

## **Parametrizácia indexov sucha na fyziologické prejavy lesných drevín**

Drought indices parametrization on physiological manifestation of forest woody plants

*Paulína Nalevanková<sup>1</sup> Jaroslav Vido<sup>1</sup>, Radoslav Kandrik<sup>1</sup>, Katarína Střelcová<sup>1</sup>,  
Peter Borsányi<sup>2</sup>*

*Katedra prírodného prostredia, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene<sup>1</sup>;  
Slovenský hydrometeorologický ústav, Banská Bystrica<sup>2</sup>*

### **Abstrakt**

Príspevok pojednáva o parametrizovaní štandardizovaného zrážkového indexu a štandardizovaného zrážkového a evapotranspiračného indexu na fyziologické prejavy lesných drevín na príklade bukového porastu v Bienskej doline – stredné Slovensko. Výsledky poukázali na potenciálnu možnosť použitia predmetných indexov pre priblíženie procesov prebiehajúcich v reálnom čase v bukových porastoch. Tým získavame informáciu o dôsledkoch sucha v komplexe lesného ekosystému vyjadrenú jednoduchým číselným indexom. Je však potrebné pokračovať vo výskume za účelom spresnenia výsledkov.

**Kľúčové slová:** sucho, fyziologické procesy, bukové ekosystémy, SPI, SPEI

### **Abstract**

The paper deals with problem of drought indices (Standardized precipitation index, Standardized precipitation evapotranspiration index) parametrization on physiological manifestation of forest woody plants – European beech in Bienska dolina (Central Slovakia). Results indicated potential usage above mentioned indices for approximation of physiological processes in beech forests. This approach bring information of drought impacts in complex forest ecosystem by single index number. However it is necessary continue in research due to higher accuracy.

**Keywords:** drought, physiological processes, beech ecosystems, SPI, SPEI

### **Úvod**

Sucho ako nebezpečný hydrometeorologický fenomén sa vzhľadom na prebiehajúce nešpecifické a často nepredvídateľné zmeny v klimatickom systéme Zeme dostáva čoraz viac do popredia záujmu odbornej vedeckej verejnosti ale aj do povedomia podnikateľskej sféry, zodpovedných štátnych či samosprávnych úradov a taktiež širokej verejnosti. Je to zapríčinené širokou škálou nebezpečných dopadov sucha na sféru pôdohospodárstva, vodného

hospodárstva, ale aj závislých odvetví priemyslu. SIVAKUMAR et al. (2005) uvádza, že sucho z pohľadu nebezpečenstva dopadov patrí v globálnej mierke na druhé miesto spomedzi ostatných prírodných rizík. Skutočnosť, že sucho je mimoriadne nebezpečný fenomén aj v stredoeurópskom priestore, dokazujú viaceré historické záznamy.

#### Historické záznamy o výskyte suchých epizód

Doposiaľ najdetailnejší historický prehľad mimoriadnych epizód sucha na Slovensku podal BÜNTGEN et al. (2010). Osemnásťte storočie zaznamenalo viacero suchých období. Rok 1794 bol charakteristický mimoriadnym suchom na jar a počas leta, čo sa prejavilo neúrodou, nedostatkom sena, častými požiarimi, ale aj skorým dozretím viniča (od polovice augusta). Aj v roku 1795 bola druhá polovica vegetačného obdobia mimoriadne suchá v celej strednej a východnej Európe s výnimkou chladného a vlhkého júla v Rakúsku. Taktiež rok 1797 bol medzi júlom a septembrom mimoriadne suchý. O niečo menej významne boli zasiahnuté aj roky 1871, 1872 a 1781 s nízkymi úrodami poľnohospodárskych plodín, krmu pre dobytok a nízkym prietokom Dunaja. Medzi najvýznamnejšie v devätnástom storočí sa radia obdobia sucha v rokoch 1850, 1852, a 1858 s veľmi suchou vegetačnou sezónou, ďalej rok 1825 a na začiatku storočia 1806, 1808 a rok 1811, ktorý sa vďaka suchu prejavil mimoriadnou kvalitou dorobených vín. V prvej polovici dvadsiateho storočia boli ako mimoriadne suché charakteristické roky 1904, 1917, 1947 – 1949. Práve po období 1947 – 1949 započala výstavba veľkých vodných nádrží a diel na celom území Československa.

Epizódy sucha vyskytujúce sa v druhej polovici dvadsiateho storočia korešpondujú tiež s výsledkami prác TRNKA et al. (2009), BRÁZDIL et al. (2009), TREML (2012), KLEMENTOVÁ et. LITSCHMANN (2004) a PEKÁROVÁ et al. (2003). Autori rovnako poukazujú na istú cyklickosť striedania sa suchých a vlhkých epizód s významne humídny trendom po roku 1993. Aj napriek tomu sa však vyskytli po tomto období viaceré významnejšie epizódy sucha, napr. v roku 2003 a sucho na prelome rokov 2011-2012. Úhrnné škody spôsobené týmto fenoménom dosiahli v roku 2003 výšku 2,9 mld. SK (viac ako 96 mil. €) a podľa nespresnených odhadov Ministerstva pôdohospodárstva SR boli škody spôsobené epizódou 2011-2012 v rádoch miliónov eur. Z uvedených faktov vyplýva, že sucho spôsobuje mimoriadne ekonomické, ako aj ekologické škody, a preto prevencia a systém včasného varovania pred jeho výskytom je žiadúcou spoločenskou potrebou.

#### Reaktívne verzus proaktívne opatrenia

Riešenie kritických situácií sa vo všeobecnosti dá rozdeliť na proaktívne (preventívne) a reaktívne (následné) opatrenia (WILHITE et al. 2005). Reaktívne opatrenia sú

charakteristické riešením už vzniknutej situácie (napr. hasenie vzniknutého krajinného požiaru, kyvadlové zabezpečovanie pitnej či úžitkovej vody pre obyvateľstvo alebo z ekonomického pohľadu investovanie do fenoménom poškodenej infraštruktúry). Naproti tomu, proaktívne opatrenia sú charakteristické preventívnym riešením a analyzovaním potenciálne možných škôd s projektovaním opatrení na ich zníženie či vylúčenie (plány reakcie príslušných úradov pre prípad vzniku, technické a organizačné opatrenia na zníženie rizika výskytu nebezpečného javu, legislatívne opatrenia, monitoring, resp. systémy včasného varovania). Práve systémy včasného varovania sa dostávajú v súčasnosti do popredia záujmu odbornej verejnosti (TRNKA 2014, POZZI et al. 2013, VIDO et al. 2012, HAYES et al. 2011). Príkladom môžu byť: The U.S. Drought Monitor, North Americka Drought Monitor, SPEI Global Drought Monitor, The Global Drought Monitor (University College London), The GPCC Drought Index (Deutscher Wetterdienst), DMCSEE drought monitor (Drought Management Centre for Southeastern Europe), Experimental Drought Monitor – India alebo projekt Intersucho v ČR. Veľkou prednosťou týchto systémov je ich priestorová vizualizácia rizika sucha. Problémom však zostávajú tie produkty, ktoré ako podstatu výstupov používajú RAW hodnoty indexov sucha bez dodatočnej interpretácie dopadov (SPEI Global Drought Monitor, The Global Drought Monitor, The GPCC Drought index, DMCSEE drought monitor, Experimental Drought Monitor – India). V tomto smere sú najprepracovanejšími produktami U.S. Drought Monitor a projekt Intersucho ČR. SPEI Global Drought Monitor sa pokúša v súčasnosti prekonať uvedený nedostatok v podobe parametrizácie dopadov sucha (vo vzťahu k SPEI) na rôzne štruktúry abiotického resp. biotického komplexu krajinného priestoru v globálnej mierke (VICENTE-SERRANO et al. 2012).

