



MIKROKLÍMA STANOVIŠŤA A JEJ VPLYV NA SEZÓNNU DYNAMIKU VLHKOSTI A TEPLoty MŔTVEHO DREVA – PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA Z VYSOKÝCH TATIER, LOKALITA JAMY

Vladimír Šebeň ▪ Zuzana Sitková ▪ Adriana Leštianska

Šebeň, V., Sitková, Z., Leštianska, A.: Site microclimate and its impact on the seasonal dynamics of moisture and temperature in deadwood – a case study from the High Tatras, Jamy site. APOL, 2025, vol. 6, no. 1, p. 156–165.

Abstract: Deadwood decomposition is a key process in forest ecosystem dynamics, strongly influenced by microclimatic conditions. We conducted multiyear monitoring of climatic factors influencing the decomposition of deadwood. The Jamy research site near Tatranská Lomnica represents a part of a windthrow area affected by the “Alžbeta” windthrow (November 2004), where unsalvaged timber was left. From spring 2022 to spring 2025 – that is, 17 to 20 years after the disturbance – we continuously monitored temperature and moisture dynamics in six selected deadwood samples (three lying directly on mineral soil, three lying on other logs without direct contact with the soil). At the same site (1,060 m a.s.l.), we continuously monitored soil temperature. The measured data were compared with air temperature and precipitation from the TUZVO weather station at the “Štart” site (1,140 m a.s.l.), located 2 km to the north of the study area. We found no major temperature differences between the wood samples. In contrast, moisture content and its variability were significantly higher in wood lying on the ground than in wood lying on other logs. Because decomposition proceeds faster at higher moisture levels, wood without direct soil contact decomposes more slowly. Our findings indicate that in windthrow areas, decomposition rates can be influenced by whether downed timber is left in large piles or to scattered across the site. The three-year evaluation period is relatively short in view of inter annual variability. Therefore, we intend to continue monitoring in the coming years.

Key words: Alžbeta windthrow; Tatra National park; deadwood; decomposition

Úvod

Mŕtve drevo, ktoré sa všeobecne delí na stojace a ležiace, plní v lesných ekosystémoch viacero významných funkcií (Harmon et al. 1986). Predstavuje dôležitý rezervoár uhlíka a mikrohabitat pre mnohé druhy húb, hmyzu, vtákov, machov a lišajníkov, a preto je dôležité aj z hľadiska zachovania biodiverzity.

Množstvo mŕtveho dreva vyskytujúceho sa v lesných porastoch závisí od viacerých faktorov, ako sú doterajší a súčasný manažment, drevinové zloženie, prírodné a produkčné pomery, vek stromov, miera poškodenia lesa a ďalšie. V lesoch s menej intenzívnym manažmentom zostáva podstatne viac mŕtveho dreva. Napríklad v ochranných lesoch, kde na ponechané množstvo vplývajú nielen funkcie lesa, ale tiež ekonomické faktory (nižšia kvalita dreva, náročnejšie terénne a technologické podmienky). Najviac odumretého dreva za bežných podmienok sa nachádza v porastoch ponechaných na prirodzený samovývoj – v pralesoch a prírodných lesoch.

Zisťovanie množstva mŕtveho dreva má relatívne krátku históriu, keďže v minulosti nebolo predmetom osobitného záujmu. Prvé systematické údaje v rámci lesov Slovenska pochádzajú z prvého cyklu Národnej inventarizácie a monitoringu lesov realizovaného v rokoch 2005 až 2006 (Šmelko et al. 2008). Už vtedy sa zistilo, že v našich lesoch sa nachádza mimoriadne množstvo mŕtveho dreva, ktoré nás v prepočte na hektár lesa radí dokonca až na prvé miesto v Európe. Toto potvrdil aj ďalší cyklus v rokoch 2015 až 2016, keď sa

v lesoch Slovenska zistilo priemerne až $42 \pm 3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, z čoho tvorili sucháre $8,7 \pm 1,0$, pne $7,5 \pm 0,6$, ležiaca hrubina $19,3 \pm 1,9$ a ležiaca tenčina $6,9 \pm 0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Šebeň 2017).

Významným faktorom zvyšujúcim množstvo mŕtveho dreva je akútne poškodenie porastov (Seidl et al. 2014, Kunca et al. 2019), po ktorom sa môže dočasne a lokálne vyskytnúť aj omnoho vyššie množstvo odumretého dreva ako v pralesoch. Typickým príkladom sú vetrové kalamitiská s celoplošným poškodením stromov vo forme vývrátov alebo zlomov (s prevahou ležiaceho dreva), či kalamitiská stojacich suchárov po lykožrútovej kalamite (s prevahou stojaceho dreva). Napríklad priemerné hodnoty objemu mŕtveho dreva na nespracovanej časti kalamity „Alžbeta“ vo Vysokých Tatrách z roku 2004 dosahovali podľa výsledkov monitoringu realizovaného počas rokov 2007 až 2008 až $271 \pm 25 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Šebeň & Bošela 2011), čo bol viac ako 6-násobok celoslovenského priemeru. Na niektorých monitorovacích plochách sa presiahla hodnota $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Opakovaný monitoring po 12 rokoch v roku 2019 ukázal, že na nespracovanej časti zostávajú hodnoty ležiaceho dreva stále veľmi vysoké, priemerne až $209 \pm 23 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Konôpka et al. 2021).

Stav a množstvo mŕtveho dreva sa vplyvom vývoja neustále mení. Jeho rozklad je ovplyvnený rôznymi abiotickými faktormi, pričom teplota a vlhkosť sa považujú za kľúčové (Přivětivý et al. 2018, Piaszczyk et al. 2022). Tieto faktory sú navzájom prepojené a ich vzájomné pôsobenie významne ovplyvňuje rýchlosť dekompozície a biodiverzitu na globálnej a regionálnej úrovni (Bradford et al. 2014; Seibold et al. 2021). Aj na lokálnej úrovni sa rozdiely medzi kmeňmi v rámci toho istého lesného porastu ako aj jednotlivých kmeňov často pripisujú rozdielom v mikroklimáte súvisiacim so štruktúrou lesa a kontaktom s pôdou (Woodall et al. 2020; Kipping et al. 2022). Celková úloha mikroklimátu, a to ako sa mikroklimatické účinky líšia v závislosti od makroklimatických podmienok alebo charakteristík lesných porastov spojených s využívaním pôdy, však zostáva otvorená.

