VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI/2021/3

4 / Zabezpečenost odběrů vody z vodárenských nádrží v podmínkách klimatické změny

43 / Kvantifikace rýhové eroze bezkontaktními metodami

52 / Rozhovor s Ing. Zbyňkem Folkem, generálním ředitelem státního podniku Povodí Ohře

Světový den boje proti suchu a dezertifikaci

Dne 17. června si svět připomíná den boje proti suchu a dezertifikaci. Je to jeden z mezinárodních dnů řešících biosféru a životní prostředí naší planety. Byl vyhlášen u příležitosti přijetí Úmluvy OSN o boji proti dezertifikaci (United Nations Convention to Combat Desertification – UNCCD) 17. června 1994 v Paříži. Úmluva OSN o boji proti tomuto globálnímu problému vznikla z podnětu konference OSN o životním prostředí v Riu de Janeiru v roce 1992 a vstoupila v platnost 12. prosince 1996. Světový den boje proti rozšiřování pouští je jedinečnou příležitostí, jak si připomenout, že s dezertifikací a důsledky sucha je možné bojovat, a má zvýšit povědomí veřejnosti o mezinárodní spolupráci v této oblasti. Zdaleka již totiž nejde pouze o africkou Saharu (oblast Sahel), rychle vysychající Aralské jezero ve Střední Asii či poušť Gobi na území Číny a Mongolska. S problémy se suchem se potýkají prakticky všechny kontinenty včetně Evropy.

Den boje proti suchu a dezertifikaci se letos zaměří především na přeměnu degradované půdy na zdravou. Obnova degradované půdy přináší ekonomickou odolnost, vytváří pracovní místa, zvyšuje příjmy a zároveň bezpečnost potravin. Pomáhá obnovit biologickou rozmanitost. Může „uzamknout" atmosférický uhlík ohřívající Zemi a zpomalit změnu klimatu. Rovněž může zmírnit dopady změny klimatu a podpořit ekologické zotavení z pandemie COVID-19.

Podle Ibrahima Thiawa, výkonného tajemníka UNCCD, může obnova půdy významně přispět také k hospodářskému oživení po COVID-19: *„Investice do obnovy půdy vytvářejí pracovní místa, přinášejí i ekonomické výhody a mohou poskytnout obživu v době, kdy dochází ke ztrátě stovek milionů pracovních míst."*

Mgr. Zuzana Řehořová
Odborná redaktorka VTEI

Foto: Shutterstock.com

Obsah

3 Úvod

4 Zabezpečenost odběrů vody z vodárenských nádrží v podmínkách klimatické změny
Adam Vizina, Petr Vyskoč, Martina Peláková, Jiří Picek, Adam Beran, Roman Kožín

20 Hydrologická bilance vybraných povodí ČR se zaměřením na suché období 2015–2019
Radovan Tyl, Václav David, Adam Beran

28 Extrémní víceletá hydrologická sucha v povodí Labe
Ladislav Kašpárek, Roman Kožín

34 Alternativní stanovení faktoru R (erozní účinnost deště) v povodí Husího potoka
David Honek, Martin Caletka

43 Kvantifikace rýhové eroze bezkontaktními metodami
Radek Bachan

51 Autoři

52 Rozhovor s Ing. Zbyňkem Folkem, generálním ředitelem státního podniku Povodí Ohře
Josef Nistler

56 Littering
Dagmar Vološinová, David Rohovec, Elžbieta Čejka

63 Ukradená digitální identita časopisu – další riziko pro akademické pracovníky
Libor Ansorge

Foto: Shutterstock.com

Vážení čtenáři,

rozkolísané dubnové počasí nám ukázalo, jakou má příroda sílu, tedy samozřejmě jen v případě, pokud chce. Jeden den jsme se mohli jít opalovat, druhý koulovat a třetí den jsme zmokli. Dubnu, který je svou proměnlivostí počasí znám, se to dá ještě prominout, navíc když jsme si kvůli koronavirovým omezením stejně nemohli sluníčka pořádně užít, ale již nastal měsíc, jenž by měl být svou stabilitou příslibem příjemného léta. Kromě toho to vypadá, že nám dlouho očekávanou dovolenou mimo domov umožní i epidemiologická situace.

Bude zajímavé sledovat, jak se u nás klimatická změna začne projevovat. Zima a vlastně i celý minulý rok byly z vodohospodářského hlediska příznivé, takže laťka je vysoko a očekávání veliké, ačkoli nejistota tady stále je. Abychom tedy mohli říct: „Ať tak, nebo tak, na naše slova dojde," sestavili jsme toto číslo VTEI takovým způsobem, aby zahrnovalo nejen sucho, ale i srážky až přívalového charakteru způsobující eroze. Pevně však doufám, že se nám tento rok oba extrémy vyhnou a dovolené si konečně budeme moci užít tak, jak jsme byli dříve zvyklí.

Pokud vás nezaujme ani jedno z uvedených témat, možná vás osloví článek o ukradené digitální identitě, což je až překvapivě aktuální problém v dnešním vědecko-výzkumném – ale i univerzitním – světě a netýká se jen identity časopisů. Možná si sami ani neuvědomujeme, jak často se s tímto nešvarem setkáváme.

Abych však tuto úvahu uzavřel pozitivně: očkování zdárně pokračují, úmrtnost na covid klesá, emise ve vzduchu jsou nízké, studny jsou přiměřeně plné vody a s enormním množstvím odpadů se zatím celkem dobře vyrovnáváme. Navíc můžeme Evropské komisi sdělit, že koronavirus SARS-CoV-19 v odpadních vodách umíme nejen detekovat, ale dokonce víme, jak jeho monitoring a včasné varování zavést do praxe.

Ing. Tomáš Urban
ředitel VÚV TGM, v. v. i.

Zabezpečenost odběrů vody z vodárenských nádrží v podmínkách klimatické změny

ADAM VIZINA, PETR VYSKOČ, MARTINA PELÁKOVÁ, JIŘÍ PICEK, ADAM BERAN, ROMAN KOŽÍN

Klíčová slova: klimatická změna — vodní zdroje — nedostatek vody — zásobování pitnou vodou — vodní bilance

Preservation of drinking water demand from water reservoirs in climate change conditions

ADAM VIZINA, PETR VYSKOČ, MARTINA PELÁKOVÁ, JIŘÍ PICEK, ADAM BERAN, ROMAN KOŽÍN

Keywords: climate change — water resources — water scarcity — drinking water supply — water balance

SOUHRN

Článek představuje průběžné výsledky vyhodnocení možného dopadu klimatické změny na zabezpečenost odběrů vody pro vodárenské účely zajišťovaných vodními nádržemi k časové úrovni roku 2050. Při řešení byly aplikovány postupy hydrologické a vodohospodářské bilance, včetně modelování zásobní funkce vodohospodářských soustav. Možný dopad klimatické změny na hydrologické charakteristiky a následně na zabezpečenost odběrů vody byl vyhodnocen u celkem 45 vodních nádrží v ČR. Riziko nedostatečného zajištění současných požadavků na vodárenské odběry v podmínkách klimatické změny bylo identifikováno u 17 zhodnocených vodních nádrží.

ÚVOD

Sucho spolu s povodněmi patří k extrémním hydrologickým jevům, ke kterým dochází přirozeně a nahodile. S rostoucími dopady klimatické změny se však frekvence výskytu i časový a plošný rozsah extrémních hydrologických jevů může měnit. Výsledky modelování dopadů klimatické změny pro ČR předpovídají četnější výskyt přívalových povodní a dlouhotrvajícího sucha. Tato skutečnost se v posledních letech potvrzuje na mnoha povodích. Nepříznivá situace může vést i k ohrožení spolehlivosti zásobování obyvatel pitnou vodou. Významná část odběrů vody pro vodárenské účely je v ČR zajišťována prostřednictvím vodních nádrží. Podle aktuálních dat evidovaných pro potřebu sestavení vodní bilance [1] je pomocí vodních nádrží (a to jak odběry vody přímo z vodních nádrží, tak nadlepšováním průtoků do míst odběrů vody níže položených) zajišťováno cca 50 % z celkového množství vody odebrané pro veřejné vodovody (92 % z odběrů povrchových vod pro veřejné vodovody).

Prezentované vyhodnocení zabezpečení vodárenských odběrů zajišťovaných vodními nádržemi bylo zpracováno v rámci řešení projektu VI20192022159 „Vodohospodářské a vodárenské soustavy a preventivní opatření ke snížení rizik při zásobování pitnou vodou" programu BV III/1-VS Ministerstva vnitra. Řešitelem projektu je Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i. Řešení projektu bylo zahájeno v červenci 2019, dokončení je plánováno na prosinec 2022. Projekt je zaměřen na vyhodnocení rizik zásobování pitnou vodou v důsledku klimatické změny a vytvoření technických nástrojů pro posouzení možných opatření ke zmírnění případných nepříznivých dopadů.

SUMMARY

This study presents interim results of an evaluation of a potential climate change impact on the preservation of drinking water demand provided by water reservoirs in the timeframe of the year 2050. Hydrological and water sources and demands balance procedures have been applied, including modelling of the storage ability of water resources and water supply systems. A potential climate change impact on hydrological characteristics and subsequently on the security of water demand has been evaluated in a total of 45 water reservoirs in the Czech Republic. A risk of insufficient supply of current drinking water abstraction requirements in climate change conditions has been identified in 17 of the evaluated water reservoirs.

INTRODUCTION

Drought together with floods belong among extreme hydrological phenomena that occur naturally and randomly. However, with increasing climate change impacts, frequency of the occurrence, temporal and spatial distribution of extreme hydrological phenomena may change. The results of modelling climate change impacts for the Czech Republic predict a more frequent occurrence of flash floods and long-lasting drought. In recent years, this fact has been proven in many catchment areas. An unfavourable situation may even lead to putting the reliability of drinking water supply for citizens at risk. A significant part of drinking water demand in the Czech Republic is provided by water reservoirs. According to current data recorded for the sake of water balance compilation [1], approximately 50% of the total water demand for public water mains (92% of surface water for public water mains) are provided for by water reservoirs (both by water abstraction directly from water reservoirs and by ameliorating discharge to water abstraction sites at lower altitudes).

The presented evaluation of the preservation of drinking water demand provided for by water reservoirs has been made within project No. VI20192022159 "Water Resources and Water Supply Systems and Preventive Measures to Reduce Risks for Drinking Water Supply" under a Ministry of the Interior programme No. BV III/1-VS. The T. G. Masaryk Water Research Institute is the project investigator. Work on the project was launched in July 2019 and is envisaged to be

METODIKA A MATERIÁL

Posouzení možných dopadů klimatické změny na zajištění vodárenských odběrů vodními nádržemi vychází z metodiky [2]. Při řešení jsou aplikovány v metodice uvedené postupy zpracování hydrologické a vodohospodářské bilance, včetně simulačního modelování zásobní funkce vodohospodářských soustav. Posouzení bylo zpracováno k výhledovému období roku 2050.

Dopad klimatické změny na hydrologické charakteristiky a zabezpečenost odběrů vody byly posouzeny u vodních nádrží evidovaných jako vodárenské podle [3] (s výjimkou vodních nádrží Husinec, Jezeří, Boskovice a Fryšták, které nejsou v současnosti pro vodárenské odběry využívány). Rovněž byla posouzena zabezpečenost vodárenských odběrů z vodních nádrží Seč, Vranov a Slezská Harta. Kromě odběrů vody z těchto nádrží byly posuzovány i vodárenské odběry vody na vodních tocích, kam je průtok z vodních nádrží pro potřebu zajištění odběrů aktivně nadlepšován (ÚV Plzeň na Úhlavě z vodní nádrže Nýrsko, ÚV Milíkov na Mži z vodní nádrže Lučina) nebo převáděn (ÚV Šumná na Bílém potoce z vodní nádrže Fláje). Uvažovány byly převody vody z Třebízského potoka a z vodní nádrže Podhora do vodní nádrže Mariánské Lázně, z Černé vody do vodní nádrže Přísečnice, z vodní nádrže Fláje do Pekelského potoka (pro ÚV Šumná), z Lužce do vodní nádrže Jirkov, z Jiřínského a Jedlovského potoka do vodní nádrže Hubenov. Při simulaci zásobní funkce byla rovněž uvažována možnost spolupráce či vzájemná zastupitelnost vodních nádrží Karhov – Zhejral, Podhora – Mariánské Lázně, Vranov – Znojmo, Seč – Křižanovice, Slezská Harta – Kružberk a Morávka – Šance.

Současné klimatické podmínky

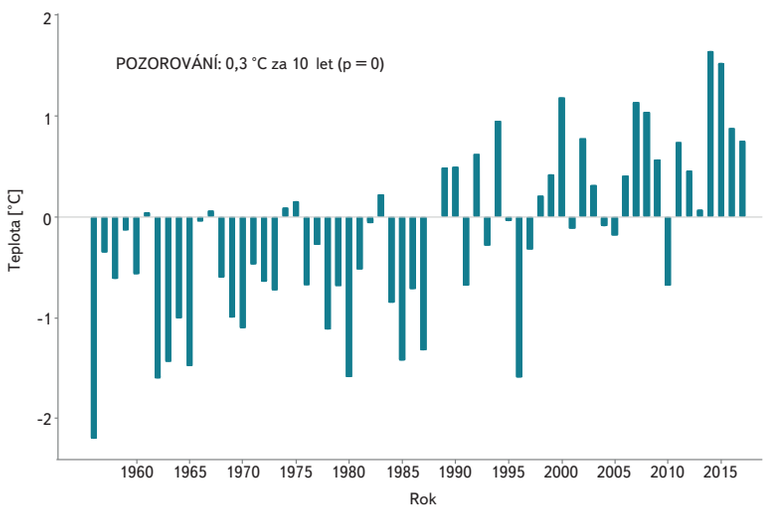
Pro samotné hodnocení současných podmínek byla využita data za období 1941–2017, a to časové řady teplot vzduchu, srážkových úhrnů a odtoků. Na *obr. 1* jsou znázorněny odchylky průměrných ročních teplot vzduchu od průměrné roční teploty za referenční období 1981–2010 (znázorněno žlutým polygonem). Lze pozorovat výrazný nárůst teplot, a to především v posledních letech. Tento nárůst teplot je statisticky významný na vysoké hladině významnosti. Zeleně jsou zobrazena období tří nejvýznamnějších such v tomto časovém úseku. Zvyšující se teplota má vliv na velikost potenciální evapotranspirace, a pokud je k dispozici voda v půdním profilu, tak samozřejmě i na aktuální výpar.

completed in December 2022. The project focuses on evaluating risks of drinking water supply as a result of climate change and on devising technical tools for assessing possible measures to mitigate potential unfavourable impacts.

METHODOLOGY AND MATERIAL

The assessment of potential climate change impacts on the preservation of drinking water demand from water reservoirs is based on a methodology [2]. Procedures for processing hydrological and water management balance stated in the methodology have been applied in the project, including simulation modelling of the storage ability of water management systems (water reservoirs). The assessment has been made for the prospective period of 2050.

The climate change impact on hydrological characteristics and on the security of water demand have been assessed in water reservoirs that are recorded as water supply ones pursuant to [3] (with an exception of water reservoirs Husinec, Jezeří, Boskovice and Fryšták, which are at present not used for drinking water abstraction). At the same time, the security of drinking water demand from water reservoirs Seč, Vranov and Slezská Harta has also been assessed. Besides water abstraction from these reservoirs, drinking water demand has also been assessed on watercourses where discharge from water reservoirs is actively ameliorated for the sake of securing water demand (the Plzeň water treatment plant on the Úhlava River from the Nýrsko water reservoir and the Milíkov water treatment plant on the Mže River from the Lučina water reservoir) or transferred (the Šumná water reservoir on Bílý Brook from the Fláje water reservoir). Water transfers from Třebízský Brook and from the Podhora water reservoir to the Mariánské Lázně water reservoir have been considered, from Černá voda Brook to the Přísečnice water reservoir and from the Fláje water reservoir to Pekelský Brook (for the Šumná water treatment plant), from Lužec Brook to the Jirkov water reservoir and from Jiřínský Brook and Jedlovský Brook to the Hubenov water reservoir. When the storage function was simulated, the possibility of cooperation or mutual replaceability of water reservoirs Karhov – Zhejral, Podhora – Mariánské Lázně, Vranov – Znojmo, Seč – Křižanovice, Slezská Harta – Kružberk and Morávka – Šance has also been considered.



Obr. 1. Průměrné roční teploty vzduchu za období 1955–2017 (trend 0,3 °C za 10 let, který je statisticky významný)

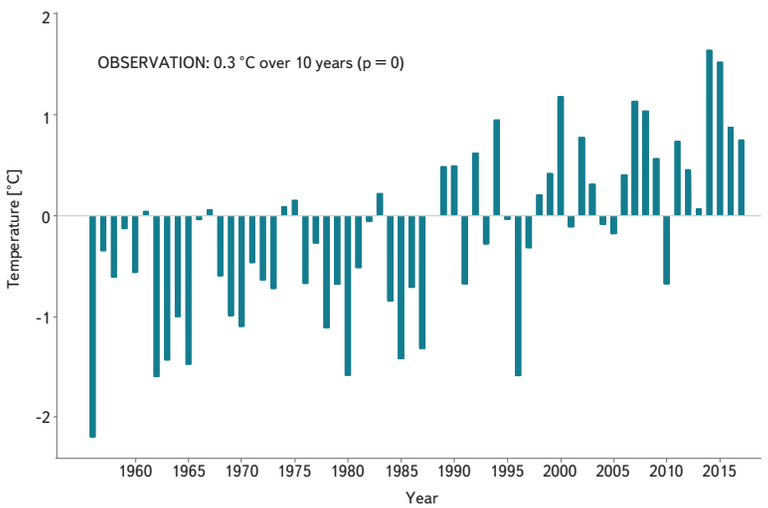


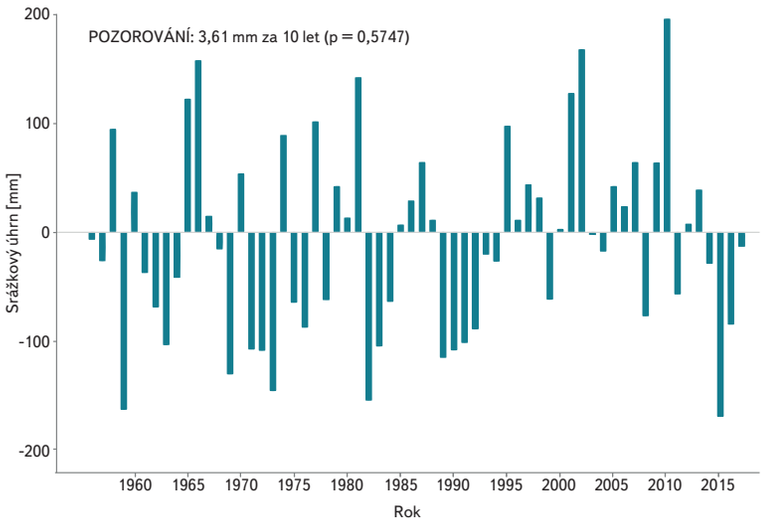
Fig. 1. Mean annual air temperature during the period of 1955–2017 (a statistically significant trend of 0.3 °C over 10 years)

Analogicky jsou na dalších grafech zobrazeny srážkové úhrny a odtokové výšky. Na *obr. 2* lze vidět rozdíly srážkových úhrnů od referenčního období. Z nich je zřejmé, že se období, kdy byla snížená dostupnost srážkových úhrnů (1969–1974, 1989–1994, 2014–2017), opakuje, deficit byl dokonce větší než v posledních pěti letech. Vyhodnocení ročních srážkových úhrnů neukazuje trend, který by byl statisticky významný. Tento fakt lze odvodit také z *obr. 3*, který zachycuje odtokové výšky. Z dlouhodobého hlediska u průměrných ročních odtoků (průměrných za celé území ČR) nelze vysledovat statisticky významný trend. V posledních letech však lze pozorovat výrazný pokles odtoků v letních a jarních měsících a nárůst v měsíci lednu (což je dáno především nárůstem teplot – kapalnými srážkami a táním sněhu). Pro představu, změna odtoku o 1 mm znamená snížení o 78,87 mil. m^3. Tato hodnota odpovídá téměř objemu vody ve VN Rozkoš.

Current Climate Conditions

Data from the period of 1941–2017 have been used for the actual evaluation of current conditions, namely time series of air temperature, precipitation totals and runoff. *Fig. 1* presents deviations of mean annual air temperature from the mean annual temperature over the reference period of 1981–2010 (represented by a yellow polygon). A significant temperature increase can be observed, especially in recent years. This temperature increase is statistically significant with a high degree of significance. The green colour represents periods of 3 most significant droughts in this period. Increasing temperature has an impact on the amount of potential evapotranspiration and if water is available in the soil profile, then naturally also on the actual evaporation.

By analogy, the following figures present precipitation totals and runoff heights. *Fig. 2* shows the differences of precipitation totals from the reference period. We can see that the periods when precipitation totals were lower (1969–1974, 1989–1994, 2014–2017) repeat themselves and that the deficit was even higher than in the past five years. However, an evaluation of annual



Obr. 2. Průměrné roční rozdíly srážkových úhrnů (od normálu) za období 1955–2017 (trend 3,61 mm za 10 let, který je statisticky nevýznamný)

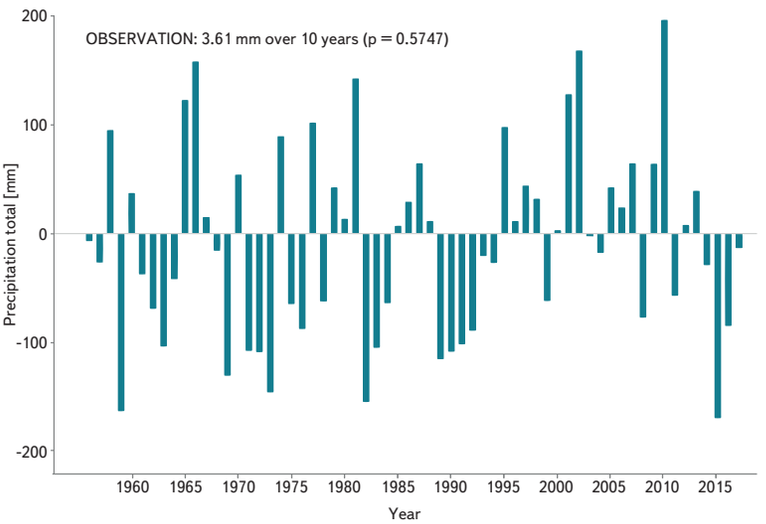
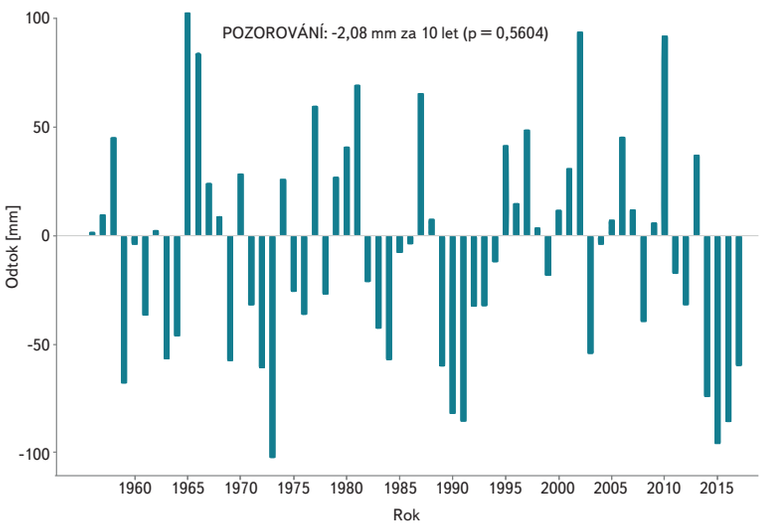


Fig. 2. Mean annual differences in precipitation totals (from normal) for the period of 1955–2017 (a statistically insignificant trend of 3.61 mm over 10 years)



Obr. 3. Průměrné roční rozdíly odtoků (od normálu) za období 1955–2017 (trend -2,08 mm za 10 let, který je statisticky nevýznamný)

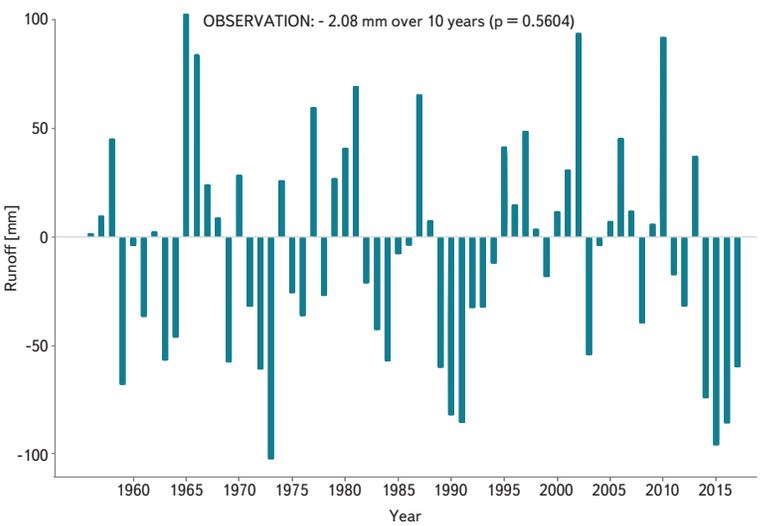


Fig. 3. Mean annual runoff differences (from normal) for the period of 1955–2017 (a statistically insignificant trend of -2.08 mm over 10 years)

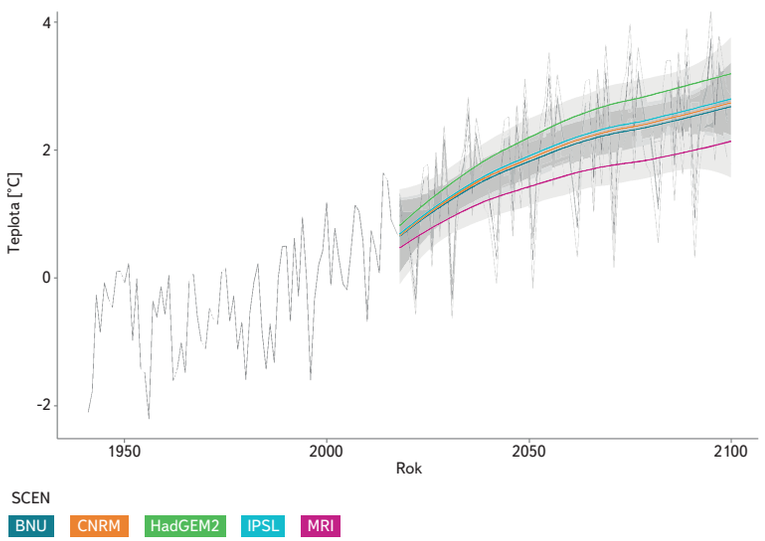
Scénáře změny klimatu ve vodním hospodářství

Pro tvorbu scénářů změny klimatu v kontextu odhadu změn hydrologické bilance se v České republice standardně využívá tzv. přírůstková metoda, zejména pro studie v měsíčním kroku. Tato metoda spočívá v transformaci pozorovaných dat tak, aby změny transformovaných veličin odpovídaly změnám odvozeným ze simulací klimatických modelů. V měsíčním kroku se běžně uvažují změny průměrných měsíčních úhrnů srážek a průměrné měsíční teploty. V denním kroku je nutné uvažovat i změny variability veličin. Pro tvorbu scénářů změny klimatu byla proto využita pokročilá přírůstková metoda ADC (Advanced Delta Change). Podstatou přírůstkové metody je transformace pozorovaných dat způsobem, jenž zaručí, že změny mezi transformovanou a původní řadou jsou stejné jako změny odvozené z regionálního klimatického modelu. U srážek a teploty (zejména v denním kroku) je žádoucí, aby uvažované transformace zohledňovaly změny jak v průměru, tak ve variabilitě. To zjednodušeně znamená, že extrémy se mohou měnit jinak než průměr. Při odvození změn srážek z klimatického modelu ADC metoda uvažuje i systematické chyby simulace. Jelikož teplota je transformována lineárně, nemá systematická chyba na výslednou transformaci teploty vliv [4].

Zvolenou metodou byly transformovány vybrané [5] Globální cirkulační modely (GCM) pro dílčí povodí, jedná se o:

- NorESM1-M +
- MPI-ESM-LR + HadGEM2-ES +
- GISS-E2-H + MRI-ESM1 +
- CanESM2 + GFDL-CM3

První model (NorESM1-M) představuje střed ansámblu všech GCM. Modely MPI-ESM-LR + HadGEM2-ES + vystupují jako řídící GCM pro několik Euro-CORDEX RCM simulací. To ostatně platí i pro vybraný střední model, který rovněž řídí jeden z Euro-CORDEX RCMs. Modely GISS-E2-H + MRI-ESM1 zajistí splnění podmínky na pokrytí mezimodelové variability a modely CanESM2 + GFDL-CM3 umožní splnit poslední uvedenou podmínku výběru. Tyto modely byly dále testovány pro vodní hospodářství. Testovány byly také vybrané modely RCM. Pro samotné hodnocení byl vybrán model HadGEM2-ES, který byl pro střední scénář dopadů klimatické změny doporučen ve studii [6]. Vývoj teploty dle RCP8.5[1] je uveden na *obr. 4*.



Obr. 4. Změny teploty vzduchu dle jednotlivých GCM a RCP8.5.

precipitation totals does not yield a trend that would be statistically significant. This fact may also be derived from *Fig. 3*, which presents runoff heights. From the long-term perspective, no statistically significant trend can be established in mean annual runoff (that capture mean values for the whole territory of the Czech Republic). Nevertheless, a significant decline in runoff in the summer and spring months and an increase in January may be observed (which is in particular due to an increase in temperature – liquid precipitation and snow melting). For illustration, a change of runoff by 1 mm means a reduction by 78.87 million m^3. This value corresponds nearly to the water volume in the Rozkoš water reservoir.

Climate Change Scenarios in Water Management

The increment method is used as a standard for calculating climate change scenarios in the context of predicting changes of hydrological balance in the Czech Republic, especially for studies with monthly time steps. This method is based on a transformation of observed data so that changes of transformed variables would correspond to changes derived from climate model simulations. The monthly time step usually considers changes of mean monthly precipitation totals and mean monthly temperature. The daily time step needs to consider also variability changes of variables. Therefore, the ADC (Advanced Delta Change) increment method has been used for calculating climate change scenarios. The increment method is based on a transformation of observed data in a way that ensures that changes between the transformed and original series are the same as changes derived from a regional climate model. Especially in the daily time step, it is desirable that considered transformations regarding precipitation and temperature take into account changes both in the mean and in the variability. To put it simply, this means that extremes may change differently from the mean. When precipitation changes are derived from the climate model, the ADC method takes into consideration also systematic simulation errors. Since temperature is transformed linearly, a systematic error does not have an impact on the resulting temperature transformation [4].

The chosen method has been used to transform selected [5] Global Circulation Models (GCMs) for sub-catchment areas, namely:

- NorESM1-M +
- MPI-ESM-LR + HadGEM2-ES +
- GISS-E2-H + MRI-ESM1 +
- CanESM2 + GFDL-CM3.

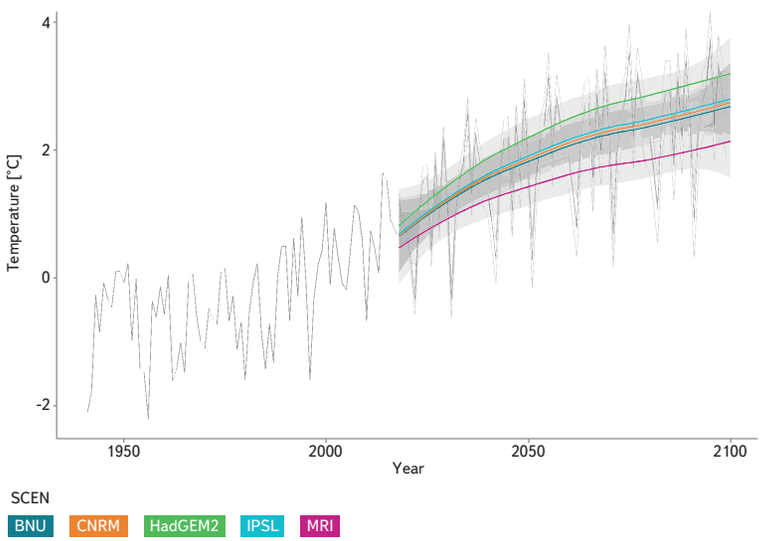


Fig. 4. Air temperature changes according to individual GCMs and RCP8.5

Pro hodnocení vodohospodářské bilance byly vybrány scénáře:

1. **0** – označující současné podmínky
2. **2** – současné klima + 2 °C
3. **HadGEM2** – klima založené na výstupech GCM HadGEM2-ES RCP4.5

Modelování hydrologické bilance

K modelování hydrologické bilance byl použit model Bilan, který je vyvíjen více než 15 let v oddělení hydrologie Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i. Model počítá v denním či měsíčním časovém kroku chronologickou hydrologickou bilanci povodí či území. 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 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 [7, 8, 9]. Pro modelování hydrologické bilance byla použita měsíční verze modelu.

