

Meteorologické sucho v oblastiach Slovenska s nížinným charakterom v rokoch 1981 – 2010

Terézia JANÁČOVÁ, Lívia LABUDOVÁ, Martin LABUDA

Meteorological drought in the parts of Slovakia with lowland features in 1981 – 2010

Abstract: The main aim of the paper is to assess the occurrence of meteorological drought in the parts of Slovakia with lowland features in the period 1981 – 2010. These regions are the Záhorská, the Podunajská and the Východoslovenská lowlands and the Juhoslovenská and the Košická basins. The analysis of the meteorological drought was evaluated on the basis of monthly data of internationally used index, namely the Standardized Precipitation Index (SPI). The index was evaluated at 1- and 3-monthly time level, which helped us to assess drought conditions in different seasons. The analysis was supplemented by the spatial representation of the five most significant drought events in autumn 1986, summer 1994, winter 1997/98, spring 2003 and autumn 2006. Using a relative index SPI, we identified those different areas, which are the most threatened by meteorological drought in different seasons. There is greater hazard of drought for the Podunajská lowland in spring and summer. On the contrary, the eastern part of Slovakia is threatened during winter season.

Keywords: meteorological drought, lowland areas, Slovakia, SPI, interpolation of SPI, relative index, rSPI

Úvod

Prirodzený klimatický jav – sucho – sa stáva čoraz viac rozoberanou problematikou v súčasnej vedeckej sfére. Jeho vyššia početnosť výskytu a rovnako silnejúca intenzita spôsobuje, že sa dostáva do popredných rebríčkov prírodných hrozieb. Od nich sa sucho líši viacerými diametrálne odlišnými prejavmi, akými sú nenápadný nástup, veľký priestorový rozsah a pôsobenie jeho vplyvu trvajúce veľmi dlhú dobu. Nárast výskytu extrémnych udalostí, akými sú povodne a sucho na globálnej úrovni, sa považuje za jednu z najviac charakteristických prejavov klimatickej zmeny (Willems 2000, Dalezios et al. 2014). V susedných krajinách nárast dlhších a intenzívnejších suchých epizód preukázalo niekoľko štúdií (Brázdil et al. 2008, Dubrovský et al. 2008). V zemepisných šírkach Slovenska sa za najohrozenejšie časti považujú nížiny Panónskej panvy, ktoré predstavujú naše najteplejšie a poľnohospodársky intenzívne využívané oblasti.

Množstvo vedeckých oblastí a smerov, v ktorých je analýza sucha potrebná, spôsobilo vznik značného počtu definícií a indexov tohto javu. Dôvodom je čo najlepšia a najpresnejšia definícia sucha v danej vedeckej sfére. Sucho sa vždy odvíja od nepriaznivej meteorologickej situácie, ktorá sa vyznačuje absenciou zrážok. Preto aj množstvo definícií meteorologického sucha sa najčastejšie definuje zrážkovými parametrami. Atmosférické zrážky patria medzi hlavné ukazovatele charakteru podnebia, keďže zabezpečujú zdroj vlahy na Zemi. V stredných zemepisných šírkach, v ktorých leží aj Slovensko, autori Fendeková et al. (2010) definovali meteorologické sucho ako: „dočasnú zápornú odchýlku od dlhodobého charakteru vývoja počasia.“ Vo svete navrhol McKee et al. (1993) funkčnú definíciu sucha na základe štandardizovaných zrážok, ktorá sa v súčasnej dobe používa ako univerzálny nástroj pre monitorovanie a analyzovanie sucha. Tak vznikol medzinárodne najpoužívanejší index, štandardizovaný zrážkový index (SPI), ktorý sa preukázal ako variabilné časové meradlo, využiteľné v rôznych

kategóriách sucha. Od roku 2009 je SPI podľa WMO zaradený k hlavným indexom hodnotiacim suchu, ktorý by krajiny mali používať pre monitorovanie tohto javu (WMO 2016). Neskôr sa začali pri analýze sucha zohľadňovať aj pridružené prvky, ktoré ovplyvňujú účinky sucha. Jeden z popredných je teplota vzduchu, ktorá prostredníctvom evapotranspirácie vplyva na intenzitu a trvanie sucha. Z tohto dôvodu Vicente-Serrano et al. (2010) modifikovali SPI a odvodili z neho štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index (SPEI), ktorý práve zohľadňuje tento vplyv. Upravený index umožnil autorom analyzovať suchu z hľadiska podmienok meniacej sa klímy.

Najčastejšie sa analýza využíva v ročnom a mesačnom chode. I keď sa takýto časový krok môže zdať veľmi dlhý, mesačné analýzy sú vhodné pre hodnotenie sucha a jeho dopadu na poľnohospodárstvo pri 1- a 3-mesačnom kroku a na vodný manažment pri 6- a 12-mesačnom kroku (Mishra a Singh 2010, Stagge et al. 2015, Huang et al. 2017). Analýza sucha a jeho predikcia v určitých špecifických oblastiach musí čeliť mnohým nedostatkom analytických metód, čo je pre veľa autorov značná výzva. Príkladom sú autori ako Patana et al. (2016), kde sa autori venujú úrovni závažnosti meteorologického sucha. Taktiež navrhovaná metodika autorov Jain et al. (2014), ktorá posudzuje zraniteľnosť suchom v priestore a čase.

Budúcim scenárom vývoja meteorologického sucha sa venovali v prácach autori Dubrovský et al. (2008), využitím relatívnych rSPI a rPDSI. Prejavilo sa zvýšené riziko výskytu sucha, v dôsledku zvyšovania sa teploty vzduchu za všetkých okolností klimatickej zmeny. Rovnako aj Nam et al. (2015), ktorí skúmali, ako by zmena klímy mohla ovplyvniť vplyv rizika, prípadne zmeny v časových trendoch sucha v Južnej Kórei. Výsledkom bolo preukázanie výrazného zvýšenia potenciálnych dopadov sucha v budúcnosti.

Poznanie zákonitostí sucha nám umožňuje predchádzať jeho škodlivým účinkom a zmierňovať tak dopad na ľudskú spoločnosť. V príspevku sme hodnotili meteorologické suchu podľa indexu SPI, kde sme okrem 1-mesačného časového kroku analyzovali suchu aj na 3-mesačnej časovej úrovni, ktorá nám umožnila analýzu z hľadiska ročných období. Rovnako sme priestorovo zobrazili najzávažnejšie suché sezóny a porovnali podmienky sucha na rôznych miestach, čo bolo v našom prípade na jednotlivých staniách po sezónach.

