

Vývoj vlhkostných podmienok lesných vegetačných stupňov stredného Slovenska

Development of wet and dry conditions in forest vegetation zones of Central
Slovakia

Leštianska A.¹, Sťahelcová K.¹, Snopková Z.²

*¹Katedra prírodného prostredia, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene,
T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovensko*

*²SHMÚ Bratislava, regionálne pracovisko Banská Bystrica, Zelená 5, Banská Bystrica,
Slovensko*

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá hodnotením výskytu suchých a vlhkých období v rôznych nadmorských výškach v oblasti Zvolenskej kotliny a jej okolia (stredné Slovensko), ktoré reprezentujú rôzne lesné vegetačné stupne (lvs). Boli analyzované vegetačné sezóny rokov 2008–2017. Meteorologické prvky boli namerané na staniciach Borová hora v nadmorskej výške 353 m n. m. (2. lvs), Kráľová nad Zvolenom v nadmorskej výške 784 m n. m. (4. lvs) a Predná Poľana v nadmorskej výške 1 241 m n. m. (7. lvs). Z nameraných meteorologických údajov sme vypočítali klimatické charakteristiky (úhrny, extrémny) a porovnávali ich s dlhodobými priemerami klimatických údajov rokov 1961–1990. Hodnotili sme klimatické charakteristiky (distribúcia zrážok, frekvencia bezzrážkových období) a meteorologické indexy sucha (Langov dažďový faktor, Končekov index zavlažovania a klimatický index zavlažovania).

Kľúčové slová: klimatické zmeny, zrážky, sucho, index sucha

Abstract

The contribution deals with the evaluation of drought occurrence at different altitudes in the Zvolen basin and its surrounding (Central Slovakia) that represent different forest vegetation zones (FVZ). The vegetation periods of the years from 2008 to 2017 were analysed. Meteorological parameters have been measured at stations of Borová hora at an altitude of 353 m a.s.l. (2nd FVZ), Kráľová nad Zvolenom at an altitude of 784 m a.s.l. (4th FVZ) and Predná Poľana at an altitude of 1,241 m a.s.l. (7th FVZ). From the measured meteorological data we calculated climatic characteristics (totals, extremes) and compared them with long-term mean climate values of the years 1961–1990. We evaluated chosen climatic characteristics (precipitation distribution, frequency of rainless periods) and meteorological

drought indices (Lang's rain factor, Konček's humidity index and climatic indicator of irrigation).

Keywords: climate changes, precipitation, drought, drought index

Úvod

Scenáre klimatickej zmeny naznačujú nárast frekvencie a trvania extrémnych klimatických udalostí (Lapin et al. 2010, IPCC 2014), nielen na globálnej, ale aj regionálnej úrovni (Dore 2005). Správa Medzivládneho panelu o zmene klímy (IPCC) uvádza, že 12 najteplejších rokov v histórii meteorologických pozorovaní sa vyskytlo od začiatku 90. rokov 20. storočia. Veľmi výrazný regionálny vzostup teploty vzduchu je v jednotlivých regiónoch sprevádzaný významnými zmenami ďalších klimatických prvkov, predovšetkým nárastom extrémnosti zrážok. Napriek tomu, že sa množstvo zrážok v strednej Európe mierne zvýši, podmienky sa môžu stať suchšie, pretože zvýšené teploty budú viesť k zvýšeniu potenciálnej evapotranspirácie a sýtošného deficitu (Jungo, Beniston 2001). Zmenou teploty vzduchu má atmosféra vyššiu schopnosť prijímať vodnú paru, zvyšovať výpar a tak znižovať, alebo ochudobňovať o vodu vrchné vrstvy pôdy, ale aj zásoby podzemnej vody. Ak sa popri tom zmení aj množstvo, skupenstvo, alebo rozloženie zrážok počas roka, budú vlhkostné pomery pôdy, zásoby podzemnej vody i režim stavu vody v tokoch podliehať zmenám, ktoré môžu vyústiť jednak k výskytu sucha, ale aj k povodňovým situáciám.

Vlhkostné pomery sú zložitejším problémom. Sú výslednicou jednak zrážkových pomerov, no nielen úhrnov zrážok samotných, ale aj časového rozloženia zrážkovej činnosti. Dôležitou zložkou vodnej bilancie určitého územia je výpar a vlastne krajina má v priemere k dispozícii vodu, ktorá je rozdielom úhrnu zrážok a výparu. Túto vodu využije pre zvýšenie vlhkosti pôdy, naplnenie podzemných vodných útvarov a tvorbu odtoku. Scenáre klimatickej zmeny ukazujú, že potenciálny výpar bude naďalej narastať, k čomu prispieva nárast teploty vzduchu, čím sa zvyšuje schopnosť atmosféry prijímať vodu (IPCC 2014, King et al. 2015). Teplotný režim atmosféry, zrážkový režim ako aj vlhkostný režim vrchnej vrstvy pôdy určujú celkový ráz krajiny, vegetáciu. Takto sprostredkovane sa klimatická zmena môže prejavovať v zmene zastúpenia lesných spoločenstiev, rastlinnej pokrývky, pestovaných plodínach, v zmene hydrologických a pôdnych pomerov, erózii pôdy a podobne. V prípade lesných ekosystémov sú dopady zmeny klímy tým závažnejšie, že napríklad na rozdiel od poľnohospodárstva, zmierňovacie a adaptačné opatrenia nie je možné vyvíjať a aplikovať rýchlosťou primeranou rýchlosti klimatických zmien. Adaptácia na zmeny v režime klimatických extrémov vo forme periód sucha, vetrových kalamít, mimoriadnych horúčav či