Hydrologické modelování změn klimatu

Postup modelování dopadu změny klimatu na hydrologický režim (viz *obr. 5*) lze stručně shrnout následovně:

1. Zvolený hydrologický model je pro vybrané povodí nakalibrován pomocí pozorovaných dat. Hydrologický model by měl být fyzikálně založen, aby bylo zaručeno, že i pro nepozorované podmínky bude poskytovat fyzikálně přijatelné výsledky.
2. Vstupní veličiny z globálního, popřípadě vnořeného regionálního klimatického modelu jsou převedeny na scénářové řady pro jednotlivá povodí, a to:
   a. statistickým downscalingem
   b. „postprocessingem" výstupu klimatického modelu, tj. využitím přírůstkové metody či korekce systematických chyb

   Často je nutné pomocí prostorové interpolace vztáhnout data z výpočetních buněk klimatického modelu k těžišti daného povodí. Pro korektní využití všech metod (a–b) je nezbytné mít k dispozici pozorovaná data.
3. Pomocí nakalibrovaného hydrologického modelu a scénářových řad je provedena simulace hydrologické bilance pro scénářové období.
4. Modelované průtoky pro současnost a výhledová období jsou korigovány v jednotlivých měsících pomocí kvantilové metody [10].

The first model (NorESM1-M) represents a median of the ensemble of all GCMs. The MPI-ESM-LR + HadGEM2-ES models act as controlling GCMs for several Euro-CORDEX RCM simulations. This is after all true also for the selected median model, which also controls one of the Euro-CORDEX RCMs. The GISS-E2-H + MRI-ESM1 models ensure meeting of the condition to cover inter-model variability and the CanESM2 + GFDL-CM3 models enable the last stated condition for the selection to be met. These models have been further tested for water management. Selected RCM models have also been tested. The HadGEM2-ES model has been chosen for the actual testing, which has thus been recommended in studies [6], recommending a median scenario of climate change impacts in water management. *Fig. 4* presents temperature development pursuant to RCP8.5[1].

The following scenarios have been selected to evaluate the water management balance:

1. **0** – current conditions
2. **2** – current climate + 2 °C
3. **HadGEM2** – climate based on the outputs of GCM HadGEM2-ES RCP4.5

Modelling of Hydrological Balance

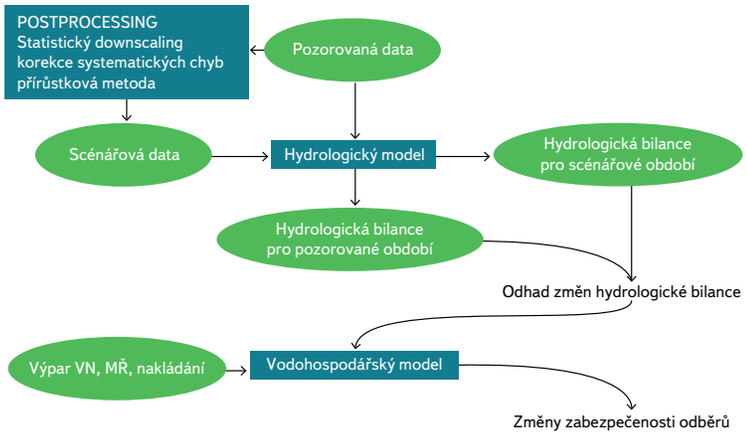
The Bilan model, which is being developed for over 15 years at the Hydrology Department of the T. G. Masaryk Water Research Institute, has been used for modelling hydrological balance. The model calculates in daily or monthly time steps chronological hydrological balance of a catchment area or of a territory. It expresses fundamental balance relations on the surface of the catchment area, in the aeration zone that also includes the vegetation cover of the catchment area, and in the groundwater zone. Air temperature is used as an energy balance indicator that has a significant impact on hydrological balance. The calculation models potential evapotranspiration, actual evaporation, infiltration into the aeration zone, seepage through this zone, snow water equivalent, water storage in the soil and groundwater storage. Runoff is modelled as a sum of three components: two components of direct runoff (that includes also hypodermic runoff) and base flow [7, 8, 9]. The monthly version of the model has been used for modelling hydrological balance.

Hydrological Modelling of Climate Changes

The procedure for modelling the climate change impact on the hydrological regime (see *Fig. 5*) may be concisely summarised as follows:

1. The chosen hydrological model is calibrated for selected catchment areas using observed data. The hydrological model should have a physical basis to make sure that it yields physically acceptable results also for unobserved conditions.
2. Input variables from a global or embedded regional climate model are transformed to scenario series for the individual catchment areas, namely by:
   a. statistical downscaling
   b. post-processing of the climate model output, i.e. by using the increment method or correction of systematic errors

   It is often necessary to relate the data from calculation cells of the climate model to the centre of a given catchment area by spatial interpolation. It is essential to have observed data at one's disposal in order to use all methods (a–b) correctly.



Obr. 5. Schéma hydrologického modelování dopadů změny klimatu

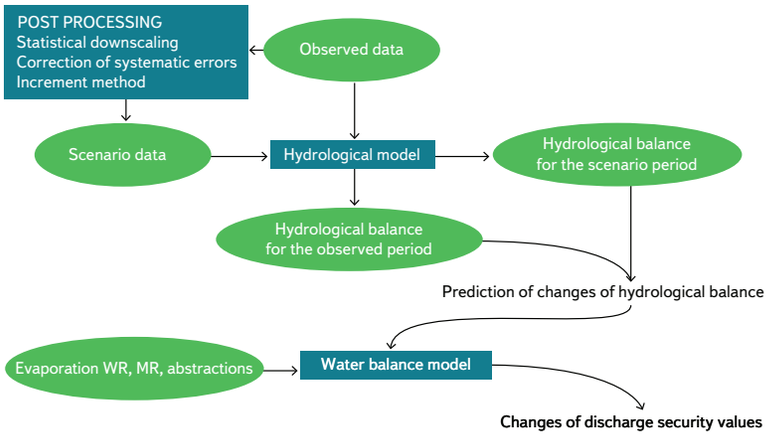


Fig. 5. Scheme of hydrological modelling of climate change impacts

Vodohospodářská bilance

Na výše uvedené vyhodnocení dopadu klimatické změny na hydrologické charakteristiky navázalo posouzení zabezpečenosti odběrů vody pomocí metod vodohospodářské bilance a simulačního modelování zásobní funkce vodohospodářských soustav. Aplikovanou metodu podrobně popisuje [11], použité programové vybavení [12]. Simulační model simuluje chování soustavy v chronologické řadě diskrétních časových kroků (zde zvolen měsíční krok) na základě znalosti časových řad přirozených průtoků (neovlivněných regulací a odběry/vypouštěním vody), požadavků na užívání vody (zde odběrů vody) a zachování minimálních průtoků, technických parametrů prvků soustavy (zde objemů zásobního prostoru nádrží a kapacit převodů vody) a do modelu zavedených pravidel regulace odtoku (manipulačních pravidel). Výstupem simulace jsou časové řady simulovaných aktivit: průtoků a výparu z hladin vodních nádrží, odběrů vody, odtoků z vodních nádrží, objemů vody a hladin v zásobním prostoru nádrží. Tyto časové řady jsou následně statisticky vyhodnoceny. Jako základní charakteristika vyjadřující zajištění odběrů vody je vyhodnocena zabezpečenost podle trvání p_t, definovaná [13] (zjednodušeně vyjadřuje procentní podíl délky období, po kterou jsou požadavky na odběry vody a minimální průtoky plně zajištěny, z celkové délky celého posuzovaného období.)

Řešení bylo zpracováno variantně pro výše uvedené scénáře popisující současné podmínky a dopad klimatické změny. Časové řady přirozených průtoků a výparu v profilech vodních nádrží a míst odběrů vody byly výsledkem výše uvedeného modelování hydrologické bilance. Celková délka těchto řad byla 718 měsíců (tj. necelých 60 let). Požadavky na odběry vody byly posuzovány alternativně jako v současnosti realizované odběry vody a jako povolené roční hodnoty odběrů. Jako současné odběry byly uvažovány maximální roční odběry vody evidované pro potřebu sestavení vodní bilance [1] za období let 2014–2019, a to jako během roku rovnoměrně rozdělené. Z údajů této evidence byly převzaty i povolené hodnoty odběrů, požadavky na minimální průtoky pod vodními nádržemi a objemy zásobního prostoru vodních nádrží. Do řešení byl započítán i vliv případných dalších skutečných odběrů a vypouštění vody v povodí vodních nádrží a další relevantní požadavky na zajištění odběrů pro průmysl (např. vodní nádrže Slezská Harta, Kružberk, Morávka a Šance) či zemědělství (např. vodní nádrže Vír I, Vranov a Znojmo). Zajištění požadavků na vodárenské odběry bylo vždy (tj. v každém časovém kroku simulace) uvažováno jako přednostní oproti jiným požadavkům na vodní zdroje, včetně požadavků na minimální průtoky pod vodními nádržemi. Vzhledem k tomu, že se jednalo o modelování možné budoucí situace, nebyla uvažována současná pravidla pro dispečerská řízení vodních nádrží (jsou nastavena na stávající hydrologické podmínky a změna těchto podmínek by si vynutila jejich revizi a optimalizaci).

3. Simulation of hydrological balance for the scenario period is done using a calibrated hydrological model and scenario series.

4. Modelled discharge for the present and future periods are adjusted in the individual months using the quantile method [10].

Water Balance

The above evaluation of the climate change impact on hydrological characteristics has been followed by an assessment of the security of water demand with the help of the water balance method and simulation modelling of the storage function of water resources and supply systems. The applied method is described in detail [11] as well as the software used [12]. The simulation model simulates behaviour of the system in a chronological series of discrete time steps (the monthly time step has been selected in this case) based on the knowledge of time series of natural discharges (unaffected by regulation and water abstraction/release), requirements for water use (water demand in this case) and maintenance of minimum discharges, technical parameters of the respective elements of the system (volume of the storage space of water reservoirs and water transfer capacity) and a model containing introduced rules of runoff regulation (handling rules).Time series of simulated activities are an output of the simulation: discharge and evaporation from the surface of water reservoirs, water demand, runoff from water reservoirs, water volume and water levels in the storage space of reservoirs. These time series are subsequently statistically evaluated. Security according to the duration of p_t, defined in [13] has been evaluated as fundamental characteristics that expresses the security of water demand (to put it simply, it expresses a percentage share of the duration of a period during which water demand and minimum discharge requirements are secured out of the whole duration of the total assessed period.)

Alternatives have been prepared for the above scenarios that describe current conditions and the climate change impact. The aforementioned modelling of hydrological balance has yielded time series of natural discharges and evaporation in the profiles of water reservoirs and water abstraction sites. The overall length of these series has been 718 months (i.e. less than 60 years). Water demand requirements have been assessed alternatively as water demand currently in place and as permitted annual demand values. Maximum annual water demand recorded for compiling the water balance between 2014 and 2019 has been considered as current demand, evenly distributed throughout the year [1]. Permitted demand values, minimum discharge requirements downstream from water reservoirs and storage space volume of water reservoirs have been taken from data contained in the above records. Impact of potential other

VÝSLEDKY

Výsledkem výše popsaného postupu řešení byla kvantifikace možných dopadů klimatické změny na hydrologické charakteristiky (průtoky a výpar z vodní hladiny a evapotranspirace krajiny) a následné vyhodnocení zabezpečenosti vodárenských odběrů zajišťovaných vodními nádržemi v těchto podmínkách. Na *obr. 6* jsou uvedeny změny přirozených odtoků (scénář/současnost) pro scénáře 2 a HadGEM formou grafu typu boxplot[2].

Výsledky vyhodnocení zabezpečenosti vodárenských odběrů jsou – prostřednictvím hodnoty zabezpečenosti podle trvání p_t – uvedeny v *tab. 1* a ilustrovány na *obr. 7*. Pro snadnější orientaci jsou odběry podle dosažené zabezpečenosti rozděleny do čtyř skupin a označeny pomocí barevné škály, a to následujícím způsobem: (a) modře jsou označeny odběry vody s bezporuchovou (tj. p_t = 99,9) zabezpečeností současných i povolených odběrů ve všech hodnocených scénářích; (b) zeleně jsou označeny středně rizikové odběry s bezporuchovou zabezpečeností pouze současných odběrů ve všech hodnocených scénářích; (c) žlutě jsou označeny odběry s bezporuchovou zabezpečeností současných odběrů pouze v příznivějším scénáři dopadu klimatické změny HadGEM2 a (d) červeně jsou jako vysoce rizikové označeny odběry, kde bezporuchová zabezpečenost není dosažena ani v jednom ze scénářů dopadu klimatické změny.

Jako vysoce rizikové vzhledem k zajištění odběrů vody v podmínkách klimatické změny byly vyhodnoceny vodní nádrže Stanovice, Žlutice, Pilská, Obecnice, Opatovice, Bojkovice, Mariánské Lázně – Podhora, Klíčava a Nová Říše. Jako středně rizikové byly vyhodnoceny vodní nádrže Vranov – Znojmo, Vrchlice, Slušovice, Koryčany a Ludkovice. Naopak bezproblémové zajištění současných i povolených odběrů vody bylo vyhodnoceno u vodních nádrží Římov, Nýrsko, Horka, Lučina, Slezská Harta – Kružberk, Seč – Křižanovice, Jirkov, Myslivny, Josefův Důl, Souš, Mostiště, Hubenov a Landštejn.

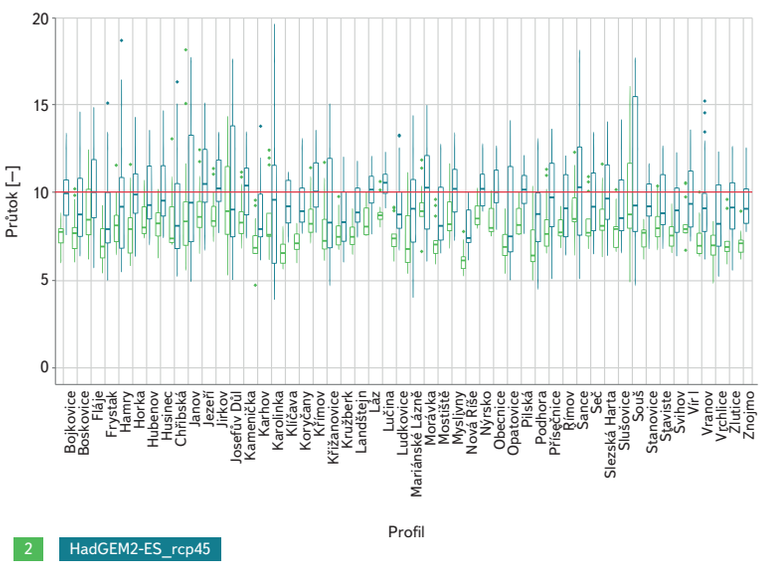
Obr. 8 ilustruje efekt využití akumulace vody v zásobním prostoru vodních nádrží na zajištění současných požadavků na vodárenské odběry a minimální průtoky ve vodních tocích pod nádržemi. Vyjádřen je podíl objemu těchto požadavků, který může být zajištěn pouze přítokem v profilu vodní nádrže, a podíl, který může být zajištěn pouze s pomocí akumulace vody v zásobním prostoru. Vyhodnocení je zpracováno z celé délky časové řady simulace pro vodní nádrže s objemem zásobního prostoru větším než 10 mil. m^3. Vzhledem k simulaci zásobní funkce v měsíčním kroku (kdy jsou uvažovány průměrné měsíční průtoky), je zde zanedbán vliv rozkolísanosti průtoku v průběhu jednotlivých měsíců.

actual demand and water release in the catchment area of water reservoirs as well as further relevant requirements for the security of water demand for the industry (e.g. water reservoirs Slezská Harta, Kružberk, Morávka and Šance) or agriculture (e.g. water reservoirs Vír I, Vranov and Znojmo). The security of requirements for drinking water demand has always (i.e. in each time step of the simulation) been considered as a priority compared to other requirements for water resources, including requirements for minimum discharges downstream from the water reservoirs. Due to the fact that a potential future situation has been modelled, current operating rules for water reservoirs have not been considered (they have been set with the existing hydrological conditions in mind and a change of these conditions would necessitate their review and optimisation).

RESULTS

The aforementioned procedure has resulted in a quantification of potential climate change impacts on hydrological characteristics (discharges and evaporation from the water surface and evapotranspiration of the landscape) and subsequent evaluation of the security drinking water demand provided for by water reservoirs in these conditions. *Fig. 6* presents changes of natural runoffs (scenario/the present) for scenario 2 and for the HadGEM scenario in the form of a boxplot[2].

Results of the evaluation of the security of drinking water demand are presented in *Tab. 1* and are illustrated in *Fig. 7* by the security value according to the duration of p_t. In order to make the presentation more straightforward, water demand has been divided according to achieved security into four groups and has been colour-marked in the following way: (a) the blue colour marks water demand with trouble-free (i.e. p_t = 99,9) security of current and permitted demand in all evaluated scenarios; (b) the green colour marks demand with a medium risk with trouble-free security only of current demand in all evaluated scenarios; (c) the yellow colour marks demand with trouble-free security of current demand only in the more favourable HadGEM2 scenario of the climate change impact and (d) the red colour marks demand with a high risk, i.e. where trouble-free security is not ensured in any of the scenarios of the climate change impact.



Obr. 6. Snížení odtoku z povodí vodárenských nádrží

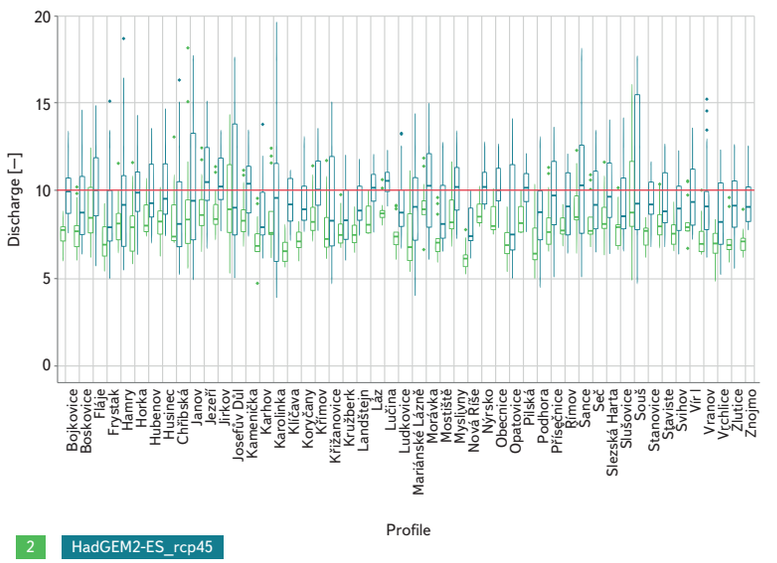


Fig. 6. Reduction in runoff from the catchment area of water reservoirs

Tab. 1. Zabezpečenost požadavků na vodárenské odběry vody v podmínkách klimatické změny

Vodní nádrž	Objem zásob. prostoru [mil.m³]	Úpravna vody	Skutečný roční odběr [tis.m³]	Povolený roční odběr [tis.m³]	Varianta hydrologických podmínek a požadavků na odběry			
					„0“ současné odběry	HadGEM2 současné odběry	„2“ současné odběry	HadGEM2 povolené odběry
					Zabezpečenost podle trvání p_t [%]			
Bojkovice	0,770	Bojkovice	546	1200	93,1	91,8	83,3	80,7
Fláje	19,500	Meziboří	12119	14000	99,9	99,9	99,9	98,7
		Litvínov-Šumná	2524	5800	99,9	99,9	99,9	98,7
Hamry	1,206	Hamry	452	1600	99,9	99,8	99,8	98,1
Horka	16,539	Horka	3185	5110	99,9	99,9	99,9	99,9
Hubenov	2,395	Hosov	3984	4446	99,9	99,9	99,9	99,9
Chřibská	0,839	Chřibská	481	1250	99,9	99,9	99,9	98,2
Jirkov	1,917	Jirkov	1082	2700	99,9	99,9	99,9	99,9
Josefův Důl	19,133	Bedřichov	5427	9000	99,9	99,9	99,9	99,9
Kamenička	0,594	III. Mlýn	984	2000	99,9	99,9	99,9	96,8
Křímov	1,260	III. Mlýn	2205	3000	99,9	99,9	99,9	96,8
Karhov	0,288	Studená-Horní Pole	237	400	99,9	99,1	95,9	96,1
Zhejral	0,157							
Karolinka	5,813	Karolinka	4200	7884	99,9	99,9	99,9	99,3
Klíčava	7,860	Klíčava	2333	3469	98,9	98,1	95,4	95,2
Koryčany	2,130	Koryčany	942	1450	99,9	99,9	98,5	97,4
Kružberk	24,580	Podhradí	34537	85147	99,9	99,9	99,9	99,9
Slezská Harta	182,010	Leskovec	869	3154	99,9	99,9	99,9	99,9
Křižanovice	1,620	Monaco	3679	6500	99,9	99,9	99,9	99,9
Seč	14,017	Seč	202	350	99,9	99,9	99,9	99,9
Landštejn	2,590	Landštejn	753	1200	99,9	99,9	99,9	99,9
Láz	0,820	Kozičín	741	1113	99,9	99,9	99,8	98,9
Lučina	3,457	Milíkov	1035	1500	99,9	99,9	99,9	99,9
		Svobodka	1347	2500	99,9	99,9	99,9	99,9
Ludkovice	0,498	Ludkovice	479	772	99,9	99,9	99,8	99,5

Vodní nádrž	Objem zásob. prostoru [mil.m³]	Úpravna vody	Skutečný roční odběr [tis.m³]	Povolený roční odběr [tis.m³]	Varianta hydrologických podmínek a požadavků na odběry			
					„0“ současné odběry	HadGEM2 současné odběry	„2“ současné odběry	HadGEM2 povolené odběry
					Zabezpečenost podle trvání p_t [%]			
Mariánské Lázně	0,211	Mariánské Lázně	725	1200	99,9	98,5	97,8	96,0
Podhora	2,041							
Morávka*	4,960	Vyšní Lhoty	6139	14500	99,9	99,9	99,9	95,4
Šance*	39,960	Nová Ves u Frýdlantu	25415	69379	99,9	99,9	99,9	95,4
Mostiště	9,339	Mostiště	3183	6300	99,9	99,9	99,9	99,9
Myslivny	0,036	Myslivny	284	694	99,9	99,9	99,9	99,9
Nová Říše	2,237	Nová Říše	1038	2523	96,3	88,9	79,4	55,8
Nýrsko	15,966	Klatovy	3253	4500	99,9	99,9	99,9	99,9
		Plzeň	14125	16500	99,9	99,9	99,9	98,9
Obecnice	0,547	Hvězdička	972	1662	99,9	99,6	98,9	96,0
Opatovice	7,784	Lhota	2010	3784	99,3	98,5	96,7	89,0
Pilská	1,306	Kozičín	1085	1142	99,6	99,3	98,4	99,1
Přísečnice	46,670	Hradiště	15699	30300	99,9	99,9	99,9	78,6
Římov	30,016	Plav	17175	34600	99,9	99,9	99,9	99,9
Slušovice	7,245	Klečůvka	5080	7128	99,9	99,9	99,1	97,8
Souš	4,621	Souš	5156	7000	99,9	99,9	99,9	99,9
Stanovice	20,164	Březová	7059	12614	99,9	99,6	96,0	84,0
Švihov	246,068	Želivka	93291	165600	99,9	99,9	99,9	94,9
Vír I	44,056	Vír	1244	3150	99,9	99,9	99,9	99,3
		Švařec	7688	56765	99,9	99,9	99,9	99,3
Vranov	79,668	Štítary	3019	4200	99,9	99,9	99,1	99,9
Vrchlice	7,890	Trojice	3677	7884	99,9	99,8	92,2	85,7
Znojmo	2,450	Znojmo	2668	4730	99,9	99,9	98,1	99,6
Žlutice	10,281	Žlutice	2650	4730	99,9	98,8	98,0	97,4

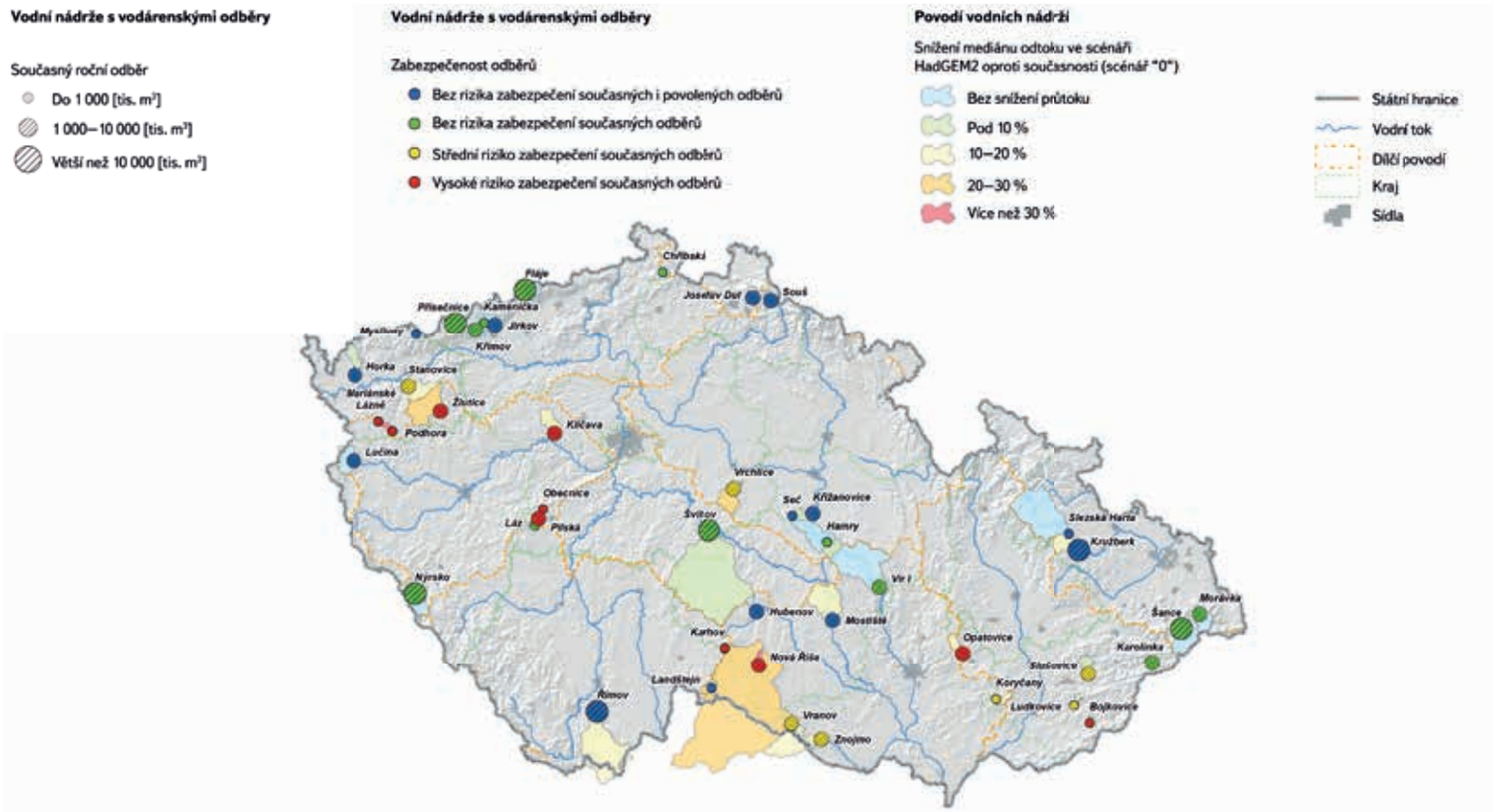
** Při uvažování vzájemné zastupitelnosti vodních nádrží Morávka a Šance*

Tab. 1. Security of drinking water demand in climate change conditions

Water reservoir	Volume of the storage capacity [million m³]	Water treatment plant	Actual annual demand [thousand m³]	Permitted annual demand [thousand m³]	Alternative of hydrological conditions and water abstraction requirements			
					"0" Current demand	HadGEM2 Current demand	"2" Current demand	HadGEM2 Permitted demand
					Security according to the duration of p_t (%)			
Bojkovice	0,770	Bojkovice	546	1200	93,1	91,8	83,3	80,7
Fláje	19,500	Meziboří	12119	14000	99,9	99,9	99,9	98,7
		Litvínov-Šumná	2524	5800	99,9	99,9	99,9	98,7
Hamry	1,206	Hamry	452	1600	99,9	99,8	99,8	98,1
Horka	16,539	Horka	3185	5110	99,9	99,9	99,9	99,9
Hubenov	2,395	Hosov	3984	4446	99,9	99,9	99,9	99,9
Chřibská	0,839	Chřibská	481	1250	99,9	99,9	99,9	98,2
Jirkov	1,917	Jirkov	1082	2700	99,9	99,9	99,9	99,9
Josefův Důl	19,133	Bedřichov	5427	9000	99,9	99,9	99,9	99,9
Kamenička	0,594	III. Mlýn	984	2000	99,9	99,9	99,9	96,8
Křímov	1,260	III. Mlýn	2205	3000	99,9	99,9	99,9	96,8
Karhov	0,288	Studená-Horní Pole	237	400	99,9	99,1	95,9	96,1
Zhejral	0,157							
Karolinka	5,813	Karolinka	4200	7884	99,9	99,9	99,9	99,3
Klíčava	7,860	Klíčava	2333	3469	98,9	98,1	95,4	95,2
Koryčany	2,130	Koryčany	942	1450	99,9	99,9	98,5	97,4
Kružberk	24,580	Podhradí	34537	85147	99,9	99,9	99,9	99,9
Slezská Harta	182,010	Leskovec	869	3154	99,9	99,9	99,9	99,9
Křižanovice	1,620	Monaco	3679	6500	99,9	99,9	99,9	99,9
Seč	14,017	Seč	202	350	99,9	99,9	99,9	99,9
Landštejn	2,590	Landštejn	753	1200	99,9	99,9	99,9	99,9
Láz	0,820	Kozičín	741	1113	99,9	99,9	99,8	98,9
Lučina	3,457	Milíkov	1035	1500	99,9	99,9	99,9	99,9
		Svobodka	1347	2500	99,9	99,9	99,9	99,9
Ludkovice	0,498	Ludkovice	479	772	99,9	99,9	99,8	99,5

Water reservoir	Volume of the storage capacity [million m³]	Water treatment plant	Actual annual demand [thousand m³]	Permitted annual demand [thousand m³]	Alternative of hydrological conditions and water abstraction requirements			
					"0" Current demand	HadGEM2 Current demand	"2" Current demand	HadGEM2 Permitted demand
					Security according to the duration of p_t (%)			
Mariánské Lázně	0,211	Mariánské Lázně	725	1200	99,9	98,5	97,8	96,0
Podhora	2,041							
Morávka*	4,960	Vyšní Lhoty	6139	14500	99,9	99,9	99,9	95,4
Šance*	39,960	Nová Ves u Frýdlantu	25415	69379	99,9	99,9	99,9	95,4
Mostiště	9,339	Mostiště	3183	6300	99,9	99,9	99,9	99,9
Myslivny	0,036	Myslivny	284	694	99,9	99,9	99,9	99,9
Nová Říše	2,237	Nová Říše	1038	2523	96,3	88,9	79,4	55,8
Nýrsko	15,966	Klatovy	3253	4500	99,9	99,9	99,9	99,9
		Plzeň	14125	16500	99,9	99,9	99,9	98,9
Obecnice	0,547	Hvězdička	972	1662	99,9	99,6	98,9	96,0
Opatovice	7,784	Lhota	2010	3784	99,3	98,5	96,7	89,0
Pilská	1,306	Kozičín	1085	1142	99,6	99,3	98,4	99,1
Přísečnice	46,670	Hradiště	15699	30300	99,9	99,9	99,9	78,6
Římov	30,016	Plav	17175	34600	99,9	99,9	99,9	99,9
Slušovice	7,245	Klečůvka	5080	7128	99,9	99,9	99,1	97,8
Souš	4,621	Souš	5156	7000	99,9	99,9	99,9	99,9
Stanovice	20,164	Březová	7059	12614	99,9	99,6	96,0	84,0
Švihov	246,068	Želivka	93291	165600	99,9	99,9	99,9	94,9
Vír I	44,056	Vír	1244	3150	99,9	99,9	99,9	99,3
		Švařec	7688	56765	99,9	99,9	99,9	99,3
Vranov	79,668	Štítary	3019	4200	99,9	99,9	99,1	99,9
Vrchlice	7,890	Trojice	3677	7884	99,9	99,8	92,2	85,7
Znojmo	2,450	Znojmo	2668	4730	99,9	99,9	98,1	99,6
Žlutice	10,281	Žlutice	2650	4730	99,9	98,8	98,0	97,4

