STANOVENIE INDEXOV METEOROLOGICKÉHO SUCHA A ICH SPOJITOSŤ S VODNÝM REŽIMOM PÔDY LOKALITY BÁČ NA ŽITNOM OSTROVE

Marek Rodný[1], Peter Šurda[1]

Abstrakt

Jednou z najdôležitejších informácií, umožňujúcich správny manažment povodia sú regionálne charakteristiky výskytu a rozsahu sucha. Pre ich stanovenie existuje značné množstvo metód, ktoré zohľadňujú rozdiely v samotnej definícii sucha. V tejto štúdii bol uplatnený meteorologický princíp hodnotenia sucha, konkrétne metóda Byuna a Wilhita, ktorá identifikuje (kvantifikuje) denný stav vodných zdrojov v krajinnom priestore. Cieľom práce bolo odvodiť denné meteorologické indexy sucha reprezentatívnej meteorologickej stanice Hurbanovo a analyzovať vzťah medzi ich ročným chodom a dynamikou zásob vody v pôde heterogénneho pôdneho profilu lokality Báč na Žitnom ostrove v časovom horizonte dekády 1999-2009. Dobrá zhoda medzi ročným chodom odvodených indexov a dynamikou zásob vody v pôde predurčuje ich využitie v alternatívach matematického modelovania vodného režimu pôdy.

Kľúčové slová: efektívne zrážky, zásoby vody v pôde, sucho, Žitný ostrov

1. Úvod

V podmienkach intenzívnej poľnohospodárskej ale aj lesohospodárskej produkcie je vysoká úroveň rozhodovania o spôsobe využitia krajiny základom pre hospodárenie v súlade s prioritami udržateľnosti a stability ekosystémov [19; 4]. Kontrola stresových faktorov, narúšajúcich túto stabilitu je spravidla založená na identifikácii nejednoznačných javov a komplexných faktorov, spolupôsobiacich s prírodným prostredím. Príkladom takéhoto javu je aj sucho. Jeho impakt je badateľný postupne, najskôr však v poľnohospodárskom sektore [12; 8; 18]. Sucho je extrémna meteorologická udalosť s duálnym časovým rozlíšením (sucho pôdne - sucho v ostatných vodných zdrojoch) a všeobecne môže byť definované ako deficit vodných zdrojov spôsobený nedostatočnou zrážkovou činnosťou počas dlhšieho časového obdobia [21; 1; 16].

Tvorba biomasy je úmerná dostupnosti pôdnej vody [20; 11]. Zásoby vody v pôde (W), predstavujú pre vegetačný kryt nenahraditeľný vodný zdroj, v prevažnej miere dotovaný atmosférickými zrážkami. V nížinných oblastiach môžu byť zásoby vody v pôde dopĺňané kapilárnym výstupom od hladiny podzemnej vody, no aj v tomto prípade môže extrémne suché, zrážkovo deficitné obdobie prispieť k narušeniu prirodzenej rovnováhy ekosystému, jeho vysúšaniu [15; 17]. Identifikácia príčinných súvislostí medzi dynamikou zásob vody v pôde a odchýlkou atmosférických zrážok od klimatického normálu je úlohou diagnostiky vodného režimu pôdy, zdokonaľuje prognózovanie odozvy zóny aerácie pôdy na stochastické atmosférické procesy a prispieva k rozšíreniu poznatkov o hydrologickom statuse prírodného prostredia.

Napriek tomu, že pôdna voda je významnou stavovou veličinou fyzikálneho systému krajiny, jej kontinuálny monitoring doposiaľ nebol na Slovensku zavedený. Alternatívou priameho monitoringu sú deterministické matematické modely vodného režimu pôdy, rozvíjajúce sa úmerne s rozvojom výpočtovej techniky. Aplikácia modelov, založených na numerickom riešení jednorozmernej Richardsovej diferenciálnej rovnice, vyžaduje časovo a finančne náročné merania hydrofyzikálnych charakteristík pôdneho profilu [5; 10]. Možnosť využitia dátami riadených modelov (podporných vektorov, neurónových sietí, regresných stromov) a širokého spektra ľahko získateľných vstupov, napr. terénnych atribútov či meteorologických indexov, pri simulácii dynamiky zásob vody je doposiaľ málo analyzovaná [3]. Úspešná

substitúcia zaužívaných postupov umelo-inteligentnými metódami môže napomôcť k lepšej diagnostike vodného režimu pôdy a v ideálnom prípade rozšíriť použiteľnosť doteraz získaných informácií o zásobách vody v pôde.

