

KLIMATOLOGICKÁ ANALÝZA VÝVOJA POČASIA V ROKU 2019 NA SLOVENSKU

Zuzana Sitková • Milan Konôpka

Sitková, Z., Konôpka, M.: Climatological analysis of the weather during the year 2019 in Slovakia. APOL, 2020, vol. 1, no. 2, p. 113–120.

Abstract: The results of forest meteorological monitoring from 6 selected forest areas in Slovakia showed a further rising of air temperatures in 2019, especially an increase of temperature maxima. A significant temperature difference was found between two consecutive months, May and June, with May being the only month in 2019 slightly below long-term average and June, which was the warmest June in the history of measurements in Slovakia. A negative climate water balance occurred in all of the studied research plots in April, throughout the summer months (June, July and August) and in October, as well. As a result of the persisting lack of precipitation, heat waves and increased potential evaporation, very low values of soil moisture were also found in the forest stands. In the upper 30 cm layers of the soil, the volumetric soil moisture reached at the end of July the values of only 11–13%, even in a humid mountain areas (Poľana, 850 m a.s.l.). Based on decades of meteorological measurements in some of the forest areas in Slovakia, we can state an annual exceedance of the long-term temperature average and an occurrence of drought also in regions that are considered to be slightly cold and very humid in terms of standard climatological classification (e.g. Kyšuce). Our results from the regional climatological study in Slovakia corresponds with the global climate tendencies, according to which the Earth's warming trend continued in 2019, making it the second-hottest year of the 140-year climate record just behind 2016.

Key words: forest weather stations; climatic water balance; drought; air temperature increase; Slovakia

Úvod

Podľa správy svetovej meteorologickej organizácie (WMO) bolo obdobie rokov 2015 – 2019, a zároveň aj celá posledná dekáda 2010 – 2019, historicky najteplejšie periódy za posledných minimálne 140 rokov. Rok 2019 bol globálne druhým najteplejším rokom aspoň od roku 1880 (za rokom 2016), pričom bol to súčasne vôbec najteplejší rok bez významnejšieho vplyvu El Niño. Vplyvom rekordne vysokých koncentrácií skleníkových plynov v súčasnosti sa aj v nasledujúcich dekádach 21. storočia očakáva trend nárastu teplôt vzduchu (Markovič & Pecho 2020).

Čo sa týka Európy, bol rok 2019 najteplejší minimálne od roku 1980 a predbehol tak aj roky 2014, 2015 a 2018 (podľa ECMWF – ERA5 a Klimatického programu Copernicus – C3S). Predovšetkým oblasti strednej a východnej Európy dosahovali odchýlky +2,0 až +3,0 °C oproti klimatickým normálom, pričom najteplejšou sezónou boli letné mesiace (jún – august 2019), s odchýlkami v intervale od +3,0 do +5,0 °C v porovnaní s obdobím 1961 – 1990. <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1039>.

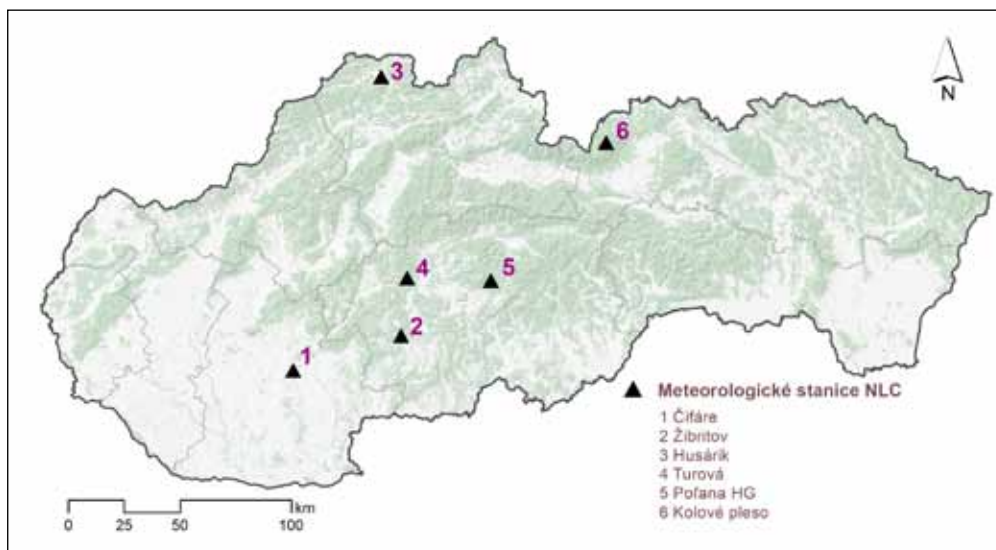
Podobné tendencie v zmene klímy je možné pozorovať a analyzovať aj na regionálnej úrovni a v rámci Slovenska. Predmetom príspevku bolo rámcovo zhodnotiť vývoj počasia a základné klimatologické ukazovatele počas roku 2019 na Slovensku, a to na základe údajov vlastnej meteorologickej siete staníc situovaných v lesných oblastiach, ale aj podľa dostupných informácií z iných celoslovenských meraní, najmä z databáz a publikácií Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ).