Kombinácia mierne zvýšenej teploty a dostatočnej vlhkosti vedie k maximálnej dekompozičnej aktivite (Shorohova & Kapitsa 2016). Vyššie teploty zvyčajne vedú k rýchlejšiemu odparovaniu, čím znižujú vlhkosť dreva. Vlhkosť dreva závisí od zrážok, pôdnej vlhkosti, absorpčných vlastností dreva (hustota, poréznosť) a stupňa rozkladu. V miernom pásme sa často pozorujú sezónne výkyvy vlhkosti, pričom počas suchých letných mesiacov občas klesá dostupnosť vody v dreve pod prah potrebný pre aktívny rozklad. Teplota ovplyvňuje mikrobiálnu aktivitu, a tým aj rozkladné procesy. Vysoká vlhkosť podporuje rast saprotrofných húb a baktérií, no pri presýtení môže dôjsť k anaeróbnym podmienkam, ktoré rozklad spomaľujú. Naopak, nízka vlhkosť vedie k inhibícii mikrobiálnej aktivity a prechodu organizmov do latentného stavu.

Fyzikálne vlastnosti mŕtveho dreva výrazne ovplyvňujú ekologické procesy v lesných ekosystémoch. Ich sledovanie je nevyhnutné pre pochopenie dynamiky rozkladu, biodiverzity saprotrofných organizmov a v konečnom dôsledku aj pre manažment lesných biotopov v meniacich sa klimatických podmienkach. Meranie teploty a vlhkosti v mŕtvom dreve sa považuje za dôležitú súčasť ekologických výskumov. Dáta získané pomocou senzorov umožňujú nielen sledovať dlhodobé trendy, ale aj analyzovať a následne modelovať rozklad v závislosti od meniacich sa klimatických podmienok.

Cieľom tejto štúdie bolo skúmať vplyv mikroklimatických podmienok na rozklad mŕtveho dreva v podmienkach vysokohorského kalamitného územia. V rámci výskumu sme analyzovali údaje získané z viacročného (2022 – 2025) kontinuálneho monitoringu teploty a vlhkosti odumretého dreva, ako aj mikroklimatických faktorov pôsobiacich na rozklad a vlastnosti odumretého dreva na modelovej lokalite Jamy pri Tatranskej Lomnici. Táto lokalita predstavuje nespracovanú časť lesa, ktorá vznikla po rozsiahlej vetrovej kalamite „Alžbeta“ v novembri 2004.

Materiál a metódy

Lokalita Jamy pri Tatranskej Lomnici predstavuje reprezentatívnu poškodenú časť lesa po kalamite Alžbeta (19. 11. 2004), na ktorej zostalo nespracované drevo na relatívne veľkej ploche. Táto lokalita bola vybraná ako súčasť dlhodobého výskumu rôzneho typu pokalamitného manažmentu (Fleischer 2005).

Na lokalite Jamy prebiehalo množstvo našich výskumných aktivít, zameraných najmä na kvantifikáciu množstva mŕtveho dreva od roku 2007 (Šebeň et al. 2024). V rámci projektu DEAWOO sme sa zamerali aj na sledovanie mikroklimatických parametrov a ich vplyvu na vývoj rozkladu nespracovaného ponechaného dreva. Od jari 2022 do jari 2025, teda 17 až 20 rokov od vzniku kalamity, sme na modelovej ploche v nad-

morskej výške 1 060 m n. m. vybrali vzorníky mŕtveho dreva. Použili sa 3 kmene, na každý boli inštalované 2 senzory (SMT100) na kontinuálne meranie teploty dreva a objemovej vlhkosti zaznamenávané prostredníctvom datalogera Microlog SDI MP (EMS Brno, CZ). Vzorníky boli vybraté tak, aby sa 3 senzory nachádzali v časti dreva umiestnenej priamo na pôdnom povrchu („na zemi“, 3 ks) a ďalšie 3 senzory v časti dreva nachádzajúcej sa nad zemou („na vzduchu“, 3 ks). Taktiež sa zabezpečilo automatizované meranie teploty pôdy a vodného potenciálu pôdy, a to pomocou dvoch pôdnych sond v hĺbke 15 cm (tri senzory v rámci každej sondy, teda spolu 6 senzorov – sadrových bločkov GB2). Pri terénnej kontrole sme zaznamenali problémy s kontinuálnym meraním spôsobené vyhrabávaním senzorov zverou (pravdepodobne medveď). Takto došlo k dočasnému prerušeniu záznamu na jednom zo senzorov na meranie teploty a vodného potenciálu pôdy a rovnako na jednom senzore na meranie teploty a vlhkosti odumretého dreva. Oba senzory sme opravili a opakovane nanovo inštalovali. Na dobu výpadku sme priemerné údaje vyhodnocovali len podľa ostatných senzorov.

Priebeh vybraných meteorologických charakteristík (teplota vzduchu a zrážky) sa hodnotil na základe štandardných meraní na otvorenom priestranstve na blízkej (umiestnenej cca 2 km severne od výskumnej plochy v podobnej nadmorskej výške) automatickej meteorologickej stanici (EMS Brno) na lokalite Tatranská Lomnica – Štart (1 140 m n. m.). Od roku 2010 ju prevádzkuje Technická univerzita vo Zvolene a patrí do siete lesníckeho meteorologického monitoringu na Slovensku (www.forestweather.sk). Teplota vzduchu je meraná vo výške 2 m a zrážky 1 m nad povrchom. Meteorologické údaje sú počas celého roka zaznamenávané v intervale každých 10 minút. V tomto príspevku vyhodnocujeme rad meraní za roky 2022 (experiment Jamy od 23. júna), 2023, 2024 až do 26. marca 2025 (stiahnutie údajov, meranie nepretržite pokračuje). Kontinuálne merania vyhodnocujeme v hodinových intervaloch. K dispozícii bolo počas 1 042 sledovaných dní 24 183 hodinových záznamov.