** Considering the mutual replaceability of Morávka and Šance water reservoirs*



Obr. 7. Riziko nedostatečného zajištění požadavků na vodárenské odběry v podmínkách klimatické změny

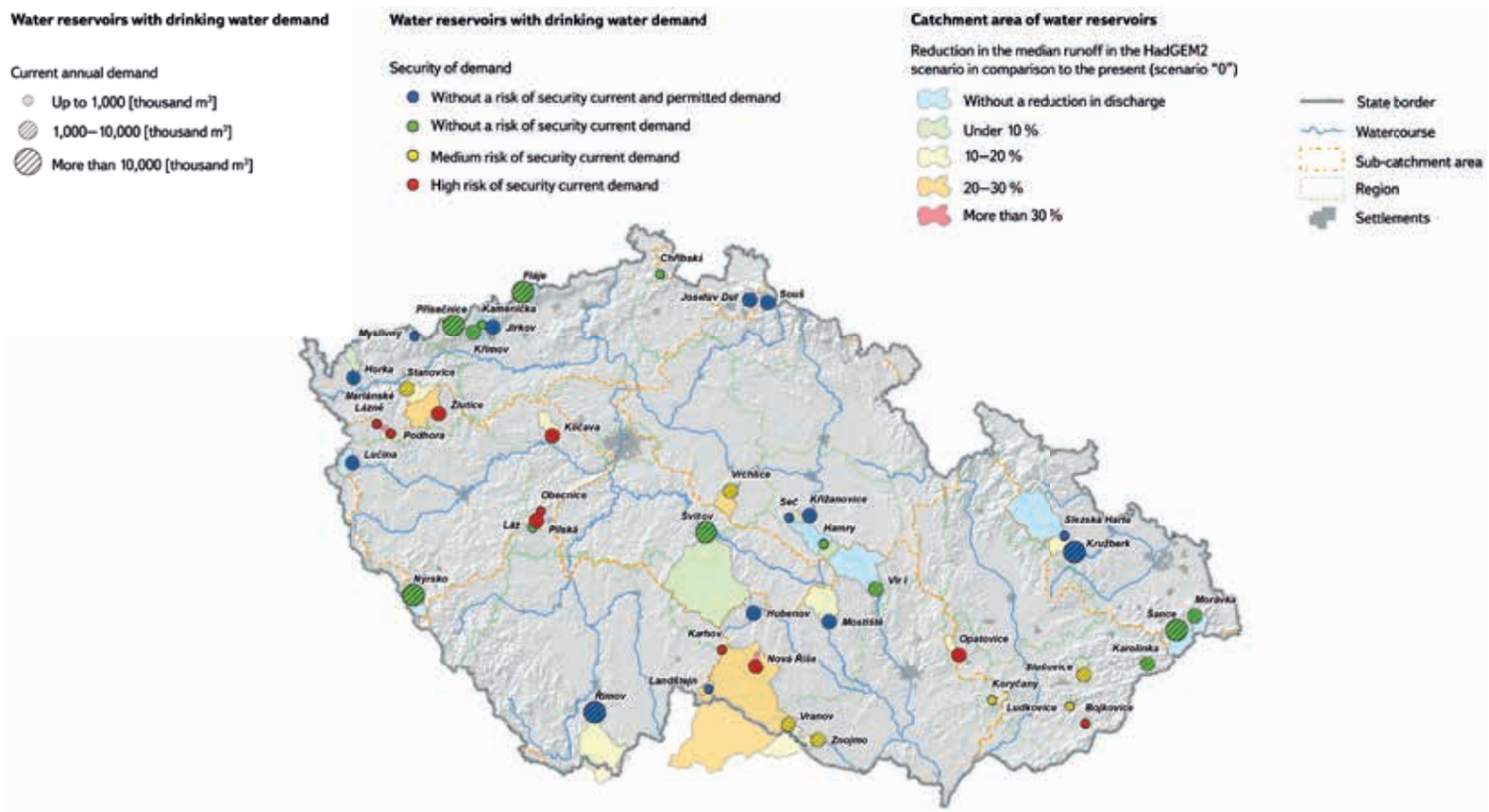
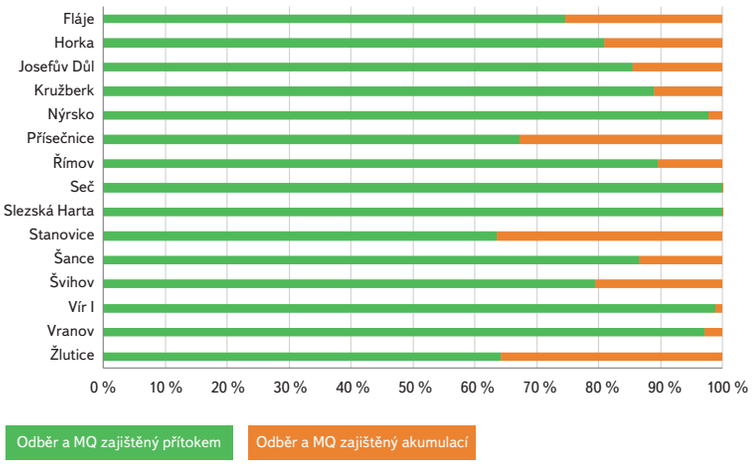


Fig. 7. Risk of insufficient security of requirements for drinking water demand in climate change conditions



Obr. 8. Využití akumulace vody ve vodních nádržích pro zajištění současných odběrů vody a minimálních průtoků (scénář HadGEM2)

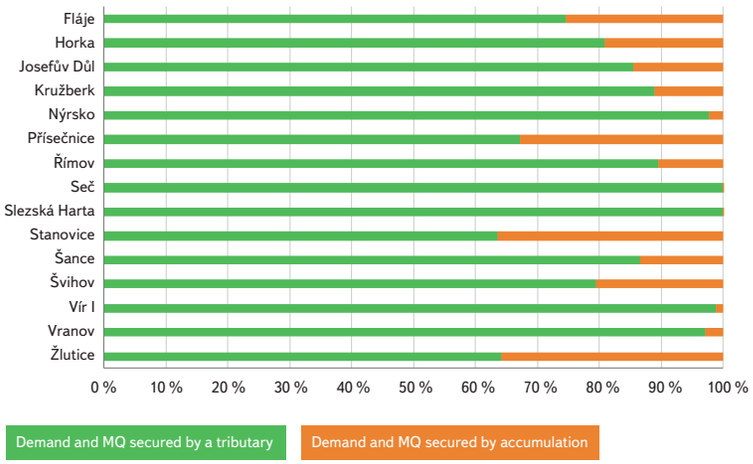


Fig. 8. Use of water accumulation in the storage space of water reservoirs for the security of current water demand and minimum discharges in the HadGEM2 scenario

DISKUZE

Výsledky posouzení možných dopadů klimatické změny na dostupnost vodních zdrojů jsou přirozeně zatíženy jistou mírou nejistoty. Nejistota predikce dopadů klimatické změny na průtoky je reflektována volbou více možných scénářů pro hydrologické modelování, počátečními a okrajovými podmínkami klimatických modelů a jejich strukturou. Dalšími nejistotami jsou výběr korekce systematických chyb klimatických modelů a struktura hydrologického modelu (modelování různými hydrologickými modely). Ze studií porovnávajících podíl jednotlivých zdrojů nejistot na celkovou nejistotu v hydrologickém modelování vyplývá, že nejistota pramenící z modelování budoucího klimatu (struktura modelu) značně převyšuje nejistotu svázanou s volbou emisního scénáře nebo nejistotu vyplývající z hydrologického modelování. Celková nejistota promítnutá do výsledku hydrologického modelování je značná.

Určitou nejistotu rovněž představují budoucí změny v požadavcích na odběry vody nebo zajištění minimálních průtoků (např. i s ohledem na případné dopady klimatické změny na jakost vody). Řada posuzovaných vodních nádrží a odběrů vody je součástí vodárenských soustav. Případné deficity tak mohou být u některých vodních nádrží pokryty jinými disponibilními vodními zdroji v soustavě, ale i naopak v období sucha může vzniknout požadavek na zvýšení odběrů z vodních nádrží k pokrytí deficitů ostatních, zranitelnějších zdrojů soustavy (odběrů přímo z vodních toků nebo odběrů podzemní vody). Řešení bylo zpracováno variantně pro současné skutečné odběry a odběry povolené. Do výsledků se tak ve značné míře promítá i nízký podíl využití povolených hodnot (viz *tab. 1*). Vyhodnocená nízká zabezpečenost povolených hodnot odběrů u některých vodních nádrží může být v budoucnu limitující pro případné napojení dalších spotřebišť na tyto zdroje.

ZÁVĚR

Cílem výše popsaného řešení bylo identifikovat potenciální problémy způsobené dopady klimatické změny k časové úrovni roku 2050 při zásobování pitnou vodou zajišťovaném vodními nádržemi. Při řešení byly aplikovány metody hydrologické a vodohospodářské bilance, včetně simulačního modelování zásobní funkce vodohospodářských soustav. Pomocí použitých modelů byl kvantifikován možný dopad klimatické změny na hydrologické charakteristiky (zejména průtoky) a následně vyhodnocena zabezpečenost vodárenských odběrů zajišťovaných vodními nádržemi. Hodnocené lokality (vodní nádrže a místa odběrů vody) lze podle výsledné zabezpečenosti orientačně rozdělit do

The following water reservoirs have been evaluated as having a high risk with regard to the security of water demand in climate change conditions: Stanovice, Žlutice, Pilská, Obecnice, Opatovice, Bojkovice, Mariánské Lázně – Podhora, Klíčava and Nová Říše. Medium risk has been evaluated in water reservoirs Vranov – Znojmo, Vrchlice, Slušovice, Koryčany and Ludkovice. Problem-free security of current and permitted water demand has been evaluated in water reservoirs Římov, Nýrsko, Horka, Lučina, Slezská Harta – Kružberk, Seč – Křižanovice, Jirkov, Myslivny, Josefův Důl, Souš, Mostiště, Hubenov and Landštejn.

Fig. 8 illustrates the impact of using water accumulation in the storage space of water reservoirs on the security of current requirements for drinking water demand and minimum discharges in water courses downstream from water reservoirs. A share of the volume of these requirements has been expressed that may be ensured only by an inflow into a water reservoir as well as a share that may be secured only with the help of water accumulation in the storage space. The whole length of the time series of the simulation has been evaluated for water reservoirs with a storage space volume over 10 mil. m^3. With regard to simulation of the storage function in the monthly time step (when mean monthly discharges are considered), the impact of discharge variability in the course of individual months has been disregarded.

DISCUSSION

The results of assessing potential climate change impacts on the availability of water resources are naturally burdened with some degree of uncertainty. Uncertainty of prediction of climate change impacts on discharges has been reflected by choosing multiple possible scenarios for hydrological modelling, initial and marginal climate model conditions and their structure. Other uncertainties include selecting the correction of systematic errors of climate models and structure of the hydrological model (modelling by means of various hydrological models). Studies comparing the share of individual sources of uncertainty on the overall uncertainty in hydrological modelling shows that uncertainty that stems from future climate modelling (model structure) significantly exceeds uncertainty related to selecting an emission scenario or uncertainty that follows from hydrological modelling. The overall uncertainty reflected in the result of hydrological modelling is considerable.

Future changes of water demand requirements or the security of minimum discharges represent some uncertainty too (for instance also with regard to potential climate change impacts on water quality). Numerous assessed water

několika skupin. Z celkem 45 hodnocených vodních nádrží jich bylo 15 vyhodnoceno jako bezproblémové jak pro všechny scénáře klimatické změny, tak pro skutečné i povolené odběry (z větších vodních nádrží mj. Římov, Kružberk – Slezská Harta, Horka). U dalších 13 vodních nádrží byla vyhodnocena bezproblémová zabezpečenost u obou scénářů klimatické změny pouze pro současné hodnoty odběrů (mj. Švihov, Nýrsko, Vír I, Přísečnice, Fláje a Šance). Naopak střední riziko nedostatečného zabezpečení odběrů vody bylo identifikováno u 7 vodních nádrží (mj. Vranov – Znojmo a Stanovice) a vysoké riziko u 10 vodních nádrží (mj. Žlutice). Predikce zabezpečenosti odběrů v podmínkách klimatické změny je přirozeně zatížena nejistotami řešení jak s ohledem na nezbytné zjednodušení komplexní problematiky při jejím modelování, tak s ohledem na další vývoj na straně požadavků na odběry vody (včetně jejich fungování v rámci větších vodárenských soustav) i zajištění minimálních průtoků.

Poděkování

Článek vznikl na základě výzkumu prováděného v rámci projektu VI20192022159 „Vodohospodářské a vodárenské soustavy a preventivní opatření ke snížení rizik při zásobování pitnou vodou" programu BV III/1-VS, který financuje Ministerstvo vnitra ČR.

Poznámky

1. Reprezentativní směry vývoje koncentrací (RCP). Jsou označeny podle přibližného celkového radiačního působení v roce 2100 v porovnání s rokem 1750.

2. V deskriptivní (popisné) statistice je boxplot neboli krabicový graf či krabicový diagram jeden ze způsobů grafické vizualizace numerických dat pomocí jejich kvartilů. Střední „krabicová" část diagramu je shora ohraničena 3. kvartilem, zespodu 1. kvartilem a mezi nimi se nachází linie vymezující medián. Body „outliers" zobrazují odlehlé hodnoty (mimo rozpětí 5–95 %).

reservoirs and water demands are part of water supply systems. Potential deficits in certain water reservoirs may therefore be met by other available water resources in the system; however, on the contrary a requirement may arise to increase water demand from water reservoirs to meet a deficit of other more vulnerable resources in the system (abstraction directly from watercourses or groundwater abstraction). Alternatives have been elaborated for current actual demands and permitted demands. The low share of using permitted values (see *Tab. 1*) is reflected in the results to a considerable extent. The evaluated low security of permitted water abstraction values in some water reservoirs may be limiting in the future for potential connection of other customers to these resources.

CONCLUSION

The aim of the above analysis has been to identify potential problems caused by climate change impacts in the timeframe of the year 2050 with respect to drinking water supply provided for by water reservoirs. Hydrological and water management balance procedures have been applied, including modelling of the storage function of water management systems. A potential climate change impact on hydrological characteristics (especially discharges) has been quantified by the applied models, and the security of drinking water demand provided for by water reservoirs has been subsequently evaluated. According to the security that has resulted from the above, the evaluated sites (water reservoirs and water abstraction sites) may be roughly divided into several groups. Out of a total of 45 evaluated water reservoirs, 15 have been evaluated as problem-free for all climate change scenarios as well as for actual demand and permitted water abstraction (among others Římov, Kružberk – Slezská Harta, Horka from the larger water reservoirs); in 13 other water reservoirs a problem-free security has been evaluated in both climate change scenarios only for current demand levels (among others Švihov, Nýrsko, Vír I, Přísečnice, Fláje and Šance). On the contrary, a medium risk of insufficient security of water demand has been identified in 7 water reservoirs (among others Vranov – Znojmo and Stanovice) and a high risk has been established in 10 water reservoirs (among others Žlutice). Prediction of the security of water demand in climate change conditions is naturally burdened with uncertainties both with regard to the necessary simplification of a complex issue in the modelling as well as with regard to further development concerning requirements for water demand (including its functioning within larger water supply systems) and the security of minimum discharges.

Notes

1. Representative Concentration Pathways (RCPs). They are designated according to the approximate total radiation effect in 2100 in comparison with 1750.

2. In descriptive statistics, a boxplot or a box-and-whisker plot or a box-and-whisker diagram is one of the modes of graphical visualisation of numerical data by their quartiles. The middle "box" part of the diagram is delimited by the 3rd quartile from the top, by the 1st quartile from the bottom, with a line between them that delimits the median value. The "outliers" are points that represent outlying values (outside the 5–95 % range).

Literatura

[1] Vyhláška č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci

[2] BERAN, A. a kol., *Metodika pro navrhování adaptačních opatření k eliminaci dopadů nedostatku vody*. VÚV TGM, v. v. i., 2019, certifikovaná metodika MZe. ISBN 978-80-87402-70-2.

[3] Vyhláška č. 137/1999 Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů

[4] HANEL, M., VIZINA. A., MARTÍNKOVÁ, M., & FENDEKOVÁ, M., *Changes of drought characteristics in small Czech and Slovakian catchments projected by th CMIP5 GCM ensemble*, 2014

[5] ŠTĚPÁNEK, P. a kol., *Očekávané klimatické podmínky v České republice*. 2019. Vydáno v rámci projektu: „SustES – Adaptační strategie pro udržitelnost ekosystémových služeb a potravinové bezpečnosti v nepříznivých přírodních podmínkách" (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000797)". ISBN. 978-8-87902-28-8.

[6] VIZINA, A., HANEL, M. a kol. *Střední scénář klimatické změny pro vodní hospodářství v České republice, zprávy pro státní podniky povodí*. VÚV TGM, v. v. i. 2019

[7] TALLAKSEN, L. M., & VAN LANEN, H. A. (Eds.), *Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. 2004

[8] VIZINA, A., HORÁČEK, S., & HANEL, M., Recent developments of the BILAN model. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2015, roč. 57, č. 4–5, s. 7–10

[9] MELIŠOVÁ, E., VIZINA, A., STAPONITES, L. R., & HANEL, M., The Role of Hydrological Signatures in Calibration of Conceptual Hydrological Model. *Water*, 2020, 12(12), 3401

[10] GUDMUNDSSON, L., BREMNES, J. B., HAUGEN, J. E., & ENGEN-SKAUGEN, T., Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations–a comparison of methods. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2012, 16(9), 3383–3390

[11] VYSKOČ, P., ZEMAN, V., *Metodický postup zpracování vodohospodářské bilance současného a výhledového stavu množství povrchových vod*. Praha: VÚV TGM, v. v. i. 2008

[12] PICEK, J., VYSKOČ, P. a ZEMAN, V. *Simulační model množství povrchových vod: zásobní funkce vodohospodářské soustavy*. Praha: VÚV TGM, v. v. i. 2008

[13] ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží

Autoři

Ing. Adam Vizina, Ph.D.
✉ adam.vizina@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-4683-9624

Ing. Petr Vyskoč
✉ petr.vyskoc@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5006-5414

Ing. Martina Peláková
✉ martina.pelakova@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-0485-1542

Ing. Jiří Picek
✉ jiri.picek@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-6978-6801

Ing. Adam Beran
✉ adam.beran@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-8800-5599

Ing. Roman Kožín
✉ roman.kozin@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5773-6567

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.03.001

Acknowledgements

The study has been elaborated on the basis of a research conducted within No. VI20192022159 "Water Management and Water Supply Systems and Preventive Measures to Reduce Risks for Drinking Water Supply" under programme No. BV III/1-VS, which is funded by the Ministry of the Interior of the Czech Republic.

Foto: Shutterstock.com

Hydrologická bilance vybraných povodí ČR se zaměřením na suché období 2015—2019

RADOVAN TYL, VÁCLAV DAVID, ADAM BERAN

Klíčová slova: odtok z povodí — sucho — odtokový koeficient — časové řady — malé vodní nádrže

SOUHRN

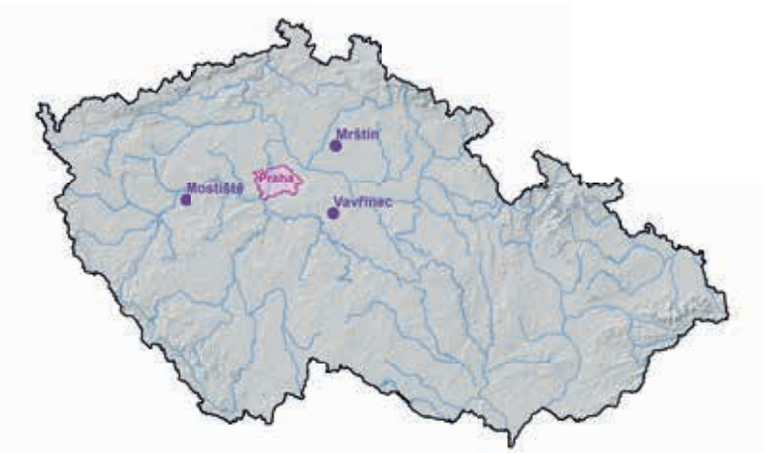
Příspěvek je věnován stanovení a posouzení hydrologické bilance na vybraných povodích v České republice během suché periody v letech 2015–2019. Hydrologická bilance byla s využitím dat ze staniční sítě Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) zpracována k závěrovým vodoměrným stanicím v povodí Blatného potoka, Lomnice, Skalice, Žehrovky, Javorky, Cidliny, Botiče a horní Sázavy. Na povodích byly odvozeny měsíční, dlouhodobé měsíční a roční srážkové úhrny, měsíční, roční, případně dlouhodobé měsíční výšky odtoku a výšky skutečné měsíční evapotranspirace (pro měsíce duben až říjen) za období 2015–2019, které byly porovnány s odpovídajícími normálovými hodnotami za období 1981–2010. Odtoky z povodí v letech 2015–2019 byly dále porovnány s průměrem za celé období pozorování dané vodoměrné stanice.

ÚVOD

Sucho bylo v poslední době výrazně skloňovaný pojem, a to jak mezi odborníky a na poli vědy, tak i ve státní správě či mezi širokou veřejností. O suchu se pravidelně objevovaly články v médiích. Údaje o projevech sucha zpracovávají a informace o jeho průběhu nebo závažnosti přinášejí webové aplikace různých institucí (jmenujme například projekt „Intersucho" či HAMR). Problematika sucha se projednávala na vládě a byla postupně začleněna do legislativního procesu, suchem se zabývají na vědecké i akademické půdě.

V letech 2014–2019 zasáhlo Českou republiku významné sucho, které se projevilo ve všech jeho definicích, ať už to byl nedostatek srážek, vysychání půdy a nedostatek vláhy pro rostliny, pokles hladin podzemní vody ve vrtech, nebo dlouhodobý pokles průtoků ve vodních tocích.

Tato suchá epizoda byla zpracována v podobě porovnání srážek, odtoků a evapotranspirace na vybraných, relativně malých povodích v České republice, kde bylo možné využít klimatických a hydrologických dat staniční sítě ČHMÚ. Zpracování je součástí řešení projektu „Vliv malých vodních nádrží na hladinu podzemních vod a celkovou hydrologickou bilanci s důrazem na suchá období", kde je ČHMÚ zapojen jako spoluřešitel společně s Českým vysokým učením technickým v Praze a VÚV TGM Jednou z hlavních náplní projektu je zřízení komplexního sledování složek hydrologické bilance ve vybraných lokalitách (uvedených na *obr. 1*), analýza malých vodních nádrží na základě dat dálkového průzkumu Země (DPZ) či modelování hydrologické bilance povodí s malými vodními nádržemi. Projekt je zaměřen zejména na přímé sledování hydrologických veličin: hladiny ve vodním toku pro určení průtoků, hladiny v nádrži a hladiny podzemní vody v bezprostředním okolí nádrže, a navíc výparu z vodní hladiny pomocí plovoucího výparoměru. V závěrečné fázi projektu se předpokládá komplexní vyhodnocení měřených hodnot a porovnání s výsledky uvedenými v tomto článku.



Obr. 1. Komplexní monitoring na lokalitách Vavřinec, Mrštín a Mostiště
Fig. 1. Field monitoring at Vavřinec, Mrštín and Mostiště location

DEFINICE HYDROLOGICKÉ BILANCE

Základní prostorovou jednotkou pro výpočet hydrologické bilance bývá nejčastěji povodí, ale může to být i jiná plošná jednotka, např. stát nebo kontinent. Hranice povodí vymezuje fiktivní čára, rozvodnice, což je spojnice nejvyšších míst, vrcholů a hřebenů oddělující sousední povodí. Rozvodnice dělíme na orografické, kde se při stanovení bere v potaz pouze orografie (povrch) terénu, nebo hydrogeologické, kde se při odvozování využívá znalostí proudění podzemní vody a geologické struktury povodí. Důležité je si uvědomit, že ne vždy korespondují orografické rozvodnice s těmi hydrogeologickými a že hodnoty složek hydrologické bilance jsou těmito skutečnostmi ovlivněny. Na velkých povodích není tento rozdíl tolik patrný, jako může být na povodích s malou plochou. Současně zejména v aridních regionech s výrazně propustnými horninami mohou být rozdíly mezi výpočtem bilance nad orografickými a hydrogeologickými rozvodnicemi významné [1]. Závěrovým profilem, kde se bilancuje množství vody v povodí, bývá nejčastěji vodoměrná stanice s kontinuálním záznamem vodních stavů, respektive průtoků.

Hydrologická bilance se zpracovává vždy za nějakou časovou periodu, např. měsíc, rok, několik let či hydrologickou událost (povodeň). Zkracováním bilančního období klesá přesnost výpočtu, jelikož lze hůře stanovit a separovat jednotlivé složky, náležející právě definovanému časovému úseku [2].

Výpočet hydrologické bilance vychází ze základní bilanční rovnice oběhu vody. Matematicky ji lze vyjádřit rovnicí [2, 3]:

$$H_S = H_O + H_V \pm R \qquad (1)$$

kde H_S je množství srážek spadlých na povodí
H_O množství odtoku vody z povodí
H_V množství výparu z povodí
R je změna zásoby vody v povodí za danou časovou periodu (v rybnících, jezerech, půdě, sněhu, podzemních vodách)

Do výparu z povodí řadíme výpar z půdy, rostlinného pokryvu, volné hladiny a transpiraci rostlin, souhrnně nazývané evapotranspirace. Hodnota evapotranspirace je prakticky vždy významnou a velmi často hlavní složkou hydrologické bilance [1], přitom je to složka obtížně kvantifikovatelná. Výjimku tvoří povodňové události s krátkou dobou trvání, při kterých je územní výpar ve srovnání s ostatními složkami hydrologické bilance zpravidla nepoměrně menší a často je z toho důvodu zanedbáván. Za předpokladu, že se množství vody v povodí za vybranou časovou periodu nemění, tedy R se rovná nule, lze rovnici hydrologické bilance zjednodušit na tvar:

$$H_S = H_O + H_V \qquad (2)$$

V České republice zpracovává ČHMÚ každoročně hydrologickou bilanci (viz např. [4]), v níž se pro 10 dílčích povodí uvádějí hodnoty o atmosférických srážkách, celkovém a základním odtoku, zásobách vody ve sněhové pokrývce, změnách zásob podzemní vody a přirozených průtocích ve vybraných vodních tocích. Zpracování hydrologické bilance ČR je dáno zákonem 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), podrobnosti stanovuje vyhláška Ministerstva zemědělství 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího stanovení a údajích pro vodní bilanci.

ZPRACOVÁNÍ DAT

Srážky

Roční, měsíční a dlouhodobé měsíční rastry srážek byly odvozeny s využitím orografické interpolace z bodových pozorování ve srážkoměrných stanicích. Pro vybraná povodí byly hodnoty srážek následně stanoveny jako prostý plošný průměr.

Odtoky

Roční a měsíční odtoky jsou v tomto článku uváděny jako odtoková výška, což představuje výšku vody na povodí v milimetrech za dané časové období. Jedná se o objem vody, proteklý závěrovým profilem za danou časovou jednotku, rovnoměrně rozprostřený na plochu povodí. Odtoky byly spočítány z pozorovaných hodnot vodních stavů, jež jsou pomocí měrných křivek převáděny na průtoky.

Odtokový koeficient

Podílem odtoku a srážky dostaneme hodnotu odtokového koeficientu, což je hodnota, která vyjadřuje relativně nebo procentuálně, jaké množství vody ze spadlé srážky odteče závěrovým profilem, opět za danou jednotku času.

Zpracování evapotranspirace

Výpočet potenciální a skutečné evapotranspirace probíhá v ČHMÚ na pobočce Brno prostřednictvím agrometeorologického modelu AVISO (Agrometeorologická výpočetní a informační soustava). Vstupem do modelu jsou meteorologická data pro soubor 198 automatických klimatologických stanic staniční sítě ČHMÚ, výstupem jsou modelovaná data agrometeorologických charakteristik v bodové síti [5].

Jedním z dalších výstupů, kde se bodové hodnoty evapotranspirace používají, je Indikátor přívalových povodní (flash flood indicator, zkráceně FFI). Bodové hodnoty skutečné evapotranspirace (odhad pro středně těžké půdy, písčitohlinité až hlinité půdy a pro půdní pokryv typu travní porosty) jsou interpolovány v denním kroku do rastru pomocí interpolační metody vážené inverzní vzdálenosti (IDW, inverse distance weighted interpolation) a vstupují do dalších výpočtů Indikátoru přívalových povodní.

Z denních rastrů skutečné evapotranspirace vstupujících do výpočtů FFI byly v prostředí GIS s využitím matematické algebry spočítány měsíční sumy pro období duben až říjen v letech 2015–2019 a z nich byly odvozeny průměry měsíčních hodnot na jednotlivá povodí. Výpočet FFI, a tudíž i evapotranspirace, probíhá od roku 2011, nebylo proto možné porovnat odvozené hodnoty s dlouhodobým průměrem za léta 1981–2010.

VÝBĚR A POPIS VYBRANÝCH LOKALIT

Povodí, která byla vybrána pro výpočet hydrologické bilance, musela splňovat několik – často protichůdných – kritérií. Výběr byl prováděn zejména s ohledem na zadání projektu, tedy aby zde bylo možné zkoumat interakci malých vodních nádrží s hladinou podzemní vody v blízkém okolí, jejich vliv na hydrologickou bilanci a zaměření na suchá období. Výběr probíhal ve více úrovních s tím, že k povodím, na nichž zatím nebyla provedena žádná analýza, je možné se v průběhu řešení projektu vrátit a do souboru lokalit je doplnit.

Vybraná kritéria výběru povodí (ve vztahu k celkové náplni zmíněného projektu):

- existence rybníku, malé vodní nádrže nebo soustavy malých vodních nádrží (MVN)
- velikost plochy povodí do max. 500 km^2
- případné pozorování na přítoku do nádrže a na odtoku z nádrže, ovšem na nádrži bez manipulací a odběrů
- existence relativně dlouhé řady pozorování vodních stavů a vyhodnocení průtoků
- dostupnost dat o hladinách podzemních vod v mělkých vrtech, ideálně v rozumném okolí MVN
- k dispozici data o výparu
- odlišné geologické podmínky ve srovnání s lokalitami Mrštín, Vavřinec a Mostiště

Přehled lokalit, které byly zpracovány v tomto příspěvku, přináší mapa na *obr. 2.*

Obr. 2. Lokality s provedenou analýzou hydrologické bilance
Fig. 2. Location of interests with the hydrologic balance analysis

Blatný rybník

Tato lokalita je zcela odlišná od ostatních vybraných, zejména co se týká nadmořské výšky, respektive klimatických podmínek v průběhu roku. Povodí se nachází v nejvyšších partiích Jizerských hor s rašeliništi, rašelinnými loukami a smrčinami v pramenné části. Průměrná nadmořská výška povodí je 820 m n. m. Geologickou strukturu podloží tvoří granity až granodiority doplněné slatinami, rašelinami a hnilokaly [6]. Na odtoku z rybníka existuje vodoměrné pozorování ve stanici Blatný potok s malými výpadky od roku 1988 (plocha povodí A = 4,76 km^2). V rámci projektu bylo rozhodnuto o pořízení a instalaci nové vodoměrné stanice na přítoku do rybníka, která proběhla na konci dubna 2020.

Botič (VD Hostivař)

V povodí Botiče bylo v průběhu let 2014 a 2015 rekonstruováno a převzato do částečné správy ČHMÚ mnoho vodoměrných stanic, mj. na přítoku do VD Hostivař (stanice Praha-Petrovice, A = 87,62 km^2) a na odtoku z VD Hostivař (stanice Praha-Hostivař, A = 95,46 km^2). Řady vodních stavů nejsou dlouhé, ale je možné porovnat přítoky a odtoky pro aktuální suché období. Při analýze časových řad průtoků je třeba brát v úvahu, že na VD Hostivař se udržuje rozdílná letní a zimní hladina, tudíž že na podzim dochází k odpouštění nádrže, na jaře zase k dopouštění. Kromě těchto jarních a podzimních změn hladin se na nádrži nemanipuluje, slouží zejména k rekreačním účelům. Přímo do nádrže je zaústěn nepozorovaný Hájecký potok, odvodňující části severního okraje Jižního Města, což může komplikovat vyhodnocení za povodňových situací.