Metodika a údaje

Pre analýzu vývoja počasia v roku 2019 a klimatologické zhodnotenie sme použili vlastné meteorologické údaje namerané na vybraných 6 staniciach siete lesníckeho meteorologického monitoringu, ktorý realizuje Lesnícky výskumný ústav na Národnom lesníckom centre. Časť staníc (6 staníc) patrí do siete trvalých monitorovacích plôch druhej úrovne v rámci medzinárodného programu ICP Forests (TMP Level II). K tomu prevádzkujeme aj doplnkové stanice v iných záujmových oblastiach (napr. Kysuce-Husárik). Digitálne automatické meteorologické stanice s online prenosom dát na internet, z ktorých boli spracované údaje za rok 2019, sa nachádzajú v rôznych orografických celkoch a v rozpätí nadmorských výšok od 225 do 1 560 m n. m. (obr. 1, tab. 1). Stanice reprezentujú lesné lokality a trvalé výskumné plochy s rôznym druhovým zložením lesných porastov (dub cer, dub zimný, buk lesný, smrek obyčajný, jedľa biela).

Údaje o teplote vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) meranej vo výške 2 m a úhrnoch zrážok meraných vo výške 1 m (mm) boli spracované na základe meraní v 2 až 5-minútovom intervale s ukladaním do pamäte centrálného datalogera (EdgeBox V8) každých 10 minút. Údaje o pôdnej vlhkosti sú spracované na základe kontinuálnych 30 minútových meraní na plochách TMP Poľana-Hukavský grúň a TMP Žibritov. K meraniu objemovej vlhkosti pôdy [$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$] v troch pôdnych hĺbkach (10 – 30 – 60 cm) boli použité senzory typu CS616 s dvoma 30 cm hrotmi pracujúce na princípe reflektometrie (Campbell Sci., U.S.A.). Údaje sa automaticky zaznamenávajú do datalogera model RailBox16P4 SDI (EMS Brno, CZ) s diaľkovým prenosom dát s využitím modemov vybavených SIM kartou.

Klimatická vodná bilancia (KVB) je definovaná ako rozdiel medzi úhrnmi zrážok (Z) a potenciálnou evapotranspiráciou (PET) na danej lokalite a za určité obdobie. V našom prípade sú hodnoty vodnej bilancie k určitému dňu odvodené ako 30-dňové exponenciálne kľzavé vážené priemery. Potenciálna evapotranspirácia je počítaná podľa vzorca Penmana (1948), ktorý vychádza z údajov o teplote a vlhkosti vzduchu, rýchlosti vetra a snečnom žiarení a vychádza z predpokladu nelimitovanej pôdnej vlhkosti. Kladné hodnoty vodnej bilancie ($\text{KVB} > 0$) predstavujú dostatok zrážok, naopak záporné hodnoty ($\text{KVB} < 0$) znamenajú deficit zrážok na danej lokalite (sucho). Podrobnejšie informácie o lesníckom meteorologickom monitoringu ako aj prístup k online dátam z celej staničnej meteorologickej siete NLC sú v súčasnosti dostupné na www.forestweather.sk



Obrázok 1. Poloha vybraných 6 automatických staníc lesníckeho meteorologického monitoringu NLC použitých ku klimatologickej analýze vývoja počasia v roku 2019 (číselné kódy staníc zodpovedajú lokalitám uvedeným v tabuľke 1)
Figure 1. Location of the 6 automatic forest meteorological stations NFC used for climatological analysis of the weather in 2019 (numerical codes of stations correspond to the localities listed in Table 1).

Výsledky

Hodnoty absolútnych minimálnych, maximálnych a priemerných ročných teplôt vzduchu ako aj celkový úhrn zrážok v roku 2019 sú pre vybrané lokality lesníckej meteorologickej siete NLC uvedené v tabuľke 1. V rámci hodnotených lokalít a na základe meraní na staniciach NLC bolo v roku 2019 absolútne teplotné minimum ($-21,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) zaznamenané v severnej časti Tatier na Kolovom plese a to dňa 23. februára 2019 o 2:30. Naopak absolútne teplotné maximum ($34,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) bolo namerané na stanici Čifáre (225 m n. m.) dňa 1. júla 2020 o 15:20, čím bola prekročená maximálna hodnota z predchádzajúceho roku. Priemerná ročná teplota vzduchu sa v rámci hodnotených lesných lokalít pohybovala v roku 2019 v rozpätí od $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ na Kolovom plese vo V. Tatrách do $11,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ na stanici v Čifároch v blízkosti Mochoviec. Môžeme skonštatovať, že kým teplotné minimum nedosahovali oproti roku 2018 nižšie hodnoty, teplotné maximum boli v porovnaní s predchádzajúcim rokom prekročené na každej stanici, čo indikuje každoročný nárast teplotných extrémov. Podľa údajov SHMÚ, bola v rámci Slovenska absolútne najnižšia teplota nameraná dňa 23.1. v Oravskej Lesnej ($-26,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) a naopak najvyššia 1.7. v Kuchyni na Záhorí ($37,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Beránek & Faško 2020).

