajú vzorky dreva z rôznych častí ležiaceho kmeňa a samotné meranie sa realizuje v uzavretej komore s gazometrom. Emisia CO₂ z mŕtveho dreva prirodzene nie je

konštantná. Závisí od teploty a vlhkosti, od druhu dreveniny, stupňa rozkladu a stupňa kolonizácie hubami. Zistili sme, že maximálna emisia CO₂ súvisí s tvorbou mycelií a počas tvorby plodníc je minimálna. Zrejme to bude jedna z príčin veľkých medziročných rozdielov a je dôvodom na pokračujúcu pozornosť problematike húb a mŕtveho dreva. Súčasťou mykologického výskumu bolo aj vyhodnocovanie stavu v bukovom poraste v centrálnej časti Vysokých Tatier. Je to síce rozlohou malý, ale dominantným zastúpením buka (cca 60 r) unikátny porast, kde prítomnosť, resp. absencia ektomykorizných húb môže byť vodítkom v prípade vynútenej zmeny drevinového zloženia manažovanej časti tatranských lesov. Vo vzorkách na tejto lokalite bolo zistené také koncentrácie olova nielen v plodniciach, ale aj v pôde, že si to bude vyžadovať osobitne zameraný výskum.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Výsledky trojročného sledovania tokov CO₂ v smrekových porastoch po veľkoplošnom poškodení potvrdili, že hodnotenie bilancie rozdielnymi metódami prináša veľmi podobné výsledky. Najvýznamnejšie je zistenie, že ekosystémy 15 rokov od poškodenia už fungovali ako stabilné depónia uhlíka bez ohľadu na spôsob post-disturbančného manažmentu. Rozdiely v bilancii uhlíka medzi sledovanými kalamitnými plochami počas trvania projektu síce neboli štatisticky významné, ale kým na začiatku projektu bola bilancia mierne priaznivejšia na spracovanej kalamite, ku koncu sa pomer otočil v prospech nespracovanej kalamity. Príčinou je rozdielna dynamika tvorby biomasy a listovej plochy v kontrastne manažovaných porastoch. Predpokladaný vplyv mŕtveho dreva kolonizovaného mykoflórou na zhoršovanie uhlíkovej bilancie na nemanáovaných lokalitách sa ukázal ako časovo veľmi obmedzený. Pre porovnanie súčasnej bilancie mladín na kalamitných plochách s dospelými porastami sme použili výsledky z roku 2006-2008. Podľa nich bola sekvestrácia dospelého lesa trikrát vyššia ako je v dnešných mladinách. Biometrické hodnotenie primárnej produkcie dospelých porastov však takýto stav nepotvrďuje. Naopak, aktuálne výsledky z dendrometrických meraní poukazujú na viacročnú stagnáciu rastu dospelých smrekových porastov. Rastúce teploty a zvyšujúci sa deficit pôdnej vody v sledovaných porastoch potvrdili fyzikálne merania aj fenologické pozorovania. Takéto podmienky horšie tolerujú dospelé stromy, ako mladiny. Meniace sa podmienky však nemusia nutne viesť ku kolapsu súčasnej vegetácie. Naznačujú to výsledky experimentu s umelo zvýšenou teplotou na sadenicích smreka. Kým po prvom roku sme zaznamenali pokles tvorby biomasy, pri dlhodobom pôsobení zvýšenej teploty sa na prevažnej časti testovanej populácie potvrdila vysokú mieru ich fyziologickej adaptácie na takto vyvolaný stres.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

The results of a three-year post-disturbance CO₂ fluxes study in Norway spruce forest confirmed, that different methods (chamber and eddy covariance) yielded similar results of C balance. The most important is the findings, that 15 years a large-scale windthrow the affected ecosystems act as stable carbon sinks either managed or let for natural processes. Although the differences in C fluxes between differently managed localities were not significant, managed site showed slightly higher sequestration in the early stage of the project. Later, non-managed site sequestered more C than the first one. The reason is different dynamics of biomass and leaf area production in those contrast managed stands. Estimated large impact of dead wood colonized by mycoflora was strongly temporally limited. The 2006-2008 C balance measured by eddy covariance in healthy undisturbed mature forest was compared with 2018-2021 balance in regenerating stands after the 2004 windstorm. The results show that despite positive balance, C sequestration in young stands is still 3 times lower than in mature ones. Surprisingly, biometric methods have not confirmed this finding. Mature Norway spruce trees show very limited radial growth for last several years. Both, physical measurement and phenological observation confirmed trend of increasing temperature and soil water deficit in studied ecosystems. Such conditions are less tolerated by mature trees, where such dramatic growth decline was not detected yet. Nevertheless, young spruce stands are potentially endangered as indicated by climate envelope models. On the other hand, changing conditions should not necessary lead to present vegetation collapse as showed by 2-year artificial heating experiment. After a first year Norway spruce seedlings exposed to overheating and water deficit experienced growth

decline and weakening of physiological processes. Next year large portion of the study population exhibited strong physiological adaptation to changed conditions.