mrazov je komplikovaná nejasnou prognózovateľnosťou týchto javov, ako aj vysokou variabilitou ich dopadov na poľnohospodárske plodiny a lesné ekosystémy (Bachmair et al. 2018). Mimoriadne dynamicky sa klimatické zmeny prejavujú na zmenách distribučných areálov a populačnej dynamike biotických škodcov (Fleischer et al. 2017). Na rastliny majú omnoho väčší vplyv klimatické extrémny než priemerné ročné hodnoty. Keďže však extrémny počasia závisia od výskytu určitých poveternostných situácií, ich zmeny sú menej predpovedateľné než zmeny priemerných meteorologických veličín. Preto by sme mali mať na pamäti, že lesy vystavené suchu čelia neistej budúcnosti, ktorá zdôrazňuje potrebu získať viac poznatkov o vnímanosti stromov na zmenu klímy a o frekvencii, trvaní a závažnosti periód sucha (Allen et al. 2010, McDowell, Allen 2015).

Pre všeobecný pojem sucha neexistuje jednotná definícia, ale je hodnotené z viacerých aspektov, hlavne ako meteorologické, hydrologické, poľnohospodárske a socioekonomické sucho (Sobíšek 1993). Na to, aby sme mohli zodpovedne povedať, že sa na sledovanom území vyskytuje sucho, potrebujeme jednoznačné kvantitatívne indície o jeho výskyte. Dôležité je stanoviť si také indikátory a ich prahové hodnoty, na základe ktorých môžeme posudzovať prítomnosť sucha v danom prostredí. Na identifikáciu sucha v meteorológii používame rozličné indexy, ktoré na základe aktuálnych hodnôt meteorologických prvkov, klimatických charakteristík zvyrazňujú odchýlky od ich dlhodobých hodnôt alebo charakteristík.

Vo viacerých regiónoch Slovenska sme čoraz častejšie konfrontovaní s narastajúcim výskytom dlhotrvajúcich suchých období, ktoré môže byť striedané s intenzívnymi zrážkami v relatívne krátkej dobe. Preto sa v práci venujeme analýze zmien vlhových pomerov v rôznych lesných vegetačných stupňoch v regióne Zvolenskej kotliny a jej okolí v priebehu 10-tich rokov (2008–2017) so zameraním na vegetačné obdobie. Z nameraných meteorologických údajov na regionálnych meteorologických staniách boli vypočítané klimatické charakteristiky (úhrny, extrémny) a porovnané s dlhodobými priemerami klimatických údajov rokov 1961–1990. Hodnotenú boli klimatické charakteristiky, analyzované denné, mesačné a ročné zrážkové úhrny a predovšetkým zrážky v priebehu vegetačných období, ich množstvo a rozdelenie (rozloženie zrážok v priebehu sledovaného obdobia, frekvencia a dĺžka bezzrážkových období). Na stanovenie sucha boli vybrané meteorologické indexy sucha: Langov dažďový faktor, Končekov index zavlažovania a klimatický index zavlažovania.

Materiál a metódy

Charakteristika územia

Merania meteorologických charakteristík sa uskutočnili na staniach Borová hora (353 m n. m., 2. lvs), Kráľová nad Zvolenom (784 m n. m., 4. lvs) a Predná Poľana (1 241 m n. m., 7. lvs), ktoré sa nachádzajú v oblasti Zvolenskej kotliny a jej okolí (stredné Slovensko). Vybrané stanice umiestnené v rôznych nadmorských výškach reprezentujúce rôzne lesné vegetačné stupne patria do siete regionálnych meteorologických staníc Technickej univerzity vo Zvolene. Sieť bola vybudovaná za účelom lesníckeho a ekologického výskumu a pre edukačné účely. Merania meteorologických prvkov (zrážky, teplota vzduchu, relatívna vlhkosť vzduchu, globálne žiarenie) a z nich agregované charakteristiky (potenciálna evapotranspirácia, sýtočný doplnok, rosný bod, požiarový index) v súčasnosti prebiehajú na 14 automatických staniach Technickej univerzity vo Zvolene. Na meranie sa jednotne používajú digitálne meteorologické stanice výrobcu EMS Brno (Environmental Measuring Systems, Brno) s automatizovaným ukladaním dát v 10-minútovom intervale. Merané údaje sú automaticky vysielané a priebežne graficky vizualizované na internetovej stránke Technickej univerzity vo Zvolene (1x za hodinu). Ukážka siete existujúcich staníc ako aj merané meteorologické údaje sú v súčasnosti dostupné na webových stránkach TUZVO (www.emsbrno.cz/p.axd/sk/Lokality.TUZVO.html) (Střelcová et al. 2017).