V zmysle uvedených proaktívnych opatrení sme sa v predkladanej práci zamerali na parametrizáciu indexov SPI (Štandardizovaný zrážkový index) (MCKEE et al. 1993) a SPEI (Štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index) (VICENTE-SERRANO et al. 2010) na fyziologický stres u buka obyčajného (*Fagus sylvatica*, L.). Cieľom bolo zhodnotenie potenciálu využitia uvedených indexov sucha v lesohospodárskej praxi za účelom včasného varovania, resp. monitoringu sucha.

## **Problematika**

### *Indexy sucha*

Pre indikáciu, zvýraznenie, porovnanie alebo kvantifikáciu sucha sa používa množstvo rôznych charakteristík (HEIM 2000, MCKEE et al. 1993, PALMER 1965, KONČEK 1955). Medzi najpoužívanéjšie indexy sucha v súčasnosti sa radia najmä tri: Palmerov index závažnosti

sucha (PDSI), Štandardizovaný zrážkový index (SPI) a novší Štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index (SPEI). Na území Slovenska boli pre potreby klimatologickej praxe v minulosti navrhnuté a používané hlavne Langov dažďový faktor (LDF) alebo Končekov index zavlaženia. Posledný spomínaný index je v súčasnej klimatologickej praxi stále využívaný, čo sa prejavilo aj v jeho použití pre klimatologické charakteristiky v Atlase krajiny Slovenskej republiky (LAPIN et al. 2002). Zahraničná literatúra, sa však zameriava pri hodnotení klimatológie sucha najmä na SPI a PDSI (CUTORE et al. 2009, ZEREINI et HÖTZL 2008, CANCELLIERE et al. 2007, PAULO et PEREIRA 2007, PEREIRA 2007, TSAKIRIS et VANGELIS 2004) ale v posledných dvoch rokoch čoraz viac aj na SPEI (POTOP et al. 2011, SIVAKUMAR et al. 2011). PDSI je svojou konštrukciou viazaný na poľnohospodárske oblasti (TRNKA et al. 2009, BRÁZDIL et al. 2009, LITSCHMANN et ROŽNOVSKÝ 2001, KLEMENTOVÁ et LITSCHMANN 2001) a nakoľko viacero z jeho parametrov nie veľmi korešponduje s podmienkami v lesnej krajine (SIVAKUMAR et al. 2010), nebol v predkladanej práci použitý pri výpočtoch.

Štandardizovaný zrážkový index bol už pri svojom vzniku koncipovaný ako jednoduchý a geograficky nezávislý index (MCKEE et al. 1993). V práci sa budú na hodnotenie sucha používať indexy SPEI a SPI z dôvodu jednoduchej konštrukcie a interpretovateľnosti.

#### Štandardizovaný zrážkový index – SPI

Tento index (Standardised precipitation index) je definovaný ako normovaná hodnota úhrnu zrážok (P) za dané obdobie, teda SPI má normálne rozdelenie  $N(0,1)$ . SPI je možné charakterizovať vzťahom:

$$SPI = F^{-1} [G(P)] \quad (1)$$

kde

G - kumulatívna distribučná funkcia zrážkových úhrnov,

F<sup>-1</sup> - inverzná funkcia normálneho rozdelenia  $N(0,1)$ .

Distribučná funkcia G, vychádza z dlhodobých pozorovacích radov. Minimálny časový rad zaznamenaných zrážkových úhrnov, ktorý je potrebný pre signifikantný výsledok, pri ktorom je v dostatočnej miere implicitne zahrnutá klimatológia chodu zrážkových a bezzrážkových období, je 30 rokov (HAYES et al. 1999). Štandardizovaný zrážkový úhrn je priamoúmerný zrážkovému deficitu a jeho hodnotu je možné ľahko vyjadriť prostredníctvom pravdepodobnosti výskytu, prípadne v podobe bezrozmerného indexu SPI (MCKEE et al. 1993).

Index nadobúda s pravdepodobnosťou 95 % hodnoty v rozmedzí  $\pm 1,96$ , pričom záporné hodnoty indexu popisujú obdobie podpriemerných zrážok. Východiskovým krokom pre

výpočet SPI je nájdenie funkcie popisujúcej rozloženie mesačných a viacmesačných zrážkových úhrnov, pričom sa obvykle predpokladá, že ním je gama rozdelenie (MCKEE et al. 1993). BRÁZDIL et KIRCHNER et al. (2007) uvádza, že podľa viacerých autorov je toto rozdelenie vhodné pre štúdium sucha vo väčšine častí Európy. Po odvodení parametrov gama rozdelenia je vypočítaná kumulovaná pravdepodobnosť zrážkového úhrnu v danom mesiaci a prevedená na hodnotu normálneho rozdelenia.

Takto zistená veličina je vlastne hodnotu SPI pre daný mesiac (BRÁZDIL et al. 2009). Epizóda sucha je pre tento index obdobie vymedzené súvislými zápornými hodnotami SPI pre jednotlivé mesiace, pričom sa požaduje, aby aspoň v jednom mesiaci bola dosiahnutá hodnota (-1,0). Perióda sucha začína prvým mesiacom so zápornou hodnotou a končí posledným mesiacom so zápornou hodnotou. Novšia verzia indexu SPI, resp. jeho kalkulátora však umožňuje výpočet indexu s minimálnym krokom 1 týždeň, čo zásadne zlepšuje vyhliadky na aplikáciu indexu v prípadoch, keď sa dopady sucha začínajú objavovať už v radoch týždňov či viacerých dní.

Pre danú epizódu sucha je tak možné stanoviť intenzitu a dĺžku trvania a za predpokladu dostatočne dlhej rady pozorovaní tiež pravdepodobnosť opakovania periódy s danou intenzitou (BRÁZDIL et KIRCHNER et al. 2007).

#### Štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index

Štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index, v skratke SPEI (Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index), patrí medzi novšie indexy sucha, ktorý svojou štruktúrou pripomína index SPI (VINCENTE-SERRANO et al. 2010).

Podobne ako SPI či PDSI aj SPEI umožňuje nasadenie v rôznych vedných disciplínach, kde vzniká potreba hodnotenia závažnosti sucha, alebo dĺžky jeho trvania. Index SPEI umožňuje porovnanie závažnosti sucha v čase a priestore vzhľadom na možnosť jeho použitia v rôznorodých klimatických podmienkach, podobne ako SPI. Najzásadnejšou prednosťou indexu SPEI oproti štandardizovanému zrážkovému indexu je kalkulácia s potenciálnou evapotranspiráciou, čiže s najvýznamnejšou pasívnou zložkou vodného režimu krajiny.

Potenciálna evapotranspirácia je predmetným indexom prepočítavaná z teploty vzduchu na základe výpočtu podľa THORNTHWAITA (1948).

