



SUCHO 2022 V KONTEXTE DLHODOBÝCH KLIMATICKÝCH TRENDOV V LESOCH SLOVENSKA

Zuzana Sitková ▪ Jerguš Rybár ▪ Pavel Pavlenda

Sitková, Z., Rybár, J., Pavlenda, P.: Drought 2022 in the context of long-term climate trends in the forests of Slovakia. APOL, 2023, vol. 4, no. 1, p. 64–72.

Abstract: Evaluation of long-term climate data from freely available climate databases showed in the forests of Slovakia a significant warming trend (increase in the number of summer days), lengthening of the growing season, decrease in the number of days with frost and also an increase in the number of days with precipitation totals over 20 mm. Spatial analyzes showed that the summer precipitation deficit in 2022 compared to the previous long-term period 1950–2021 was regionally different, with the most pronounced summer drought recorded in the forest sites of eastern Slovakia and south-central Slovakia. The climatic water balance calculated from regional meteorological measurements was negative in the entire growing season of 2022, both on the monitoring plot in western Slovakia (Čifáre) and in eastern Slovakia (Svetlice). A persistent soil drought in summer was also recorded on the south part of the Tatra Mts. at an elevation about 1,000 m a.s.l. Long-term trends clearly indicate the progress of climatic stress, and it is necessary to take into account not only short-term, but also expected future long-term reactions of forest trees in Slovakia.

Key words: climate trends and indices; drought 2022; forest monitoring; Slovakia

Úvod

V roku 2022 boli zaznamenané na globálnej úrovni nové rekordné hodnoty koncentrácií skleníkových plynov v atmosfére. Úroveň CO₂ dosiahla hodnotu 415,7 ppm ±0,2, t. j. 149 % predindustriálnej úrovne. Metán (CH₄), ktorý je 25-krát účinnejší pri zachytávaní tepla v atmosfére ako oxid uhličitý dosiahol najväčší medziročný nárast medzi rokmi 2020 a 2021, a to 18 ppb. Obdobie 8 rokov od 2015 až 2022 bolo vôbec najteplejším od začiatku meraní v roku 1850. Správa Svetovej meteorologickej organizácie (WMO) o stave globálnej klímy za rok 2022 tak potvrdila ďalšie pokračovanie bezprecedentných zmien v terestrických aj vodných systémoch (WMO 2023). Podľa environmentálneho programu Európskej únie Copernicus bolo leto 2022, ktoré nasledovalo po suchej jari s nadpriemernými teplotami vzduchu vyhodnotené ako „najhoršie v histórii“ vo veľkej časti Európy (Toreti et al. 2022). V tlači sa dokonca objavila informácia, že na základe hydrologických anomálií v odtoku by sucho v roku 2022 mohlo byť v Európe „najhoršie za 500 rokov“ (Henley 2022).

Klimaticky extrémne leto 2022 zrejme bude mať nepriaznivé dopady na stav lesnej aj nelesnej vegetácie v celej Európe vrátane Slovenska. Štúdia z Álp (Choler 2023) založená na spracovaní vegetačného indexu NDVI z údajov MODIS preukázala, že sucho sprevádzajúce vlnu horúčav v roku 2022 malo bezprecedentne negatívny vplyv na ekosystémy a vegetáciu nad hornou hranicou lesa (*canopy greenness*). Za ostatné dve desaťročia boli podobne udalosti s dlhotrvajúcimi horúčavami a suchom zaznamenané v Európe najmä v rokoch 2003 a 2015 (Buntgen et al. 2021). V minuloročnom príspevku na konferencii APOL 2022 (Pavlenda et al. 2022) sme na dátach z monitoringu lesov Slovenska preukázali, že na úrovni celého Slovenska došlo v roku 2022 oproti predchádzajúcemu roku k významnému zvýšeniu priemernej defoliácie lesných drevín, obzvlášť listnatých druhov. Priemerná defoliácia buka sa zvýšila o 4,5 % na hodnotu 26,5 %, čo predstavovalo najvyššiu defoliáciu buka za celé sledované obdobie 1988 – 2022.

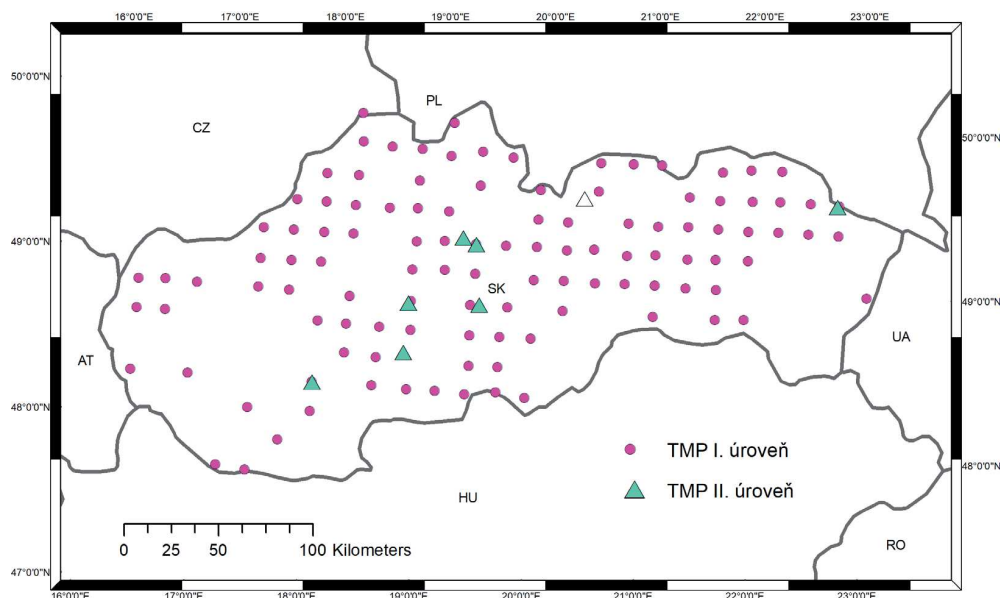
Predložená práca je zameraná na podrobnejšiu analýzu dlhodobých klimatických trendov v lesoch Slovenska, so zameraním sa osobitne na sucho v roku 2022. Cieľom bolo na základe dlhodobých časových a priestorových údajov z voľne dostupných databáz identifikovať regionálne špecifiká a najviac suchom ohrozené