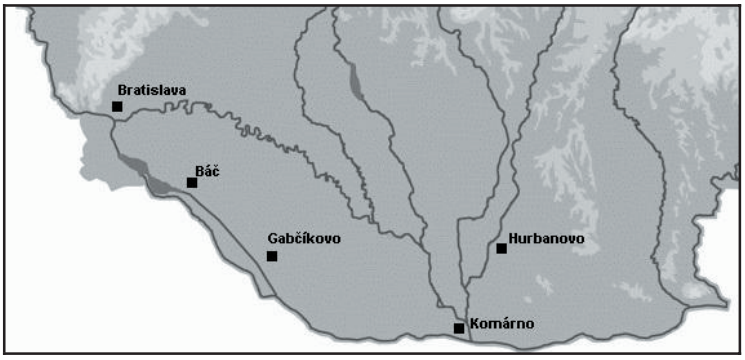
Celosvetovo sa viedlo mnoho štúdií zaoberajúcich sa fenoménom sucha a na hodnotenie jeho intenzity a závažnosti bolo odvodených množstvo indexov. V podmienkach SR sa tejto problematike venovali najmä [16; 9; 2; 6; 14]. Väčšina z existujúcich indexov sucha je založená na meteorologických, klimatologických a hydro-pedologických veličinách a počítajú sa buď v mesačných alebo sezónnych časových intervaloch. Autori štúdie [1] definujú nedostatky doteraz používaných indexov (časové definovanie suchého obdobia, časová jednotka hodnotenia, trvanie tvorby vodných zásob, zohľadňovanie úbytku vodných zásob v čase, použité údaje) a navrhujú nový rad indexov, v ktorom je použitý denný krok výpočtu namiesto mesačného alebo sezónneho. Tento prístup sa zdá byť v súlade so spomínanou koncepciou dátami riadeného modelovania zásob vody v pôde, pričom miera jeho využitia predstavuje náplň tohto príspevku.

Cieľom práce bolo odvodiť denné meteorologické indexy sucha reprezentatívnej meteorologickej stanice Hurbanovo a analyzovať vzťah medzi ich ročným chodom a dynamikou zásob vody v pôde heterogénneho pôdneho profilu lokality Báč na Žitnom ostrove v časovom horizonte dekády 1999-2009.

2. Materiál a metodika

2.1 Zrážkové pomery

Prvým súborom vstupných údajov boli denné zrážkové úhrny (H_z) z meteorologickej stanice Hurbanovo (Obr. 1) za obdobie 1961-2010 poskytnuté Slovenským hydrometeorologickým ústavom. Stanica Hurbanovo je považovaná za reprezentatívnu pre oblasť Podunajskej nížiny, teda aj pre územie Žitného ostrova. Mesto Hurbanovo leží v nadmorskej výške 115 m n. m. na ľavom brehu rieky Žitavy.



Obr. 1: Riešené záujmové územie

2.2 Zásoby vody v pôde

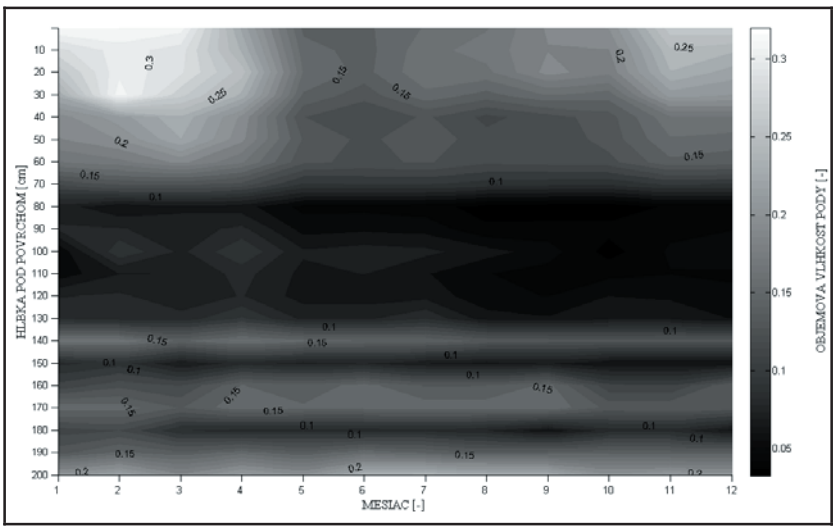
Druhým súborom vstupných údajov boli hodnoty výsledkov terénneho monitoringu obsahu vody vo vertikále poľnohospodársky intenzívne využívanej pôdy v okolí obce Báč (Obr. 1). Meranie obsahu vody v pôde bolo realizované neutrónovou sondou s desaťcentimetrovou vertikálnou diskretizáciou. Časové rady objemovej vlhkosti pôdy (Θ) majú približne dvojtýždňový interval merania a väčšina meraní je sústredená v mesiacoch vegetačného obdobia. Zásoby vody v pôde boli vypočítané podľa rovnice (1).