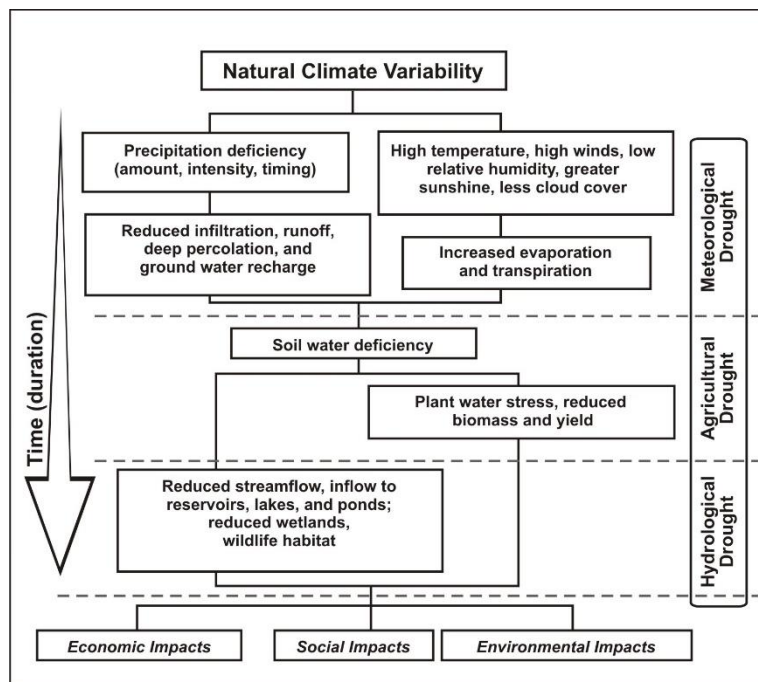
Výpočet, resp. konštrukcia indexu je založená na rovnakom princípe ako SPI, avšak v prípade SPEI sa nepočíta s úhrnom zrážok ale s rozdielom medzi kalkulovanou potenciálnou evapotranspiráciou a zrážkami.

Podobne ako SPI je možné výpočty vykonávať v rôznorodých časových horizontoch (započítavajúc do indexu daného mesiaca hodnoty stanoveného počtu predchádzajúcich

mesiacov) a taktiež v dvoch základných časových krokoch (týždeň a mesiac). SPEI bol úspešne použitý pre potreby klimatologického hodnotenia sucha aj v Českej Republike (POTOP et MOŽNÝ 2011).

### Dopady sucha

Dopady sucha môžeme deliť v súlade s doposiaľ všeobecne uznanou kategorizáciou sucha podľa WILHITE et GLANZ (1985) na tri, resp. štyri skupiny.



Obr. 1 Vzájomné vzťahy a časové následnosti medzi meteorologickým, pôdohospodárskym, hydrologickým a socio-ekonomickým suchom podľa WILHITE et GLANZ (1985). Zdroj: NDMC

1. Meteorologické sucho – prejavuje sa ako prvý typ sucha bezprostredne viazaný na nedostatok atmosférických zrážok. Trvanie tohto typu sucha sa nedá jednoznačne určiť, podobne ako pri ostatných nasledujúcich druhoch. Veľmi významne to ovplyvňuje celková konštitúcia krajinných (biotických a abiotických) zložiek prostredia, vzťažná sústava, pre ktorú sa sucho sleduje (poľnohospodárstvo, vodné hospodárstvo atď.) a taktiež vo významnej miere obdobie roka, v ktorom sa vyskytne. Ak však prihliadame na pôvodnú prácu WILHITE et GLANZ (1985), môžeme za meteorologické sucho, resp. jeho začiatok, považovať obdobie, kedy začína dochádzať k zvýšenej evaporácii a transpirácii, či redukcii infiltrácie.

2. Pôdohospodárske sucho – vyznačuje sa vodným stresom u rastlín, redukciou produkcie biomasy a pri poľnohospodárskych rastlinách sa hodnotí ex post na základe hektárových výnosov plodín. Táto situácia nastáva pri pretrvávajúcom meteorologickom suchu (deficit zrážok, resp. vysoký úhrn evapotranspirácie). Prejavy sucha postihujú fyziologické procesy rastlín a v závislosti na konštitúcii druhu a jedinca môžu mať letálne účinky.

3. Hydrologické sucho – pretrvávajúci deficit atmosférických zrážok sa následne začne prejavovať vo vodnom cykle krajiny. WILHITE et GLANZ (1985) uvádzajú, že isté prejavy hydrologického sucha možno badať už pri prvom type – meteorologickom suchu (redukovaný odtok vodných tokov), no toto tvrdenie nemožno generalizovať, nakoľko záleží na vlastnostiach abiotického komplexu utvárajúceho podmienky pre odtok z krajiny (FENDEKOVÁ et FENDEK 2012). Vo všeobecnosti však môžeme za dopady hydrologického sucha považovať: redukciiu odtoku z povodí, zníženie prítoku do vodných nádrží a jazier, vysychanie mokradí a pokles zásoby podzemnej vody.

4. Socio-ekonomické sucho – dlhotrvajúce obdobie sucha postihujúce ako vodohospodárske, tak pôdohospodárske služby krajiny; postihuje aj sociálne a ekonomické štruktúry. Pôdohospodárske sucho v kumulatívnom efekte s hydrologickým suchom môžu mať za následok mimoriadne straty na výnosoch poľnohospodárskych plodín, podobne sa škody môžu prejavovať aj v lesnom hospodárstve s následkom ekonomických škôd (TRNKA et al. 2014, PARK WILLIAMS et al. 2012). Enormný pokles prietokov, resp. prítokov do vodných nádrží má za následok nútenú reguláciu odtoku z vodných diel, čo následne postihuje aj priemysel závislý na dostatku vody (MYDLA 2012). Turizmus a rybné hospodárstvo sú taktiež mimoriadne ohrozené odvetvia. Vysoká teplota vzduchu, ktorá je často sprievodným javom pri jarých a letných epizódach sucha, má tiež za následok zníženie zdravotného stavu hospodárskych zvierat na farmách, resp. zvýšené náklady na udržanie vhodných podmienok na pastvinách (VALACH et al. 2014). Enormný pokles hladín podzemnej vody spôsobuje nedostatok vody hlavne v obciach bez napojenia na regionálny vodovod. Vysoké riziko lesných a krajinných požiarov následne núti príslušné úrady k regulácií pohybu osôb v teréne, čo má opäť ekonomické dôsledky v turizme. Načrtnuté dopady sa navzájom rôzne kombinujú, a tým znásobujú celkový ekonomický efekt sucha (WILHITE 2000).

Z pohľadu predmetu výskumu je najpodstatnejší typ sucha pôdohospodársky. Avšak vzhľadom na nejednotnú metodiku a zložitejší komplex prejavov sucha na lesných drevinách sa predmet výskumu (fyziologické dopady sucha na lesných drevinách) pohybuje na pomedzí meteorologického až hydrologického sucha. Dôvodom je fyziognómia lesných drevín, ktorých koreňová sústava zasahuje často do zóny podzemnej vody. Tieto skutočnosti však budú predmetom vedeckého pojednania v nasledujúcich riadkoch.