Žehrovka (rybník Žabakor)

K dispozici jsou data z vodoměrných stanic Žďár u Svijan (1941–1973, stanice nad rybníkem) a Březina (1974 – současnost, stanice pod rybníkem). Povodí je zajímavé tím, že se nachází v oblasti České křídové tabule s kvarterními spraš ovými hlínami, křemenci a sedimenty, tedy s výrazně odlišnými horninami, než jsou lokality Vavřinec a Mrštín. Nevýhodou je skutečnost, že rybník Žabakor není na hlavním toku, ale je boční, s obtokem, a je tudíž problematické stanovit přesné množství vody protékající rybníkem.

Cidlina (Kbelnice, Jičín) a Javorka (Lázně Bělohrad)

Jedná se o dvojici povodí s odlišným procentuálním zastoupením rybníků. V povodí Javorky je vodoměrná stanice Lázně Bělohrad (A = 38,35 km^2), v povodí Cidliny jsou k dispozici data z vodoměrné stanice Jičín (A = 39,39 km^2), respektive Kbelnice. Stanice Lázně Bělohrad měří vodní stavy od roku 1929 do současnosti (s nepatrnými výpadky v roce 2005), stanice Jičín měří od roku 1956, v letech 1975–2003 jsou data této stanice nahrazena pozorováním ve stanici Kbelnice. Velikostí plochy jsou obě povodí srovnatelná.

Lomnice a Skalice

Lomnice a Skalice jsou sousední povodí v jižních Čechách. Na obou je závěrová stanice sledující vodní stavy shodně v provozu od roku 1931, povodí jsou zhruba stejně velká (plocha ke stanici je cca 370 km^2), na druhou stranu jsou zde plochy malých vodních nádrží zastoupeny v rozdílném měřítku. Vodní plochy v povodí Lomnice zabírají 3,66 %, v povodí Skalice je to 1,54 % plochy povodí. Přímo v povodí Lomnice se nachází profesionální klimatická stanice Kocelovice, kde jsou kromě srážek a teplot k dispozici také údaje o výparu nebo solární radiaci. Zároveň jsou zde dostupná data o hladinách podzemní vody v mělkých vrtech, a to zhruba od 60. let minulého století.

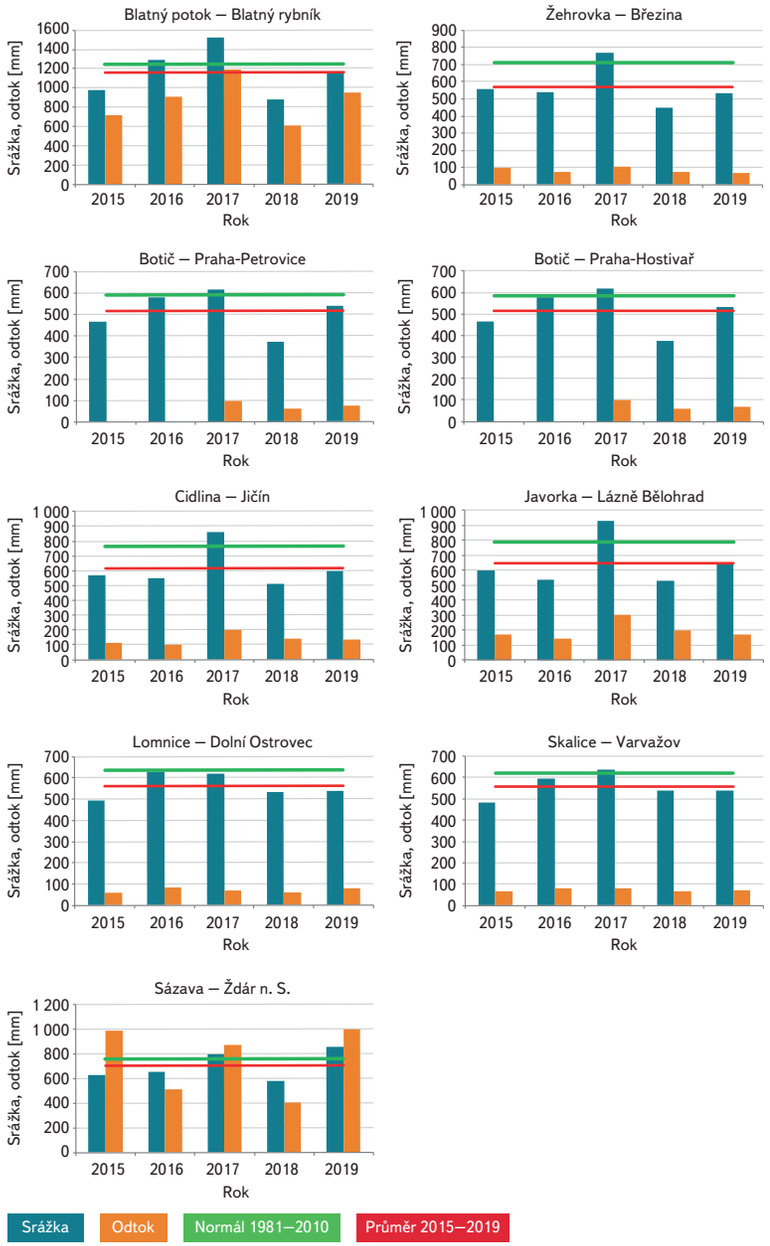
Sázava (Polnička, Žďár nad Sázavou)

V pramenné části Sázavy se nachází rybník Velké Dářko se zatopenou plochou 205 ha. Po jeho vybudování v 15. století došlo k částečné změně hydrologických poměrů v pramenné oblasti Sázavy a rozšíření rašelinišť v plochém rozvodí Českomoravské vrchoviny [7]. Od roku 2004 jsou k dispozici data z vodoměrné stanice Žďár nad Sázavou (A = 132,68 km^2). V povodí se nacházejí další vodní nádrže – Pilská, Bránský rybník, Strž a Staviště. Data z vodoměrných stanic nejsou dostupná za příliš dlouhé období. Stanice se nacházejí v lokalitě s velkým podílem vodních ploch, které v letním a suchém období mohou mít významný výpar z vodní hladiny.

ROČNÍ ÚHRNY SRÁŽEK A ODTOK VODY Z POVODÍ

Roční plošné úhrny srážek pro normálové období 1981–2010 (v grafech na *obr. 3* zelená čára) jsou porovnány s ročními plošnými úhrny v jednotlivých letech suchého období 2015–2019 (modré sloupce) a odpovídajícími ročními odtoky (žluté sloupce). Červenou čarou je znázorněn průměr ročních srážek na povodí za období 2015–2019. Uvedeny jsou vodoměrné stanice, jež mají ve zkoumaném období alespoň částečné sledování. Stanice na Botiči v Praze začaly pozorovat až v červnu 2016, proto jsou v grafech uvedeny odtoky pouze pro roky 2017–2019. Data ročních srážek a odtoků byla zpracována v rozmezí periody kalendářního roku.

V rámci sledovaného období 2015–2019 byl srážkově nejbohatší rok 2017. Výrazně nad normálovou hodnotou za referenční období i nad průměrem za periodu 2015–2019 jsou plošné srážky v severní části republiky (Blatný potok, Žehrovka, Cidlina a Javorka). Na ostatních povodích se srážka za rok 2017 pohybuje okolo normálu, kromě stanice Dolní Ostrovec na Lomnici, kde vychází v roce 2016 větší srážkový úhrn než v roce 2017, a stanice Žďár nad Sázavou, kde je větší srážka v roce 2019 než 2017. Jednoznačně nelze určit ani nejsušší rok. Na většině povodí napršelo nejméně za rok 2018, ovšem v povodí Lomnice a Skalice je nejsušší rok 2015.



Obr. 3. Průběh ročních srážek a odtoků ve vybraných povodích
Fig. 3. Annual precipitation and runoff in selected river catchments

Blatný potok má zcela odlišný režim odtoku od ostatních povodí. Odtokové koeficienty se ve zkoumaném pětiletí pohybují v rozmezí 0,7 až 0,8, tedy že ze spadlých srážek odtéká 70 až 80 % vody závěrovým profilem povodí. To je dáno vysokou nadmořskou výškou povodí, kde se dlouho do jara drží sníh, který postupně odtává, a přispívá tak k odtoku v bezesrážkovém období.

Pokud porovnáme srážky a odtoky sousedních povodí Cidliny a Javorky, můžeme konstatovat, že srážek spadlo více v povodí Javorky a také odtoky v něm byly vyšší, tedy i odtokové koeficienty zde vycházejí pro všechny roky nepatrně větší a pohybují se v intervalu 0,26 až 0,38, kdežto v povodí Cidliny dosahují odtokové koeficienty hodnot mezi 0,18 až 0,28.

Povodí Lomnice a Skalice mají hodnoty srážek a odtoků srovnatelné, opět jsou nepatrně větší odtokové koeficienty ve stanici Varvažov. Odtokové koeficienty jsou ve zkoumaném období 2015–2019 pro jednotlivé roky velmi vyrovnané (ve stanici Dolní Ostrovec jsou to hodnoty 0,11 až 0,14, u stanice Varvažov se pohybují v intervalu 0,13 až 0,14).

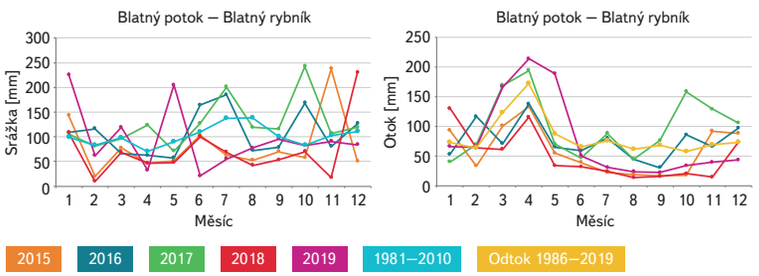
Zajímavé jsou odtoky na Sázavě v profilu Žďár nad Sázavou. V letech 2015, 2017 a 2019 překračují hodnoty odtoku hodnoty spadlých srážek, což znamená, že z povodí odteklo více vody, než spadlo v podobě srážek. V roce 2015 je tato hodnota více než 1,5krát větší oproti srážce. Jedním z faktorů ovlivňujících odtoky je jistě podzimní výlov rybníka Velké Dářko (proběhl na podzim 2015 i 2017), dalším prvkem přispívajícím k většímu odtoku může být přítomnost rašelinišť v pramenných partiích Sázavy a ovlivňovat průtoky může také plánovaná, respektive realizovaná rekonstrukce stavebních objektů vodních děl v povodí (Pilská, Strž, Staviště), při nichž dochází k odpouštění vody z nádrže.

MĚSÍČNÍ ÚHRNY SRÁŽEK A ODTOKY VODY Z POVODÍ

Současně se zpracováním roční bilance byly na vybraných povodích zpracovány také měsíční hodnoty plošných srážek a odtoků (*obr. 4–9*). U srážek byly spočítány dlouhodobé měsíční normály pro referenční období 1981–2010 (v grafech světle modrá čára) a měsíční srážky pro každý rok období 2015–2019, na následujících obrázcích jsou zobrazeny na grafech umístěných vlevo. Grafy vpravo ukazují měsíční odtoky za období 2015–2019. Žlutá čára představuje průměry jednotlivých měsíčních odtoků za celé období pozorování stanice (to je u každé stanice jiné a je uvedeno v popisku grafu). Pokud jsou pro závěrovou vodoměrnou stanici k dispozici pozorování pro referenční období 1981–2010 (normálové období), jsou do grafu odtoků navíc světle modrou čarou zaneseny dlouhodobé průměrné měsíční odtoky pro tuto periodu.

Blatný potok — Blatný rybník

Průběh normálových srážek v letech 1981–2010 (*obr. 4*) byl jen mírně rozkolísaný v průběhu roku a dosahoval maxima v letních měsících červenci a srpnu. Výrazně podnormální byly srážky v únoru 2015 (24 % normálu) a v podstatě všechny měsíce roku 2018 (v únoru 2018 to bylo jen 12 % normálu). Nejvíce srážek spadlo v říjnu 2017 (291 % normálu), listopadu 2015 (208 %) a prosinci 2018 (231 %). Odtoky byly nejvyšší v jarních měsících, zejména v dubnu, s následujícím vyrovnaným průběhem od června a zasahující až do ledna následujícího roku. Přesto byly letní a podzimní odtoky zřetelně pod svými průměry, nejvíce v letech 2015, 2018 a 2019.

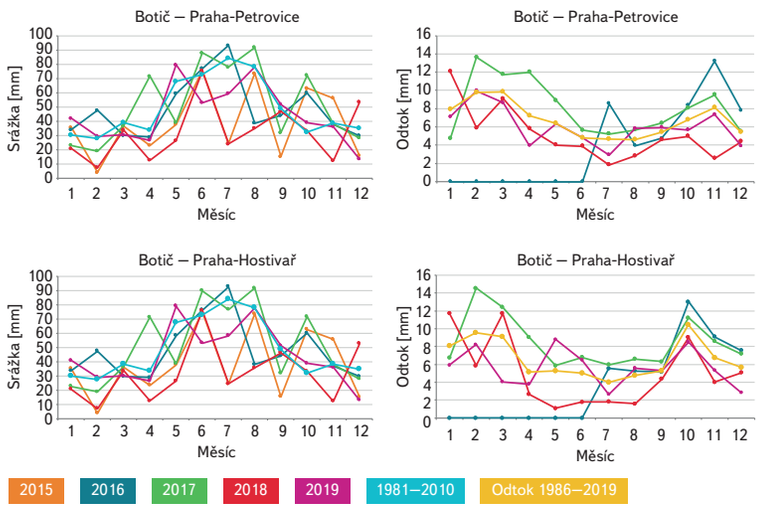


Obr. 4. Měsíční srážky (vlevo) a odtoky (vpravo) v povodí Blatného potoka
Fig. 4. Monthly precipitation (left) and runoff (right) in Blatný brook catchment

Botič — VD Hostivař

Měsíční průběh normálových srážek, jak je patrné z grafů na *obr. 5*, má typický roční průběh s hodnotami mezi 30–40 mm na jaře, na podzim a v zimě a s maximálními úhrny v letních měsících, nejvíce v červenci (shodně 84 mm). V suchých rocích 2015 a 2018 byl nad čárou normálu jen říjen a listopad roku 2015. Data odtoků jsou k dispozici za velmi krátké období, od července 2016. I tak je jasně

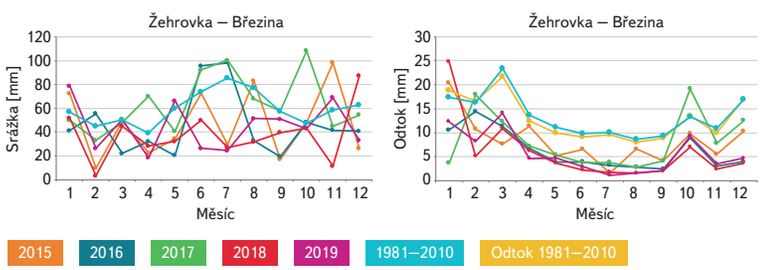
patrný vliv vodní nádrže na odtokové stanici, kdy od dubna do srpna 2018 jsou hodnoty odtoku ve stanici Hostivař menší než na přítoku ve stanici Petrovice. Na průměrných hodnotách odtoků za období 2016–2019 (žlutá čára) je dále patrný rozdílný letní a zimní provoz nádrže. Během dubna dochází k plnění nádrže na vyšší letní hladinu, naopak v říjnu dochází k odpouštění nádrže a snižování hladiny na zimní úroveň. Za pozorované období byly trochu překvapivě větší přítoky do nádrže v listopadových měsících 2016 a 2017, kdy bývají odtoky z povodí obvykle nízké, což ovšem odpovídá výrazně nadnormálním srážkovým úhrnům v říjnových měsících.



Obr. 5. Měsíční srážky (vlevo) a odtoky (vpravo) pro VD Hostivař (na přítoku vodoměrná stanice Praha-Petrovice, na odtoku stanice Praha-Hostivař)
Fig. 5. Monthly precipitation (left) and runoff (right) for water reservoir Hostivař (inflow: Praha-Petrovice water level gauge station, outflow: Praha-Hostivař water level gauge station)

Žehrovka

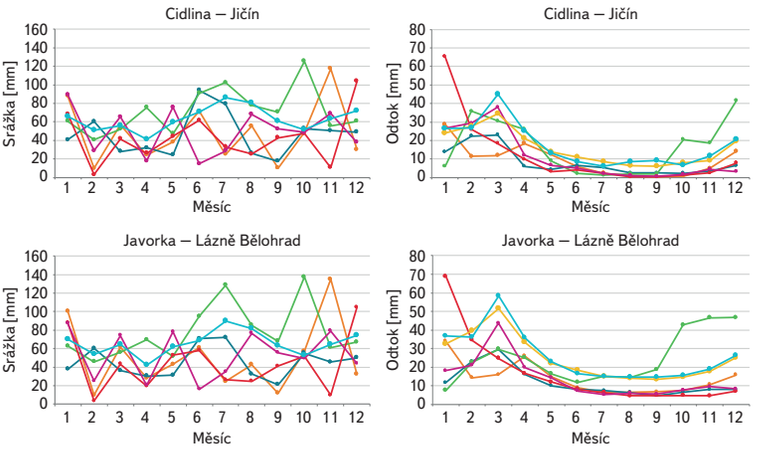
Na *obr. 6* jsou uvedeny měsíční srážky a odtoky k závěrové stanici Březina na Žehrovce. Srážkově chudé oproti normálu byly zejména únorové měsíce (kromě února 2016), nejhorší průběh, co se týče měsíčních průměrů, je patrný pro rok 2018. Odtoky byly hluboko pod průměrem let 1981–2010 i pod průměrem za celé období pozorování stanice. Zvětšené odtoky se neprojevily ani při srážkově bohatém červnu a červenci v letech 2016 a 2017. Nejhorší byla situace v létě 2018 a 2019, kdy odtoky dosahovaly 12 až 20 % průměru za období pozorování. K větším odtokům dochází pouze v březnu a říjnu, kdy jsou v povodí pravděpodobně prováděny manipulace.



Obr. 6. Měsíční srážky (vlevo) a odtoky (vpravo) v povodí Žehrovky
Fig. 6. Monthly precipitation (left) and runoff (right) in Žehrovka catchment

Cidlina a Javorka

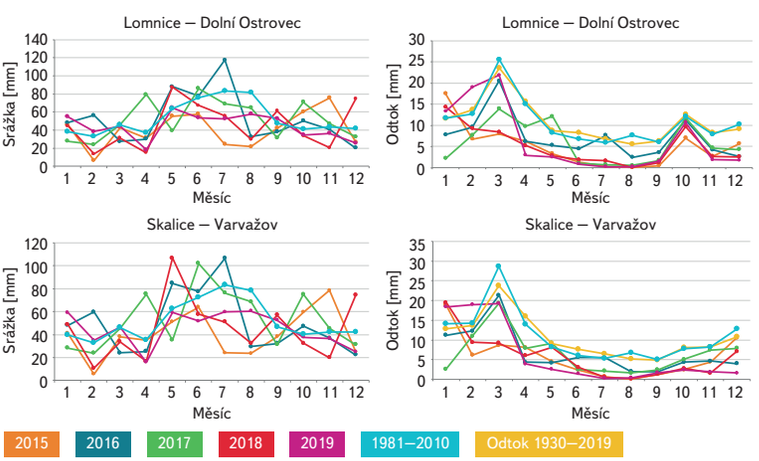
Srážkově výrazně podnormální jsou opět únorové měsíce, jak je patrné z *obr. 7*. Na povodí Cidliny činil srážkový úhrn v únoru 2018 jen 3 mm (6 % normálu), na povodí Javorky 3,5 mm (7 % normálu). Měsíční odtoky byly ve všech letech 2015–2019 pod čárou průměru let 1981–2010 i průměru za období pozorování (Cidlina od roku 1955, Javorka od roku 1928). Výjimkou byly podzimní odtoky v roce 2017 a následně odtok v lednu 2018.



Obr. 7. Měsíční srážky (vlevo) a odtoky (vpravo) v povodí Cidliny a Javorky
Fig. 7. Monthly precipitation (left) and runoff (right) in Cidlina and Javorka catchment

Lomnice a Skalice

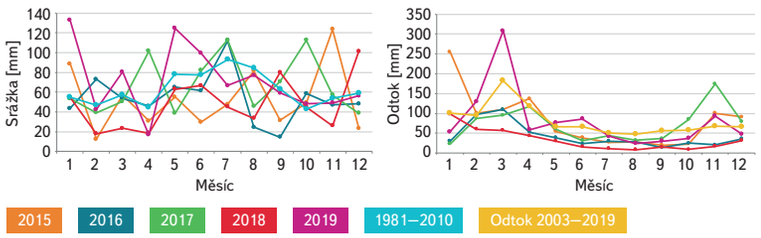
Průběhy srážek i odtoků v povodí Lomnice a Skalice jsou si velmi podobné (*obr. 8*). Nad normálem výrazně vyčnívá srážkový úhrn v červenci 2016, což se projevilo i vyššími odtoky v tomto měsíci. V povodí Skalice byly srážkově významné i úhrny v červnu 2016 a květnu 2018, v povodí Lomnice již méně (ale i tak vyšší než normál). Možná i proto nebyl rok 2018 srážkově nejchudší, tím byl rok 2015. Odtoky v červenci a srpnu 2018 a 2019 byly na kritických hodnotách (1 až 5 % obvyklého dlouhodobého průměru). Vodnější byl v letních měsících rok 2016, přičemž v červenci byl odtok nad oběma hodnotami průměru. V povodí Lomnice dochází, opět pravděpodobně vlivem odpouštění rybníků, k nárůstu odtoků v říjnových měsících.



Obr. 8. Měsíční srážky (vlevo) a odtoky (vpravo) v povodí Lomnice a Skalice
Fig. 8. Monthly precipitation (left) and runoff (right) in Lomnice and Skalice catchment

Sázava

Jak uvádí zpráva podniku Povodí Vltavy [7], u Cenomanského kolektoru je odvodnění plynulým přítokem do přirozených vodních nádrží a slatinišť (rybníky Malé a Velké Dářko), které významnou měrou napájejí povrchové toky a nadlepšují jejich vodnost (zejména u řeky Sázavy). Srážkově i odtokově nejchudší byl rok 2018, přitom ale, jak je zřejmé z ročního zpracování, odtokový koeficient dosahoval 69 %, což potvrzuje výše uvedené konstatování o dotaci podpovrchovou vodou. Oproti průměru jsou odtoky ze suchého pětiletí zejména v letním období menší, s minimy v roce 2018.

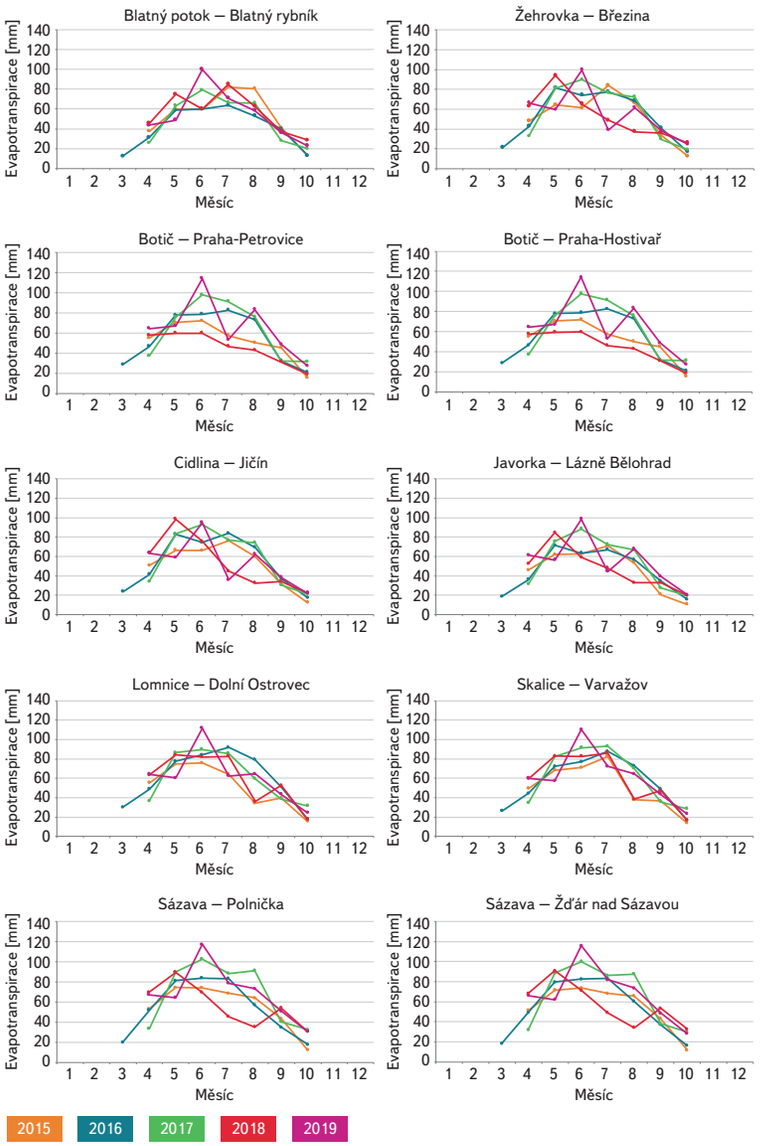


Obr. 9. Měsíční srážky (vlevo) a odtoky (vpravo) v povodí horní Sázavy
Fig. 9. Monthly precipitation (left) and runoff (right) in upper Sázava catchment

MĚSÍČNÍ HODNOTY EVAPOTRANSPIRACE NA VYBRANÁ POVODÍ

Měsíční hodnoty skutečné evapotranspirace vykreslují grafy na *obr. 10*. Pro srovnání jsou hodnoty uvedeny ve stejném měřítku na ose *y*. Výpočet evapotranspirace na jednotlivá povodí proběhl za zkoumané období 2015–2019. K dispozici byla data za konvektivní sezonu, tedy od dubna do října, kdy je v provozu Indikátor přívalových povodní. V roce 2016 byla k dispozici data i pro měsíc březen.

Nejvyšších hodnot evapotranspirace bylo dosaženo v červnu 2019, a to shodně pro všechna zkoumaná povodí. Výjimkou je pouze povodí Cidliny, kde byla největší hodnota v květnu roku 2018. Velkých hodnot ve všech povodích dosahovala evapotranspirace také v průběhu celého roku 2017 (zelená čára). Zajímavý je průběh evapotranspirace v létě roku 2018 jakožto nejsuššího roku zkoumaného období, přitom kromě povodí Blatného rybníka, Lomnice a Skalice jsou hodnoty evapotranspirace jedny z nejnižších.



Obr. 10. Průběh evapotranspirace pro jednotlivá povodí
Fig. 10. Annual evapotranspiration for individual river catchments

SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ

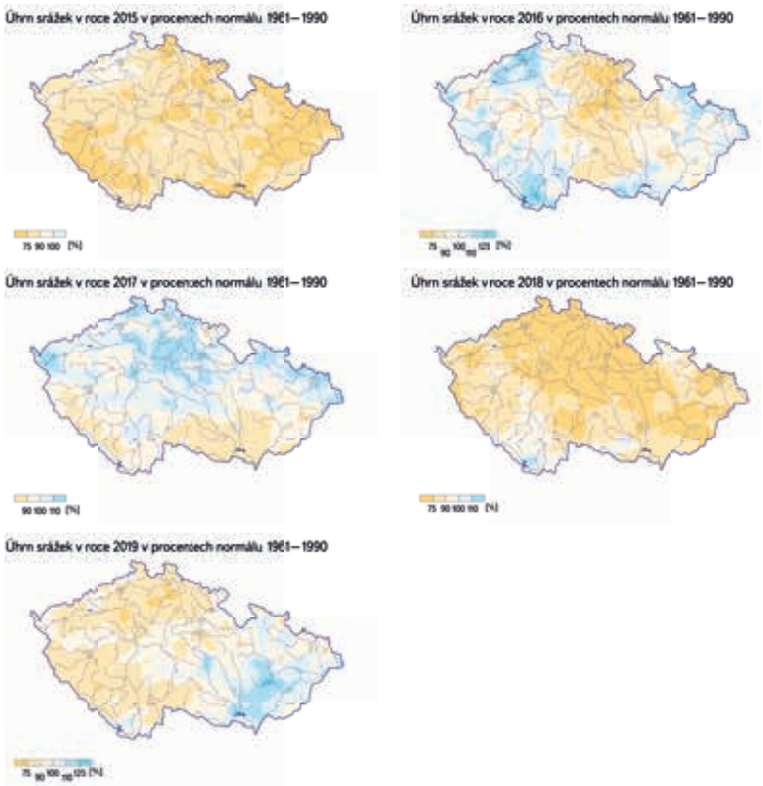
Na vybraných povodích byly odvozeny měsíční, dlouhodobé měsíční, případně roční hodnoty jednotlivých částí hydrologické bilance za suché období 2015–2019, které byly porovnány s normálovou periodou 1981–2010.

Pro stanovené suché pětiletí nelze úplně jednoznačně určit jeden společný rok s minimálním ročním úhrnem srážek, tedy rok, který by byl nejsušší z pohledu meteorologického. V roce 2018 byly nejnižší srážky ve všech povodích kromě povodí Lomnice a Skalice v jižních Čechách, kde byl srážkový úhrn v roce 2015 ještě nižší. Naopak srážkově nejbohatší byl rok 2017, opět ale ne ve všech lokalitách. V povodí horní Sázavy byl srážkově nejbohatší rok 2019, v povodí Lomnice to byl rok 2016. Rok 2017 byl na většině povodí nad dlouhodobým normálem 1981–2010.

Fakt, že všechna povodí nebyla srážkově zasažena stejně, potvrzují mapy na *obr. 11*, kde jsou znázorněny úhrny srážek v procentech normálu 1981–2010 (publikovaných na oficiálních stránkách ČHMÚ). Z nich vyplývá, že rozložení srážek napříč republikou bylo v jednotlivých letech výrazně nerovnoměrné, a tudíž i projevy deficitu srážek ve zkoumaných povodích byly rozdílné. Patrné je to zejména v roce 2016, kdy byly srážky podnormální v pásu od Krkonoš přes Vysočinu po horní Podyjí, v roce 2017, kdy byly srážky podnormální v jižní polovině republiky (Šumava a jižní Morava), a v roce 2019, kdy bylo srážek méně v západní polovině republiky.

Povodí Blatného rybníka má oproti ostatním zkoumaným povodím odlišný odtokový režim s podílem odtoku ze spadlých srážek okolo 75 %. Výraznou měrou se na odtoku podílí jak dotace podpovrchové vody z pramenných rašelinišť, tak vysoká nadmořská výška, kdy dochází k postupnému odtávání sněhové pokrývky během zimy a na jaře, a to i přesto, že v roce 2015 a 2018 byly zimy srážkově velmi chudé (zejména v únoru). Jak uvádí hydrologická ročenka ČHMÚ [4], na dílčí povodí Horního a středního Labe spadlo v únoru 2018 jen 9 mm srážek, což činí 21 % normálu, respektive vodní hodnota sněhu byla v únoru 2018 jen 9,3 mm (32 % normálu).

Rok 2018 a především jeho letní měsíce (nejvíce srpen) jsou v rámci sledovaného období 2015–2019 jednoznačně nejsušší v případě odtoků na všech zpracovaných povodích. Hydrologické sucho zasáhlo významně celé území ČR, v mnoha vodoměrných stanicích byly zaznamenány průtoky pod hranici Q_{355d}, respektive Q_{364d} [8].



Obr. 11. Úhrny srážek v letech 2015–2019 jako procento normálu 1981–2010 (zdroj: ČHMÚ)
Fig. 11. Amount of precipitation in 2015–2019 year period expressed as percentage normal 1981–2010 (source: ČHMÚ)

V povodí Sázavy k profilu stanice Žďár nad Sázavou byl odtok z povodí v letech 2015, 2017 a 2019 výrazně vyšší než spadlé srážky (odtokové koeficienty větší než 1) a rovněž v letech 2016 a 2018 byly podíly odtoku vůči srážkám výrazně vyšší než v ostatních zkoumaných povodích (kromě Blatného potoka). Odtoky z povodí Sázavy jsou pravděpodobně zkreslené stavebními pracemi na vodních dílech v povodí a vypouštěním Velkého Dářka při výlovu ryb na podzim. Detaily o manipulacích však autorům v době zpracování příspěvku nebyly známy. Velmi pravděpodobně dochází také k dotaci povrchového odtoku z rašelinišť v pramenné části, stejně jako u povodí Blatného rybníka.

Ve většině povodí byla maximální hodnota evapotranspirace v červnu 2019, vysoké hodnoty byly odvozeny i v roce 2017. Naopak ve velmi suchém a srážkově chudém roce 2018 vycházejí hodnoty evapotranspirace relativně nízké. V červnu 2019 byla také na všech povodích největší záporná hydrologická bilance určená podle výše uvedené rovnice (od 37 do 102 mm), což může být způsobeno již zmíněnou vysokou evapotranspirací. Nejvyšších hodnot nabývá evapotranspirace shodně v měsících červnu a červenci. Lze tedy konstatovat, že z pohledu evapotranspirace byl ve zkoumané periodě 2015–2019 kritickým rok 2019.