oblasti na základe zrážkového deficitu v letnom období 2022. Doplnkovými informáciami sú údaje z vlastných terestrických zisťovaní (meteorologické a pôdne merania) v roku 2022, ktoré sú tiež predmetom tejto práce. Na uvedené analýzy dát nadväzuje príspevok zameraný na zhodnotenie stavu a reakcie ihličnatých drevín na extrémne suché leto 2022 podľa najnovších údajov monitoringu lesov na Slovensku (Pavlenka et al. 2023).

Metodika a údaje

Záujmové územie, monitorovacia sieť, výskumné plochy

Pre analýzu dlhodobých zmien vo vývoji klímy na Slovensku a osobitne v roku 2022 sme využili klimatické dáta extrahované z gridovej klimatickej databázy E-OBS s rozlíšením $0,1^\circ$ a interpolované pre trvalé monitorovacie plochy I. a II. úrovne (TMP I a TMP II) v rámci medzinárodného programu ICP Forests a národnej monitorovacej siete ČMS Lesy (obr. 1), ale aj pre sériu ďalších výskumných plôch a objektov v lesoch Slovenska. Nami využitá databáza tak pozostáva z kompletných časových radov (s denným rozlíšením teploty vzduchu a zrážkových úhrnov v období od 1. 1. 1950 do 31. 12. 2022, spolu pre 112 plôch I. úrovne (TMP I), 8 plôch II. úrovne (TMP II), 30 plôch horských lesov a siete 7 doplnkových staníc lesníckeho meteorologického monitoringu na Slovensku (www.forestweather.sk; Sitková et al. 2020).



Obrázok 1. Poloha trvalých monitorovacích plôch I. a II. úrovne monitoringu lesov Slovenska a v rámci medzinárodnej monitorovacej siete ICP Forests

Figure 1. Location of permanent monitoring plots (Level I and Level II) of the forest monitoring in Slovakia and in the framework of ICP Forests programme

Klimatická databáza E-OBS

Podľa Cornes et al. (2018) je E-OBS (European Observation dataset for gridded daily data) klimatický model prevádzkovaný holandským kráľovským meteorologickým inštitútom, ktorého výstupom sú priebehy základných klimatických ukazovateľov (teplota, úhrn zrážok, tlak vzduchu, globálna radiácia, relatívna vlhkosť vzduchu) vo forme geopriestorovej mriežky s rozlíšením buď $0,1^\circ$ alebo $0,25^\circ$. Ide o verziu ECA datasetu (European Climate Assessment), ktorá bola prevedená do mriežkového formátu. Pôvodný ECA dataset obsahuje denné pozorovania získané z meteorologických staníc z celej Európy a stredozemného regiónu. Vstupom do modelu sú údaje z klimatických staníc národných sietí v celej Európe. Mriežková forma výstupov vo formáte netCDF (Network Common Data Form). Poskytuje možnosti vyhodnocovať klimatické premenné

v priestorovom kontexte, so zohľadnením lokálnych klimatických špecifik a miestnej orografie. Údaje v databáze EOBS sú dostupné od roku 1950, pričom jej aktualizácia a dopĺňanie o najnovšie dáta je vykonávané 2× ročne.

Hodnoty v priesečníkoch siete E-OBS môžu byť za využitia priestorovej interpolácie v prostredí jazyka R (R Core Team, 2023) extrahované pre ľubovoľné zadané súradnice. Pre získanie časových radov pre konkrétne body na území SR (TMP – trvalé monitorovacie plochy) bola využitá priestorová interpolácia zo štyroch najbližších bodov 0,1° E-OBS mriežky, pričom výsledné hodnoty sú vážené vzdialenosťou od jednotlivých bodov. Hodnoty teplôt vzduchu a úhrnov zrážok boli upravené taktiež zohľadnením nadmorskej výšky zadaného bodu prostredníctvom všeobecne známych altitudinálnych gradientov teploty a úhrnov zrážok pre územie SR. Tieto interpolované časové rady boli nakoniec priestorovo vyhodnotené s cieľom identifikovať v rámci Slovenska regionálne špecifiká a najviac suchom ohrozené oblasti na základe zrážkového deficitu v letných mesiacoch (jún, júl, august). Ako referenčný úhrn na vyčíslenie deficitu bol použitý dlhodobý priemer úhrnov zrážok (1950 – 2021) v letnom období pre každú konkrétnu lokalitu.