#### *Dopady sucha na fyziologické prejavy lesných drevín*

Hodnotenie druhovej citlivosti na sucho je dôležitým krokom k pochopeniu vplyvu sucha na biodiverzitu lesov. Frekvencia suchých období je považovaná za hlavnú hnacu silou dynamiky vegetácie v mediteránnych, boreálnych a miernych lesoch. Napríklad pokles

výskytu duba v Európe bol spojený s nežiaducimi účinkami opakujúceho sa sucha. V súvislosti s globálnymi zmenami možno očakávať posun v distribúcii druhov drevín ako reakciu na nové selekčné tlaky, ich adaptáciu alebo zánik. Aktuálne zmeny v zemepisných areáloch mnohých druhov boli dané do súvislosti s globálnym otepľovaním všeobecne, avšak extrémne poveternostné udalosti, ako sú suchá, nám poskytujú alternatívne vysvetlenie (ARCHAUX et WOLTERS 2006).

Zatiaľ čo sa vedecký záujem o vplyv globálneho otepľovania na suchozemské ekosystémy v poslednej dobe zvýšil (WALTHER et al. 2002, LINDNER et al. 2010), účinky extrémnych klimatických javov na lesné ekosystémy sú ešte stále málo prebádané (GUTSCHICK et BASSIRIRAD 2003).

Akýkoľvek pokles v dostupnosti vody má bezprostredný vplyv na rast rastliny. Silne ovplyvnené sú hlavne procesy ako fotosyntéza, transport a akumulácia roztokov, pretože voda je základnou podmienkou metabolizmu (SLOVÁKOVÁ et MISTRÍK 2007). Stres z nedostatku vody redukuje rast buniek a výhonkov, zapríčiňuje uzatvorenie prieduchov, inhibuje fotosyntézu a ovplyvňuje celý rad fyziologických procesov, čo sa prejavuje obvykle znížením rastu (STŘELCOVÁ et al. 2011). Stres suchom u drevín spôsobuje okrem redukcie rastu (HANSON et al. 2001) žltnutie a stratu asimilačných orgánov (SOLBERG 2004), zvýšenie mortality sadeníc a pôsobí tiež ako významný predispozičný faktor voči ďalším škodlivým činiteľom (TURČÁNI et NAKLÁDAL 2007, ARCHAUX et WOLTERS 2006). Očakáva sa, že budúca zmena klímy (t. j. globálne otepľovanie a zvýšené letné suchá) vo všeobecnosti zníži produktivitu lesov a zvýši mieru mortality stromov v regiónoch s limitáciou vody (CHMURA et al. 2011 in MAGRUDER et al. 2013). HANSON et WELTZIN (2000) poukazujú na vyššiu citlivosť mladších vekových štádií na deficit vody spôsobený silným alebo dlhotrvajúcim suchom. Dospelé stromy sú síce vďaka hlbokjej koreňovej sústave a významným zásobám uhl'ohydrátov a živín menej citlivé na deficit vody, sucho však u nich môže zvýšiť náchylnosť na napadnutie hmyzom, drevokaznými hubami alebo chorobami.

Fyziologické procesy sú citlivými indikátormi stresu v rastlinách, najmä v extrémnych environmentálnych podmienkach (CENTRITTO et al. 2011), pretože vodný deficit zásadne limituje fyziologickú aktivitu i tvorbu fytomasy. Práce viacerých autorov potvrdzujú priame prepojenie sucha a transpirácie. Transpirácia je považovaná za najvýznamnejšiu zložku vodnej bilancie porastov, pričom limitácia transpirácie je považovaná za fyziologickú reakciu drevín suchu. Transpiračný prúd a transpirácia ako kľúčové indikátory odrážajúce vodný status stromu, hrajú hlavnú úlohu vo výskume sucha u rastlín. Zároveň boli dostupnosť pôdnej vody a poveternostné podmienky opakovane označené ako zásadne pre rast stromov a



sezónne rozdiely v kmeňových obvodoch (DITTMAR a ELLING 2007, JEŽÍK et al. 2011, KONÔPKA et al. 2014). Ak nastane nedostatok vody pri transpirácii, stromy znižujú svoju stomatárnu vodivosť, a tak zároveň znižujú syntézu metabolitov pri fotosyntéze, a to sa následne prejavuje vo fyziologických a rastových procesoch. Počas dňa voda vydaná z kôry sa podieľa na transpirácii, dochádza k redukcii kmeňa (MAGOVÁ et STŘELCOVÁ 2011). PALLARDY (2007) uvádza, že rast drevín i rastlín je redukovaný častejšie vodným deficitom ako všetkými ostatnými environmentálnymi faktormi. Kolísanie hrúbky drevín v priebehu dňa je tiež silne ovplyvnené vodnou bilanciou dreviny. Kmeň stromu slúži ako zásobník vody pre transpiráciu a denné zmeny hrúbky kmeňa tak odrážajú vodnú bilanciu a potenciál týchto pletív (DESLAURIERS et al. 2003).

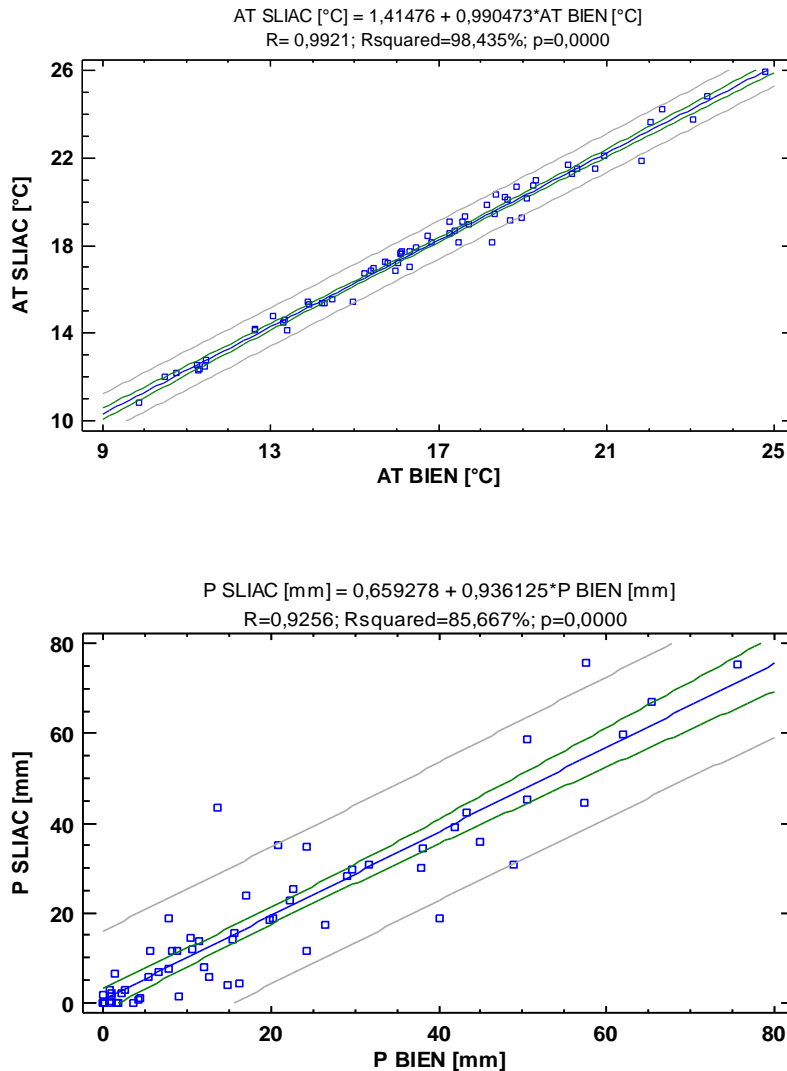
V posledných rokoch sa niektorí autori zamerali na problematiku vplyvu sucha na transpiráciu drevín (ČERMÁK et al. 1992, LU et al. 1995, CIENCIALA et al. 1999, MATEJKA et al. 2002, CHIRINO et al. 2011) i zmien priemeru kmeňa (TARDIF et al. 2001; SEVANTO 2003).

