

Porovnanie dvoch indexov sucha využitím údajov z klimatického modelu COSMO

Lívia Labudová^{1,2}

¹ Katedra fyzickej geografie a geoekológie, Prírodovedecká fakulta UK v Bratislave, Mlynská dolina, 84215 Bratislava, livia.leskova@uniba.sk

² Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, livia.labudova@shmu.sk

Abstract

Rising global air temperature is considered to intensify the hydrological cycle, what is connected with an intensification of evaporation. The increase of the air temperature doesn't mean only changes in means, but also an increase in occurrence of extreme events. Some studies using the Standardized precipitation index (SPI) recorded drying conditions in Hungary at the end of spring, beginning of summer and at the end of autumn. Therefore, the assessment of drought episodes in Slovakia is of high interest, especially for the southern agricultural parts of the country. According to the former research on the impact of the North Atlantic Oscillation (NAO), two river basins with a different response to NAO were selected for a drought analysis. In recent years, various methods were developed to evaluate the occurrence of droughts. In this paper, the 6-hourly model data from COSMO-CLM with a horizontal resolution of 18 km were used to calculate the SPI and the SPEI on three time scales (3-, 6- and 12-month) in the Slana (in the southern Slovakia) and Kysuca (in the northern Slovakia) river basins. The potential evapotranspiration (PET) was computed using the Thornthwaite's equation (empirical approach, PET-T), as well as using a bulk approach based on surface similarity theory (PET-E). The Thornthwaite's method gives the higher PET amounts than the bulk approach in months of warm half-year in Kysuca basin. The same results are reached in the rain gauge stations under 300 m a.s.l. in Slana river basin. In the stations above this altitude, the relation is inverted. According to SPI and SPEI, drought periods occurred in late 80s, at the turn of 80s and 90s, in year 1993 and 1998. The role of potential evapotranspiration in drought analysis is the most visible in 1993, where SPI does not identify drought conditions in the Kysuca water basin. The correlation between SPEI-T and the SPI is high on all time scales. The SPI on the 12-month time scale identifies the drier/wetter conditions than SPEI (using PET-T) in the cases of extreme low/high values. The scatter plots between SPEI (using PET-E) and the SPI on the same time scale show in the southern region that the differences are the lowest by the highest positive values and increase with the decreasing indices values. The lowest differences were recorded in the stations, where PET-T is higher than PET-E (bulk approach). A very low correlation between the SPEI and the SPI was identified in southern Slovakia on the 3-month time scales, because the evapotranspiration plays an important role in this region during the summer months.

Anotation

The assessment of drought episodes in Slovakia is of high interest, especially for the southern agricultural parts of the country. In this paper, the 6-hourly model data from COSMO-CLM with a horizontal resolution of 18 km were used to calculate the SPI and the SPEI on three

time scales (3-, 6- and 12-month) in the Slana (in the southern Slovakia) and Kysuca (in the northern Slovakia) river basins. The potential evapotranspiration (PET) was computed using the Thornthwaite's equation (empirical approach), as well as using a bulk approach based on surface similarity theory.

Key words: SPI, SPEI, potential evapotranspiration, precipitation, drought period

Anotácia

Hodnoteniu suchých období na Slovensku sa momentálne venuje veľká pozornosť, najmä v južných, poľnohospodárskych častiach krajiny. V príspevku sú použité 6-hodinové údaje z regionálneho klimatického modelu COSMO-CLM s horizontálnym rozlíšením 18 km pre kalkuláciu SPI a SPEI na troch časových škálach (3, 6 a 12 - mesačnej) v povodí Slanej a povodí Kysuce. Potenciálna evapotranspirácia (PET) bola vypočítaná pomocou Thornthwaitovej metódy (empirický prístup), ako aj použitím princípu zidealizovaného vertikálneho gradientu meteorologických veličín v prízemnej vrstve atmosféry.

Kľúčové slová: SPI, SPEI, potenciálna evapotranspirácia, zrážky, suché obdobie

Úvod

Prírodná hrozba je prirodzene sa vyskytujúci jav, ktorý negatívne ovplyvňuje človeka alebo životné prostredie. Sucho je jednou z prírodných hrozieb, ktorá je neustále zhoršovaná zvyšujúcimi sa nárokmi na vodu, a preto jeho výskum a hodnotenie pritiahol pozornosť meteorológov, hydroológov, environmentalistov, ekológov, ale aj odborníkov z oblasti poľnohospodárstva. Sucho nemá žiadnu jednotnú definíciu, preto je zväčša rozdeľované do štyroch kategórií, ktoré pozostávajú z meteorologickej, hydrologickej, poľnohospodárskej a socioeconomickej. Mishra a Singh (2010) publikovali súhrn definícií jednotlivých kategórií, ktoré boli dovtedy publikované v danej problematike.