V práci boli chýbajúce údaje a zrážky v zimných mesiacoch doplnené zo staníc SHMÚ (údaje zo stanice SHMÚ Sliach pre stanicu Borová hora, údaje zo stanice SHMÚ Detviaska Huta pre stanicu Kráľová nad Zvolenom a údaje zo stanice SHMÚ Lom nad Rimavicou pre stanicu Predná Poľana). Charakteristiky lokalít sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Charakteristika lokalít

	Borová hora	Kráľová nad Zvolenom	Predná Poľana
Zemepisná dĺžka	19°08' E	19°18' E	19°27' E
Zemepisná šírka	48°35' N	48°51' N	48°37' N
Nadmorská výška	353 m n. m.	784 m n. m.	1241 m n. m.
Expozícia	juhozápadná	severná-platô	južná
Priem. ročná teplota vzduchu	7.9°C	5.8°C	3.2°C
Priem. teplota vzduchu vo veget. období	14.4°C	11.9°C	8.8°C
Priem. ročný úhrn zrážok	651 mm	786 mm	1044 mm
Priem. úhrn zrážok vo veget. období	377 mm	449 mm	597 mm
Klimatická oblasť - okrsk	teplý, mierne vlhký	teplý, mierne vlhký	chladný horský
Lesný vegetačný stupeň	2. bukovo-dubový	4. bukový	7. smrekový

Zvolenská kotlina je intermontánný krajinný celok v oblasti Slovenského stredohoria. Na západe ho ohraničujú Kremnické vrchy, na juhu Javorie, na severe Starohorské vrchy, na severovýchode Horehronské podolie, na východe Poľana a Veporské vrchy. Na základe nadmorskej výšky Zvolenská kotlina patrí ku kotlinám strednej výškovej úrovne, len malými plochami klesá pod 300 m n. m. alebo presahuje nad 500 m n. m. (Seko 2009). Klimatické pomery Zvolenskej kotliny určuje predovšetkým jeho geografická poloha. Podľa klimaticko-geologickej regionalizácie Slovenska toto územie patrí do oblasti teplej kotlinovej klímy, mierne suchej až vlhkej. Teploty sa pohybujú v januári do -3 až -5 °C, v júli 18,5 až 20 °C. Zvolenskú kotlinu môžeme zaradiť medzi veľmi inverzné oblasti Slovenska (Lapin, Tekušová 2002). Je to podmienené uzavretou centrálnou polohou kotliny vo Vnútroňých Západných Karpatoch (Mazúr, Lukniš 1980) a výskytom okolitých pohorí takmer v celom horizonte kotliny. Celá Zvolenská kotlina je síce typická aj miestnymi vetrami, no vysokým percentom bezveterných dní patrí k najmenej veterným krajom Slovenska. Vo Zvolenskej kotline prevláda vietor severný s priemernou rýchlosťou 3,4 m.s⁻¹, v doline Slatina je prevládajúci smer vetra severozápadný s priemernou rýchlosťou 4 m.s⁻¹. Celá kotlina má najväčší počet hmlistých dní v roku, v priemere je to 80–100 dní.

Analýza bezzrážkových období

Jedným z možných parametrov kvantifikácie rozdelenia zrážok na záujmovom území je dĺžka bezzrážkového obdobia. Na analýzu bezzrážkových období bola použitá metodika navrhnutá v práci Šútor et al. (2011). Za bezzrážkové obdobia sa pokladali dni bez zrážok a dni so zrážkami do výdatnosti 3 mm. Parametrizácia zrážkových úhrnov bola urobená za predpokladu, že 3 mm úhrnná zrážka bola spotrebovaná na intercepciu, teda bezzrážkovým obdobím sa rozumie obdobie bez zrážok s trvaním 5 dní a viac, pokiaľ periódu sucha neprerušia dni so zrážkovými úhrnmi vyššími ako 3 mm. Hranica 3 mm bola stanovená kvôli tomu, že takéto slabé zrážky sa zachytávajú na povrchu rastlín a pôdy a nemajú výrazný vplyv na pôdnu vlhkosť. V dni, keď boli zaznamenané zrážky s výdatnosťou vyššou ako 3 mm, nastalo prerušenie bezzrážkového obdobia. Bezzrážkové obdobia boli rozdelené do štyroch kategórií, a to: 5–9 dní, 10–14 dní, 15–19 dní a viac ako 20 dní bez zrážok (Šútor et al. 2011). Obdobia bez zrážok kratšie ako 5 dní sa nebrali do úvahy. Sú to príliš krátke obdobia, ktoré nevyvolávajú stres rastlín z nedostatku vody. Naopak, obdobia dlhšie ako 5 dní spôsobujú najmä vo vrchných vrstvách pôdy znižovanie zásob vody v pôde, kedy rastliny reagujú narušovaním pomeru fotosyntézy a respirácie, prestáva sa tvoriť organická hmota, klesá turgor, čiže vnútorný tlak rastlín, postupne

dochádza k vädnutiu až odumieraniu rastliny. Samozrejme, nie každá rastlina reaguje na určité vodné pomery v pôde rovnako. Negatívne účinky sucha závisia od rastlinného druhu, odrody, stupňa rastu, vývoja a pod. (Antal, Igaz 2006).