Terestrické merania pre hodnotenie sucha

Okrem analýz dlhodobých trendov hodnotíme na vybraných monitorovacích plochách pre rok 2022 klimatickú vodnú bilanciu (KVB, mm) prepočtom z pozemných meteorologických meraní realizovaných na staniách lesníckeho meteorologického monitoringu v 10-minútovom intervale. Ukazovateľ klimatickej vodnej bilancie je odvodený konkrétne na základe meraní úhrnov zrážok (Z) a počítanej potenciálnej evapotranspirácie (PET) na konkrétnom stanovišti či meteorologickej stanici a za určitý čas (Baumgartner & Liebscher 1990). Výpočet vychádza z rozdielu Z-PET počítanom pre 30-denné klzavé okno, pričom záporné hodnoty vodnej bilancie (PET > Z) znamenajú deficit zrážok a riziko sucha, a naopak kladné hodnoty (PET < Z) predstavujú nadbytok zrážok a priaznivú vlhkosťnú bilanciu na danej lokalite.

Na ukážku vlhkosťnej situácie v pôde tiež prinášame zhodnotenie meraní o vodnom potenciáli pôdy (SWP – soil water potential, MPa) v období jún – december 2022, nameranom na lokalite Jamy v blízkosti Tatranskej Lomnice. Merania sa realizovali v hĺbke 15 cm, v dvoch pôdnych sondách a s využitím spolu 6 senzorov, sadrových bločkov (GB2 – gypsum blocks). Dáta boli zaznamenávané každú hodinu do datalogera Microlog SP3 (www.emsbrno.cz). Doplnkovou je informácia o priebehu hodinových úhrnov zrážok nameraných na stanici Tatry–juh, Rakytovské plieska (1 260 m n. m.).

Výsledky

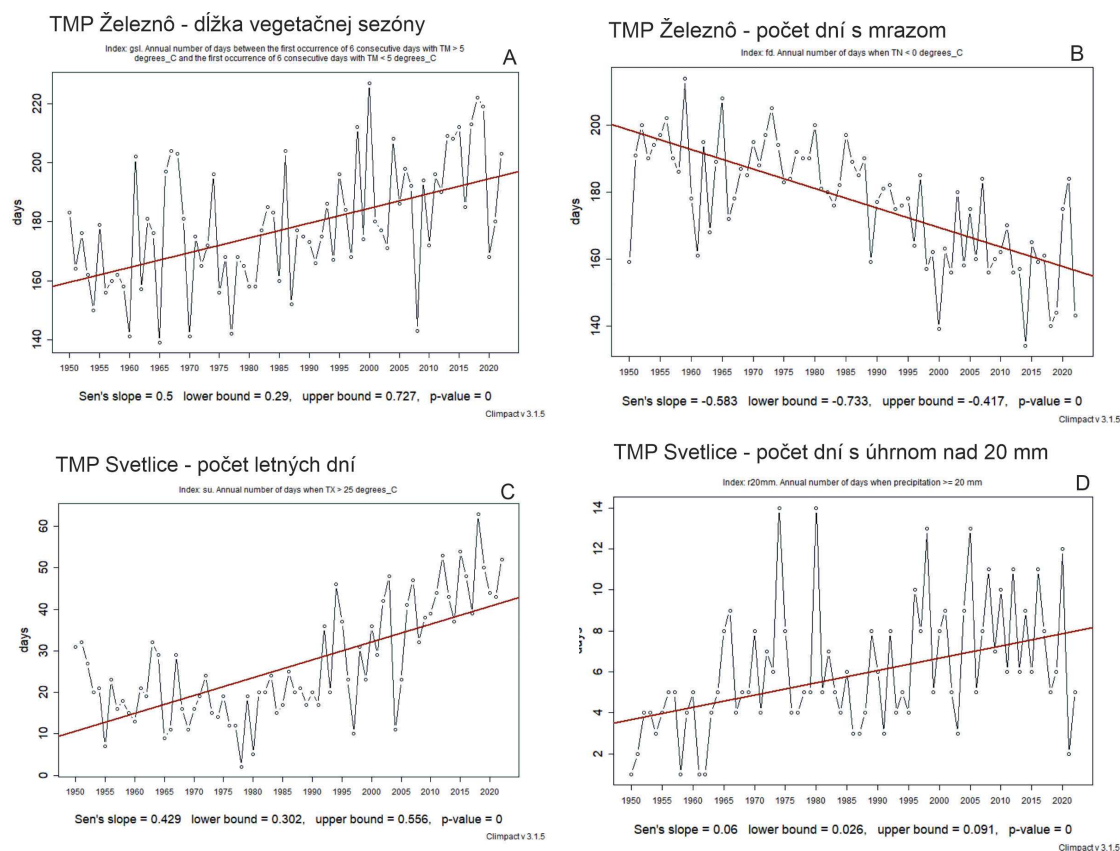
Klimatické trendy

Grafické znázornenie dlhodobých klimatických trendov v období od 1950 – 2022 pre 4 vybrané klimatické indexy prináša obrázok 2. Priebeh indexov so štatistickým zhodnotením demonštrujeme pre dve lesné lokality: jednu horskú so smrekovým porastom na TMP Železnô (1 000 m n. m.) v Nízkych Tatrách (obr. 2A, B) a druhú stredohorskú s bukovým porastom na TMP Svetlice (550 m n. m.) v Laboreckej vrchovine (obr. 2C, D).