Globálna priemerná teplota vzduchu zaznamenala v 20. storočí nárast v dvoch fázach, v rokoch 1910 – 1940 o 0,35 °C a od sedemdesiatych rokov po koniec storočia o 0,55 °C (IPCC, 2007). Rast priemernej teploty spôsobuje aj intenzifikáciu hydrologického cyklu, čo je spojené s rastom úhrnu zrážok, výparu a odtoku v niektorých oblastiach. Následky rastu teploty nie sú len zmeny priemerov, ale najmä nárast výskytu extrémnych javov.

Viacero štúdií, zaoberajúcich sa touto problematikou, vzniklo nielen v mediteránnej oblasti, ale aj v strednej Európe (napr. Szalai et al., 2000; Szép et al., 2005; Potop et al., 2012a; Potop et al., 2012b; Brázdil et al., 2008). Veľká pozornosť problematike sucha sa venuje v Maďarsku. Szalai et al. (2000) použitím 3-mesačného SPI zaznamenali vysušovanie najmä na konci jari, začiatku leta a na konci jesene.

Štúdie, zamerané na vplyv suchých období na poľnohospodárske plodiny, boli urobené aj pre územie Českej republiky (Potop et al., 2012a; Potop et al., 2012b). Potop et al. (2012b) použili indexy SPI a SPEI pre zhodnotenie vývoja suchých období v nížinných oblastiach Českej republiky v období 1901 – 2010, a pre zhodnotenie vplyvu suchých období na produkciu poľnohospodárskych plodín v povodí rieky Labe. Zatiaľ čo na začiatku skúmaného obdobia prevládali suché obdobia v zimných mesiacoch, v posledných dvoch dekádach sa objavovali najmä jarné a letné suchá. Práve letné suchá majú tendenciu byť

dlhšie a predĺžiť sa až na začiatok jesene s vyššou frekvenciou. Pri stredne dlhých a dlhých časových škálach identifikoval SPEI dlhšie suché obdobia než SPI. Analýzy poukázali na to, že až 40 % mesiacov počas vegetačného obdobia môže byť postihnutých miernym až závažným suchom. Zvyšujúca sa frekvencia výskytu suchých období znižuje výnosy a zvyšuje tým ich variabilitu, čo v konečnom dôsledku znamená ekonomické straty. Pri analýze v rámci celého územia Českej republiky boli najvyššie frekvencie mierneho a závažného sucha identifikované nielen v nížinných oblastiach (podľa EOF analýzy do 400 m n. m.), ale aj na južnej Morave, v severozápadných Čechách, juhovýchodných oblastiach a v povodí Labe (Potop et al., 2012a). Potop a Türkott (2012) taktiež dokázali negatívny vplyv nielen silne a extrémne suchých, ale aj vlhkých období na produkciu cukrovej repy v stredných Čechách. Výsledky spomínaných štúdií sú v zhode s výsledkami Brázdil et al. (2008), ktorí taktiež potvrdili tendenciu k predlžovaniu a vyššej intenzite suchých období v Českej republike. Analyzovali taktiež synoptické situácie počas výskytu dvoch najvýznamnejších suchých období podľa PDSI (apríl 1947 – jún 1954 a apríl 1988 – december 1994). Zatiaľ čo počas prvej suchej epizódy bola anticyklonalita nad normálovými hodnotami, vyskytlo sa viacero veľmi suchých mesiacov (18 mesiacov so zrážkovými úhrnmi nižšími ako 50 % zodpovedajúceho dlhodobého priemeru) a relatívne nižšie boli kladné odchýlky teploty vzduchu. Počas druhej suchej epizódy bola frekvencia výskytu anticyklón blízka normálovým hodnotám, ale vyskytlo sa veľa suchých mesiacov (väčšina vlhkých mesiacov sa vyskytla v studenom polroku) a priemerné teplotné odchýlky dosahovali hodnoty viac ako 2 °C.