Hydrologickou bilanci povodí významně ovlivňují manipulace na vodních dílech a malých vodních nádržích, vypouštění před výlovy rybníků, převody vody atp. Pro správné stanovení hydrologické bilance je nezbytné mít tyto informace k dispozici a umět je při výpočtu bilance kvantifikovat. U malých vodních nádrží je z tohoto pohledu přesná kvantifikace veličin hydrologické bilance řádově obtížnější než pro velká území, jak je zpracovává ČHMÚ ve svých každoročních publikacích. Jako vhodné doplnění do budoucna se jeví porovnání vybraných povodí s ohledem na odvození úhrnu srážek za celé zkoumané pětiletí 2015–2019 a jeho porovnání s normálovým obdobím 1981–2010, a to v širším prostorovém měřítku se zaměřením na distribuci srážek pro celé území ČR. Pro přesnější zhodnocení rozdílů mezi jednotlivými povodími by bylo také vhodné rozšířit zkoumané lokality o povodí na území západních Čech a Moravy. Výsledky prezentované v tomto příspěvku jsou součástí a budou dále využity při řešení uvedeného projektu TITSMZP809.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu Technologické agentury ČR programu BETA 2 s názvem TITSMZP809 „Vliv malých vodních nádrží na hladinu podzemních vod a celkovou hydrologickou bilanci s důrazem na suchá období". Poděkování dále patří kolegům Petru Šerclovi a Kláře Sedlákové za poskytnutá rastrová data srážek a evapotranspirace.

Literatura

[1] DINGMAN S. Lawrence. *Physical hydrology, third edition.* University of New Hampshire, Long Grove, Illinois. 2014. ISBN 1-4786-1118-9.

[2] KEMEL, M. Klimatologie, Meteorologie, Hydrologie. Praha: ČVUT, 2000. ISBN:80-01-01456-8.

[3] LANGHAMMER, J. *Hydrologie – odtokový proces.* Praha: Přírodovědecká fakulta univerzity Karlovy, 2007. Dostupné z: https://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/hydro/pdf/Hydrologie_1_Langhammer_odtok_proces.pdf [ověřeno 26. 6. 2020]

[4] Český hydrometeorologický ústav. Hydrologická bilance množství a jakosti vody České republiky 2018. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2019

[5] TRNKA, M. a kol. *Využití předpovědi půdní vlhkosti a intenzity sucha pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě.* Brno: Ústav výzkumu globální změny AV ČR, 2017. ISBN 978-80-87902-23-3.

[6] Česká geologická služba. Geovědní mapy 1:50 000. [on-line] 2020. Dostupné z: https://mapy.geology.cz/geocr50/ [ověřeno 26. 6. 2020]

[7] Povodí Vltavy, s. p. Plán dílčího povodí dolní Vltavy, Stav útvarů povrchových vod a program opatření v povodí horní Sázavy po soutok se Želivkou. Praha: Povodí Vltavy. 2016. Dostupné z: http://www.pvl.cz/portal/pdp/VD/XI_Horni_Sazava/1_Text/1_Horni_Sazava_text.pdf [ověřeno 26. 6. 2020]

[8] Český hydrometeorologický ústav. Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2018. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2019b.

Autoři

Ing. Radovan Tyl, Ph.D.[1]
✉ radovan.tyl@chmi.cz
ORCID: 0000-0002-5270-3248

Ing. Václav David, Ph.D.[2]
✉ vaclav.david@fsv.cvut.cz
ORCID: 0000-0002-7792-9470

Ing. Adam Beran, Ph.D.[3]
✉ adam.beran@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-8800-5599

[1]Český hydrometeorologický ústav
[2]Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze
[3]Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.03.005

HYDROLOGICAL BALANCE IN SELECTED WATERSHEDS OF THE CZECH REPUBLIC WITH FOCUS ON DROUGHT PERIOD 2015—2019

TYL, R.[1]; DAVID, V.[2]; BERAN, V.[3]

[1]Czech Hydrometeorological Institute
[2]Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering
[3]T. G. Masaryk Water Research Institute

Keywords: watershed runoff — drought — runoff coefficient — time series — small water reservoirs

The contribution is aimed to the determination and assessment of a hydrological balance at selected watersheds in Czech Republic during the dry period 2015–2019. Hydrological balance was processed in gauging stations of watershed Blatný stream, Lomnice, Skalice, Žehrovka, Javorka, Cidlina, Botič and upper Sázava river using data from Czech hydrometeorological institute. Monthly, long-term monthly and annual values were calculated for precipitation, runoff and evapotranspiration. Results were compared across the selected watersheds and with long-term period 1981–2010. Runoffs from watersheds were compared with gauging average discharge of an entire observation period.

Extrémní víceletá hydrologická sucha v povodí Labe

LADISLAV KAŠPÁREK, ROMAN KOŽÍN

Klíčová slova: víceleté hydrologické sucho — Labe — nedostatkový objem — extrémy

SOUHRN

Předmětem studie bylo zhodnocení víceletých období hydrologického sucha na povodí Labe v Děčíně (plocha povodí 51 104 km^2). Pro vodoměrnou stanici v tomto profilu je k dispozici řada průměrných měsíčních průtoků z let 1851–2020. Pro toto období jsme z několika datových zdrojů sestavili řady průměrných srážek a průměrných teplot na ploše povodí. Z měsíčních řad byly vypočítány roční výšky srážek, roční výšky odtoku a rozdíly ročních výšek srážek a odtoků. Pro tyto veličiny byly vypočteny dlouhodobé průměry a regresní lineární trendy pro změnu v čase; u všech tří veličin jsou velmi mírně vzestupné, podstatnější je zejména dlouhodobé kolísání srážek. Podle vyčíslených víceletých průměrných průtoků a srážek jsme vyhledali a sloučili případy, ze kterých se generuje jedno souvislé sucho o trvání minimálně pěti let pro srážky i pro odtoky. Pro jednotlivé periody sucha jsme vypočítali nedostatkové objemy. Jako mezní průtok byl zvolen dlouhodobý průměrný průtok. Hydrologické sucho 2013–2020 mělo nejdelší trvání – téměř sedm let – ze všech období sucha od roku 1851 a také se vyznačuje největším celkovým nedostatkovým objemem. Při posouzení podle průměrného ročního nedostatkového objemu je až čtvrté v pořadí. Při porovnání časových průběhů měsíčních průtoků se ukázalo, že případy z různých období mají podobný průběh.

ÚVOD

V publikaci [1] byla podrobně zpracována problematika hydrologického sucha na území České republiky, včetně výpočtu nedostatkových objemů od roku 1851 na Labi v Děčíně. Toto zpracování bylo zaměřeno na hydrologická sucha, při kterých byl podkročen průměrný měsíční průtok s pravděpodobností překročení 95 %, což znamená sucha trvající několik měsíců. Publikace [2] mapuje výskyt za posledních 500 let a z toho podrobněji zpracované období od roku 1961 do současnosti. Po výskytu hydrologického sucha v roce 2015, zhodnoceného ve studii [3], byla z podnětu Povodí Vltavy, s. p., v práci [4] podle rekonstrukce historické řady průtoků k profilu vodoměrné stanice Kamýk od roku 1890 do roku 2011 zhodnocena hydrologická sucha v povodí Vltavské kaskády. Období sucha 2014–2018 bylo předmětem referátů semináře, viz [5]. Poznatky o výskytu extrémních nízkých vodních stavů na Labi v období 1919–2015 zveřejnil Elleder [6].

Předkládaná studie se zabývá hydrologickými suchy v letech 1851–2020 na Labi v Děčíně, jejichž trvání je několik let, takže jsou charakterizována výskytem minimálních několikaletých průměrných odtoků. Podnětem k jejímu zpracování bylo dlouhodobé sucho, jež začalo v roce 2013 a skončilo v roce 2020. Cílem práce bylo porovnat toto hydrologické sucho se srovnatelnými historickými případy a ukázat na jeho podobnosti a odlišnosti i v souvislosti s probíhajícím oteplováním.

V článku jsou termíny srážky, odtok, výpar a evapotranspirace použity ve významu průměrných výšek vody na povodí v mm.

METODIKA

Data

Datové soubory srážek, průtoků Labe v Děčíně a průměrných teplot vzduchu na povodí Labe po Děčín byly převzaty z podkladů sestavených při zpracování článku [7]. Tato data byla doplněna, částečně i podle podkladů dostupných v současné době vyměněna. Přidány byly srážky, teploty vzduchu i průtoky do roku 2020. Výměna proběhla u průtoků pro období od roku 1980 za dnes platné odovlivněné, tj. pozorování průtoků byla očištěna o manipulace nádrží, odběry a vypouštění odpadních vod. Pro léta 1954–1979, kdy průtoky již byly ovlivněny manipulacemi Vltavské kaskády a odovlivněné průtoky nejsou zpracovány, byla použita data ze zprávy [4] a posouzena míra ovlivnění průtoků Vltavy v profilu Zbraslav.

Řady měsíčních hodnot od hydrologického roku 1851 do roku 2020 obsahují data za 170 let. V průběhu zpracování studie skončilo hydrologické sucho, které začalo koncem roku 2013. Pro jeho zhodnocení byly řady průtoků, srážek a teplot vzduchu doplněny o aktuálně dostupná data, jež nemusejí přesně odpovídat budoucímu definitivnímu vyhodnocení. Pro posouzení dlouhodobé proměnlivosti srážek byla použita i data z období 1801–1850. Srážky jsou odhadnuty podle pozorování z Klementina, od roku 1829 doplněné o pozorování v Havlíčkově Brodě a od roku 1848 v Čáslavi. Spolehlivost odhadu srážek je tedy malá až do roku 1876. Od té doby jsou k dispozici data z 55 stanic a od roku 1880 z 382 srážkoměrných stanic.

Pro porovnání případů víceletých období hydrologického sucha byly použity zejména jejich trvání, celkové nedostatkové objemy a průměrné nedostatkové objemy. Nedostatkové objemy byly vypočítány jako součet rozdílů průměrného měsíčního odtoku a odtoku v daném měsíci za celé období sucha; měsíce, kdy odtok byl větší, se nezapočítávají.

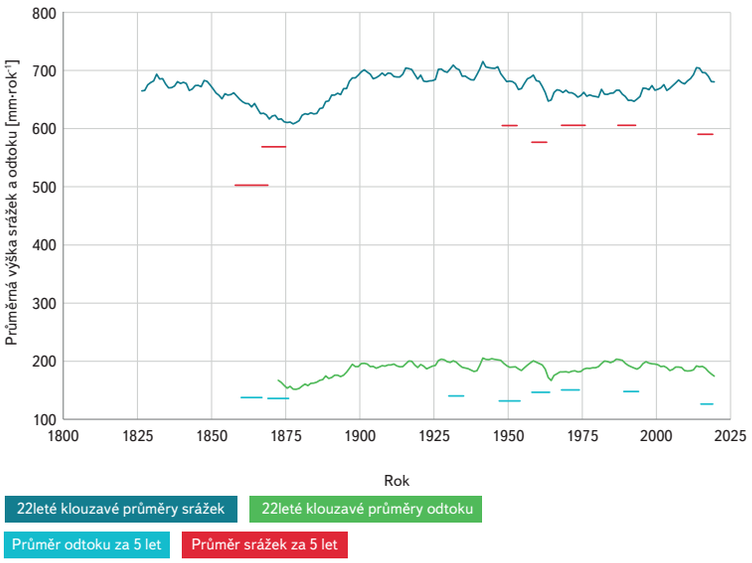
Dlouhodobé průměry a trendy

Z měsíčních řad byly vypočítány roční výšky srážek, roční výšky odtoku a rozdíly ročních výšek srážek a odtoků. Pro tyto veličiny byly vypočteny dlouhodobé průměry a regresní lineární trendy pro změnu v čase v období 1851–2020 (*tab. 1*).

Významné případy víceletého sucha

Identifikace výskytů srážkových a odtokových významných případů víceletého sucha byla provedena následovně:

- Byly vypočteny průměry z ročních výšek odtoku a z ročních výšek srážek pro periodu průměrování jeden rok až šest let z celých řad 1851–2020. Hodnoty v šesti souborech zprůměrovaných odtoků a zprůměrovaných srážek byly setříděny od nejmenší po největší. Následně k nim byl přiřazen rok, který udává konec intervalu průměrování a pořadí v setříděném souboru.
- Dále byl vyhledán přibližný časový rozsah nejvýznamnějších víceletých období sucha. Z tabulky setříděných 20 minimálních víceletých průměrných průtoků a srážek byly vyhledány a sloučeny případy, z nichž se generuje jedno souvislé sucho o trvání minimálně pět let pro srážky i pro odtoky. Byly tak získány letopočty počátků a konců epizod sucha (*obr. 1*).
- Detailněji byly epizody hydrologického sucha vymezeny tak, že začátek období každého případu sucha byl přisouzen měsíci, kdy na dlouhou následující dobu odtoky poklesly pod dlouhodobý průměrný odtok 15,74 mm/měsíc, vypočítaný z celé řady 1851–2020. Inverzní podmínka byla použita pro stanovení měsíce ukončení sucha. Vzhledem k tomu, že se jedná o víceletá období sucha, jsou považovány krátké úseky obvykle dlouhé jeden až dva měsíce, maximálně čtyři měsíce, ve kterých odtok byl větší než porovnávací hodnota průměrného průtoku, za součást pokračujícího sucha.
- Porovnání suchých období bylo provedeno dle velikosti nedostatkového objemu.



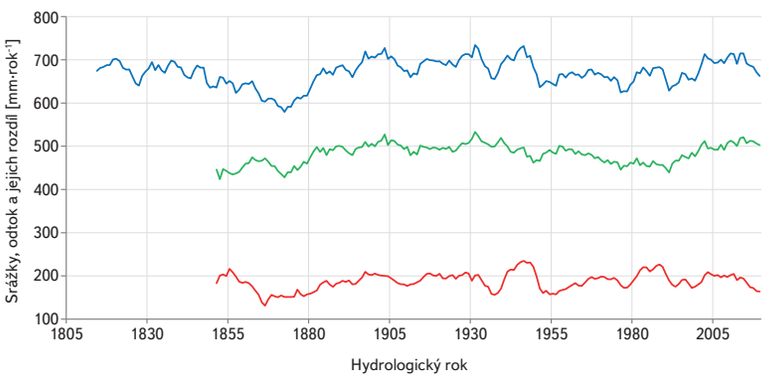
Obr. 1. 22leté klouzavé průměry srážek (tmavě modrá) a odtoků (zeleně). Přibližné časové vymezení výskytu víceletých minimálních srážek (červeně) a odtoků (modře)
Fig. 1. 22-year moving averages of precipitation (dark blue) and runoff (green). Approximate time determination of multi-annual minimum precipitation (red) and runoff (blue)

VÝSLEDKY A DISKUZE

Dlouhodobé trendy všech tří veličin z *tab. 1* jsou vzestupné a statisticky nevýznamné. Při přepočtu na průměry za celou délku řad jsou v rozmezí 2,8 % až 8,2 %. Součet zvětšení u odtoku a u rozdílu odtoku a srážek v absolutních hodnotách je o 2 mm/rok větší než zvětšení srážek.

Všechny tři veličiny kolísají nejen meziročně, ale i dlouhodobě, což ukazuje průběh desetiletých klouzavých průměrů na *obr. 2*. Srážky mají v období cca 1871–1977 průběh vlny s postupným vzestupem a následujícím poklesem, který však není tak hluboký, jako byl v desetiletích kolem roku 1871. Na průběhu srážek je tendence k dlouhodobé periodicitě patrná i v předcházejícím období. V řadě odtoků je od období minim kolem roku 1953 patrný vzestup, od roku 1988 pokles, jenž neodpovídá průběhu srážek a lze jej přisoudit intenzivnímu zvyšování teplot vzduchu. Rozdíl srážek a odtoku, který lze považovat za územní výpar, se od desetiletí končícího rokem 1991 zvětšuje.

Režim výskytu víceletých minimálních srážek a následně i ročních a víceletých minimálních odtoků tedy v dlouhodobém měřítku značně kolísá *(obr. 2)*. Pouze v letech 1930–1935 se vymezení srážek a odtoků neshodují. V tomto období se vyskytla v použitém výběru jen jedna dvouletá minimální srážka a žádná šestiletá minimální srážka. Odtoková minima z tohoto období byla způsobena srážkovým minimem jenom tříletého trvání, které se při použitém postupu výběru nezobrazí. *Obr. 2* dokládá, že v období větších 22letých průměrných výšek srážek se víceleté minimální srážky nevyskytly. Pro průměrování byl použit interval 22 let, jenž odpovídá periodicitě, která byla nalezena v řadě použitých srážek i v řadě průtoků Vltavy, viz [8].



Obr. 2. Desetileté klouzavé průměry ročních výšek srážek (modře), odtoků (červeně) a rozdílů srážek a odtoků (zeleně) pro povodí Labe v Děčíně 1805–2019
Fig. 2. Ten-year moving averages of annual precipitation (blue), runoff (red) and differences in precipitation and runoff (green) in the Elbe basin in Děčín (1805–2019)

Tab. 1. Dlouhodobé průměry a trendy srážek, odtoků a jejich rozdílů
Tab. 1. Long-term averages and trends of precipitation, runoff and their differences

Veličina	Regresní koeficient	Změna za 170 let [mm]	Průměr za 170 let [mm/rok]	Změna za 170 let v % průměru
Srážky	0,160	27,0	669,6	4,04
Rozdíl srážek a odtoků	0,0822	13,9	483,7	2,87
Odtoky	0,0895	15,1	185,9	8,14

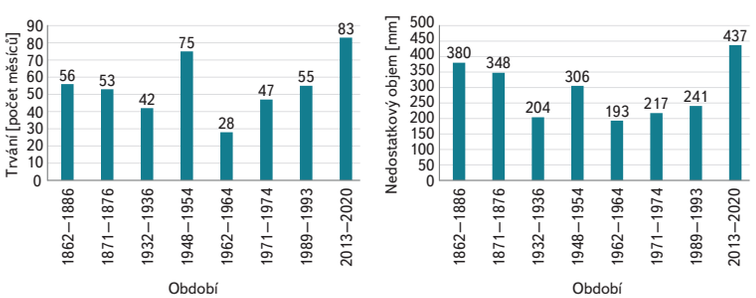
Tab. 2. Charakteristiky trvání a nedostatkových objemů víceletých období hydrologického sucha
Tab. 2. Characteristics of duration and deficit volumes of multi-annual hydrological droughts

Období	Začátek	Konec	Trvání	Nedostatkový objem [mm]		Minimální odtok [mm/měsíc]	Výskyt minima		Přerušení	
	Měsíc	Měsíc	Měsíců	Celkem	Roční		Měsíc	Rok	Počet	Objem [mm]
1862–1866	4	11	56	380	81,5	3,5	8	1963	4	40,8
1871–1876	6	10	53	348	78,7	2,93	10	1874	5	21,2
1932–1936	8	1	42	204	58,3	3,45	8	1934	7	40
1948–1954	4	6	75	306	48,9	2,66	2	1954	14	84,5
1962–1964	7	10	28	193	82,7	4,81	7	1964	0	0
1971–1974	1	10	46	217	55,5	5,01	9	1973	2	2,6
1989–1993	5	11	55	241	52,5	3,12	8	1992	9	48,5
2013–2020	7	6	84	437	63,2	2,33	9	2019	9	44

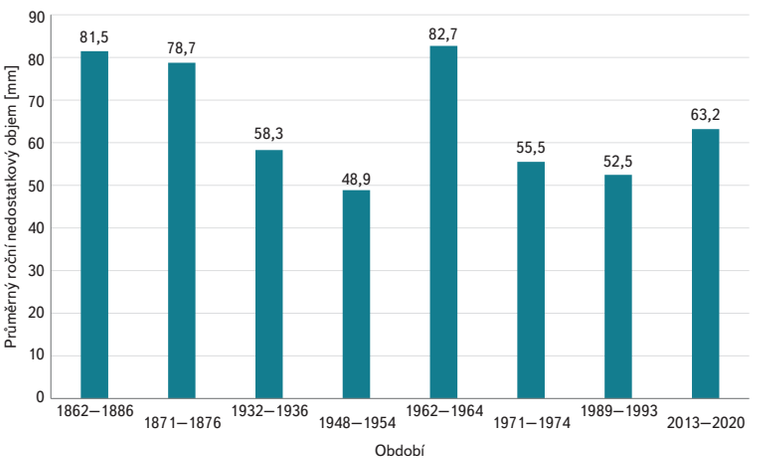
Z údajů *tab. 2* a *obr. 3* a *4* vyplývá, že hydrologické sucho 2013–2020 mělo nejdelší trvání – téměř sedm let – ze všech období sucha od roku 1851 a také se vyznačuje největším celkovým nedostatkovým objemem. Při posouzení podle průměrného ročního nedostatkového objemu je ale až čtvrté v pořadí. Mimořádnou délku trvání mělo i víceleté sucho 1948–1954, jeho průměrný roční nedostatkový objem je však z posuzovaných případů nejmenší. Pro periody sucha 1962–1964 a 1971–1974, vyhodnocené podle průtoků neočištěných o ovlivnění, jsme podle dat ze studie [5] posoudili vliv Vltavské kaskády na průtoky Vltavy. Ukázalo se, že v obou uvedených obdobích se nadlepšování průtoků uskutečnilo jen v rámci sezonního hospodaření nádrží. Průměry průtoků za celá období sucha tedy nebyly znatelně ovlivněny. Jelikož manipulace Vltavské kaskády jsou i pro průtoky Labe v Děčíně nejpodstatnějším ovlivněním, ponechali jsme výsledky hodnocení pro uvedené případy sucha nezměněné.

Na *obr. 5* a *6* jsou vyneseny průběhy měsíčních výšek odtoku v rozsahu let s výskytem sucha, které jsou si navzájem nápadně podobné. U period 1948–1954 a 2013–2020 je to o to zajímavější, že jsou od sebe značně vzdáleny. Základní vlastností je periodické kolísání odpovídající zvětšení zvýšení odtoku v zimních a jarních měsících. Sucho při námi zvoleném vymezení jeho začátku začíná obvykle v období od dubna do července, nejčastěji končí v říjnu a listopadu.

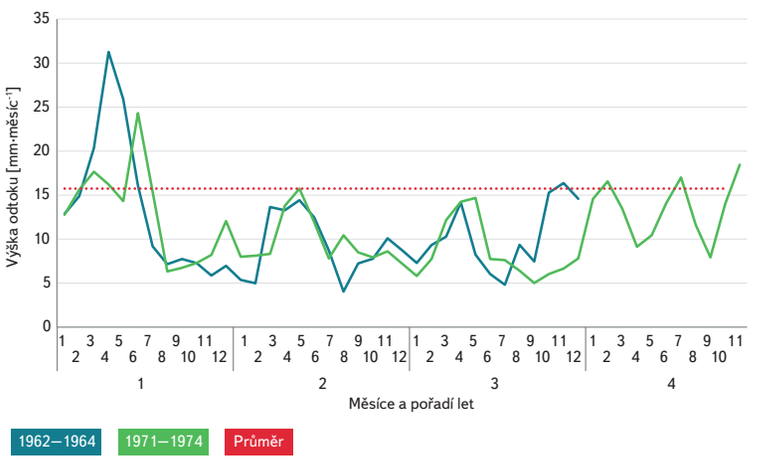
Víceletá sucha mají podobný průběh v počátečním a následujících dvou letech. Na rozmezí třetího a čtvrtého roku se obvykle odtok zvýší tak, že sucho skončí.



Obr. 3. Trvání sucha v měsících (vlevo) a celkový nedostatkový objem v období sucha v mm (vpravo)
Fig. 3. Drought duration in months (left) and total deficit volume in drought periods in mm (right)



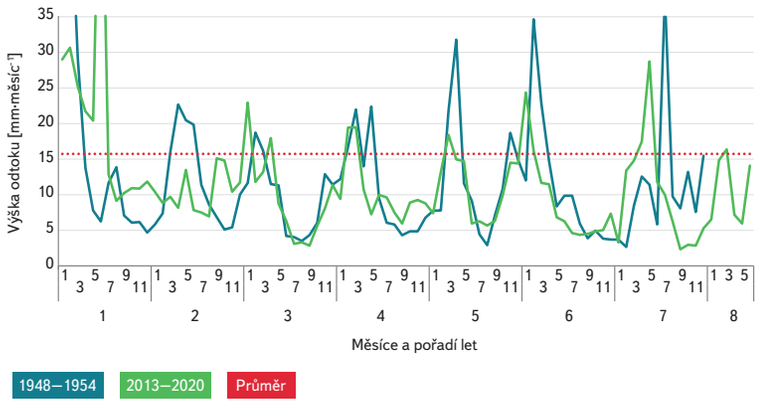
Obr. 4. Průměrný roční nedostatkový objem v mm
Fig. 4. Average annual deficit volume in mm



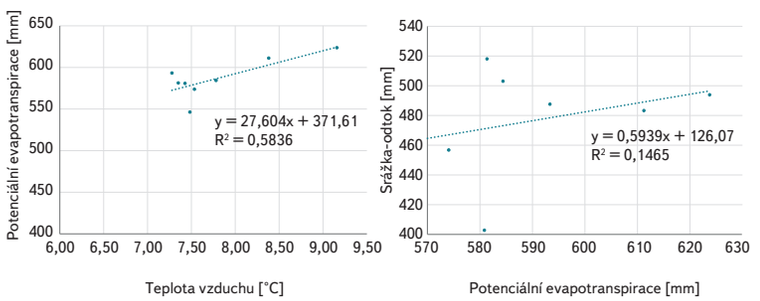
Obr. 5. Porovnání průběhu odtoku u period sucha 1962–1964 a 1971–1974
Fig. 5. Comparison of runoff patterns during drought periods 1962–1964 and 1971–1974

Tab. 3. Charakteristiky hydrologické bilance v obdobích víceletého sucha – průměrné roční hodnoty
Tab. 3. Characteristics of the hydrological balance in periods of multi-annual drought – average annual values

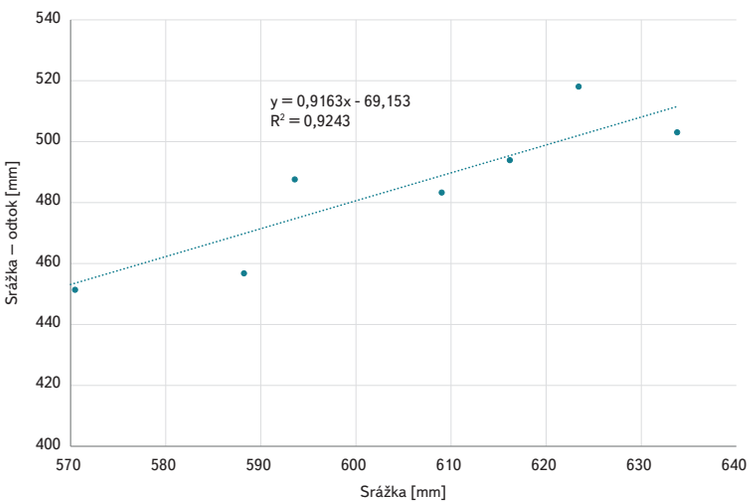
Období	Srážka [mm]	Odtok [mm]	Srážka – odtok [mm]	Potenciální evapotranspirace [mm]	Teplota vzduchu [°C]
1862–1866	513	110	403	581	7,43
1871–1876	623	105	518	581	7,35
1932–1936	570	119	451	546	7,48
1948–1954	634	131	503	584	7,78
1962–1964	594	106	488	593	7,28
1971–1974	588	131	457	574	7,53
1989–1993	609	126	483	611	8,38
2013–2020	616	122	494	624	9,16
průměr	593	119	475	587	7,80
minimum	513	105	403	546	7,28
maximum	634	131	518	624	9,16



Obr. 6. Porovnání průběhu odtoku u period sucha 1948–1954 a 2013–2020
Fig. 6. Comparison of runoff patterns during drought periods 1948–1954 and 2013–2020



Obr. 7. Vztah potenciální evapotranspirace (PET) a teploty vzduchu (vlevo) a vztah územního výparu (srážka – odtok) a PET
Fig. 7. Relationship between potential evapotranspiration (PET) and air temperature (left) and relationship between evapotranspiration (precipitation – runoff) and PET (right)



Obr. 8. Vztah územního výparu a srážky
Fig. 8. Relationship between evapotranspiration and precipitation

Po pátém roce pokračovalo sucho jen v období 1948–1954 a 2013–2020, v obou případech jsou v posledních letech vidět krátké, ale větší vzestupy odtoku nad průměrnou prahovou mez.

Údaje z *tab. 3* jsou zpracovány ve formě korelačních grafů na *obr. 7* a *8*. Z grafů je zřejmé, že potenciální evapotranspirace předpokládaným způsobem vzrůstá s teplotou, ale vztah rozdílu srážek a odtoku (což je bilanční odhad územního výparu) k potenciální evapotranspiraci je velmi volný. Rozdíl srážek a odtoku je dominantně závislý na velikosti srážek. V období sucha, kromě zimních měsíců, je pro výpar dostatek energie, takže je omezován zejména velikostí srážek.

ZÁVĚR

Ze zpracování výskytu případů hydrologického sucha v řadě průtoků Labe v Děčíně a srážek i teplot v povodí Labe v Děčíně z období 1851–2020 vyplynuly následující poznatky:

- Významná víceletá hydrologická sucha o trvání pět a více let se vyskytla v období 1861–1876 a pak až v období 1932–2020, což souvisí s dlouhodobým kolísáním průměrných srážek v povodí. Výskyty hydrologického sucha odpovídají obdobím, v nichž byly minimální víceleté průměry srážek.
- Při setřídění případů hydrologického sucha podle trvání z dat vyplývá, že hydrologické sucho 2013–2020 bylo nejdelší ze všech období sucha od roku 1851. Trvalo téměř sedm let a také se vyznačuje největším celkovým nedostatkovým objemem (pod dlouhodobým průměrným průtokem). Při posouzení podle průměrného ročního nedostatkového objemu je však až na čtvrtém místě.
- V období sucha potenciální evapotranspirace vzrůstá s teplotou, ale vztah rozdílu srážek a odtoku (což je bilanční odhad územního výparu) k potenciální evapotranspiraci je velmi volný. Rozdíl srážek a odtoku je dominantně závislý na velikosti srážek. V období sucha, kromě zimních měsíců, je vlivem vysokých teplot vzduchu pro výpar dostatek energie. Výpar je proto omezen víceméně množstvím spadlých srážek, bez nichž už není, co by se vypařilo.

Poděkování

Vznik článku byl podpořen interním grantem VÚV TGM 3600.52.28-2020.

Literatura

[1] VLNAS, R. a kol. *Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky.* Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2010. 160 s. ISBN 978-80-87402-11-5.

[2] BRÁZDIL, R., TRNKA, M. a kol. *Historie počasí a podnebí v českých zemích XI: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost*. Brno: Centrum výzkumu globální změny AV ČR, 2015. 402 s. ISBN 978-80-87902-11-0.

[3] DAŇHELKA, J. a kol. *Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015.* Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2015. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/zpravy/Sucho_2015_CHMU_prosinec.pdf

[4] KAŠPÁREK, L., VLNAS, R., NESLÁDKOVÁ, M. *Vltavská kaskáda – podklady pro střednědobé plánování provozu při málovodných obdobích*. Praha: Výzkumná zpráva zpracovaná pro Povodí Vltavy, s. p., Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2016. 37 s.

[5] DAŇHELKA, J. a kol. *Sucho 2011–2018 sborník abstraktů.* Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2020, 42 s. IBSN 978-80-87577-91-2.

[6] ELLEDER, L., KAŠPÁREK, L., ŠÍROVÁ, J., KABELKA, T. Low water stage marks on hunger stones: verification for the Elbe from 1616 to 2015. *Climate of the Past* [on-line]. 2020, 16(5), 1821–1846 [vid. 2020-11-01]. ISSN 1814-9324. Dostupné z: doi:10.5194/cp-16-1821-2020

[7] KAŠPÁREK, L., VIZINA, A., KOŽÍN, R. Využití hydrologického modelu BILAN pro odhad změny schopnosti půdy zadržet vodu. *Vodní hospodářství*. 2017, roč. 67, s. 19–22

[8] KAŠPÁREK, L. Dlouhodobé kolísání průtoků Vltavy v Praze. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2017, roč. 59, č. 5, s. 25–30

Autoři

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.
✉ ladislav.kasparek@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-8394-9136

Ing. Roman Kožín
✉ roman.kozin@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5773-6567

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.03.002

EXTREME MULTI-ANNUAL HYDROLOGICAL DROUGHTS IN THE ELBE RIVER BASIN

KAŠPÁREK, L., KOŽÍN, R.