Identifikácia sucha pomocou indexov

Pre vybrané meteorologické stanice umiestnené v rôznych nadmorských výškach boli vypočítané hodnoty indexov sucha, ktoré charakterizujú jednotlivé lokality. Na hodnotenie meteorologického sucha boli použité nasledujúce indexy:

- Klimatický ukazovateľ zavlaženia K_{IV-XI} [mm] (IV-XI - vegetačné obdobie) a $K_{VI-VIII}$ [mm] (VI-VIII - hlavné vegetačné obdobie), ktorý je daný rozdielom potenciálneho výparu E_0 a úhrnu zrážok v teplom polroku. Kladné hodnoty E_0-Z charakterizujú nedostatok a záporné hodnoty nadbytok vlhky. Spracovanie potenciálnej evapotranspirácie je podľa Penman-Montheita.
- Langov dažďový faktor D_f , ktorý využíva dlhodobé priemerné zrážkové úhrny v danej oblasti a priemernú ročnú teplotu vzduchu. Tabuľka 2 ukazuje hodnoty Langovho dažďového faktora pre charakteristiku územia.

$$D_f = \frac{H_{z,r}}{t_r}$$

kde D_f je Langov dažďový faktor, $H_{z,r}$ je dlhodobý zrážkový úhrn za rok na danom území v mm, t_r je dlhodobá priemerná ročná teplota vzduchu na danom území v °C

- Končekov index zavlaženia I_z , ktorý bežne charakterizuje zavlaženie za dlhšie obdobia ako 10 rokov, dá sa ale v priblížení použiť aj pre jednotlivé roky. Tabuľka 3 ukazuje hodnoty Končekovho indexu zavlaženia pre charakteristiku oblasti

$$I_z = 0,5R + \Delta r - 10T - (30 - v^2)$$

kde R je úhrn zrážok v mm za teplý polrok (apríl–september), r je kladná odchýlka úhrnu zrážok za zimu (december–február) od hodnoty 105 mm, T je priemer teploty za teplý polrok v °C, v je priemer rýchlosti vetra v $m.s^{-1}$ o 14.00 h za teplý polrok

Tabuľka 2 Charakteristika územia na základe Langovho dažďového faktora

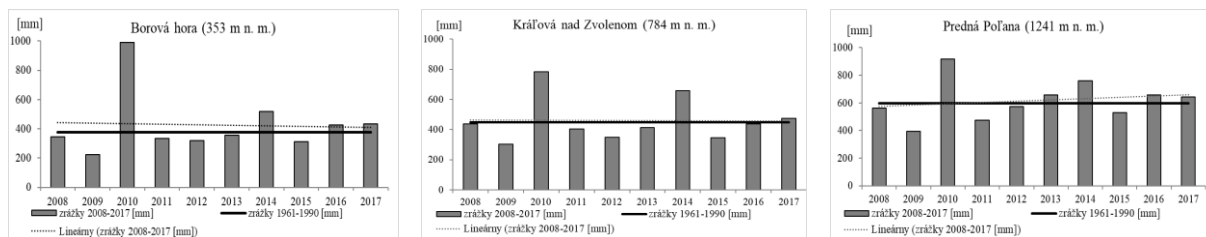
Hodnota D_f	Charakteristika územia
Menej ako 40	suché
40 - 60	polosuché
60 - 100	polovlhké
100 - 160	vlhké
viac ako 160	extrémne vlhké

Tabuľka 3 Charakteristika oblasti podľa hodnoty Končekovho indexu zavlaženia

Hodnota I_z	Charakteristika územia
$I_z < -20$	suchá
$-20 \leq I_z < 0$	mierne suchá
$0 \leq I_z < 60$	mierne vlhká
$60 \leq I_z < 120$	vlhká
$120 \leq I_z$	veľmi vlhká