Naše analýzy preukázali, že aj na horskej lokalite v Nízkych Tatrách (na TMP Železnô) sa významne predlžuje vegetačné obdobie (obr. 2A), o čom svedčí signifikantný nárast ukazovateľa GSL (*growing season length*) počas ostatných 72 rokov. Index GSL predstavuje počet dní v roku medzi prvým výskytom 6 po sebe idúcich dní s priemernou dennou teplotou (TM) nad 5 °C a prvým výskytom 6 po sebe idúcich dní s teplotou TM pod 5 °C. Z hľadiska vegetácie, ale aj životných cyklov iných organizmov (napr. podkôrny hmyz), je negatívnym zistením skutočnosť, že dlhodobo významne klesá počet dní s mrazom v rámci roka (obr. 2B), minimálne denné teploty vzduchu teda stále rastú. Potvrďuje to trendová krivka vývoja indexu FD (*frost days*), ktorá ukazuje na signifikantný pokles počtu dní s minimálnou dennou teplotou (TN) pod 0 °C.

Významný trend otepľovania na východnom Slovensku (na TMP Svetlice) vyjadruje ukazovateľ počtu letných dní (index SU – *summer days*) s maximálnou dennou teplotou nad 25 °C (obr. 2C). Zároveň sa na tej istej lokalite za ostatných 7 desaťročí ukázal významný trend nárastu počtu dní v roku, v ktorých bol dosiahnutý alebo prekročený denný úhrn zrážok 20 mm (index r20mm). Ukazovateľ bol významný na 5 %

hladine významnosti, takže so spoľahlivosťou 95 % signalizuje, že počas v období 1950 – 2022 pribudlo dní s vyšším objemom zrážok za 24 hodín (*heavy precipitation days*) (obr. 2D).

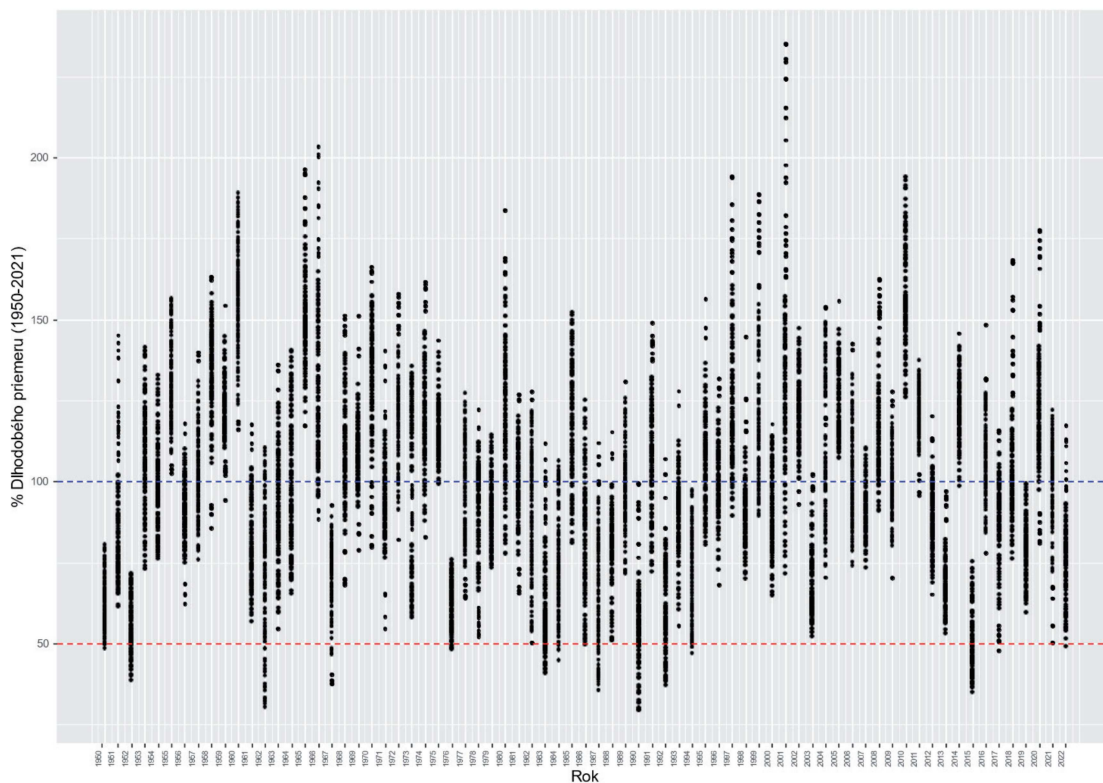


Obrázok 2. Trend vývoja vybraných 4 klimatických indexov na TMP Železnô (Nízke Tatry, smrekový porast 1 000 m n. m.) a TMP Svetlice (Laborecká vrchovina, bukový porast, 550 m n. m.), odvodených na základe denných údajov z klimatickej databázy E-OBS za obdobie 1950 – 2022: A/ TMP Železnô – dĺžka vegetačnej sezóny (GSL), t. j. počet dní v roku v období medzi prvým výskytom 6 po sebe idúcich dní s priemernou dennou teplotou (TM) nad 5 °C a prvým výskytom 6 po sebe idúcich dní s teplotou TM pod 5 °C; B/ TMP Železnô – počet „mrazových“ dní v roku (FD, frost days), v ktorých minimálna denná teplota (TN) klesne pod nulu; C/ TMP Svetlice – počet letných dní (SU), t. j. počet dní v roku, v ktorých maximálna teplota vzduchu dosiahne 25 °C a viac; D/ TMP Svetlice – počet dní s denným úhrnom nad 20 mm (r20mm – heavy precipitation days)