Metodika

Analýza meteorologického sucha, ako sme už spomínali, sa najčastejšie využíva v ročnom a mesačnom chode. V našom prípade to bolo na báze mesačných úhrnov zrážok a hodnotenie sucha bolo prostredníctvom indexu SPI. Suchu bolo hodnotené pre obdobie 1981 – 2010 na 184 zrážkomerných staniách v oblastiach Slovenska s nížinným charakterom, ktoré predstavovali Záhorská, Podunajská a Východoslovenská nížina, Juhoslovenská a Košická kotlina. K Záhorskej nížine sme z klimatického hľadiska pričlenili aj oblasť Dolnomoravského úvalu, pretože klimatické podmienky nivy Moravy sa nelíšia od nížinných.

V metóde sa vychádza len z mesačných úhrnov zrážok a z definovania sucha na základe štandardizovaných zrážok. Pod nimi sa rozumie rozdiel zrážok od priemeru pre skúmané obdobie, ktorý je delený štandardnou odchýlkou. Priemer a štandardná odchýlka sa odvodí z použitého teoretického rozdelenia. Údaje je potrebné preložiť Gama funkciou, keďže úhrny zrážok nemajú normálne, tzv. Gaussovo rozdelenie. Hodnoty indexu nadobúdajú kladné a záporné hodnoty, ktoré odzrkadľujú vlhké a suché obdobia. Pre identifikáciu intenzity sucha slúži vymedzenie kategórií sucha (tab. 1) na základe autorov McKee et al. (1993). Použili sme pri tom 1- a 3-mesačné akumulčné okno.

V príspevku sme meteorologické suchu analyzovali pomocou mesačných údajov s časovým krokom jeden a tri mesiace. Začiatok meteorologického sucha nastáva, keď hodnota indexu je menšia alebo rovná -1 a končí prvou nasledujúcou kladnou hodnotou (Spinoni et al. 2013). Kategórie sucha sme určili na základe uvedenej tabuľky (tab. 1).

Tab. 1. Kategórie sucha podľa SPI (McKee et al. 1993)

Hodnoty SPI	Kategórie sucha
< -1 až -1,5)	mierné sucho
< -1,5 až -2)	veľmi silné sucho
-2 a menej	extrémne sucho

Priestorovo sme zobrazili päť najvýraznejších suchých sezón identifikovaných indexom SPI pre nami skúmané oblasti. Okrem iných zdrojov sme vychádzali i z metodiky rakúskych autorov, ktorí sa v projekte Spartacus zaoberali interpoláciou a priestorovým rozložením zrážok (ZAMG 2016). V našom prípade sme interpolovali hodnoty indexu SPI, pomocou modulu *v.vol.rst* v programe GRASS GIS 7.0.3, nad vrstvou odchýlok úhrnov zrážok. Túto vrstvu sme získali v mapovej kalkulačke odčítaním dvoch vrstiev, a to tak, že od vrstvy súm denných úhrnov zrážok pre určitú sezónu v určitom roku sme odčítali vrstvu dlhodobého priemeru úhrnov zrážok v danej sezóne (1981 – 2010).

Analýza bola doplnená o porovnanie podmienok sucha na rôznych miestach, v našom prípade na staniách v oblastiach Slovenska nížinného charakteru. Použitá metodika bola prevzatá z práce Dubrovský et al. (2008). Ide o metódu využívajúcu relatívne indexy, rSPI. V tomto modeli indexu sucha sme použili referenčnú sériu vytvorenú agregáciou dát z množiny staníc v našej analýze. V tomto prípade výsledný referenčný rad predstavuje širšie spektrum zrážkových situácií na našom území. Následne, tento referenčný rad bol využitý pre stanovenie parametrov Gama rozdelenia, ktoré boli použité pri výpočte SPI na jednotlivých staniách. Znamená to, že parametre teoretického rozdelenia boli pri tejto metóde rovnaké na každej jednej stanici, čo umožnilo identifikovať suchšie regióny sledovaného územia.

Výsledky a diskusia

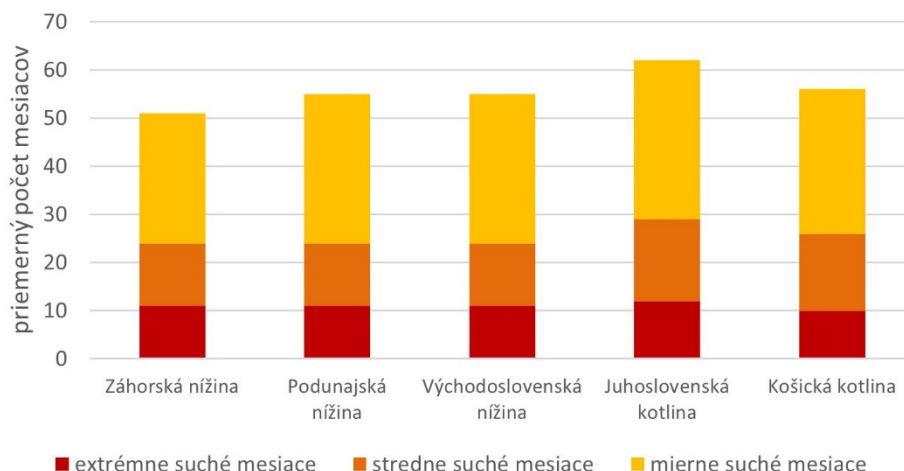
V oblastiach Slovenska s nížinným charakterom sa na 184 staniách z analyzovaných mesiacov suchými preukázalo 22,5 % mesiacov, v ktorých sucho zasiahlo viac ako 25 % skúmaného územia. Z nich sa ako extrémne suchý mesiac prejavilo takmer 42 %. Z hľadiska ich výskytu v jednotlivých dekádach sa medzi prvými dvomi dekadami nevyskytujú výrazné zmeny v počte suchých mesiacov. Avšak v prípade tretej dekády zaznamenávame ich nižší počet. Výrazné zmeny nastávajú v náraste extrémne suchých mesiacov, ktoré najväčší počet dosahujú v druhej dekáde (tab. 2).