## **Materiál a metódy**

Pri parametrizácii indexov sucha na fyziologické prejavy lesných drevín sme použili doposiaľ zozbierané dáta z výskumného stacionáru v Bienskej doline (Zvolen) za roky 2012, 2013 a 2014. Modelovou drevinou bol buk obyčajný (*Fagus sylvatica*, L.), pričom rôzne štúdie poukazujú na citlivosť buka na dlhšie obdobie sucha (GESSLER et al 2007, GRANIER et al 2007). Za vzorníky pre potreby výskumu boli vybrané stromy v dospelom, 65 ročnom bukovom poraste lokalizovanom v nadmorskej výške 450 m n. m. (podrobná charakteristika je uvedená v článku SITKOVÁ et al. 2014). Ako fyziologické prejavy drevín boli hodnotené transpirácia a prírastok ako produkčná charakteristika. Uvedené charakteristiky boli získané automatickou prístrojovou technikou od firmy EMS Brno (SapFlow metre a dendrometre DRL26). V uvedených rokoch boli hodnotené iba obdobia v rámci vegetačnej sezóny (máj až september). Ďalšou, v rozbere použitou, charakteristikou ovplyvňujúcou fyziologické prejavy lesných drevín bol vodný potenciál pôdy (SWP). Táto veličina bola získaná automatickým záznamovým meracím zariadením inštalovaným na lokalite (MicroLog SP3, Gypsum Blocks, EMS Brno).

Meteorologické údaje boli počas meraní fyziologických prejavov merané priamo na výskumnom stacionári v Bienskej doline. Avšak z dôvodu potreby získania dlhodobého normálu pre potreby konštrukcie indexov SPI a SPEI (podľa metodiky MCKEE et al. 1993), sa pristúpilo k použitiu údajov z blízkej profesionálnej stanice SHMÚ Sliač. Pre potvrdenie vhodnosti využitia týchto údajov bol vykonaný test zhodnosti dát nameraných na týchto

dvoch staniach. Bola preukázaná vysoká miera podobnosti, čím sme mohli pre účely štúdie použiť údaje zo stanice Sliach pre potreby hodnotenia prejavov sucha v Bienskej doline (obr. 2).

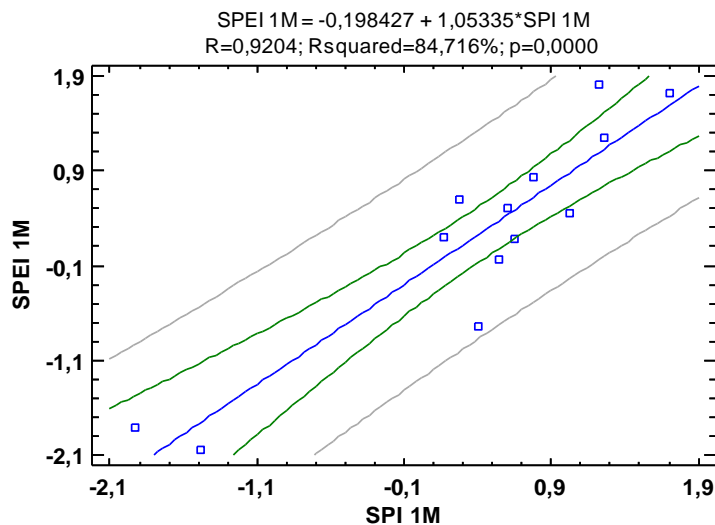


Obr. 2 Vzťah medzi atmosférickými zrážkami (P) (hore) a teplotami vzduchu (AT) (dole) na lokalite Bienska dolina a meteorologickej stanici Sliach.

Signifikantnosť bola potvrdená u oboch vzťahov na úrovni  $\alpha = 0,05$

Samotná parametrizácia prebiehala metódou korelačnej analýzy medzi indexami SPI a SPEI. Základným, resp. prvotným krokom indexov bol jednomesačný. V súlade s tým, bol v prvom rade prepočítaný mesačný krok fyziologických charakteristík. Postupne sa predlžoval aj krok indexov. Hľadanie najvyššej miery korelačných vzťahov naznačilo potrebu prejsť na kratší časový interval. Pre väčšie spresnenie sa následne pristúpilo k hodnoteniu sucha s krokom jeden týždeň. Kalkulátor indexu SPEI však menší krok ako jeden mesiac nepodporuje, teda bol v ďalších krokoch vylúčený. Z dôvodu získania istoty o neochudobnení korelačných

vzťahov o zložku evapotranspirácie pri ďalšom použití výhradne indexu SPI bol vyhotovený graf vzťahu medzi indexami SPI a SPEI (obr. 3)



Obr. 3 Vzťah medzi jednomesačným indexom SPI a SPEI

Bolo preukázané, že podobnosť výsledkov podávaných indexom SPI je s vysokou mierou signifikantnosti zhodná so SPEI.

Sprešňovanie korelácie následne pokračovalo iba pomocou SPI s týždňovým krokom. Obdobne ako pri mesačnom kroku, bol postupne predĺžovaný krok a testovaný na najvyššiu možnú mieru korelácie a štatistickej významnosti.

## Výsledky a diskusia

### Transpirácia vo vzťahu k SPI a SPEI

Transpirácia je jedným zo základných fyziologických prejavov rastlín vo všeobecnosti. Vplyv sucha na transpiráciu rastlín je potvrdený najmä u poľnohospodárskych rastlín, preto pokus o zistenie korelačných vzťahov medzi transpiráciou lesných drevín a indexami sucha je relatívne nové.

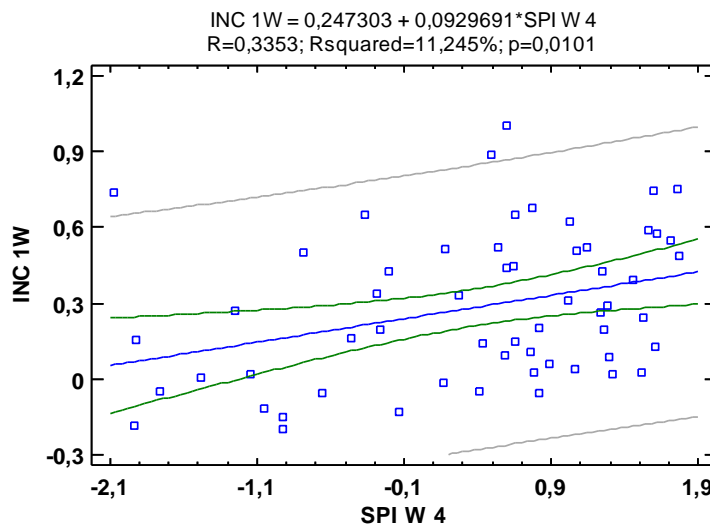
Vzhľadom na vysoký stupeň rezistencie a reziliencie lesných drevín voči suchu (vzhľadom na fyziognómiu lesných drevín od „ekonómie vody“, až po hĺbku koreňového systému) sa očakávaný vplyv nedostatku pôdnej vody prejavil až po sérii viacerých po sebe nasledujúcich týždňov s pretrvávajúcim meteorologickým suchom. Postupným testovaním korelačných vzťahov sme dosiahli maximálnu úroveň  $R^2 = 0,082$  pri SPI pre tri týždne (W3). Vzhľadom na to môžeme konštatovať, že úroveň vplyvu sucha hodnoteného metódou indexov SPI a SPEI na transpiráciu buka je zanedbateľná. Tým však netvrdíme, že sucho ako fenomén

nemá vplyv na transpiráciu. Avšak zrejme citlivosť nami hodnotených indexov je pre tento typ parametrizovania sucha navyše na príklade iba niekoľkých vzorníkov príliš hrubá.

