

# NOVÁ ONLINE WEB-APLIKÁCIA LESNÍCKEHO METEOROLOGICKÉHO MONITORINGU NA SLOVENSKU

Zuzana Sitková

**Sitková, Z.:** New online web-application of forest meteorological monitoring in Slovakia. APOL, 2021, vol. 2, no. 1, p. 134–140.

**Abstract:** Systematic and long-term terrestrial monitoring of forest environment (including climate) plays a significant role in revealing the climate change impact on the forest ecosystems. We created a new web application called ForestWeather for forest meteorological monitoring that uses digital weather stations with data transfer via internet. The main objective of ForestWeather is to provide both experts and public with an access to instant data from meteorological stations located in various areas of Slovakia and enhance the effectiveness of the climate change risk evaluation in Slovak forests (especially drought, insect and forest fires). The aim of this paper is to describe the web-application content and functionality, the methodology of measurements, as well as the possibilities for usage of this tool in forestry praxis.

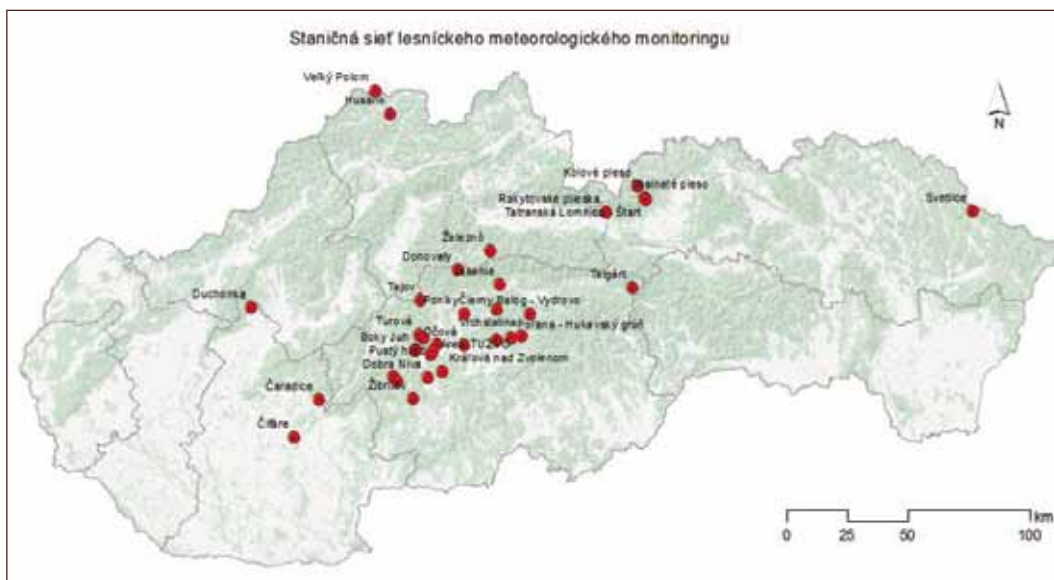
**Key words:** automatic weather station; online meteorological data; ForestWeather; drought; water balance; bark beetle; forest fires

## Vývoj meteorologického monitoringu v lesoch Slovenska

V dôsledku narastajúcej intenzity a frekvencie klimatického stresu (sucho a horúčavy) a následným výskytom abiotických či biotických disturbančných faktorov (vietor a hmyz) dochádza k nežiaducej destabilizácii a fragmentácii lesných celkov (Seidl et al. 2017). Z aspektu špecifických potrieb lesníckeho výskumu je dôležité monitorovať meniace sa podmienky prostredia vo vzťahu k reakcii drevín a k procesom prebiehajúcim v lesnom ekosystéme. V podmienkach prebiehajúcej klimatickej zmeny preto nadobúda systematické monitorovanie meteorologických veličín a hodnotenie klimatických charakteristík na lokálnej aj regionálnej úrovni stále väčší význam.