Pri spracovaní v prostredí MS Excel a MS Access sa použili bežné štatistické charakteristiky. Vypočítali sa hodnoty priemeru, smerodajnej odchýlky, minimálne a maximálne hodnoty. Odvodila sa variabilita jednotlivých parametrov, a tiež stredná chyba pri 95% spoľahlivosti.

Výsledky a diskusia

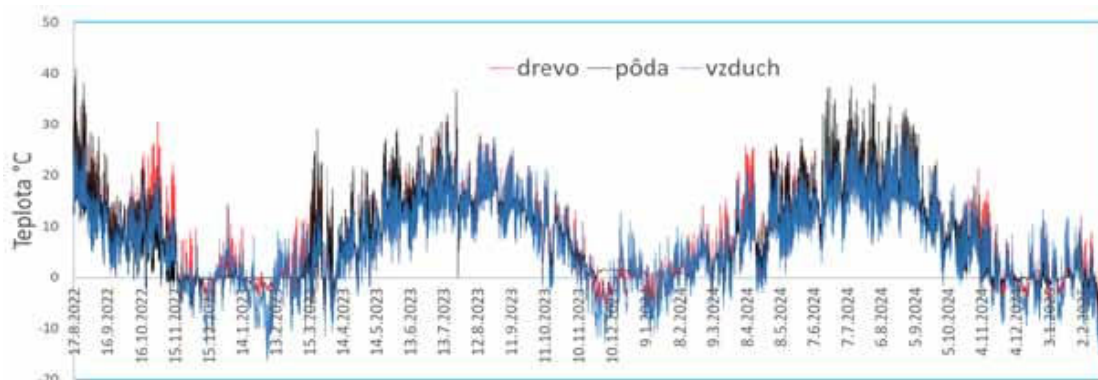
Prvé výsledky kontinuálneho merania vlhkosti a teploty odumretého dreva, oproti meraniu týchto parametrov v pôde, indikovali určité limity (tvrdosť dreva pre inštaláciu noža senzora), zatiaľ sa zdá táto metóda používaná pri pôde aplikovateľná aj na mŕtve drevo. Nasledujúce výsledky predstavujú hodnoty teploty, vlhkosti a zrážok. Osobitne sa prezentujú hodnoty teploty vzduchu (priemerná denná, minimálna a maximálna denná), teploty mŕtveho dreva (ponechaného na zemi a nedotýkajúceho sa povrchu pôdy, ale ležiaceho malou plochou na iných kmeňoch – ponechaného „na vzduchu“), vlhkosti oboch typov dreva a denných zrážok (agregovaných na priemerné ročné, mesačné a týždenné hodnoty).

Primárne údaje z merania

Prezentujú ich obrázok 1 (vývoj teplôt) a obrázok 2 (vývoj zrážok a vlhkostí dreva). Obrázok 1 znázorňuje hodinový priebeh teplôt vzduchu, pôdy a mŕtveho dreva v období od júna 2022 do marca 2025. Je zrejmé, že teplota vykazuje výraznú sezónnu dynamiku. V letných mesiacoch dosahovali priemerné denné teploty vzduchu, pôdy a dreva nad 30 °C, zatiaľ čo v zimných mesiacoch klesali v priemere pod –15 °C. Teplota dreva „na zemi“ aj „na vzduchu“ kopíruje priebeh teploty vzduchu, no s miernym posunom. Drevo „na zemi“ vykazuje o niečo vyššiu stabilitu a tlmenie extrémov. V zimných mesiacoch je drevo „na zemi“ menej vystavené rýchlym poklesom teploty, pravdepodobne v dôsledku kontaktu s pôdou, ktorá má vyššiu tepelnú kapacitu. V letných mesiacoch sa naopak prejavuje vyššia akumulácia tepla v dreve „na zemi“.

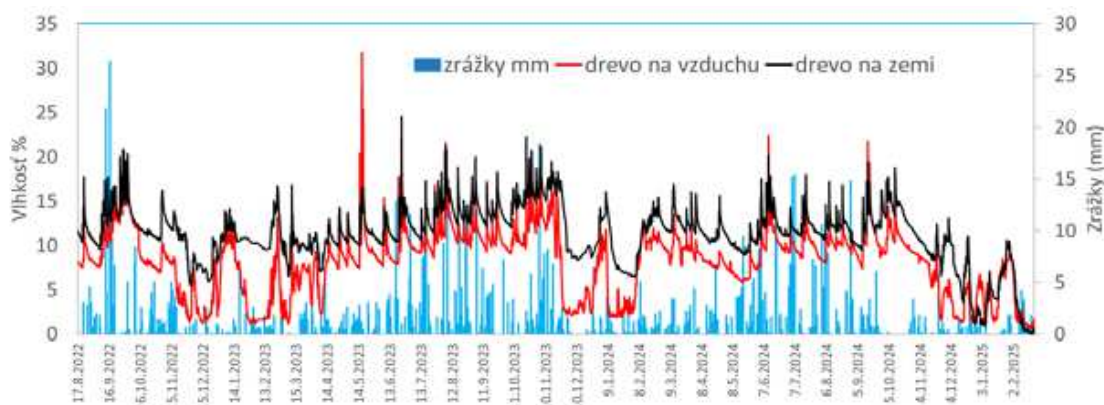
Obrázok 2 zobrazuje hodinový priebeh zrážok a vlhkosti mŕtveho dreva „na zemi“ a „na vzduchu“ v sledovanom období. Vlhkosť dreva „na zemi“ je konzistentne vyššia než vlhkosť dreva „na vzduchu“, pričom rozdiely sú najvýraznejšie v období s vyššími zrážkami – najmä na jeseň a začiatkom leta. V období sucha (napr. júl 2022, február 2023) dochádza k výraznému poklesu vlhkosti dreva „na vzduchu“, zatiaľ čo drevo „na zemi“ si udržiava vyššiu vlhkosť. Vlhkosť dreva „na vzduchu“ je náchylnejšia na krátkodobé výkyvy a reaguje

rýchlejšie na zrážkové udalosti, ale aj rýchlejšie vysychá. Výskyt zrážok koreluje s nárastom vlhkosti dreva, najmä „na zemi“ a v období s vyšším úhrnom zrážok (napr. september 2023, máj 2024) sa vlhkosť dreva zvyšuje a zároveň sa znižuje jej denná variabilita. Vlhkosť dreva „na zemi“ sa v porovnaní s vlhkosťou dreva „na vzduchu“ javí ako stabilnejšia.