Figure 2. Time trend of selected 4 climate indices at PMP Železnô (Low Tatra Mts., spruce forest 1,000 m a.s.l.) and PMP Svetlice (Laborecká vrchovina, beech forest, 550 m a.s.l.), derived on the basis of daily data from the climate database E-OBS for the period 1950–2022: A/ PMP Železnô – growing season length (GSL), annual number of days between the first occurrence of 6 consecutive days with mean daily air temperature (TM) above 5 °C and the first occurrence of 6 consecutive days with TM below 5 °C; B/ PMP Železnô – annual number of frost days (FD) when minimum daily air temperature (TN) is below zero; C/ TMP Svetlice – number of summer days (SU), annual number of days when maximum air temperature >=25 °C; D/ TMP Svetlice – annual number of days when daily precipitation >= 20 mm (r20mm – heavy precipitation days)

Priebeh relatívneho deficitu zrážok v letnom období (jún – august) od dlhodobého priemeru (1950 – 2021) pre sieť 155 plôch, zostavenej najmä z monitorovacích plôch I. a II. úrovne monitoringu lesov a programu ICP Forests, ďalej z vybraných plôch horských lesov v Tatrách a siete doplnkových meteostaníc dokumentuje graf na obrázku 3. Z grafickej distribúcie všetkých plôch v jednotlivých rokoch vidíme, že počas 70 rokov je možné identifikovať niekoľko rokov s výskytom deficitu letných zrážok pod 50 % z priemerného „normálneho“ úhrnu (1952, 1962, 1967, 1976, 1983, 1984, 1987, 1990, 1992, 2015, 2017, 2022) aspoň na niektorej z monitorovaných TMP. Z rozptylu hodnôt je možné identifikovať roky, kedy bolo sucho v priestore rovno-

mernejšie a roky, kedy boli zaznamenané výrazné regionálne rozdiely (napr. rok 1976 v porovnaní s rokom 1983). Z hľadiska tohoto ukazovateľa sa javí ako najextrémnejší rok 2015, kedy extrémne letné sucho zasiahlo prakticky celé územie SR.

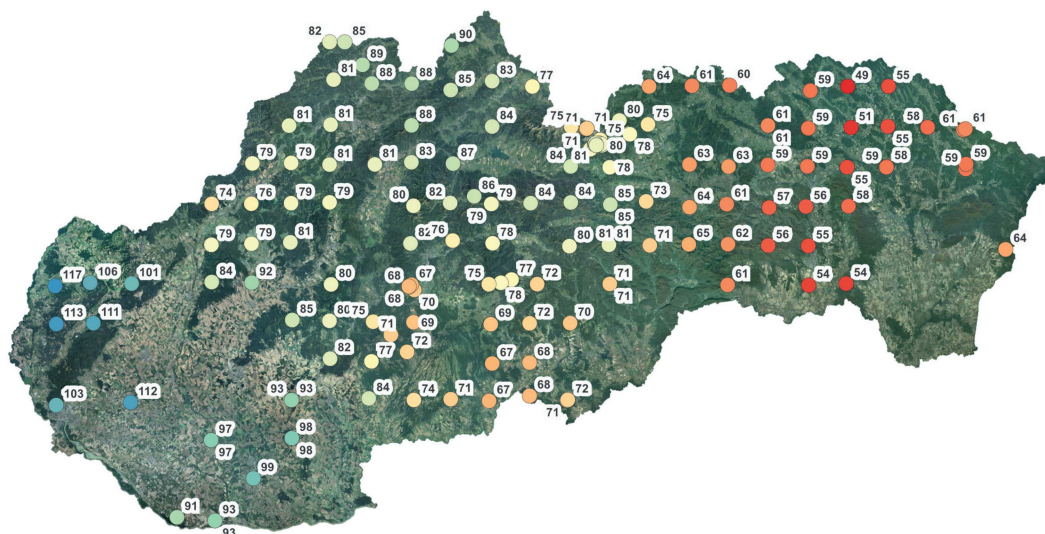


Obrázok 3. Priebeh relatívneho deficitu zrážok v letnom období (jún – august) od dlhodobého priemeru (1950 – 2021) spolu pre sieť výskumných a monitorovacích plôch v lesoch na Slovensku

Figure 3. Development of the relative precipitation deficit during the summer season (June–August) from the long-term average (1950–2021) for a network of forest research and monitoring plots in Slovakia

Priestorové rozloženie úhrnov zrážok na lesných lokalitách na Slovensku počas letných mesiacov (jún – august) roku 2022 prezentuje mapa na obr. 4. Hodnoty vyjadrujú percentuálny podiel úhrnu letných zrážok z dlhodobého priemeru 1950 – 2021 (100 %). Z výstupu je zrejmé, že sucho v roku 2022 bolo z pohľadu letných zrážok najvýraznejšie na východnom Slovensku, kedy v klimatických ukazovateľoch pre plochu monitoringu I. úrovne TMP Nižný Mirošov (TMP I – plocha V2) je zaznamenaný úhrn tvoriaci len 49 % z dlhodobého priemeru.