T. G. Masaryk Water Research Institute

Keywords: multi-annual hydrological drought — Elbe — deficit volume — extremes

The aim of the study was the evaluation of multi-year hydrological droughts in the Elbe river basin for the Děčín stream gauging station (catchment area 51 104 m^2). Average monthly flows from period 1851–2000 are available for the station. For this period, we also compiled a series of average monthly precipitation and temperatures from several data sources. We calculated annual values for precipitation, temperatures and differences in annual precipitation and runoff, then we computed long-term averages and regression linear trends for change over time. The trends are only slightly upward for all three variables, but long-term fluctuations in precipitation are more significant. According to the quantified multi-year average flows and precipitation, we searched for and merged cases from which one continuous drought lasting at least 5 years is generated for both precipitation and runoff. We quantified deficit volumes for individual drought periods. The long-term average flow was chosen as the threshold flow. The hydrological drought 2013–2020 had the longest duration, almost 7 years, of all droughts since 1851 and was also characterized by the largest total deficit volume. When compared to the average annual deficit volume, it is only in fourth place. When comparing the time series of monthly flows, it turned out that cases from different periods have similar patterns and behavior.

Foto: 123rf.com

Alternativní stanovení faktoru R (erozní účinnost deště) v povodí Husího potoka

DAVID HONEK, MARTIN CALETKA

Klíčová slova: R faktor – srážkový úhrn – Husí potok

SOUHRN

Hodnocení erozní účinnosti deště je v současnosti těžištěm výzkumu v oblasti stanovení erozního ohrožení půdy. V rámci empirického modelování pomocí modelů rodiny USLE (the Universal Soil Loss Equation) je erozní účinnost deště reprezentována tzv. R faktorem, jehož hodnotu lze stanovit řadou doporučených postupů. Tento článek představuje možné alternativní způsoby určení hodnoty R faktoru na základě ročních a měsíčních sum srážkových úhrnů. Jednotlivé metody jsou vzájemně porovnány a konfrontovány s postupy užívanými v České republice. Dále jsou diskutovány jejich výhody i nevýhody. Cílem příspěvku je prezentace relativně jednoduchých postupů výpočtu na základě standardního měření srážkových úhrnů a také nalezení vhodného postupu výpočtu R faktoru pro aplikaci na území ČR. Jako modelové území bylo vybráno povodí Husího potoka, levostranného přítoku Odry, kde probíhá dlouhodobý monitoring srážkoodtokových procesů. Výpočty hodnot R faktoru byly provedeny pro čtyři vybrané srážkoměrné stanice za období 2015 až 2019. Jako nejvhodnější alternativní postup výpočtu R faktoru se jeví metoda dle Wischmeiera a Smithe [1], která dobře zohledňuje variabilitu srážkových úhrnů v průběhu roku. Výsledky také ukazují na mnohem nižší míru erozního účinku deště v daném období ve srovnání s užívanými dlouhodobými hodnotami R faktoru stanovenými jinými autory.

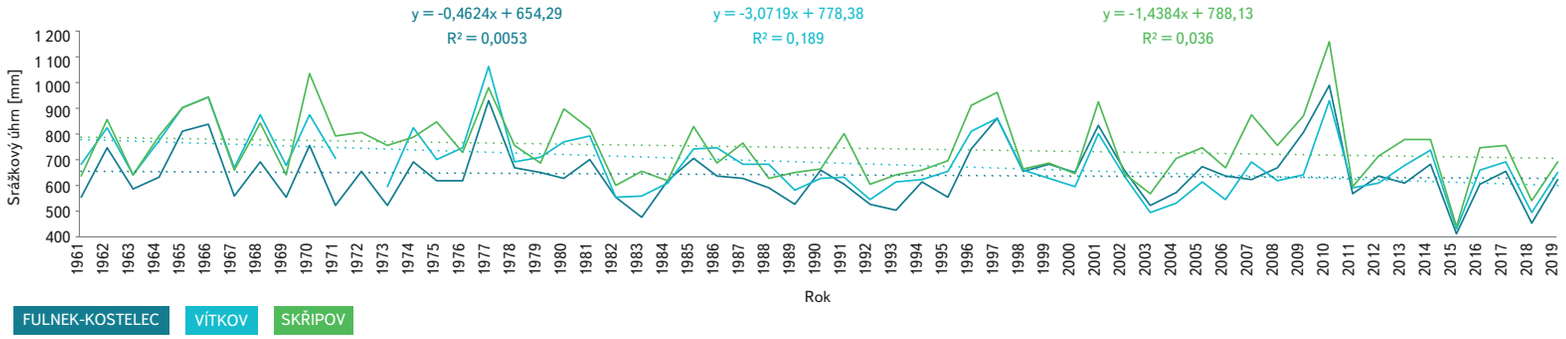
ÚVOD

Degradace a ztráta půdy patří v současnosti k největším environmentálním problémům v lokálním i globálním měřítku. K největším odnosům půdy dochází na zemědělských plochách, což se negativně odráží ve zhoršující se kvalitě půdy, a to má dále vliv na zdraví celých ekosystémů, odtokové poměry, kvalitu povrchových i podzemních vod a v neposlední řadě také na produkci potravin [2–5]. Eroze půdy – ať už vodní, nebo větrná – má různé příčiny, které jsou ve své podstatě přirozeným chováním přírodního prostředí. Od doby rozvoje zemědělství jsou však tyto přirozené procesy silně ovlivněny činností člověka. Eroze půdy je akcelerována především vlivem intenzifikace zemědělství, pěstování monokultur a velkého odlesňování [6], obecně ve snaze dosahovat co největších zisků [7–10]. V podmínkách České republiky představuje z hlediska eroze největší problém struktura půdních bloků a změny ve využívání krajiny, k nimž došlo v průběhu 20. století [11, 12].

Hodnocení erozního ohrožení půd vodní erozí se často provádí pomocí erozního modelu USLE (the Universal Soil Loss Equation), který vznikl v druhé polovině 20. století [13, 1]. Tento empiricky založený model stanovuje míru předpokládané eroze na základě hodnot šesti vstupních faktorů (R, K, L, S, C a P), reprezentujících přírodní podmínky a vliv způsobu hospodaření v daném území. Jedním z faktorů, jenž má přímý vliv na tvorbu erozní události, je faktor erozního účinku deště, tzv. R faktor. Role tohoto faktoru je velmi často diskutovaným tématem v mnoha publikacích a vznikla celá řada metodických doporučení, jak stanovit jeho hodnotu. Určení této hodnoty je dáno na základě dlouhodobého pozorování erozně účinných srážek a jejich kinetické energie [1]. Meusburger a kol. [14] poukazuje na obtížnou dostupnost potřebných dat a spolu s dalšími autory zmiňuje možnost nahrazení tohoto způsobu výpočtu odvozením na základě denních, měsíčních a ročních srážkových úhrnů [15, 16]. Bonilla a Vidal [17] dodávají, že existuje dobrá korelace mezi ročními srážkovými úhrny a hodnotami R faktoru, a to na mnoha místech ve světě.

Zvolení správné metody stanovení hodnoty R faktoru se tak stává kruciálním krokem v rámci empirického modelování erozních a sedimentačních procesů, a to zejména v období klimatické změny, projevující se změnou charakteru srážkových událostí, jež mají za následek intenzivní erozní procesy. García-Ruiz a kol. [18] odhalil významnou závislost erozních procesů na srážkách. Míra eroze půdy roste s nárůstem množství srážek a jejich intenzity, k čemuž Kozlovska a kol. [19] dodává, že extrémní projevy erozních procesů jsou úzce spjaty s extrémními srážkovými událostmi s nízkým ročním výskytem. Edwards a Owens [20] a González-Hidalgo [21] zdůrazňují, že většinu celkové degradace půdy může způsobit jen několik málo extrémních srážkových událostí v roce.

Podle posledních projekcí klimatu pro oblast střední Evropy se předpokládá mírně poklesový až stagnující trend ročních srážkových úhrnů [22, 23], čemuž odpovídají i data ze zvoleného výzkumného povodí Husího potoka, byť se jedná o krátkou časovou řadu. V posledních letech se i zde projevilo relativně dlouhé období sucha, které zasáhlo celou střední Evropu. Na *obr. 1* je znázorněn chod ročních srážkových úhrnů na třech vybraných srážkoměrných stanicích (*tab. 1*) ve správě Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), kde je evidentní poklesový trend, ale také značná rozkolísanost (např. vláhově nadprůměrný povodňový rok 2010 a velmi suchý rok 2015). Projekce budoucího vývoje v oblasti střední Evropy předpokládají růst frekvence extrémních srážkových událostí, jež mohou mít mnohem větší účinek na půdu, která je dlouhodobě zasažena suchem [22–24].



Obr. 1. Vývoj ročních srážkových úhrnů v období 1961 až 2019 na vybraných srážkoměrných stanicích ČHMÚ v povodí Husího potoka

Fig. 1. Development of annual precipitation totals in the period from 1961 to 2019 at selected rain gauging stations operated by CHMI in the Husí creek catchment area

Tab. 1. Dlouhodobá průměrná, maximální a minimální hodnota ročních srážkových úhrnů v období 1961 až 2019 na vybraných stanicích ČHMÚ v povodí Husího potoka

Tab. 1. Long-term average, maximum and minimum value of annual precipitation totals in the period from 1961 to 2019 at selected CHMI stations in the Husí creek catchment area

Název stanice	Nadmořská výška [m n. m.]	Souřadnice (S-JTSK)		Roční srážkový úhrn (1961–2019) [mm]		
		X	Y	Průměr	Maximum	Minimum
Fulnek-Kostelec	340	-496671,3	-1111857,6	640,4	983,2	409,3
Vítkov	491	-508795,8	-1104575,7	685,3	1058,3	430,1
Skřipov	485	-497236,5	-1101170,4	745,0	1154,9	436,1

Tento příspěvek si klade za cíl představení vybraných metod stanovení hodnoty R faktoru na základě měsíčních a ročních srážkových úhrnů. Jednotlivé metody jsou srovnány mezi sebou s cílem nalezení vhodné alternativní metody pro aplikaci v České republice. Doporučená metoda bude představovat alternativní postup stanovení hodnoty R faktoru ke stávajícím postupům užívaných v České republice. Testování jednotlivých metodik je provedeno na čtyřech vybraných srážkoměrných stanicích v povodí Husího potoka, které je dlouhodobě zkoumáno právě pro výskyt intenzivních srážkoodtokových a erozních procesů [25–28].

METODIKA A POPIS ÚZEMÍ

Použité metody a vstupní data

Faktor erozní účinnosti deště R (MJ mm $ha^{-1} h^{-1} rok^{-1}$) reprezentuje ztrátu půdy ze zemědělské půdy, která je přímo úměrná součinu celkové kinetické energie přívalové srážky a její maximální třicetiminutové intenzity, a pro svůj výpočet vyžaduje podrobná kontinuální data srážkových úhrnů [1, 29]. Hodnota R faktoru je tedy výrazně ovlivněna objemem, intenzitou, trváním a rozložením srážek a je také silně ovlivněna strmostí daného svahu. Hodnoty R faktoru lze určit z izoerodentních map, tabulek nebo vypočítat z historických pozorování [30]. Stanovení hodnoty R faktoru lze rovněž pomocí sumy měsíčních a ročních srážkových úhrnů [15]. V následujícím textu je přehled vybraných příkladů rovnic, jež byly aplikovány v této práci.

ARNOLDUS [31]:

$$R = \left[4{,}17 \times \sum_{i=1}^{12} \frac{P^2}{P} \right] - 152 \quad (1)$$

BOLS [32]:

$$R = \frac{2{,}5 \times P^2}{100 \times (0{,}07 \times P + 0{,}73)} \quad (2)$$

DEVATHA a kol. [33]:

$$R = P \times 0{,}5 \quad (3)$$

EL-SWAIFY a kol. [34]:

$$R = 38{,}5 + 0{,}25 \times P \quad (4)$$

MARIA a kol. [35]:

$$R = \frac{1}{N} \times \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{12} \frac{P_{ij}^2}{P_j} \quad (5)$$

PARVEEN A KUMAR [36]:

$$R = 79 + 0{,}363 \times R_N \qquad (6)$$

WISCHMEIER A SMITH [1]:

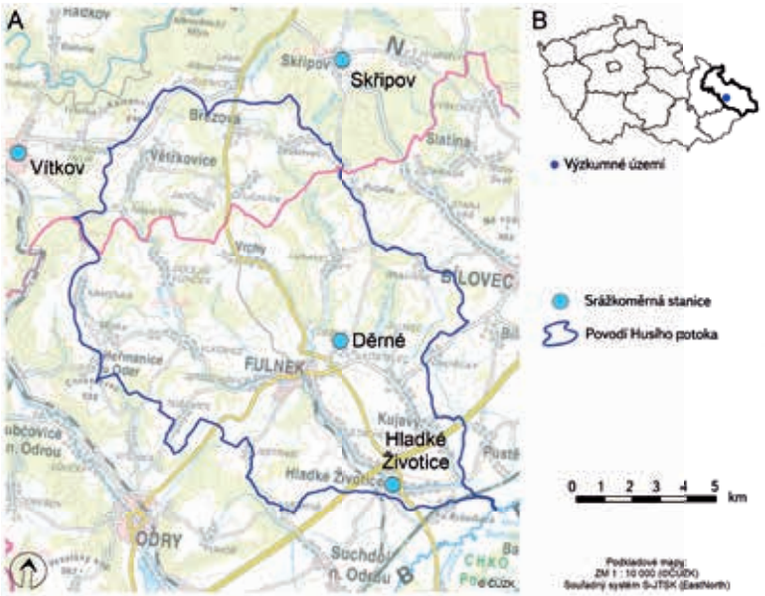
$$R = \sum_{1}^{12} 1{,}735 \times 10^{[1{,}5 \times \log_{10}(P_i^2/P) - 0{,}08188]} \qquad (7)$$

kde P (P_j nebo R_N) je roční srážkový úhrn (mm)
P_i (P_{ij}) měsíční srážkový úhrn (mm)
N počet událostí

Jako vstupní data byla použita denní měření ze čtyř srážkoměrů v období 2015 až 2019 (období s ucelenými daty bez výpadků na stanicích) v povodí Husího potoka (podrobný popis území je v následující kapitole. Vybrané stanice patří do společné pozorovací sítě v rámci povodí Husího potoka, kterou společně spravují obce v daném území ve spolupráci s VÚV TGM, ČHMÚ a státním podnikem Povodí Odry.

Popis výzkumného území

Výzkumné území se nachází na severovýchodě České republiky (*obr. 2*). Husí potok je levostranným přítokem Odry. Jeho délka činí více než 27 km a odvodňuje povodí o ploše 141,9 km^2. Povrch se postupně svažuje jihovýchodním směrem. V severozápadní části povodí tvoří převážně mírně zvlněné plošiny Nízkého Jeseníku s nadmořskou výškou okolo 500 m, které jsou často zemědělsky využívány. Tyto plošiny postupně přecházejí do strmých svahů a údolí s větším podélným sklonem. Tato údolí a svahy ohraničující zmíněné plošiny jsou typické pro celou střední část povodí a často jsou pokryty lesními porosty. Spodní část povodí je opět rovinatější, tvořena mírně zvlněnými táhlými



Obr. 2. Výzkumné území na podkladu základní mapy 1 : 10 000 (A) a poloha v rámci ČR a Moravskoslezského kraje (B)
Fig. 2. Research area on the basis of topographic map 1 : 10 000 (A), and location in the Czech Republic and Moravian-Silesian Region (B)

svahy, intenzivně zemědělsky využívanými. Kvůli charakteru reliéfu a způsobu využívání je toto území predisponováno k výskytu přívalových povodní. Dvě významné události se zde vyskytly v létě 2009 a 2010 [37, 38].

V povodí se nachází větší množství srážkoměrných stanic ve správě VÚV TGM, ČHMÚ a Povodí Odry. Některé srážkoměry jsou i ve správě místních samospráv a byly umístěny díky spolupráci s výše zmíněnými institucemi. Pro tento výzkum byly vybrány čtyři stanice (*obr. 2*), které kontinuálně měří srážkové úhrny (velké množství instalovaných srážkoměrů tu funguje v sezoně duben až listopad) a zároveň reprezentují odlišné přírodní podmínky v daném území, zejména nadmořskou výšku (*tab. 2*). V *tab. 2* je též zobrazeno rozložení srážek

Tab. 2. Základní charakteristiky vybraných srážkoměrných stanic pro výpočet R faktoru
Tab. 2. Basic characteristics of selected rain gauges used for R factor calculation

Název stanice	Nadmořská výška [m n. m.]	Souřadnice (S-JTSK)		Roční srážkový úhrn (2015–2019) [mm]		
		X	Y	Průměr	Maximum	Minimum
Děrné	356	-497284,3	-1111305,2	515,4	633,2	406,2
Hladké Životice	250	-495410,1	-1116428,9	549,4	649,1	452,3
Vítkov	491	-508796,8	-1104576,7	594,3	695,2	439,9
Skřipov	485	-497237,5	-1101170,4	632,2	753,5	436,1

Průměrné měsíční hodnoty srážkových úhrnů [mm] v období 2015–2019

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
Děrné	21,3	26,4	25,7	62,9	50,1	45,3	44,2	54,2	69,0	49,4	45,3	21,6	**515,4**
Hladké Životice	20,2	31,2	41,0	63,9	48,3	49,2	69,0	61,0	63,1	48,0	29,1	25,6	**549,4**
Vítkov	31,1	40,7	39,2	52,1	53,2	52,6	66,1	65,8	73,2	60,7	35,7	23,8	**594,3**
Skřipov	38,5	35,5	35,2	57,7	66,3	59,1	71,8	58,1	76,2	64,8	38,4	30,6	**632,2**

během roku pro období 2015 až 2019 a zcela jasně převážná část srážek spadne v teplých měsících roku mezi dubnem a říjnem. Co se týká průměrných ročních úhrnů srážek, je zde vidět tendence nárůstu množství srážek směrem na severozápad a do vyšších poloh. Ze srovnání s hodnotami v *tab. 1* jasně vyplývá, že období 2015 až 2019 bylo srážkově podprůměrné.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Hodnoty R faktoru na vybraných stanicích

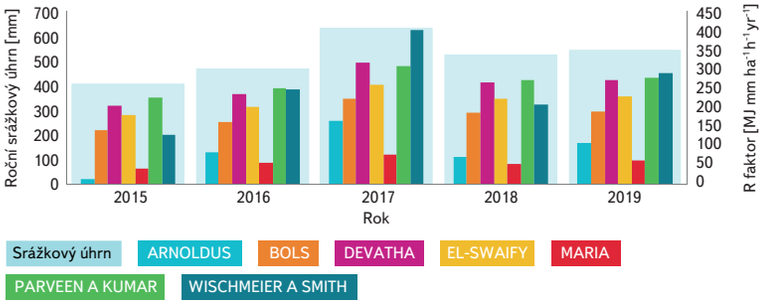
Obecně platí – a potvrzují to i údaje z vybraných srážkoměrů –, že se vzrůstající nadmořskou výškou rostou i srážkové úhrny. S tím je logicky spojen i růst hodnoty R faktoru. Vyšší hodnoty jsou tedy vypočítány pro výše položené stanice Vítkov a Skřipov (např. nejvyšší hodnota vůbec, 547,0 MJ mm ha^{-1} h^{-1} rok^{-1}, na stanici Skřipov v roce 2017 dle metody WISCHMEIER A SMITH; *tab. 3*). Důležitou roli hraje také rozložení srážek během roku, na což silně reaguje metoda WISCHMEIER A SMITH, kdy nadprůměrný až extrémní měsíční srážkový úhrn ve srovnání s ostatními měsíci v roce generuje vysokou hodnotu R faktoru. Názorný příklad představuje srovnání roků 2015 a 2016 na stanici Děrné (*tab. 3*), kdy celkové roční sumy srážek se relativně lehce liší (406,2 mm v r. 2015 ku 466,7 mm v r. 2016), ale výsledné hodnoty R faktoru v případě metody WISCHMEIER A SMITH se liší skoro dvojnásobně (129,3 ku 246,1 MJ mm ha^{-1} h^{-1} rok^{-1}). U všech stanic však obecně platí, že větší roční srážkový úhrn generuje vyšší hodnotu R faktoru a ve zvoleném období 2015 až 2019 jsou hodnoty výsledného R faktoru relativně nízké, což odpovídá rokům s podprůměrnými srážkovými úhrny, jak je zmíněno výše.

Srovnání metod stanovení hodnoty R faktoru

Použité metody a jejich výsledky se od sebe prokazatelně liší, jak dokládají grafy na *obr. 3* až *6*. Jednotlivé metody byly vytvořeny pro konkrétní území s velmi odlišnými přírodními podmínkami. Metody ARNOLDUS, MARIA a WISCHMEIER A SMITH vznikaly v oblastech vyšších zeměpisných šířek (Evropa, USA). Naproti tomu metody BOLS, DEVATHA, EL-SWAIFY a PARVEEN A KUMAR byly vytvořeny pro oblasti tropů jihovýchodní Asie s vyššími ročními srážkovými úhrny. Cílem autorů bylo respektovat dané klimatické (srážkové) podmínky, díky čemuž metody pro tropické oblasti pouze *„upravují"* roční sumu srážek, kdežto metody vyšších zeměpisných šířek sofistikovaněji přepočítávají roční sumu srážek i s ohledem na měsíční srážkové úhrny (MARIA a WISCHMEIER A SMITH).

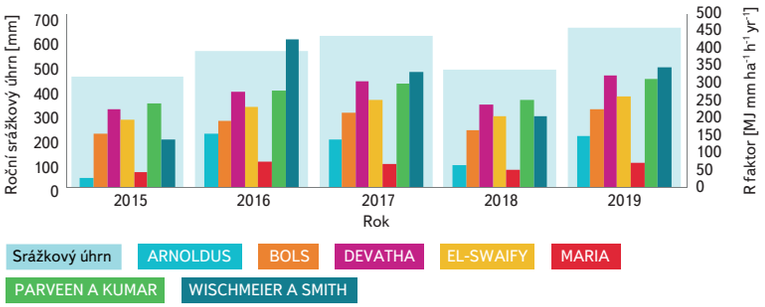
Tab. 3. Výsledné hodnoty R faktoru na vybraných stanicích v povodí Husího potoka podle sedmi různých metod výpočtu
Tab. 3. The resulting values of the R factor at selected stations in the Husí potok catchment according to seven different calculation methods

DĚRNÉ	**Rok**				
	2015	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Roční srážkový úhrn [mm]	**406,2**	**466,7**	**633,2**	**527,9**	**542,9**
R faktor [MJ mm ha^{-1} h^{-1} yr^{-1}]					
ARNOLDUS	13,6	82,3	165,6	71,8	107,6
BOLS	141,4	163,0	222,5	184,9	190,2
DEVATHA	203,1	233,4	316,6	264,0	271,5
EL-SWAIFY	180,7	201,8	260,1	223,3	228,5
MARIA	39,7	56,2	76,2	53,7	62,3
PARVEEN A KUMAR	226,5	248,4	308,9	270,6	276,1
WISCHMEIER A SMITH	129,3	246,1	401,1	207,3	290,5
HLADKÉ ŽIVOTICE	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Roční srážkový úhrn [mm]	**452,3**	**554,1**	**613,8**	**477,9**	**649,1**
R faktor [MJ mm ha^{-1} h^{-1} yr^{-1}]					
ARNOLDUS	29,2	157,1	139,2	63,7	151,0
BOLS	157,9	194,2	215,6	167,0	228,2
DEVATHA	226,2	277,0	306,9	239,0	324,6
EL-SWAIFY	196,8	232,4	253,3	205,8	265,7
MARIA	43,5	74,1	69,8	51,7	72,7
PARVEEN A KUMAR	243,2	280,1	301,8	252,5	314,6
WISCHMEIER A SMITH	140,1	429,4	335,6	206,9	349,3
VÍTKOV	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Roční srážkový úhrn [mm]	**439,9**	**669,7**	**695,2**	**507,9**	**658,8**
R faktor [MJ mm ha^{-1} h^{-1} yr^{-1}]					
ARNOLDUS	27,3	171,8	177,9	90,9	129,3
BOLS	153,5	235,5	244,6	177,7	231,6
DEVATHA	220,0	334,9	347,6	254,0	329,4
EL-SWAIFY	192,5	272,9	281,8	216,3	269,1
MARIA	43,0	77,7	79,1	58,2	67,5
PARVEEN A KUMAR	238,7	322,1	331,4	263,4	318,1
WISCHMEIER A SMITH	142,4	395,6	419,6	270,1	293,5
SKŘIPOV	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Roční srážkový úhrn [mm]	**436,1**	**742,4**	**753,5**	**540,1**	**688,9**
R faktor [MJ mm ha^{-1} h^{-1} yr^{-1}]					
ARNOLDUS	22,1	191,4	225,4	102,1	153,4
BOLS	152,1	261,5	265,4	189,2	242,4
DEVATHA	218,1	371,2	376,8	270,1	344,5
EL-SWAIFY	191,1	298,3	302,2	227,5	279,6
MARIA	41,7	82,4	90,5	60,9	73,2
PARVEEN A KUMAR	237,3	348,5	352,5	275,1	329,1
WISCHMEIER A SMITH	135,9	425,2	547,0	280,2	356,6



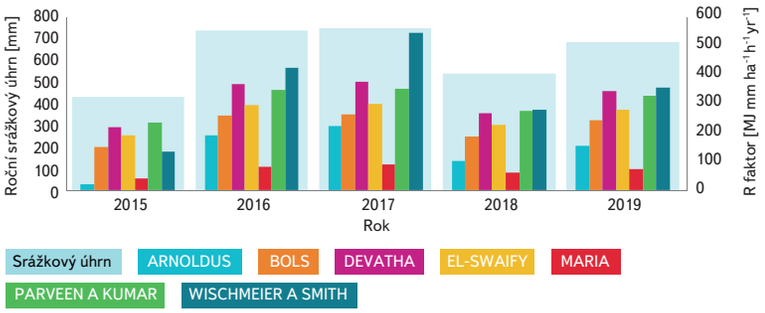
Obr. 3. Hodnoty R faktoru na stanici Děrné (VÚV TGM) stanovené pomocí sedmi vybraných metod výpočtu

Fig. 3. Values of the R factor at the Děrné station (VÚV TGM) determined using seven selected calculation methods



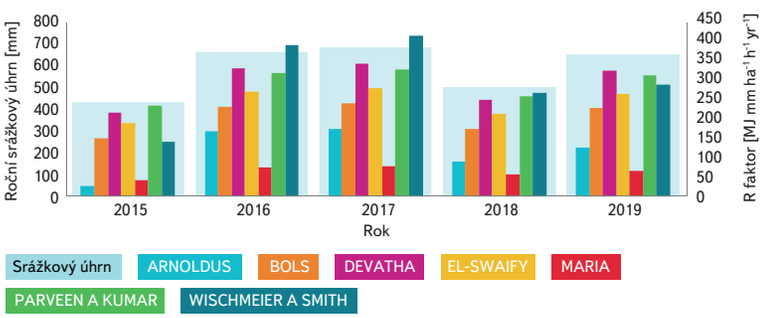
Obr. 4. Hodnoty R faktoru na stanici Hladké Životice (VÚV TGM) stanovené pomocí sedmi vybraných metod výpočtu

Fig. 4. Values of the R factor at the Hladké Životice station (VÚV TGM) determined using seven selected calculation methods



Obr. 5. Hodnoty R faktoru na stanici Vítkov (ČHMÚ) stanovené pomocí sedmi vybraných metod výpočtu

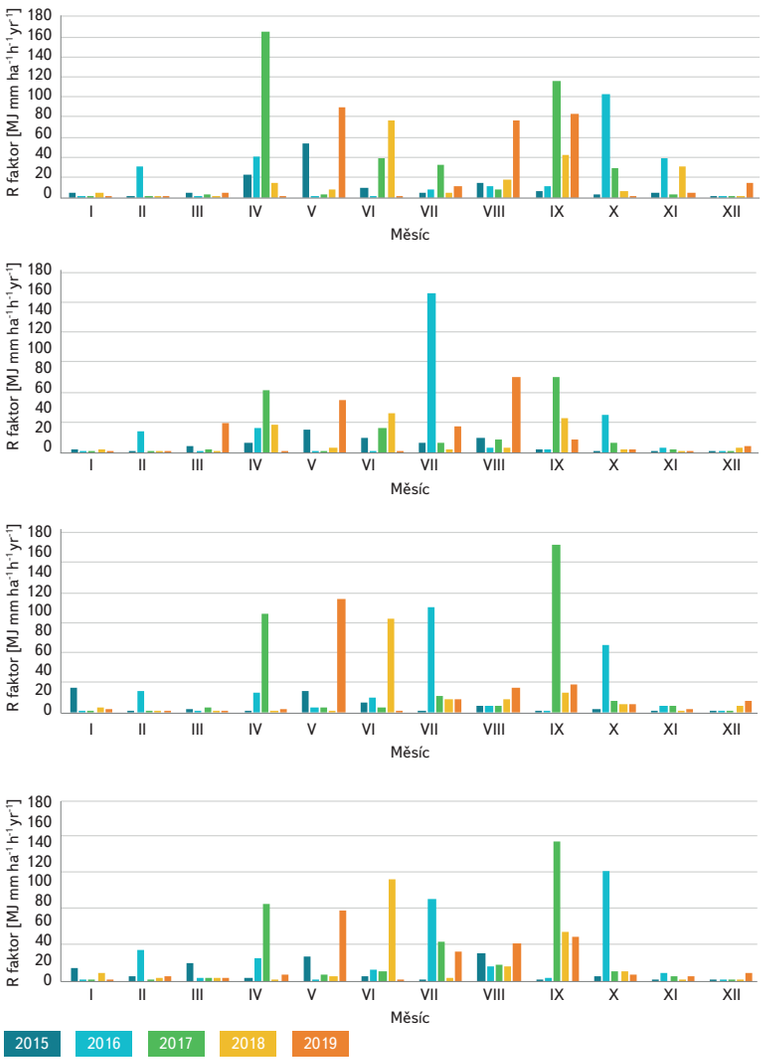
Fig. 5. Values of the R factor at the Vítkov station (CHMI) determined using seven selected calculation methods



Obr. 6. Hodnoty R faktoru na stanici Skřipov (ČHMÚ) stanovené pomocí sedmi vybraných metod výpočtu

Fig. 6. Values of the R factor at the Skřipov station (CHMI) determined using seven selected calculation methods

Výsledky v *tab. 4* potvrzují rozdílnost přístupů jednotlivých metodik. Metody DEVATHA, EL-SWAIFY a PARVEEN A KUMAR dávají velmi podobné výsledky s nižší meziroční variabilitou a jejich absolutní hodnoty R faktoru se pohybují kolem průměru mezi všemi metodami. Obdobné výsledky přináší také metoda BOLS, ale s nižšími absolutními hodnotami R faktoru. Vůbec nejnižší hodnoty jsou prezentovány metodami ARNOLDUS a MARIA, přičemž metoda ARNOLDUS relativně dobře zohledňuje meziroční variabilitu srážek, což metoda MARIA téměř vůbec nereflektuje. Zcela výjimečnou mezi všemi je metoda WISCHMEIER A SMITH, která dobře zohledňuje meziroční variabilitu srážkových úhrnů, ale také samotné rozložení srážek během roku. Výsledná hodnota ročního R faktoru je silně ovlivněna maximálními či minimálními měsíčními srážkovými úhrny. Na *obr. 7* je vyobrazen roční chod R faktoru na vybraných stanicích a je patrné, že některé měsíce vykazují hodnotu R faktoru odpovídající až polovině celkové roční hodnoty (např. červenec 2016 na stanici Hladké Životice s hodnotou R faktoru 264,5 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} rok^{-1}$ vůči roční hodnotě 429,4 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} rok^{-1}$). Naopak v některých měsících (zejména zimních) se hodnota R faktoru blíží nule. Vysoké hodnoty R faktoru odpovídají vyššímu výskytu extrémních srážkových událostí v daném měsíci, jež jsou v našich klimatických podmínkách typické pro jarní a zejména letní měsíce.