Sieť automatických meteorologických staníc s diaľkovým prenosom nameraných údajov na internet sa začala na vybraných lesných oblastiach Slovenska zakladať primárne za účelom lesnícko-ekologického výskumu. Prvé digitálne meteorologické stanice s online prenosom dát boli inštalované na území Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene (TUZVO) v rokoch 2006 – 2007 a to pre potreby moderného lesníckeho vzdelávania (Střelcová et al. 2017; Sitková et al. 2020). Na Národnom lesníckom centre (NLC) sa sieť začala zakladať a postupne rozširovať od roku 2009 v rámci medzinárodného projektu FutMon (*Further Development and Implementation of an EU-level Forest Monitoring System*), ktorého úlohou bolo harmonizovať metodiky zberu dát a terénnych meraní na plochách celoeurópskeho intenzívneho monitoringu lesov v rámci programu ICP Forests (Pavlanda et al. 2014). S podporou ďalších projektov z prostriedkov štrukturálnych fondov EÚ bola následne dopĺňaná prístrojová infraštruktúra a zakladané ďalšie stanice na nových lesných lokalitách.

Postupom času ako sa staničná sieť rozširovala vznikala potreba zlúčiť túto distribuovanú prístrojovú infraštruktúru a databázu z online staníc lesníckeho meteorologického monitoringu na jednotnú webovú platformu. Na základe uvedenej požiadavky bol vytvorený integrovaný webový nástroj ForestWeather<sup>OnlineData</sup>, dostupnom na stránke [www.forestweather.sk](http://www.forestweather.sk). Cieľom vytvoreného projektového výstupu – webovej služby ForestWeather<sup>OnlineData</sup> je poskytnúť odbornej aj širšej laickej verejnosti prístup k operatívnym údajom z automatických meteorologických staníc umiestnených na rôznych lesných lokalitách na Slovensku (obr. 1). Menovitý zoznam staníc aj s uvedením nadmorskej výšky a rokom založenia je súčasťou užívateľskej príručky dostupnej priamo na stránke [www.forestweather.sk](http://www.forestweather.sk).



**Obrázok 1.** Súčasná sieť automatických staníc lesníckeho meteorologického monitoringu na Slovensku ([www.forestweather.sk](http://www.forestweather.sk)). Prevádzkovateľmi staníc sú Národné lesnícke centrum a Technická univerzita vo Zvolene

**Figure 1.** Current network of automatic weather stations of forest meteorological monitoring in Slovakia ([www.forestweather.sk](http://www.forestweather.sk)). The meteorological stations are under management of National Forest Center and Technical University in Zvolen.

## Metodika meteorologických meraní

Metodika meraní je v súlade so štandardizovanými protokolmi a manuálom meteorologických meraní európskeho monitoringu lesov v rámci programu ICP Forests, ktorého základ sa opiera o metodiky WMO (dostupné na <http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual>). Okrem toho každý výrobca deklaruje v rámci technickej špecifikácie jednotlivých senzorov mieru presnosti merania.

Základná automatická meteorologická stanica (výrobca EMS Brno, CZ) meria a zaznamenáva nasledovné atmosférické prvky: teplotu vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ], vlhkosť vzduchu [%], globálne žiarenie [ $\text{W m}^{-2}$ ] a úhrny zrážok [mm]. Na staniciach s komplexnejším monitoringom sú merania rozšírené o ďalšie prvky: rýchlosť vetra [ $\text{m s}^{-1}$ ], smer vetra [ $^{\circ}$ ], tlak vzduchu [mbar], fotosynteticky aktívnu radiáciu [ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ], čistú radiáciu [ $\text{W m}^{-2}$ ], prípadne prízemnú teplotu [ $^{\circ}\text{C}$ ]. Výška meraní je štandardne 2 alebo 10 m, v prípade zrážok 1 m (obr. 2). Zrážkomer nie je vyhrievaný, presnosť meraní je preto najvyššia vo vegetačnej sezóne, resp. v období výskytu kvapalných zrážok. Na niektorých lokalitách sú merania rozšírené aj o monitoring pôdných veličín: teplota pôdy v rôznych hĺbkach [ $^{\circ}\text{C}$ ], objemová vlhkosť pôdy [ $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ], vodný potenciál pôdy [bar]. Meranie prebieha buď v jednej (–10 cm) alebo viacerých hĺbkach (napr. –15, –30, –60 cm alebo –10, –20, –40 cm) a to najčastejšie v skúmanom lesnom poraste v blízkosti meteorologickej stanice. Na záznam dát sa využívajú tri typy datalogerov (modely EdgeBox V8, V12, RailBox 16, GreyBox). Centrálny dátový archív spravuje spoločnosť Environmental Measuring Systems, s. r. o., Česká republika ([www.emsbrno.cz](http://www.emsbrno.cz)).

