

Vláhová bilance – ukazatel vody v krajině

JAROSLAV ROŽNOVSKÝ, FILIP CHUCHMA, ROSTISLAV FIALA, MOJMÍR KOHUT

Klíčová slova: vláhová bilance – úhrny srážek – potenciální evapotranspirace – sucho

SOUHRN

Průběh počasí v posledních letech dokládá, že proměnlivost našeho počasí roste, a tím se také zvyšuje frekvence výskytu povodní, ale také sucha. Sucho bez ohledu na to, o jaký druh se jedná, znamená, že v naší krajině je nedostatek vody. Jde o to, jak nejlépe množství vody v krajině vyjádřit. Na brněnském pracovišti Českého hydrometeorologického ústavu v rámci výpočetního modelu AVISO v týdenním kroku vypočítáváme základní vláhovou bilanci (dále jen ZVB) pro travní porost, která je dána rozdílem mezi úhrny srážek a potenciální evapotranspirací. Výpočet je prováděn z denních hodnot doby slunečního svitu, teploty a vlhkosti vzduchu a rychlosti větru. Základem pro výskyt mimořádného sucha jsou nízké úhrny srážek a delší bezsrážková období, svůj vliv však mají i zvyšující se teploty vzduchu. Z analýzy vybraných roků s výskytem mimořádného sucha vyplývá, že deficitní hodnoty vláhové bilance se projevují v jednotlivých letech rozdílně, koncem vegetačního období dosahuje deficit i více jak 200 mm.

ÚVOD

Podnebí České republiky je typické svou vysokou proměnlivostí, která se v posledních dvou desetiletích ještě zvyšuje. Výsledkem jsou také výskyt povodní i sucha, které se na našem území projevují nepravidelně. Změnám klimatu je přičítáno, že se zvyšují četnosti výskytu extrémních stavů počasí. Jde o mimořádně vysoké úhrny srážek a následně výskyt plošných povodní v letech 1997, 2002 a díky rychlému tání vysoké sněhové pokrývky i v roce 2006. V roce 2010 byly zaznamenány vysoké srážkové úhrny a výskyt mnoha lokálních povodní z přivalových dešťů. V posledních dvou desetiletích převažují stavy sucha, které jsou vyvolány nízkými úhrny srážek, hlavně během teplého půlroku (duben až září) s trváním od několika týdnů až po několik měsíců. Výskyt mimořádného sucha takřka na celém území ČR jsme zaznamenali v letech 2000, 2003, 2012, 2015 a 2017. Na jižní Moravě také v roce 2007. Je nutné připomenout, že výskyt sucha jsou u nás nahodilé, a proto je velmi obtížné jejich výskyt předpovídat. Tímto se stávají o to škodlivější, protože přicházejí neočekávaně v různých ročních obdobích.

Údaje o srážkách jsou zaznamenávány na srážkoměrných stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen ČHMÚ), v posledních letech převážně na automatických stanicích [1]. Průměrné úhrny srážek se z části liší podle období zpracování. V Atlasu podnebí Československa (1958) a Podnebí ČSSR – Tabulky (1960) jsou uvedeny výstupy zpracování za období 1901 až 1950. Mapy úhrnů srážek v Atlasu podnebí Česka [2] vyjadřují období 1961 až 2000. Střeštík a kol. [3] vyhodnotili úhrny srážek na území ČR za období 1961 až 2010 s výsledkem, že v dlouhodobém pohledu se průměrné roční úhrny srážek statisticky prokazatelně nemění, ale roste jejich dynamika. K hodnocení srážek za různá období, zvláště za roky s výskyty povodní či sucha najdeme vysoký počet publikací.

Srážkový deficit ve vegetačním období bývá velmi často doprovázen vysokými teplotami, včetně výskytu tropických dnů (maximální denní teplota vzduchu dosáhne či překročí 30 °C), nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a vyšším počtem hodin slunečního svitu. Je známo, že úhrny srážek jsou jediným zdrojem vody pro naši krajinu. Ovšem přesto, že se používá k vyjádření sucha pouze úhrn srážek, není to zcela vhodná charakteristika.

Výskyt sucha jsou dány také hodnotami výparu [4]. Jde o složitý fyzikální proces a právě to je příčinou, proč na rozdíl od mnoha meteorologických prvků je měření výparu náročné [5]. Údaje o výparu, ovšem jen z vodní hladiny, máme ze sítě stanic Českého hydrometeorologického ústavu. Mimo tuto síť je jen několik stanic, většinou s účelovým zaměřením [6]. Ze srovnání např. s hodnotami evapotranspirace metodou FAO [7] vyplývá, že vztah není jednoznačný [8]. Pravidelné měření výparu z vodní hladiny zařízením GGI-3000 bylo v síti měřicích stanic zahájeno v roce 1968, podobně na Slovensku [9]. V podstatě do roku 2011 byly přístroje GGI-3000 nahrazeny automatickými výparoměry EWM [10]. Z vyhodnocení vyplývá, že úhrny výparu a jejich časová proměnlivost se v jednotlivých lokalitách dost liší, což je dáno proměnlivostí dalších meteorologických prvků [11]. Průměrný denní výpar z celé oblasti České republiky z období 1971–2000 činil 2,6 mm a průměrný úhrn za vegetační sezonu V–IX se rovnal 393,7 mm. Průměrný denní výpar z oblasti jižní Moravy z období 1981–2010 činil 3,0 mm a průměrný úhrn za vegetační sezonu V–IX se rovnal 462,3 mm [10, 12].

Bylo zjištěno, že roční dynamika výparu významně klesá s růstem nadmořské výšky, podobně jako dlouhodobé průměrné úhrny výparu, i když z tohoto pravidla existují výjimky způsobené dalšími činiteli, jako zeměpisná šířka nebo konkrétní lokální podmínky geografického prostředí. Během třicetiletí 1971–2000 pouze na dvou lokalitách sezonní úhrny výparu mají statisticky významné růstové trendy, a to v Kroměříži a v Holovousech. Zvyšování výparu se v těchto lokalitách projevuje v nárůstu 50 až 60 mm za 10 let, což je výrazná změna pro procesy v krajině [10]. Tento poznatek zcela neodpovídá zjištění, že průměrné teploty vzduchu mají statisticky prokazatelný nárůst [13].

S ohledem na náročnost a nákladnost měření výparu a jeho jednotlivých druhů jsou celosvětově používány výpočty evaporace a evapotranspirace [14, 15]. Právě evapotranspirace tím, že blíže vyjadřuje výpar z porostů, lépe vyjadřuje celkový výpar z krajiny [16], ale je také součástí výpočtů závlahových dávek [15]. Pro určení výskytu či intenzity sucha využíváme zjednodušenou, v podstatě meteorologickou, vodní bilanci vyjádřenou vzájemným rozdílem úhrnů srážek a potenciální evapotranspirace. Označujeme ji jako základní (potenciální) vláhovou bilanci pro travní porost (dále jen ZVB_TP), která svými hodnotami umožňuje hodnotit také výskyt sucha v krajině [17]. Rozdíl mezi potenciální evapotranspirací a srážkami je ukazatelem pro hodnocení podoblastí v rámci agroklimatické rajonizace [18]. Taktéž je součástí výnosových modelů [19].

Obecně lze říci, že množství vody v naší krajině je v prvním kroku dáno průběhem počasí, ale o jejím dalším výskytu významně rozhodují vlastnosti našich půd, zvláště jejich retenční kapacita [20].

MATERIÁL A METODY

Meteorologické prvky naměřené na klimatologických stanicích jsou základem pro výpočty prováděné pomocí agrometeorologického modelu AVISO („Agrometeorologická Výpočetní a Informační Soustava“) na ČHMÚ, pobožce Brno. Model je svou podstatou určen pro analýzu případů s převládajícím nedostatkovým množstvím srážek. Neřeší tedy problematiku nadbytku srážek a s tím spojenou otázku odtoku. Z tohoto pohledu se naskytá jeho uplatnění pro analýzu existujících suchých období, resp. období, kdy se vyskytují minimální úhrny srážek.

Evapotranspirace je modelově počítána v denním kroku modifikovaným postupem podle algoritmů Penman-Montheith [21, 22]. Ve své potenciální podobě je prakticky shodná s maximálně možnými hodnotami výparu při optimálních vláhových podmínkách, s nimiž se v přírodním prostředí většinou nesetkáváme ve vegetačním období, resp. v teplém půlroce, ale podstatně častěji v zimě nebo v obdobích přechodných (jaro a podzim).

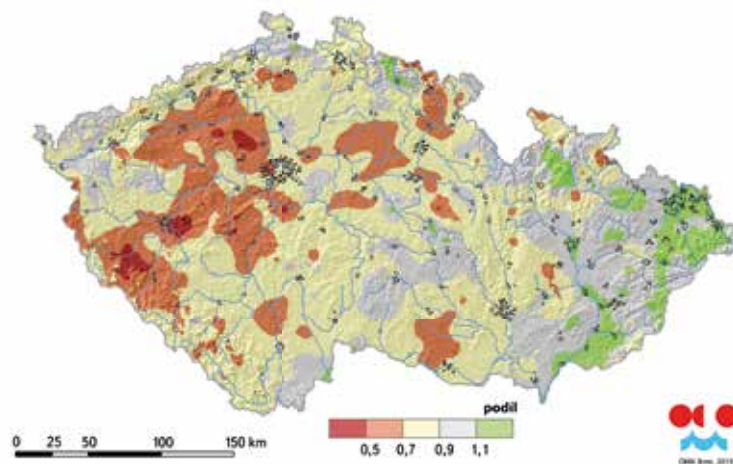
ZVB_TP jednoduchým způsobem vyjadřuje vláhové poměry v krajině za určitý časový interval. Počítá se jako aritmetický rozdíl srážek a evapotranspirace (potenciální, aktuální, referenční) za určité časové období, přičemž obě složky pro lepší vzájemné srovnání se vyjadřují v mm. Pro zjednodušení se neberou v úvahu žádné ze složek odtoku, stejně tak pro výpočet výparu v základní bilanční rovnici uvažujeme výrazné zjednodušení ve formě homogenního vypařujícího povrchu, který je svými fyziologickými vlastnostmi velmi blízký standardnímu travnímu porostu. Pokud bychom nepřistoupili k těmto zjednodušením, problematika vláhových bilancí, která je v přírodních podmínkách velmi náročná a složitá, by z pohledu krajiny jako celku byla prakticky neřešitelná. S ohledem na přístupnost vody v půdě pro rostliny vyjadřujeme zásobu využitelné vody v metrové vrstvě půdy s travním porostem (dále jen ZVVP), která je vypočtena přepočtem VVK v % [23].

VÝSLEDKY

Průběh sucha v jednotlivých letech na našem území není zcela stejný. Již bylo uvedeno, že v našich podmínkách jde o sucho nahodilé. Pokud jde o rok 2012, výrazně negativní potenciální vláhová bilance byla zvláště v měsících vegetačního období roku 2012. Srovnáním s dlouhodobým obdobím let 1961–2010 navíc docházíme k závěrům zvýšené negativní potenciální vláhové bilance. Tato skutečnost byla zaznamenána i při hodnocení pomocí kumulovaných úhrnů. Prokazatelné je to hlavně na moravských stanicích (Brno-Tuřany, Kuchařovice) a v Doksanech, kdy proti dlouhodobým měsíčním hodnotám je situace v roce 2012 o více než 50 mm horší (květen). Bereme-li v úvahu kumulované úhrny po měsících, pak ve vegetačním období je situace ještě horší, neboť oproti dlouhodobým poměrům do vyrovnané potenciální vláhové bilance schází i více než 200 mm (jižní Morava).

Zvláště pro zemědělské porosty bylo negativní, že v posledním týdnu května 2012 byl rozdíl oproti dlouhodobé hodnotě -100 mm a byl nižší na více jak 30 % území ČR. Nejvíce jsou opět postiženy jižní a střední Morava, dále Polabí, část Poohří a také plošně velké oblasti jihozápadních Čech a Šumavy. Vláhovou bilanci pod -100 mm už je možno považovat za mimořádné sucho. Pod -150 mm je na 3,5 % území, nejvíce na jižní Moravě, části Šumavy a na Přerovsku. Suchem v roce 2012 byla nejvíce zasažena jižní a střední Morava a výrazně negativní rozdíly přetrvávaly i v Polabí a na Šumavě. Na většině území byla negativní vláhová bilance ještě koncem září a místy překračovala hodnoty -200 mm.

Bylo by chybou posuzovat sucho samostatně jen v určitých měsících. Jeho vývoj je ovlivňován i průběhem počasí v zimě. Dokladem je výskyt sucha v roce 2015. Zima 2014/2015 jako celek byla oproti průměru na celém území teplejší, a to o 1,5 až 3,5 °C. Deficit srážek dosahoval až 50 %, na některých částech jižní Moravy a na většině části Čech. Jen na částech severní a východní Moravy byl



Obr. 1. Podíl srážkového úhrnu za zimu 2014/2015 vzhledem k dlouhodobému průměru 1961–2000

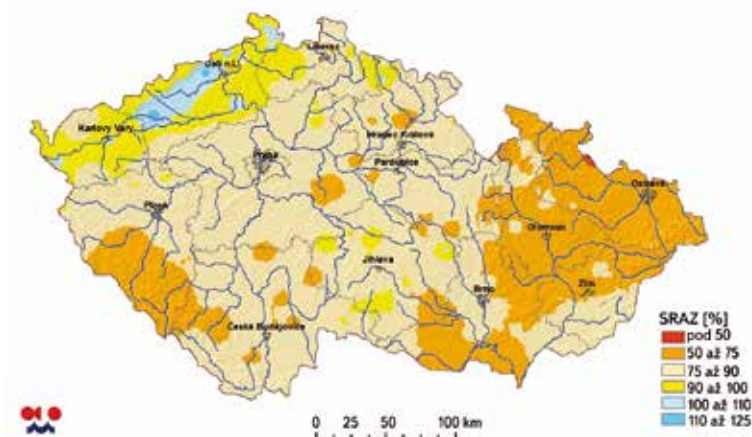
Fig. 1. Ratio between precipitation amount and long-term average (1961–2000) for the 2014/2015 winter

o něco vyšší než průměr (obr. 1). V průběhu měsíců dubna až června byly úhrny srážek na většině našeho území podnormální, takže koncem května v pásu od Karlových Varů přes střední Čechy až k Českým Budějovicím se jejich úhrn pohybuje mezi 50 až 75 % průměru. Obdobně je to na jižní a části střední Moravy. Tento stav se v červnu mění tak, že v Podkrušnohoří dochází k dorovnání průměru, naopak na Moravě se zvyšuje plocha území s deficitem srážek mezi 25 až 50 %. Mimořádně nízké úhrny srážek v červenci způsobují, že na většině našeho území byl deficit 25 až 50 %. Na několika místech, hlavně v oblasti jižní Moravy, je srážkový deficit více jak 50 %. Ovšem díky bouřkám jsou na těchto územích lokality, kde deficit srážek poklesl. Prohlubující se deficit v srpnu zastavily až srážky od 16. srpna. Na obr. 2 je srovnání úhrnů srážek od 1. 1. do 13. 12. 2015 s průměrem za roky 1961 až 2000 v procentech.

Díky těmto podmínkám dosahovaly hodnoty základní vláhové bilance v březnu průměrných hodnot, tomuto odpovídala i ZVVP v půdním horizontu. Průběh teplot vzduchu v dubnu vyvolával zvýšení hodnot evapotranspirace asi na polovině území Čech o 20 %, ale místy až o více než 40 %. Výskyt tropických veder zvyšuje deficit tak, že ke dni 12. 7. jsou místa, kde základní vláhová bilance má hodnoty pod -150 mm. Tento stav je po celý červenec s tím, že nehomogenitu tohoto pole způsobují lokální bouřky. Ovšem jejich ojedinělý výskyt neovlivňuje celkovou vláhovou bilanci, takže v polovině srpna překračuje na asi čtvrtině našeho území deficit hodnoty -200 mm. Přes výskyt srážek byly projevy zemědělského sucha na převážné části našeho území ještě v říjnu. Na severní Moravě potom až do konce roku 2015.

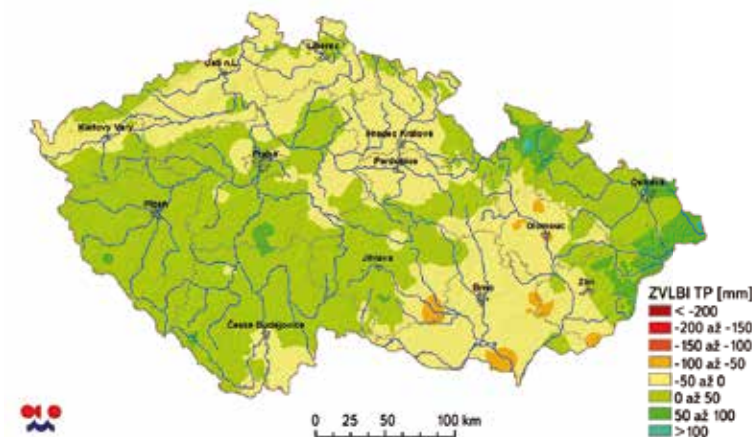
Jako mimořádné suchý se opět projevil na mnoha místech našeho území i rok 2017. Jak již bylo mnohokrát uvedeno, základem obsahu vody v půdě pro počátek vegetačního období jsou stavy počasí v průběhu zimy. Pokud jde o srážky, byly tyto za měsíce leden až březen na převážné části území Moravy, jižních a východních Čech v rozpětí 50 až 75 % dlouhodobého průměru, tedy podprůměrné. Na převážné části Čech potom činily 75 až 90 %, na některých místech odpovídaly dlouhodobému průměru. Ovšem díky nadprůměrným hodnotám teploty vzduchu dosahuje potenciální evapotranspirace v březnu na takřka celém území Moravy a Slezska přes 140 % oproti dlouhodobému průměru a v Čechách je to na více jak polovině území, jde převážně o střední a východní část Čech. ZVB_TP je za březen takřka na celém území v rozpětí od nuly po -50 mm.





Obr. 2. Mapa srovnání úhrnů srážek za období 1. 1. až 13. 12. 2015 s průměrem za roky 1961–2000 vyjádřeného v % (zdroj: ČHMÚ)

Fig. 2. Map comparing precipitation amount from Jan 1 to Dec 13, 2015 with the long-term average (1961–2000) expressed in % (source: CHMI)



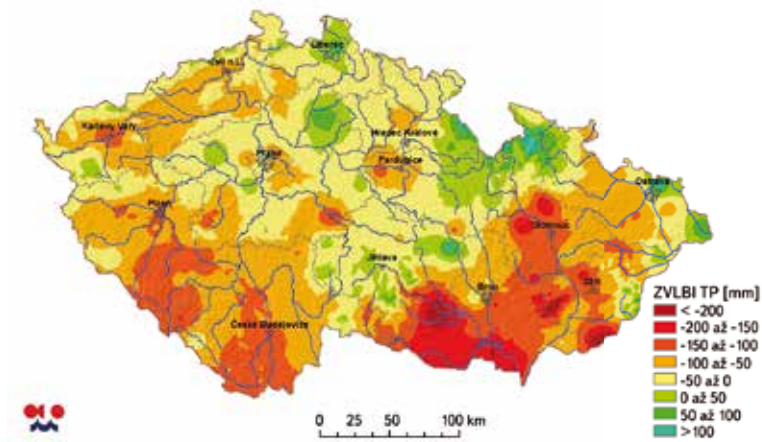
Obr. 3. Základní vláhová bilance území ČR (%), srovnání stavu od 1. 3. do 21. 5. 2017 k dlouhodobému průměru 1961 až 2010 (<http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#>)

Fig. 3. Basic water balance in the Czech Republic (%), comparison of values from Mar 1 to May 21, 2017 with the long-term average (1961–2010) (<http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#>)

Jestliže bereme duben jako první měsíc vegetačního období, potvrzuje se, že na jižní Moravě je duben často suchý. Plošná rozdílnost projevů počasí se v dubnu potvrdila. Díky nepravidelnému rozložení srážek, místy velmi nízkému, dochází v průběhu května k velkým rozdílům v hodnotách ZVB_TP. Je to dáno oproti průměru vyšší potenciální evapotranspirací na převážné části našeho území, místy přesahující 140 % dlouhodobého průměru. Nacházíme místa se srážkami k 150 % a naopak pouze k 50 % procentům oproti průměru.

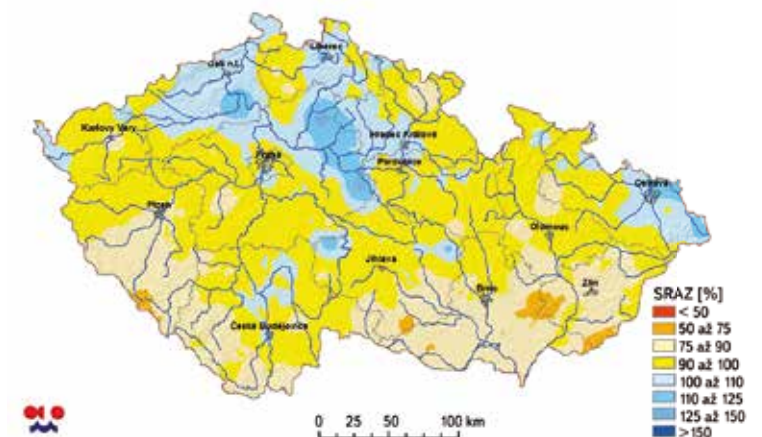
Přitom dostatek vody má pro většinu zemědělských plodin rozhodující význam. Jak vidíme na obr. 3, dochází v prvních třech týdnech května 2017 k deficitu ZVB_TP až k -100 mm na některých místech jižní a severní Moravy. V Čechách je od Podkrušnohoří přes severní oblasti až po východní Čechy stav mezi průměrem až -50 mm. Naopak od Prahy na jih a na severní Moravě je bilance kladná.

Nadprůměrné teploty v průběhu června a velmi rozdílné, ale převážně podprůměrné úhrny srážek však způsobují, že koncem června jsou místy hodnoty ZVB_TP na jihu Moravy, ale i Čech pod -100 mm, lokálně pod -150. Na jižní a střední části Moravy mají hodnoty pod 25 %, podobně jako dílčí území v Podkrušnohoří. Naopak střední Čechy v pásu až ke Krkonošům mají hodnoty



Obr. 4. Základní vláhová bilance území ČR (%), srovnání stavu od 1. 3. do 30. 7. 2017 k dlouhodobému průměru 1961 až 2010 (<http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#>)

Fig. 4. Basic water balance in the Czech Republic (%), comparison of values from Mar 1 to Jul 30, 2017 with the long-term average (1961–2010) (<http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#>)



Obr. 5. Rozložení úhrnů srážek na území ČR za období 1. ledna až 1. října 2017 (<http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#>)

Fig. 5. Precipitation distribution in the Czech Republic from Jan 1 to Oct 1, 2017 (<http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#>)

průměrné, místy až několik desítek nad dlouhodobým průměrem. V červenci jsou srážky srovnatelné s průměrem na většině území. Teploty vzduchu jsou vyšší od 1 °C až přes 2 °C na jihu Moravy. Tím je dáno, že na většině území jsou hodnoty ZVB pod -100 mm. Na převážné části jižní a střední Moravy a v jižních Čechách jsou nižší jak -150, lokálně na jižní Moravě pod -200 mm. Ovšem v některých oblastech, zvláště na severu Moravy je ZVB_TP v hodnotách průměru. Lokálně jsou tyto hodnoty i v Čechách (obr. 4).

Srpen má úhrny srážek významně rozdílné v Čechách, kde jsou např. na západě, ale i v jižních Čechách až o 50 % vyšší než průměrné, ovšem na většině území Moravy a Slezska je to jen mezi 50 až 70 %. Ale teploty vzduchu jsou zde vyšší o více než 2 °C nad průměrem, kdežto na západě Čech je to jen do +1,5 °C. Výsledek je jasný. Hodnoty potenciální evapotranspirace jsou na převážné části republiky nadprůměrné.

Mínusové hodnoty ZVB se prohlubují, takže deficit nižší než 200 mm je na větších plochách, mají ho lokality na střední i severní Moravě. Hodnoty pod -150 mm nacházíme v celé jižní části republiky, ale také na Karlovarsku. Pokud jde o ZVVP, je víceméně stejná situace jako v červnu, tedy na jižní a střední

Moravě jsou hodnoty stále pod 25 %, podobně jako dílčí území v Podkrušnohoří a na jihovýchod od Plzně. Mírně se zmenšila oblast s průměrnou hodnotou ve středních Čechách, ale v pásu u Podkrkonoší zůstávají místa s hodnotami ZVVP u středních půd až několik desítek % nad dlouhodobým průměrem. Podobně je tomu v oblasti Jeseníků a severovýchodních Beskyd.

Výskyt vydatných srážek na počátku září z části snížil vláhový deficit. Takřka na třetině území Čech byl v polovině září dosažen, popř. i překročen, dlouhodobý průměr srážkových úhrnů k 1. 10. 2018 (obr. 5). Na Moravě pouze v jižní a střední části byly oblasti s úhrny mezi 50 až 75 % průměru. Dochází tak ke zlepšení ZVB, když na severní části Čech a Moravy má hodnoty dlouhodobého průměru. Ovšem na jižní a střední Moravě, ale i v jižních Čechách jsou stále katastrofy, kde chybí více jak 200 mm. V těchto je i ZVVP nízká, pohybuje se mezi 25 až 50 %. Tyto hodnoty nacházíme i v okolí Prahy. Pokračující výskyty srážek pozvolna vylepšují množství vody v půdě v konci vegetačního období, tedy koncem září. Jen na Moravě se nachází několik míst, kde je výskyt srážek mezi 50 až 75 % průměru. V Čechách je na sever od Prahy výskyt přes 100 %, podobně na severovýchodě Moravy. Ovšem ZVB_TP se zlepšuje jen nepatrně, v podstatě se od poloviny září výrazně nemění.

ZÁVĚR

Při hodnocení množství vody v naší krajině musíme brát v úvahu, že extrémní ve výskytu srážek jsou v posledních letech stále dynamičtější. Prokazatelný je růst teploty vzduchu za období 1961 až 2010, ale naopak je statisticky potvrzený setrvalý stav ročních úhrnů srážek. Z těchto poznatků vyplývá, že se může zvyšovat četnost výskytů sucha, což uvedené hodnocení dokládají.

Potvrzuje se, že hodnoty základní vláhové bilance a zásoby využitelné vody v metrové vrstvě půdy s travním porostem jsou vhodným ukazatelem určení výskytu sucha a hodnocení jeho intenzity. Předložené výsledky potvrdily, že území ČR je z hlediska vláhové bilance velmi rozdílné. Vliv na toto rozložení má proměnlivý výskyt srážek, ale také hodnoty teploty vzduchu, které jsou v suchých letech, hlavně v letním období, mimořádně vysoké. Sucho má určitý kumulativní charakter, v nepříznivých podmínkách se jeho intenzita a dopady s každým dnem zvyšují. Následky potom mohou trvat dlouhou dobu po jeho ukončení.

Nástupy sucha i místa výskytu jsou v závislosti na srážkách proměnlivé, ale přesto můžeme uvést, že se sucho nejčastěji vyskytuje v našich nejteplejších oblastech s nejnižšími ročními úhrny srážek. Z hlediska udržení srážkové vody v naší krajině jsou důležité vlastnosti našich půd jak zemědělských, tak lesnických, na kterých hlavně probíhá vsakování. Proto je důležité přijetí opatření pro zlepšení infiltrační schopnosti a zvýšení retenční kapacity těchto půd do původního stavu.

Souvisí s tím i opatření pro snížení eroze půdy, protože orníční horizont má tuto kapacitu významně vyšší než na erodovaných půdách, kde horní vrstvu tvoří podorniči. Zvýšení členitosti naší krajiny přispěje ke snížení odtoku vody.

Podle výsledků klimatologických modelů by mohlo dojít ke vzrůstu průměrných ročních teplot koncem tohoto století až o více než dva stupně, ale srážkové úhrny budou víceméně shodné se současnými. Z toho plyne jeden významný poznatek, že na našem území by se mohly významně snižovat hodnoty vláhové bilance, a to znamená zvyšování jak intenzity, tak četnosti výskytu sucha. Pro snížení negativních dopadů změn klimatu bychom měli konat preventivní kroky, aby se nedostatek vody nestal bezpečnostním rizikem.

Poděkování

Průspěvek byl vypracován s podporou projektu NAZV registrační číslo QK1720285 „Metody korekce vláhových potřeb plodin zohledňující scénáře změn klimatu území ČR pro optimalizaci managementu závlah“.

Tento článek byl zpracován na základě příspěvku, který byl publikován ve sborníku konference Vodní nádrže 2017, ISBN 978-80-905368-5-2.

Literatura

- [1] ŽIDEK, D. a LIPINA, P. *Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČHMÚ. Metodický předpis č. 13*, Ostrava: ČHMÚ, 2003. 90 s.
- [2] TOLASZ, R. a kol. *Atlas podnebí Česka*. ČHMÚ, Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1 (CHMI), 978-80-244-1626-7 (UP).
- [3] STŘEŠTÍK, J., ROŽNOVSKÝ, J., ŠTĚPÁNEK, P. a ZAHRADNÍČEK, P. Změna ročních a sezonních srážkových úhrnů v České republice v letech 1961–2012. In: *Extrémy oběhu vody v krajině*, Mikulov, 2014 b. (CD-ROM).
- [4] BRUTSAERT, W. *Evaporation into the Atmosphere*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 1982, p. 299.
- [5] KRÍŽ, H. Výpar v povodí Moravy a Horní Odry. In: *Sborník prací Hydrometeorologického ústavu Československé socialistické republiky*, Praha: ČHMÚ, 1966, sv. 8, s. 34–58.
- [6] BUCHTELA, Š. Výparoměrná stanice Hlasivo. In: ROŽNOVSKÝ, J. a LITSCHMANN, T. *Seminář „Evaporace a evapotranspirace“ [online]*. [cit. 16. 8. 2011]. 2005. Dostupné z: <http://cbks.cz/sbornik05/prispevky.htm>
- [7] ALLEN, R.G. and PRUITT, W.O. FAO-24 reference evapotranspiration coefficients. *Journal Irrig. and Drainage Engineering*, ASCE vol. 117, No. 5, 1991, p. 758–773.
- [8] KNOZOVÁ, G., ROŽNOVSKÝ, J. a KOHUT, M. Srovnání časových řad výparu naměřeného výparoměrem GGI-3000 a vypočítaného podle metodiky FAO. In: ROŽNOVSKÝ, J. a LITSCHMANN, T. (ed): *Bio-klimatologie současnosti a budoucnosti*. Křtiny 12.–14. 9. 2005. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/sbornik05b/knozovaRoznovskyKohut.pdf>
- [9] LAPIN, M. Zhodnocení výparu GGI–3000 na Slovensku za období 1969–1973. *Meteorologické Zprávy*, 1977, roč. 30., č. 6, s. 168–174. ISSN 0026-1173.
- [10] KOHUT, M., ROŽNOVSKÝ, J., KNOZOVÁ, G. a BRZEZINA, J. *Měření výparu z vodní hladiny automatizovaným výparoměrem EWM v České republice*. Práce a studie. Praha, 2016.
- [11] MONTEITH, J.L. and UNSWORTH, M.H. *Principles of Environmental Physics*. London: Edward Arnold, 1990. 2nd ed., p. 291.
- [12] KOHUT, M., ROŽNOVSKÝ, J. a KNOZOVÁ, G. *Měření výparu z vodní hladiny výparoměrem GGI–3000 v České republice*. Práce a studie 35. Praha: ČHMÚ, 2013, 95 s. ISBN 978-80-87577-16-5. ISSN 1210–7557.
- [13] STŘEŠTÍK, J., ROŽNOVSKÝ, J., ŠTĚPÁNEK, P., and ZAHRADNÍČEK, P. Increase of annual and seasonal air temperatures in the Czech Republic during 1961–2010. In: ROŽNOVSKÝ, J. and LITSCHMANN, T. eds. *Mendel and Bioclimatology. Conference proceedings, Brno, 3rd–5th Sep. 2014 [CD-ROM]*. Brno: 2014. ISBN 978-80-210-6983-1.
- [14] ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., and SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization. *FAO Irrigation and Drainage Papers*, 1998, No. 56, p. 301.
- [15] BOS, M.G., VOS, J., and FEDDES, R.A. *CRIWAR 2.0. A simulation model on Crop Irrigation Water Requirements*. Wageningen: ILRI publication 46, 1996, p. 117.
- [16] PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, 1948, vol. 193, No. 1032, p. 120–145.
- [17] ROŽNOVSKÝ, J. a kol. Agroklimatologická studie o výskytu sucha na území ČR v roce 2012 a za období srpen 2011 až srpen 2012. *Zpráva pro Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy*. Brno: ČHMÚ, pobočka Brno, 2012, 67 s.
- [18] KURPELOVÁ, M., COUFAL, L. a ČULÍK, J. Agroklimatické podmienky ČSSR. Bratislava: Hydrometeorologický ústav, 1975. 270 s.
- [19] DOORENBOS, J. and PRUITT, W.O. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper 24, 2nd ed. FAO, 1977, p. 156.
- [20] VOPRAVIL, J. a kol. *Půda a její hodnocení v ČR*. Díl I. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., Praha, 2. vydání, 2010. 147 s. ISBN 978-80-87361-05-4.
- [21] BURMAN, R. and POCHOP, L.O. *Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data*. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 1994, p. 275.
- [22] ŠTĚPÁNEK, P. and ZAHRADNÍČEK, P. Experiences with quality control and homogenization of daily series of various meteorological elements in the Czech Republic, 1961–2007. In: *Proceedings of the Sixth seminar for homogenization and quality control in climatological databases (Budapest, 25–30. May 2008)*, WCDMP, WMO, Genova. 2008.
- [23] NOVÁK, V. *Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania*. Bratislava: SAV, 1995. 260 s.

Autoři

RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc.^{1,2}

✉ roznovsky@chmi.cz

RNDr. Filip Chuchma¹

✉ filip.chuchma@chmi.cz

Ing. Rostislav Fiala¹

✉ rostislav.fiala@chmi.cz

RNDr. Mojmír Kohut, Ph.D.¹

✉ mojmir.kohout@chmi.cz

¹Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

²Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta

Příspěvek prošel lektorským řízením.

WATER BALANCE – EXPRESSION OF THE AMOUNT OF WATER IN LANDSCAPE

ROZNOVSKY, J.^{1,2}; CHUCHMA, F.¹; FIALA, R.¹; KOHUT, M.¹

¹Czech Hydrometeorological Institute, Brno Branch

²Mendel University in Brno, Faculty of Horticulture

Keywords: water balance – precipitation amount – potential evapotranspiration – drought

Course of the weather in the last years shows that variability of the weather increases and this also leads to a higher frequency of floods, as well as drought. Drought, regardless of its type, means that there is a lack of water in landscape. The question is how to express the amount of water in landscape in the most suitable way. The Brno branch office of the Czech Hydrometeorological Institute uses the AVISO model to calculate basic water balance in weekly steps for grassland, expressed by the difference between precipitation amount and potential evapotranspiration. The calculation uses daily values of sunshine duration, air temperature and humidity and wind speed. The basic assumption of extraordinary drought is low precipitation amount and longer periods without rain. However, high air temperatures also have an effect. Analysis of years with extraordinary drought shows that the course of water balance deficit is different in each year. By the end of vegetation period the deficit is even over 200 mm.