Niekoľko štúdií, zameraných na problematiku meteorologického sucha, vzniklo aj na Slovensku. Medzi ne patria napríklad výsledky publikované kolektívom Patassiová et al. (2002). Analyzované boli nielen zrážkové úhrny v mesiacoch apríl a máj, ale aj PDSI index. Analýzy identifikovali, že početnosť suchých jarných mesiacov v posledných dvoch až troch desaťročiach minulého storočia dosiahla maximum pre celé sledované obdobie 1961 – 2000. V apríli je pritom pravdepodobnosť výskytu 20-dňového bezzrážkového oddielu až 14 % a v máji len 4,2 %, zatiaľ, čo pravdepodobnosť výskytu 15 bezzrážkových dní v apríli dosahuje hodnotu 29 % a v máji 11,6 %. Suchými obdobiami sa na Slovensku v minulosti zaoberali aj Šamaj a Valovič (1972), ktorí pre ich analýzu vytvorili vlastnú metodiku. Na základe priemerného počtu suchých období rozdelili územie Slovenska na tri oblasti: oblasť s výskytom viac ako 2,5 obdobia za rok (Podunajská nížina, Záhorie, Lučenecká kotlina, Východoslovenská nížina, Levočské vrchy, údolie Cirochy a zrážkový tieň Vysokých Tatier), oblasť s výskytom 2 - 2,5 obdobia za rok (Liptov, stredné a horné Pohronie, stredné Považie) a oblasť s výskytom menej ako 2 obdobia (Orava, Vysoké a Nízke Tatry). Komplexnejším dielom, zaoberajúcim sa nielen meteorologickým, ale aj hydrologickým suchom v povodí Torysy v období 1975 – 2005, je publikácia Fendeková a Ženišová (2010). Meteorologické sucho bolo hodnotené pomocou viacerých ukazovateľov, ako napríklad SPI, dažďového faktoru podľa Langa, klasifikácie vodnosti roku podľa Majerčáková et al. (2007), priemernej vlhovej istoty podľa Minára a indexu sucha S_i . Hodnoty SPI sa pohybovali medzi -2,18 – +2,0 na stanici Torysky (813 m n. m.). Veľmi suchými rokmi boli hydrologické roky 1982 a 2003 a extrémne suchým bol hydrologický rok 1993 (SPI = -2,18). S nadmorskou výškou stúpajú hodnoty indexu a klesá počet veľmi suchých rokov a extrémne suché roky sa nevyskytujú vôbec.

Metodika

Analýzy meteorologického sucha boli vyhodnotené pre dve modelové územia na území Slovenska. Prvým je povodie rieky Slaná po hydrologickú stanicu Lenartovce. Druhým modelovým územím je povodie rieky Kysuca po hydrologickú stanicu Kysucké Nové Mesto. Modelové územia boli vybrané na základe predchádzajúceho výskumu (Lešková et al., 2012; Lešková et al., 2013; Labudová et al., 2013; Pekárová et al., 2010), ktorý preukázal rozdielny vplyv Severoatlantickej oscilácie (NAO) v severnej a južnej časti Slovenska.

Údajová databáza pozostáva z dáta regionálneho klimatického modelu COSMO CLM 18 s rozlíšením 18 km x 18 km (Rockel et al., 2008). Regionálny klimatický model COSMO CLM 18 bol vyvinutý spoločnosťou CLM Community na báze predpovedného modelu COSMO Nemeckej meteorologickej služby (Deutscher Wetterdienst - DWD). Ako údaje, poskytujúce informácie aj z prostredia mimo regiónu, boli použité dáta z globálnych klimatických modelov ERA 40, ktoré slúžia na validáciu modelu. Použité modelové údaje majú 6-hodinový takt a boli spracované pre obdobie 1981 – 2000.

V posledných desaťročiach bolo publikovaných viacero indexov na hodnotenie sucha, ktoré by malo byť možné identifikovať v rámci rôznych časových krokov. V predkladanom príspevku boli použité dva celosvetovo používané indexy - štandardizovaný zrážkový index (SPI) a štandardizovaný zrážkovo-evapotranspiračný index (SPEI).

Štandardizovaný zrážkový index (SPI)

Štandardizovaný zrážkový index bol vyvinutý a publikovaný kolektívom McKee et al. (1993). Negatívne hodnoty indexu znamenajú suché podmienky, pozitívne naopak, vlhké podmienky, pričom ich intenzita je odstupňovaná v jednotlivých kategorizačných stupňoch (Tab. 1). McKee et al. (1993) definujú ako začiatok sucha v mesiaci, kedy klesne hodnota SPI pod nulovú hodnotu. To však znamená, že pri normálnom rozložení, ktoré SPI využíva, nastáva prípad sucha v 50 % prípadoch, čo nie je v prírode veľmi reálne. V predkladanej práci boli suché obdobia vyčlenené podľa Spinoni et al. (2013). Suché obdobie tak začína, keď hodnota SPI je ≤ -1 a končí prvou, za ňou nasledujúcou, kladnou hodnotou indexu.