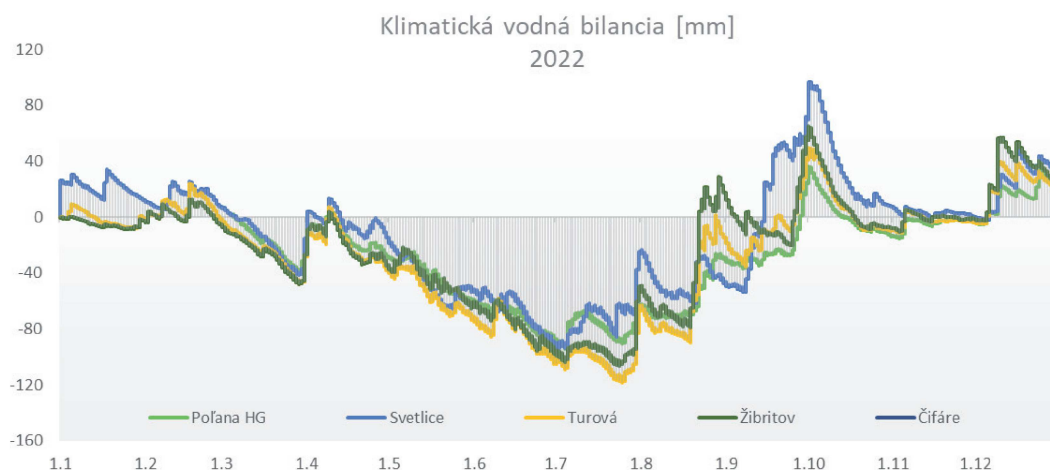
Dlhodobým trendom v ukazovateľoch sucha (indexy SPI – štandardizovaný zrážkový index a SPEI – štandardizovaný zrážkovo-evapotranspiračný index) v priestore strednej Európy počas obdobia 1949 – 2018, je jeho signifikantný nárast v letných mesiacoch, pričom významnosť týchto dlhodobých trendov bola potvrdená pre Českú republiku, Maďarsko, Slovensko, Rumunsko, Moldavsko a južné Poľsko (Jaagus et al. 2022). Pre územie Slovenska autori špeciálne uvádzajú významný nárast sucha na začiatku vegetačného obdobia (apríl) pre územie východného Slovenska. Autori zdôvodňujú tieto trendy najmä nestabilitou základných klimatických ukazovateľov v zimných a jarných mesiacoch, ktoré výrazne ovplyvňujú priebeh počasia vo vegetačnom období. Mierne zimy spôsobujú nižšie maximá jarnej vody v riekach so skoršou kulmináciou, pričom následne chýbajúca pôdna vlhkosť umožňuje skorší nástup sucha ako v minulosti (Jaagus et al. 2017).



Obrázok 4. Percento zrážok (RR %) v letných mesiacoch (jún, júl, august) roku 2022 z dlhodobého priemeru 1950 – 2021 na rôznych výskumných plochách na Slovensku na základe denných údajov z klimatekovej databázy E-OBS
Figure 4. Percentage of precipitation (RR %) in summer months of 2022 (June, July, August) from long-term average 1950–2021 in the various research plots across Slovakia based on daily data from E-OBS climate database

Sucho 2022 podľa terestrických meraní

Čo sa týka zhodnotenia vývoja sucha v roku 2022 na základe vlastných pozemných meraní, z priebehu klimatekovej vodnej bilancie vypočítanej pre vybraných 5 meteorologických staníc blízko trvalých monitorovacích plôch v lesoch Slovenska sa dá pozorovať nástup negatívnej vodnej bilancie už v marci, s postupným prehľbujúcim sa klimatickým suchom až do konca augusta 2022 (obr. 5). Spolu s niekoľkými vlnami horúčav a extrémnymi teplotami (najmä v júli) priniesol tento výrazný deficit zrážok viditeľné symptómy na korunovom aparáte viacerých druhov lesných drevín (najmä listnatých) a vo viacerých regiónoch Slovenska (Pavlenda et al. 2022).