$$W = \int_{Z_1}^{Z_2} \Theta \, .dz \qquad (1)$$

Kde W je zásoba vody v pôde [mm], Z_1 je dolná hranica pôdnej vrstvy [cm], Z_2 je horná hranica pôdnej vrstvy [cm], Θ je objemová vlhkosť pôdy [% obj.] a dz je mocnosť pôdnej vrstvy [cm].

Pôdny profil bol rozčlenený na vrstvy s rozdielnou dynamikou zásob vody v pôde na základe vizuálnej analýzy chronoizopliet priemerných mesačných objemových vlhkostí pôdy lokality Báč (Obr. 2). Hranice vrstiev pre výpočet zásob vody boli určené na 0-80 cm, 80-200 cm a pre úplnosť 0-200 cm.

Obec Báč je situovaná v severozápadnej časti najväčšieho riečneho ostrova v Európe, Žitného ostrova (Obr. 1), vymedzeného ľavým brehom rieky Dunaj a korytom jeho ramena, Malého Dunaja. Aluviálne pôdy tejto lokality sú charakteristické vertikálnou heterogenitou a štrkovým podložím, ktoré miestami dosahuje mocnosti až niekoľko sto metrov. Vďaka štrkovému jadru je Žitný ostrov jedným z najväčších zdrojov pitnej vody v strednej Európe.



Obr. 2: Chronoizoplety priemerných mesačných vlhkostí pôdy lokality Báč pre obdobie 1999-2009

2.3 Podzemná voda

Monitoring hladiny podzemnej vody (HPV) prebiehal v riešenej lokalite súčasne s monitoringom vlhkosti pôdy. Miera interakcie medzi zásobou vody v zóne aerácie pôdy a HPV je určená najmä prienikom HPV cez štrkové podložie, t.j. maximálnymi polohami hladiny podzemnej vody vo vyšetrovanej lokalite. Dynamika HPV je ovplyvňovaná hladinovým režimom rieky Dunaj a manipuláciou v rozsiahlom systéme melioračných kanálov.

2.4 Indexy sucha

Metodika podľa [1] podstatne zdokonaľuje hodnotenie a monitoring zrážkovo deficitných období, najmä ich trvanie a intenzitu. Celkový stav vodných zdrojov v krajine je určený odchýlkou dennej hodnoty indexu od klimatologického normálu (priemernej dennej hodnoty indexu). Pre tento účel autori definujú koncept efektívnej zrážky (EP), teda celkový stav vodných zdrojov, tvorených zrážkami určité časové obdobie, s ohľadom na ich prirodzený úbytok procesmi ako je napr. evapotranspirácia a odtok. V princípe ide o sumu denných zrážkových úhrnov (index predchádzajúcich zrážok), upravenú časovo závislou redukčnou funkciou. Redukčná funkcia zjednodušene reprezentuje mnoho faktorov ako topografia terénu, pôdne charakteristiky, teplota vzduchu, vlhkosť, rýchlosť vetra atď. Preto na špecifikáciu správnej funkcie, prípadne definovanie lokálneho vzťahu, je potrebné komplexné

riešenie a predstavuje jednu z úloh ďalšieho výskumu. Definovaním trvania sumácie (***i***), t.j. počtu dní pre ktoré má byť index vyhodnotený, možno vodné zdroje v krajine diferencovať na základe ich časového charakteru na krátkodobé a dlhodobé (EP_{30d} - EP_{365d}). Pre účely tejto práce bola zvolená 365denná efektívna zrážka (EP_{365}) a lineárna redukčná funkcia (rovnice 2, 3), predstavujúca rovnomerný úbytok vodných zdrojov počas celého roka.