Ročný úhrn zrážok v roku 2019 sa na vybraných lokalitách Slovenska pohyboval v intervale od 581 mm na trvalej monitorovacej ploche Čifáre (225 m n. m.) po úhrn 1 612 mm nameraný na severnej strane Vysokých Tatier na hornej hranici lesa v pásme kosodreviny (Kolové pleso, 1 560 m n. m.). V porovnaní s predchádzajúcim rokom 2018 boli teda na našich lokalitách zistené vyššie ročné úhrny zrážok, ale aj vyššie maximálne teploty vzduchu.

Tabuľka 1. Absolútna minimálna, maximálna a priemerná ročná teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) a úhrn zrážok (mm) v roku 2019 na vybraných lesníckych meteorologických staniciach NLC

Table 1. Absolute minimum, maximum and mean annual air temperature ($^{\circ}\text{C}$) and total precipitation (mm) in 2019 at selected forest weather stations of NFC.

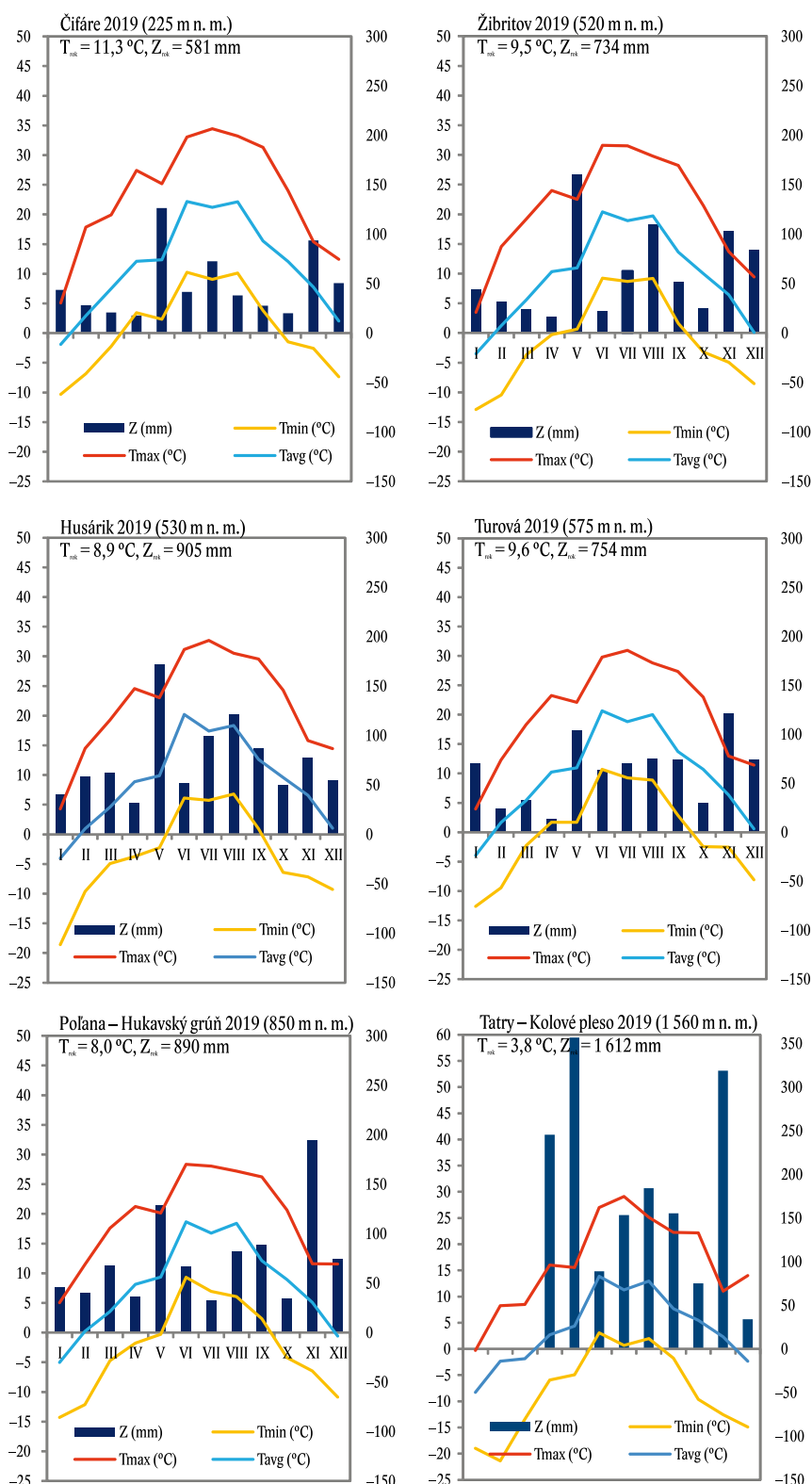
Stanica Lokalita	Kód stanice	Nadmorská výška	Geomorfologický celok	T_{\min}	T_{\max}	T_{avg}	Z_{sum}
				[$^{\circ}\text{C}$]			[mm]
Čifáre	1	225	Pohronská pahorkatina	-10,3	34,5	11,3	581
Žibritov	2	520	Krupinská planina	-12,9	31,6	9,5	734
Husárik	3	530	Javorníky	-18,6	32,7	8,9	905
Turová	4	575	Kremnické vrchy	-12,6	31,0	9,6	754
Poľana	5	850	Poľana	-14,3	28,3	8,0	890
Kolové pleso	6	1 560	Vysoké Tatry – sever	-21,3	29,1	3,8	1 612