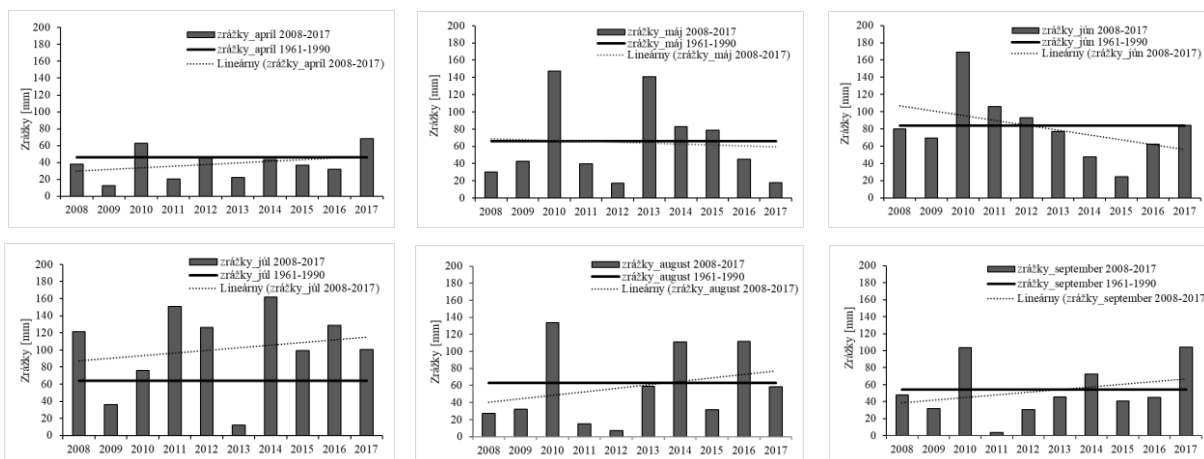
Výsledky a diskusia

Zrážková činnosť podlieha v časovom rade určitým výkyvom, ktoré sú prirodzené a súvisia napríklad so zmenami cirkulačnej činnosti atmosféry, ktorá k nám striedavo smeruje „suchšie, alebo „vlhkejšie“ vzduchové hmoty. Podľa scenárov by sa ročné úhrny zrážok nemali podstatne meniť, skôr sa ale predpokladá mierny nárast. Väčšie zmeny by mali nastať v ročnom chode a časovom režime zrážok, čo korešponduje s našimi výsledkami. V lete sa všeobecne očakáva slabý pokles úhrnov zrážok a v zvyšnej časti roka slabý až mierny nárast úhrnov. V teplej časti roka sa očakáva zvýšenie premenlivosti úhrnov zrážok, zrejme sa predĺžia a častejšie vyskytnú málo zrážkové (suché) obdobia na strane jednej a budú zrážkovo výdatnejšie krátke daždivé obdobia na strane druhej (IPCC 2014). Takéto kolísanie úhrnov zrážok vidíme aj na obrázku 2, kde je znázornený vývoj úhrnov zrážok v posledných desaťročiach v regióne Zvolenskej kotliny a jej okolí. V rôznych nadmorských výškach sme zaznamenali medziročnú premenlivosť zrážok a nie veľmi rozdielny trend úhrnu zrážok vo vegetačnom období. Veľmi mierne klesajúci trend úhrnu zrážok, resp. málo výrazný pokles zrážok v priebehu rokov 2008–2017 bol zaznamenaný na lokalitách Borová hora (353 m n. m.) a Kráľová nad Zvolenom (784 m n. m.) nachádzajúce sa v nižšej nadmorskej výške. Naopak vo vyššej nadmorskej výške na lokalite Predná Poľana (1241 m n. m.) bol zaznamenaný rastúci trend úhrnu zrážok. Veľká medziročná premenlivosť zrážok zostáva zachovaná, čo už indikoval výskyt extrémne nízkych zrážok v roku 2009 a zas extrémne vysoký v roku 2010. Úhrn zrážok nad dlhodobým priemerom bol aj v rokoch 2014, 2016 a 2017 vo všetkých nadmorských výškach. Zrážky v priebehu ďalších sledovaných rokov boli na úrovni alebo pod dlhodobým priemerom pre jednotlivé sledované lokality.



Obrázok 2 Porovnanie úhrnu zrážok vo vegetačnom období v priebehu rokov 2008–2017 s dlhodobým priemerom za roky 1961–1990 pre stanice Borová hora (353 m n. m.; 2. lvs), Kráľová nad Zvolenom (784 m n. m.; 4. lvs) a Predná Poľana (1241 m n. m.; 7. lvs) a ich trendy

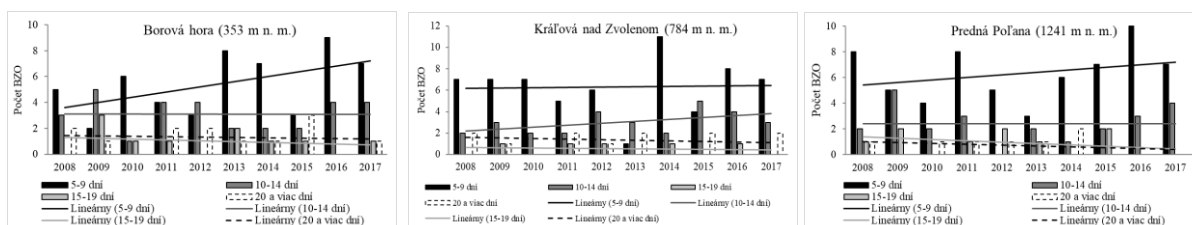
Obrázok 3 zobrazuje úhrny zrážok v jednotlivých mesiacoch za sledované vegetačné obdobie v priebehu rokov 2008–2017, ich porovnanie s dlhodobými priermi za roky 1961–1990 a ich trendy iba pre lokalitu Borová hora, vzhľadom na to, že ostatné sledované lokality vykazovali veľmi podobné priebehy. Aj keď sme v mesiaci apríl zaznamenali mierne rastúci trend úhrnu zrážok, len roky 2010 a 2017 boli zrážkovo vysoko nadnormálne v porovnaní s dlhodobým priemerom (1961–1990). Ostatné sledované roky boli na úrovni, príp. pod úrovňou dlhodobého priemeru. V mesiaci máj bol zaznamenaný len mierne klesajúci trend zrážok, pričom najsuchší máj bol v roku 2012. Naopak najvlhkejší až extrémne vlhký bol máj v roku 2010 a 2013. Vytrvalé dažde v máji 2010, kedy v niektorých regiónoch spadlo dokonca až štvornásobné množstvo vody ako je v tomto mesiaci normálne, čo významne ovplyvnilo trend úhrnu zrážok v tomto mesiaci. Zaujímavá bola aj skutočnosť, že zrážky, ktoré sa v tomto mesiaci vyskytovali takmer každý deň, vypadávali pri priemerne teplejších podmienkach ako je pre takto zrážkovo nadnormálne obdobia typické. Najvýraznejší klesajúci trend bol zaznamenaný v mesiaci jún, pričom len rok 2010 bol vysoko nad dlhodobým priemerom. V ostatných rokoch sa zrážky pohybovali na úrovni, príp. pod hodnotou dlhodobého priemeru. Naopak v mesiaci júl bol zaznamenaný najvýraznejší nárast úhrnu zrážok za obdobie rokov 2008–2017. Mesiace august a september taktiež vykazujú nárast úhrnu zrážok. Je vidieť (Obr. 3), že výskyt suchých rokov (hodnoty pod dlhodobým priemerom) v jednotlivých mesiacoch je vyšší ako rokov mokrych (hodnoty nad dlhodobým priemerom), s výnimkou mesiaca júl, kde je výrazne vyšší podiel rokov s úhrnom zrážok vysoko nad dlhodobým priemerom ako suchých rokov.