Pre jednotlivé stanice je výskyt suchých mesiacov za celé sledované obdobie charakteristický najčastejším počtom 55 a 56 suchých mesiacov. Priemerný počet výskytu suchých mesiacov v hodnotených oblastiach preukázal, že v Juhoslovenskej kotline je výskyt týchto mesiacov vyšší, a jeho priemerný počet je 61 mesiacov za sledované obdobie. Naopak, s najnižším priemerným počtom výskytu suchých mesiacov sa preukázala Záhorská nížina, kde tento počet v priemere dosahuje 51 mesiacov.

Tab. 2. Počet suchých a extrémne suchých mesiacov, ktoré zasiahli viac ako 25 % územia podľa 1-mesačného SPI v jednotlivých dekádach v oblastiach Slovenska nížinného charakteru (1981 - 2010)

dekáda	roky	počet suchých mesiacov	počet extrémne suchých mesiacov
1.	(1981 - 1990)	30	9
2.	(1991 - 2000)	32	14
3.	(2001 - 2010)	19	11

Záhorská nížina má prevládajúce západné až severozápadné prúdenie, čo spôsobuje, že jej východná časť je práve na zrážkovo náveternej strane Malých Karpát, čo v istej miere znižuje výskyt suchých mesiacov. Zvyšné oblasti vykazujú priemerný počet suchých mesiacov 56 na nížinách a 57 v prípade Košickej kotliny. Priemerný počet suchých mesiacov reprezentujúcich jednotlivé kategórie sucha v daných oblastiach je uvedený v grafe (obr. 1).



Obr. 1. Priemerný počet suchých mesiacov a ich typov podľa SPI s 1-mesačným krokom v jednotlivých oblastiach Slovenska (1981 – 2010)

Veľmi suché mesiace vykazujú väčšie rozdiely medzi nížinami a kotlinami. Tento rozdiel predstavuje 3 – 4 mesiace, kde sa kotliny prejavujú častejším výskytom veľmi suchých mesiacov. Pre poslednú kategóriu, mierne suché mesiace, sa priemerný počet pohybuje medzi 27 – 33 mesiacov.

Extrémy identifikované podľa 1-mesačného SPI dosiahli stanice Iža (južné Slovensko), na ktorej sa vyskytol najextrémnejšie suchý mesiac za sledované obdobie v auguste 1992, a naopak, najextrémnejšie vlhký mesiac na stanici Zemplínske Hradište (juhovýchodné Slovensko) v máji 2010. Medzi ďalšie stanice s extrémne suchými mesiacmi, ktoré presiahli hodnotu SPI pod -5, sú Jablonica (západné Slovensko) a Žikava (západné Slovensko) vo februári 1998 a Ladzany (stredné Slovensko) v apríli 2007.

Pre oblasti Slovenska s nížinným charakterom sa pri jednomesačnom SPI najčastejšie výskyt sucha vzťahuje na mesiac január, čo korešponduje s charakteristickým rozložením zrážok počas roka, kedy je ich najnižší úhrn práve v tomto mesiaci. Avšak pre extrémne suché mesiace je tento výskyt posunutý na mesiac február. Keďže máme na Podunajskej nížine najväčší počet staníc, tak sa môže stať, že nám udáva charakter správania sa sucha pri hodnotení oblastí Slovenska s nížinným charakterom. Z hľadiska jednotlivých oblastí skúmaného územia sa preukázalo, že na západe a juhozápade sa v nížinách potvrdil najčastejší výskyt suchých mesiacov práve pre mesiace január a február. Odlišná charakteristika platí pre oblasť Východoslovenskej nížiny, kde je najčastejší výskyt suchého mesiaca v septembri a pre extrémne suché mesiace je tento výskyt v júli. Rozdiel medzi nížinami by sme mohli dať do súvislosti s prirodzeným rozložením zrážok v jednotlivých regiónoch. Ak by

sme vychádzali z charakteristík zrážkových oblastí Slovenska (Faško 2006), Východoslovenská nížina sa preukazuje výrazným vplyvom kontinentality. Pre kotliny sa celkový výskyt suchých mesiacov potvrdil najčastejšie v mesiaci marec, zrážkovo chudobnom mesiaci, ale v prípade extrémne suchých mesiacov je to september. Spojitosť môžeme nájsť v prítomnosti tlakovej výše na našom území, ktorá spôsobuje jednu z teplotných singularít, známu ako babie leto (Trizna 2012), čo môže mať za následok väčší výskyt extrémneho sucha v tomto období na východe Slovenska.

Index s 3-mesačným krokom pracuje na princípe, že sa berie váha deficitu zrážok troch mesiacov. V oblastiach Slovenska s nížinným charakterom sa za sledované obdobie preukázalo 40 sezón ako suchých, čo predstavuje 33,3 % sezón, počas ktorých sa na viac ako 25 % územia oblastí Slovenska s nížinným charakterom vyskytlo sucho. V polovici z nich sa sucho prejavilo ako extrémne suché. Z hľadiska jednotlivých dekád môžeme usúdiť, že prvé dve sa vo výskyte suchých sezón veľmi od seba nelíšia. V prípade tretej dekády je tento výskyt trojnásobne nižší v porovnaní s prvou dekádou. To bolo následkom mierne vlhkých rokov 2005 a 2008 s minimálnym výskytom mierneho sucha na niekoľkých staniciach, ako aj zrážkovo výdatného roka 2010. Výskyt extrémne suchých sezón dosahuje maximum v druhej dekáde. Avšak v prípade poslednej dekády môžeme vidieť, že z identifikovaných šiestich suchých sezón sa päť prejavilo extrémne (tab. 3).