Grafický priebeh mesačných teplôt vzduchu a úhrnov zrážok v roku 2019 na vybraných meteorologických staniciach NLC dokumentuje obrázok 2. Na vývoji priemerných mesačných teplôt vzduchu vidíme kulmináciu hodnôt najmä v júni 2019. Potvrďuje to aj klimatologická analýza SHMÚ, v ktorej sa uvádza, že jún v roku 2019 bol najteplejším júnom v histórii meteorologických meraní na Slovensku. Dôkazom sú nielen hodnoty priemernej mesačnej teploty vzduchu v tomto mesiaci, ale v mnohých meteorologických staniciach aj extrémne vysoké počty letných a tropických dní (Faško & Pecho 2019). V priebehu júna zaznamenal SHMÚ na Slovensku dve výrazné vlny horúčav, prevažne od 10. do 16. júna, a od 24. do 27. júna. K výraznejšiemu ochladeniu počas vegetačnej sezóny došlo v máji, ktorý bol na všetkých pozorovaných plochách výdatne zrážkovo bohatý. Na viacerých meteorologických staniciach dosiahol rozdiel medzi júnovou a májovou priemernou teplotou vzduchu aj viac ako desať stupňov Celzia, čo je takmer štvornásobok dlhodobého klimatického rozdielu medzi uvedenými mesiacmi (Faško & Pecho 2019). Okrem mesiaca máj boli teplotne nadnormálne všetky mesiace v roku 2019. Za zmienku stojí aj nadpriemerne teplá jeseň s deficitom zrážok najmä v októbri.

Podľa našich meraní, vysoké mesačné úhrny zrážok boli zaznamenané v máji napríklad na lokalitách Kolové pleso (357 mm) a Kysuce – Husárik (171,4 mm). Podobne zrážkovo výdatný bol november najmä v horských polohách (Poľana 195 mm, Kolové pleso 319 mm).

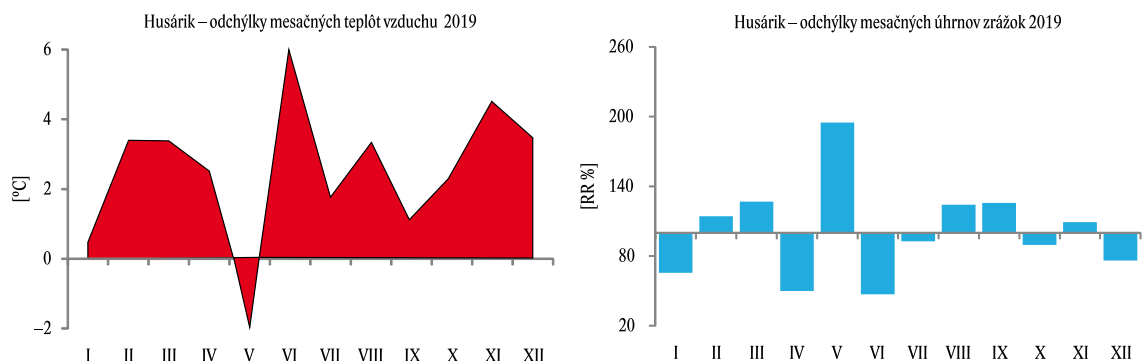
Z porovnania mesačných údajov nameraných v roku 2019 na Kysuciach a dlhodobého normálu pre túto oblasť (Čadca, 1961 – 1990) vyplynulo, že na Husárik boli teplotne nadpriemerné všetky mesiace v roku (I. – XII.), s výnimkou mesiaca máj, ktorý dosiahol podnormálové teploty vzduchu (o $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Naopak po máji nastúpil extrémne horúci jún s priemernou mesačnou teplotou $20,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a s odchýlkou až $5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad dlhodobým priemerom (obr. 3). Potvrďuje to aj oficiálny údaj SHMÚ, že

klimatologická stanica Čadca, blízko lokality Husárik, zaznamenala druhú najvyššiu priemernú júňovú teplotu vzduchu za celú históriu meraní, s hodnotou 20,1 °C (Pecho et al. 2019).