$$EP_i = \sum_{n=1}^{i} \left[\left(\sum_{m=1}^{n} H_{z_m} \right) \Big/ n \right] \tag{2}$$

Kde ***i*** je počet dní, pre ktoré má byť index vyhodnotený [-] a Hz_m je zrážkový úhrn ***m***-dní pred prvým dňom zahrnutým do výpočtu ***EP*** [mm]. Zrážkové úhrny z predchádzajúcich dní hodnoteného obdobia sú spočítavané vo forme ich priemernej hodnoty, teda v prípade, že ***i***=2, potom ***m*** = [1, 2] a následne:

$$EP_2 = [Hz_1 + (Hz_1 + Hz_2)/2] \tag{3}$$

Pre potreby komplexnej diagnostiky sucha je nutné index ***EP*** doplniť ďalšími odvodenými hodnotami.
Prvou je hodnota dlhodobého priemeru ***EP*** pre každý deň kalendárneho roka (***MEP***). Ide o klimatologickú charakteristiku vodných zdrojov počítanú z minimálne 30ročného radu denných zrážkových úhrnov. V práci bola priemerná hodnota efektívnej zrážky a jej štandardná odchýlka st (***EP***) vypočitaná z 48ročného radu EP_{365} (obdobie 1962-2010).

S ohľadom na dlhodobý priemer možno prebytok alebo nedostatok vodných zdrojov (***DEP***) pre každý deň analyzovaného obdobia vyhodnotiť podľa rovnici (4).

$$DEP = EP - MEP \tag{4}$$

Ak hodnotu ***DEP*** podelíme štandardnou odchýlkou ***EP*** pre konkrétny kalendárny deň rovnice (5), potom výsledná štandardizovaná hodnota deficitu vody v hydrologickom systéme (***SEP***) je porovnateľná s inými lokalitami, prakticky celosvetovo.

$$SEP = DEP / st\,(EP) \tag{5}$$

Kde *st* (***EP***) je štandardná odchýlka od ***EP*** pre konkrétny kalendárny deň.

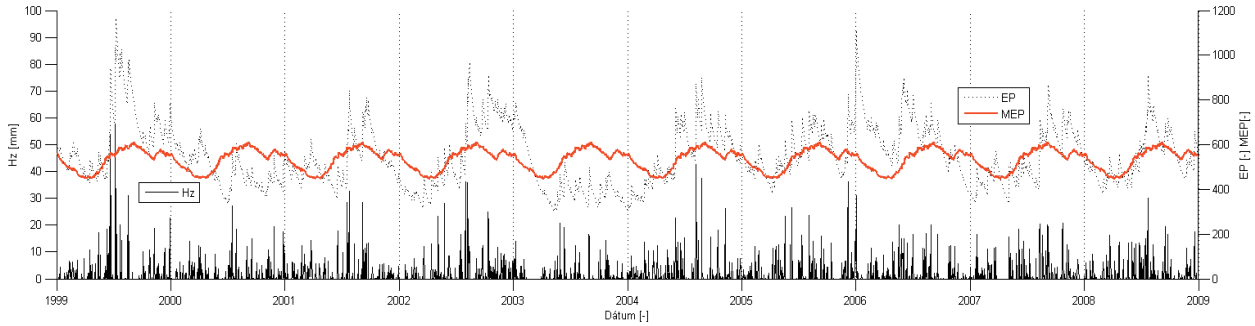
3. Výsledky

Spracovanie indexov podľa uvedenej metodiky je náročné na objem spracovávaných dát a množstvo výpočtových operácii, preto prvý výsledok práce je vo forme algoritmu, podporovaného interpretovaným skriptovacím jazykom matematického softvéru Matlab.