Obrázok 1. Hodinový priebeh teplôt vzduchu, pôdy a mŕtveho dreva (°C) na lokalite Jamy v období od júna 2022 do marca 2025.

Figure 1. Hourly course of air, soil and dead wood temperature (°C) at the Jamy site in the period from June 2022 to March 2025.



Obrázok 2. Hodinový priebeh zrážok (mm) a vlhkosti mŕtveho dreva (%) na lokalite Jamy v období od júna 2022 do marca 2025.

Figure 2. Hourly course of precipitation (mm) and dead wood moisture (%) at the Jamy site in the period from June 2022 to March 2025.

Spracované ročné údaje

Ročné agregované údaje (Tabuľky 1 a 2) poskytujú prehľad o základných klimatických charakteristikách počas sledovaného obdobia. Priemerné ročné teploty vzduchu sa pohybovali od $-0,8^{\circ}\text{C}$ (2025, neúplný rok) po $8,4^{\circ}\text{C}$ (2022), pričom teploty dreva a pôdy boli vo všeobecnosti vyššie. Maximálne teploty dreva „na zemi“ dosahovali až 44°C , čo naznačuje schopnosť substrátu akumulovať teplo. Zrážkové úhrny sa výrazne líšili – od 544 mm (2022) po 1 221 mm (2023), čo sa priamo odrazilo na vlhkosti dreva.

Mesačné a týždňové údaje poskytujú obrázky 3 až 5. Mesačné priemery teploty vzduchu, pôdy a dreva (Obrázok 3) ukazujú typickú sezónnu dynamiku. Najvyššie hodnoty sa dosahovali v júli a auguste, najnižšie v januári a februári. Drevo „na zemi“ vykazovalo vyššiu stabilitu teploty, najmä v prechodných obdobiach (marec – apríl, október – november), zatiaľ čo drevo „na vzduchu“ bolo náchylnejšie na výkyvy. Týždenné agregácie (Obrázok 4) potvrdzujú tieto trendy a zároveň ukazujú jemnejšie výkyvy, ktoré súvisia s krátkodobými zmenami počasia. Týždenné priemery umožňujú lepšie sledovať reakciu dreva na konkrétne zrážkové udalosti či teplotné extrémny.

Tabuľka 1. Základné charakteristiky teploty (°C) na lokalite Jamy (január 2022 – marec 2025).

Table 1. Basic temperature characteristics (°C) at the Jamy site (from January 2022 to March 2025).

Rok	Počet meraní	Teplota vzduchu				Teplota dreva na vzduchu				Teplota dreva na zemi				Teplota pôdy			
		Avg	Min	Max	SD	Avg	Min	Max	SD	Avg	Min	Max	SD	Avg	Min	Max	SD
2022	8760	5.8	-14.1	31.1	8.5	9.4	-8.1	41.3	8.8	10.0	-5.3	44.0	8.7	9.6	-7.6	45.3	9.7
2023	8760	6.1	-16.4	28.5	8.3	6.1	-9.6	34.1	7.9	7.2	-7.0	28.3	7.1	7.6	-12.0	36.6	7.1
2024	8784	7.2	-11.1	29.4	8.1	8.3	-9.9	33.7	8.5	7.8	-5.3	30.1	7.4	8.2	-3.0	24.9	6.9
*2025	2031	-0.8	-15.6	17.1	5.6	0.5	-14.3	25.0	5.9	0.1	-11.7	15.3	3.8	0.0	-8.0	8.7	2.6

Pozn.: Avg – priemer, Min – minimálna hodnota, Max – maximálna hodnota, SD – smerodajná odchýlka.

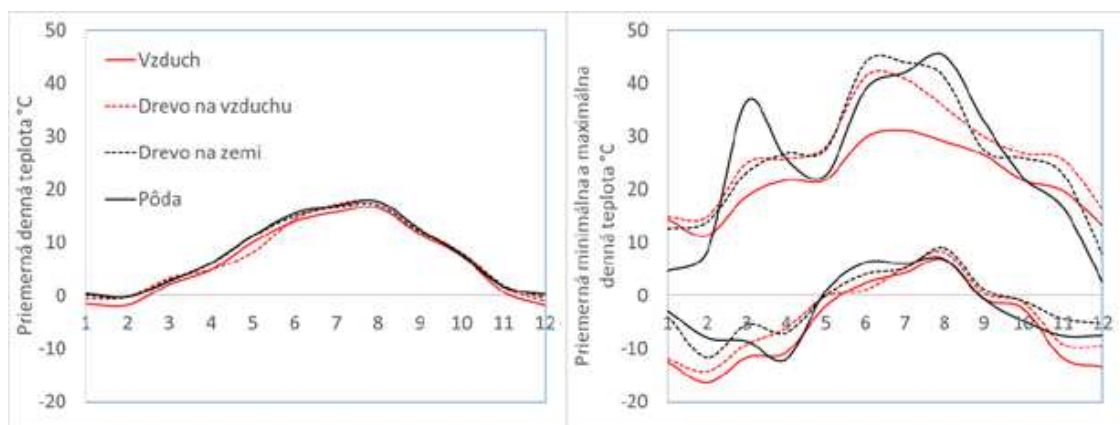
*Pre rok 2025 nie sú zatiaľ k dispozícii kompletne celoročné merania.