Obrázok 2. Ročné a mesačné úhrny zrážok, priemerné a absolútne minimálne a maximálne mesačné teploty vzduchu v roku 2019 na vybraných meteorologických staniách NLC
Figure 2. Annual and monthly total precipitation, average and absolute minimum and maximum monthly air temperatures in 2019 at selected weather stations of NFC.

Čo sa týka zhodnotenia vlhkostnej bilancie a zrážkových úhrnov na Kysuciach, zrážkovo bohatý bol mesiac máj 2019 (RR% = 195) a za suché mesiace možno vo vegetačnom období podľa namera- ných dát považovať najmä apríl (RR% = 50) a jún (RR% = 47), čo z hľadiska vývoja lesnej vegetácie nie je žiaduci stav.

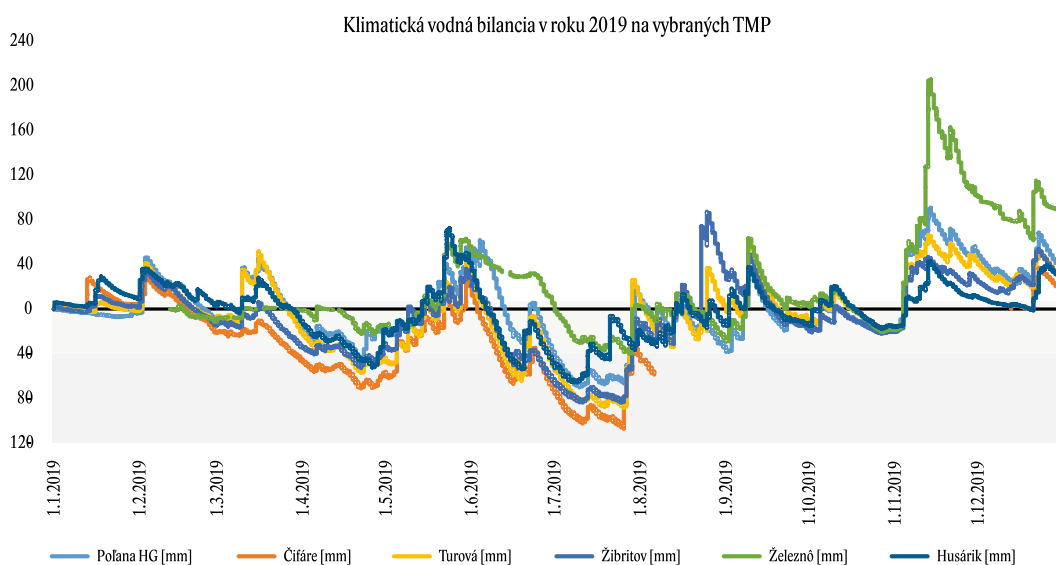


Obrázok 3. Odchýlky priemerných mesačných teplôt vzduchu (°C) a mesačných úhrnov zrážok (RR%) nameraných v roku 2019 od dlhodobého normálu 1961 – 1990 na lokalite Husárik (odvodený podľa stanice SHMÚ Čadca)

Figure 3. Deviations of average monthly air temperatures (°C) and monthly precipitation sums (RR%) measured in 2019 from the long-term normal 1961 – 1990 at the Husárik locality (derived from the SHMI Čadca station).

Priebeh klimatickej vodnej bilancie zhodnotený na vybraných 6 výskumných plochách NLC dopĺňa celkový obraz vývoja klimatickej situácie na Slovensku v roku 2019 (obr. 4). Ako už je v meto- dике spomínané, vodná bilancia lokalít ako základný a prehľadný indikátor vzniku sucha je počítaná z rozdielu reálnych úhrnov zrážok (Z) a potenciálnej evapotranspirácie (PET) a to v 30-dňovom kĺza- vom časovom okne. Kladné hodnoty ($Z > PET$) predstavujú dostatočný príjem zrážok, naopak zápor- né hodnoty vodnej bilancie ($Z < PET$) znamenajú deficit zrážok a riziko sucha, ktorého závažnosť sa úmerne s dĺžkou trvania podmienok prehlbuje.