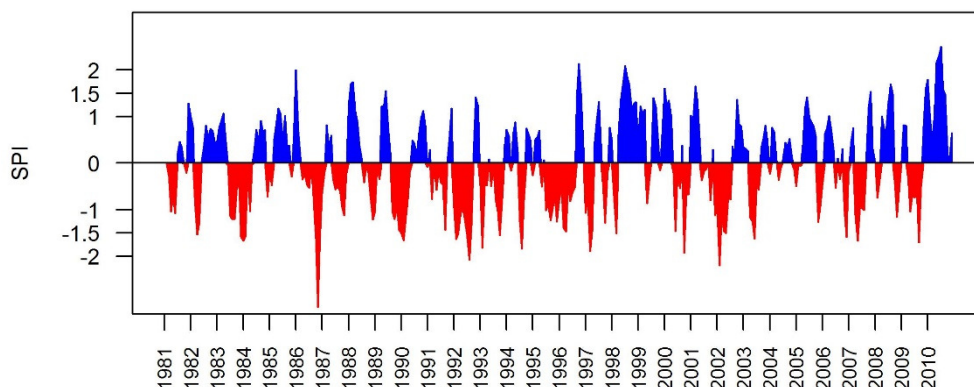
Tab. 3. Počet suchých a extrémne suchých sezón, ktoré zasiahli viac ako 25 % územia podľa 3-mesačného SPI v jednotlivých dekádach v južných oblastiach Slovenska (1981 - 2010)

dekáda	roky	počet suchých sezón	počet extrémne suchých sezón
1.	(1981 - 1990)	18	6
2.	(1991 - 2000)	16	9
3.	(2001 - 2010)	6	5

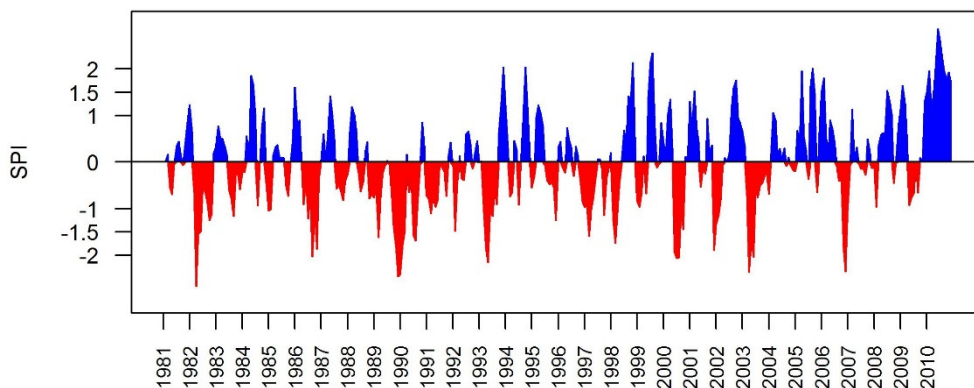
Maximálny počet suchých epizód sa vyskytol na stanici Vysoká nad Uhom (juhovýchodné Slovensko) s počtom 37 (obr. 2) a najnižší počet suchých epizód bol zaznamenaný na stanici Horné Semerovce (stredné Slovensko), kde tento počet predstavuje 20 (obr. 3). Už tu môžeme spozorovať, že vyšší výskyt suchých epizód sprevádzajú suchá, ktoré dosahujú kratšiu dĺžku trvania ako suché obdobia, ktorých počet výskytu je nižší, ale sú dlhšie trvajúce.

V prípade vyššie uvedených staníc sa nám to potvrdilo, pretože na stanici s maximálnym počtom výskytu sucha bolo ich trvanie v priemere 1,75 mesiaca, pričom na stanici s minimálnym počtom výskytu suchých epizód ich priemerné trvanie bolo 2,5 mesiaca. Priemerný počet suchých epizód v jednotlivých skúmaných oblastiach predstavoval najnižší počet v Juhoslovenskej kotline, kde sa sucho vyskytne v priemere 25-krát, a naopak najvyšší priemerný počet výskytu suchej epizódy je na Záhorskej nížine s počtom 30. Pri jednomesačnom SPI tento počet výskytu preukázal v týchto dvoch oblastiach antagonizmus. Dôvodom je, že v prípade Juhoslovenskej kotliny sa na časovej úrovni jeden mesiac vyskytuje najviac mierne až silne suchých mesiacov, ktoré sa pri väčšom časovom kroku už neodzrkadľujú. V tomto prípade sa už neprejavili ani pri 3-mesačnom časovom kroku. Pre zvyšné oblasti tento priemerný počet výskytu suchých epizód predstavoval 28 a 27 pre Košickú kotlinu. Rovnako z hľadiska trvania suchých epizód sa jednotlivé oblasti správajú inak. Pre Záhorskú nížinu sa priemerné trvanie suchých období pohybuje od 1,5 až 2 mesiace, pričom smerom na východ sa trvanie suchých epizód zvyšuje v priemere na 2 až 2,5 mesiaca.

Extrémy podľa 3-mesačného SPI sa vyskytli na staniciach Pezinok-Myslenice (juhozápadné Slovensko), kde sa najextrémnejšie preukázal nakumulovaný deficit zrážok v apríli 2003, a zotrval v podobe 8-mesačného sucha na danej stanici so začiatkom v marci. Opačný extrém sa vyskytol v auguste 1999 na stanici Radvaň nad Dunajom (južné Slovensko) v podobe štyroch mesiacov.



Obr. 2. Najvyšší počet výskytu suchých epizód na stanici Vysoká nad Uhom na Východoslovenskej nížine