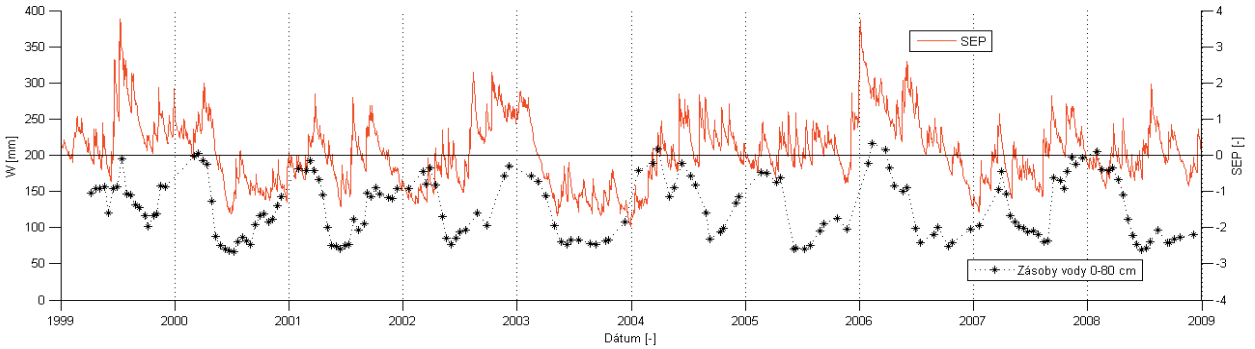
Priebeh denných zrážkových úhrnov H_z, index efektívnej zrážky EP_{365} a jeho dlhodobá priemerná hodnota pre konkrétny kalendárny deň MEP sú graficky znázornené na Obr. 3. Obdobie dekády 1999-2009 bolo zvolené pre možnosť porovnania vypočítaných indexov s meranými hodnotami zásob vody v pôde a hladiny podzemnej vody HPV.

Na Obr. 4, 5 a 6 je znázornená dynamika zásob vody v pôde (***W***) v jednotlivých výpočtových horizontoch spolu s priebehom štandardizovanej hodnoty indexu deficitu vodných zdrojov ***SEP***. Na základe priebehu hodnôt tohto indexu v analyzovanej dekáde mali vodné zdroje v krajine nepravidelný režim s tromi nadpriemernými (1999, 2002, 2006) a jedným výrazne deficitným (2003) obdobím. Podľa [7] možno pre tento index identifikovať obdobia tzv. normálne (hodnota ***SEP*** od -0,7 do 0,7), obdobia mierneho sucha (-0,7 až -1,5) a obdobia závažného sucha (***SEP*** < -1,5).

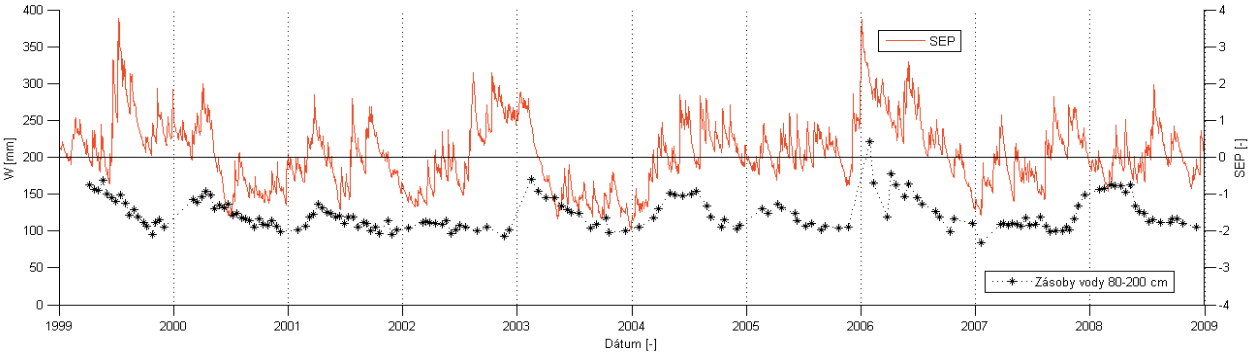
Dynamiku zásob vody prvého z vymedzených pôdnych horizontov (0-80 cm) možno určiť výlučne na základe bilancie atmosférických zrážok a výparu vody z pôdy a vegetačného krytu. Preto tento horizont možno označiť za tzv. aktívny horizont zóny aerácie pôdy (Obr. 2, 4). Variačné rozpätie objemových vlhkostí pôdy podložnej vrstvy (80-200 cm) je značne zúžené a dynamika zásob vody je charakteristická nepravidelnými extrémnymi nárastmi (Obr. 2, 5).