Zrážkovo deficitný bol na všetkých hodnotených lokalitách nástup vegetačného obdobia v aprí- li, bilanciu následne vylepšili výdatné májové zrážky, avšak letné mesiace najmä v nižších polohách boli opäť poznačené pretrvávajúcim obdobím sucha a negatívnou vodnou bilanciou. Mierne sucho sa z hľadiska pomeru zrážok a potenciálnej evapotranspirácie prejavilo aj v mesiaci október 2019.

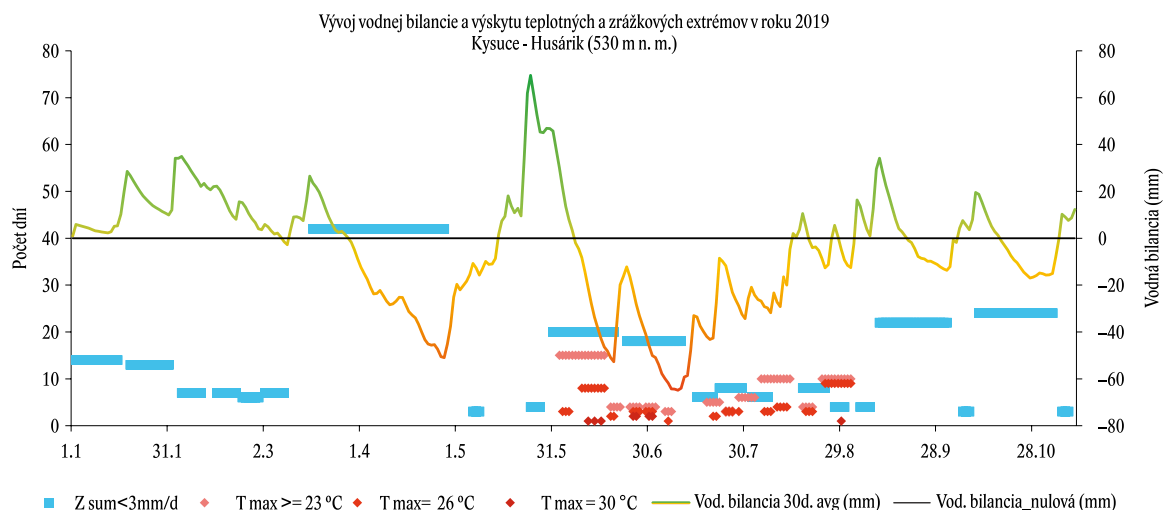


Obrázok 4. Klimatická vodná bilancia (mm) v roku 2019 na 5 trvalých monitorovacích plochách (TMP II. úrovne, ICP Forests) a na lokalite Kysuce-Husárik. Zobrazené sú zdrojové 10 minútové údaje

Figure 4. Climatic water balance (mm) during the year 2019 on 5 permanent monitoring plots (Level II PMP, ICP Forests) and at the Kysuce-Husárik locality. The raw 10 minute values are displayed.

Prehľad období a počtu klimatologicky „extrémnych“ dní s nedostatkom zrážok a s výskytom extrémnych teplôt vzduchu v roku 2019, spolu so zobrazením krivky klimatickej vodnej bilancie (Z-PET) na príklade stanice Husárik je znázornený na obrázku 5 (podľa Túčeková & Sitková et al. 2019). Prezentované sú rôzne odvodené charakteristiky, ako napríklad výskyt maximálnej dennej teploty nad vybrané teplotné hranice (T_{max} nad 23 °C, 26 °C a 30 °C), ktoré sú vyznačené v grafe odtieňmi červenej farby, ale zobrazený je aj počet po sebe idúcich dní bez zrážok, resp. s veľmi miernymi zrážkami v maximálnom objeme do 3 mm za deň (modrá farba). Dĺžka čiary je pritom úmerná trvaniu teplotnej situácie.