#### Prírastky vo vzťahu k SPI a SPEI

Prírastok ako produkčná charakteristika je vo vzťahu k suchu mimoriadne dôležitá. Hľadanie korelačných vzťahov medzi jednotýždňovým kumulatívnym prírastkom a indexami SPI a SPEI je preto vedecky aj prakticky zaujímavé. Nakoľko bolo vyššie uvedené, že SPEI nemá možnosť kratšieho ako mesačného kroku, môžeme pri hodnotení (parametrizácii) tohto indexu na prírastky hovoriť o minimálnom kroku iba štyri týždne.

Najvyššia miera korelácie medzi prírastkami a indexom SPI bola nájdená pri SPI W (týždňový krok SPI) pre štyri týždne. Korelačný koeficient však naznačuje pomerne nízku, miernu tesnosť závislosti  $R=0,3353$  ( $p<0,05$ )(obr. 4).



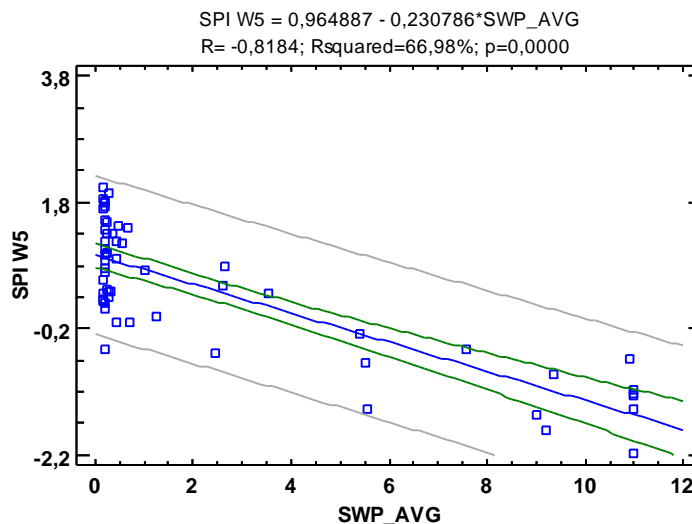
Obr. 4 Korelácia medzi štvortýždňovým indexom SPI W a týždňovým úhrnným prírastkom (INC 1W)

Pokusy o spresnenie s kratšími ako aj dlhšími krokmi indexu SPI W preukázali iba nižšiu mieru korelačných vzťahov. Ani pokusy s indexom SPEI pre jeden mesiac (ergo SPEI pre štyri týždne) nepreukázali vyššiu mieru korelácie, čo je do istej miery zaujímavá skutočnosť vzhľadom na štruktúru indexu započítavajúceho aj evapotranspiráciu. Uvedené poukazuje na fakt, že prírastky drevín nie sú len funkciou kombinácie zrážok a teploty, avšak sa jedná obdobne ako pri transpirácii o multifaktorový jav. Výsledky však s istou mierou opatrnosti naznačujú, že významnejší vplyv sucha na prírastky u buka sa začína prejavovať až po štyroch po sebe nasledujúcich týždňoch s pretrvávajúcim meteorologickým suchom.

#### Vodný potenciál pôdy vo vzťahu k SPI a SPEI

Vzhľadom na horeuvedené nie príliš významné priame vzťahy medzi indexami sucha a fyziologickými charakteristikami sme sa rozhodli pre odvodenú parametrizáciu v podobe zhodnotenia vplyvu indexov sucha na vodný potenciál pôdy. Dôvodom tohto riešenia sú publikované výsledky (JEŽÍK et al. 2007, SITKOVÁ et al. 2014, NALEVANKOVÁ et al. 2013) pojednávajúce o štatisticky preukaznom vplyve vodného potenciálu pôd (v prenesenom význame rozumej sucho) na fyziologické prejavy lesných drevín, resp. konkrétne buka lesného na záujmovej lokalite.

Hľadanie najvyššej miery korelácie prebiehalo v súlade s uvedeným metodickým postupom. Najvyššia miera korelácie bola zistená pri týždňových priemerných hodnotách vodného potenciálu pôdy a indexom SPI W pre päť týždňov (obr. 5).



Obr. 5 Korelácia medzi vodným potenciálom pôdy a SPI W pre päť týždňov

Tento vzťah bol vyhodnotený ako štatisticky významný na hladine  $\alpha = 0,01$ , čo dokazuje tesný vzťah medzi vodným potenciálom pôdy a indexom SPI. Tento výsledok môžeme považovať za zásadný. Zároveň bolo preukázané, že významný pokles vodného potenciálu pôdy nastáva po piatich po sebe nasledujúcich týždňoch s pretrvávajúcim meteorologickým suchom. Na základe výsledkov analýz môžeme tvrdiť, že k významným dopadom sucha na fyziologické procesy lesných drevín dochádza práve po už spomenutých piatich týždňoch. Naznačuje to zároveň, že pôdne sucho, ktoré v zmysle práce WILHITE et GLANZ (1985) označujeme ako pôdohospodárske sucho sa prejavuje až po tomto časovom intervale s pretrvávajúcim zrážkovým deficitom. Tým sme tiež dokázali parametrizovať treshold pre fyziologické sucho v lesnom poraste typickom pre lokalitu Bienská Dolina, ktorá charakterizuje lesné ekosystémy stredných polôh na území Zvolenskej kotliny.

## **Záver**

Práca pojednávala o parametrizovaní indexov sucha SPI a SPEI na fyziologické prejavy lesných drevín na lokalite Bienská dolina (Zvolen). Bolo zistené, že priamy vplyv sucha na fyziologické prejavy buka lesného, charakteristickej dreviny lesných ekosystémov na strednom Slovensku, nie je z pohľadu predmetných indexov významne preukazný. Je to zrejme spôsobené jednak relatívne krátkym obdobím realizovaného výskumu na lokalite a nízkym počtom jedincov vybraných do výskumu a taktiež zrejme nízkou citlivosťou indexov vo vzťahu k fyziologickým procesom rastlín. Prenesením fyziologickej reakcie drevín na vodný potenciál pôdy sme však dosiahli relatívne preukazné výsledky. Tieto môžeme zhrnúť nasledovne: Významnejšia reakcia lesného ekosystému na sucho sa začína prejavovať po piatich po sebe nasledujúcich týždňoch s pretrvávajúcim meteorologickým suchom. Naznačuje to rezistenciu ekosystému na úrovni päť týždňov do prvých príznakov sucha prejavujúcich sa na zmenšení prírastku resp. obmedzenej transpirácii. Výsledky tiež zaujímavým spôsobom naznačili (reakcia na SPEI), že riadiacim faktorom z pohľadu sucha sú pravdepodobne zrážky a nie negatívna zložka vodnej bilancie – evapotranspirácie. Je to zrejme spôsobené tým, že lesné dreviny sú vzhľadom na svoju fyziognómiu schopné efektívne hospodáriť s vodnými zdrojmi uloženými v väčšej hĺbke pôdneho profilu.