Obrázok 3 Úhrn zrážok v jednotlivých mesiacoch vegetačného obdobia (apríl–september) za sledované roky 2008–2017 pre lokalitu Borová hora (353 m n. m.; 2. lvs), ich porovnanie s dlhodobými priemerami rokov 1961–1990 a ich trendy

Medzi ďalšie pozoruhodné zmeny v klimatickom režime patria zmeny ročného režimu výskytu suchých období, resp. zrážkovo deficitných období. Počet periód sucha vo vegetačnom období a ich lineárny trend v priebehu rokov 2008–2017 na lokalitách s rôznou nadmorskou výškou podáva obrázok 4. Z obrázku vyplýva prevaha výskytu 5–9 dňových periód sucha s výrazne rastúcim trendom v priebehu rokov 2008–2017 vo všetkých nadmorských výškach. Kategória 10–14 dňové periody sucha majú rastúci trend len pre stanicu Kráľová nad Zvolenom. Pri kategóriách 15–19 a nad 20 dní je lineárny trend za sledované obdobie veľmi mierne klesajúci pre všetky lokality. V konečnom dôsledku celkový počet bezzrážkových periód za sledované obdobie 2008–2017 narastá.

Taktiež sme zaznamenali vplyv nadmorskej výšky na percentuálne podiely počtu periód sucha v jednotlivých kategóriách. S rastúcou nadmorskou výškou rastie podiel 5 a viac dňových periód, a naopak, klesá podiel 10 a viac dňových a 20 a viac dňových periód sucha (Tab. 4).



Obrázok 4 Počet bezzrážkových období a ich lineárny trend pre lokality Borová hora (353 m n. m.; 2. lvs), Kráľová nad Zvolenom (784 m n. m.; 4. lvs) a Predná Poľana (1241 m n. m.; 7. lvs) za obdobie 2008–2017 pre jednotlivé kategórie

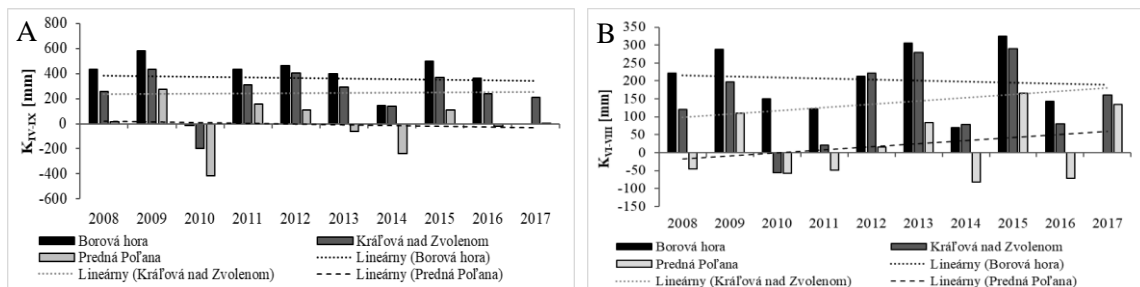
Tabuľka 4 Percentuálny podiel počtu períód sucha v jednotlivých kategóriách z celkového počtu períód sucha vo vegetačnom období za roky 2008–2017 pre lokality Borová hora (353 m n. m.; 2. lvs), Kráľová nad Zvolenom (784 m n. m.; 4. lvs) a Predná Poľana (1241 m n. m.; 7. lvs)

	Percentuálny podiel períód sucha %				
	5 a viac dňové	10 a viac dňové	15 a viac dňové	20 a viac dňové	
Borová hora	50	28	10	12	100
Kráľová nad Zvolenom	57	27	5	11	100
Predná Poľana	61	23	9	7	100

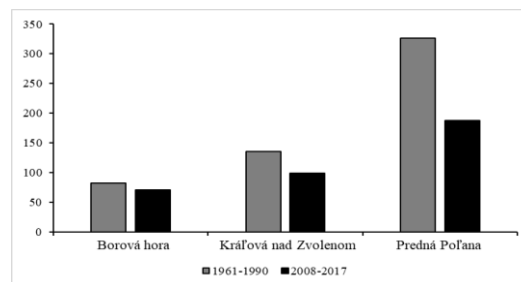
Základy vlhkostnej bilancie územia je možné vyjadriť pomocou klimatického ukazovateľa zavlaženia K , podľa ktorého sa podmienky zavlaženia charakterizujú rozdielom potenciálneho výparu (E_0) a zrážok. Kladné hodnoty $E_0 - P$ charakterizujú nedostatok a záporné hodnoty nadbytok vlhky. Na obrázku 5 sú znázornené klimatické ukazovatele zavlaženia K pre celé vegetačné obdobie (K_{IV-IX}) a pre hlavné vegetačné obdobie ($K_{VI-VIII}$) pre sledované lokality reprezentujúce rôzne lesné vegetačné stupne. Môžeme pozorovať výrazné rozdiely v hodnotách klimatického ukazovateľa zavlaženia medzi sledovanými vegetačnými obdobiami ako aj lokalitami. V teplom polroku 2010 sme zaznamenali prevažne záporné hodnoty, a naopak v ostatných teplých polrokoch len kladné hodnoty, pričom takmer vo všetkých sledovaných obdobiach došlo k ich poklesu vplyvom nadmorskej výšky, čo potvrdzuje skutočnosť o poklese teploty vzduchu a náraste zrážkových úhrnov so stúpajúcou nadmorskou výškou (Mindřáš, Škvarenina 2003). Nárastom nadmorskej výšky úhrn zrážok narastá a znižujú sa hodnoty radiačnej bilancie, preto sa klimatický ukazovateľ zavlaženia znižuje. V rámci celého vegetačného obdobia (apríl–september) v priebehu rokov 2008–2017 nebol zaznamenaný výrazný rastúci ani klesajúci trend. V hlavnom vegetačnom období (júl–august) bol zaznamenaný len mierne klesajúci trend klimatického ukazovateľa zavlaženia na lokalite Borová hora a rastúci trend klimatického ukazovateľa zavlaženia na lokalitách Kráľová nad Zvolenom a Predná Poľana nachádzajúce sa vo vyšších nadmorských výškach.