Tabuľka 2. Základné charakteristiky vlhkosti dreva (%) a zrážok (mm) (január 2022 – marec 2025).

Table 2. Basic values of wood moisture (%) and precipitation (mm) (January 2022 to March 2025).

Rok	Počet meraní	Zrážky	Teplota dreva na vzduchu				Teplota dreva na zemi			
		Sum	Avg	Min	Max	SD	Avg	Min	Max	SD
2022	8760	844	6.59	0.41	18.56	4.47	11.12	5.53	20.87	2.47
2023	8760	1221.2	6.60	0.39	22.10	4.63	12.29	6.54	24.50	2.53
2024	8784	973.4	8.38	1.29	22.34	3.07	11.15	1.04	20.13	2.71
*2025	2031	134.4	4.55	0.55	9.27	2.68	4.35	0.05	10.91	2.87

Pozn.: Sum – suma zrážok, Avg – priemer, Min – minimálna hodnota, Max – maximálna hodnota, SD – smerodajná odchýlka. *Pre rok 2025 nie sú zatiaľ k dispozícii kompletne celoročné merania.

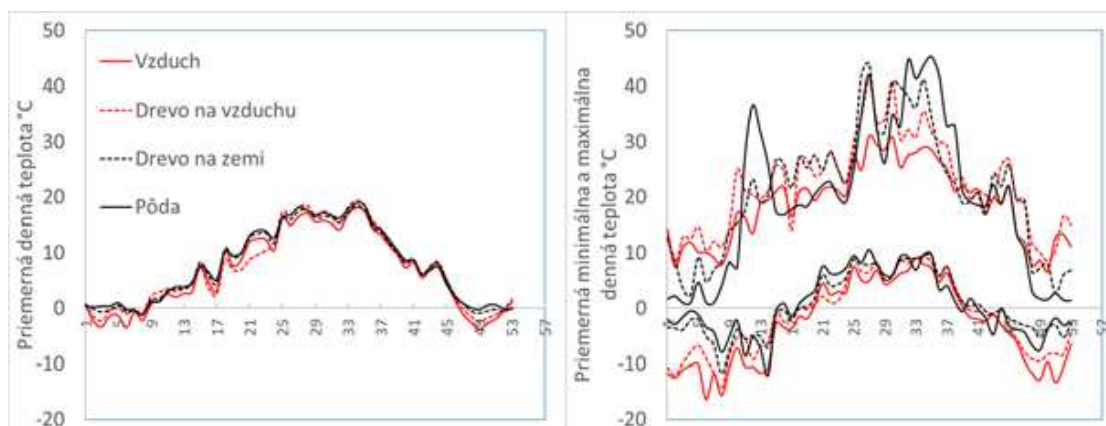


Obrázok 3. Priemerná denná teplota vzduchu, dreva a pôdy na lokalite Jamy po mesiacoch (1 – 12) spolu za sledované roky a priemerná minimálna a maximálna denná teplota po mesiacoch.

Figure 3. Average daily air, wood, and soil temperature at the Jamy site by month (1–12) for all monitored years, and average minimum and maximum daily temperature by month.

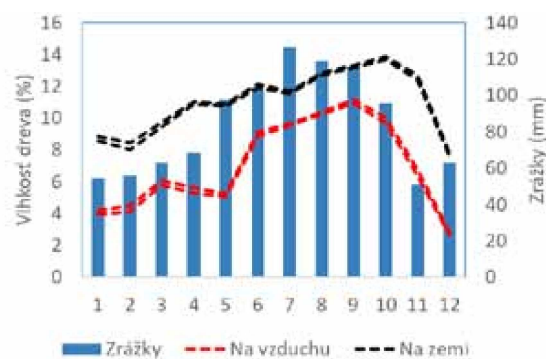
Obrázok 5 znázorňuje mesačné priemery vlhkosti dreva „na zemi“ a „na vzduchu“ spolu s mesačnými úhrnmi zrážok. Vlhkosť dreva „na zemi“ sa pohybovala v rozmedzí 10 – 13 %, zatiaľ čo „na vzduchu“ len 5 – 8 %. Najvyššia vlhkosť sa dosahovala v jesenných mesiacoch (september – október), čo koreluje s vyššími zrážkami. V letných mesiacoch (júl – august) sa vlhkosť dreva „na vzduchu“ výrazne znižovala, čo naznačuje rýchle vysychanie v dôsledku vyšších teplôt a nižšej pôdnej vlhkosti.

Obrázok 6 poskytuje týždenný pohľad na vlhkosť dreva a zrážky. Vlhkosť dreva „na zemi“ je stabilnejšia, s menšími výkyvmi, zatiaľ čo drevo „na vzduchu“ reaguje citlivo na jednotlivé zrážkové impulzy. Po výraznejších zrážkach dochádza k krátkodobému nárastu vlhkosti, no tá sa rýchlo znižuje.



Obrázok 4. Priemerná denná teplota vzduchu, dreva a pôdy na lokalite Jamy po týždňoch (1 – 53) a priemerná minimálna a maximálna denná teplota po týždňoch.

Figure 4. Average daily air, wood, and soil temperature at the Jamy site by weeks (1–53) for all monitored years, and average minimum and maximum daily temperature by weeks.



Obrázok 5. Priemerné mesačné (1 – 12) hodnoty vlhkosti dreva ležiaceho na vzduchu a na zemi (%; horný a dolný interval spoľahlivosti na hladine 95%) a priemerné mesačné zrážky (mm) na lokalite Jamy.

Figure 5. Average monthly (1–12) values of moisture content in wood lying in the air and on the ground (%; upper and lower 95% confidence interval) and average monthly precipitation (mm) at the Jamy site.