Interval meraní väčšiny meteorologických prvkov je štandardne 2 minúty, interval ukladania dát do pamäte ústredne stanice je zjednotený na 10 minút a interval diaľkového prenosu a aktualizácie údajov cez internet je 1 hodina. Údaje ukladané v pamäti stanice každých 10 minút sú výsledkom buď priemerovania originálne nameraných minútových dát (napr. teplota a vlhkosť vzduchu) alebo sumou všetkých hodnôt zaznamenaných v danom intervale (úhrn zrážok), prípadne najčastejšie sa vyskytujúcou hodnotou v danom časovom úseku (smer vetra).

Rozsah meraných meteorologických prvkov je na každej stanici individuálny a závisí najmä od jej účelu. Technickú špecifikáciu konkrétnych modelov meracích prístrojov, prehľad sledovaných veličín a celkovo detailnejšie informácie o metodike meraní jednotlivých prvkov nájdete v tabuľke 1 a v užívateľskej príručke dostupnej na stránke [www.forestweather.sk](http://www.forestweather.sk).



**Obrázok 2.** Meteorologická stanica na lokalite Poľana – Hukavský grúň (850 m n. m.), v blízkosti trvalej monitorovacej plochy intenzívneho monitoringu lesov Slovenska patriacej do siete plôch v rámci medzinárodného programu ICP Forests

**Figure 2.** Meteorological station situated in locality Poľana - Hukavský grúň (850 m above sea level), close to the permanent monitoring plot of intensive monitoring of forests in Slovakia belonging to the international network ICP Forests.

**Tabuľka 1.** Prehľad meteorologických prvkov a senzorov použitých na staniách online lesníckeho meteorologického monitoringu ForestWeather

**Table 1.** Overview of meteorological variables and sensors used for real-time forest meteorological monitoring ForestWeather.

	Meteorologické prvky	Skratka*	SI jednotka	Výška merania	Merací senzor
Merané meteorologické a pôdne parametre	Globálne žiarenie	GR	$W m^{-2}$	2 m	EMS11
	Teplota vzduchu	AT	$^{\circ}C$	2 m	EMS33
	Relatívna vlhkosť vzduchu	RH	%	2 m	EMS33
	Zrážky	P	mm	1 m	MetOne370 Pronamic Pro
	Smer vetra	WD	$deg.^{\circ}$	2 alebo 10 m	MetOne034B
	Rýchlosť vetra	WS	$m s^{-1}$	2 alebo 10 m	MetOne034B
	Čistá radiácia	NET	$W m^{-2}$	2 m	Schenk 8110
	Fotosynteticky aktívna radiácia	PAR	$\mu mol m^{-2} s^{-1}$	2 m	EMS12
	Tlak vzduchu	AP	mbar	2 m	ATM11
	Teplota pôdy	ST	$^{\circ}C$	rôzne hĺbky	PT100
	Objemová vlhkosť pôdy	SWC	$m^3 m^{-3}$	rôzne hĺbky	CS616
	Vodný potenciál pôdy	SWP	bar	rôzne hĺbky	GB2 Delmhorst
Odvodené veličiny	Potenciálna evapotranspirácia	PET	$mm h^{-1}$	—	Penman (1948)
	Sýtosťný doplnok	VPD	Pa	—	Výpočet VPD
	Rosný bod	DP	$^{\circ}C$	—	Definícia
	Požiarneho index	FWI	—	—	Angström index
	Klimatická vodná bilancia	CWB	mm	—	P-PET
	Fenofázy hmyzu				—

Anglické skratky meteorologických prvkov (GR – global radiation, AT – air temperature, P – precipitation, RH – relative humidity, WD – wind direction, WS – wind speed, NET – net radiation, PAR – photosynthetically active radiation, ST – soil temperature, SWC – soil water content, SWP – soil water potential, PET – potential evapotranspiration, VPD – vapour pressure deficit, DP – dew point, FWI – fire weather index, CWB – climatic water balance).