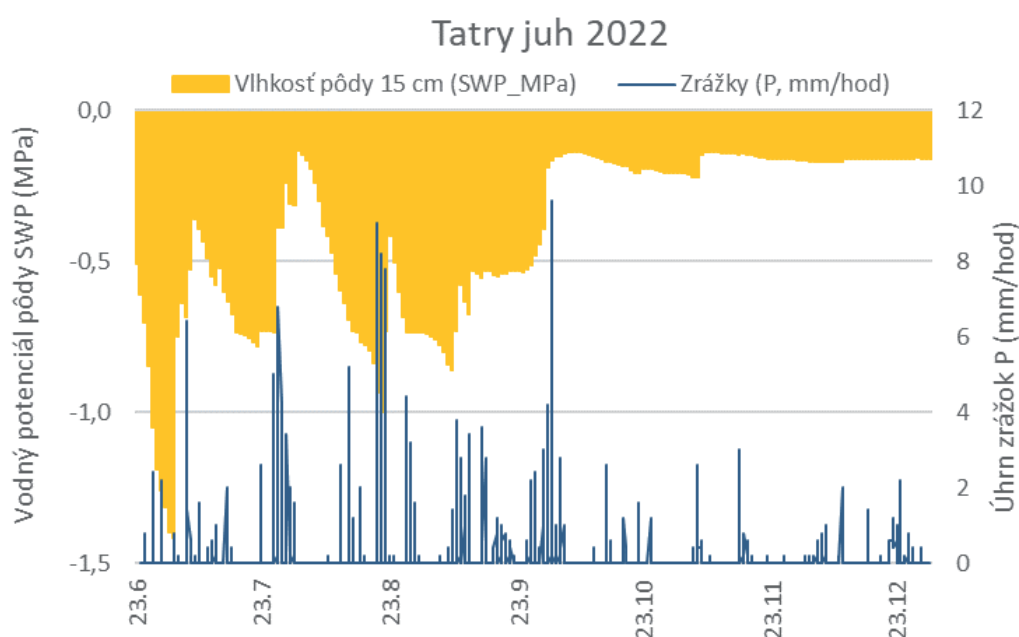


Obrázok 5. Klimatická vodná bilancia (mm) a jej priebeh v roku 2022 na vybraných trvalých monitorovacích plochách (TMP) v rôznych častiach Slovenska (Poľana 850 m n. m., Turová 620 m n. m., Žibritov 520 m n. m., Svetlice 550 m n. m., Čifáre 225 m n. m.)

Figure 5. Development of climatic water balance (mm) in 2022 at selected permanent monitoring plots located in various parts of Slovakia (Poľana 850 m a.s.l., Turová 620 m a.s.l., Žibritov 520 m a.s.l., Svetlice 550 m a.s.l., Čifáre 225 m a.s.l.)

Merania vlhkosti pôdy (SWP – vodného potenciálu pôdy) v južnej časti Tatier na pokalamitnej lokalite bez stojaceho porastu (T. Lomnica – Jamy, 1 000 m n. m.) preukázali už koncom júna 2022 výrazné pôdne suchu (takmer – 1,5 MPa) v povrchovej hĺbke pôdy 15 cm (obr. 6). Vlhkostná situácia sa vylepšila koncom septembra pravdepodobne prísunom pravidelnejších zrážok, ale tiež poklesom teplôt a výparu. Na opačnej, severnej strane Tatier (Javorová dolina, 1 150 m n. m.), sa výraznejšie suchu v pôde v rovnakom období neprejavilo (Sitková et al. 2023). Merania vlhkosti pôdy však prebiehajú v mladých porastoch smreka, javora horského a jedle (vek cca 10 až 30 rokov).

Na výrazne negatívne anomálie a deficit pôdnej vlhkosti už koncom júna 2022 v širšom regióne od východu Maďarska, Slovenska, západnú Ukrajinu, Rumunsko a ďalšie krajiny Európy poukázala a potvrdila analytická správa JRC (*Joint Research Centre*) založená na dátach GDO (*Global Drought Observatory*) (Toreti et al. 2022). Podľa najnovšej štúdie (Schumacher et al. 2023) sa pre oblasť západnej a strednej Európy a pri súčasnej klíme očakáva také pôdne suchu ako bolo v lete v roku 2022 (jún až august) raz za 20 rokov, no v predindustriálnom období by sa vyskytlo približne len raz za 100 rokov.



Obrázok 6. Priebeh hodinových hodnôt vodného potenciálu pôdy (SWP, MPa) a úhrnov zrážok (mm) v roku 2022 (jún – december) na lesných lokalitách v južnej časti Vysokých Tatier

Figure 6. Hourly data of soil water potential (SWP, MPa) and precipitation (P, mm) measured during the year 2022 (June–December) at forest sites situated in south part of High Tatra Mts

Zhrnutie

Analýzy dlhodobých klimatických údajov z voľne dostupnej klimatickej databázy E-OBS preukázali na vybraných monitorovacích plochách v lesoch Slovenska významný trend otepľovania (nárast počtu letných dní), predlžovanie vegetačnej sezóny, pokles počtu dní s mrazom (nárast minimálnych denných teplôt vzduchu), a tiež nárast počtu dní so zrážkami nad 20 mm (*heavy precipitation days*). Z priestorovej analýzy dlhodobých dát sa ukázalo, že na Slovensku bol letný deficit zrážok v roku 2022 v porovnaní s predchádzajúcim dlhodobým obdobím 1950 – 2021 výrazne regionálne odlišný, pričom najvýraznejšie letné suchu bolo na trvalých monitorovacích plochách v lesoch na východnom Slovensku a na juhu stredného Slovenska. Naproti tomu rok 2015 sa ukázal ako nadpriemerne teplý a suchý na celom území Slovenska. Klimatická vodná bilancia počítaná z meteorologických meraní bola negatívna v celom vegetačnom období roku 2022, a to tak na ploche na západnom Slovensku (TMP Čifáre) ako aj na východnom Slovensku (TMP Svetlice). Rozdiely

vo vlhkosti pôdy v lete 2022 sa prejavili v oblasti Tatier, pričom na južnej strane Tatier bolo zaznamenané pretrvávajúce pôdne sucho od konca júna do konca septembra, naopak na severnej strane Tatier bola zistená priaznivá vlhkosť pôdy počas celej vegetačnej sezóny. Každopádne dlhodobé trendy indikujú jednoznačne progres klimatického stresu a je nutné počítať nielen s krátkodobými odozvami (hnednutie, žltnutie, strata asimilačných orgánov), ale aj dlhodobými reakciami (pokles funkčnosti, vitality a odolnosti, straty na produkcii) lesných drevín na Slovensku. V neposlednom rade, tieto trendy sa postupne pravdepodobne prejavajú aj na zmenených podmienkach pre transformáciu organickej pôdnej hmoty (humifikácia, mineralizácia), a teda aj na úrovni zásob organického uhlíka v pôde.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv APVV–20–0365 (FORECALL) a APVV–20–0168 (DEAWOO), a tiež z prostriedkov úlohy výskumného zámeru „Adaptačný potenciál drevín pri príprave lesov Slovenska na zmenu klímy – TreeAdapt“, financovanej z rozpočtovej kapitoly MPRV SR (prvok 08V0301).