Na obrázku 6 sú znázornené vypočítané indexy Langovho dažďového faktora pre sledované lokality a porovnané obdobia rokov 2008–2017 a 1961–1990. Z grafu je zrejmé, že bol zaznamenaný pokles hodnôt indexu v období rokov 2008–2017 v porovnaní s indexom vypočítaným pre obdobie rokov 1961–1990, čo indikuje vysušovanie lokalít vo všetkých nadmorských výškach. Avšak z hľadiska hodnotenia charakteristiky územia sa zmenila iba lokalita Kráľová nad Zvolenom z vlhkého územia na polovlhké. Podobné výsledky sme zistili použitím Končekovho indexu zavlaženia, pričom sme hodnotili každý rok osobitne (Tab. 5).

Aj pri tomto zhodnotení vidíme nárast indexu za obdobie 2008–2017 v porovnaní s vypočítaným indexom za obdobie 1961–1990 pre stanicu v nižšej nadmorskej výške a naopak pokles indexu vo vyšších nadmorských výškach, pričom sa z hľadiska hodnotenia charakteristiky územia zmenila iba lokalita Kráľová nad Zvolenom, ako to bolo v predchádzajúcom prípade. Predpokladáme, že v dôsledku polohy stanice južne od Zvolenskej kotliny sa tu už silnejšie prejavuje vplyv suchšej panónskej klímy.



Obrázok 5 Klimatické ukazovatele zavlaženia pre celé vegetačné obdobie (K_{IV-IX}) (A) a pre hlavné vegetačné obdobie ($K_{VI-VIII}$) (B) pre lokality Borová hora (353 m n. m.; 2. lvs), Kráľová nad Zvolenom (784 m n. m.; 4. lvs) a Predná Poľana (1241 m n. m.; 7. lvs)



Obrázok 6 Langov dažd'ový faktor

Záver

Mnoho autorov poukazuje na skutočnosť, že stres suchom a vysoké teploty vzduchu vo vegetačnom období majú priamy vplyv na fyziologické procesy, fenológiu a v konečnom dôsledku aj na rozšírenie a celkový výskyt drevín (Beniston, Innes 1998).

Táto práca sumarizuje výsledky 10-ročného merania meteorologických prvkov, ktoré prebiehali na stanicach v rámci siete regionálnych meteorologických staníc umiestnených v rôznych nadmorských výškach reprezentujúce rôzne lesné vegetačné stupne v oblasti Zvolenskej kotliny a jej okolí. Atmosférické zrážky, ich výskyt, množstvo a rozloženie počas roka sa podstatnou mierou podieľajú na vlhkosťnom ráze krajiny. Aj v oblasti Zvolenská kotlina za obdobie 2008–2017 úhrn vo vegetačnom období kolísal v širokom intervale. Ako je

z našich analýz zrážkových pomerov vidieť, trend atmosférických zrážok vo vegetačnom období v oblasti Zvolenskej kotliny a jej okolia je vyrovnaný, t. j. úhrn v priemere za uvedené obdobie ani významnejšie nerastie a ani neklesá. Najvyšší úhrn bol zaznamenaný v roku 2010, ktorý výrazne ovplyvnil výsledky hodnotenia trendov najmä z hľadiska vlahového zabezpečenia oblasti. Je evidentné, že jeden mimoriadne vlhký rok v krátkom rade môže ovplyvniť výsledné hodnoty významným spôsobom. V práci je taktiež hodnotený výskyt periód sucha 5–9 dní, 10–14 dní, 15–19 dní a 20 a viac dní za roky 2008–2017. Celkovo môžeme zhodnotiť, že počet periód sucha sa postupne zvyšoval aj vo vyšších nadmorských výškach. Aj keď analýza kombinácie zrážkových pomerov a podmienok výparu, ako aj zrážkových pomerov a teploty vzduchu ukazuje, že oblasť Zvolenská kotlina a jej okolie, nie je atakovaná sériami rokov dlhšie trvajúceho a závažne intenzívneho sucha, indikuje však postupné vysušovanie lokalít vo všetkých nadmorských výškach.