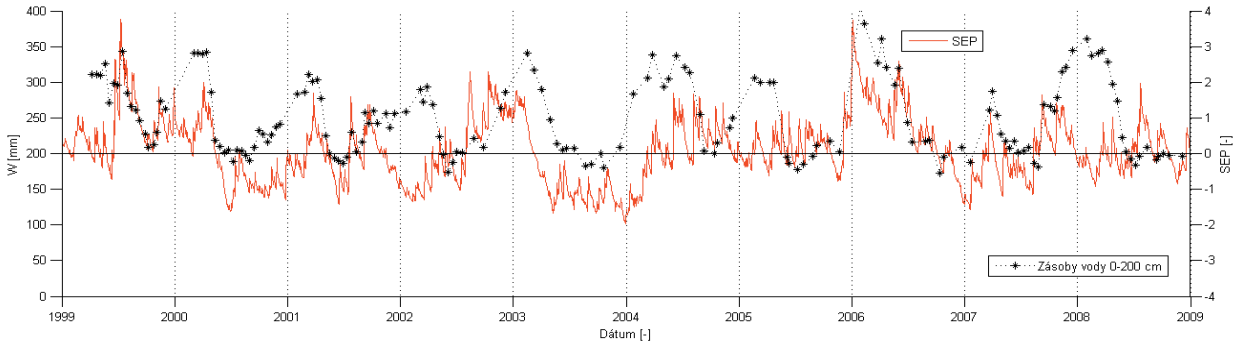
Obr. 3: Hodnoty H_z, MEP a EP pre meteorologickú stanicu Hurbanovo za obdobie 1999 – 2009



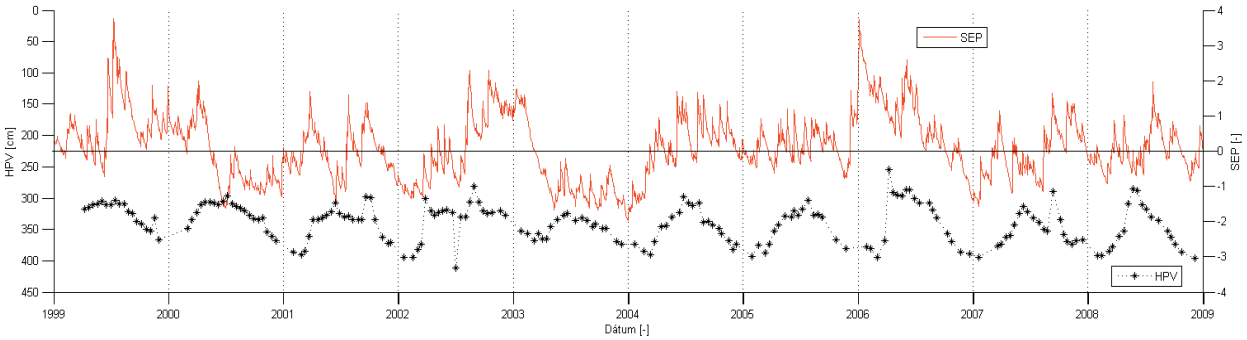
Obr. 4: Hodnoty indexu SEP a zásob vody v pôde (W) v horizonte 0-80 cm



Obr. 5: Hodnoty indexu SEP a zásob vody v pôde (W) v horizonte 80-200 cm



Obr. 6: Hodnoty indexu SEP a zásob vody v pôde (W) v horizonte 0-200 cm



Obr. 7: Priebeh hladiny podzemnej vody v období 1999-2009

4. Záver

Na základe vizualizácie vypočítaných (***EP, MEP, SEP***) a nameraných (H_z , ***W, HPV***) charakteristík prírodného prostredia Žitného ostrova možno odvodiť niekoľko diagnostických záverov o vodnom režime pôdy záujmovej lokality.

Dynamika zásob vody v prvom diagnostikovanom (aktívnom) horizonte zóny aerácie pôdy lokality Báč (0-80 cm) má cyklický charakter s jednoročnou dobou opakovania. Vo väčšine rokov analyzovaného obdobia možno tento cyklus rozdeliť na časť nasycovania a časť využívania zásob pôdnej vody. S výnimkou roku 2007 sú zásoby vody tvorené približne od konca vegetačného obdobia a dosahujú maxima v zimných mesiacoch. Začiatok vegetačného obdobia sa prejavuje výrazným úbytkom zimných zásob a dostupnosť pôdnej vody je v plnej miere ovplyvňovaná aktuálnym úhrnom zrážok. Tento stav vytvára predpoklad pre časté pôsobenie vodného stresu na pestované plodiny.