## Štruktúra web-aplikácie ForestWeather

Úvodná stránka ForestWeather<sup>OnlineData</sup> sa otvorí po zadaní adresy [www.forestweather.sk](http://www.forestweather.sk) do ľubovôle-ného internetového prehliadača. Po kliknutí na ONLINE DATA sa otvorí **hlavná dátová stránka**, ktorú tvoria 4 základné časti:

1. Záhľavie – názov aplikácie, logá služby a participujúcich inštitúcií
2. Menu vľavo – zoznam meteorologických staníc s názvom lokality a nadmorskou výškou
3. Hlavné okno – s grafickou vizualizáciou nameraných údajov, mapou alebo inými informáciami podľa vybranej záložky
4. Zápätie – technické informácie, kontakty, vlastnícke práva, grantová podpora

**Hlavné grafické okno** s mapovým prehľadom a menovitým zoznamom staničnej siete je ťažiskovou časťou výstupu. Na mape je vizualizovaná poloha všetkých staníc s aktuálne nameranou hodnotou teploty vzduchu prenesenou online za poslednú hodinu. Farebná škála pozadia znázorňuje teplotné pásma. Polohu staníc je možné priblížiť alebo vzdialiť cez zoom. Kliknutím na značku stanice sa zobrazí vyskakovacie okienko s názvom stanice a aktuálnou teplotou a časom prenosu dát. Kliknutím na názov stanice v tejto bubline je možné sa prepnúť na individuálnu stránku konkrétnej meteorologickej stanice. Ak pri niektorom bode (stanici) v mape chýba hodnota, znamená to, že za poslednú hodinu neboli prenesené aktuálne dáta, napríklad v dôsledku slabšieho GSM signálu, prípadne poruchy stanice.

Každé hlavné grafické okno pre ľubovoľnú jednotlivú stanicu zo zoznamu vľavo obsahuje jednotne 6 záložiek:

- Aktuálne hodnoty
- Denné hodnoty
- Graf
- Rýchly náhľad
- Archív
- Info

### **Aktuálne hodnoty**

Kliknutím na túto záložku sa zobrazí prehľad aktuálnych hodnôt jednotlivých meraných prvkov a odvodených veličín, zaznamenaných a prenesených za poslednú hodinu a v čase uvedenom v zátvorke za hodnotou. Ak údaj chýba, je prenos nedostupný buď z dôvodu aktuálne nedostupného signálu alebo z dôvodu dočasného prerušenia prenosu dát.

### **Denné hodnoty**

Záložka umožňuje prehliadať zobrazovanie denných agregácií nameraných hodnôt, a to buď denné sumy (zrážky) alebo denné priemery (ostatné prvky) a to za voliteľný časový úsek. Ten je možné vybrať buď z kalendára *od – do* alebo kliknutím na niektoré z fixne predvolených období v rozsahu jeden deň až 1 rok. Pri voliteľnom intervale zobrazovaných denných dát z kalendára *od – do* je u väčšiny staníc nastavený limit na zobrazenie max posledných 366 dní. Po prekročení tohto limitu na viac ako 366 dní bude neprihlásený užívateľ prepnutý na stránku s upozornením na nedostatok oprávnenia a s výzvou na zadanie prihlasovacích údajov. Sťahovať údaje je možné len cez chránený užívateľský prístup (užívateľ, heslo) a to buď za zobrazené obdobie alebo po jednotlivých mesiacoch dostupných v rozbaľovacom menu.