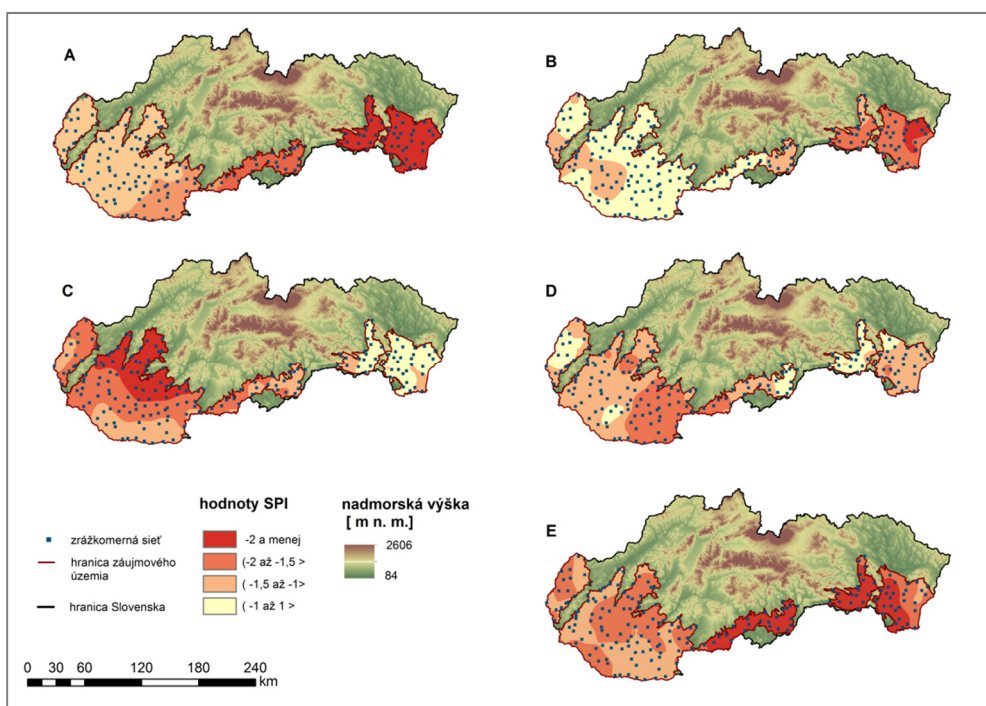


Obr. 3. Najnižší počet výskytu suchých epizód na stanici Horné Semerovce na Podunajskej nížine

Za analyzované obdobie sa v južných oblastiach prejavilo deväť najintenzívnejších a plošne najrozsiahlejších suchých epizód. Priestorovo sme zobrazili päť najzávažnejších suchých sezón. Medzi nimi bolo suché obdobie v roku 2003 (obr. 4, D), kedy sa najextrémnejšie prejavilo v mesiaci apríl. Na viacerých staniciach sa prejavilo trvaním 8 mesiacov a ovplyvňovalo jar, leto aj jeseň. Sucho sa prejavilo vo všetkých oblastiach Slovenska s nížinným charakterom, kde najextrémnejšie hodnoty (-5 a -3) dosahovala Podunajská a Záhorská nížina v jarnom mesiaci apríl. Avšak oveľa dlhšie zotrvalo veľmi silné sucho na Východoslovenskej nížine, v apríli a v máji, čo sa v konečnom dôsledku prejavilo závažnejšie ako extrémne sucho na Záhorskej nížine, ktoré sa už v máji odzrkadľuje veľmi slabo v podobe mierneho sucha. Minimálne bola zasiahnutá Košická kotlina.

Ďalšia jar, ktorá sa prejavila najextrémnejším aprílom bola v roku 1982. V tomto mesiaci bola na troch staniách prekročená hodnota -4. Všetky sa nachádzajú na Podunajskej nížine, kde sa toto sucho prejavilo najintenzívnejšie spolu aj so Záhorskou nížinou. Najmä v apríli dosahovala väčšina staníc hodnoty nižšie ako -3 a vo zvyšných oblastiach pod hodnotu -2. Jeho trvanie bolo na väčšine staníc štyri mesiace so začiatkom v marci. Výrazne suché obdobie sa vyskytlo na jeseň 1986 (obr. 4, A). Najviac zasiahnuté boli kotliny a Východoslovenská nížina. Veľa staníc prekročilo hodnotu SPI pod -3 a nezmiernili sa ďalšie 3 mesiace. Suché obdobie so začiatkom na jar zotrvalo až do jesene, kde jeho prejav bol najvýraznejší. Trvanie suchej epizódy dosiahlo na dvoch staniciach až 9 mesiacov, a to na staniciach Nižný Hrušov (východné Slovensko) a Čaňa (juhovýchodné Slovensko). O niečo miernejšie sa sucho prejavilo na západe a juhozápade Slovenska, kde dosiahlo hodnoty mierneho sucha a na juhovýchode Podunajskej nížiny veľmi silného sucha.

Výskyt najvážnejších suchých epizód v prvej dekáde uzavrela zima na prelome rokov 1989/90. Celkovo sucho trvalo v priemere 4 mesiace so začiatkom v novembri, v niektorých prípadoch aj skôr. Opäť sa toto výrazné sucho prejavilo najmä na Podunajskej a Záhorskej nížine, a na juhu. Na východe sucho dosiahlo najviac kategóriu veľmi silné sucho. Výrazne sucho sa prejavilo na prelome rokov 2006/07, kedy extrémne sucho na jeseň 2006 (obr. 4, E) zotrvalo až do konca zimy. Trojmesačné sucho sa extrémne prejavilo najmä v kotlinách a juhozápadnej časti Východoslovenskej nížiny. Vo zvyšných častiach sa prejavilo mierne až veľmi silné sucho.



Obr. 4. Výskyt meteorologického sucha k poslednému mesiacu danej sezóny identifikovaného podľa SPI s 3-mesačným krokom na jeseň 1986 (A), leto 1994 (B), zima 1997/1998 (C), jar 2003 (D) a jeseň 2006 (E) v oblastiach nížinného charakteru

Ďalšia suchá zima sa prejavila v roku 1997/98, s extrémom vo februári (obr. 4, C). Centrum bolo na Podunajskej pahorkatine, kde sa sucho dostalo pod hodnotu -3. Čiastočne bola zasiahnutá aj Záhorská nížina, kde však dosahuje nižšie hodnoty. Epizóda zotrvala až do jari v podobe 4-mesačného sucha so začiatkom práve extrémneho februára. Sucho vo veľmi malej miere zasiahlo východ Slovenska. Avšak začiatkom jari sa už aj východ Slovenska prejavil nástupom extrémneho sucha. Na jeseň 1983 sa v južných oblastiach prejavilo suché obdobie s trvaním na väčšine staníc 5 až 8 mesiacov, a to najmä v prípadoch, kedy sa vyskytlo v podobe mierneho až veľmi silného sucha. V prvej polovici suchej epizódy bol najviac zasiahnutý suchom západ a juhozápad Slovenska, avšak v zime sa prejavilo aj na východe Slovenska.

Výrazne suchá sezóna sa prejavila aj v lete v roku 1994 (obr. 4, B) na východe Slovenska. Na západe a juhozápade sa prejavili optimálne podmienky až na niekoľko staníc, kde sa prejavilo mierne sucho. Najnižšiu hodnotu SPI dosiahla stanica Choňkovce na východe. Trvanie sucha bolo maximálne 3 mesiace so začiatkom v júli. Suchej epizóde predchádzalo sucho vo východnej časti Slovenska na jar a v lete 1993 a aj 1992, z čoho sa pri najbližšom deficite zrážok opäť vyskytlo sucho, tak ako v lete 1994.