Literatúra

- Baumgartner, A., Liebscher, J., 1990: Allgemeine Hydrologie, quantitativ Hydrologie. Berlin-Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, 650 p.
- Buntgen, U., Urban, O., Krusic, P. J., Rybníček, M., Kolar, T., Kyncl, T., Áč, A., Konasova, E., Caslavsky, J., Esper, J., Wagner, S., Saurer, M., Tegel, W., Dobrovolny, P., Cherubini, P., Reinig, F., Trnka, M., 2021: Recent European drought extremes beyond Common Era background variability. *Nature Geoscience*, 14:190. Dostupné na [10.1038/s41561-021-00698-0](https://doi.org/10.1038/s41561-021-00698-0).
- Cornes, R., van Der Schrier, G., van Den Besselaar, E. J. M., Jones, P. D., 2018: An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 123. Dostupné na [doi:10.1029/2017JD028200](https://doi.org/10.1029/2017JD028200).
- Henley, J. for The Guardian, 2022: Europe's rivers run dry as scientists warn drought could be worst in 500 years, 13-08-2022, Dostupné na <https://www.theguardian.com/environment/2022/aug/13/europes-rivers-run-dry-as-scientists-warn-drought-could-be-worst-in-500-years>, last accessed: 27-02-2023.
- Herold, N., Alexander, L., 2016: ClimPACT2. A software tool for calculating climate extremes indices. Dostupné na <https://www.r-project.org/>.
- Choler, P., 2023: Above-treeline ecosystems facing drought: lessons from the European 2022 summer heatwave. *Biogeosciences*. Preprint bg-2023-74. Dostupné na <https://doi.org/10.5194/bg-2023-74>
- Jaagus, J., Aasa, A., Aniskevich, S., Boincean, B., Bojariu, R., Briede, A., Danilovich, I., Castro, F. D., Dumitrescu, A., Labuda, M., Labudová, L., Lõhmus, K., Melnik, V., Mõisja, K., Pongracz, R., Potopová, V., Řezníčková, L., Rimkus, E., Semenova, I., Stonevičius, E., Štěpánek, P., Trnka, M., Vicente-Serrano, S. M., Wibig, J., Zahradníček, P., 2022: Long-term changes in drought indices in eastern and central Europe. *International Journal of Climatology*, 42:225–249. Dostupné na <https://doi.org/10.1002/joc.7241>.
- Jaagus, J., Sepp, M., Tamm, T., Järvet, A., Mõisja, K., 2017: Trends and regime shifts in climatic conditions and river runoff in Estonia during 1951–2015. *Earth Systems Dynamics*, 8:963–976.
- Pavlanda, P., Pajtík, P., Sitková, Z., Priwitzer, T., Pavlendová, P., 2022: Manifestations of extreme drought on forest trees species in permanent monitoring plots of PMS Forests. *APOL*, 3:94–101.
- Pavlanda, P., Sitková, Z., Rybár, J., Pajtík, J., 2023: Reakcia ihličnatých drevín na extrémne suché leto 2022 podľa najnovších údajov monitoringu lesov na Slovensku. *APOL*, 4:45–50.
- R Core Team, 2023: R - A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Dostupné na <https://www.R-project.org/>.

Sitková, Z., Rybár, J., Melová, K., Rozkošný, J., 2023: Lesnícko-ekologický výskum v Tatrách: klimatické trendy, meteorologické merania a prírastok lesných drevín. In: Hnilička, F. et al. (eds): Recenzovaný sborník příspěvku z mezinárodní konference Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2023, 13. – 14. září 2023, Kruhová hala TF ČZU, Praha.

Sitková, Z., Štrelcová, K., Vido, J., 2020: Lesnícky meteorologický monitoring – operatívne údaje o počasi z lesných oblastí Slovenska. *Les & Letokruhy*, 76:26–28.

Toreti, A., Masante, D., Acosta Navarro, J., Bavera, D., Cammalleri, C., De Jager, A., Di Ciollo, C., Hrast Essenfelder, A., Maetens, W., Magni, D., Mazzeschi, M., Spinoni, J., De Felice, M., 2022: Drought in Europe July 2022, EUR 31147 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. Dostupné na https://doi:10.2760/014884,JRC130253.JRC130253_01 Drought in EU 2022.pdf.

WMO, 2023: State of the Global Climate 2022. Report of the World Meteorological Organization, WMO-No. 1316, 2023. Dostupné na https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11593.

ADRESA

Ing. Zuzana Sitková, PhD., Ing. et Ing. Jerguš Rybár, Ing. Pavel Pavlenda, PhD.
Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen
T. G. Masaryka 2175/22
SK–960 01 Zvolen
e-mail: zuzana.sitkova@nlcsk.org