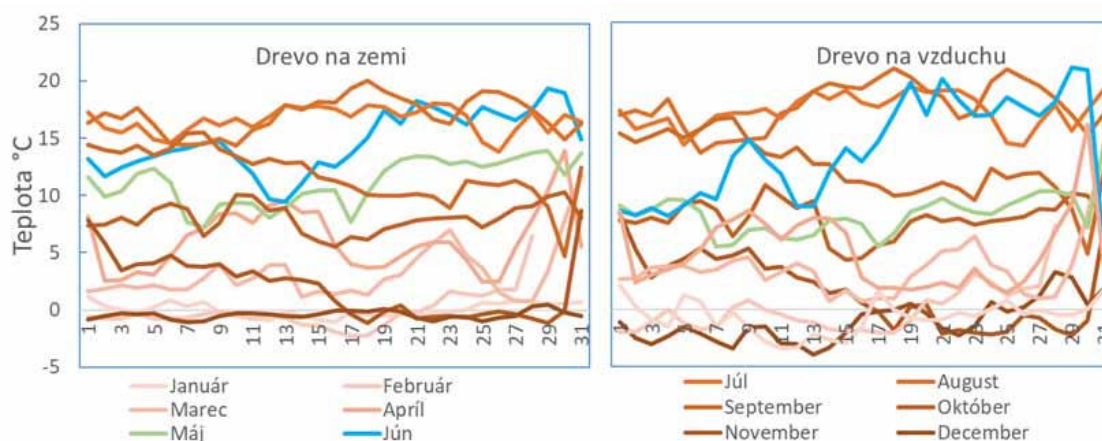
Obrázok 6. Priemerné týždenné (1 – 53) vlhkosti dreva ležiaceho na vzduchu a na zemi (%; horný a dolný interval spoľahlivosti na hladine 95%) a priemerné týždenné zrážky (mm) na lokalite Jamy.

Figure 6. Average weekly (1–53) moisture content of wood lying in the air and on the ground (%; upper and lower 95% confidence interval) and average weekly precipitation (mm) at the Jamy site.

Obrázky 7 a 8 zobrazujú vývoj **priemernej dennej teploty a vlhkosti dreva po mesiacoch**. Teplotné rozdiely medzi drevom „na zemi“ a „na vzduchu“ sú najvýraznejšie v letných mesiacoch, keď drevo „na zemi“ dosahuje vyššie teploty. Vlhkostné rozdiely sú konzistentné počas celého roka, pričom drevo „na zemi“ si udržiava vyššiu vlhkosť aj v zimných mesiacoch.

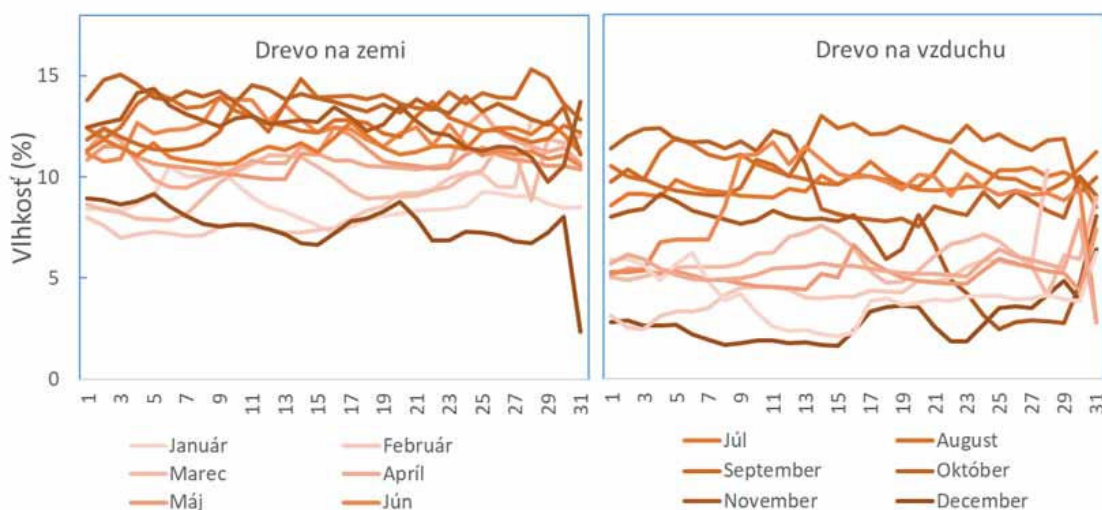
Teplotná variabilita bola najvyššia v zimných mesiacoch (december – február). V letných mesiacoch (jún – august) bola variabilita výrazne nižšia, čo poukazuje na stabilnejšie teplotné podmienky počas vegetačného obdobia. Variabilita teploty dreva bola vo všeobecnosti vyššia než variabilita vzduchu a pôdy (Obr. 7). Drevo reaguje citlivo na zmeny okolitého prostredia, pričom drevo „na vzduchu“ je náchylnejšie na rýchle výkyvy teploty.

Vlhkostná variabilita dreva vykazuje zaujímavé rozdiely medzi drevom „na zemi“ a „na vzduchu“. Vlhkosť dreva „na zemi“ bola najstabilnejšia v mesiacoch s vyššími zrážkami (napr. v septembri a októbri). Naopak, v zimných mesiacoch (január, február) bola variabilita výrazne vyššia, čo môže súvisieť s obmedzenou dostupnosťou vody a zamráním pôdy. Drevo „na vzduchu“ vykazovalo vyššiu variabilitu vlhkosti počas celého



Obrázok 7. Vývoj priemernej dennej teploty ležiaceho dreva na lokalite Jamy po mesiacoch.

Figure 7. Development of the average daily temperature of lying wood at the Jamy site by months.



Obrázok 8. Vývoj priemernej dennej vlhkosti ležiaceho dreva na lokalite Jamy po mesiacoch.

Figure 8. Development of the average daily moisture content of deadwood at the Jamy site by months.

roka, najmä v období sucha (júl, august) (Obr. 8). To naznačuje, že drevo bez kontaktu so zemou je vystavené rýchlemu vysychaniu a reaguje citlivo na krátkodobé zmeny zrážok.