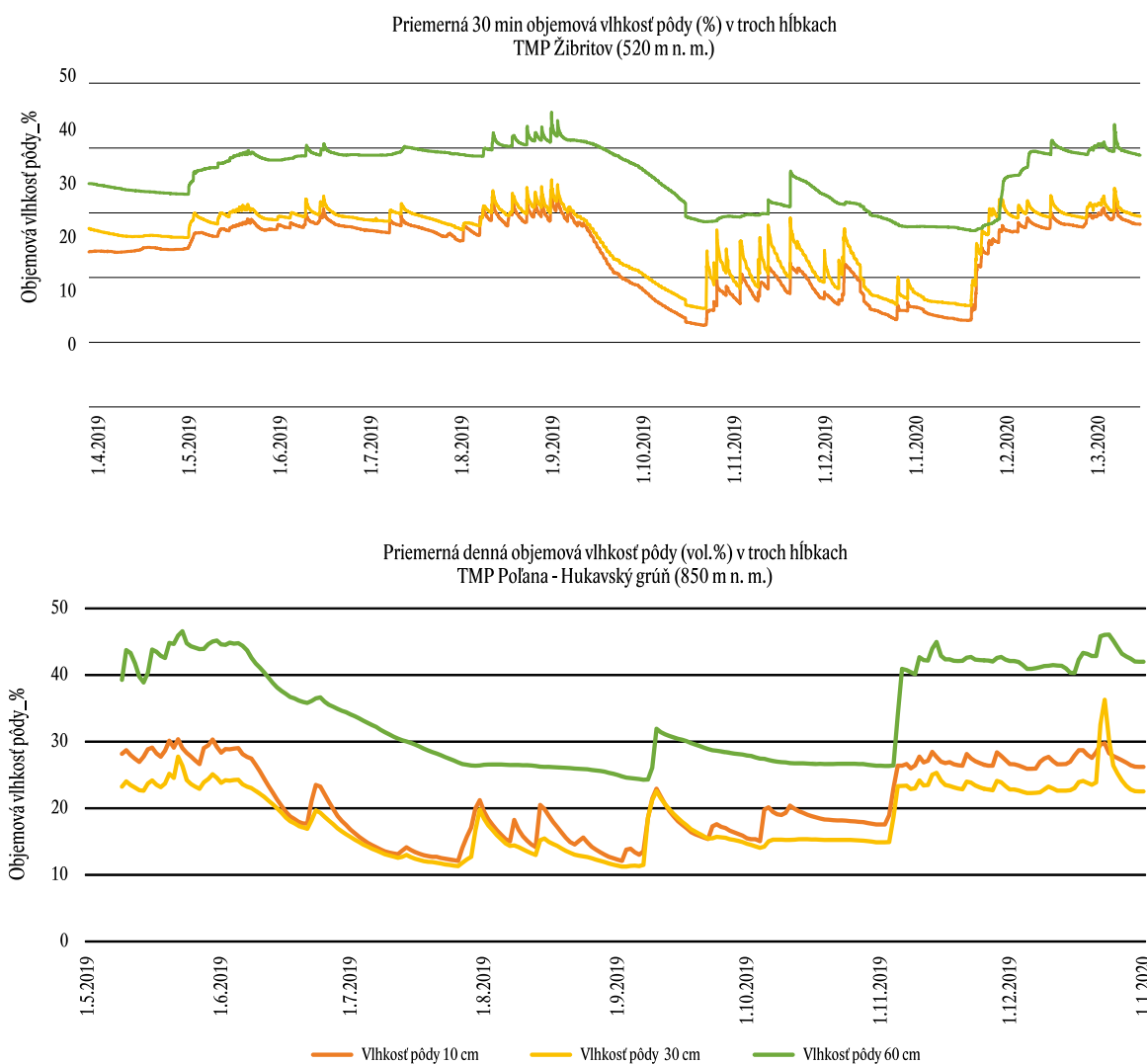
V priebehu vidíme frekventovaný výskyt extrémnych teplôt vzduchu počas celého leta, najmä v júni a začiatkom júla. Záporná klimatická vodná bilancia pretrvávala na Kysuciach najmä na jar (IV.) a prakticky celé leto (VI. – VIII.), podobne ako aj na iných lokalitách Slovenska.



Obrázok 5. Priebeh klimatickej vodnej bilancie (mm) v roku 2019 na lokalite Husárik (Kysuce) Zobrazený je výskyt a trvanie (počet dní) teplotných extrémov a deficitu zrážok (pod 3 mm/d)

Figure 5. Development of climatic water balance (mm) during the year 2019 at locality Husárik (Kysuce). The occurrence and duration (number of days) of temperature extremes and precipitation deficit (below 3 mm / day) are displayed.

Čo sa týka vývoja vlhkosťnej situácie v pôdnej zóne, na ukážku uvádzame priebehy hodnôt objemovej pôdnej vlhkosti (vol. %) v roku 2019 nameraných v troch pôdnych hĺbkach v porastoch na trvalých monitorovacích plochách (TMP) na strednom Slovensku, na Poľane-Hukavskom grúni a na lokalite Žibritov (obr. 6). V zmiešanom smrekovo-jedľovo-bukovom poraste na Poľane bol zistený vo vegetačnom období 2019 (máj – september) priemer hodnôt objemovej vlhkosti pôdy 19 % v hĺbke 10 cm, 17,1 % v hĺbke 30 cm a 32,7 % v hĺbke 60 cm. Najnižšia priemerná denná vlhkosť pôdy bola pozorovaná na konci júla a začiatkom septembra 2019 v strednej a hornej hĺbke pôdy (asi 11 – 12 %). Ide o veľmi nízke hodnoty a aj v týchto, inak vlhkých horských polohách, indikujú riziko pôdneho sucha. V poraste duba zimného na TMP Žibritov (Štiavnické vrchy-Krupinská planina) sa priemerná objemová vlhkosť vo vegetačnom období (apríl – september) s hĺbkou pôdy postupne zvyšovala, od 22,3 % v hĺbke 10 cm cez 24,6 % v hĺbke 30 cm až po vlhkosť 35,9 % v hĺbke 60 cm. Minimálne hodnoty vlhkosti boli namerané koncom júla a v priebehu októbra (13 %), najvyššia vlhkosť pôdy sa prejavila po výdatných májových a novembrových zrážkach.