## **Literatúra**

- ARCHAUX, F., WOLTERS, V. (2006). Impact of summer drought on forest biodiversity: what do we know? *Annals of Forest Science*, 63, 645-652.
- BRÁZDIL, R., TRNKA, M., DOBROVOLNÝ, P., CHROMÁ, HLAVINKA, P., ŽALUD, Z., (2009). Variability of droughts in the Czech Republic, 1881-2006. *Theor Appl Climatol.*, 97(3-4), 297-315.
- BRÁZDIL, R., KIRCHNER, K. ET AL. (2007). Vybrane přírodní extremy a jejich dopady na Moravě a ve Slezku. *Masarykova univerzita v Brně, Brno*, 266-282.
- BÜNTGEN, U., BRÁZDIL, R., FRANK, D., ESPER, J. (2010). Three centuries of Slovakian drought dynamics. *Climate dynamics*, 35(2-3), 315-329.
- CANCELLIERE, A., DI MAURO, G., BONACCORSO, B., ROSSI, G. (2007). From the issue entitled "Water Resources for the Future". *Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index. Water Resources Management*, 21(5), 801-819.
- CENTRITTO, M., TOGNETTI, R., LEITGEB, E., STŘELCOVÁ, K., COHEN, S. (2011). Above ground processes: Anticipating climate change influences. In: BREDEMEIER, M., COHEN, S., GODBOLD, D.L., LODE, E., PICHLER, V., SCHLEPPI, P. (Eds.): *Forest management and the water cycle. An Ecosystem-Based Approach*, 531 pp.
- CIENCIALA, E., KUČERA, J., LINDROTH, A. (1999). Long-term measurements of stand water uptake in Swedish boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98-99, 547-554

- ČERMÁK, J., MATYSSEK, R., KUČERA, J. (1992). Rapid response of large, drought-stressed beech trees to irrigation. *Tree Physiology*, 12, 281-290.
- CUTORE, P., DI MAURO, G., CANCELLIERE, A. (2009). Forecasting palmer index using neural networks and climatic indexes. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(6), 588-595.
- DESLAURIERS, A., MORIN, H., BEGIN, Y. (2003). Cellular phenology of annual ring formation of *Abies balsamea* in the Québec boreal forest (Canada). *Canadian Journal of Forest Research*, 33, 190-120.
- DITTMAR, C., ELLING, W. (2007). Dendroecological investigation of the vitality of Common Beech (*Fagus sylvatica* L.) in mixed mountain forests of the Northern Alps (South Bavaria). *Dendrochronologia*, 25, 37-56.
- GEßLER, A., KEITEL, C., KREUZWIESER, J., MATYSSEK, R., SEILER, W., RENNENBERG, H. (2007). Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees*, 21, 1-11.
- GRANIER, A., LOUSTAU, D. (1994). Measuring and modelling the transpiration of a maritime pine canopy from sap-flow data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 71, 61-81.
- GUTSCHICK V.P., BASSIRIRAD H. (2003). Extreme events as shaping physiology, ecology, and evolution of plants: toward a unified definition and evaluation of their consequences. *New Phytol.* 160, 21-42.
- FENDEKOVÁ, M., FENDEK, M. (2012). Groundwater drought in the nitra river basin – identification and classification. *J. Hydrol. Hydromech.*, 60(3), 185-193.
- HANSON, J. P., DONALD, E. T., JEFFREY, S. A. (2001). A six-year study of sapling and large-tree growth and mortality responses to natural and induced variability in precipitation and throughfall. *Tree Physiology*, 21, 345-358.
- HANSON, P. J., WELTZIN, J. F. (2000). Drought disturbance from climate change: response of United States forests. *The Science of the Total Environment*, 262, 205-220.
- HAYES, M., SVOBODA, M., WALL, N., & WIDHALM, M. (2011). The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(4), 485-488.
- HAYES, M., SVOBODA, M., WILHITE, D., VANYARKHO, O. (1999). Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 429-438.
- HEIM, JR., R. R. (2000): Drought indices: A review, Chapter 11. In *Drought: A Global Assessment* (DONALD A. WILHITE, ed.). (Routledge Hazards and Disasters Series, volume 1). Routledge: London, 159-167.
- CHIRINO, E., BELLOT, J., SANCHEZ, J. R. (2011). Daily sap flow rate as an indicator of drought avoidance mechanisms in five Mediterranean perennial species in semi-arid southeastern Spain. *Trees*.
- JEŽÍK, M., BLAŽENEC, M., STŘELCOVÁ, K., DITMAROVÁ, Ľ. (2011) The impact of the 2003 – 2008 weather variability on intra-annual stem diameter changes of beech trees at a submontane site in Slovakia. *Dendrochronologia*, 29, 227-235
- JEŽÍK, M., BLAŽENEC, M., STŘELCOVÁ, K. (2007). Intraseasonal stem circumference oscillations: their connection to weather course. *Folia oecol.*, 34, 105–115.
- KLEMENTOVÁ, E., LITSCHMANN, T. (2004). The agro-climatic drought in Slovakia in 2003. *Meteorological Journal*, 7(1), 11-17.

- KLEMENTOVÁ, E., LITSCHMANN, T. (2001). Hodnotenie sucha s ohľadom na doplnkové závlahy. In: Bioklimatologické pracovné dni 2001: Extrémy prostredia (počasie) – limitujúce faktory bioklimatologických procesov. Medzinárodná vedecká konferencia 10. – 12. september 2001, Račková dolina, Slovensko.
- KONČEK, M., (1955). Index zavlaženia. Meteorologické zprávy, 1955 roč. VIII., č. 4, 96-99.
- KONÓPKA, B., PAJTÍK, J., BOŠELA, M., HLÁSNY, T., SITKOVÁ, Z. (2014). Inter- and intra-annual dynamics of height increment in young beech and spruce stands in relation to tree size and weather conditions. Lesnícky časopis - Forestry Journal, 60, 51-59.
- LAPIN, M., MELO, M., TOMLAIN, J., FAŠKO, P., ŠŤASTNÝ, P. (2002). Klimatický index zavlaženia, Končekov index. In Atlas krajiny Slovenskej republiky. SAŽP, Banská Bystrica.
- LITSCHMANN, T., ROŽNOVSKÝ, J. (2001). Palmerův index závažnosti sucha a jeho aplikace pro lokalitu Žabčice. In: ROŽNOVSKÝ, J., JANOUŠ, D. (ed): Sucho, hodnocení a predikce. Pracovní seminář, Brno 19.11.2001.
- LU, P., BIRON, P., BRÉDA, N., GRANIER, A. (1995). Water relations of adult Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst) under soil drought in the Vosges mountains: water potential, stomatal conductance and transpiration. Annals of Forest Science, 52, 117-129.
- MAGOVÁ, D., STŘELCOVÁ, K. (2011). Ekofyzilogické aspekty vodného režimu a transpirácie smreka a smrekovca v horskom lese TANAPu. In Veterná kalamita a smrekové ekosystémy, Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene.
- MAGRUDER, M., CHHIN, S., PALIK, B., BRADFORD, J. B. (2013). Thinning increases climatic resilience of red pine. Canadian Journal of Forest Research, 43(9), 878-889.
- MATEJKA, F., ROŽNOVSKÝ, J., HURTALOVÁ, T., JANOUŠ, D. (2002). Effect of soil drought on evaporation of a young spruce forest. Journal of Forest Science, 48 (4),166-172.
- MAYR, S., ROTHART, B. -DÄMON, B. (2003). Hydraulic efficiency and safety of leader shoots and twigs in Norway spruce growing at the alpine timberline. Journal of Experimental Botany. 54 (392), 2563-2568.
- MCKEE, T. B., DOESKEN, J. N., KLEIST, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179-184.
- MYDLA D. (2012). Vplyv nedostatku zrážok v roku 2011 na prevádzku vodných stavieb Veľká Domaša a Ružín. Vodohospodársky spravodajca 7, 18-21.
- PALLARDY, S. G. (2007). Physiology of Woody Plants. 3<sup>rd</sup> edit. San Diego: Academic Press.
- NALEVANKOVÁ P., STŘELCOVÁ K., SITKOVÁ Z., JEŽÍK M. (2013). Dynamics of stem diameter under soil drought 2012: Response of mature European beech trees. In ŠIŠKA B. *et al.* (Eds.) Environmental changes and adaptation strategies. Skalica, 9. – 11. september 2013.
- PALMER, W. C. (1965). Meteorological drought. U.S. Department of Commerce Weather Bureau Research Paper 45, 58 pp.
- PARK WILLIAMS A. ET AL. (2012). Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. Nature Climate Change 3, 292-297.
- PAULO, A. A., PEREIRA, S. L. (2007). Prediction of SPI Drought Class Transitions Using Markov Chains. Water Resources Management, 21(10), 1813-1827.
- PEKÁROVÁ, P., MIKLÁNEK, P., & PEKÁR, J. (2003). Spatial and temporal runoff oscillation analysis of the main rivers of the world during the 19th–20th centuries. Journal of Hydrology, 274(1), 62-79.



- POTOP, V., MOŽNÝ, M. (2011). The application a new drought index – Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. In: STŘEDOVÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T., (eds.): Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogénních prostředí. Skalní mlýn, 2.-4.2 2011.
- POZZI, W., SHEFFIELD, J., STEFANSKI, R., CRIPE, D., PULWARTY, R., VOGT, J. V., ... & LAWFORD, R. (2013). Toward global drought early warning capability: expanding international cooperation for the development of a framework for monitoring and forecasting. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(6), 776-785.
- SEVANTO, S. (2003). Tree stem diameter change measurement and sap flow in Scot pine. Academic dissertation, University of Helsinki, Faculty of Science, Finland, pp. 25.
- SITKOVÁ, Z., NALEVANKOVÁ, P., STŘELCOVÁ, K., FLEISCHER, P. JR., JEŽÍK, M., SITKO, R., PAVLENDÁ, P. (2014). How does soil water potential limit the seasonal dynamics of sap flow and circumference changes in European beech? *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 60(1), 19 - 30
- SIVAKUMAR, M.V.K., MOTHA, R. P., WILHITE, D. A., WOOD, D. A. (2010). Agricultural drought indices. Proceedings of an expert meeting, 2-4 June 2010, Murcia, Spain. WMO, Geneva, 219 p.
- SIVAKUMAR, M., MOTHA, R., DAS, H. (2005). Natural disasters and Extreme events in agriculture. Springer, Berlin, 376 p.
- SLOVÁKOVÁ, L., MISTRÍK, I. (2007). Fyziologické procesy v podmienkach stresu. Bratislava: Univerzita Komenského Bratislava. 240 p.
- SOLBERG, S. (2004). Summer drought: a driver for crown condition and mortality of Norway spruce in Norway. *Forest Pathology* 34, 93-104.
- TARDIF, J., FLANNIGAN, M., BERGERON, Y. (2001). An analysis of the daily radial activity of 7 boreal tree species, Northwestern Quebec. *Environmental Monitoring and Assessment*, 67, 141-160.
- THORNTHWAITE, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38(1), 55-94.
- TRNKA M. ET AL. (2014). Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change*, 4, 637-643.
- TRNKA, M. (2014). Představení projektu InterSucho aneb proč je sucho aktuální problém. *Vodní hospodářství*, 64(4), 29-30.
- TRNKA, M., KYSELÝ, J., MOŽNÝ, M., DUBROVSKÝ, M. (2009). Changes in Central-European soil-moisture availability and circulation patterns in 1881- 2005. *International Journal of Climatology*, 29(5), 655-672.
- TREML, P. (2012). Největší hydrologická sucha 20. století. In Smelík, L., Jandora, J., Workshop Adolfa Patery, 251-258.
- TSAKIRIS, G., VANGELIS, H. (2004). Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI. *Water Resources Management*, 18(1), 1-12.
- TURČÁNI, M., NAKLÁDAL, O. (2007). The result of manipulated experiments with inoculation of *Ips typographus* (L., 1758) to spruce trees under various levels of water stress. *Journal of Forest Science*. 53(Special Issue), 25-30.

- VALACH, J., VIDO, J., ŠKVARENINA, J. (2014). Zhodnotenie výskytu sucha použitím indexu SPEI v regióne Horného Požitavia. In: Hydrologie Malého Povodí 2014, Praha – Novotného Lávka, 544-551.
- VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S., LORENZO-LACRUZ, J., CAMARERO, J. J., LÓPEZ-MORENO, J. I., AZORIN-MOLINA, C., ... & SANCHEZ-LORENZO, A. (2012). Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. *Earth Interactions*, 16(10), 1-27.
- VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S., LÓPEZ-MORENO, J. I., ANGULO, M., & EL KENAWY, A. (2010). A new global 0.5 gridded dataset (1901-2006) of a multiscalar drought index: comparison with current drought index datasets based on the Palmer Drought Severity Index. *Journal of Hydrometeorology*, 11(4), 1033-1043.
- VIDO, J. TADESSE, T. HAYES, M. (2012). Conceptualization of a Drought Monitor for conditions in the Slovak Republic. Water for Food Conference May 30 – June 1, Lincoln – Nebraska.
- WALTHER, G.R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T.J.C., FROMENTIN, J.M., HOEGH-GULDBERG, O., BAIRLEIN, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395.
- WILHITE, D. A., HAYES, M. J., KNUTSON, C. L. (2005). Drought preparedness planning: Building institutional capacity. *Drought and water crises: Science, technology and management issues*. 93-135.
- WILHITE, D. A. (2000). Drought Planning and Risk Assessment: Status and Future Direction. *Annals of Arid Zone* 39(3), 211-230.
- WILHITE, D. A., and GLANTZ, M. H. (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10(3), 111-120.
- ZEREINI, F., HÖTZL, H. (2008). Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa. *Environmental Science and Engineering*, 145-164.

### **Pod'akovanie**

Príspevok bol podporený prostriedkami z projektu Ministerstva Školstva Vedy Výskumu a Športu Slovenskej Republiky VEGA 2/0101/14 a Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0480-12.

### **Kontakt:**

Ing. Paulína Nalevanková

Technická univerzita vo Zvolene, LF, KPP

T. G. Masaryka, 24, 960 53 Zvolen

+421 455 206 210

nalevankova.paulina@gmail.com