Tabuľka 5 Končekov index zavlaženia

	Borová hora		Kráľová nad Zvolenom		Predná Poľana	
	I_z	oblasť	I_z	oblasť	I_z	oblasť
2008	-13,5	mierne suchá	48,0	mierne vlhká	147,2	veľmi vlhká
2009	-13,4	mierne suchá	98,7	vlhká	142,7	veľmi vlhká
2010	277,4	veľmi vlhká	381,6	veľmi vlhká	503,0	veľmi vlhká
2011	-23,4	suchá	22,6	veľmi vlhká	111,1	vlhká
2012	-20,0	mierne suchá	-9,5	mierne suchá	181,3	veľmi vlhká
2013	93,8	vlhká	199,8	veľmi vlhká	389,6	veľmi vlhká
2014	82,9	vlhká	128,1	veľmi vlhká	303,3	veľmi vlhká
2015	-30,1	suchá	47,0	mierne vlhká	171,1	veľmi vlhká
2016	99,0	vlhká	183,8	veľmi vlhká	296,9	veľmi vlhká
2017	27,3	mierne vlhká	60,7	vlhká	183,6	veľmi vlhká
2008-2017	48,0	mierne vlhká	116,0	vlhká	242,9	veľmi vlhká
1961-1990	41,8	mierne vlhká	125,8	veľmi vlhká	312,8	veľmi vlhká

Literatúra

- Allen C. D., Macalady A. K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D. D., Hogg (Ted) E. H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J.-H., Allard G., Running S. W., Semerci A., Cobb N., 2010: A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For Ecol Manag.* 259: 660–684
- Antal J., Igaz D., 2006: Aplikovaná agrohydrologia. 4. rozšírené vyd. Nitra: SPU: 210 s.

- Bachmair S., Tanguy M., Hannaford J., Stahl K., 2018: How well do meteorological indicators represent agricultural and forest drought across Europe? *Environ. Res. Lett.* 13 (3): 1–10
- Beniston M., Innes J. L. (eds.), 1998: The impacts of climate variability on forests. *Lectures Notes in Earth Sciences* 74, Springer-Verlag, Berlin.
- Dore M. H. I., 2005: Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? *Environ. Int.* 31: 1167–1181
- Fleischer P., Pichler V., Fleischer Jr P., Holko L., Máliš F., Gömöryová E., Cudlín P., Holeksa J., Michalová Z., Homolová Z., Škvarenina J., Střelcová K., Hlaváč P., 2017: Forest ecosystem services affected by natural disturbances, climate and land-use changes in the Tatra Mountains. *Climate Research*, 73 (1–2): 57–71
- IPCC, 2014: Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Jungo P., Beniston M., 2001: Changes in the anomalies of extreme temperature anomalies in the 20th century at Swiss climatological stations located at different latitudes and altitudes. *Theor. Appl. Climatol* 69 (1–2): pp. 1–12
- King D. A., Bachelet D. M., Symstad A. J., Ferschweiler K. and Hobbins M., 2015: Estimation of potential evapotranspiration from extraterrestrial radiation, air temperature and humidity to assess future climate change effects on the vegetation of the northern Great Plains. USA, *Ecological Modelling* 297: pp. 86–97
- Lapin M., Gera M., Kremler M., 2010: Scenáre zmeny teploty a vlhkosti vzduchu na Slovensku a možné dôsledky v mestách. *Životné Prostredie* 5 (5): 227–231
- Lapin M., Tekušová M., 2002: Rýchlosť a smer vetra a inverznosť územia. In: *Atlas krajiny SR*. 1. vyd., Ministerstvo životného prostredia SR, Slovenská agentúra životného prostredia, Bratislava, Banská Bystrica: 100 s.
- Mazúr E., Lukniš M., 1980: Mapa geomorfologických jednotiek. In: Mazúr, E., (ed.): *Atlas SSR, SAV SÚGK*, Bratislava: 54–55
- McDowell N. G., Allen C. D., 2015: Darcy's law predicts widespread forest mortality under climate warming. *Nat. Clim. Change* 5: 669–672
- Mind'áš J., Škvarenina J., 2003: *Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny*. EFRA Zvolen, LVÚ Zvolen: 128 s.
- Seko L., 2009: *Životné prostredie a veda*: 14–15, Dostupné z internetu:

www.cdvuek.sk/blade/files/UTV/utv_zivot_prostredie_-a_-veda.doc

Sobíšek B., et al. 1993: Meteorologický slovník výkladový a terminologický. 1. vyd. Praha: Academia: 594 s.

Štřelcová K., Leštianska A., Sitková Z, Vido J., Nalevanková P., Škvarenina J., 2017: Monitoring bioklimatických podmienok lesných vegetačných stupňov Slovenska. In: Sitková, Z., Pavlenda, P. (eds.), 2017: Dlhodobý ekologický výskum a monitoring lesov: súčasné poznatky a výzvy do budúcnosti. Zvolen, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 150 s.

Šútor J., Šurda P., Štekauerová V., 2011: Vplyv bezzrážkových období na dynamiku zásob vody v zóne aerácie pôdy. In: Acta Hydrologica Slovaca 12 (1): 22–28

Pod'akovanie

Táto publikácia bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV–16–0325, APVV–0480–12 a Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied na základe zmluvy č. VEGA 1/0367/16

Kontakt:

Ing. Adriana Leštianska, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24, 960 53

+421 045 52 06 268,

adriana.lestianska@tuzvo.sk