Obrázok 6. Priebeh objemovej vlhkosti pôdy v troch hĺbkach (10 – 30 – 60 cm) v roku 2019 na dvoch výskumných plochách – TMP Poľana Hukavský grúň (850 m n. m.) a TMP Žibritov (520 m n. m.)

Figure 6. Mean values of volumetric soil water content (%) at three soil depths (10 – 30 – 60 cm) during 2019 in two research plots – TMP Poľana Hukavský grúň (850 m a.s.l.) and TMP Žibritov (520 m a.s.l.).

Záver

Výsledky našich meteorologických meraní z vybraných lesných oblastí Slovenska preukázali aj v roku 2019 ďalšie zvyšovanie teplôt vzduchu, a to najmä nárast teplotných maxim. Amplitúda teplôt vzduchu v roku 2019 bola porovnateľná s predchádzajúcim rokom 2018, nakoľko teplotné minimum neboli nižšie ako tie, ktoré boli pozorované v roku 2018. Veľký teplotný rozdiel sa preukázal medzi dvoma po sebe idúcimi mesiacmi máj a jún, pričom máj bol ako jediný mesiac v roku teplotne mierne podnormálny a jún naopak najteplejším júnom v histórii meraní na Slovensku vôbec. Záporná klimatická vodná bilancia nastala v mesiaci apríl, ďalej prakticky v celom letnom období (JJA) a tiež v októbri. Dôsledkom pretrvávajúceho deficitu zrážok, horúčav a zvýšeného potenciálneho výparu v júni a v júli, boli aj veľmi nízke hodnoty objemovej vlhkosti pôdy najmä v horných 30 cm vrstvách, ktoré koncom júla dosahovali úroveň len 11 – 13 % a to aj v horských polohách (Poľana, 850 m n. m.). Na základe už desaťročných meteorologických meraní na niektorých lokalitách Slovenska, môžeme skonštatovať každoročné prekračovanie dlhodobého teplotného priemeru a výskyt sucha aj v regiónoch, ktoré sú z hľadiska štandardnej klimatologickej rajonizácie považované za mierne chladné a veľmi vlhké. Príkladom je oblasť Kysúc v júni 2019, kedy normál priemernej mesačnej teploty bol prekročený až

o 5,8 °C pri podpriemerných zrážkach (v Čadci len 31 % normálu). Pri pretrvávajúcich nadpriemerných teplotách v kombinácii s periódami sucha možno v ďalších rokoch očakávať nežiadúce dopady na lesné ekosystémy, plnenie ich funkcií, ako aj na vitalitu a produkciu lesných drevín.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy APVV-16-0325 a s podporou projektu Slov-Les, „Výskum a vývoj na podporu konkurencieschopnosti slovenského lesníctva financovanej z rozpočtovej kapitoly MPRV SR (prvok 08V0301)“. Táto publikácia vznikla aj vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra a internetové zdroje

- Beránek, P., Faško, P., 2020: Aktuality SHMÚ. Rok 2019 na krajnom východe Slovenska najteplejší v histórii pozorovaní. Publikované dňa 2. 1. 2020. Dostupné online na: www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1037.
- Faško, P., Pecho, J., 2019: Aktuality SHMÚ. Historicky najteplejší jún na území Slovenska. Publikované dňa 1. 7. 2019. Dostupné online na: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1004>.
- Markovič, L., Pecho, J., 2020: Aktuality SHMÚ. Rok 2019 bol globálne druhý najteplejší v histórii. Publikované dňa 16. 1. 2020. Dostupné online na: www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1039.
- Pecho, J., Šinger, M., Faško, P., Bochníček, O., Markovič, L., 2019: Aktuality SHMÚ. Mimoriadne teplý charakter počasia na prelome júna a júla 2019. Publikované dňa 4. 7. 2019. Dostupné online na: www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1005.
- Tučeková, A., Sitková, Z., Kulla, L., Longauer, R., Longauerová, V., Strmeň, S., Takáčová, E., 2019: Kontinuálne získavanie a transport poznatkov poloprevádzkových experimentov umelej, kombinovanej a prirodzenej obnovy kalamitných holín v rámci DO Husárik. Záverečná správa a odpočet prác za roky 2016 – 2019. Zvolen, NLC-LVÚ Zvolen, 62 s.

Adresa:

Ing. Zuzana Sitková, PhD., Bc. Milan Konôpka
Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 2175/22, SK – 960 01 Zvolen
e-mail: zuzana.sitkova@nlcsk.org; milan.konopka@nlcsk.org