Nesúlad medzi ***SEP*** a dynamikou zásob vody v analyzovanej vrstve pôdy je dôsledkom triviálnosti redukčnej funkcie, použitej vo výpočte ***EP***. Je zrejmé, že zvolená lineárna redukčná funkcia nedokonale vystihuje najmä letný úbytok zásob vody v aktívnom horizonte zóny aerácie pôdy. Potenciálny výpar vody z porastu a pôdy je vo veľkej miere determinovaný teplotou vzduchu, preto je pravdepodobné, že v budúcej práci bude táto premenná zahrnutá do výpočtu indexu.

Vynímajúc extrémy, podložná vrstva pôdy (80-200 cm) interaguje s nadložnou vrstvou najmä v obdobiach s nízkym výparom z aktívneho horizontu, teda v mimo vegetačného obdobia. Infiltrovaná zrážková voda, nespotrebovaná v procesoch evapotranspirácie, je po splnení podmienok definovaných hysteréznymi vlastnosťami retenčných čiar jednotlivých vrstiev redistribuovaná v celom pôdnom profile. Spoločné črty analyzovaného indexu a podložnej vrtstvy pôdy možno najlepšie pozorovať v rokoch výraznejšími odchýlkami od klimatologického normálu.

Z hľadiska korelácie nameraných zásob vody a vypočítaného indexu ***SEP*** pre jednotlivé diagnostikované súvrstvia pôdneho profilu je viditeľne najväčšia zhoda pre pôdny profil ako celok (0-200 cm). Na základe tohto zistenia možno index efektívnej zrážky považovať za

využiteľný v pripravovanej koncepcii dátami riadeného modelovania vodného režimu pôdy.

Výrazné disproporcie v priebehoch hodnotených ukazovateľov sú viditeľné najmä na prelome rokov 2007-2008. S najväčšou pravdepodobnosťou ide o lokálnu zrážkovú činnosť v okolí obce Báč, teda o chybu spôsobenú odľahlosťou monitorovanej lokality od vybranej meteorologickej stanice.

Takmer žiadna zhoda medzi chodom HPV a hodnoteným indexom (Obr. 7) potvrdzuje predpoklad o minimálnom vzájomnom vzťahu medzi dynamikou HPV a meteorológiou záujmovej lokality.

Ďalšia práca s predstavenými indexmi predpokladá upresnenie redukčnej funkcie, podrobnejšiu špecifikáciu počtu dní potrebných pre určenie stavu podpovrchových vodných zdrojov a ich diferenciáciu podľa analyzovanej hĺbky pod povrchom pôdy (mocnosti analyzovaného pôdneho horizontu). Spresneniu môže značne napomôcť aj nahradenie reprezentatívnej meteorologickej stanice Hurbanovo priľahlejšou stanicou v Gabčíkove.

Poďakovanie

Príspevok vznikol za podpory grantových projektov APVV-0271-07 a VEGA 2/0120/08.

Literatúra

[1] BYUN, H. R. – WILHITE, D. A., 1999. Objective Quantification of Drought Severity and Duration, J. of Climate, 12, pp 2747–2756.

[2] ČIMO, J., – ŠPÁNIK, F., 2007. Periódy sucha v podmienkach klimatickej zmeny Podunajskej nížiny. In: *Bioclimatology and natural hazards : international scientific conference,* Poľana nad Detvou, Slovakia, 17-20 september 2007 [elektronický zdroj]. - Zvolen : Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-228-17-60-8. Požiadavky na systém: Windows 95 a vyššie; CD-ROM mechanika.

[3] ELSHORBAGY, A., – PARASURAMAN, K., 2008. On the relevance of using artificial neural networks for estimating soil moisture content, Journal of Hydrology, Volume 362, pp 1-18.

[4] FARKAS, C., – BIRKÁS, M., – VÁRALLYAY, G., 2009. Soil Tillage Systems to Reduce the Harmful Effect of Extreme Weather and Hydrological Situations. In: *Biologia, vol. 64, no. 3*, pp 624-628.