Tab. 1 Kategórie sucha podľa SPI a SPEI

SPI	Kategória sucha
(0; -1)	slabé sucho
< -1; -1,5)	mierne sucho
< -1,5; -2)	silné sucho
≤ -2	extrémne sucho

Štandardizovaný zrážkovo-evapotranspiračný index (SPEI)

Štandardizovaný zrážkovo-evapotranspiračný index bol vyvinutý autormi Vicente-Serrano et al. (2010) úpravou SPI. Autori upozornili na nedostatok SPI, ktorý nedokáže reflektovať zmenu výskytu suchých období v kontexte klimatickej zmeny a s ňou spojeným rastom priemernej teploty vzduchu na mnohých miestach sveta. Tento rast teploty sa prejavuje aj

na raste evapotranspirácie, ktorá zvyšuje požiadavky na množstvo vody v krajine. Preto nimi upravený index nepracuje len so zrážkovými úhrnmi, ale s rozdielom medzi zrážkami a potenciálnou evapotranspiráciou v danom časovom období, tzv. jednoduchou vodnou bilanciou. SPEI kombinuje senzitivitu PDSI na zmeny vo výpare, spojené s teplotnými fluktuáciami a trendmi, s jednoduchými a viacškálovými výpočtami SPI (Potop et al., 2012).

Nakoľko údaje o potenciálnej evapotranspirácii (PET) nie sú dostupné, je potreba ich výpočtu z dostupných údajov. Pre výpočet potenciálnej evapotranspirácie boli vybrané dve metódy výpočtu, a to Thornthwaitova metóda (empirický prístup podľa Thornthwait, 1948) a princíp zidealizovaného vertikálneho gradientu meteorologických veličín v prízemnej vrstve atmosféry. Táto metóda je založená na vyjadrení množstva, koľko vodnej pary je schopná prijať vrstva vzduchu, pre ktorú sú diferencie počítané. Využíva na to vyjadrenie diferencií z Daltonovej rovnice výparu (Kraus, 2008):

$$E = \rho * L * C_H * V * (q_0 - q_z), \text{ odkiaľ}$$

$$PET = \rho * L * C_H * V * (q_{0sat} - q_z)$$

kde E – aktuálna evapotranspirácia

PET – potenciálna evapotranspirácia

ρ – hustota vzduchu (kg m^{-3})

L – latentné teplo vyparovania ($2.5 * 10^6 \text{ J/kg}$)

C_H – transfer koeficient

V – rýchlosť vetra (m s^{-1})

q_0 – špecifická vlhkosť na povrchu (kg/kg)

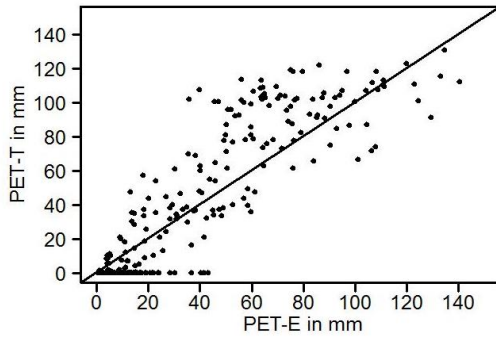
q_z – špecifická vlhkosť v určitej výške (kg/kg)

q_{0sat} – špecifická vlhkosť v stave nasýtenia (kg/kg).

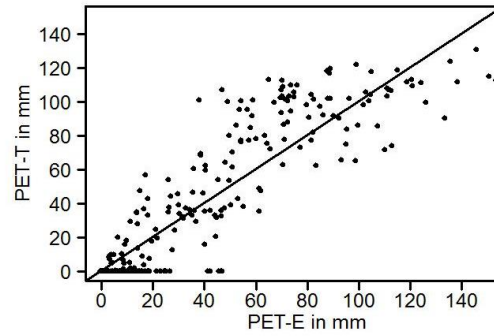
Výsledky

Porovnanie metód na výpočet potenciálnej evapotranspirácie

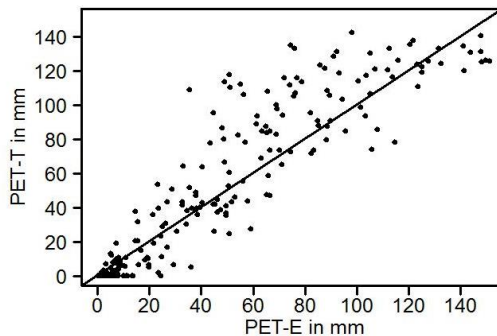
Thornthwaitova metóda udáva vyššie úhrny potenciálnej evapotranspirácie než princíp zidealizovaného vertikálneho gradientu meteorologických veličín v prízemnej vrstve atmosféry (ďalej len fyzikálny princíp) počas mesiacov teplého polroka v povodí Kysuce (Obr. 1 a 2). Podobné výsledky boli dosiahnuté aj pre zrážkomerné stanice v povodí Slanej, avšak len do nadmorskej výšky 300 m n. m. (Obr. 3 a 4). Na staniách nad touto nadmorskou výškou je závislosť opačná (Obr. 5). Všetky stanice majú jeden spoločný znak, a síce, že v mesiacoch chladného polroka je PET, získaná fyzikálnym princípom (PET-E), vždy vyššia ako PET, získaná Thornthwaitovou metódou (PET-T).