### **Graf**

Otvorenie tejto záložky umožňuje grafické znázornenie časového priebehu hodnôt s možnosťou výberu jednotlivých meraných prvkov alebo odvodených veličín. Pre zobrazenie vývoja prvkov je opäť v ponuke buď výber vlastného časového intervalu zobrazovaných dát v kalendári *od – do* alebo výber niektorého z pevne predvolených období tak ako v prípade denných hodnôt. Meteorologické prvky alebo

odvodené veličiny, ktoré chceme prehliadať, vyberáme „zaškrtnutím“ prislúchajúceho bieleho štvorca. Pri voľbe grafického zobrazovania viacerých veličín naraz sú tieto farebne odlišené a to aj na osiach v grafe aj pri názve zobrazovaného prvku.

### **Rýchly náhľad**

Záložka sprístupňuje grafické znázornenie priebehu jednotlivých meteorologických prvkov, ako aj z nich odvodených veličín a to súčasne v sérii paralelných grafických okien pre potreby rýchleho hodnotenia, analýz, porovnávania hodnôt a kontroly dát vo voliteľnom období. V ponuke je možnosť kliknúť *Zahrnúť agregované hodnoty*, pri ktorej sa pod grafmi zobrazia aj základné štatistiky za zvolené obdobie (napr. max, min, priemer alebo suma).

### **Archív**

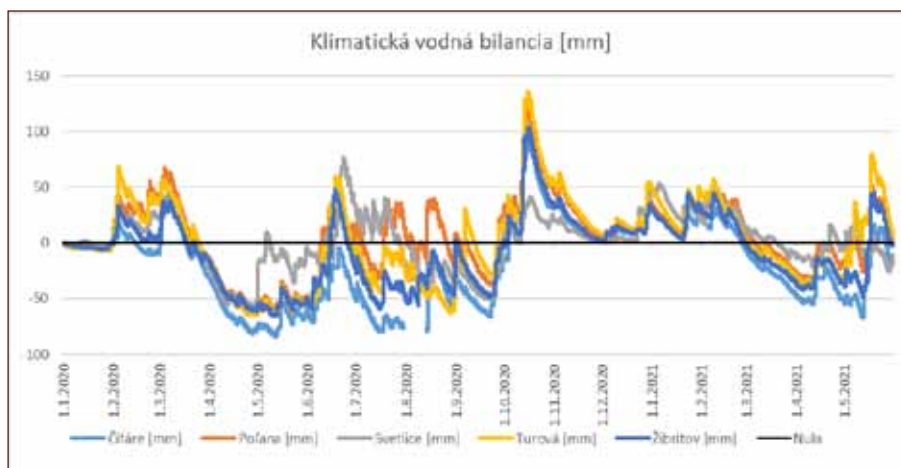
Záložka Archív poskytuje možnosť sťahovania všetkých nameraných zdrojových údajov prenesených z pamäte staníc a archivovaných na centrálnom dátovom serveri. Obsahuje informáciu o jedinečnom identifikačnom čísle zariadenia (IMEI), dátum začiatku meraní a založenia stanice na uvedenej lokalite. Sťahovanie dát z archívu je možné len po prihlásení sa do systému pre ktoré je potrebné poznať prihlasovacie údaje, užívateľský účet a heslo. V prípade záujmu o konkrétne dáta je potrebné sa obrátiť so žiadosťou na správcov siete na kontakty uvedené na stránke.

### **Info**

Záložka je venovaná komplexnej informácii o lokalite a stanici. Je v nej umiestnená informačná „karta“ každej meteorologickej stanice vo formáte pdf, ktorá poskytuje všetky dôležité informácie o lokalite (súradnice, nadmorská výška, stanovište, klíma, geologické, pôdne a fytoecologické pomery atď.). Súčasťou karty sú informácie o primárnom zameraní stanice, fotoukážka zariadenia a mapa s polohou stanice v rámci Slovenska.

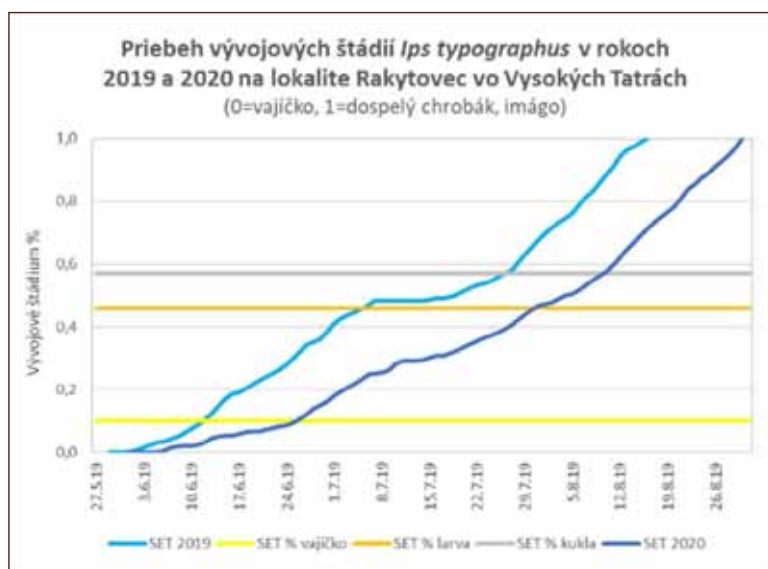
## **Príklady využitia údajov lesníckeho meteorologického monitoring**

Okrem prístupu k aktuálne nameraným údajom je možné z databázy ForestWeather využiť tiež dlhodobejšie a historické dáta pre odhaľovanie zmien a trendov vo vývoji klímy. Zo základných veličín sú na základe algoritmov zahrnutých do systému počítané aj odvodené veličiny (tab. 2), ktoré majú potenciál pre využitie v lesníckej praxi. Ide napríklad o odhaľovanie priebehu sucha rámcovým zhodnotením klimatickej vodnej bilancie na základe rozdielu úhrnov zrážok a potenciálneho evapotranspirácie za určité obdobie (obr. 3) alebo o možnosť na základe publikovaných vedeckých štúdií (napr. Fleischer et al. 2016) o fenológii podkôrneho hmyzu sledovať a porovnávať priebeh vývojových fenofáz lykožrúta smrekového (*Ips typographus*) (obr. 4). Okrem toho je možné hodnotiť na lokalitách riziko požiarov na základe požiarneho indexu počítaného podľa Angströma (Škvarenina et al. 2003). Podrobnejšie boli možnosti využitia a spracovania údajov lesníckeho meteorologického monitoringu popísané v predchádzajúcich prácach (Sitková et al. 2019, 2020).



**Obrázok 3.** Ukážka vývoja klimatickej vodnej bilancie v roku 2020 na vybraných lokalitách lesníckeho meteorologického monitoringu. Kladné hodnoty vodnej bilancie predstavujú obdobie dostatočnej vlhkosti, naopak záporné hodnoty znamenajú deficit zrážok a riziko sucha

**Figure 3.** Development of the climatic water balance during the year 2020 at selected sites of forest meteorological monitoring. Positive values represent a period of sufficient humidity, while negative values indicate a precipitation deficit and risk of drought.



**Obrázok 4.** Porovnanie ontogenézy lykožrúta smrekového v roku 2019 a 2020 na základe meraných meteorologických údajov na lokalite Vysoké Tatry - Rakytovec (1 260 m n. m.). Ukážka spracovania a využitia dát lesníckeho meteorologického monitoringu

**Figure 4.** Development of spruce bark beetle in 2019 and 2020 calculated on the basis of meteorological measurements in research plot Vysoké Tatry - Rakytovec (1,260 m above sea level). A sample of utilization of forest meteorological measurements.

## Záver

Ambíciou vytvorenej webovej aplikácie lesníckeho meteorologického monitoringu ForestWeather bolo okrem integrácie staničnej siete na jednotnú platformu prispieť k lepšiemu pochopeniu a odhaľovaniu interakcií medzi meniacim sa stavom prízemnej vrstvy atmosféry a lesným ekosystémom v podmienkach novodobej zmeny klímy. Systematický a dlhodobý terestrický monitoring jednotlivých zložiek prírodného prostredia, vrátane klímy, je významným informačným zdrojom pre výskum dopadov klimatickej zmeny na lesy. Údaje slúžia pre kalibráciu a validáciu klimatických modelov často využívaných v rastových simulátoroch a v predikovaní budúceho vývoja lesných porastov.