[5] GUBER, A. K. – PACHEPSKY, YA. A. – VAN GENUCHTEN, M. TH. – RAWLS, W. J. SIMUNEK, J. – JACQUES, D. – NICHOLSON, T. J. – CADY R. E., 2006. Field-Scale Water Flow Simulations Using Ensembles of Pedotransfer Functions for Soil Water Retention. In: *Vadose Zone Journal, vol. 5*, pp 234-247.

[6] HRVOĽ, J. – TOMLAIN, J., 2008. Dlhodobý chod indexu sucha na vybraných staniciach Slovenska za obdobie 1951– 2007. In: *16. Medzinárodný posterový deň*. ÚH SAV, Bratislava, s. 225–231.

[7] KALAMARAS, N. – MICHALOPOULOU, H. – BYUN, H. R., 2010. Detection of drought events in Greece using daily precipitation. Hydrology research. Vol. 41. No. 2, pp 126–133.

[8] KANDRA, B., 2006. Výsledky identifikácie sucha na Východoslovenskej nížine podľa vybraných charakteristík. Acta Hydrologica Slovaca, roč. 7, č. 2, s. 163-175.

[9] KLEMENTOVÁ, E. – LITSCHMANN, T., 2001. Výsledky hodnotenia sucha v oblasti Hurbanova. IN: *Rožnovský, J., Janouš, D. (ed): Sucho, hodnocení a predikce. Pracovní seminář*, Brno 2001, s. 9.

[10] NEMES, A. – TIMLIN, D. J. – PACHEPSKY, YA. A. – RAWLS, W. J. 2009. Evaluation of the Rawls et al. (1982) Pedotransfer Functions for their Applicability at the U.S. National Scale. In: Soil Sci. Soc. Am. J., vol.73, pp 1638-1645.

[11] NOVÁK, V., 2008. Using the Sensitivity of Biomass Production to Soil Water for Physiological Drought Evaluation, in Soil & Water Res., 3, 2008 (Special Issue), pp 116–122.

[12] ORFÁNUS, T., 2005. Spatial assessment of soil drought indicators at regional scale: hydrolimits and soil water storage capacity in Záhorská nížina Lowland. Hydrol. Hydromech. 53, pp 164–176.

[13] PATASSIOVÁ, M., KLEMENTOVÁ, E. 2001. Hodnotenie výskytu sucha a analýza zrážok pri jeho výskyte. Acta Hydrologica Slovaca, Bratislava, 2001, s. 198-205

[14] PEKÁROVÁ, P. – HALMOVÁ, D. – MIKLÁNEK, P. – PEKÁR, J., 2008. Analýza zmien N-ročných minimálnych prietokov rieky Dunaj v stanici Bratislava za obdobie rokov 1876/77–2005/06. Acta Hydrologica Slovaca. ISSN 1335-6291, 2008, roč. 9, č. 2, s. 252-261.

[15] ŠTEKAUEROVÁ, V. – NAGY, V. – KOTOROVÁ, D., 2006. Soil water regime of agricultural field and forest ecosystems. In: *Biologia, Bratislava, vol.61/Suppl. 19*, pp. 300–304.

[16] ŠÚTOR, J. – GOMBOŠ, M. – MATI, R. 2005. Kvantifikácia pôdneho sucha a jej interpretácia. Acta Hydrologica Slovaca, Roč.6, č.2., s. 123-129.

[17] ŠÚTOR, J. – GOMBOŠ, M. – MATI, R., TALL, A., IVANČO, J. 2007. Voda v zóne aerácie pôd východoslovenskej nížiny, Ústav hydrológie SAV, Bratislava. 280 s.

[18] ŠÚTOR, J. – RODNÝ, M., 2009. Prognosis of soil drought. In: *Cereal Research Communications, Vol. 37*, ISSN 0133-3720, no. Supplementum, 2009, pp 395-398.

[19] VÁRALLYAY, G., 2007. Soil Resilience (Is Soil a Renewable Natural Resource?). In: *Cereal Res. Comm., vol.35,* pp1277-1280.

[20] VEIHMEYER, F. J. – HENDRICKSON, A. H., 1927. Soil-Moisture Conditions in Relation to Plant Growth. In: *Plant Physiology, vol.2, č.1*, pp71-82.

[21] WILHITE, D.A. – GLANTZ, M. H., 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, Water International 10, pp 111–120.

Kontakty na autora

1 Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava