



# Sucho 2014-2018

sborník abstraktů



Červen 2019

## OBSAH

<b>Zhodnocení vývoje povrchových vod v roce 2018.....</b>	<b>3</b>
<i>Pavel Kukla, Miloň Boháč, Hana Kourková, Petr Šercl</i>	
<b>Zhodnocení stavu podzemních vod v roce 2018 a trendů vývoje.....</b>	<b>8</b>
<i>Radek Vlnas, Lenka Černá, Martin Zrzavecký</i>	
<b>Vyhodnocení změn výskytu sucha v dlouhodobé perspektivě.....</b>	<b>11</b>
<i>Martin Hanel, Oldřich Rakovec, Yannis Markonis, Vojtěch Moravec, Petr Mácal, Jan Kyselý, Luis Samaniego, Rohini Kumar</i>	
<b>Sucho jako přírodní riziko – aktualizace Komplexní studie.....</b>	<b>14</b>
<b>dopadů změny klimatu</b> <i>Jan Daňhelka</i>	
<b>HAMR: on-line systém pro zvládání sucha.....</b>	<b>18</b>
<i>Adam Vizina, Martin Hanel, Miroslav Trnka, Jan Daňhelka a kolektiv</i>	
<b>Výpar z vodních ploch a odtok.....</b>	<b>22</b>
<i>Petra Fialová, Adam Beran, Ladislav Kašpárek, Adam Vizina, Roman Kožíň</i>	
<b>Aktualizace Strategie a Národního akčního plánu přizpůsobení se změně klimatu.....</b>	<b>25</b>
<i>Jakub Horecký, Linda Stuchlíková</i>	
<b>Zemědělské sucho v kontextu změny klimatu.....</b>	<b>28</b>
<i>Miroslav Trnka, Petr Hlavinka, Jan Balek, Pavel Zahradníček, Petr Štěpánek, Martin Možný, Monika Bláhová, Daniela Semerádová, Lucie Kudláčková, Zdeněk Žalud</i>	
<b>Projevy sucha v dlouhodobé bilanci půdní vody v malém zalesněném povodí.....</b>	<b>31</b>
<i>Václav Šípek, Jitka Kofroňová, Miroslav Tesař</i>	
<b>Chytrá krajina – pilotní projekt Amálie.....</b>	<b>35</b>
<i>Petr Máca, Václav Hradílek, Vojtěch Moravec, Martin Vokoun, Martin Heřmanovský, Vojtěch Havlíček, Martin Hanel</i>	

## Zhodnocení vývoje povrchových vod v roce 2018

*Pavel Kukla, Miloň Boháč, Hana Kourková, Petr Šercl*

### Úvod

Rok 2018 byl z hlediska celkových srážkových úhrnů druhým nejsušším rokem (po roce 2003) od roku 1961 od počátku vyhodnocování. Současně letní období roku 2018 bylo spolu s rokem 2003 nejteplejším za totéž období. Rok 2018 tak byl dosavadním vyvrcholením řady málo vodných roků, které jsou pozorovány od roku 2014. Hydrologické sucho postihlo v roce 2018 prakticky celé území České republiky. Na většině vodních toků zaklesly jejich hladiny po dobu několika týdnů významně pod úroveň hydrologického sucha (355denní průtok). V mnoha povodích nejvíce zasažených suchem došlo k vyschnutí toků.

### Popis vývoje hydrologické situace

Vývoj hydrologické situace v roce 2018 je zobrazen na příkladu hydrogramu průměrných denních průtoků na Sázavě v profilu Zruč nad Sázavou, obr. 1. Na obr. 1 je pro srovnání zobrazen průběh průměrných denních průtoků v roce 2015 a také jsou v grafu pro porovnání znázorněny hodnoty dlouhodobého průměrného průtoků ( $Q_d$ ) a úrovně 355denního ( $Q_{355d}$ ) a 364denního průtoků ( $Q_{364d}$ ) za referenční období 1981–2010. Hodnoty na ose y grafu jsou pro větší přehlednost znázorněny v logaritmickém měřítku. Profil ve Zruč nad Sázavou byl vybrán proto, že reprezentuje profil s málo ovlivněným hydrologickým režimem a povodí horní Sázavy patřilo mezi povodí nejvíce postižená suchem.

Vývoj vodnosti v průběhu roku poznamenal především pokračující a prohlubující se deficit srážek (od roku 2014) a výrazně nadnormální teplota vzduchu od dubna až do listopadu. Sněhové zásoby na horách roztály velmi rychle v první polovině dubna. Tání sněhu nebylo doprovázeno významnými srážkami, ale pouze na danou dobu velmi vysokou teplotou vzduchu. Deficit srážek a velmi vysoké teploty vzduchu se projeví dalším poklesem zásob podzemních vod a dlouhodobým výskytem minimálních průtoků na tocích zejména v povodí Labe po soutok s Vltavou a na Českomoravské vrchovině v povodí Sázavy a sousedících povodí. Významné hydrologické sucho však zasáhlo i další oblasti, zejména severní pohraniční hory v Čechách a území jižní Moravy.

Ve výše zmíněných nejpostiženějších oblastech docházelo k poklesu hladin vodních toků již od druhé poloviny dubna a přes drobné výkyvy v průběhu roku zůstaly průtoky v oblasti minimálních hodnot až do konce listopadu 2018, viz obr.1.

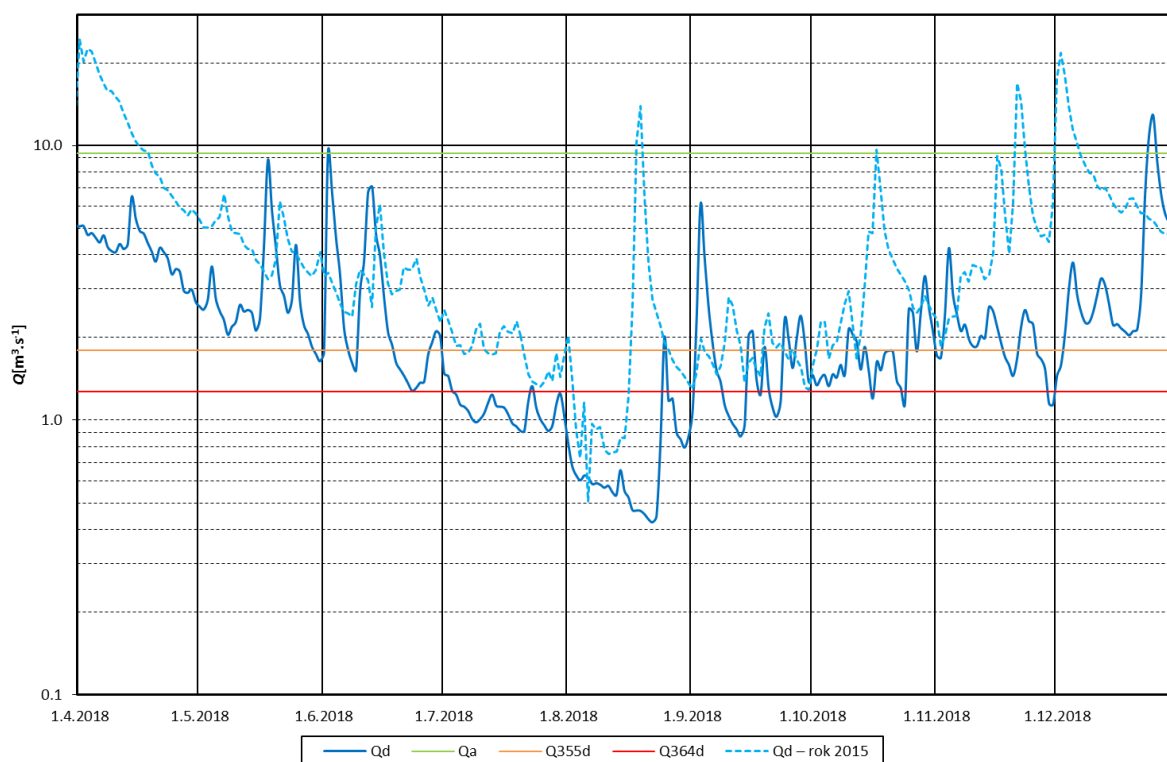
Hydrologickým suchem bylo v roce 2018 nejméně postiženo povodí Odry, kde počty dní s průtoky menšími než 355denní i 364denní průtok byly nejmenší, viz tab. 1. V této tabulce je pro vybrané profily zobrazen počet dnů s dosažením nebo podkročením průtoků o velikosti  $Q_{355d}$  a  $Q_{364d}$  za referenční období 1981–2010. Bylo to způsobeno relativně častým výskytem srážkových epizod převážně konvektivního typu v průběhu května i června. Asi nejvýznamnější srážková epizoda nastala 17. a 18. července, kdy v Moravskoslezských Beskydech a Slezských Beskydech srážkové úhrny za uvedené dva dny lokálně překročily 200 mm. V profilu Český Těšín na Olši hladina zaklesla pod úroveň 355denního průtoků až v druhé polovině srpna a období s nejmenšími průtoky zde trvalo od druhé poloviny září do konce druhé dekády října 2018. Na Odře ve Svinově byl počet dní s podkročením 355denního průtoků z vybraných profilů v tabulce 1 nejmenší a během září a října 2018 se průtoky pod touto hranicí prakticky neobjevily.

Z údajů v tabulce 1 vyplývá, že hydrologické sucho bylo v roce 2018 ve většině uvedených profilů významnější než v roce 2015. V některých profilech byl rozdíl v počtu dní s podkročením 355denního průtoku značný, např. na Sázavě ve Zručí nad Sázavou. Na Sázavě obecně byla situace patrně nejkritičtější. Dlouhodobé trvání velmi malých průtoků zde značně ovlivnilo i kvalitu vody. Dlouhodobé sucho se rovněž výrazně projevilo na tocích v povodí Labe nad soutokem s Vltavou, kdy např. na Jizeře v Železném Brodě došlo k podkročení 364denního průtoku ve 114 dnech.

Na většině vodních toků se průtoková minima vyskytovala během srpna, zejména v jeho druhé dekádě, kdy i řada vodotečí vyschla. Na prohloubení hydrologického sucha měl kromě nedostatku srážek značný vliv i velký výpar, způsobený vlnou veder v poslední dekádě července a v první dekádě srpna a obecně velký počet tropických dní v srpnu.

Poměrně významný nárůst průtoků v některých profilech na počátku září byl způsoben významnými srážkovými epizodami mezi 31. srpnem a 5. září 2018, které zasáhly především jih a jihovýchod území ČR. Hydrologické sucho na vodních tocích tak bylo krátkodobě zmírněno.

Nejvydatnější a i nejintenzivnější srážky se vyskytly 1. září na střední a jihovýchodní Moravě, kde za 24 hodin spadlo 50–85 mm. Intenzita srážek lokálně překročila i 40 mm/h. Odtoková odezva byla sice zřetelná, byly dosaženy 1. i 2. SPA, ale podíl odtokové vody ze srážek na povodích o velikostech několika desítek km<sup>2</sup> nepřesáhl 10 %. Znovu se ukázalo, že vyschlá krajina má po dlouhodobém teplém a suchém období vysokou retenční schopnost a většinu srážkové vody pojme.

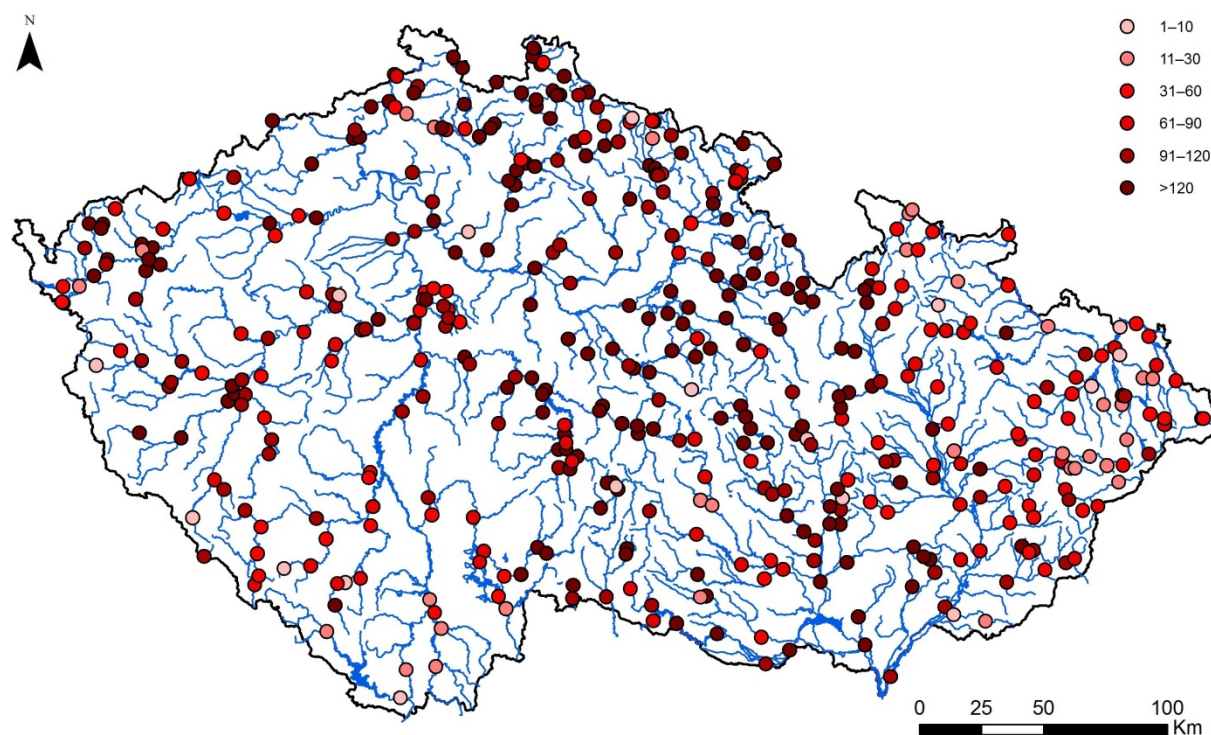


Obr. 1 Průběh průměrných denních průtoků ( $Q_d$ ) na Sázavě v profilu Zruč nad Sázavou v roce 2018 a v roce 2015.

Tab. 1 Vybrané profily s počtem dní dosažení nebo podkročení  $Q_{355d}$  a  $Q_{364d}$  za kalendářní roky 2015 a 2018.

Tok	Profil	Plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	Počet dnů s $Q_{355d}$ a menším [dny]		Počet dnů s $Q_{364d}$ a menším [dny]	
			rok 2015	rok 2018	rok 2015	rok 2018
Orlice	Týniště nad Orlicí	1 554,2	98	160	55	101
Jizera	Železný Brod	791,3	93	140	67	114
Labe	Kostelec nad Labem	13 183,7	111	176	15	70
Lužnice	Bechyně	4 057,1	70	57	36	34
Blanice	Blanický Mlýn	85,5	79	140	44	80
Sázava	Zruč nad Sázavou	1 420,7	57	126	14	72
Berounka	Beroun	8 286,3	86	104	14	30
Odra	Ostrava-Svinov	1 613,7	76	33	28	10
Olše	Český Těšín	384,6	92	56	54	30
Morava	Strážnice	9 144,8	50	114	0	36

Na obr. 2 je znázorněn ve vybraných vodoměrných profilech počet dní dosažení nebo podkročení průtoku  $Q_{355d}$  v roce 2018. Na první pohled je zřejmé, že vodoměrné profily s nejvyšším dosaženým počtem dní s průměrným denním průtokem menším nebo rovným průtoku  $Q_{355d}$  se vyskytovaly převážně ve střední a severní části území ČR, a to především v povodí Orlice, Loučné, Chrudimky, Doubravy, Jizery, Sázavy, Smědé, Lužické Nisy, Svitavy, Svratky a Dyje a jejich přítoků. Doba trvání takto malých průtoků byla ve 177 vodoměrných stanicích delší, než doba odpovídající přibližně jedné třetině roku (120 dní).



Obr. 2 Počet dnů s dosažením nebo podkročením průtoku  $Q_{355d}$  v roce 2018.

## Analýza extremity minimálních průtoků

Za účelem posouzení významnosti sucha v roce 2018 byl proveden statistický odhad extremity 7denních a 30denních minimálních průtoků ve vybraných vodoměrných stanicích. Výsledky shrnuje tabulka 2, ve které je uvedeno u vybraných vodoměrných profilů datum výskytu (střed intervalu) 7denního a 30denního minimálního průtoků, jeho velikost a doba opakování odvozená z funkce nedostoupení minimálních průtoků.

Doba opakování minimálních průtoků byla počítána za období od počátku pozorování do roku 2018 včetně. Největší extremita hydrologického sucha byla zaznamenána na Sázavě ve Zruči nad Sázavou a na Moravě ve Strážnici, kde vychází doba opakování minimálních 7denních a 30denních průtoků větší než 100 let. Na Lužnici v Bechyni je doba opakování 7denních průtoků 50–100 let, resp. větší než 100 let pro 30denní minima. Výrazné sucho bylo též na Orlici v Týništi nad Orlicí s dobou opakování 20let, resp. 20–50 let a na Jizeře v Železném Brodě bylo dosaženo pro obě hodnocená vícedenní minima 20–50 let. Na Otavě v Písku bylo dosaženo pro obě vícedenní minima 10–20 let. Na Odře v Ostravě-Svinově vychází doba opakování 7denních minim 10–20 let, resp. 5 let pro 30denní minima a na Bečvě v Dluhonicích 5–10 let, resp. 5 let.

Tab. 2 Doba opakování 7denních a 30denních minimálních průtoků ve vybraných profilech.

Tok	Profil	Počátek časové řady $Q_d$	7denní roční minima			30denní roční minima		
			Datum	$Q$ [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	$N$ [roky]	Datum	$Q$ [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	$N$ [roky]
Orlice	Týniště n. Orlicí	1911	16. 10.	2,05	20	3. 8.	2,35	20–50
Jizera	Železný Brod	1912	11. 10.	2,49	20–50	1. 8.	2,74	20–50
Lužnice	Bechyně	1911	10. 8.	1,12	50–100	3. 8.	1,20	>100
Otava	Písek	1912	25. 8.	4,33	10–20	2. 8.	5,20	10–20
Sázava	Zruč n. Sázavou	1943	17. 8.	0,453	>100	26. 7.	0,664	>100
Odra	Ostrava-Svinov	1923	18. 8.	0,502	10–20	27. 7.	1,22	5
Bečva	Dluhonice	1920	19. 8.	1,29	5–10	5. 11.	1,90	5
Morava	Strážnice	1921	18. 8.	3,27	>100	3. 8.	3,97	>100

## Závěr

Rok 2018 lze považovat doposud za vyvrcholení pětiletého období, které charakterizuje srážkový deficit, malá celková vodnost toků a dlouhé období trvání minimálních průtoků v letních měsících. Hydrologické sucho postihlo v roce 2018 s větší či menší intenzitou prakticky celé území České republiky. Na většině vodních toků jejich hladiny zaklesly po dobu několika týdnů významně pod úroveň 355denního průtoků, a v mnoha profilech i pod úroveň 364denního průtoků, což dokládají vyhodnocené průtoky ve vodoměrných stanicích i měření provedená v terénu. V některých regionech, zejména na tocích v povodí Sázavy a v sousedních povodích, došlo i k úplnému vyschnutí některých toků.

Hydrologické sucho v roce 2018 bylo způsobeno nedostatkem srážek, abnormálně vysokou teplotou a s tím spojeným vysokým výparem z krajiny, hladin vodních toků a vodních ploch. K výskytu extrémních hodnot minimálních průtoků v roce 2018 rozhodující měrou přispěla kombinace srážkového deficitu od roku 2014, malého množství sněhu v posledních zimních obdobích a dlouhodobě nadnormálních průměrných teplot vzduchu, což způsobilo postupné zmenšování zásob podzemních vod, z kterých jsou vodní toky napájeny v delších obdobích bez výskytu srážek.

Vodní nádrže s významným zásobním prostorem přispěly ke zmírnění hydrologického sucha nadlepšováním minimálních průtoků.

Fyzickogeografické a klimatické poměry České republiky a různá míra antropogenního ovlivnění průtoků způsobují, že hydrologický režim minimálních průtoků je regionálně odlišný. Hodnotit extremitu hydrologického sucha v roce 2018 celoplošně je proto poměrně obtížné. Z provedených hodnocení vyplývá, že doba opakování 30denních a 7denních ročních průtokových minim za rok 2018 se pohybuje v širokém rozmezí od 5 let až po více jak 100 let. Přesto lze konstatovat, že hydrologické sucho v roce 2018 bylo na většině území ČR významnější než sucho v roce 2015.

## **Literatura**

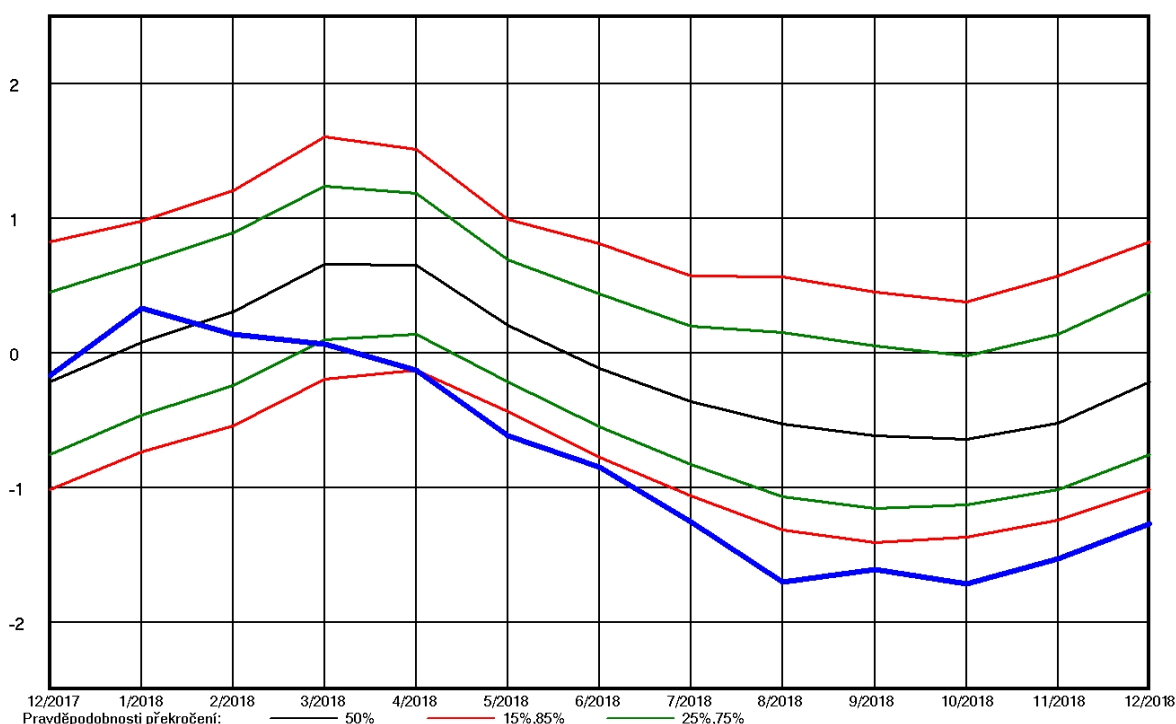
Daňhelka, J. a kol. (2019) Sucho v roce 2018 – předběžné vyhodnocení, ČHMÚ, Praha, 85 s.

## Zhodnocení stavu podzemních vod v roce 2018 a trendů vývoje

Radek Vlnas<sup>1</sup>, Lenka Černá<sup>2</sup>, Martin Zrzavecký<sup>3</sup>

Český hydrometeorologický ústav<sup>1,2,3</sup>

Sucho roku 2018 lze hodnotit jako nejhorší od roku 1981. Z grafu na obrázku 1 je patrný zvyšující se deficit mělkých zvodní podzemních vod již od počátku roku 2018. Příznivý stav hladin v lednu a únoru byl rychle vystřídán velmi nízkými stavy. Podle percentilů dlouhodobých charakteristik, vyznačených v grafu, nastávají obvyklá roční maxima v jarním období (březen, duben). Na jaře v roce 2018 však byla hladina mělkých vrtů (modrá čára) na neobvykle nízké úrovni a už koncem dubna se ocitly hladiny téměř poloviny mělkých vrtů na hodnotách kolem 85% pravděpodobnosti překročení, tedy na úrovni silného sucha. Ani další měsíce nepřinesly zlepšení a úroveň mělkých hladin klesala s větší intenzitou, než je pro dané období obvyklé.



Obr. 1 Průměrná standardizovaná úroveň hladin mělkých vrtů hlásné sítě pro celou ČR v roce 2018 (modře) ve srovnání s dlouhodobými hodnotami za období 1981–2010. Svislá osa vyjadřuje směrodatnou odchylku. Černě je pravděpodobnost překročení 50 %, zeleně 25 a 75 % a červeně 15 a 85 %.

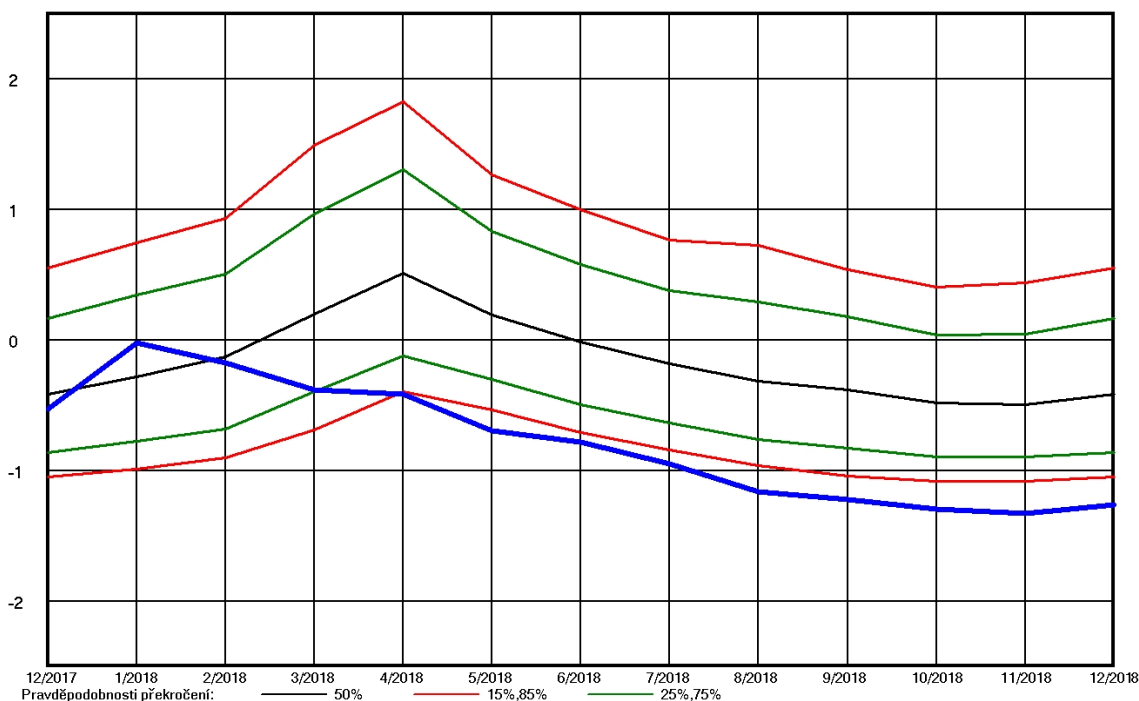
V tab. 1 je uveden podíl mělkých vrtů hlásné sítě s nejnižší úrovní hladiny vyjádřený v procentech počtu sledovaných objektů ve vybraných suchých letech. Je zde patrný výrazný nárůst počtu extrémně nízkých úrovní hladin v průběhu léta a podzimu 2018, který trval až do konce roku.



Tab. 1 Podíl mělkých vrtů (% objektů) hlásné sítě s historicky minimální úrovní hladiny ve vybraných suchých letech období 1981–2018.

	1984	1985	1991	1992	1993	2007	2009	2014	2015	2016	2017	2018
leden	12	11	3	2	3	2	11	2	0	15	13	1
únor	11	4	11	3	4	0	6	3	1	7	23	1
březen	19	1	16	3	5	1	3	19	3	1	4	2
duben	10	0	15	2	5	7	2	25	1	3	4	4
květen	7	1	8	1	10	9	3	10	2	4	1	20
červen	5	1	3	3	11	12	2	5	4	3	8	19
červenec	3	1	3	3	9	10	1	4	9	2	7	25
srpen	2	1	1	9	6	7	0	1	8	0	3	42
září	2	0	3	11	6	1	3	0	11	1	4	34
říjen	2	0	4	11	4	1	1	0	11	1	3	36
listopad	2	1	3	5	3	1	1	0	9	2	1	36
prosinec	3	1	5	2	3	1	0	1	6	3	1	32

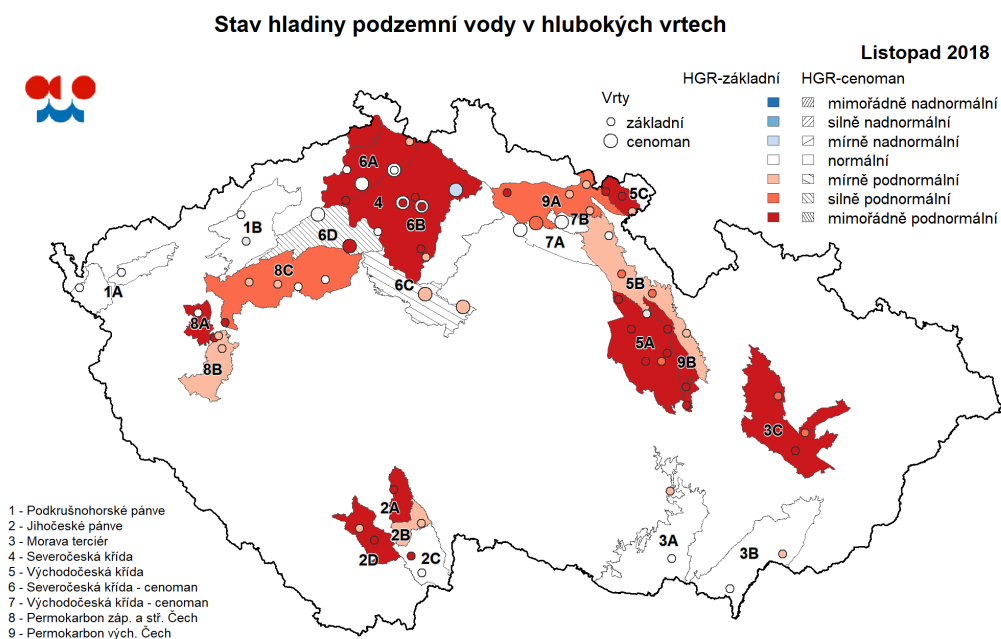
Velmi podobný průběh byl zaznamenán i u vydatnosti pramenů (obr. 2). Z poměrně příznivých hodnot vydatnosti na počátku roku se již od února výrazně zvyšoval její deficit. V době obvyklých jarních maxim (duben) byl již průměr vydatností pro ČR silně až mimořádně podnormální, s vydatností 40 až 60 % pramenů nižší než 85% pravděpodobností překročení. Zmenšování vydatnosti pokračovalo i v dalších měsících s celkově mírně větší intenzitou, než je pro dané měsíce obvyklé.



Obr. 2 Průměrná standardizovaná vydatnost pramenů hlásné sítě pro celou ČR v roce 2018 (modře) ve srovnání s dlouhodobými hodnotami za období 1981–2010. Svislá osa vyjadřuje směrodatnou odchylku. Černě je pravděpodobnost překročení 50 %, zeleně 25 a 75 % a červeně 15 a 85 %.

Sucho trvající již několik let v řadě se již promítlo také do deficitu hlubokých zvodní. Stav úrovní hladin hlubokých zvodní byl na začátku roku 2018 převážně normální, mírně nadnormální byl v části východočeské křídly (skupina hg rajonů 5B) a cenomanu severočeské křídly (6B). Sucho se začalo projevovat od března a výrazněji od dubna (Obr. 7.3.1), kdy mírně podnormální byl stav části jihočeských pánví (2A), středočeského permokarbonu (8C) a moravského terciéru (3C) a mimořádně podnormální byla část severočeské (4) a východočeské (5A) křídly. Celkově byl v dubnu stav úrovní hladiny 8 % hodnocených hlubokých vrtů mimořádně podnormální, silně podnormálních bylo 11 % vrtů, mírně podnormálních bylo 14 % a 65 % vrtů bylo normálních.

Od dubna se sucho v hg rajonech základní vrstvy dále prohlubovalo a vrcholilo v říjnu až prosinci. Pokles úrovní hladin v listopadu dokládá obr 3, kdy celkově byl stav 34 % hodnocených hlubokých vrtů mimořádně podnormální, silně podnormálních bylo 9 % vrtů, mírně podnormálních bylo 26 %, 29 % vrtů bylo normálních a pouze 1 vrt byl mírně nadnormální. Mimořádně podnormální úrovně hladiny byly v listopadu vyhodnoceny v části severočeské křídly (4), východočeské křídly (5A, 5C), moravského terciéru (3C), východočeského permokarbonu (9B) a jihočeských pánví (2A, 2D). Jako silně podnormální byl hodnocen stav části středočeského (8C) a východočeského (9A) permokarbonu.



Obr. 3 Stav hladiny podzemních vod v hlubokých vrtech v listopadu 2018. Agregováno také na skupiny hydrogeologických rajonů.

**Keywords: (max 5 slov):** sucho, vrty, prameny

#### Literatura:

Sucho v roce 2018. Předběžná zpráva. ČHMÚ 2019. 2019-03-13. Dostupné z [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove\\_zpravy/2019/Predbezna\\_zprava\\_o\\_suchu\\_2018.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2019/Predbezna_zprava_o_suchu_2018.pdf)

#### Kontakt:

Ing. Radek Vlnas, Český hydrometeorologický ústav  
 Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany  
 Telefon: +420 244 032 351, e-mail: radek.vlnas@chmi.cz

## Vyhodnocení změn výskytu sucha v dlouhodobé perspektivě

*Martin Hanel<sup>1,3</sup>, Oldřich Rakovec<sup>1,2</sup>, Yannis Markonis<sup>1</sup>,  
Vojtěch Moravec<sup>1,3</sup>, Petr Máca<sup>1</sup>, Jan Kyselý<sup>1,4</sup>, Luis Samaniego<sup>1,2</sup>, Rohini  
Kumar<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21  
Praha 6 – Suchdol

<sup>2</sup>Helmholtz Centre For Environmental Research, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig

<sup>3</sup>Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, v.v.i., Podbabská 30, 160 00 Praha 6

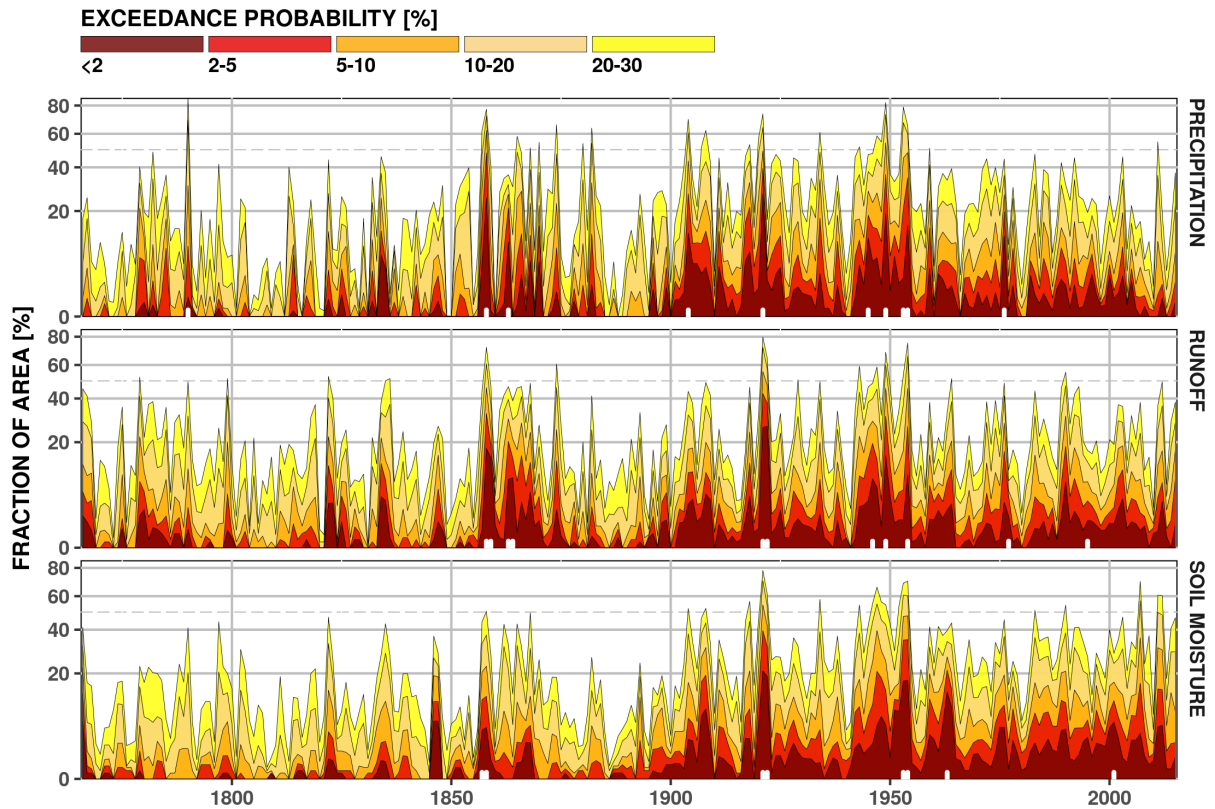
<sup>4</sup>Ústav fyziky atmosféry AV ČR v. v. i., Boční II 1401, 141 00 Praha 4-Spořilov

Evropská sucha z počátku 21. století jsou obecně považována za výjimečně závažná, s rozsáhlými dopady v řadě oblastí. Mluvíme-li v kontextu sucha o extrémech, tak v pravém smyslu tohoto slova je nutno uvažovat události, které se opakují jednou za desítky let. Nicméně období, vzhledem ke kterému závažnost současných událostí sucha posuzujeme, je omezeno dostupností pozorovaných dat a je tedy relativně krátké. V měřítku celé Evropy jsou tak současná sucha většinou posuzována vzhledem k hydroklimatickému vývoji po roce 1950.

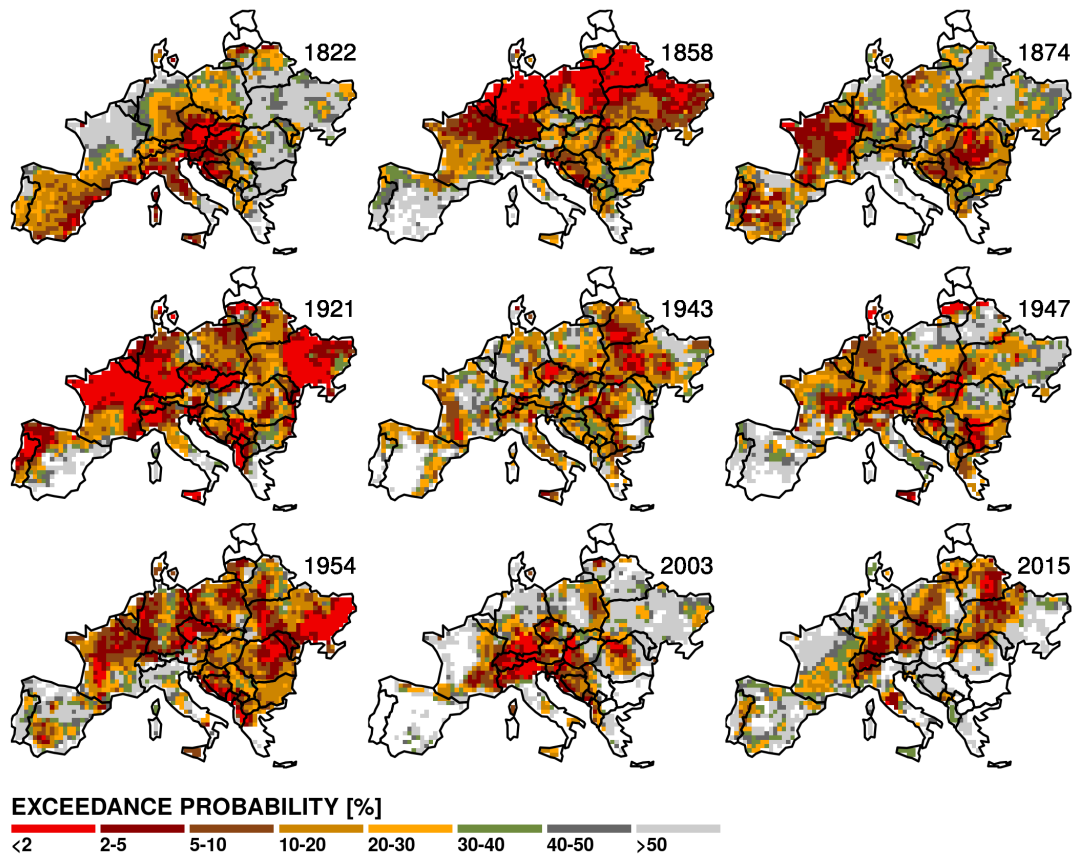
Tento příspěvek se zabývá vyhodnocením plošného rozsahu a závažnosti jednotlivých událostí sucha v Evropě během období 1766–2015, tedy 250 let. Na základě rekonstrukce srážek a teploty pro toto období byla provedena simulace hydrologické bilance a byla identifikována období s nedostatkem srážek (meteorologické sucho), nedostatkem vody v půdě (zemědělské sucho) a vody v tocích (hydrologické sucho). Metodiku práce i výsledky podrobněji popisují Hanel et al. (2018) a Moravec et al. (2019).

Jako obecně nejzávažnější byla vyhodnocena suchá období v letech 1858–59, 1921–22 a 1953 až 1954 (viz obr. 1–2). Výjimečnost těchto událostí spočívá zejména v rozsahu oblastí, ve kterých můžeme sucho považovat za extrémní. Například v roce 1921 byla více než polovina plochy kontinentální Evropy zasažena závažným (více než desetiletým) suchem, zatímco v letech 2003 a 2015 to byla zhruba pětina území. Pokud uvažujeme plochu zasaženou závažným suchem pouze na území České Republiky, jedná se o více než 90 procent v roce 1921 a kolem 50 procent v letech 2003 a 2015.

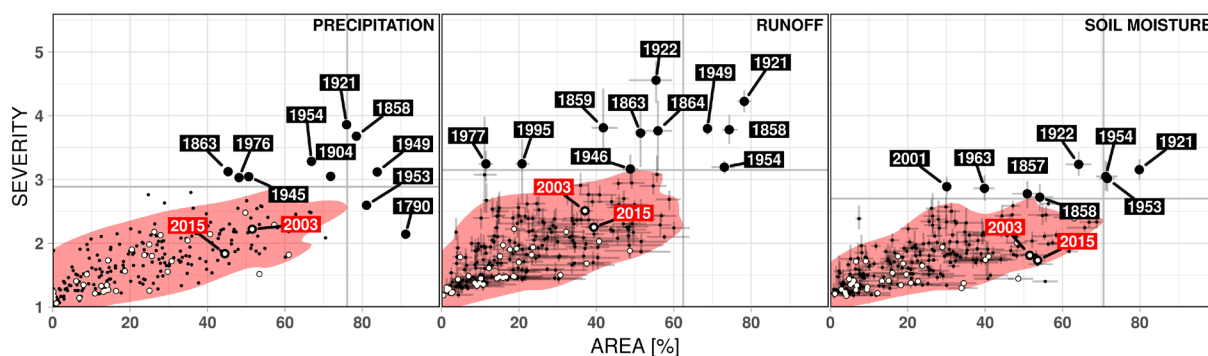
Extrémní události z období 1858–59, 1921–22 a 1953–54 patří všechny mezi tzv. “wet-to-dry season” sucha, tj. období, ve kterých se nedostatek srážek začíná objevovat na konci léta či během podzimu a přetrvává do dalšího roku, kdy se naplno projeví poklesem zásob půdní vody a průtoků (viz obr. 2). Události sucha v letech 2003 a 2015 jsou naproti tomu spojena s růstem teploty a nedostatkem srážek v letních měsících - patří mezi tzv. “vegetation period” sucha, která jsou v literatuře někdy označována také jako “flash droughts”. Pokud bereme v úvahu pouze tento typ such, můžeme konstatovat, že sucha 2003 a 2015 byla naopak jedna z nejzávažnějších během celého uvažovaného období. To je způsobeno zejména růstem teploty, který lze pozorovat od devadesátých let. Intenzita současných období sucha v Evropě se ve většině oblastí zatím nepřibližuje hodnotám pozorovaných v letech 1858–59, 1921–22 a 1953 až 1954 zejména díky alespoň částečné kompenzaci deficitů srážek, zásoby vody ve sněhu a v půdě během zimních období. V případě závažnějšího výpadku zimních srážek nicméně můžeme očekávat, že současné sucho, navíc podpořené růstem teploty, může těchto intenzit v následujících letech dosáhnout.



Obr. 1 Poměr plochy zasažené různě intenzivním suchem pro meteorologické (nahore), hydrologické (uprostřed) a zemědělské sucho.



Obr. 2 Vybrané události sucha v Evropě.



Obr. 3 Závislost plochy a intenzity sucha pro meteorologické, hydrologické a zemědělské sucho. Černě je vyznačeno cca 10 % nejhorších událostí. Bíle jsou znázorněny události způsobené suchem ve vegetačním období.

Nic rovněž nenaznačuje tomu, že by výskyt podmínek vedoucích ke vzniku závažných událostí sucha s vysokou dobou opakování, tedy zejména dlouhodobý deficit srážek, měl být v budoucnosti méně pravděpodobný. Naopak lze konstatovat, že kvůli vyššímu výparu souvisejícímu s růstem teploty, který bude pravděpodobně pokračovat i v následujících desetiletích, budou dopady proti minulým obdobím zesíleny, přinejmenším u méně extrémních such.

#### Keywords:

rekonstrukce sucha; typologie sucha; extrémní události

#### Literatura:

Hanel, M., Rakovec, O., Markonis, Y., Máca, P., Samaniego, L., Kyselý, J., & Kumar, R. (2018). Revisiting the recent European droughts from a long-term perspective. *Scientific reports*, 8(1), 9499.

Moravec, V., Markonis, Y., Rakovec, O., Kumar, R., & Hanel, M. A 250-year European drought inventory derived from ensemble hydrologic modelling. *Geophysical Research Letters*, 46, 2019GL082783.

#### Kontakt:

Doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D., FŽP ČZU  
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6  
Telefon: +420 224 382 959, hanel@fzp.czu.cz

## Sucho jako přírodní riziko – aktualizace Komplexní studie dopadů změny klimatu

Jan Daňhelka<sup>1</sup>

Český hydrometeorologický ústav

Dlouhodobé sucho bylo zařazeno mezi přírodní hrozby, pro něž jsou zpracovávány krizové plány, navíc období posledních 5 let zvýšilo vnímání sucha jako společenského problému. Sucho jednoznačně v minulosti představovalo zásadní hrozbu pro zemědělské společnosti, které v řadě oblastí světa zanikly v období výskytu suchých period, lze tedy předpokládat, že sucho k jejich kolapsu minimálně přispělo. V dnešní době je problém dopadů sucha s pomocí vyspělých technickým možností společnosti velmi dobře řešitelný, tedy alespoň v míře, jíž prozatím evropská společnost čelí. Jaké je tedy riziko sucha?

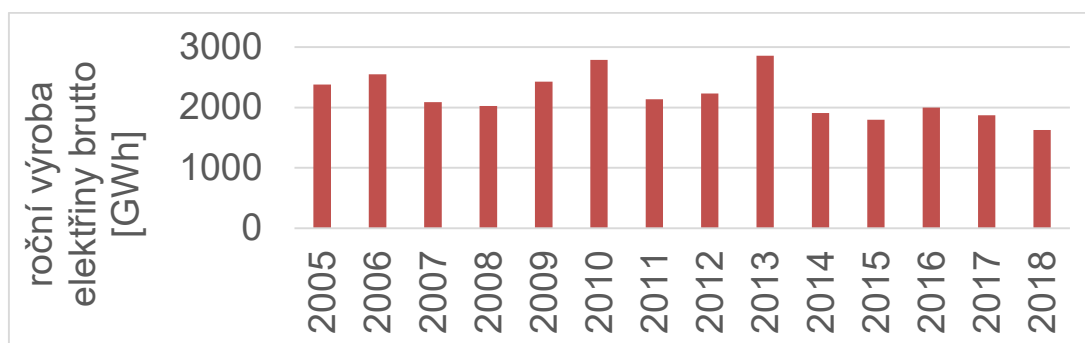
Riziko je v literatuře definováno jako „*potenciální ztráta na životech, zdraví či majetku, která postihuje systém, společnost, komunitu v určitém časovém období, a které je vyjádřeno pravděpodobnostně jako funkce pravděpodobnosti výskytu jev, expozice vůči jeho působení, zranitelnosti a kapacit dopadům jevu čelit.*“ (UN, 2016).

Je zjevné, že z hlediska sucha je aplikace této definice poněkud méně přehledná ve srovnání s jednorázovými událostmi typu povodní, kde je pravděpodobnost výskytu i dopady bezprostředně mnohem zjevnější. Ostatně i v případě zmiňovaných kolapsů některých starých civilizací příspěvek sucha nebyl v podobě jednoleté neúrody a spíše v podobě dlouhodobého stresu.

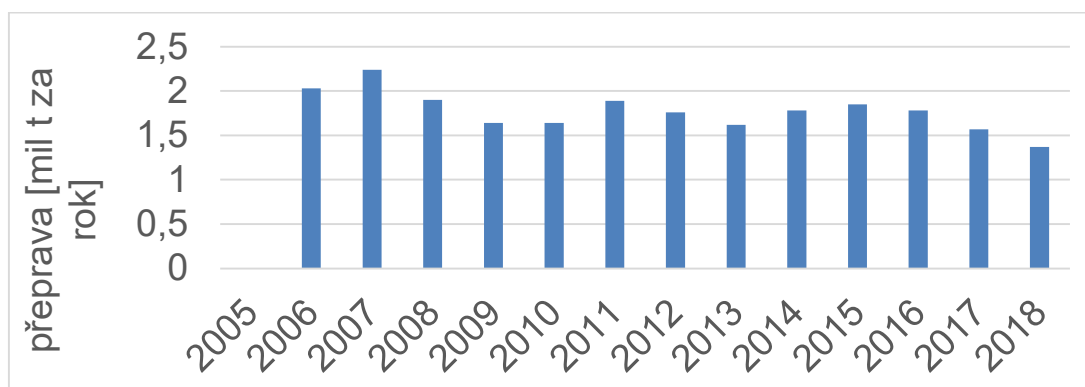
**Pravděpodobnost výskytu sucha** je v našich podmínkách obtížně hodnotitelná, neboť sucho u nás má řadu podob a projevů, které nelze postihnout jednoduchým vyhodnocením doby opakování. To je sice možné udělat samostatně pro deficit srážek, velikost průtoku, či stav podzemních vod aj., ale komplexní ukazatel není k dispozici. Navíc jsou jednotlivé projevy vůči sobě časově a prostorově posunuty.

**Expozice vůči působení sucha** je rozdílná pro různé aktivity a liší se i v prostoru (zejména v závislosti na nadmořské výšce a „vzdálenosti od vodních toků“), nicméně lze říci, že sucho se většinou vyskytuje spojitě na velké ploše. Zejména v případě expozice však je vhodné odmyslet si moderní prostředky zásobování vodou a poté nám jako exponovaný vůči suchu např. na modelovém příkladu počátku 19. století vyjde většina obyvatelstva, která se se suchem musela potýkat ve smyslu poklesu zemědělské produkce, zhoršeném přístupu k pitné vodě apod.

**Zranitelnost vůči suchu** se v průběhu času výrazně zmenšila, zatímco pro středověkou společnost (zůstaneme-li geograficky v podmínkách střední Evropy) bylo sucho devastujícím jevem, který se projevil sice s určitým zpožděním, ale v poklesu dostupnosti potravin, někdy až v podobě hladomorů, omezen přístupu k pitné vodě, čtenějším výskytem nemocí apod. Dnes sucho v podstatě většina lidí v podobě přímých fyzických či ekonomických dopadů nezaznamená. Zásobování vodou probíhá, potraviny jsou k dispozici v dostatečném množství (v případě potřeby díky dovozu), k epidemiím nemocí nedochází. Dopady tak pocítují spíše vybrané ekonomické činnosti a podnikatelé – majitelé malých vodních elektráren, zemědělci, možná některé provozovny v oblasti cestovního ruchu („půjčovny lodiček“). Ve srovnání s povodněmi je problémem sucha i vlastní vyčíslení škod z hlediska celé společnosti, neboť nedochází k přímým škodám v podobě destrukce majetku, ale spíše k nepřímým škodám ze ztráty výroby apod.



Obr. 1 Roční objem výroby ve vodních elektrárnách v ČR v období 2005 až 2018.



Obr. 2 Roční objem přepravy lodní dopravy v ČR v období 2006 až 2018.

Je tomu tak díky našim velkým **kapacitám dopadům sucha čelit**. Jde zejména o kapacitní vodohospodářskou a vodárenskou infrastrukturu, schopnost podpořit zemědělskou produkci závlahami aj. Právě tento aspekt se stal klíčovým parametrem naznačené rovnice rizika:

$$\text{Riziko} = \text{pravděpodobnost výskytu} \times \left( \frac{\text{expozice} \times \text{zranitelnost}}{\text{kapacita}} \right)$$

Matematicky je tuto rovnici samozřejmě nutné chápat jako potenciální vyjádření rizika jednoho konkrétního výskytu sucha a proto vzhledem k povaze jeho nahodilosti je nutné pro vyhodnocení celkového rizika uvažovat spíše integrál pravděpodobnosti výskytu „různě velkých such“ za dobu konkrétního zvoleného trvání.

Nicméně to, že ani v období sucha 2014–2018 nedošlo k zaznamenaným ztrátám na životech a ekonomické škody na společnost nijak výrazně nedopadly (výjimkou jsou zemědělci, hydroelektrárny apod.), neznamená, že riziko sucha u nás neexistuje a nebude do budoucna narůstat.

Aktuálně (červen 2019) je dokončována aktualizace Komplexní studie dopadů změny klimatu v podmínkách ČR (dále jen Studie), která je odborným podkladem pro aktualizaci Strategie přizpůsobení se změně klimatu a Národního akčního plánu adaptace na změnu klimatu. Zpracování Studie koordinuje Český hydrometeorologický ústav a spolupracují na ní CzechGlobe, Centrum dopravního výzkumu, Zdravotní ústav Ústí nad Labem, Ekotoxa, Výzkumný ústav bezpečnosti práce aj. Studie používá pro možnost vzájemného srovnání rizik v důsledku změny klimatu, respektive jejich změn, kombinaci kategorického ohodnocení (na škále 1–5) subjektivní míry pravděpodobnosti scénáře, závažnosti dopadů a zranitelnost systému. Nejedná se tedy o skutečné vyhodnocení rizika jednotlivých jevů, ale spíše o systém umožňující jejich vzájemné srovnání.

V rámci studie byly identifikovány čtyři desítky individuálních rizik, které se mohou vyskytnout v důsledku dlouhodobého sucha. Mezi nimi jako významnější byla vyhodnocena rizika ohrožení stávajících lesních ekosystémů včetně nebezpečí intenzivního šíření škůdců (viz kůrovcová kalamita), nebezpečí požárů ve volné krajině včetně nebezpečí zasažení obydlených území (podobně jako např. ve Středomoří), ohrožení zemědělské produkce, zvýšená zranitelnost podzemních vod z důvodu jejich menšího doplňování a to jak v kvantitativním tak v kvalitativním smyslu, ohrožení jakosti povrchových vod a nádrží, ohrožení vodních ekosystémů, snížení komfortu základních služeb v podobě menší zabezpečení zásobování vodou, zhoršení plavebních podmínek na vodních cestách, nebo ohrožení chlazení a produkce ve výrobě elektrické energie a v průmyslové výrobě.

Je zřejmé, že i v rámci uvedeného výčtu se potenciální závažnost dopadů jednotlivých rizik liší. V případě sucha jde v některých případech „jen“ o snížení komfortu života (zhoršení splavnosti vodáckých toků), v jiných o zhoršení životních podmínek a životního prostředí (např. v podobě změn ekosystémů), až po teoreticky život ohrožující situace. Asi nejdramatičtější scénářem by mohl být kolaps energetické produkce v důsledku rozsáhlých odstávek elektráren z důvodu nedostatečné kapacity chlazení v horkých a suchých obdobích. Několikadenní přerušování dodávky elektřiny vyvolá škody ve všech sektorech, způsobí přerušování řady základních služeb a v extrémním případě dlouhodobého trvání může vést k sociálním nepokojům a společenskému rozvratu. Jedná se o extrémní a velmi nepravděpodobný scénář, který má charakter tzv. black swan události (Taleb, 2010) a z povahy věci je nepredikovatelný.

N. N. Taleb (2012) si všiml, že existují systémy, které prospívají v důsledku disturbancí, rostou a zesilují tak, jak jsou vystavovány nejistotě. Jde o koncept, který přesahuje samotnou odolnost vůči narušení a je vlastně opakem „křehkosti“ – fragility, proto ji nazývá antifragilitou. Taleb (2012) rovněž uvádí sedm pravidel, která jsou podle něj typická pro systémy, které jsou antifragilní. Pravidla s komentářem vztaženým k problematice sucha:

- Používání jednoduchých pravidel. Komplexní systémy nelze dostatečně přesně popsat z hlediska všech možných interakcí. Proto nelze odhadnout ani veškeré jeho reakce na disturbance a externí i interní zásahy. Z logiky věci proto nelze vytvořit komplexní a detailní pravidla pro jeho fungování a řízení. Proto jsou jednoduchá pravidla a selský rozum efektivnějším způsobem jeho "řízení".
- Budování vícevrstevných systémů. Selže-li jedna vrstva, zachrání nás jiná, i když možná s menším komfortem. Kombinace různých vrstev může mít podobu vodárenské infrastruktury zajišťující pravidelné dodávky vody, krizového systému složek IZS připravených zásobovat obyvatelstvo v krizi a individuálního zdroje vody – studny. Jinými vrstvami jsou krajina, budovy hospodařící se šedou a srážkovou vodou, smart-technologie řízení sítí, vodní nádrže aj.
- Budování redundantních a naddimenzovaných řešení. Zdvojení, záloha je cestou k omezení rizika celkového selhání, ať již se jedná o náhradní zdroje, propojování vodárenských soustav, nebo nádrže zajišťující víceletý cyklus hospodaření.
- Decentralizované systémy jsou lépe schopné se „učit“ z nahodilostí neboť nepříznivé dopady postihují jejich omezenou část. Centralizované systémy vytvářejí komplikovaná pravidla a prvky, jejichž selhání ovlivňuje celý systém.
- Preference praktiků před teoretiky (*pozn. autora toto je moje oblíbené pravidlo*). Funkční řešení většinou vznikají z praxe a zkušeností, nikoliv z teoretických modelů, které nikdy nemohou postihnout komplexitu reality, vazby, vedlejší dopady apod.



- Nesnažit se zakrýt nahodilost. Tím, že se zcela vyhýbáme malým událostem s dopady, ztrácíme možnost se učit to, jak zvládnout ty větší. Nabízí se otázka, zda si neškodíme dovážením vody do vodojemů proto, aby lidé nepocítili žádné dopady?
- Každý kdo (se) rozhoduje, musí být zainteresován na dopadech. Taleb používá obrat „*skin in the game*“, tedy, každý musí jít s kůží na trh. Přitom rozhodování není jen na úrovni státní správy a komisí, ale každý se rozhoduje, jak bude vodu používat – neměl by více pocítit dopad svých rozhodnutí v podobě ceny, jakou platí? Neměli by zemědělci mít odpovědnost za hospodaření na půdě?

Sucho je významným přírodním rizikem, jehož frekvence výskytu bude do budoucna s velkou pravděpodobností narůstat – pakliže se potvrdí scénáře klimatických modelů, bude vyšší teplota vzduchu přispívat k rychlejší evapotranspiraci, což spolu s prodloužením období bez srážek naznačuje častější sucho. Nicméně sucho je fenomén, vůči němuž se v posledních staletích velmi proměnila naše zranitelnost a schopnost (kapacita) jeho dopadům čelit. Technologický rozvoj a globalizace zbavili naši společnost závislosti na počasí pro samoprodukcii potravin, vodní hospodářství a vodárenství je schopné zajistit zásobování vodou i v situacích významných epizod sucha. Je si však třeba si uvědomit, že odolnost systému (kapacita čelit dopadům) nemůže být nikdy absolutní. Proto je nadále potřeba usilovat o zlepšování společenského systému ČR implicitně zahrnujícího životní prostředí, města, politické a právní prostředí, vodohospodářskou infrastrukturu atd. ve smyslu aplikace pravidel pro vybudování z hlediska (nejen) sucha antifragilního prostředí.

**Keywords:** hydrologie, nedostatek vody, srážky, odtok, antifragilita

#### **Literatura:**

UN, 2016: Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction. UN General Assembly, New York, A/71/644

Taleb, N. N. 2010: *The Black Swan, The Impact of the Highly Improbable*, Penguin Books, London, 2010, Revised Edition. ISBN 978-0-141-03459-1

Taleb, N. N. 2012: *Antifragile: Things that gain from disorder*. Random House, New York

#### **Kontakt:**

RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., Český hydrometeorologický ústav  
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha-Komořany  
Telefon: +420 244032300, e-mail: jan.danhelka@chmi.cz

## HAMR: on-line systém pro zvládání sucha

Adam Vizina<sup>1,2</sup>, Martin Hanel<sup>1,2</sup>, Miroslav Trnka<sup>3</sup>, Jan Daňhelka<sup>4</sup> a kolektiv

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce<sup>1</sup>;

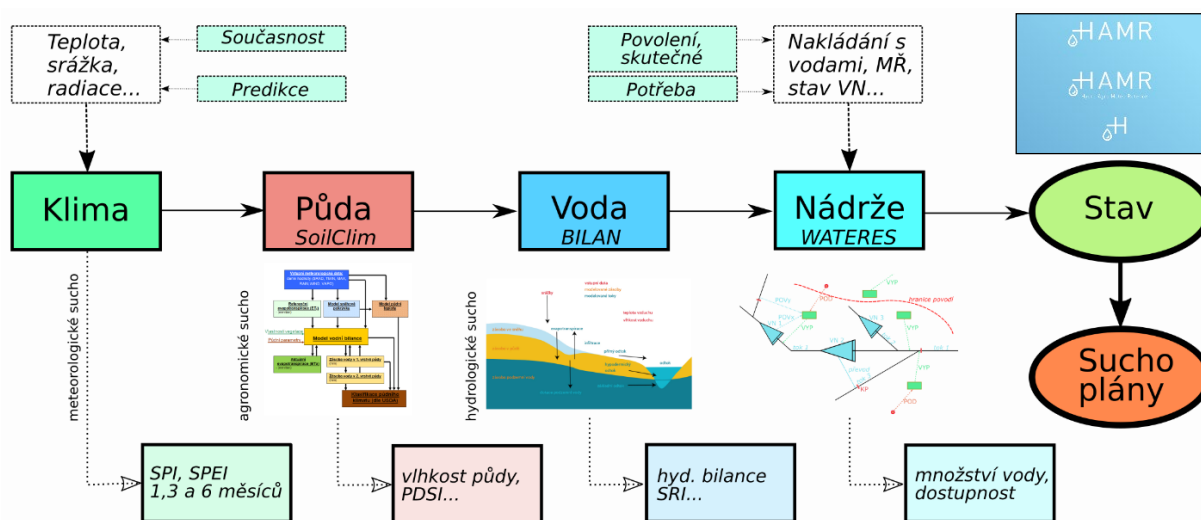
Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí<sup>2</sup>;

Ústav globální změny CzechGlobe<sup>3</sup>; Český hydrometeorologický ústav<sup>4</sup>

Zvýšený výskyt suchých období v České republice s sebou přináší potřebu vytvořit či upravit legislativu, a to v podobě novely vodního zákona. Neméně důležité je vytvoření nástroje, který bude sloužit pro rozhodování v období sucha na jednotlivých úrovních managementu. Obecný princip tohoto nástroje/systému je popsán v tomto příspěvku.

Systém je založen na propojení modelu půdního, modelu hydrologické a vodohospodářské bilance. Tyto modely spolu se vstupními klimatologickými daty reprezentují sucho meteorologické, zemědělské a hydrologické sucho. Nástroj bude poskytovat informaci, jaký je současný stav vodních zdrojů a jak by se měl vyvíjet na základě předpovědi, která bude podkladem pro operativní řízení vodních zdrojů. Schéma systému spolu s jeho logem je zobrazeno na obr. 1.

Nástroj HAMR (**H**ydrologie, **A**gronomie, **M**eteorologie, **R**etence)(Vizina a kol., 2018) je založen na propojení modelu vláhové bilance půdy SoilClim (Hlavinka a kol., 2011) modelu hydrologické bilance BILAN (Vizina a kol., 2015) a modelu vodohospodářské soustavy jednotlivých povodí WATERES za účelem modelování pravděpodobného vývoje hydrologické situace. Nástroj bude poskytovat informaci, jaký je současný stav vodních zdrojů a jak by se měl vyvíjet na základě předpovědi, která bude podkladem pro operativní řízení vodních zdrojů. Schéma systému spolu s jeho logem je zobrazeno na obr. 1.



Obr. 1 Schéma systému HAMR a jeho logo (vpravo nahoře).

Vstupem do systému jsou (i) klimatologická data (srážkové úhrny, teplota vzduchu, ...), (ii) vodohospodářská data (průtok a jeho charakteristiky (M-denní vody), manipulační řady nádrží, batygrafické křivky nádrže, data o užívání vod, ...), (iii) Zemědělské informace, charakteristiky půd, geomorfologie, aj.

Konceptuální model BILAN (Vizina, 2015), simulující hydrologickou bilanci v denním či měsíčním časovém kroku, je ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka

vyvíjen a používán od 90. let 20. století. Vyjadřuje základní bilanční vztahy na povrchu povodí v zóně aerace, do níž je zahrnut i vegetační kryt povodí, a v zóně podzemní vody. Jako ukazatel bilance toků energie, která hydrologickou bilanci významně ovlivňuje, je použita teplota vzduchu. Výpočtem se modeluje potenciální evapotranspirace, územní výpar, infiltrace do zóny aerace, průsak touto zónou, zásoba vody ve sněhu, zásoba vody v půdě a zásoba podzemní vody. Odtok je modelován jako součet tří složek: dvě složky přímého odtoku (zahrnující i hypodermický odtok) a základní odtok.

Základem pro provoz modelu SoilClim je využití databáze meteorologických prvků v denním kroku (maximální a minimální teploty vzduchu, sumy globální sluneční radiace, úhrnů srážek, rychlosti větru, vlhkosti vzduchu) pro současné klima, která vychází z měření na jednotlivých stanicích v rámci celé ČR. Tyto hodnoty jsou interpolovány do gridů (500 m x 500 m) pokrývajících ČR. Pro tyto gridy jsou pak stanoveny hodnoty indikátory referenční a aktuální evapotranspirace (ET<sub>r</sub> a ET<sub>a</sub>), vodní bilance, vlhkosti a teploty půdy a popis půdního klimatu. Ve výpočtech SoilClimu je zohledněna retenční kapacita půdy (pro každý grid) ve dvou vrstvách (0–40 a 40–100 cm) a pravděpodobné zastoupení vegetace (dle informací o LandUse). SoilClim byl vyvinut jako modifikace přístupu FAO-56 (Allen et al., 1998) a pro podmínky České republiky byl kalibrován a validován Hlavinkou et al., (2011).

SoilClim následně prostřednictvím kombinace výpočtů v denním kroku umožňuje modelovat obsah vody v půdě (pro každou ze dvou definovaných hloubek) s využitím tzv. kapacitního přístupu. Významnou roli zde sehrává odhad odběru vody aktuální evapotranspirací (ET<sub>a</sub>), který je dán dostupností půdní vlhkosti a vlastnostmi předpokládaného vegetačního krytu či povrchu.

Model WATERES je vodohospodářský model vyvinutý ve VÚV TGM v Praze a je zaměřený na výpočet charakteristik a provádění simulací na vodních nádržích. Model je dostupný ve formě R balíku (volně stažitelný z GitHubu). Model WATERES lze využít k výpočtu: (i) dlouhodobé vodní bilance nádrží a vodohospodářských soustav, (ii) charakteristik vodních nádrží a odhadu účinnosti vodní nádrže, (iii) nedostatkových objemů (pro posouzení sucha) v povodí nádrže a vodohospodářské soustavy, (iv) transformace povodňových vln. Podrobnější informace o modelu jsou uvedeny na webových stránkách <http://lapv.vuv.cz>.

Každá komponenta (obr. 1) je reprezentována fyzikálně založeným matematickým modelem a následně je hodnocena dle vypočtených indikátorů, na základě kterých danou situaci dělíme do stavů: „Normální“, „Mírné sucho“, „Silné sucho“ a „Mimořádné sucho“. Opakem je také hodnocení stavů, kdy je dostatek disponibilní vody. Samotné hodnocení probíhá 1 týdně a vyhodnocuje se v rozlišení vodních útvarů, pro které jsou vypočteny jednotlivé indexy. Pro hodnocení odchylek v daném týdnu od normálu se použilo referenční období 1981–2010.

**Meteorologické sucho** je hodnoceno na základě indexu SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) zohledňujícího bilanci mezi srážkovým úhrnem a evapotranspirací. Při výpočtu indexu se vychází z hodnot srážkových úhrnů a potenciální evapotranspirace za posledních 6 týdnů. V záložce meteorologické sucho jsou také k dispozici doplňkové informace o srážkovém deficitu v daném roce, který ukazuje rozdíl kumulovaného srážkového úhrnu v daném vodním útvaru a dlouhodobého průměru kumulované srážky za období 1981 až 2010. Srážkový úhrn ukazuje srážku v mm ve zvoleném týdnu.

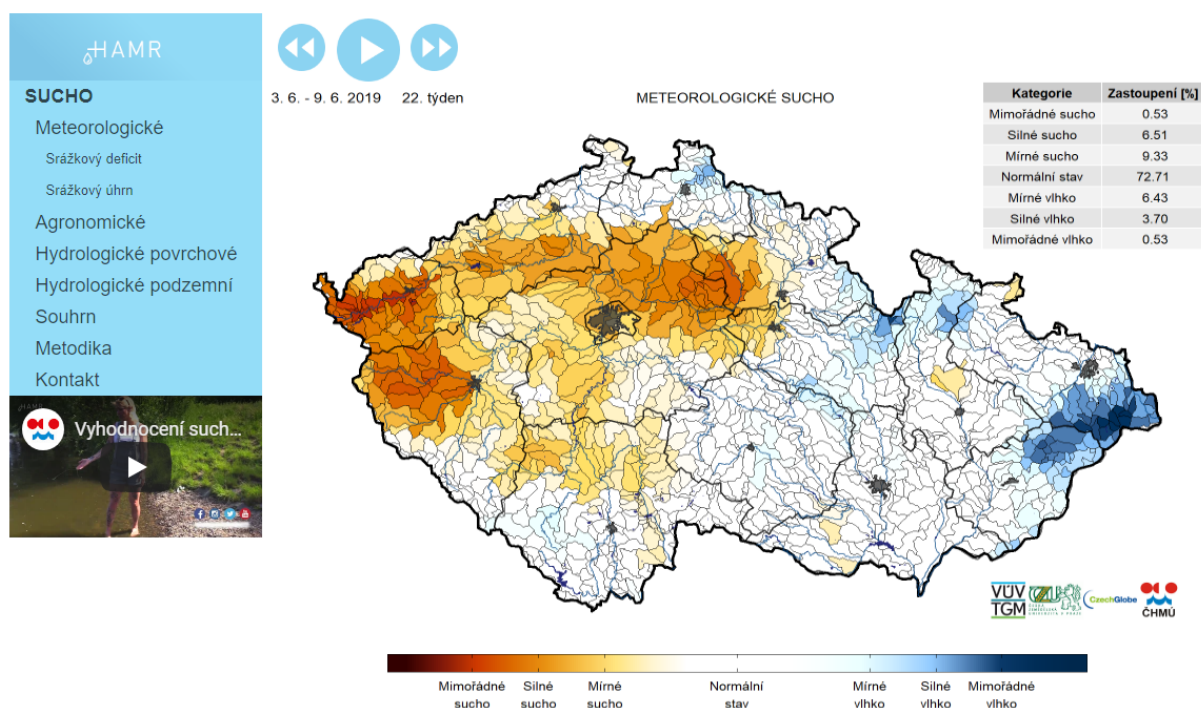
**Agronomické sucho** je vypočteno na základě odchylky od normálu za období 1981–2010 pro daný týden. Za extrémní sucha jsou vyhodnocena ta, která mají pravděpodobnost výskytu nižší než 5 %, výrazné sucho 15 % a mírné sucho 25 %. Analogicky jsou kategorizovány i stavy zvýšeného nasycení. Retenční kapacita ukazuje procentuální nasycení půdy v horizontu 0–100 cm, kdy 100 % nasycenost odpovídá maximální hodnotě za období 1961–2015.

Kategorizace je provedena na základě zemědělských hydrolimitů, kdy pod 50 % nasycení dochází k produkčnímu stresu a pod 30 % k rostlinnému stresu suchem. Deficit vody v půdě udává odchylku od obvyklé zásoby vody v půdě v daném období v mm.

**Hydrologické povrchové** se hodnotí dle aktuální hodnoty indexu SRI (Standardized Runoff Index) v daném týdnu. Pro hodnocení povrchových vod se využívá simulovaný průtok modelem Bilan v útvarech povrchových vod. Aktuální hodnoty odtoku v mm pro jednotlivé týdny jsou zobrazeny v záložce týdenní odtok. Pro hodnocení hydrologického sucha podzemního poté slouží modelovaná hodnota základního odtoku, která je standardizována indexem SGI (Standardized Groundwater Index).

**Souhrnný index** zohledňuje především indexy na hydrologické sucho, kterému je přiřazena vyšší váha než suchu agronomickému a suchu meteorologickému. Dále je výrazně zohledněna potřeba vodních zdrojů (povrchové a podzemní odběry) v daném vodním útvaru. Potřeba je vyhodnocena na základě požadavků na vodní zdroje v daném útvaru a 90 procentního kvantilu dlouhodobého odtoku.

Výsledky jsou v současné době prezentovány na webu <http://hamr.chmi.cz>, kde je na obr. 2 zobrazena úvodní stránka s vyhodnocením meteorologického sucha. Koncem léta se počítá také se spuštěním podrobné aplikace, která bude určena odborné veřejnosti.



Obr. 2 Webový portál <http://hamr.chmi.cz>.

**Keywords:** nedostatek vody, hydrologická bilance, nástroj na podporu rozhodování, řízení vodních zdrojů

**Literatura:**

Allen, M. (1999) Do it yourself climate prediction. Nature, 401, 642.

Hlavinka, Petr, aj. (2011) Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. Agricultural Water Management, 98.8: 1249–1261.

Vizina, A., Horáček, S., Hanel, M. (2015) Nové možnosti modelu Bilan. VTEI, roč. 55, s. 4–5.

Vizina, Adam, Hanel, Martin, Trnka, Miroslav, Daňhelka, Jan, Georgievová, Irina, Pavlík, Petr, Heřmanovský, Martin (2018) HAMR: online systém pro zvládání sucha–operativní řízení během suché epizody, VTEI, roč. 60,5,22–28,2018.

**Kontakt:**

Ing. Adam Vizina, Ph.D., Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.,  
Podbabská 30, Praha 6, 160 00

Telefon: +420 605 882 810, e-mail: vizina@vuv.cz

## Výpar z vodních ploch a odtok

*Petra Fialová<sup>1</sup>, Adam Beran<sup>1</sup>, Ladislav Kašpárek<sup>1</sup>, Adam Vizina<sup>1,2</sup>, Roman Kožín<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.*

<sup>2</sup>*Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí*

Vývoj klimatu v posledních letech, zejména v letech 2014 až 2018, kdy se vyskytují vysoké teploty vzduchu a nízké celkové srážkové úhrny, je vhodným důvodem pro vyhodnocení vlivu zvyšujícího se výparu z vodní hladiny na celkový odtok z povodí.

V popředí zájmu je klimatická změna, jejíž dopady mají dalekosáhlý vliv na různé oblasti lidských činností. Vodní hospodářství, jež je v ČR výlučně závislé na srážkových vodách, je z tohoto hlediska dopady klimatické změny významně ohroženo a může být citelně zasaženo. Aktuálně se jako největší problém jeví zvyšující se teplota vzduchu, jež má za následek zvyšování územního výparu a výparu z vodních ploch. Tyto ztráty vody z hydrologického systému nejsou dostatečně nahrazeny srážkovými úhrny, jež jsou na území ČR nerovnoměrně rozloženy a tím pádem se v ČR vyskytují oblasti, kde celkový výpar převyšuje srážky a dochází k projevům sucha. Na extrémní projevy klimatické změny je zapotřebí reagovat za pomoci navrhování adaptačních opatření, jež dokáží negativní dopady klimatické změny zmírnit, nebo jim zabránit.

Příspěvek je rozdělen na dvě části. V první jsou popsány postupy odvozování jednoduchých empirických vztahů pro výpočet výparu z vodní hladiny pro použití v podmínkách ČR, ve druhé části jsou pak aplikovány odvozené vzorce na praktických úlohách výpočtu celkového výparu z vodních ploch v rámci hydrologické bilance na povodí Lužnice po uzavěrový profil Bechyně a na příkladu bezodtokového jezera Most.

### Empirické vztahy pro výpočet výparu z vodní hladiny

Výpar z vodní hladiny je důležitým členem hydrologické bilance vodních nádrží. Na povodích s vyšším zastoupením vodních ploch, případně při určování bilance vodních nádrží, je zapotřebí přesné určení výparu z vodní hladiny. Přímé měření výparu je ovšem komplikované a není tak časté. Běžná výparoměrná zařízení (např. GGI, Class-A-pan, aj.) jsou náročná na obsluhu a navíc neudávají skutečný výpar, ale tzv. výparnost, která bývá zpravidla vyšší. Z tohoto důvodu je výpar vodních nádrží odhadován na základě tabulkových hodnot podle nadmořské výšky nebo určován z matematických vzorců, které obsahují snadněji měřitelné veličiny.

V příspěvku je popsán způsob odvození empirických vztahů pro výpočet výparu z vodní plochy na základě dat ze stanice Hlasivo za období 1957–2018. Vzorce byly aplikovány na datech z výparoměrné stanice Tišice (1957–1974).

Z výsledků modelování lze říci, že pro výpočet výparu ve stanici Hlasivo jsou stěžejní vzorce, které obsahují globální sluneční radiaci, jež vykazují nejnižší MRE (průměrná relativní chyba), konkrétně vzorec 1. Další stěžejní veličinou je teplota hladiny vody ve výparoměru, především v kombinaci s dalšími meteorologickými veličinami, které daný výpočet zpřesňují. Velmi dobře vychází vícenásobná regrese teploty hladiny vody s relativní vlhkostí vzduchu a rychlostí větru (vzorec 2).

Z aplikace vzorců na datech ze stanice Tišice lze říci, že pro výpočet výparu je vhodné využít vzorce zakládající se na jednoduché párové regresi s teplotou vzduchu (vzorec 3), anebo vody

(vzorec 4), popřípadě vzorce kombinující teplotu vody a rychlost větru (vzorec 5). Vhodnost využití globální sluneční radiace nebylo možné testovat. Volba vzorců pro výpočet výparu závisí na dostupnosti jednotlivých meteorologických veličin, přičemž je nutné ověřit i rozsah platnosti jednotlivých vzorců.

Pro zpřesnění výpočtů je nutné vzorce validovat na více datových sadách z různých lokalit. Vzorce vybrané pro stanici Tišice jsou použitelné i na ostatních lokalitách, avšak uživatel musí počítat s chybou 20–30 %.

V současné době běží projekt TJ01000196 “Vytvoření software pro výpočet výparu z vodní hladiny pro podmínky ČR”, jež má za cíl vytvořit vztahy pro výpočet výparu z vodní hladiny platné na celé území ČR. Řešení bude vycházet z pozorování výparu ve stanici Hlasivo a vybraných výparoměrných stanic ČHMÚ.

Vzorce pro výpočet výparu v měsíčním kroku ( $R$  – globální sluneční radiace [ $\text{W}/\text{m}^2$ ];  $T_v$  – teplota vody [ $^{\circ}\text{C}$ ];  $H$  – relativní vlhkost vzduchu [-];  $T_{vzd}$  – teplota vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ];  $V$  – rychlost větru [ $\text{m}/\text{s}$ ]):

$$Výpar = 0.0181 * R^{0.9846} - 0.9401 * H + 0.7525 \quad (1)$$

$$Výpar = 0.4469 * \exp(0.0956 * T_v) - (1.8278 * H) + (0.6866 * V) + 0.5088 \quad (2)$$

$$Výpar = 0.0824 * T_{vzd}^{1.289} \quad (3)$$

$$Výpar = 0.0407 * T_v^{1.4366} \quad (4)$$

$$Výpar = 0.4469 * \exp(0.0956 * T_v) + 0.8532 * \log(V) - 0.2025 \quad (5)$$

### Ztráta vody výparem na povodí Lužnice a na jezeře Most

V rámci praktického použití empirických vztahů pro výpočet výparu z vodních ploch byly vzorce aplikovány na povodí Lužnice po profil Bechyně. Nachází se zde rybniční soustavy jižních Čech, jež svou plochou zaujímají  $82,64 \text{ km}^2$ , z celkové plochy povodí  $4\,055 \text{ km}^2$ . Podíl vodních ploch na celkovém území je přibližně 2 %. Rybníky jsou většinou využívány k umělému chovu ryb. Ne všechny rybníky jsou propojeny s říční soustavou, nicméně prezentované výsledky výpočtu výparu mají spíše informativní charakter a jsou uvedeny pro řádovou představu vlivu výparu z vodních ploch na celkový odtok z povodí během suchých období. Dlouhodobý průměr teploty vzduchu na povodí Lužnice je  $7,5\text{--}8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , dlouhodobé roční srážkové úhrny  $600\text{--}650 \text{ mm}$ . Vyhodnocení suchých let s extrémně nízkými úhrny srážek 2015 a 2018 Českým hydrometeorologickým ústavem dává důležitý podklad pro zamyšlení se nad navrhováním malých vodních nádrží a jejich lokalizaci. Ty mohou při využití pro rybochovné potřeby a špatným umístěním zhoršovat celkovou hydrologickou situaci na povodí.

Z výsledků výpočtu hydrologické bilance na povodí Lužnice vyplývá, že pokud malé vodní nádrže nebudou určeny pro nadlepšování průtoků v obdobích hydrologického sucha, což neumožňuje jejich využití k intenzivnímu chovu ryb, bude jejich efekt na odtok z povodí závislý na tom, zda v období sucha srážky, které na hladinu spadnou, jsou větší než výpar z hladiny. V opačném případě, tj. obvykle, rybníky v období sucha odtok z povodí vlivem intenzivního výparu zmenšují. Vliv výparu z vodních ploch na povodí Lužnice na celkový odtok z povodí je vlivem vysokého zastoupení vodních ploch značný. V letních měsících dosahuje ztráta vody výparem i při uvážení srážek hodnoty  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , což se v profilu Bechyně

rovná průtoku  $Q_{355}$ . Pozitivní vliv na mikroklima a estetické funkce krajiny nebyly v rámci příspěvku řešeny.

Dále jsou uvedeny hlavní výsledky studie VÚV TGM, jež se mj. zabývala určením výparu z vodní hladiny jezera Most. Problematika výparu z vodní hladiny je v souvislosti se zatápěním jam po povrchové těžbě vzhledem k charakteru počasí v posledních letech vysoce aktuální. Zejména se řeší vhodnost hydrických rekultivací u neprůtočných jezer, tam, kde je výpar vyšší než srážkové úhrny.

Podle mapy z Atlasu podnebí Česka je v lokalitě jezera Most dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek mezi 450 až 550 mm a dlouhodobý průměrný roční výpar z vodní hladiny v pásmu 600 až 650 mm. Pokud od sebe odečteme průměrné hodnoty z těchto rozmezí, dostaneme  $625 - 500 = 125$  mm, což způsobuje dlouhodobý průměrný roční pokles hladiny o 12,5 cm. Podle mapy dlouhodobé roční vláhové bilance (půdní) je průměrný roční deficit 200 mm. V případě suchých a teplých let, což je případ posledních roků, jsou srážky podstatně nižší a výpar z vodní hladiny vyšší, vodní bilance je tedy více deficitní. Na základě pozorovaných srážkových úhrnů od roku 1961 a výparu z vodní hladiny vypočteného na základě pozorované teploty vzduchu se roční deficit srážky – výpar pohybuje v posledních letech okolo hodnoty -300 mm/rok.

V letech 2016 a 2017 byl na lokalitě jezera Most vypočítán výpar z vodní hladiny v rozmezí 700–900 mm za rok. V období let 1961 až 2017 docházelo ke zvyšování průměrné teploty vzduchu s průměrným gradientem 0,378 °C za 10 let, což mělo za následek zvyšování průměrného výparu z vodní hladiny a zvyšování deficitu srážky – výpar. Nárůst teploty vzduchu pro oblast jezera Most do roku 2055 se očekává v rozmezí 0,27–0,37 za 10 let. Roční srážkové úhrny zůstanou spíše stejné, lze proto očekávat další zvyšování vláhového deficitu ve prospěch ztrát vody. Tyto výsledky jsou převzaty z výzkumné zprávy VÚV TGM. Pro představu lze uvést, že zvýšení průměrného denního výparu o 1 mm se rovná zvýšení úbytku vody na ploše jezera o přibližně 3 000 m<sup>3</sup> vody za jeden den.



## Aktualizace Strategie a Národního akčního plánu přizpůsobení se změně klimatu

*Jakub Horecký, Linda Stuchlíková*

### Změna klimatu v globálním kontextu

O probíhající změně klimatu pravděpodobně již dnes pochybuje málokdo. Změnou klimatu se rozumí veškeré dlouhodobé změny včetně přirozené variability klimatu a změn způsobených lidskou činností. Přirozenou a antropogenní složku klimatické změny sice od sebe nelze zcela rozlišit, nicméně z hlediska přizpůsobení se probíhajícím či předpokládaným změnám to ani není potřebné.

**V reakci na změnu klimatu je nezbytné přijímat dva základní typy opatření:**

**1) mitigační opatření, což jsou přímá či nepřímá opatření ke snížení emisí skleníkových plynů (např. efektivnější využití zdrojů energie, využití solární či větrné energie, zateplení budov, atd.),**

**2) adaptační opatření, což jsou opatření k přizpůsobení přírodního nebo antropogenního systému skutečné nebo předpokládané změně klimatu vč. jejích dopadů.**

Potřeba adaptace na změnu klimatu je nedílnou součástí závazků přijatých v rámci Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu (UNFCCC) a rovněž vyplývá ze Strategie EU pro přizpůsobení se změně klimatu (2013).

**Aktuálním celosvětovým dokumentem, který se této problematice věnuje, je Pařížská dohoda (2016), jejímž cílem je zlepšit globální reakci na hrozby změny klimatu mimo jiné pomocí zvyšování schopnosti přizpůsobit se nepříznivým dopadům změny klimatu a posilování odolnosti vůči změně klimatu a nízkoemisního rozvoje způsobem, který neohrozí produkci potravin. Stanovený globální adaptační cíl zahrnuje zvyšování adaptační kapacity, posilování odolnosti a snižování zranitelnosti vůči změně klimatu s cílem přispět k udržitelnému rozvoji a zajistit přiměřenou reakci v oblasti adaptace v souvislosti s teplotním cílem.**

### Národní úroveň a koordinace adaptace na změnu klimatu v ČR

**Národním koordinátorem adaptace na změnu klimatu v ČR je Ministerstvo životního prostředí, které podstatné související informace a odkazy zveřejňuje na svých internetových stránkách [http://mzp.cz/cz/adaptace\\_na\\_zmenu\\_klimatu](http://mzp.cz/cz/adaptace_na_zmenu_klimatu).**

**Na celostátní úrovni je adaptace na změnu klimatu zastřešena Strategií přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR (dále též "Adaptační strategie ČR"), která byla schválena usnesením vlády č. 861 ze dne 26. října 2015. Dokument byl připraven v rámci široké mezirezortní spolupráce a koordinátorem přípravy bylo Ministerstvo životního prostředí. Adaptační strategie ČR a její obsah vychází z Bílé knihy Evropské Komise „Přizpůsobení se změně klimatu: směřování k evropskému akčnímu rámci“ (2009) a je v souladu s výše uvedenými mezinárodními dokumenty.**

**Cílem Adaptační strategie ČR je zmírnit dopady změny klimatu přizpůsobením se této změně v co největší míře, zachovat dobré životní podmínky a uchovat a případně vylepšit hospodářský potenciál pro příští generace. Adaptační strategie ČR identifikuje prioritní oblasti (sektory), u kterých se předpokládají největší dopady změny klimatu, shrnuje pozorované a očekávané dopady změny klimatu a doporučuje adaptační opatření: lesní hospodářství, zemědělství, vodní režim v krajině a vodní hospodářství, biodiverzita**

a ekosystémové služby, urbanizovaná krajina, zdraví a hygiena, cestovní ruch, doprava, průmysl a energetika a mimořádné události a ochrana obyvatelstva a životního prostředí.

**Implementačním dokumentem Adaptační strategie ČR je Národní akční plán adaptace na změnu klimatu** (dále též „Akční plán“). Akční plán obsahuje seznam adaptačních opatření a úkolů, a to včetně odpovědnosti za plnění, termínů, určení relevantních zdrojů financování a odhad nákladů na realizaci opatření. Akční plán je členěn dle **hlavních projevů změny klimatu, které byly pro ČR identifikovány jako závažné: dlouhodobé sucho, povodně a přívalové povodně, postupné zvyšování teplot, extrémní meteorologické jevy (tj. vydatné srážky, extrémně vysoké teploty a extrémní vítr) a přírodní požáry.**

Akčnímu plánu předcházelo zpracování **Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR (2015)**, v rámci které se zhodnotily pravděpodobné dopady v jednotlivých oblastech zájmu/sektorech, včetně analýzy nákladů (finančních dopadů) v případě nečinnosti a nákladů na potřebná adaptační opatření.

**V roce 2017 pak proběhlo první Hodnocení zranitelnosti ČR ve vztahu ke změně klimatu k roku 2014**, které umožňuje lépe identifikovat potenciál hrozeb vyplývajících ze změny klimatu. Byly tak získány výchozí hodnoty indikátorů a trendy platné k době před schválením Adaptační strategie ČR. Z hodnocení vyplývá, že **k referenčnímu roku 2014 lze zranitelnost ČR vůči projevům změny klimatu považovat za velmi vysokou**. Z celkového počtu 98 indikátorů má 32 indikátorů negativní hodnocení a pouze 9 indikátorů hodnoceno čistě pozitivně.

### **Komplexita dopadů změny klimatu na krajinu a společnost**

**Změna klimatu ovlivňuje fungování všech krajinných složek a lidské společnosti, neboť je významným činitelem přispívajícím k rostoucí frekvenci a komplexnosti hrozeb a z nich plynoucích rizik, jež přímo nebo zprostředkovaně ovlivňují zdraví a životy obyvatelstva, životní prostředí a majetek.** Ekosystémy trpí nepříznivými účinky změny klimatu tím, že se v jejich důsledku urychluje pokles biologické rozmanitosti a snižuje jejich schopnost odolávat přírodním extrémům – to samozřejmě nepříznivě ovlivňuje ekosystémové služby, které poskytují.

**K adaptaci na změnu klimatu může přispět v rámci svých možností každý jedinec či veřejný subjekt a často se tak i spontánně děje. Pro přijetí včasných a účinných adaptačních opatření je nicméně zapotřebí strategický přístup, který zajistí soudržnost napříč různými oblastmi hospodářství a životního prostředí ve vztahu k předpokládaným dopadům změny klimatu a úrovněmi veřejné správy.** Je totiž pravděpodobné, že spontánní adaptace by nevedla k optimálním výsledkům – v některých případech pak může nekoordinovaná adaptace vyústit v celkově nepříznivé následky.

### **Základní principy adaptace v ČR**

**Základními principy, ze kterých by měla adaptace na změnu klimatu v ČR vycházet, jsou integrovaný přístup při plánování a posuzování opatření**, a to jak z hlediska vhodnosti pro jednotlivé složky životního prostředí, hospodářství a sociální oblast, tak z hlediska žádoucí synergie adaptace a mitigace, dále **prioritní realizace řešení s vícenásobnými pozitivními přínosy (tzv. win-win) a s nízkými negativy na straně rizik a nákladů (tzv. low-regret), zabránění nevhodným adaptacím, identifikace příležitostí spojených s adaptací.** Praktickými příklady adaptačních opatření jsou systémy včasného varování, posílení ekologické stability krajiny a ekosystémů, omezování spotřeby vody, krizové řízení při živelních událostech či ekonomická diverzifikace. Nevhodnými adaptačními opatřeními jsou

ta, která nezvyšují odolnost ekosystémů či zvyšují jejich zranitelnost, jsou environmentálně nevyvážená, finančně neefektivní nebo v rozporu s cíli jiných politik.

Takovýto přístup je plně v souladu s Adaptační strategií EU, která vyzývá k silnému důrazu na využití všeobecně prospěšných a finančně nenákladných řešení, jež jsou z ekonomického i environmentálního hlediska dobrou volbou, a mezi tato opatření řadí např. udržitelné hospodaření s vodou, systémy včasného varování a přístupy založené na ekosystémech, jež jsou nákladově efektivní v rámci různých scénářů, snadno dostupné a poskytují více výhod (např. snížení povodňového rizika, nižší erozi půdy, lepší kvalitu vody a ovzduší a snížený efekt městských tepelných ostrovů).

### **Aktualizace strategických dokumentů**

**Na podzim 2018 byl zahájen proces aktualizace Adaptační strategie ČR a Národního akčního plánu adaptace.** Cílem aktualizace je identifikovat problémy a ohrožení spojené s projevy změny klimatu, v rámci strategie stanovit cíle pro období 2021–2030 a v akčním plánu opatření rozpracovat do konkrétních úkolů s termínem realizace v letech 2021–2025. Struktura obou dokumentů bude vycházet z identifikovaných hlavních projevů změny klimatu v ČR.

**Byly ustanoveny pracovní skupiny, ve kterých jsou zastoupeny všechny relevantní resorty, vybrané resortní instituce, vědecké instituce a reprezentanti krajů, obcí, neziskových organizací, odborných organizací.** Záměrem je shromáždit maximum informací a potřeb, umožnit diskuzi a stanovit reálné cíle a úkoly. Skupiny se scházejí od dubna 2019 a projednávají analytické podklady a návrhy pro aktualizaci obou dokumentů. Hlavními podklady jsou zejména aktualizovaná Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR (2019), aktuální Hodnocení zranitelnosti ČR vůči změně klimatu (2019) a pracovní vyhodnocení dosavadního plnění Akčního plánu.

Koordinátorem procesu aktualizace je MŽP a dokument bude předložen k projednání vládě ČR ke konci roku 2020.

## Zemědělské sucho v kontextu změny klimatu

*Miroslav Trnka<sup>1,2</sup>, Petr Hlavinka<sup>1,2</sup>, Jan Balek<sup>1,2</sup>, Pavel Zahradníček<sup>1,3</sup>, Petr Štěpánek<sup>1,3</sup>,  
Martin Možný<sup>3</sup>, Monika Bláhová<sup>1,2</sup>, Daniela Semerádová<sup>1,2</sup>, Lucie Kudláčková<sup>1,2</sup>,  
Zdeněk Žalud<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Bělidla 986/4a 603 00 Brno;

<sup>2</sup>Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 61300 Brno; <sup>3</sup>Český hydrometeorologický ústav  
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 Komořany

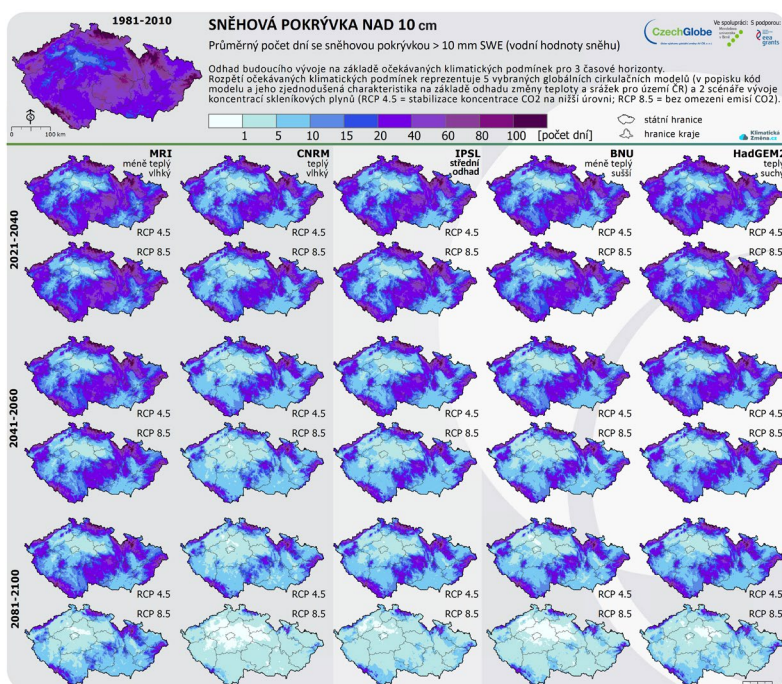
Zemědělství hraje nenahraditelnou roli v ekosystémových službách, týkajících se produkce dostatečného množství kvalitních potravin udržitelným způsobem. V první řadě se jedná o zajištění dostatku potravin pro více než 9 miliard obyvatel do roku 2050. To znamená nutnost zdvojnásobení produkce od roku 2005 do roku 2050 (Tillman et al., 2011). Tento objem výroby však musí být vyprodukován s menší spotřebou vody a energie než dnes, což se týká i českého zemědělství. Druhý zásadní úkol je vyrovnání se s dopady probíhající klimatické změny a především se zvýšením frekvence a intenzity hydrometeorologických extrémů (Gourdji et al., 2013; Trnka et al., 2014), z nichž ekonomicky nejvýznamnější je výskyt zemědělského sucha. Zemědělské sucho lze zjednodušeně charakterizovat jako nedostatek vody pro růst a vývoj polních plodin. Jeho primární příčinou je množství a rozložení srážek, ale zásadní roli hraje také teplota vzduchu, druh (písečtá, hlinitá, jílovitá) a typ (např. černozem, kambizem, fluvizem) půdy stejně jako vegetační pokryv a topografie.

### Časový průběh dopadů sucha během roku

**V zimních měsících** pozorujeme a i do budoucna očekáváme úbytek trvání sněhové pokrývky zejména ve středních a nižších polohách. Úbytek sněhu zásadně ovlivňuje především přezimování polních plodin, které jsou v případě výskytu holomrazů (pokles teploty vzduchu pod bod mrazu a současně absentuje sněhová pokrývka) postiženy vymrzáním, neboť nejsou chráněné izolačními vlastnostmi sněhové pokrývky. Díky vyšším teplotám přichází více srážek ve formě kapalné, což způsobuje nižší akumulaci vody ve sněhové pokrývce a nedostatek vody, který by se měl ze sněhu uvolnit na začátku vegetačního období. Brzký a často razantní konec zimy způsobuje a bude způsobovat jarní povodně a rychlý odtok vody. Přesto lze o zimním období díky nižším teplotám a minimální evapotranspiraci považovat za období vodnosti. A právě toto období vodnosti je nutné využít k akumulaci zimních srážek a zamezení jejího odtoku.

**Jaro** je roční období, které je z pohledu zemědělství nejvýznamnější, realizuje se v něm nejvíce agrotechnických zásahů, kumuluje se řada polních prací a současně probíhá intenzivní růst a vývoj rostlin, na který je nutné značné množství vody. Sucho v období jara bude podpořeno i přímým vzestupem teploty, kdy dochází jednak ke kombinaci zvýšení hodnot potenciální evapotranspirace a dřívější zahájení vegetační sezóny a tím vyšším nárokům rostlin. Současně dochází ke změně ve výskytu synoptických situacích spojených s výskytem sucha a ke změnám v rozložení srážek jak co do četnosti tak intenzity.

**V letním období** je sucho spojené především s nárůstem teploty, úbytkem srážek a změny jejich rozložení (obdobně jako v jarním období je více srážek s vysokou intenzitou). Zvyšující se počet letních a tropických dnů a s nimi spojených horkých vln ohrožuje na konci jara a v létě veškeré polní plodiny a to i v situaci, kdy je v půdě relativně dostatek vláhy. Dopady sucha na plodiny budou stále častěji příčinou vysoké variability výnosů a regionálních výnosových propadů. Jednou z příčin budou i nižší průtoky řek ovlivňující hladinu podzemní vody a nižší stavby vodních nádrží, které by byly potenciálním zdrojem pro závlahy.



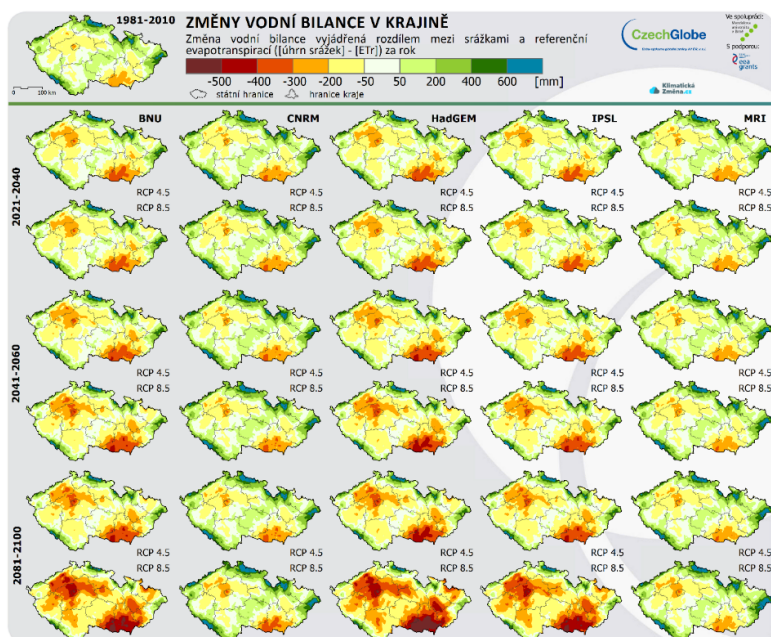
Obr. 1 Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou větší než 10 cm v období 1981 až 2010 a dále pro období let 2021–2040; –2060 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP 4.5 a RCP 8.5.

Právě v době jejich nejvyšší potřeby bude logicky nejméně disponibilní vody. Odhlédneme-li od neutěšeného stavu současného stavu meliorační sítě, je zřejmé, že to mohou být v budoucnu právě efektivní závlahy, které mohou zemědělství v suchých oblastech významně pomoci.

**Podzimní období** je významné z pohledu sklizně některých plodin (např. některé ovoce, vinná réva, kukuřice na zrna) a zakládání porostů ozimých obilnin. Pokud propojíme scénáře změny klimatu a podzimní zemědělskou činnost, jedná se o roční období, které bude suchem relativně nejméně ovlivněno. Podzim se stane v nejnižších polohách součástí velkého vegetačního období, a pokud nedojde k náhlému zlomu a rychlému nástupu zimy neumožňující proces otužování vedoucí k získání mrazuvzdornosti, prodlouží se v jeho rámci počet dnů umožňující růst a vývoj především ozimů. V současné době se v průběhu podzimu projevuje spíše nárůstem srážek, které však na rozdíl od letních nemají přívalový charakter, zvýšení teploty sice vyvolá vyšší potenciální i aktuální evapotranspiraci, ale dopady sucha už nemohou mít vzhledem k potřebám rostlin takový vliv jako v období jarním a časně letním.

### Prostorový průběh dopadů sucha

Nejvíce jsou suchými epizodami postihovány okresy jižní Moravy (zejména Znojmo, Břeclav, Hodonín a Brno-venkov) a dále pak středních a severozápadních Čech (zejména v okresy Mělník, Kladno, Nymburk, Litoměřice a Louny) (obr. 2). Suché epizody v této oblasti se vyznačují nejen vysokou četností krátkodobých epizod, ale v porovnání se zbytkem území i podstatně větší intenzitou, perzistencí a poměrně dlouhým trváním. Naopak v oblasti pohraničních pohoří a Českomoravské vrchoviny jsou suché epizody zaznamenávány jen sporadicky. Jejich výskyt však v podmínkách změny klimatu nelze zcela vyloučit ani v těchto polohách. Jedná se o epizody spíše kratší a méně intenzivní. Mezi nížinné oblasti s nižší pravděpodobností výskytu suchých epizod patří také Ostravsko a okolí Moravské brány a také jižní a západní Čechy. Naopak toto neplatí v případě produkčních oblastí Hané a východních Čech, které patří k nejproduktivnějším územím v ČR.



Obr. 2 Vývoj vodní bilance v období 1981-2010 a dále pro období let 2021–2040; 2041–2060 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP 4.5 a RCP 8.5.

Zatímco tato území nebyla považována za území ohrožovaná suchem, tato situace se v průběhu posledních 50 let poměrně zásadně změnila. V období 2011–2018 se již intenzivní epizody sucha postihovaly 30–50 % sezón s výrazným nárůstem patrným zejména v období května a června s tím že výrazně byla zasažena jižní Morava.

**Závěr:** Adaptační opatření proti zvyšujícímu se výskytu zemědělského sucha tvoří komplex opatření, z nichž významnou pozici hraje vývoj agrotechnologií do suchých oblastí, starost o kondici půdy a její schopnost zadržovat vodu, technická a agronomická opatření směrem k ochraně půdy, maximalizace využití závlah pro plodiny s přidanou hodnotou (ovoce, zelenina, květiny, chmel, vinná réva), využití potenciálu šlechtění a celkově udržitelného přístupu k produkčním i mimoprodukčním službám naší krajiny.

**Klíčová slova:** srážky, teplota, výpar, plodiny, výnosy

### Literatura:

- Gourdji, S.M. Mathews, K.L. Reynolds M. , Crossa, J. Lobell D.B. An assessment of wheat yield sensitivity and breeding gains in hot environments Proc. R. Soc. B: Biol. Sci., 280 (2013), p. 2012-2190.
- Tilman, D., Balzer, Ch., Hill, J., Befort, B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture, PNAS December 13, 2011 108 (50) 20260-20264.
- Trnka, M., Rötter, R. P., Ruiz-Ramos, M., Kersebaum, K. C., Olesen, J. E., Žalud, Z. and Semenov, M. A., 2014, 'Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change', Nature Climate Change 4(7), 637–643.

### Kontakt:

prof. Ing. Zdeněk Žalud, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně  
Zemědělská 1., 613 00 Brno,  
Telefon: +420 545 133 083, e-mail: zalud@mendelu.cz

## Projevy sucha v dlouhodobé bilanci půdní vody v malém zalesněném povodí

Václav Šípek<sup>1</sup>, Jitka Kofroňová<sup>1,2</sup>, Miroslav Tesář<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ústav pro hydrodynamiku AVČR, v. v. i., Pod Pařankou 5/30, 166 12 Praha 6

<sup>2</sup> Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta UK, Albertov 6, 128 00, Praha 2

### 1. Úvod

Nasycení půdního profilu vodou hraje v hydrologickém cyklu zásadní roli tím, že rozhoduje o rozdělení srážek mezi odtok, evapotranspiraci a perkolaci do podzemní vody (Daly a Porporato, 2005). Celkový objem vody vázaný v půdě je sice oproti jiným zásobárnám (ledovce, jezera, atmosféra, apod.) nepoměrně menší, ale díky svému vlivu na koloběh vody, energie a na biogeochemické cykly (Seneviratne a kol., 2010) představuje významnou složku celého systému. Množství půdní vody je časově i prostorově velmi proměnné a ovlivňuje řadu procesů jak po kvantitativní, tak po kvalitativní stránce (infiltrace, růst rostlin, tvorba odtoku, mikroklima). Distribuce vody v půdním profilu je ovlivněna celou řadou faktorů, které zahrnují topografii terénu, land use, vegetační pokryv, klima oblasti (Rodriguez-Iturbe, 2000). Studií zabývajících se dlouhodobým měřením vlhkosti půdy je velmi málo a v převážné většině případů je časová variabilita studována na základě modelovaných řad. Například studie, které prezentuje Trnka et al. (2015), Wang, et al. (2011) a Andreadis and Lettenmaier (2006), jsou modelovány vždy pro větší územní celek a zabývají se tak vývojem retence vody v krajině z regionálního hlediska. Tento příspěvek se věnuje vyhodnocení dlouhodobého monitoringu nasycení půdního profilu v zalesněném podhorském povodí v kontextu probíhající suché periody 2014–2018.

### 2. Metodika

Experimentální povodí Liz (0,99 km<sup>2</sup>) bylo Ústavem pro hydrodynamiku AV ČR zřízeno v roce 1975 a od toho roku zde probíhají nepřetržitá měření srážek, odtoku, teploty vzduchu a hladin podzemní vody. Od roku 1983 je navíc měřeno dopadající krátkovlnné sluneční záření (od 2009 doplněno i o záření dlouhovlnné). V roce 2002 započal pravidelný monitoring výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu. Na povodí je rozmístěno celkem 12 lokalit, kde se od roku 2000 sleduje režim půdní vody ve vegetační sezóně (květen–říjen) pomocí manuálních půdních tenzometrů umístěných v několika hloubkách (15, 30, 45, 60 a 90 cm). Dvě z lokalit reprezentují travní, jedna bukový a zbylých devět smrkový porost. Pro každou lokalitu jsou k dispozici změřené retenční křivky pro převod sacího tlaku na objemovou vlhkost.

Pro vyhodnocení dlouhodobého kolísání nasycení půdního profilu vodou byl použit Mann-Kendallův test (Kendall, 1938; Mann, 1945) s modifikací dle Yu a kol. (2002), který na rozdíl od původního MK testu není citlivý na přítomnost autokorelace v časových řadách (ta je pro hydrologická data typická), která může způsobovat chybnou detekci trendu.

Hydrologická bilance půdního profilu byla vyhodnocena půdním modelem SWBM-GA (Brocca a kol., 2014). SWBM-GA pracuje v denním výpočetním kroku a každý den dochází k výpočtu výparu, odtoku z půdního profilu (není rozlišena perkolace od laterálního odtoku) a při zohlednění denních srážkových úhrnů (krácených o intercepci) dojde bilančním způsobem k výpočtu průměrného nasycení půdního profilu. Nutná vstupní data modelu jsou představována srážkovými úhrny, potenciální evapotranspirací a čtyřmi parametry modelu. Potenciální evapotranspirace byla odhadnuta metodou Oudin *a kol.* (2005) a to z důvodu

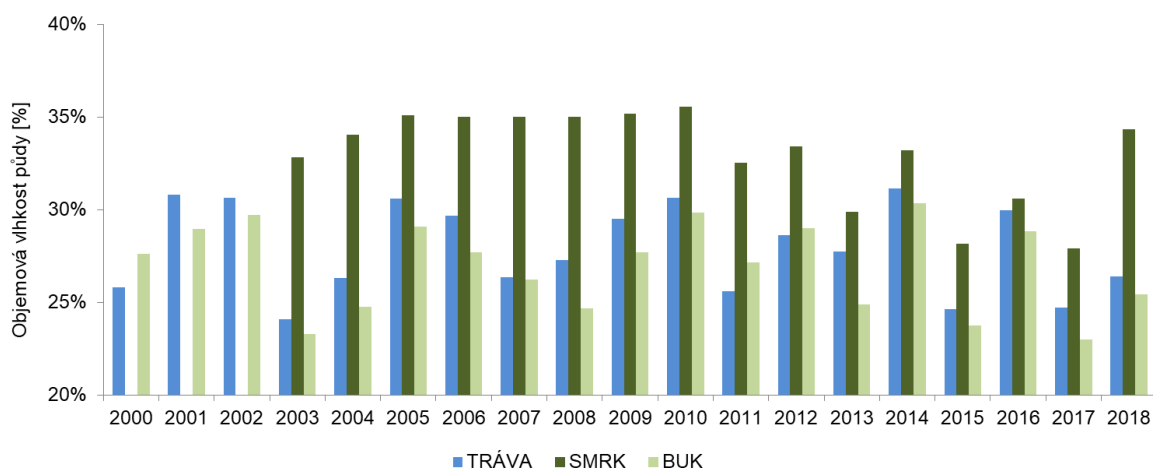
její nenáročnosti na vstupní data a obdobných výsledků z hlediska vodní bilance v případě kalibrace půdního modelu (Šípek a Tesař, 2017).

### 3. Výsledky

Období let 2014 až 2018 se v porovnání dlouhodobým průměrem jeví jako nadprůměrně teplé a suché. Průměrná roční teplota vzduchu byla vyšší o 1–2 °C oproti průměru z let 1975–2005. Roční úhrn srážek se pohyboval mezi 477 a 952 mm (dlouhodobý průměr se rovná 852 mm). Jako výrazně suché lze hodnotit roky 2015, 2017 a 2018, kdy průměrné roční srážky dosahovaly 56 %, 80 % a 70 % dlouhodobého průměru. Rok 2014 byl srážkově průměrný (885 mm) a 2016 nadprůměrný (952 mm). Vyšší srážkové úhrny v roce 2016 byly ale doprovázeny průměrnou roční teplotou vzduchu vyšší o 1,7 °C, než je dlouhodobý průměr.

#### 3.1 Trendy v hydrologických řadách

Z hlediska nasycení půdního profilu vodou je období let 2014 a 2018 v lesním porostu mírně sušší – objemová vlhkost je v průměru nižší o 0,8 % (8 mm vody v celém půdním profilu). Statisticky signifikantní pokles byl zaznamenán na čtyřech z deseti lesních lokalit (na 95% hladině spolehlivosti). Všechny lokality s významným poklesem půdní vlhkosti jsou pokryty smrkovým porostem. Oproti tomu výraznější pokles půdní vlhkosti byl pozorován u travního porostu, kde je v období let 2014–2018 půdní vlhkost v průměru nižší o 3,1 % a 1,9 % (oproti období 2003–2013). Výraznější poklesy u travního porostu jsou ukázány na Obr. 1, kde je rovněž patrná skutečnost, že půdní vlhkost v bukovém porostu pravidelně dosahuje nižších hodnot než v případě porostu smrkového. Tento jev je částečně způsoben mírně odlišnou zrnitostí strukturou (Šípek a kol., 2019), ale bukový porost obecně vykazuje oproti smrku mírně vyšší míru evapotranspirace a hlubší prokořenění.



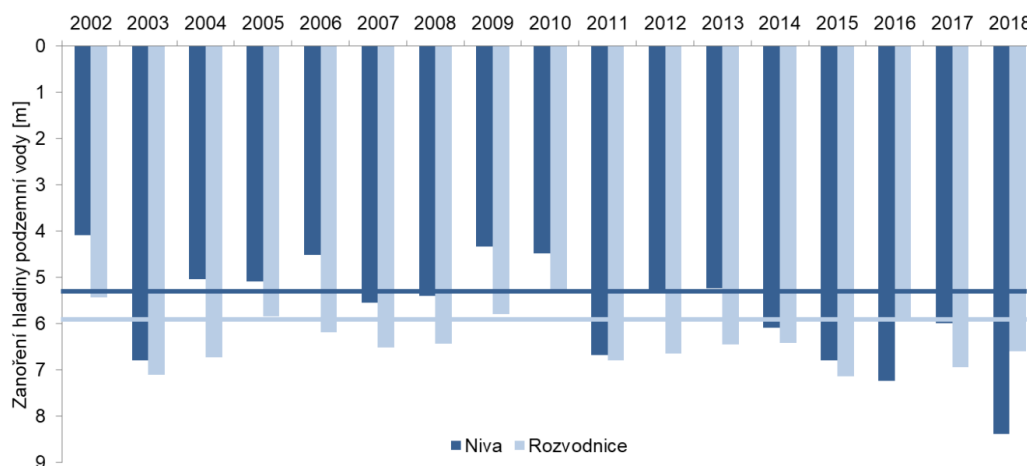
Obr. 1 Průměrná objemová vlhkost půdy ve vegetačních sezónách (květen–říjen) na třech lokalitách na povodí Liz reprezentující tři rozlišné krajinné pokryvy v letech 2000–2018.

Více než půdní vlhkost byla na povodí Liz suchou periodou poznamenána hladina podzemní vody. Na povodí se nachází dva dlouhodobě sledované vrty – na rozvodnici a v údolní nivě. U obou je ze statistického hlediska dlouhodobě pozorován signifikantní pokles hladin. Ve zkoumaném období byla hladina u vrtu na rozvodnici průměrně o 0,64 metru níže než je dlouhodobý průměr a v nivě dokonce o 1,66 metru. Průběh průměrného zanoření podzemní vody od roku 2002 (období sledování nasycení půdního profilu) je znázorněn na Obr. 2. Je patrné, že od roku 2014 jsou na obou místech sledovány podnormální úrovně zanoření hladin podzemní vody s klesající tendencí.

Z hlediska odtoku byly v průběhu posledních pěti let vyzorovány každý rok podnormální průtoky rovnající se 75–84 % normálu z období 1976–2005. Nicméně z hlediska



dlouhodobého vývoje není prokazatelný dlouhodobě klesající trend. Ten je patrný pouze v případě vymezení sledovaného období od roku 2000, kdy je detekován silný statisticky signifikantní pokles v pozorovaných průtocích (na 98% hladině spolehlivosti). Toto období odpovídá pozorování půdní vlhkosti a je do značné míry ovlivněno posledními pěti sezónami s nízkým odtokem.



Obr. 2 Zanoření hladiny podzemní vody na dvou dlouhodobě sledovaných vrtech (Niva, Rozvodnici) na povodí Liz (2002–2018). Horizontální čáry reprezentují průměrné zanoření z let 1976–2005.

### 3.2 Hydrologická bilance půdního profilu

Pro stanovení hydrologické bilance půdního profilu byl použit půdní model SWBM-GA, který slouží k odhadu bodového nasycení půdy vodou. Pro výpočet bilance půdního profilu byla použita jedna lokalita ve smrkovém porostu reprezentující průměrné stáří lesa, průměrnou sklonitost a nadmořskou výšku. Model SWBM-GA byl kalibrován ve vztahu k měřené půdní vlhkosti pomocí genetického algoritmu a v kalibračním období (2000–2018) se RMSE (root mean square error) rovnala 1,9 % a Nash-Sutcliffe koeficient byl 0,72. Hodnoty chybových statistik ukazují na uspokojivou kvalitu simulace (pouze ve třech letech z devatenácti byl Nash-Sutcliffe koeficient nižší než 0,60).

Tab. 1 Vodní bilance půdního profilu ve vegetačních sezónách let 2014–2018 na povodí Liz v porovnání s dlouhodobým průměrem let 2000–2013. (PET označuje potencionální evapotranspiraci a AET evapotranspiraci aktuální.)

Období	Srážky [mm]	Teplota vzduchu [°C]	PET [mm]	AET [mm]	Perkolace/Odtok [mm]
2000–2013	472	12.9	420	306	169
2014	489	13.2	370	302	236
2015	261	13.4	435	244	43
2016	566	13.2	413	320	206
2017	323	13.8	441	287	86
2018	385	14.5	459	271	82
2014–2018	405	13.6	424	285	91

Vodní bilance půdního profilu je zobrazena v Tabulce 1. Z porovnání suchého období 2014 až 2018 s referenčním obdobím 2000–2013 je zřejmé, že hodnota potencionální evapotranspirace

je přibližně stejná (což je dáno zvyšováním průměrné denní teploty hlavně v období mimo vegetační sezónu) a hodnota aktuální evapotranspirace (AET) je mírně nižší. Výrazné snížení AET bylo pozorováno v letech 2015, 2017 a 2018, což je dáno zejména nižšími srážkami. Oproti referenčnímu období byl nejvýrazněji postižen odtok z půdního profilu (laterální/perkolace), který byl vyšší jen v letech 2014 a 2016 (srážkově bohatší roky). Ve zbylých letech dosahoval sotva poloviny průměrné hodnoty z let 2000–2013.

#### 4. Závěr

V probíhajícím suchém období (2014–2018) byl ve vegetační sezóně na malém lesním povodí pozorován zejména pokles srážkových úhrnů, které vyústily v mírný pokles nasycení půdního profilu vodou – o 0,8 % v lesním porostu a o 2–3 % pod travním porostem. V průběhu suchého období se v důsledku nedostatku vody v půdě mírně snížila aktuální evapotranspirace (v období od května do října pokles o 7 % / 19 mm). Dále došlo k podstatnému snížení perkolace vody do hlubších vrstev (pokles až o 75 % v roce 2015), což vedlo ke statisticky významnému poklesu hladiny podzemní vody (pozorovanému dlouhodobě, ale zesílenému v posledních pěti letech) a snížení celkového odtoku vody z povodí. Pokles průtoků je statisticky významný od roku 2000.

#### 5. Literatura

- Andreadis, K.M., Lettenmaier, D.P., (2006): Trends in 20th Century Drought over the Continental United States. *Geophysical Research Letters*, 33(10), 1–4.
- Brocca, L., Camici, S., Melone, F., Moramarco, T., Martínez-Fernández, J., Didon-Lescot, J.F., Morbidelli, R., (2014): Improving the representation of soil moisture by using a semi-analytical infiltration model. *Hydrol Process*, 28, 2103–2115.
- Daly, E., Porporato, A., (2005): A review of soil moisture dynamics: from rainfall infiltration to ecosystem response. *Environmental Engineering Science*, 22, 9–24.
- Kendall, M.G., (1938): A new measure of rank correlation. *Biometrika* 30, 81–93.
- Mann, H.B., (1945): Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245–259.
- Rodriguez-Iturbe, I., (2000): Ecohydrology: A hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics. *Water Resources Research*, 36, 3–9.
- Seneviratne, S. I., et al., (2010). Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99, 125–161.
- Šípek, V., Tesař, M., (2017): Year - round estimation of soil moisture content using temporally variable soil hydraulic parameters. *Hydrol Process*, 31, 1438–1452.
- Šípek, V., Hnilica, J., Vlček, L., Hnilicová, S., Tesař, M., (2019): Influence of vegetation type and soil properties on soil water dynamics in the Šumava Mountains (Southern Bohemia), *Journal of Hydrology* (under review)
- Trnka, M., et al., (2015): Drivers of Soil Drying in the Czech Republic between 1961 and 2012. *International Journal of Climatology*, 35(9), 2664–75.
- Wang, A., Lettenmaier, D.P., Sheffield, J., (2011): Soil Moisture Drought in China, 1950–2006. *Journal of Climate*, 24(13), 3257–71.
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., Cavadias, G., (2002b): The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrol Process*, 16, 1807–1829.

#### Kontakt:

RNDr. Václav Šípek, Ph.D., Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i.  
Pod Pařankou 30/5, Praha 6, 166 12  
Telefon: +420 233 109 015, [sipek@ih.cas.cz](mailto:sipek@ih.cas.cz)

## Chytrá krajina – pilotní projekt Amálie

*Petr Máca<sup>1</sup>, Václav Hradílek<sup>1</sup>, Vojtěch Moravec<sup>1</sup>, Martin Vokoun<sup>1</sup>, Martin Heřmanovský<sup>1</sup>, Vojtěch Havlíček<sup>1</sup>, Martin Hanel<sup>1</sup>*

*Katedra vodního hospodářství a environmentální modelování Fakulta životního prostředí  
Česká zemědělská univerzita Praha<sup>1</sup>*

Na lokalitě zemědělské usedlosti Amálie, která součástí Školního zemědělského podniku Lány České zemědělské univerzity v Praze, je v současné době realizován soubor vybraných přírodně blízkých retenčních opatření v rámci konceptu Chytré krajiny Centra pro vodu, půdu a krajinu ČZU v Praze. Cílem souboru opatření je zvýšení akumulace a retence vody v lokalitě, posílení vybraných složek hydrologického cyklu. Lokalita Amálie se skládá z dvou povodí, která jsou intenzivně zemědělsky a lesnicko obhospodařována, jedná se o povodí Karlova Luhu a povodí Brejlského potoka. Od roku 1960 v této lokalitě srážky poklesly o 15 %, odtok o 50 % a zásoba vody v území o 20 %. V rámci aplikace konceptu „Chytré krajiny“ je navržen soubor komplexní opatření, která se vzájemně doplňují. Soubor je tvořen z následujících částí: monitoring, agrotechnická opatření, mobilní protierozní opatření, biotechnická opatření, výstavba malých vodních nádrží a rekonstrukce mokřadů. V rámci monitoringu je navrženo systematické sledování hladin podzemí vody, které bude realizováno souborem pozorovacích a kontrolních vrtů. V lokalitě je plánován monitoring dynamiky půdní vody, ve vybraných profilech na vodních tocích je prováděn monitoring průtoků a v současné jsou a budou připraveny měrné profily pro kontinuální sledování hladin vody v tocích, doplněné o odhad průtoků. V povodí je navržen intenzivní monitoring vybraných metrologických prvků, které umožní odhadnout aktuální evapotranspiraci. V 10 profilech na Brejlském potoce jsou pravidelně vyhodnocovány parametry kvality vody (N, P a další). Za použití výsledků monitoringu budou vyhodnoceny výsledné efekty přírodně blízkých retenčních opatření. V současné době jsou v území realizována vybraná agrotechnická opatření a mobilní protierozní opatření. V přípravě jsou komplexní pozemkové úpravy a prvotní realizace páteřních akumulačních opatření, kterými jsou dvě malé vodní nádrže a realizace umělých mokřadů.

**Keywords:** retenční opatření, monitoring, odtok, srážky, výpar

### **Kontakt:**

Doc. Ing. Petr Máca, PhD, KVHEM FŽP ČZU Praha  
Kamýcká 126, Praha 6-Suchbátol  
Telefon +420 224 382 152, e-mail: maca@fzp.czu.cz