Pietsch et al. (2018) preukázali, že teplota je kľúčovým faktorom ovplyvňujúcim rozklad dreva, pričom mikroklimatické podmienky môžu mať väčší vplyv než samotná biodiverzita. V našej štúdii sa ukázalo, že teplotné rozdiely medzi drevom „na zemi“ a „na vzduchu“ sú síce mierne, ale vlhkosťné pomery sú výrazne odlišné, čo podporuje závery Kim et al. (2021), ktorí zistili, že mikroklima a prístupnosť pre bezstavovce významne ovplyvňujú rýchlosť rozkladu. Z hľadiska stredoeurópskeho kontextu sú naše výsledky porovnateľné so zisteniami Markuljaková et al. (2025), ktorí analyzovali uhlíkové zásoby a biodiverzitu v pralesoch Karpát. Vysoký objem mŕtveho dreva na lokalite Jamy a jeho pomalý rozklad „na vzduchu“ naznačuje, že ponechanie dreva v rôznych polohách môže ovplyvniť dlhodobé ekologické procesy.

Experiment BEClimWood (2024) ukázal, že manipulácia pôdneho kontaktu a zrážok má zásadný vplyv na rozklad dreva. Naša štúdia potvrdzuje, že drevo „na zemi“ si udržiava vyššiu vlhkosť aj počas suchších období, čo je dôležité pre zachovanie mikrobiálnej aktivity.

Zistené rozdiely vo variabilite naznačujú, že drevo „na zemi“ je mikroklimaticky stabilnejšie, čo môže viesť k rýchlejšej dekompozícii. Tieto poznatky sú dôležité pre manažment kalamitných území, kde rozhodnutie o ponechaní dreva „v hromadách“ alebo jeho rozptýlení môže ovplyvniť dynamiku rozkladu a následné ekologické procesy.

Zhrnutie a záver

V príspevku sa prezentujú prvotné výsledky kontinuálneho merania mikroklimatických parametrov na mŕtvom dreve lokality Jamy počas necelých 3 rokov. Merala sa teplota a vlhkosť ležiaceho mŕtveho dreva, ako aj pôdy v hĺbke 15 cm po nespracovanej kalamite Alžbeta s odstupom 17 – 20 rokov. Klimatické údaje na porovnanie sa prevzali z meteorostanice na lokalite Štart (Tatranská Lomnica), vzdialenej dva kilometre od experimentu.

Výsledky ukázali, že rozdiely medzi priemernou teplotou vzduchu, teplotou v povrchovej vrstve pôdy a teplotou dreva ležiaceho na zemi, aj dotýkajúceho sa povrchu len malou časťou („na vzduchu“) boli minimálne. Hodinový, denný, týždňový aj mesačný kolobeh teplôt ponechaného dreva korešpondoval s teplotami vzduchu či povrchovej vrstvy pôdy. Teplota dreva „na zemi“ aj „na vzduchu“ kopíruje sezónne trendy teploty vzduchu a pôdy. Priemerné ročné teploty dreva „na zemi“ boli vo všetkých rokoch mierne vyššie než teploty dreva „na vzduchu“, čo naznačuje schopnosť drevného substrátu akumulovať teplo. Rozdiely však neboli veľmi výrazné – pohybovali sa v rozmedzí 0,5 – 1 °C, čo potvrdzuje, že poloha dreva má menší vplyv na teplotu. Maximálne teploty dreva „na zemi“ dosahovali vyššie hodnoty než drevo „na vzduchu“, najmä v letných mesiacoch.

Zistili sme však výraznejšie, štatisticky významné rozdiely medzi objemovou vlhkosťou dreva ležiaceho priamo na zemi, ako dreva ležiaceho na inom dreve, ktoré sa nedotýkalo pôdy vôbec alebo len malým povrchom. Vlhkosť dreva „na zemi“ bola konzistentne vyššia než vlhkosť dreva „na vzduchu“ vo všetkých monitorovaných rokoch, čo potvrdzuje význam kontaktu so zemou pre udržiavanie vlhkosti. Rozdiely sa pohybovali v priemere od 3 do 5 %, pričom najväčší rozdiel bol zaznamenaný v roku 2023 – priemerná vlhkosť dreva „na zemi“ dosiahla 12,3 %, zatiaľ čo „na vzduchu“ len 6,6 %. Zistili sme tiež významné zmeny počas roka, keď najnižšie hodnoty sa namerali počas zimných mesiacov, s výrazným nárastom od mája a maximom na jeseň (september, október). V mesiacoch, keď sa namerali najvyššie hodnoty vlhkosti dreva, sa zistila tiež najnižšia denná variabilita. Tento rozdiel je výrazný najmä v období vegetačnej sezóny, keď sa zrážky a pôdna vlhkosť podieľajú na udržiavaní stabilného mikroklimatického prostredia. Drevo „na zemi“ si udržiava vyššiu vlhkosť aj počas suchších období, zatiaľ čo drevo „na vzduchu“ je náchylnejšie na výkyvy (najmä v letných mesiacoch, keď dochádza k rýchlemu odparovaniu). V zimných mesiacoch sa vlhkosť oboch typov dreva znižuje, no rozdiely medzi nimi pretrvávajú. V mesiacoch s najvyššou priemernou vlhkosťou dreva (september – október) bola zároveň najnižšia denná variabilita vlhkosti, čo naznačuje stabilnejšie podmienky pre rozklad.

Medziročná variabilita klimatických podmienok ovplyvňovala vlhkosťné pomery oboch typov dreva. V najvlhšom roku 2023 sa rozdiel medzi drevom „na zemi“ a „na vzduchu“ ešte zvýraznil, zatiaľ čo v suchšom roku 2022 bol menší. Rok 2025 (zatiaľ údaje len do marca) ukazuje výrazný pokles vlhkosti v oboch typoch dreva, no drevo „na zemi“ si aj napriek tomu zachovalo vyššiu vlhkosť než drevo „na vzduchu“.

Výsledky monitorovania mikroklimatických podmienok na lokalite Jamy potvrdzujú, že poloha mŕtveho dreva má zásadný vplyv na jeho vlhkosťné charakteristiky. Drevo v kontakte so zemou vykazovalo vyššiu a stabilnejšiu vlhkosť, čo vytvára priaznivejšie podmienky pre mikrobiálnu aktivitu a rozklad. Tieto zistenia sú v súlade s medzinárodnými štúdiami, ktoré zdôrazňujú význam mikroklimy pre dekompozíciu dreva.

Výsledky potvrdzujú, že kontakt dreva so zemou zabezpečuje nielen vyššiu priemernú vlhkosť, ale aj jej stabilitu v čase. Drevo „na vzduchu“ je vystavené väčším výkyvom, čo môže viesť k prerušeniu rozkladných procesov počas suchých období. Z hľadiska ekologického významu to naznačuje, že poloha mŕtveho dreva v teréne môže výrazne ovplyvniť rýchlosť jeho dekompozície. Tieto poznatky sú dôležité pre manažment kalamitných území, kde rozhodnutie o ponechaní dreva „v hromadách“ alebo jeho rozptýlení, môže ovplyvniť dynamiku rozkladu a následné ekologické procesy. Výsledky tejto experimentálnej štúdie tvoria základ pre dlhodobejší výskum zameraný na analýzu vplyvu mikroklimatických vlastností prostredia na vývoj rozkladu mŕtveho dreva, v ktorých máme záujem pokračovať aj v ďalších rokoch.

Podakovanie

Táto práca vznikla vďaka riešeniu úloh projektov APVV-20-0168, APVV-20-0365, APVV-21-0224, APVV-24-0057 financovaných z Agentúry na podporu výskumu a vývoja, ako aj ako aj v rámci projektu VEGA 1/0285/23.

Literatúra

- BEClimWood Experiment, 2024: Effects of climate and land use on wood decomposition and biodiversity. Biodiversity Exploratories.
- Bradford, M. A., Warren II, R. J., Baldrian, P., Crowther, T. W., Maynard, D. S., Oldfield, E. E. et al., 2014: Climate fails to predict wood decomposition at regional scales. *Nature Climate Change*, 4:625–630.
- Fleischer, P., 2005: Nové výskumné aktivity. *Tatry XLIV*, 2. mimoriadne vydanie, s. 27–28.
- Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D. et al., 1986: Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Adv. Ecol. Res.*, 15:133–202.
- Kim, H., et al., 2021: Microclimate and invertebrate exclusion effects on deadwood decomposition. *Scientific Reports*, 11:94424.
- Kipping, L., Maurer, F., Gossner, M. M., Muszynski, S., Kahl, T., Kellner, H. et al., 2022: Drivers of deadwood decay of 13 temperate tree species are similar between forest and grassland habitats. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5. Dostupné on-line: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1020737>.
- Konôpka, B., Šebeň, V., Merganičová, K., 2021: Forest Regeneration Patterns Differ Considerably between Sites with and without Windthrow Wood Logging in the High Tatra Mountains. *Forests*, 12.
- Kunca, A., Zúbrik, M., Vakula, J., Leontovych, R., Konôpka, B., Nikolov, Ch. et al., 2019: Salvage felling in the Slovak Republic's forests during the last twenty years (1998–2017). *CEFJ*, 65:3–11.
- Markuljaková, M. et al., 2025: Rewilding beech-dominated temperate forest ecosystems: effects on carbon stocks and biodiversity indicators. *iForest*, 18:1–9.
- Piaszczyk, W., Lasota, J., Blonska, E., Foremnik, K., 2022: How habitat moisture condition affects the decomposition of fine woody debris from different species. *Catena*, 208:105765.
- Pietsch, K. et al., 2018: Wood decomposition is more strongly controlled by temperature than by biodiversity. *iDiv Biodiversity Exploratories*.
- Prívětvý, T., Adam, D., Vrška, T., 2018: Decay dynamics of *Abies alba* and *Picea abies* deadwood in relation to environmental conditions. *Ecology and Management*, 427:250–259.
- Seibold, S., Rammer, W., Hothorn, T., Seidl, R., Ulyshen, M. D., Lorz, J. et al., 2021: The contribution of insects to global forest deadwood decomposition. *Nature*, 597:77–81.
- Seidl, R., Schelhaas, M.-J., Rammer, W., Verkerk, P. J., 2014: Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nat. Clim. Chang.*, 4:806–810.
- Shorohova, E., Kapitsa, E., 2016: The decomposition rate of non-stem components of coarse woody debris (CWD) in European boreal forests mainly depends on site moisture and tree species. *European Journal of Forest Research*, 135:593–606.
- Šmelko, Š., Šebeň, V., Bošela, M., Merganič, J., Jankovič, J., 2008: Národná inventarizácia a monitoring lesov Slovenskej republiky 2005 – 2006. Základná koncepcia a výber zo súhrnných informácií, Zvolen, NLC, 16 s.
- Šebeň, V.; Bošela, M., 2011: Obnova lesa v Tatrách so spracovanou a nespracovanou kalamitou. In: *Proceedings of the International Conference, Nový Smokovec*, p. 76–82.

- Šebeň, V., 2017: Národná inventarizácia a monitoring lesov Slovenskej republiky 2015 – 2016. Lesnícke štúdie 65, 255 pp.
- Šebeň, V., Pajtík, J., Konôpka, B., 2024: The Impact of Salvage Logging on Deadwood Decomposition and Forest Regeneration: A Case Study in Tatra National Park, Slovakia. *Forests*, 15:1936.
- Woodall, C. W., Evans, D. M., Fraver, S., Green, M. B., Lutz, D. A., D'Amato, A. W., 2020: Real-time monitoring of deadwood moisture in forests: lessons learned from an intensive case study. *Canadian Journal of Forest Research*, 50:1244–1252.
-

ADRESA

Ing. Vladimír Šebeň, PhD., Ing. Zuzana Sitková, PhD.
Národné lesnícke centrum – Sekcia pre vedu a výskum
T. G. Masaryka 2175/22
SK–960 01 Zvolen
e-mail: vladimir.seben@nlcsk.org; zuzana.sitkova@nlcsk.org

Ing. Adriana Leštianska, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta
Masarykova 24
SK–960 01 Zvolen
e-mail: adriana.lestianska@tuzvo.sk