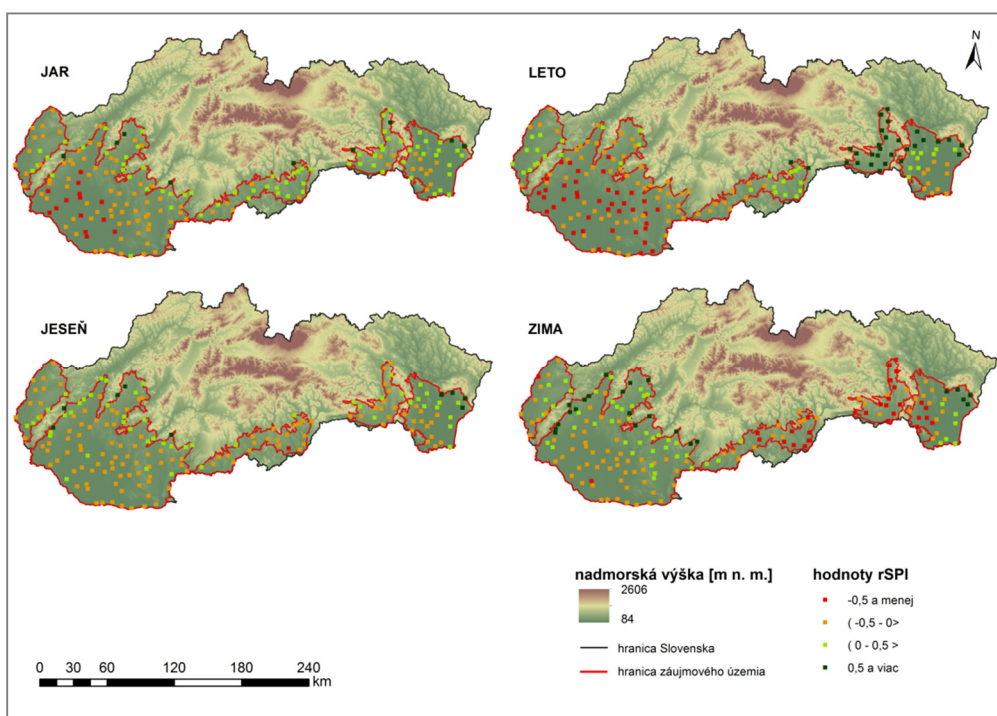
Porovnať podmienky tohto fenoménu v rôznych miestach v nami skúmaných oblastiach nám umožnil relatívny index rSPI. Podmienky boli hodnotené na mesačnej báze s krokom tri mesiace. Index rSPI nadobúdal hodnoty blízke -0,5 a +0,5.

V jarnom období sa výrazne náchylnejšia na suchu prejavuje Podunajská nížina, najmä jej juhozápadná časť. O niečo menej náchylná na výskyt sucha je v tejto sezóne aj západná časť Záhorskej nížiny, a taktiež oblasť na Východoslovenskej nížine a Košickej kotline medzi stanicami Košice-letisko, Milhostov a Somotor. V Juhoslovenskej kotline sa mierne suchšie prejavili viac stanice v jej západnej časti (obr. 5, jar). Dokonca sa takéto správanie prejavilo aj na staniaciach Kalinovo a Číž (stredné Slovensko). Rovnako sa preukázali výraznejšie vlhšie stanice, ktoré sú blízko pohorí, čo odzrkadľuje narastajúci zrážkový gradient zmenou nadmorskej výšky. Relatívny SPI nám veľmi pekne odzrkadľuje klimatické podmienky v jarnom období, ako aj ich kombináciu s orografiou. Potvrdilo sa, že stanice ležiace vo východnej časti Záhorskej nížiny sa prejavujú relatívne vlhšie ako v jej západnej časti. Dôvodom je ich poloha na zrážkovo náveternej strane Malých Karpát pri charakteristickom prevládajúcom západnom až severozápadnom prúdení na Slovensku. Rovnako sa tento vplyv preukazuje aj na Východoslovenskej nížine. Avšak tu sa prejavuje efekt zrážkového tieňa Slanských vrchov. Prejavuje sa aj vplyv oceanity na západe a juhozápade Slovenska a vplyv kontinentality na východe Slovenska, kde sa oblasti vyznačujú o niečo nižšou priemernou teplotou vzduchu ako na Podunajskej nížine. Vplyv prirodzeného rozloženia zrážok v jednotlivých regiónoch môže spôsobiť rozdielnosť náchylnosti na výskyt sucha.

V lete sa opäť preukazuje výraznejšia náchylnosť na výskyt sucha na Podunajskej nížine v dôsledku nízkych úhrnov zrážok, i keď jún a júl patrí v ročnom rozložení zrážok medzi najdaždivejšie. Pri vysokej teplote vzduchu v daných mesiacoch sa zvýši aj potenciálny výpar, a tým sa veľmi rýchlo prejavuje sucho. Avšak táto oblasť je už oveľa rozsiahlejšia ako v prípade jarného obdobia. Jej šírenie je smerom k pohoriam, čím sa na Podunajskej nížine úplne vytratia mierne až výrazne vlhké stanice. V Juhoslovenskej kotline vplyv Stredomoria a kontinentu Eurázie túto oblasť rozdelil na dve časti, pričom západná časť sa správa podobne ako na Podunajskej nížine, kde sa prejavujú stanice mierne suchšie, než na jej východnej časti s prejavom mierne vlhšej oblasti. Výrazne vlhšia sa prejavuje Košická kotlina a smerom na východ opäť intenzita indexov klesá, a vyskytuje sa na Východoslovenskej nížine oblasť s miernejšou náchylnosťou na sucho. Najmä na juhovýchod od staníc Budkovce, Zemplínske Hradište a Vysoká nad Uhom (obr. 5, leto).

V jesennom období sa september prejavuje ako najstabilnejší mesiac, z hľadiska klimatických podmienok. Všetky stanice sa prejavujú mierne náchylné na suchu, avšak smerom k pohoriam sa hodnoty indexu zlepšujú. V prípade rSPI v Juhoslovenskej kotline na stanici Bottovo sa prejavili podmienky výraznejšie náchylné na suchu (obr. 5, jeseň). Dôsledkom výskytu sucha v jesennom období môžeme často spájať s prítomnosťou teplotnej singularity „babie leto“. Avšak o niečo nižšie teploty vzduchu spôsobia, že potenciálny výpar už nie je taký silný ako v letnom období. Väčšina extrémov v tomto období je spôsobená naakumulovaným deficitom zrážok z leta.

V zime najvýraznejšie náchylné podmienky na suchu sú v oblasti Košickej kotliny, východnej časti Juhoslovenskej kotliny a juhozápadnej časti Východoslovenskej nížiny (obr. 5, zima). Dôsledkom môže byť nízky úhrn zrážok v zime, najmä v mesiaci január, ktorý sa prejavuje s najnižšími úhrnmi zrážok v ročnom chode. Podunajská nížina sa v tomto ročnom období prejavila miernejšie náchylná na suchu. Dôvodom je vplyv oceanity, ktorá ovplyvňuje najmä túto oblasť a spôsobuje relatívne teplejšie a daždivejšie zimy. Naopak na východe Slovenska sa prejav kontinentality preukáže výrazne chladnejšími a suchými zimnými obdobiami, než v prípade juhozápadu Slovenska. To spôsobuje výraznejšiu náchylnosť na výskyt sucha v daných oblastiach. Taktiež zimné obdobie sprevádza na našom území tlaková výš, ktorá sa na nížinách prejavuje teplotnou inverziou, kedy sa v novembri a decembri prejavuje najvyššou oblačnosťou. V prípade rSPI sa výrazne prejavila stanica Jánošíkovo na Ostrove na Podunajskej nížine.



Obr. 5. Podmienky sucha v jednotlivých sezónach podľa rSPI oblastí Slovenska s nížinným charakterom (1981 – 2010)

Autori Labudová et al. (2017) analyzovali využiteľnosť komparácie SPI a SPEI pri hodnotení dopadov sucha na poľnohospodárske plodiny v nížinách SR v období rokov 1996-2014. Boli zistené pomerne veľké rozdiely v prípade sucha medzi dvoma vybranými nížinami.

Východoslovenská nížina sa zdá byť menej ovplyvnená rastúcou potenciálnou evapotranspiráciou ako Podunajská nížina. Zdá sa, že suché obdobia zaznamenané v SPEI sa vyskytli častejšie a mali dlhšie trvanie v druhej polovici obdobia v Podunajskej nížine, zatiaľ čo obdobia odvodené z SPI na tom istom území boli časovo rozdelené pomerne rovnomerne.

Avšak vzhľadom na trojmesačný index SPEI (SPEI-3) boli zaznamenané obdobia sucha proporcionálne počas celého obdobia na Východoslovenskej nížine a aj ich intenzita bola pomerne rovnomerná v tomto období. Časové rozloženie období sucha na Východoslovenskej nížine je podobné vzhľadom na SPI, ale jeho intenzita je nižšia bez potenciálnej evapotranspirácie. Najvyššie straty spôsobené najmä extrémnym suchom boli zaznamenané v rokoch 2000, 2003, 2007 a 2012. V prvých troch uvedených rokoch bolo extrémne sucho zaznamenané od neskorých jarných mesiacov až do konca leta, najmä v roku 2003.

Výsledky výskytu sucha pomocou SPEI sú v zhode so štúdiami uverejnenými v posledných rokoch z regiónu strednej Európy. Potop et al. (2013) určili najsuchšie obdobia v rokoch 1972-1974, 1985-1986 a 1989-1994 a najchladnejšie sezóny boli v rokoch 1965-1968, 1978-1982 a 1995-1999. Najsuchší rok vo vybraných nížinách na Slovensku bol 2003 a 2011/2012. Prvý zmieneny rok bol tiež podrobne a analyzovaný v niekoľkých štúdiách v Európe (napr. Lloyd-Hughes a Saunders 2002).

Scenár klimatickej zmeny pre Slovensko ukazuje nárast ročného deficitu evapotranspirácie. Časové rozloženie zásob pôdnej vlhkosti (vody) jasne svedčí o potrebe reštrukturalizovať a optimalizovať rastlinnú výrobu s cieľom zlepšiť poľnohospodársku produkciu v regióne (Mati et al. 2011). Avšak pozornosť je potrebné venovať v rámci ďalších štúdií aj výskytu epizodických zrážok, neskorým jarným mrazom a malej snehovej pokrývke v dotknutom regióne.

Záver

Meteorologické sucho v oblastiach Slovenska s nížinným charakterom je pomerne často sa vyskytujúci a v prípade silnej intenzity aj ohrozujúci fenomén, ktorý výrazne ovplyvňuje našu poľnohospodársku produkciu. Najčastejšie sa jeho najintenzívnejší charakter prejavuje najmä na Podunajskej nížine v jarnom a letnom období. Východ Slovenska je najčastejšie ovplyvnený predovšetkým na jeseň a v zime. V rámci použitej metodiky je tak možné pomocou relatívnych indexov zhodnotiť dlhodobejší charakter podmienok sucha v priestore. Avšak v konečnom dôsledku prítomnosť klimatickej zmeny, prostredníctvom rastúcich trendov teplôt vzduchu, ako aj potenciálnej evapotranspirácie za sledované obdobie, naznačuje výskyt intenzívnejších a dlhšie trvajúcich suchých epizód na našom území v tretej dekáde.

Pre porovnanie a zhodnotenie nami získaných výsledkov s výsledkami mnohých iných autorov môžeme povedať, že suché obdobia, ktoré sa prejavili v susedných krajinách ako Česko, Maďarsko sa vo väčšine odzrkadlili aj na našom území. Rovnako závery štúdií mnohých slovenských autorov sa potvrdili a preukázali aj v našej analýze. Príkladom môže byť výrazné sucho 2003, ktoré bolo identifikované SPI na všetkých časových úrovniach, ako aj v mnohých iných štúdiách (Klementová a Litschman 2004, Brázdil et al. 2008, Potopová et al. 2015). V štúdiu sme identifikovali oblasti, ktoré sú najčastejšie ohrozené výskytom sucha. Identifikáciu daných oblastí sme uskutočnili prostredníctvom relatívneho SPI. Prevzatá metodika z práce Dubrovský et al. (2008), kde sa pri rSPI prejavili vlastnosti rozloženia ročného chodu zrážok, sa v našom prípade prejavila rovnako. Relatívny index umožnil oblasti priestorovo porovnať z hľadiska podmienok sucha len bodovo v rámci rozloženia siete staníc. V rámci inej štúdie sa hodnotilo sucho ako aj jeho podmienky v daných oblastiach okrem SPI aj prostredníctvom SPEI indexu. Preukázalo sa, že by sa potenciálna evapotranspirácia mala brať do úvahy, čo i len v jej najjednoduchšej podobe. Dôvodom je, že sa suché obdobia vplyvom evapotranspirácie zosilňujú, prípadne zoslabujú a často sa ich doba trvania predlžuje. V rámci relatívnych indexov ich priebeh bol vo väčšine podobný.