Obr. 7. Roční chod měsíčních hodnot R faktoru v letech 2015 až 2019, stanovených metodou WISCHMEIER A SMITH na čtyřech stanicích v povodí Husího potoka

Fig. 7. Annual development of monthly R factor values in the years 2015 to 2019 determined by the WISCHMEIER AND SMITH method at four stations in the Husí creek catchment

Tab. 4. Korelační koeficient a procentuální rozdíl hodnot R faktoru mezi použitými metodami
Tab. 4. Correlation coefficient and percentage difference of R factor values between used methods

	ARN	BOL	DEV	ELS	MAR	PAR	WIS
ARN		43.4	60.3	52.5	**-78.4**	60.4	62.1
BOL	0.9813		29.8	15.9	**-215.4**	30.0	33.0
DEV	0.9813	**1.0000**		**-19.8**	**-349.6**	0.2	4.6
ELS	0.9813	**1.0000**	**1.0000**		**-275.2**	16.7	20.4
MAR	**1.0000**	0.9813	0.9813	0.9813		77.8	78.8
PAR	0.9813	**1.0000**	**1.0000**	**1.0000**	0.9813		4.4
WIS	0.9958	0.9640	0.9640	0.9640	0.9640	0.9640	

Korelační koeficient R

Rozdíl absolutních hodnot [%]

Metodická doporučení a výběr vhodného postupu stanovení R faktoru

Jak je uvedeno v předchozí kapitole, jednotlivé metody výpočtu R faktoru přinášejí různé hodnoty výsledného R faktoru. Jedním z cílů tohoto příspěvku je navrhnout vhodný alternativní postup stanovení hodnoty R faktoru, a bylo tedy nutné použité metody porovnat s již zaužívanými postupy, které se uplatňují v České republice, potažmo i na Slovensku. V *tab. 5* jsou zobrazeny hodnoty R faktoru aproximované na povodí Husího potoka. Celkem bylo srovnáno 14 rozdílných metod (v horní polovině *tab. 5* jsou *doporučené* metody vycházející z dlouhodobých meteorologických pozorování a v dolní polovině metody námi *testované*). Z doporučených metodik vyplývá, že průměrná hodnota R faktoru se pohybuje v rozmezí 600 až 700 MJ mm ha^{-1} h^{-1} rok^{-1}, zatímco hodnoty stanovené v této práci jsou výrazně nižší. Tento rozdíl je způsoben několika faktory:

1. doporučené metody stanovují hodnotu R faktoru na základě kinetické energie deště a 30minutové intenzity srážky oproti testovaným metodám založeným na ročních a měsíčních úhrnech
2. jednotlivé metody byly aplikovány pro různá období
3. hodnoty vypočítané v této studii byly stanoveny pro roky s podprůměrnými srážkovými úhrny vůči dlouhodobému pozorování (*tab. 1* a *2*)
4. je velký rozdíl mezi hodnotami R faktoru stanovenými jako průměry ročních hodnot R faktoru a hodnotami vypočítanými na základě průměrných ročních či měsíčních srážkových úhrnů za určité období, jak je prokázáno u metodik ARNOLDUS, MARIA a WISCHMEIER A SMITH (*tab. 5*)

Doporučené metodické postupy pro stanovení erozního ohrožení zejména zemědělské půdy [29, 39, 40] obecně doporučují standardizovanou hodnotu R faktoru 400 MJ mm ha^{-1} h^{-1} rok^{-1}. Ta představuje průměrnou hodnotu, která by měla být užívána ve všech výpočtech na území České republiky. Z výsledků současného monitoringu erozních událostí, jež dlouhodobě zabezpečuje Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., však vyplývá, že tato doporučená hodnota je podhodnocena oproti realitě. V poslední verzi Závěrečné zprávy monitoringu eroze na zemědělské půdě pro rok 2019 je zmíněno, že v lokalitách zasažených erozními událostmi se hodnota regionalizovaného

Tab. 5. Hodnoty dlouhodobého R faktoru v povodí Husího potoka – srovnání hodnot stanovených sedmi vybranými metodami s vypočítanými hodnotami jiných autorů
Tab. 5. Values of the long-term R factor in the Husí creek catchment – comparison of values determined by seven selected methods with calculated values of other authors

Zdroj	R [MJ mm ha^{-1} h^{-1} yr^{-1}]	Období
Janeček a kol. [48]	200	–
Dostál a kol. [49]	710–800	1962–2001
Dostál a kol. [49]	610–700	2000–2005
Janeček a kol. [29]	510–800	(1961) 1971–2000
Hanel [50]	610–800	1989–2003
Rožnovský a kol. [51]	510–700	2003–2012
Panagos a kol. [45]	493.2–724.6	1961–1999
ARNOLDUS	[a] 88.2–138.9	2015–2019
	[b] 49.8–86.4	
BOLS	180.4–222.1	2015–2019
DEVATHA	257.7–316.1	2015–2019
EL-SWAIFY	218.9–259.8	2015–2019
MARIA	[a] 69.8–57.6	2015–2019
	[b] 9.7–11.4	
PARVEEN A KUMAR	308.5–294.7	2015–2019
WISCHMEIER A SMITH	[a] 254.8–349.0	2015–2019
	[b] 160.9–199.0	

Pozn.: [a] hodnoty vypočteny jako průměr ročních hodnot R faktoru;
[b] hodnoty vypočteny na základě průměrných měsíčních srážkových úhrnů.
Note: [a] values calculated as the average of the annual values of the R factor;
[b] values calculated on the basis of average monthly precipitation totals.

R faktoru pohybuje v rozmezí 500 až 600 MJ mm ha^{-1} h^{-1} rok^{-1} [24]. Obdobný výsledek potvrzuje i práce Hanel a kol. [41], v níž se stanovená průměrná hodnota R faktoru pro ČR pohybuje mezi 320 až 1 520 MJ mm ha^{-1} h^{-1} rok^{-1}, respektive průměrná hodnota pro ČR 640 MJ mm ha^{-1} h^{-1} rok^{-1}. Z toho vyplývá, že doporučená hodnota R faktoru je podhodnocena a při výpočtech erozního ohrožení by bylo vhodné přistoupit k vlastní kalkulaci R faktoru pro aktuální podmínky v daném území.

V této studii testované metody představují vhodné alternativní postupy pro relativně jednoduché stanovení hodnoty R faktoru na základě dostupných měření srážkových úhrnů. Je potřeba vzít v úvahu místo vzniku jednotlivých metodik, respektive klimatické oblasti, ve kterých daná metoda vznikla. Z tohoto důvodu se jako nejslibnější postup pro naše území jeví metoda WISCHMEIER A SMITH, jejíž uplatnitelnost byla potvrzena mnohými autory [1, 42, 43]. Tato metoda dobře reflektuje meziroční, ale i roční variabilitu rozložení srážek, umožňuje rovněž výpočet měsíční hodnoty R faktoru, což je vhodné pro krátkodobé studie (např. hodnocení erozních procesů v závislosti na ročním období, fenologických fázích rostlin atd.), a je možné ji aplikovat na jakémkoli území. Metoda je vhodná pro hodnocení dopadu změny klimatu na atmosférické srážky, kdy v posledních letech dochází ke změně jejich rozložení během roku a také jejich samotného charakteru – růst intenzity a frekvence extremity [19, 44–47]. Ostatní testované metody je možné aplikovat víceméně jen v územích, pro která byla navržena, nebo v územích s obdobnými klimatickými podmínkami.

ZÁVĚR

Volba vhodné metody pro stanovení faktoru erozní účinnosti deště R představuje důležitý krok ke správnému hodnocení erozního ohrožení půdního fondu. Tento příspěvek aplikoval sedm alternativních metodik výpočtu R faktoru na základě ročních a měsíčních srážkových úhrnů na čtyřech vybraných srážkoměrných stanicích v povodí Husího potoka. Použité metody byly porovnány vzájemně i s postupy dalších autorů, které se využívají v České republice. Jako nejvhodnější alternativní metodika stanovení hodnoty R faktoru se jeví metoda WISCHMEIER A SMITH [1], jež dobře reflektuje klimatické podmínky daného území, je možné ji použít pro dlouhodobá (desítky let) i krátkodobá (měsíce) hodnocení erozních procesů a její samotný výpočet je relativně jednoduchý a aplikovatelný kdekoli. Výsledky tohoto příspěvku také poukazují na meziroční změnu srážkových úhrnů, respektive pomalý pokles ročních srážkových úhrnů v povodí Husího potoka v období 1961 až 2019.

Poděkování

Tato studie vznikla za finanční podpory Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka formou interních grantů č. 1628 a 3600.52.27/2020.

Literatura

[1] WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Censervation Planning. *USDA Agricultural Handbook*. 1978, 537, 63 s.

[2] NOVOTNY, V., OLEM, H. *Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*. Wiley, 1994, 1072 s.

[3] MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. Essex: Longman, 1995

[4] ONYANDO, J., KISOYAN, P., CHEMELIL, M. C. Estimation of Potential Soil Erosion for River Perkerra Catchment in Kenya. *Water Resources Management*. 2005, 19, 133–143

[5] CHEN, L., QIAN, X., SHI, Y. Critical Area Identification of Potential Soil Loss in a Typical Watershed of the Three Gorges Reservoir Region. *Water Resources Management*. 2011, 25, 3445

[6] SHOLAGBERU, A. T., Ul MUSTAFA, M. R., YUSUF, K. W., AHMAD, M. H. Evaluation of Rainfall-Runoff Erosivity Factor for Cameron Highlands, Pahang, Malaysia. *Journal of Ecological Engineering*. 2016, 17 (3), 1–8

[7] QUINTON, J. N., CATT, J. A., HESS, T. M. The Selective Removal of Phosphorus from Soil: is Event Size Important? *Journal of Environmental Quality*. 2001, 30 (2), 538–545

[8] HAYGARTH, P. M. Linking Landscape Sources of Phosphorus and Sediment to Ecological Impacts in Surface Waters. *Science of the Total Environment*. 2005, 344 (1–3): 1–3

[9] OH, J. H., JUNG, S. G. Potential Soil Prediction for Land Resource Management in the Nakdong River basin. *Journal of the Korean Society of Rural Planning*. 2005, 11(2): 9–19

[10] DELMAS, M., PAK, L. T., CERDAN, O., SOUCHÈRE, V. BISSONNAIS, Y. L., COUTURIER, A., SOREL, L. Erosion and Sediment Budget Across Scale: A Case Study in a Catchment of the European Loess Belt. *Journal of Hydrology*. 2012, 420–421: 255–263

[11] DEVÁTÝ, J., DOSTÁL, T., HÖSL, R., KRÁSA, J., STRAUSS, P. Effects of historical land use and land pattern changes on soil erosion – Case studies from Lower Austria and Central Bohemia. *Land Use Policy*. 2019, 82: 674–685

[12] ŠARAPATKA, B., BEDNÁŘ, M., NETOPIL, P. Multilevel soil degradation analysis focusing on soil erosion as a basis for agrarian landscape optimization. *Soil and Water Research*. 2018, 13: 119–128

[13] WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. *Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains*. Washington: 1965, USDA, 44 s.

[14] MEUSBURGER, K., STEEL, A., PANAGOS, P., MONTANARELLA, L. and ALEWELL, C. Spatial and Temporal Variability of Rainfall Erosivity Factor for Switzerland. *Hydrology and Earth System Science*. 2012, 16: 167–177

[15] RENARD, K. G., FREIMUND, J. R. Using Monthly Precipitation Data to Estimate the R Factor in the Revised USLE. *Journal of Hydrology*. 1994, 157: 287–306

[16] MING-Hsi, L., HUAN-HSUAN, L. Evaluation of Annual Rainfall Erosivity Index Based on Daily, Monthly, and Annual Precipitation ata of Rainfall Station Network in Southern Taiwan. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2015, Article ID 214708, 15 s.

[17] BONILLA, C. A., VIDAL, K. L. Rainfall Erosivity in Central Chile. *Journal of Hydrology*. 2011, 410 (1–2): 126–133

[18] GARCÍA-RUIZ, J. M., BEGUERÍA, S., NADAL-ROMERO, E., GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., LANA-RENAULT, N., SANJUÁN, Y. A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology*. 2015, 239, 160–173

[19] KOZLOVSKA, S., TOMAN, F., DUFKOVA, J. K. Seasonality of the occurence of higher precipitation sums and its influence on the soil erosion. In: *Bioklima 2010*, 182–188

[20] EDWARDS, W. M., OWENS, L. B. Large storm effects on total soil erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1991, 46(1), 75–78

[21] GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., BATALLA, R. J., CERDA, A., de LUIS, M. A regional analysis of the effects of largest events on soil erosion. *Catena*. 2010, 95, 85–90

[22] EEA. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. *European Environment Agency Report*. 2017, 424 s.

[23] IPCC. Climate Change and Land. *Summary for Policymakers*. IPCC, 2020, 41 s.

[24] KAPIČKA, J., ŽÍŽALA, D., NOVOTNÝ, I. a kol. *Monitoring eroze zemědělské půdy – závěrečná zpráva*. Praha: 2019, VÚMOP, SPÚ, 136 s.

[25] MATOUŠEK, P. *Vyhodnocení účinnosti komplexních ochranných opatření k. ú. Jerlechovice v povodí Husího potoka*. Diplomová práce. Brno: 2015, FS VÚT, 111 s.

[26] UHROVÁ, J., OSIČKOVÁ, K. Hydrologické modelování srážko-odtokového procesu v povodí Husího potoka. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2016, 58(6), 19–26

[27] CALETKA, M., HONEK, D. Improving direct runoff estimations through modyfying SCS-CN initial abstraction ratio in a catchment prone to flash floods. In: *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*. 2019, 9 s.

[28] HONEK, D., CALETKA, M. (2019): Longtherm and event-based modelling of soil water erosion in small catchments. In: *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*. 2019, 8 s.

[29] JANEČEK, M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ČZU, 2012, 113 s.

[30] RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., MCCOOL, D. K., YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *USDA Agricultural Handbook*. 1997, 703, 407 s.

[31] ARNOLDUS, H. M. J. An approximation of the Rainfall Factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt, M. and Gabriels, D. (eds.). *Assessment of Soil Erosion*. Chichester: John Wiley and Sons, 1980, 127–132

[32] BOLS, P. *The Is-erodent Map of Java and Madura*. Belgian Technical Assistance Project ATA 105, Soil Research Institute, Bogor. 1978

[33] DEVATHA, C. P., DESPHANDE, V., RENUKAPRASAD, M. S. Estimation of Soil loss using USLE model for Kulhan Watershed, Chattisgarh – A case study. *Aquatic Procedia*. 2015, 4: 1429–1436

[34] El-SWAIFY, S. A., GRAMIER, C. L., Lo, A. Recent advances in soil conservation in steepland in humid tropics. *Proceedings of the International Conference on Steepland Agriculture in the Humid Tropics*. Kuala Lumpur, MADI, 1987. pp. 87–100

[35] MARIA, K., PANTELIS, S., FILIPPOS, V. Soil Erosion Prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. Environmental Geology. 2008, 57(3): 483–497

[36] PARVEEN, R., KUMAR, U. Integrated Approach of Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for Soil Loss Risk Assessment in Upper South Koel Basin, Jharkhand. *Journal of Geographic Information System*. 2012, 4: 588–596

[37] DAŇHELKA, J., KUBÁT, J. *Vyhodnocení Povodní v červnu a červenci 2009*. Praha: MŽP, ČHMÚ, 2009, 165 s.

[38] ŠUNKA, Z. *Vyhodnocení povodní v květnu a červnu 2010*. Praha: MŽP, VÚV TGM, 2010, 172 s.

[39] DOSTÁL, T., KRÁSA, J., KAVKA, P., VRÁNA, K., DEVÁTÝ, J., KADLEC, V., NOVOTNÝ, I., KULÍŘOVÁ, P., HEŘMANOVSKÁ, D., PAPAJ, V., KAPIČKA, J., VÁŇOVÁ, V. *Využití dat a nástrojů GIS a simulačních modelů k navrhování TPEO*. Praha: VÚMOP, ČVUT, 2014, 70 s.

[40] KADLEC, V., DOSTÁL, T., VRÁNA, K., KAVKA, P., KRÁSA, J., DEVÁTÝ, J., PODHRÁZSKÁ, J., POCHOP, M., KULÍŘOVÁ, P., HEŘMANOVSKÁ, D., NOVOTNÝ, I., PAPAJ, V. *Navrhování technických protierozních opatření*. Praha: VÚMOP, ČVUT, 2014, 101 s.

[41] HANEL, M. *Information of the author – not published results within the project VG 20122015092 „Erosion runoff – increased risk of the residents and the water quality exposure in the context of the expected climate change"*. Prague: T. G. Masaryk Water Research Institute, 2013

[42] GANASRI, B. P., RAMESH, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS – A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*. 2016, 7, 953–961

[43] HONEK, D., ŠULC MICHALKOVÁ, M., SMETANOVÁ, A., SOČUVKA, V., VELÍSKOVÁ, Y., KARÁSEK, P., KONEČNÁ, J., NÉMETOVÁ, Z., DANÁČOVÁ, M. Estimating sedimentation rates in small reservoirs – Suitable approaches for local municipalities in central Europe. *Journal of Environmental Management*. 2020, 261, 1–13

[44] ZOLINA, O., SIMMER, C., KAPALA, A., SHABANOV, P., BECKER, P., MÄCHEL, H., GULEV, S., GROISMAN, P. Precipitation variability and extremes in central Europe: new view from STAMMEX results. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2014, 99, 995–1002

[45] PANAGOS, P., BALLABIO, C., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., KLIK, A. a kol. Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*. 2015, 511, 801–814

[46] DOLÁK, L., ŘEZNÍČKOVÁ, L., DOBROVOLNÝ, P., ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P. Extreme precipitation totals under present and future climatic conditions according to regional climate models. In: Vačkář, D. a kol. (Eds.). *Climate Change Adaptation Pathways from Molecules to Society*. Brno: Global Change Research Institute, 2017, pp. 27–37

[47] TRNKA, M., BRÁZDIL, R., VIZINA, A., DOBROVOLNÝ, P., MIKŠOVSKÝ, J., ŠTĚPÁNEK, P., HLAVINKA, P., ŘEZNÍČKOVÁ, L., ŽALUD, Z. Droughts and drought management in the Czech Republic in a changing climate. In: Wilhite, D. A. a kol. (Eds.). *Drought and Water Crises: Integrating Science, Management, and Policy*. CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, 2017, pp. 461–480

[48] JANEČEK, M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, ÚVTIZ, 1992

[49] DOSTÁL, T., VRÁNA, K., KRÁSA, J., JAKUBÍKOVÁ, A., SCHWARZOVÁ, P., DAVID, V., NOVÁKOVÁ, H., BEČVÁŘ, M., VESELÁ, J., KAVKA, P. *Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, erozních a transportních procesů v krajině. Dílčí zpráva projektu COST634*. Praha: CTU, 2006

[50] HANEL, M., MÁCA, P., BAŠTA, P., VLNAS, R., PECH, P. Rainfall erosivity factor in the Czech Republic and its Uncertainty. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 2016, 1–24

[51] ROŽNOVSKÝ, J., STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T. *Analýza souboru podkladů k určení a výpočtu R faktoru, přehled dosavadních postupů*. Brno: ČHMÚ, 2013

Autoři

Mgr. David Honek, Ph.D.
✉ david.honek@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-6957-051X

Martin Caletka
✉ martin.caletka@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-0772-3247

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.03.003

THE ALTERNATIVE DETEMINATION OF R-FACTOR (RAINFALL EROSIVITY FACTOR) IN THE HUSÍ CREEK CATCHMENT

HONEK, D.; CALETKA, M.

T. G. Masaryk Water Research Institute

Key words: R factor — precipitation — Husí creek

Evaluation of rain erosion efficiency is one of the basic pillars of research in the field of soil erosion risk assessment. As part of empirical modelling using the USLE (Universal Soil Loss Equation) family models, the erosion efficiency of rain is represented by the R factor, which can be determined by a number of recommended procedures. This article presents possible alternative ways of determining the value of the R factor based on the annual and monthly sums of precipitation totals. The individual methods are compared with each other and confronted with the procedures used in the Czech Republic and their advantages or disadvantages are also discussed. The aim of the paper is to present relatively simple calculation procedures based on standard measurement of precipitation totals and also to find a suitable procedure for calculating the R factor for application in the Czech Republic. The Husí potok catchment area near the town of Fulnek was chosen as a model area, where long-term monitoring of rainfall-runoff processes takes place. Calculations of R factor values were performed for 4 selected rain-gauge stations and the period 2015 to 2019. The most promising alternative procedure for calculating the R factor appears to be the method according to Wischmeier and Smith (1978), which takes good account of the variability of precipitation totals during the year. Furthermore, the results indicate a much lower rate of rain erosion in the period compared to the long-term R-factor values used by other authors.

Foto: Shutterstock.com

Kvantifikace rýhové eroze bezkontaktními metodami

RADEK BACHAN

Klíčová slova: bezkontaktní mapování — bezpilotní letecký systém — kvantifikace eroze — letecká fotogrammetrie — vodní eroze — přívalové srážky

SOUHRN

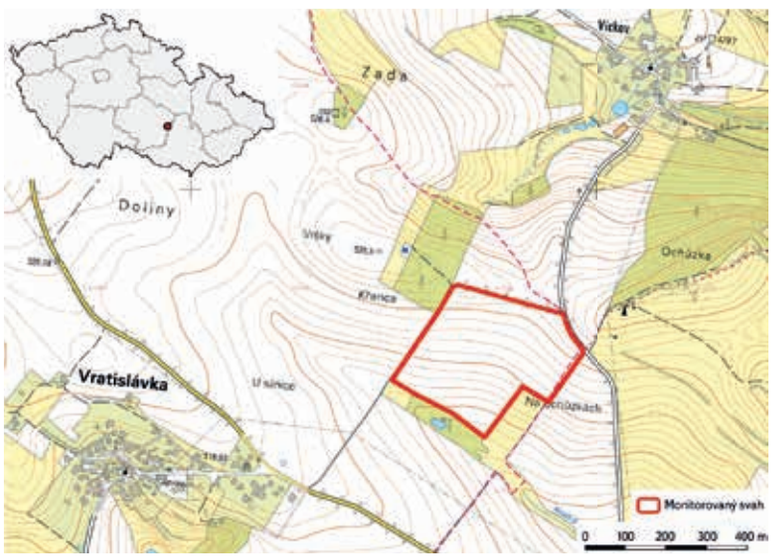
S překotným vývojem v oblasti geoinformačních a komunikačních technologií se objevují nové možnosti mapování a kvantifikace erozních procesů způsobených přívalovými srážkami. Pro získání relevantních výsledků je důležitá kvalita, hustota a rozsah vstupních dat. Rychlý a poměrně levný sběr přesných geodat umožňují bezpilotní letecké prostředky (UAV – z anglického Unmanned Aerial Vehicle). S využitím metod digitální fotogrammetrie je možné z pořízených leteckých snímků rekonstruovat morfologii terénu odpovídající času měření. Vybraná lokalita zasažená výraznou rýhovou erozí byla v monitorovací kampani nasnímána bezpilotním leteckým systémem složeným z hexakoptéry TAROT 690 a fotoaparátu Sony Alpha 6000. Pro následné polohopisné a výškopisné určení digitálního modelu povrchu (DMP) byly přístrojem GNSS rover Trimble R2 zaměřeny pozemní kontrolní body (GCP – z anglického Ground Control Points). Celkový objem erodované půdy byl stanoven na 4 274 m^3. Odchylky kontrolních bodů se pohybovaly v prvních jednotkách centimetrů. Studie popisuje přípravu a práci v terénu, bezkontaktní mapování zájmového území, zpracování získaných dat a výsledný výpočet a kvantifikaci objemu odneseného materiálu ze zemědělského pozemku poškozeného erozí.

ÚVOD

Orná půda je v posledních letech častěji vystavována povětrnostním extrémům, jako jsou dlouhá suchá období a přívalové srážky. A právě přívalové srážky jsou velmi často spouštěčem plošné a rýhové vodní eroze [1]. Míru rizika vzniku eroze dále umocňuje vysoký sklon svahu, faktor nepřerušené délky svahu, chybějící vegetační kryt nebo nevhodně zvolený osevní postup [2]. Důsledkem je odnos nejúrodnějších půdních horizontů ze zemědělského pozemku, snižování obsahu organické hmoty, minerálních živin a humusu v půdě, poškození pěstovaných rostlin nebo smyv osiva a sadby [3, 4]. Sekundárním důsledkem erozního smyvu je transport splavenin a zanášení vodních toků a vodních nádrží erodovaným materiálem [5]. Erozní procesy tak mají negativní vliv na produkční schopnosti orné půdy a přinášejí celou řadu problémů také vodnímu hospodářství. Vlivem eroze na zemědělskou půdu a její ochranou se ve své práci podrobně zabývá například Janeček a kol. [6].

Pro stanovení erozní ohroženosti půdy byly v minulosti vyvinuty modely založené na empirických metodách. Mezi nejpoužívanější patří univerzální rovnice ztráty půdy (USLE) [7] nebo distributivní model erozních a transportních procesů WaTEM/SEDEM [8]. Existují také modely založené na fyzikálních metodách, které charakterizují průběh erozních a transportních procesů na základě fyzikálních vztahů a závislostí. Tyto modely jsou velmi náročné na vstupní data a výpočetní techniku. Rozdělení a přehled metod a modelů erozní ohroženosti popisuje například Merritt a kol. [9]. Na základě zmíněných modelů vymezil Novotný a kol. pro území České republiky téměř 50 % plochy orné půdy jako ohrožené vodní erozí [2]. Z pohledu celé kontinentální Evropy pak Panagos a kol. určil průměrnou ztrátu orné půdy na 2,46 t/ha/rok [10]. Existující modely tohoto typu dobře slouží pro odhad průměrné ztráty půdy a dokážou lokalizovat zemědělskou půdu ohroženou erozí.

V článku popisovaná případová studie se naproti tomu zabývá monitoringem již proběhlé erozní události a kvantifikací objemových ztrát orné půdy na konkrétním zemědělském pozemku.



Obr. 1. Lokalizace erozí poškozeného svahu
Fig. 1. Localisation of the slope damaged by erosion

Pro mapování rýhové eroze se v minulosti využívaly kontaktní metody [11]. V posledních letech pak do popředí vstupují metody bezkontaktní, mezi které patří například družicové snímkování, letecké snímkování a snímkování pomocí UAV. Družicové a letecké snímky jsou vhodné spíše pro lokalizaci erozní události, nedosahují totiž rozlišení potřebného pro detailní vyhodnocení a kvantifikaci eroze [12]. Naproti tomu systémy UAV umožňují mapovat zemský povrch z velmi nízkých letových hladin, a získat tak spojitou informaci o aktuálním stavu monitorovaného území ve velmi vysokém rozlišení. V terénu získaná data lze pomocí fotogrammetrických metod převést do podoby podrobných ortofotomap nebo detailních digitálních modelů povrchu, nad nimiž lze následně

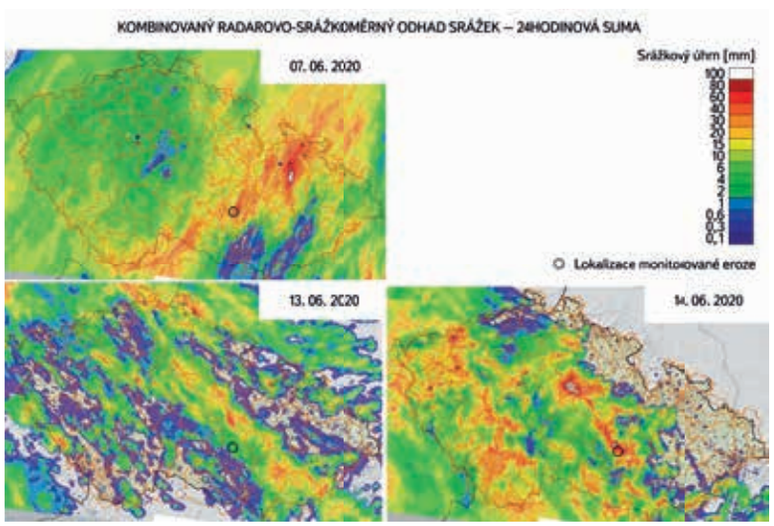
počítat mapová algebra. Hojně používanou fotogrammetrickou metodou, využitou i pro prezentovanou případovou studii, je Structure from Motion (SfM), která na základě dvojrozměrných obrazových sekvencí dokáže v digitálním prostředí rekonstruovat trojrozměrné prostorové struktury [13]. Přesností metody SfM v souvislosti s výškou, z níž byly snímky pořízeny, se zabývá Smith a kol. Dokládá lineární závislost mezi vzrůstající letovou hladinou a chybovostí konečného výsledku [14]. Záznamem a měřením eroze s využitím UAV se ve svých pracích zabývali například Carollo a kol. nebo Peter a kol. [15, 16]. Postupy přímého monitoringu a kvantifikace erozních jevů pomocí digitální fotogrammetrie představuje také Žížala a kol. [12].

Článek přináší výsledky případové studie usilující o co možná nejpřesnější určení objemu odneseného materiálu ze svahu zasaženého erozí s využitím bezkontaktních metod. Záznam rýhové eroze byl pořízen pomocí UAV systému a k vyhodnocení erozního smyvu sloužil software Agisoft PhotoScan Professional a ESRI ArcGIS. Díky použitým metodám a technologiím bylo možné sestrojit podrobný digitální model povrchu (DMP), který reflektuje stav monitorovaného svahu v době měření. DMP nese požadovanou informaci o morfologii terénu a je možné nad ním odvodit metriku erozních rýh. Při aplikaci optimálního postupu pak lze kvantifikovat množství erodovaného materiálu.

METODIKA SBĚRU DAT, PŘÍPRAVA A PRŮBĚH MĚŘENÍ

Pilotní lokalita

Monitorovaný svah se nachází v katastrálním území obce Vratislávka v severní části Jihomoravského kraje (*obr. 1*). Jedná se o zemědělsky využívaný pozemek obdélníkového tvaru shora ohraničený místní asfaltovou komunikací a ve spodní části remízkem s korytem a břehy Kozlího potoka. Dominantním půdním typem jsou kambizemě [17]. Celková plocha svahu zasaženého erozí je 9,5 ha a sklon se pohybuje v rozmezí 3–7°, tj. kategorie mírný sklon. Míru eroze umocňuje faktor nepřerušené délky svahu, na zemědělském pozemku není aplikováno žádné protierozní opatření. Nadmořská výška pozemku se pohybuje v intervalu 495–523 m n. m. Přibližně polovina svahu je dle monitoringu VÚMOP zařazena mezi mírně erozně ohrožené půdy [17].



Obr. 2. Denní srážkové úhrny a lokalizace monitorovaného svahu
Fig. 2. Daily rainfall totals and localisation of the monitored slope

Spouštěčem hodnocené rýhové eroze byly opakované přívalové srážky ze 7., 13. a 14. června 2020 (*obr. 2*), kdy dle dat Českého hydrometeorologického ústavu na monitorovaný zemědělský pozemek spadlo v průběhu 24 hodin 42 mm srážek (7. června), 9 mm srážek (13. června), respektive 57 mm srážek (14. června). První a druhá srážková epizoda nasytila půdu vodou a narušila soudržnost a integritu svrchní vrstvy půdního horizontu. Přívalová srážka ze dne 14. června pak spadla na částečně rozrušenou půdní strukturu s výrazně sníženou infiltrační schopností. Původně plošný odtok se postupně soustředil do půdních zářezů, které se ve střední části svahu spojily a vytvořily znatelné erozní rýhy (*obr. 3*). Orná půda na monitorovaném svahu byla v době nástupu příčinných srážek bez vegetačního krytu, což vedlo k akceleraci eroze. V době měření zemědělský pozemek pokrýval výdrol. Okolní svahy kryté vegetací byly bez známek erozního poškození, a to i přes jejich vyšší sklonitost.

Obr. 3. Letecký snímek monitorovaného svahu
Fig. 3. Aerial image of the monitored slope

MĚŘICÍ APARATURA, SOFTWAROVÉ VYBAVENÍ

UAV systém

Hexakoptéra TAROT 690 byla navržena pro bezkontaktní sběr dat pomocí leteckého snímkování (*obr. 4*). Stroj disponuje vysokovýkonným hardwarovým vybavením, řízen může být manuálně i automaticky. Kevlarová konstrukce bezpilotního letadla je osazena kompletním letovým řídicím systémem DJI A2, který je sestaven z inerciální jednotky IMU (Inertial Measurement Unit) vybavené barometrickým senzorem pro měření výšky letu, GPS kompasem, signalizačním bluetooth modulem, napájecí jednotkou a regulátory pro ovládání motorů hexakoptéry. Na základě údajů z IMU a GPS řídicí jednotka ovládá bezpilotní letadlo a zajišťuje automatickou stabilizaci náklonu a výšky letu. Pod hexakoptéru je zavěšen gyroskopicky stabilizovaný výkyvný držák, který nese snímací zařízení – v tomto případě digitální fotoaparát SONY Alpha 6000. Fotoaparát disponuje 24 Mpx CMOS snímačem a hybridním systémem fázového ostření. Je tak schopný pořizovat snímky ve vysoké kvalitě a rozlišení i za složitých povětrnostních podmínek [18].