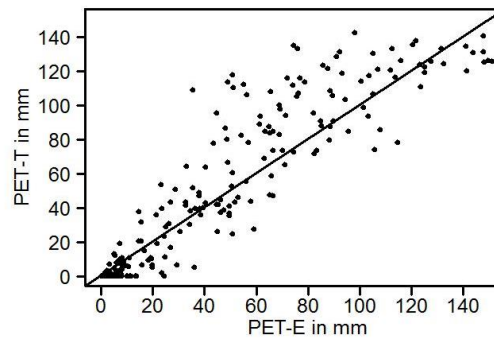
Obr. 1 Rozptylový diagram pre porovnanie PET-E a PET-T pre stanicu Skalité



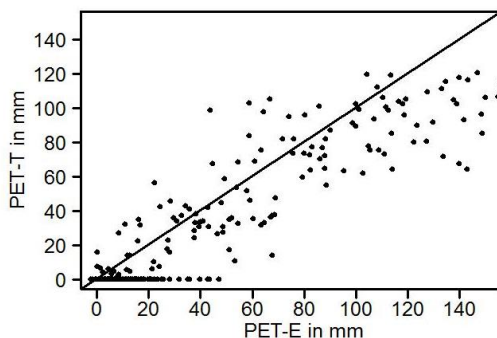
Obr. 2 Rozptylový diagram pre porovnanie PET-E a PET-T pre stanicu Nesluša



Obr. 3 Rozptylový diagram pre porovnanie PET-E a PET-T pre stanicu Licince



Obr. 4 Rozptylový diagram pre porovnanie PET-E a PET-T pre stanicu Tornaľa



Obr. 5 Rozptylový diagram pre porovnanie PET-E a PET-T pre stanicu Vyšná Slaná

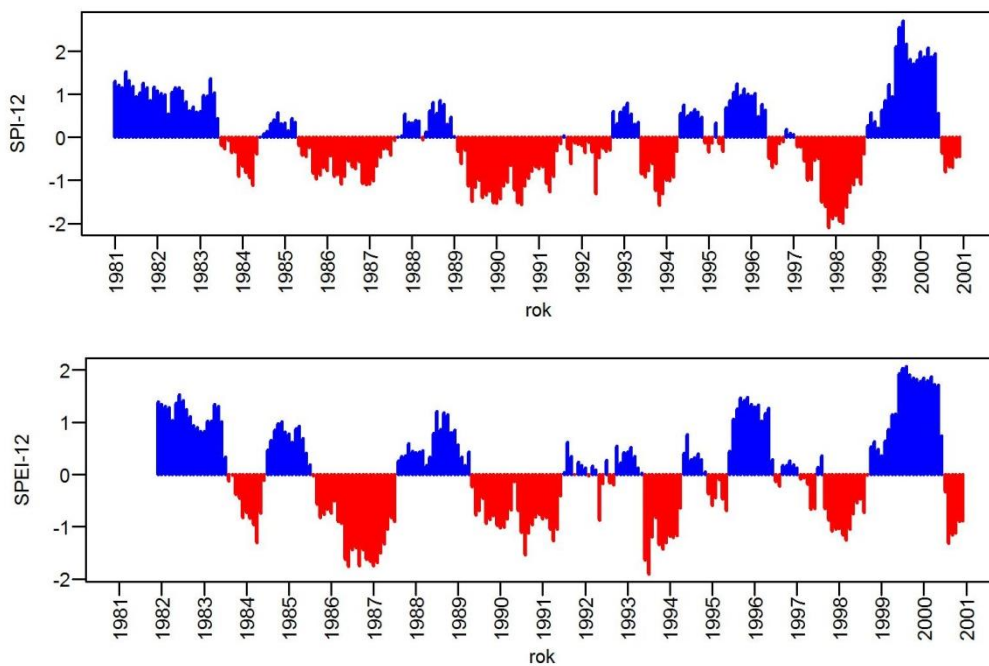
SPI a SPEI na jednotlivých staniach

Oba indexy boli použité na rôznych časových škálach. Konkrétne na 3, 6 a 12-mesačnej škále. Pri kratších časových škálach (1 až 6 mesiacov) má hodnota jednotlivých mesiacov vyššiu váhu, čo spôsobuje časté striedanie pozitívnych a negatívnych hodnôt indexu, a teda kratšie suché, resp. vlhké periódy. Pri dlhších časových škálach je reakcia indexu pomalšia a periódy sú dlhšie (McKee et al., 1993, Vicente-Serrano et al., 2010).

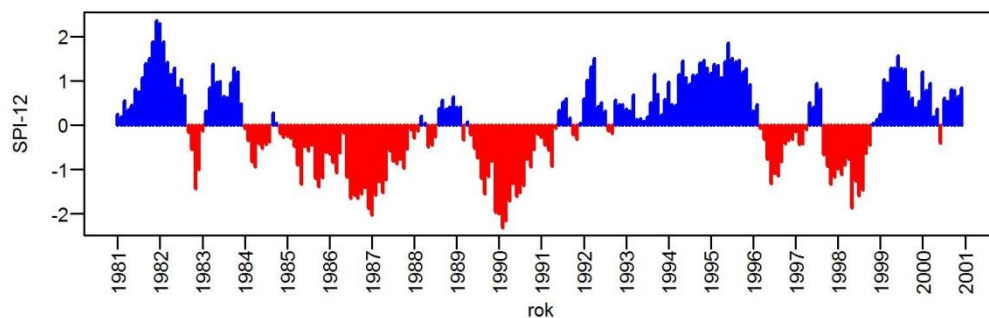
Z grafov priebehu SPI, aj SPEI na 12-mesačnej škále (Obr. 6 a 7) vidíme, že v oboch povodiach sa vyskytlo viacero dlhotrvajúcich suchých období. Ide najmä o roky 1985 až 1988, prelom 80-tych a 90-tych rokov, rok 1993 a 1998. Prvé dve spomínané suché obdobia boli výraznejšie oddelené vlhkým obdobím len v prípade povodia Slanej. V povodí Kysuce toto

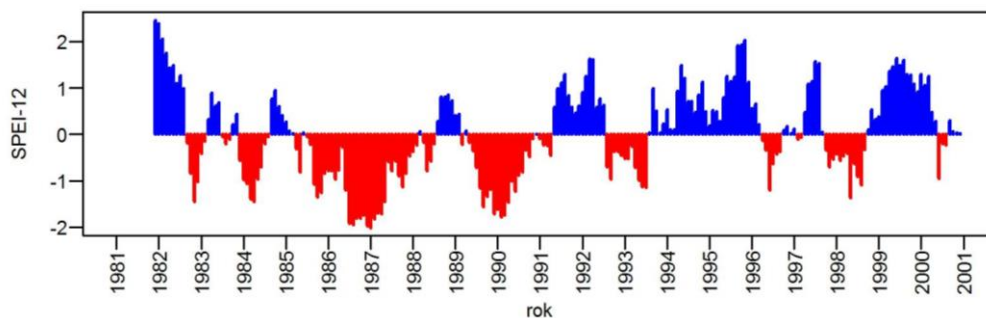
vlhšie obdobie nebolo také výrazné a nemalo dlhšie trvanie. Rok 1993 sa suchými podmienkami, naopak, prejavil najmä v južne položenom povodí, kde hodnoty SPEI-E boli výrazne záporné. V porovnaní s SPI, ktorého hodnoty boli o málo vyššie v povodí Slanej, a dokonca kladné v povodí Kysuce, je možné badať význam potenciálnej evapotranspirácie pri analýze sucha. Aj keď rok 1993 nebol zrážkovo podnormálny v severnom povodí, teplotné podmienky, ktoré zosilňovali evapotranspiráciu spôsobili, že krajina trpela nedostatkom dostupnej vody. V južnom povodí bolo suché obdobie podmienené nielen teplotne, ale zosilnené bolo aj deficitom zrážok.

Vlhkým obdobím bol začiatok 80-tych rokov, ako aj roky 1999 až 2000. Opäť sa výraznejšie prejavili v povodí Slanej, kde sú priemerné úhrny zrážok vo všeobecnosti nižšie. Z tohto dôvodu aj menší úhrn zrážok sa prejaví výraznejšie než v povodí Kysuce, ktoré je zrážkovo konštantne bohatšie.



Obr. 6 12-mesačný SPI (hore) a SPEI-E (dole) pre stanicu Licince v období 1981 – 2000

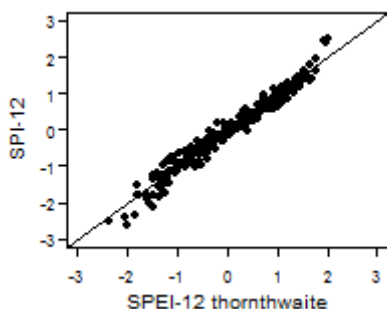




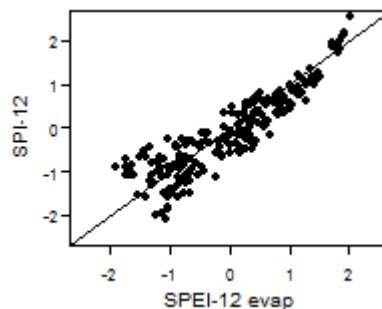
Obr. 7 12-mesačný SPI (hore) a SPEI-E (dole) pre stanicu Skalité v období 1981 – 2000

Porovnanie indexov použitím rôznych metód na výpočet PET

Korelačný koeficient medzi SPEI s použitím Thornthwaitovej metódy na výpočet PET (ďalej SPEI-T) a SPI je vysoký (r je vyšší než 0,97) na 6 a 12-mesačnej škále v oboch povodiach (Obr. 8). Je dokonca vyšší než korelačný koeficient pre SPEI indexy, ktoré využívajú obe metódy na výpočet PET. Výsledky sú odlišné na 3-mesačnej škále v povodí Slanej. V tomto prípade r nedosahuje hodnoty vyššie než 0,43. Výsledky korelačnej analýzy medzi SPEI-T a SPI potvrdzuje aj diagram rozptylu (scatter plot). Takmer žiaden vzťah je viditeľný na 3-mesačnej škále v povodí Slanej, avšak vzťah je úzky v povodí Kysuce na všetkých časových úrovniach. SPI na 12-mesačnej úrovni identifikuje suchšie/vlhšie podmienky než SPEI-T v prípade extrémne nízkych/vysokých hodnôt.

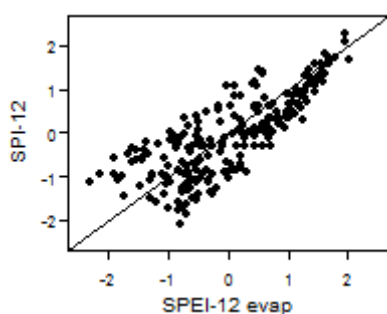


Obr. 8 Rozptylový diagram pre porovnanie SPEI-T a SPI na 6-mesačnej škále pre stanicu Nižná Slaná

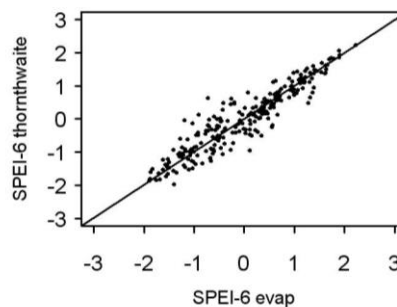


Obr. 9 Rozptylový diagram pre porovnanie SPEI-E a SPI na 12-mesačnej škále pre stanicu Licince

Korelácia medzi SPEI s využitím fyzikálneho princípu na výpočet PET (ďalej SPEI-E) a SPI je nízka na všetkých časových škálach. Rozptylový diagram pre SPEI-E a SPI na 12-mesačnej škále ukazuje, že v južnom regióne sú rozdiely medzi indexmi najnižšie v prípade extrémnych pozitívnych hodnôt a narastajú s poklesom hodnôt indexov (Obr. 9 a 10).



Obr. 10 Rozptylový diagram pre porovnanie SPEI-E a SPI na 12-mesačnej škále pre stanicu Vyšná Slaná



Obr. 11 Rozptylový diagram pre porovnanie SPEI-T a SPEI-E na 6-mesačnej škále pre stanicu Skalité

Korelácia medzi oboma SPEI (SPEI-E a SPEI-T) je konštantne vysoká na všetkých časových úrovniach, dokonca ja na 3-mesačnej. Indexy identifikujú extrémne hodnoty vo veľmi vysokej zhode. K rozdielom dochádza pri hodnotách v okolí hodnoty 0 (Obr. 11).

Záver

Príspevok bol zameraný na celosvetovo používané indexy SPI a SPEI, ako aj porovnanie dvoch vybraných metód pre výpočet potenciálnej evapotranspirácie. Medzi týmito existujú rozdiely, najmä ak si porovnáme obe zvolené povodia. Nevýhodou Thornthwaitovej metódy je, že na rozdiel od princípu zidealizovaného vertikálneho gradientu meteorologických veličín v prízemnej vrstve atmosféry v mesiacoch chladného polroka udáva nulový úhrn PET.

Ak si porovnáme priebeh hodnôt oboch indexov zistíme, že úloha potenciálnej evapotranspirácie v analýze suchých období je veľmi dôležitá a čisto zrážkový index SPI tak nedokáže stopercentne zachytiť suché obdobia. Príkladom je rok 1993 v povodí Kysuce. Rozdiel je však badateľný aj v povodí Slanej. Z tohto pravdepodobne pramení na nízka korelácia medzi SPEI-E a SPI, najmä na 3-mesačnej časovej škále v povodí Slanej.

PodĎakovanie

Tento príspevok bol vypracovaný vďaka podpore grantu UK/119/2014. Príspevok bol taktiež súčasťou doktorandského výskumného grantu podporovaného zo strany Deutsche Bundesstiftung für Umwelt.