Literatúra

- BRÁZDIL, R., TRNKA, M., DOBROVOLNÝ, P., CHROMÁ, K., HLAVINKA, P., ŽALUD, Z. 2008: Variability of droughts in the Czech Republic, 1881-2006. *Theoretical and Applied Climatology*, 97(3-4), 297-315. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0065-x>.
- DALEZIOS, N. R., BLANTA, A., SPYROLOULOS, N. V., TARQUIS, A. M. 2014: Risk identification of agricultural drought for sustainable Agroecosystems. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 2435-2448. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-14-2435-2014>.
- DUBROVSKÝ, M., SVOBODA, M. D., TRNKA, M., HAYES, M. J., WILHITE, D. A., ŽALUD, D., HLAVINKA, P. 2008. Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. *Theoretical and Applied Climatology*, 96(1-2), 155-171. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0020-x>.
- FENDEKOVÁ, M., ŽENIŠOVÁ, Z. eds. 2010: *Hydrogeologické sucho*. Bratislava (Slovenská asociácia hydrológov, Katedra hydrológie, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave).
- HUANG, S., LI, P., HUANG, Q., LENG, G., HOU, B., MA, L. 2017: The propagation from meteorological to hydrological drought and its potential influence factors. *Journal of Hydrology*, 547, 184-195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.01.041>.
- JAIN, V. K., PANDEY, R. P., JAIN, M. K., 2014: Spatio-temporal assessment of vulnerability to drought. *Natural Hazards*, 76, 443-469. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1502-z>.
- KLEMENTOVÁ, E., LITSCHMANN, T. 2004: The agro-climatic drought in Slovakia in 2003. *Meteorologický časopis*, 7(1), 11-16.
- LABUDOVÁ, L., LABUDA, M., TAKÁČ, J. 2017: Comparison of SPI and SPEI applicability for drought impact assessment on crop production in the Danubian Lowland and the East Slovakian Lowland. *Theoretical and Applied Climatology*, 128(1-2), 491-506. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1870-2>.
- LLOYD-HUGHES, B., SAUNDERS, M. A. 2002: A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22(13), 1571-1592. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.846>.
- MATI, R., KOTOROVÁ, D., GOMBOŠ, M., KANDRA, B. 2011: Development of evapotranspiration and water supply of clay-loamy soil on the East Slovak Lowland. *Agricultural Water Management*, 98(7), 1133-1140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.02.007>.
- McKEE, T. B., DOESKEN, N. J., KLEIST, J. 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. *8th Conference on Applied Climatology (17-22 January 1993, Anaheim, CA)*. Boston (American Meteorological Society).
- MISHRA, A., SINGH, V., 2010: A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*. 391(1-2), 202-216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>.
- NAM, W., HAYES, M. J., SVOBODA, M. D., TADESSE, T., WILHITE, D. A. 2015: Drought hazard assessment in the context of climate change for South Korea. *Agricultural Water Management*, 160, 106-117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.029>.
- PATANA, W., CHAROON, S., PANTIP, K., SOMBAT, CH. 2016: Rainfall prediction and meteorological drought analysis in the Sakae Krang River basin of Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 50(6), 490-498. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anres.2016.05.003>.
- POTOP, V., BORONEANT, C., MOŽNÝ, M., ŠTEPÁNEK, P., SKALÁK, P. 2013: Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*, 115, 563-581. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0908-y>.

- POTOPOVÁ, V., ŠTEPÁNEK, P., MOŽNÝ, M., TÜRKOTT, L., SOUKUP, J. 2015: Performance of the standardised precipitation evapotranspiration index at various lags for agricultural drought risk assessment in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 202, 26-38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.022>.
- SHMÚ 2006: *Mapa zrážkových oblastí*. Bratislava (SHMÚ – Slovenský hydrometeorologický ústav) – interný materiál.
- SPINONI, J., CARRAO, H., NAUMANN, G., ANTOFIE, T., BARBOSA, P., VOGT, J. 2013: A global drought climatology for the 3rd edition of the World Atlas of Desertification (WAD). *Geophysical Research Abstracts*, 15, EGU General Assembly 2013.
- STAGGE, J. H., KOHN, I., TALLAKSEN, L. M., STAHL, K. 2015: Modeling drought impact occurrence based on meteorological drought indices in Europe. *Journal of Hydrology*, 530, 37-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.039>.
- TRIZNA, M. 2012: *Klimageografia a hydrogeografia*. Bratislava (Geografika, edícia Extern).
- VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S., LÓPEZ-MORENO, J. I. 2010: A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718. DOI: <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.
- WILLEMS, P. 2000: Compound intensity/duration/frequency relationships of extreme precipitation for two seasons and two storm types. *Journal of Hydrology*, 233(1-4), 189-205. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00233-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00233-X).
- WMO, GWP 2016: *Handbook of Drought Indicators and Indices*. Geneva (WMO – World Meteorological Organization, GWP – Global Water Partnership).
- ZAMG 2016: *Spatiotemporal Reanalysis Dataset for Climate in Austria*. Vienna (ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik).

Adresy autorov

Mgr. Terézia Janáčová
Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava
Slovensko
terezka.janacova@gmail.com

Mgr. Lívia Labudová, PhD.
Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava
Slovensko
livia.labudova@shmu.sk

RNDr. Martin Labuda, PhD.
Univerzita Komenského v Bratislave
Prírodovedecká fakulta
Katedra krajinnej ekológie
Ilkovičova 6, 84215 Bratislava
Slovensko
mlabuda@fns.uniba.sk