Poznanie aktuálnych poveternostných podmienok a lokálneho vývoja počasia v minulých dňoch, týždňoch až mesiacoch môže zefektívniť lesohospodársku činnosť v oblasti pestovania, zakladania a ochrany lesa, ako aj pri plánovaní šetrnejších spôsobov ťažby v poveternostne vhodnom období (sucho, mraz) s cieľom eliminovať škody na pôdnom kryte a predchádzať pôdnej erózii. Užitočným je sledovanie parametra klimatickej vodnej bilancie alebo pôdnej vlhkosti v monitoringu sucha napríklad na pokalamitných plochách ako aj indikátora rizika vzniku požiarov. Otvorený systém web-aplikácie umožňuje tiež pracovníkom lesníckej prevádzky prístup k operatívnym údajom o fenológii hmyzu zistiť, kedy v rizikových „smrekových“ regiónoch Slovenska nastali vhodné podmienky pre jednotlivé fenofázy vývoja podkôrneho hmyzu. Okrem vyššie uvedených prínosov má tento novovytvorený webový nástroj lesníckeho meteorologického monitoringu stále potenciál na ďalší rozvoj v budúcnosti.

## Podakovanie

*Príspevok a tvorba výstupu bola podporená z úlohy SLOVLES, Výskum a vývoj na podporu konkurencieschopnosti slovenského lesníctva, riešenej v rokoch 2019 – 2021 a financovanej z rozpočtovej kapitoly MPRV SR (prvok 08V0301), ďalej s podporou projektu APVV-16-0325 a vďaka projektu: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci OPVaI.*

## Použitá a odporúčaná literatúra

- Fleischer, P., Fleischer, P., Ferencík, J., Hlaváč, P., Kozánek, M., 2016: Elevated bark temperature in unremoved stumps after disturbances facilitates multi-voltinism in *Ips typographus* population in a mountainous forest. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 62:15–22.
- Pavlenka, P., Pajčík, J., Priwitzer, T., a al., 2014: Monitoring lesov Slovenska. Správa za ČMS Lesy za rok 2013. Zvolen, NLC-LVÚ Zvolen, 143 s.
- Seidl, R. et al. 2017: Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7:395–402.
- Sitková, Z., Leštianska, A., Střelcová, K., Fleischer, P. st., Fleischer, P. ml., Galko, J., 2019: Lesnícky meteorologický monitoring: možnosti využitia operatívnych dát v ochrane lesa. In: Kunca, A. (ed.): Aktuálne problémy v ochrane lesa 2019. Zborník recenzovaných referátov z medzinárodnej konferencie konanej 31.–1.2.2019, Zvolen, NLC, s. 82–88.
- Sitková, Z., Střelcová, K., Vido, J., 2020: Lesnícky meteorologický monitoring – operatívne údaje o počasi z lesných oblastí Slovenska. *Les & Letokruhy*, 76(7):26–28.
- Střelcová, K., Leštianska, A., Sitková, Z., Vido, J., Nalevanková, P., Škvarenina, J., 2017: Monitoring bioklimatických podmienok lesných vegetačných stupňov Slovenska. In: Sitková, Z., Pavlenka, P. (eds.): Dlhodobý ekologický výskum a monitoring lesov: súčasné poznatky a výzvy do budúcnosti. Zborník recenzovaných príspevkov z konferencie EkoMon 2017, 7.–8.11.2017 vo Zvolene, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, s. 121–125.
- Škvarenina, J., Mindáš, J., Holécy, J., Tuček, J., 2003: Analysis of the natural and meteorological conditions during two largest forest fire events in the Slovak Paradise National Park. *Proceedings of the International Scientific Workshop on Forest Fires in the Wildland–Urban Interface and Rural Areas in Europe: an integral planning and management challenge*, p. 15–16.

---

### Adresa:

Ing. Zuzana Sitková, PhD.

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 2175/22, SK – 960 01 Zvolen

e-mail: zuzana.sitkova@nlcsk.org