Použitá literatúra

- BRÁZDIL, R., TRNKA, M., DOBROVOLNÝ, P., CHROMÁ, K., HLAVINKA, P., ŽALUD, Z. 2008. Variability of droughts in the Czech Republic, 1881 – 2006. In: *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 97, Is. 3-4, p. 297-315.
- FENDEKOVÁ, M., ŽENIŠOVÁ, Z. (eds.). 2010. *Hydrologické sucho*. Slovenská asociácia hydroológov, Katedra hydrogeológie, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Bratislava, pp. 190.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 996.
- KRAUS, H. 2008. *Grundlagen der Grenzschicht-Meteorologie: Einführung in die Physik der Atmosphärischen Grenzschicht und in die Mikrometeorologie*. Springer, pp. 210.
- LABUDOVÁ, L., ŠŤASTNÝ, P., TRIZNA, M. 2013. The North Atlantic Oscillation and winter precipitation totals in Slovakia. In: *Moravian Geographical Reports*. Vol. 21, Is. 4, p. 38-49.

- LEŠKOVÁ, L., ŠŤASTNÝ, P., TRIZNA, M. 2012. Analýza vplyvu Severoatlantickej oscilácie na sezónne úhrny zrážok v zrážkových oblastiach Slovenska. In: *Meteorologický časopis*. Vol. 15, p. 75-80.
- LEŠKOVÁ, L., ŠŤASTNÝ, P., TRIZNA, M. 2013. Impact of the North Atlantic Oscillation on winter precipitation totals in Slovakia. In: *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 15, EGU General Assembly 2013.
- MAJERČÁKOVÁ, O., ŠKODA, P., DANÁČOVÁ, Z. 2007. The development of selected hydrological and precipitation characteristics of 1961-2000 and 2001-2006 periods in the High Tatras region. In: *Meteorologický časopis*, Vol. 10, Is. 4, p. 205-210.
- MCKEE, T.B., DOESKEN, N.J., KLEIST, J., 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *8th Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society, Anaheim, CA.
- MISHRA, A., SINGH, V. 2010. A review of drought concepts. In: *Journal of Hydrology*. Vol. 391, Is. 1-2, p. 202-216.
- PATASSIOVÁ, M., KLEMENTOVÁ, E., LITSCHMANN, T., ČISTÝ, M. 2002. Výskyt sucha a analýzy zrážok pri jeho výskyte v jarých mesiacoch. In: *Acta Hydrologica Slovaca*. Vol. 3, Is. 1, p. 61-69.
- PEKÁROVÁ, P., MIKLÁNEK, P., PEKÁR, J. 2010. Možnosti dlhodobej predikcie prietokov slovenských tokov na základe indexu Severoatlantickej oscilácie NAOI. In: *Acta Hydrologica Slovaca*. Vol. 11, Is. 2, p. 282-290.
- POTOP, V., BORONEANT, C., MOŽNÝ, M., ŠTĚPÁNEK, P., SKALÁK, P. 2012a. Spatial and temporal evolution of drought conditions at various time scales in the Czech Republic during growing period. In: *Időjárás, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*. Vol. 116, Is. 4, p. 281-295.
- POTOP, V., MOŽNÝ, M., SOUKUP, J. 2012b. Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. In: *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 156, p. 121-133.
- POTOP, V., TÜRKÖTT, L. 2012. Využití standardizovaného srážkového a evapotranspiračního indexu SPEI pro hodnocení vláhových poměrů při pěstování cukrové řepy ve středních Čechách. In: *Listy cukrovarnické a řepářské*. Vol. 128, Is. 12, p. 368-373.
- ROCKEL, B., CASTRO, C. L., PIELKE SR., R. A., VON STORCH, H., LENCINI, G. 2008. Dynamical downscaling: Assessment of model system dependent retained and added variability for two different regional climate models. In: *Journal of Geophysical Resources*, Vol.113.
- SZALAI, S., SZINELL, C., ZOBOKI, J. 2000. *Drought monitoring in Hungary*. In: Wilhite, D.A., Sivakumar, M.V.K., Wood, D.A. (eds.). 2000. Early Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management, WMO, p. 182-199.
- SZÉP, I., MIKA, J., DUNKEL, Z. 2005. Palmer drought severity index as soil moisture indicator: physical interpretation, statistical behavior and relation to global climate. In: *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. 30, Is. 1-3, p. 231-243.
- 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). In: *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 15, EGU General Assembly 2013.
- ŠAMAJ, F., VALOVIČ, Š. 1972: *Suché a vlhké obdobie na Slovensku*. In: Balco, M. Malá vodnosť slovenských tokov, 1990, Veda, Bratislava.
- VICENTE-SERRANO, S.M., BEGUERIA, S., LOPÉZ-MORENO, J.I. 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. In: *Journal of Climate*. Vol. 23, Is. 7, p. 1696-1718.