Trimble R2

GNSS přijímač Trimble R2 slouží ke kvalitnímu, rychlému a pohodlnému sběru přesných geoprostorových dat (*obr. 4*). Dvoufrekvenční GNSS přijímač využívá nejen signály ze všech stávajících i budovaných družicových systémů (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou atd.), ale také externí korekce různých zdrojů. Přístroj je vybaven čipem Trimble Maxwell 6 s 220 kanály pro maximální výkon, spolehlivost a přesnost měření v reálném čase. Měřicí souprava využívá korekce

z tradičních RTK a VRS sítí a umožňuje sběr geoprostorových dat s centimetrovou přesností v horizontálním i vertikálním směru. Odolná konstrukce přijímače dovoluje práci v nejnáročnějších podmínkách a díky technologii Floodlight i v částečně zastíněném prostředí. Kompaktní hardwarové vybavení je doplněno sofistikovaným softwarem Trimble ACCESS [19].

Agisoft PhotoScan Professional

Pro zpracování získaných leteckých snímků byl využit profesionální software Agisoft PhotoScan Professional. Jedná se o samostatný fotogrammetrický software určený k automatickému generování bodových mračen, polygonálních modelů, georeferencovaných ortofotomap a digitálních a výškových modelů ve vysokém rozlišení. Software využívá moderní technologie a metody digitální fotogrammetrie k rekonstrukci snímaných 3D povrchů na podkladě získaných fotografií. Dílčí i konečný výsledek analýz a výpočtů lze v různých formátech vyexportovat pro další zpracování v geografických informačních systémech (GIS) [13].

ESRI ArcGIS

Pro detailní analýzu snímaného území a vytvořeného 3D modelu povrchu byl použit geografický informační systém ESRI ArcGIS určený pro práci s prostorovými daty. V rozhraní ArcMap je možné geodata podrobně analyzovat, editovat nebo nad nimi počítat matematické funkce [20]. Software sloužil zejména ke stanovení celkového objemu erozních rýh a vizualizaci erozního poškození monitorovaného svahu.

Obr. 4. Měřicí aparatura použitá pro snímkování monitorovaného svahu – UAV a GNSS přijímač Trimble R2

Fig. 4. Measuring devices used for capturing the monitored slope – UAV and Trimble R2 GNSS receiver

TERÉNNÍ MĚŘENÍ A POUŽITÉ METODY

Vlastní zaměření erozní situace proběhlo 23. června 2020 v příznivých povětrnostních podmínkách. V lokalitě převládala polojasná obloha, bezvětří a teploty mezi 23–26 °C. Tyto podmínky byly pro práci s bezpilotním letadlem ideální, polojasná obloha přispěla ke kvalitě získaných fotografií a díky bezvětří v kombinaci s teplotou byla maximalizována doba letu stroje.

Po prvotním terénním průzkumu monitorovaného svahu byla ve vztahu k předpokládanému letovému času (čtyři plně nabité LiPo akumulátory) stanovena výška letu na 25 m nad terénem. Takto zvolená letová hladina umožnila zaměřit přibližně třetinu zasaženého území při vysoké kvalitě a přesnosti získaných dat. Pro zaměření celého svahu při dostatečném překryvu jednotlivých snímků by letová výška musela být více než dvojnásobná. Pořízené snímky by měly nižší rozlišení, a to by vedlo k shlazení terénu, problémové identifikaci terénních hran a zlomů – došlo by ke snížení korektnosti výsledného digitálního modelu povrchu.

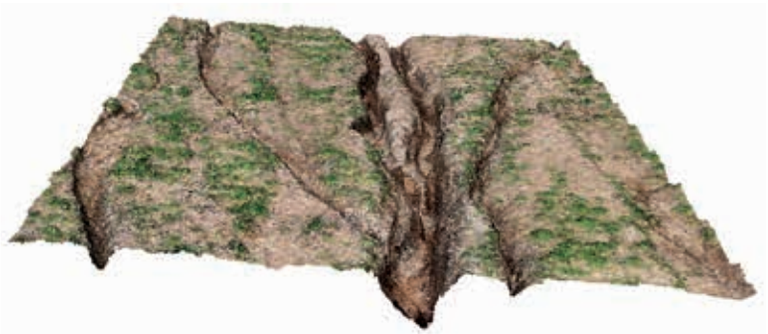
Před samotným vzletem bezpilotního letadla bylo nutné vybavit monitorované území pozemními kontrolními body (GCP – Ground Control Points). Pomocí zařízení Trimble R2 bylo zaměřeno 32 GCP, pro které byly získány přesné X, Y, Z souřadnice, kde Z je nadmořská výška ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv). Polohopisná a výškopisná datová sada byla v dalších krocích využita k určení geometrie a georeferencování digitálního modelu povrchu a efektivnějšímu spojení pořízených snímků.

V prostoru zasaženého svahu bylo mimo náhodně rozmístěných GCP zaměřeno dalších 90 pozemních bodů nevstupujících do výpočtu digitálního modelu povrchu. X, Y, Z souřadnice pro tyto body byly získány ve třech liniích (v horní, střední a dolní části svahu), kolmých na erozní rýhy. Cílem bylo vytvořit kontrolní řez terénem pro následné porovnání charakteristik erozních rýh a DMP a určení odchylek nadmořské výšky pro jednotlivé body. Zaměření bodů proběhlo s využitím zařízení Trimble R2 a měřicího pásma v cca dvaceticentimetrovém kroku s větší hustotou uvnitř erozních zářezů. Celková délka každého jednotlivého řezu terénem se rovnala pěti metrům.

Bezkontaktní sběr dat pomocí bezpilotního systému proběhl na principu snímkování erozí poškozeného svahu z předem určené letové hladiny. Aby bylo možné jednotlivé snímky bez problémů spojit a následně vytvořit kompletní DMP, při pořizování fotografií bylo nutné dosáhnout 60–80% překryvu. Na základě výšky letu, potřebného překryvu fotografií a požadované kvality snímků byla určena rychlost pohybu hexakoptéry TAROT 690 a frekvence záznamu povrchu pomocí digitálního fotoaparátu SONY Alpha 6000 připevněného k bezpilotnímu letadlu. Operátor pomocí pozemní ovládací stanice udržoval rychlost letu hexakoptéry v rozmezí 2,5–3,0 m/s a frekvenci fotografování 20 snímků/min. Pro záznam cca 2,6 ha poškozeného pozemku bylo pořízeno 1756 fotografií za využití čtyř plně nabitých LiPo akumulátorů, celkový letový čas byl přibližně 47 minut.

Zpracování dat

V terénu získaná data v podobě leteckých snímků a zaměřených GCP byla v několika krocích zpracována v softwarovém prostředí Agisoft PhotoScan Professional. Specializovaný software dokáže metodou Structure from Motion spojit jednotlivé fotografie na základě identifikace společných bodů na překrývajících se snímcích [13]. Výsledkem je řídké bodové mračno a informace o poloze, směru a náklonu fotoaparátu v momentě vzniku fotografie. V dalším kroku jsou pro následné georeferencování modelu lokalizovány GCP se zaměřenými geografickými souřadnicemi. Na základě vypočtených a vložených údajů je vytvořeno husté bodové mračno, které po zvolení souřadnicového systému, v tomto případě S-JTSK Křovák East North, umožňuje tvorbu digitálního modelu povrchu a georeferencované ortofotomapy monitorovaného území. Získaná data je možné v různých formátech exportovat a využít pro další zpracování v geografických informačních softwarech (*obr. 5*).



Obr. 5. Ukázka detailu erozní rýhy v softwaru Agisoft PhotoScan Professional
Fig. 5. Sample of the erosion rill detail in Agisoft PhotoScan Professional software

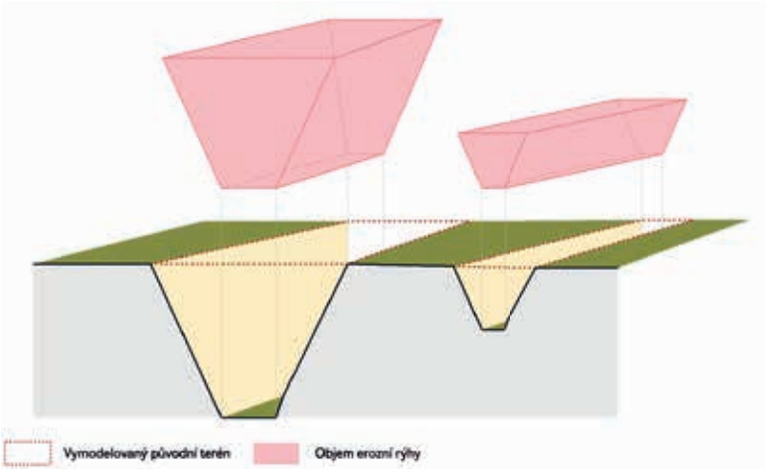
Základním vstupem pro stanovení objemu výmolové eroze je digitální model terénu (DMT). Rozlišení modelu přímo ovlivňuje výsledný objem, proto je nutné použít co nejpodrobnější data. Pro určení míry eroze byla z programu Agisoft PhotoScan Professional vyexportována geodatabáze s bodovou třídou prvků popisující polohopisné a výškopisné určení hustého bodového mračna v souřadnicovém systému S-JTSK Křovák East North a výškovém systému Balt po vyrovnání (Bpv). Geodata reprezentující monitorované území byla nahrána do prostředí ESRI ArcGIS, kde byla na jejich základě vytvořena nepravidelná trojúhelníková síť (TIN – Trianguled Irregular Network). Vygenerovaný TIN byl následně převeden na rastrový formát o velikosti pixelu 0,5 cm. Tím vznikl velmi podrobný digitální model povrchu se záznamem rýhové eroze odpovídající času měření.

Stanovení objemu erozních rýh

Pro samotný výpočet objemu erozních rýh bylo nutné vymodelovat co nejpřesnější teoretický průběh terénu před nástupem eroze. Ke konstrukci původního terénu byl využit vytvořený detailní 3D model poškozeného svahu v kombinaci s georeferencovanou ortofotomapou ve vysokém rozlišení. Nad zmíněnými datovými zdroji byla manuálně identifikována místa nezasažená erozí, sedimentací a nekrytá vegetací. Vzniklo mračno diskrétních bodů, kterému byly z podkladového digitálního modelu povrchu definovány údaje o nadmořské výšce s využitím funkce Extract Values to Points. Ze 4 762 nově vzniklých diskrétních bodů byla vytvořena nepravidelná trojúhelníková síť reprezentující původní povrch půdy před nástupem eroze. Aby ho bylo možné lépe porovnávat a provádět matematické operace, byl podklad TIN na rastr o stejné velikosti pixelu jako DMP zaznamenané eroze. Odfiltrováním nadprahových hodnot byl původní DMP očištěn o vegetační kryt – vznikl DMT. Rozdílovou analýzou rastru DMT eroze a DMT teoretického původního povrchu vznikla rastrová vrstva znázorňující rozsah a hloubku erozních zářezů v absolutních hodnotách. Objem erodovaného materiálu na monitorovaném pozemku byl pak odvozen jako násobek plochy a průměrné hodnoty rozdílového rastru vypočtené pomocí zonální statistiky (*obr. 6*).

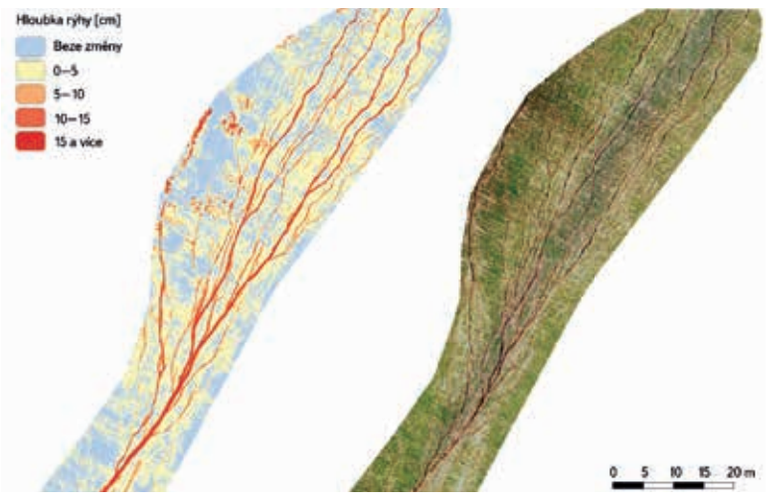
VÝSLEDKY

Na základě rozdílové analýzy zaměřeného DMT a vytvořeného teoretického původního povrchu byl pro monitorovaný svah stanoven objem eroze na 4 274 m^3. V erozních rýhách a výrazných zářezech došlo při přepočtu na celou plochu pozemku ke smyvu půdního horizontu o průměrné výšce 4,5 cm. Hloubka nejvýraznějších erozních rýh přesahovala 85 cm při šířce téměř 110 cm. Pro váhové vyjádření odneseného materiálu byla použita objemová hmotnost suché půdy, kterou pro svrchní vrstvu půdy Honzík a kol. uvádí v rozmezí 1,2–1,5 t/m^3 [21].



Obr. 6. Schéma výpočtu objemu erozní rýhy
Fig. 6. Scheme of the calculation of the erosion rill volume

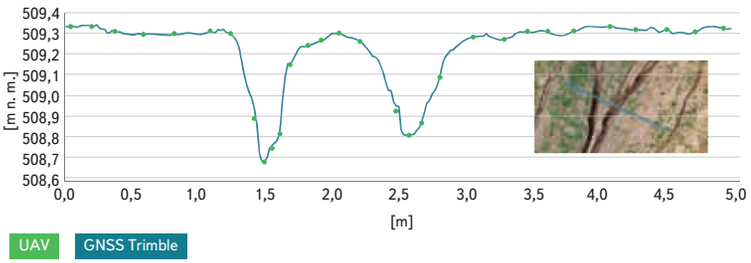
Při zvolené objemové hmotnosti na horní hranici zmíněného intervalu se odnos materiálu ze zemědělského pozemku rovná 675 t/ha. V České republice je přípustná ztráta půdy pro středně hluboké (30–60 cm) a hluboké půdy (nad 60 cm) stanovena na 4 t/ha/rok [6]. V průběhu jednoho týdne tak přívalové srážky způsobily na monitorovaném svahu 169krát vyšší odnos materiálu, než je stanovená přípustná ztráta. Ortofotosnímek a vizualizace průběhu erozních rýh ve vybrané části svahu jsou znázorněny na *obr. 7.*



Obr. 7. Vizualizace hloubek erozních rýh ve vybrané části poškozeného svahu (vlevo), ortofotomapa stejné části svahu (vpravo)
Fig. 7. Visualization of the depths of the erosion rills in a selected part of the damaged slope (on the left); ortophotomap of the same part of the slope (on the right)

Z výše uvedeného je patrné, že zemědělský pozemek byl vystaven devastujícím erozním účinkům a byla trvale poškozena úrodnost zasaženého půdního horizontu. Vlastní eroze byla navíc zesílena chybějícím vegetačním krytem v době příchodu přívalových srážek.

Pro verifikaci vytvořeného digitálního modelu povrchu bylo v terénu nezávisle zaměřeno 90 pozemních bodů. Tyto body umístěné ve formě tří příčných profilů sloužily k analýze výškové přesnosti 3D modelu a nevstupovaly do výpočtu DMP. Průběh terénu vymodelovaný metodami digitální fotogrammetrie s vyznačenými, nezávisle zaměřenými body a ortofotosnímkem vybraného příčného profilu ukazuje *obr. 8.*



Obr. 8. Průběh terénu vymodelovaný metodami digitální fotogrammetrie (UAV) s vyznačenými, nezávisle zaměřenými body (GNSS Trimble) a ortofotosnímkem vybraného příčného profilu

Fig. 8. Terrain course created by digital photogrammetry methods (UAV) with marked independently captured points (Trimble GNSS) and ortophotograph of a selected cross section

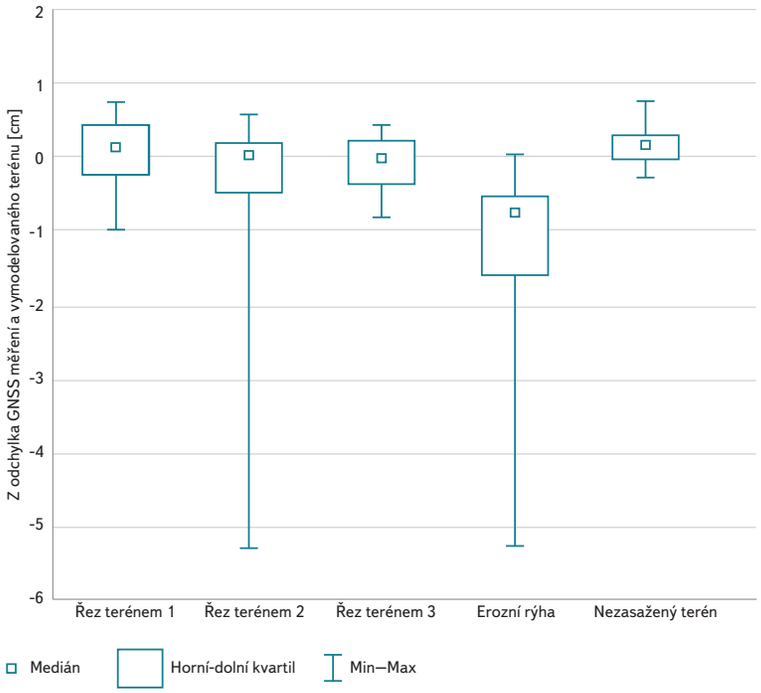
Získaná data byla importována do pracovního prostředí ESRI ArcGIS, v němž byly vypočteny odchylky hodnot nadmořských výšek pro vymodelovaný terén a zaměřené body. Výsledky jsou pro přehlednost vyobrazeny ve formě krabicového grafu na *obr. 9.* V něm jsou zaměřené body rozděleny do jednotlivých řezů terénem a dále pak dle umístění bodu uvnitř/vně erozní rýhy.

Medián, horní a dolní kvartil odchylek nadmořských výšek se v zaměřených řezech pohyboval v těsné blízkosti nuly. Minimální a maximální hodnoty odchylek pak v řádech desetin centimetru. Výjimkou byl jeden zaměřený bod v blízkosti kolmé stěny velmi hlubokého erozního zářezu. Zde může měření ovlivňovat zastínění při snímkování a možná tendence shlazovat vymodelovaný terén v místech s nižší hustotou pokrytí daty.

Zaměřené body uvnitř erozních zářezů ukazují spíše na nadhodnocování nadmořské výšky vymodelovaného terénu. Body získané GNSS měřením uvnitř erozních rýh mají odchylku hodnot mediánu, horního a dolního kvartilu v blízkosti úrovně -1 cm. Odchylky nadmořské výšky zaměřených bodů v erozí nezasažené ploše jsou oproti vymodelovanému terénu minimální a pohybují se v mírně kladných číslech.

Příčné profily i krabicový graf ukazují silnou korelaci mezi terénem vymodelovaným metodami digitální fotogrammetrie a body zaměřenými pomocí GNSS přijímače Trimble R2. Zjištěné odchylky nadmořských výšek se u většiny bodů pohybují v prvních desetinách centimetru. Výraznější rozdíly v nadmořských výškách jsou patrné pouze u bodů lokalizovaných do erozních zářezů. Zde vymodelovaný terén ukazuje vyšší nadmořské výšky, a může tak podhodnocovat celkovou míru erodovaného materiálu. Nejvyšší hodnoty odchylek byly zaznamenány v blízkosti kolmých stěn erozních zářezů – 3D model terénu má tendenci shlazovat kolmé stěny erozních rýh. V případě hlubokých erozních zářezů se záporné odchylky hodnot zaměřených bodů pohybovaly okolo -2 cm, v jednom případě záporná odchylka překročila -5 cm. Na podhodnocování objemu eroze a shlazování kolmých stěn erozních rýh u fotogrammetrických metod ve své práci upozorňuje i Glendell a kol. [22]. Těsnost zaměřených bodů a vymodelovaného terénu je vzhledem k velikosti zaznamenané plochy velmi vysoká. 3D model terénu lze označit za reprezentativní a stanovený objem odneseného materiálu se dá považovat za odpovídající realitě, případně lehce podhodnocený.

Přímo v terénu bylo vizuálně patrné ukládání erodovaného materiálu při patě svahu a v údolnici a korytě Kozlího potoka, odkud bude postupně unášen níže po toku. Ve střednědobém časovém horizontu bude erodovaná zemina sedimentovat v soustavě malých vodních nádrží (MVN) na Kozlím potoku v katastru obce Ždárec (soustava MVN je od monitorovaného svahu vzdálena necelý jeden kilometr). Zanášení vodních nádrží je možné označit za další z negativních důsledků eroze způsobené kombinací nesprávného využívání území a příčinných přívalových srážek.



Obr. 9. Krabicový graf Z odchylek GNSS měření a 3D modelu terénu získaného metodami digitální fotogrammetrie

Fig. 9. Box plot from the deviations of GNSS measurement and 3D terrain model obtained by digital photogrammetry methods

DISKUZE

Pro rekonstrukci reálného digitálního modelu terénu sloužícího k dalším analýzám je zcela zásadní získat co nejpřesnější geodata v maximálním rozsahu a hustotě pokrývající monitorované území. Chyby mohou vznikat při práci v terénu i při následném zpracování dat (postprocessing). Při sběru dat s využitím bezpilotního letadla je nutné dbát na pečlivé zaměření GCP, dostatečný překryv pořízených snímků a vhodně zvolenou letovou hladinu. Vyšší letová výška zpravidla snižuje rozlišení a korektnost konečného výsledku [23]. S nižší letovou výškou je zachyceno více terénních detailů, naproti tomu klesá rozloha zaznamenaného území a zvyšuje se časová náročnost. Stanovená hodnota objemu odneseného materiálu je ovlivněna také kvalitou rekonstrukce stavu původního povrchu před erozní událostí. Zde mohou vznikat chyby v nesprávné lokalizaci bodů do erozních prohlubní, sedimentačních lavic nebo jinak změněných původních částí svahu. V potaz je nutné vzít i zanedbání plošné eroze. Stanovený objem erodovaného materiálu je tedy spíše mírně podhodnoceným odhadem než definitivním určením skutečnosti.

Skokový vývoj v technologiích bezpilotních leteckých systémů v kombinaci se snižováním jejich finanční náročnosti vede k rychlejšímu, přesnějšímu a bezpečnějšímu sběru dat. V současné době existují UAV vybavené RTK (z anglického Real-Time Kinematic) systémem a vysoce precizními GNSS moduly pro satelitní pozicování. Takto vybavený stroj dokáže snímat velmi přesná RTK data a sledovat a mapovat trajektorii letu dronu s centimetrovou přesností. Ke každému pořízenému snímku jsou k dispozici přesná metadata, která usnadňují následné zpracování a zvyšují korektnost konečného výsledku. Odpadá nutnost použití GCP a snižuje se časová náročnost práce v terénu i možná chybovost výsledného digitálního modelu povrchu. Pořizovací cena UAV strojů vybavených RTK modulem a redundantním GNSS systémem se pohybuje okolo 200 tisíc Kč a v konečném důsledku takto vybavené drony zefektivňují práci v terénu a zpřesňují a zrychlují i následný postprocessing nasbíraných dat [24].

ZÁVĚR

Provedená monitorovací mise je součástí dlouhodobého sledování erozních událostí a dalších následků přívalových srážek brněnskou pobočkou VÚV TGM s cílem získat datovou základnu pro detailní analýzy příčin a důsledků spojených s přívalovými srážkami. Primárním cílem mapování erozního poškození bylo stanovení co nejpřesnějšího odhadu objemu eroze s využitím bezkontaktních metod měření. Dalším cílem bylo ověření korektnosti 3D modelu konstruovaného pomocí leteckého snímkování a metod Structure from Motion v porovnání s nezávisle zaměřenými kontrolními body.

Získaná data ukazují výraznou korelaci, odchylka naměřených nadmořských výšek se pohybuje v řádech desetin centimetru. Potvrzená vysoká přesnost bezkontaktních metod při modelování terénu je předurčuje k širšímu využití nejen v oblasti hodnocení erozních situací. Při vhodně zvolené letové hladině je dosaženo vysoké hustoty pokrytí daty, a tím je minimalizován následný vliv interpolace do spojitého digitálního modelu terénu. Další výhodou je vysoká operabilita bezpilotních letadel. Za nevýhody lze označit silnou závislost UAV na povětrnostních podmínkách, subjektivitu při stanovení původního terénu před přívalovou srážkou a možné shlazování kolmých stěn erozních zářezů, čímž dochází k podhodnocování skutečného objemu erozního odnosu.

Data nasbíraná UAV systémem a zpracovaná metodami digitální fotogrammetrie poskytují vysoce kvalitní zdroj informací využitelný nejen v geografických informačních systémech. Popsané postupy odhadu míry eroze jsou jednou z možností využití takto získaných geodat. Představené postupy lze označit za efektivní a výsledné hodnoty objemu eroze za reálné.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu CZ.07.1.02/0.0/0.0/16_040/0000382 „Rekreační potenciál vody v Praze – stav a výhledy" řešeného v rámci operačního programu Praha – pól růstu.

Literatura

[1] KRÁSA, J. *Empirické modely vodní eroze v ČR*. Praha: ČVUT, 2010, 159 s.

[2] NOVOTNÝ, I. a kol. *Příručka ochrany proti vodní erozi*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2014, 73 s. ISBN 978-80-87361-33-7.

[3] VOPRAVIL, J., KHEL, T., HAVELKOVÁ, L., BATYSTA, M. *Studie zabývající se základní problematikou eroze půdy a jejím současným stavem v Ústeckém a Jihomoravském kraji České republiky*. Praha: SOWAC, 2013, 51 s.

[4] LAL, R. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 2001, 12, p. 519–539

[5] BORRELLI, P., MÄRKER, M., PANAGOS, P., SCHÜTT, B. Modeling soil erosion and river sediment yield for an intermountain drainage basin of the Central Apennines. *Catena*, 2014, 114, p. 45–58

[6] JANEČEK, M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, 2012, 108 s. ISBN 978-80-87415-42-9.

[7] WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. *Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide Book to Conservation Planning*. Washington: US. Dept. of Agriculture. Agr. Handbook, 1978, 537, 58 p.

[8] VAN OOST, K., GOVERS, G., DESMET, P. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*, 2000, 15, p. 577–589

[9] MERRITT, W. S., LETCHER, R. A., JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, 2003, 18, p. 761–799

[10] PANAGOS, P., IMESON, A., MEUSBURGER, K., BORRELLI, P., POESEN, J., ALEWELL, CH. Soil Conservation in Europe: Wish or Reality? *Land Degradation and Development*, 2016, 27, p. 1547–1551

[11] SOBOTKOVÁ, V. *Volumetrická kvantifikace projevů vodní eroze a jejich vliv na komplex vybraných půdních charakteristik*. Disertační práce. Brno, 2012, 121 s.

[12] ŽÍŽALA, D., KRÁSA, J., BÁČOVÁ, M., ZELENKOVÁ, K., LABURDA, T., NOVOTNÝ, I. *Monitoring erozního poškození půd v ČR nástroji dálkového průzkumu Země*. Praha: VÚMOP, 2016, 156 s. ISBN: 978-80-87361-63-4.

[13] AGISOFT. *About*. [on-line]. [citováno: 11. 1. 2021]. Dostupné z: http://www.agisoft.com/

[14] SMITH, M. W., VERICAT, D. From experimental plots to experimental landscapes: topography, erosion and deposition in sub-humid badlands from Structure-from-Motion photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2015, 40, p. 1656–1671

[15] CAROLLO, F. G., SI STEFANO, C., FERRO, V., PAMPALONE, V. Measuring rill erosion at plot scale by a drone-based technology. *Hydrological Processes*, 2015, 29, p. 3802–3811

[16] PETER, K. D., D'OLEIRE-OLTMANNS, S., RIES, J. B., MARZOLFF, I., AIT HSSAINE, A. Soil erosion in gully catchments affected by land-levelling measures in the Souss Basin, Morocco, analysed by rainfall simulation and UAV remote sensing data. *Catena*, 2014, 113, p. 24–40

[17] VÚMOP. *eKatalog BPEJ*. [on-line]. [citováno: 18. 1. 2021]. Dostupné z: https://bpej.vumop.cz/

[18] SONY. *Sony a6000*. [on-line] [citováno: 3. 2. 2021]. Dostupné z: https://www.sony.com/electronics/interchangeable-lens-cameras/ilce-6000-body-kit

[19] TRIMBLE. *Geospatial*. [on-line] [citováno: 3. 2. 2021]. Dostupné z: https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-r2

[20] ESRI. *ArcGIS*. [on-line]. [citováno: 23. 1. 2021]. Dostupné z: https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview

[21] HONZÍK, R., USŤAK, S., VACH, M. Hydropedologické parametry a objemová hmotnost půd u variant dlouhodobých pokusů s rozdílnými způsoby zpracování. *AgritechScience*, 2016, 10, s. 1–7. ISSN 1802-8942.

[22] GLENDELL, M. et al. Testing the utility of structure from motion photogrammetry reconstructions using small unmanned aerial vehicles and ground photography to estimate the extent of upland soil erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2017, 42, p. 1860–1871

[23] SMITH, M. W., CARRIVICK, J. L., QUINCEY, D. J. Structure from motion photogrammetry in physical geography. *Progress in Physical Geography*, 2015, 40, p. 247–275

[24] DJI. Phantom 4 RTK. [on-line]. [citováno: 3. 2. 2021]. Dostupné z: https://www.dji.com/cz/phantom-4-rtk?site=brandsite&from=nav

Autoři

Mgr. Radek Bachan
✉ radek.bachan@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-9982-3132

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.03.004

QUANTIFICATION OF RILL EROSION USING CONTACTLESS METHODS

BACHAN, R.

T. G. Masaryk Water Research Institute

Keywords: contactless mapping — unmanned aerial system — erosion quantification — aerial photogrammetry — water erosion — torrential rainfall

In line with the rapid development of geoinformation and communication technologies, new possibilities are emerging for mapping and quantifying erosional processes caused by torrential rainfall. The quality, density and scope of input data are important to obtaining relevant results. The fast and relatively inexpensive collection of accurate geodata is enabled by unmanned aerial vehicles (UAV). The aerial images captured can be used to reconstruct the terrain morphology corresponding to the time of measurement using digital photogrammetry methods. The selected location affected by significant rill erosion was scanned in the monitoring campaign by an unmanned aerial system consisting of a TAROT 690 hexacopter and Sony Alpha 6000 camera. For subsequent topographical and altitudinal determination of the digital surface model (DSM), ground control points (GCP) were captured by a Trimble R2 GNSS rover. The total volume of eroded soil was set at 4 274 m^3. The deviations of the control points ranged in the first units of centimeters. The article describes the preparation and work in the field, contactless mapping of the area of interest, processing of the acquired data and the resulting calculation and quantification volume of the material carried away from the agricultural parcel damaged by the erosion.

Foto: 123rf.com

Autoři VTEI

Mgr. Radek Bachan

VÚV TGM, v. v. i., pobočka Brno

✉ radek.bachan@vuv.cz
www.vuv.cz

Zaměstnancem oddělení hospodaření s vodou ve VÚV TGM, v. v. i., od roku 2014. V roce 2015 ukončil magisterský obor Fyzická geografie na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně. Podílí se na řešení projektů, např. „Rekreační potenciál vody v Praze – stav a výhledy", „Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v ČR", „Závlahy – znovuobjevované dědictví, jejich dokumentace a popularizace".

Mgr. David Honek, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ david.honek@vuv.cz
www.vuv.cz

Mgr. David Honek, Ph.D., absolvoval studium geografie na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně a v roce 2020 mu byl udělen doktorský titul z fyzické geografie. V rámci svého studia se zaměřil na modelování erozních a sedimentačních procesů v malých povodích v Česku a na Slovensku. Od roku 2018 pracuje ve VÚV TGM, v. v. i. Zde se zaměřuje na celou řadu oblastí vodního hospodářství. Hlavními tématy jsou hodnocení vodohospodářských objektů pro potřeby památkové péče a hodnocení srážkoodtokových procesů s důrazem na eroze. Pro potřeby řešení těchto témat se podílí na správě měřicí sítě (srážky a vodní stavy) v rámci pobočky Brno, splaveninové analýze, zpracování a vyhodnocení dat, věnuje se GIS analýzám a tvorbě mapových a dalších výstupů. Součástí pracovní náplně je také prezentace hlavních výsledků práce v odborných periodicích a na odborných fórech, včetně prezentace práce na vysokých školách, kde částečně participuje i na výuce.

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ ladislav.kasparek@vuv.cz
www.vuv.cz

Ing. Ladislav Kašpárek v oboru hydrologie působil od roku 1968 v ČHMÚ. Zaměřoval se zejména na odbornou práci v oblasti vývoje metod hodnocení hydrologických jevů, včetně těch extrémních, a na vývoj hydrologických bilančních modelů. Od roku 1987 pracuje ve VÚV TGM. V posledních letech řešil zejména projekty zadané podniky Povodí a dalšími uživateli hydrologických dat a zabývá se možností využití historických srážkoměrných a vodoměrných pozorování.

Ing. Radovan Tyl, Ph.D.

Český hydrometeorologický ústav

✉ radovan.tyl@chmi.cz
www.chmi.cz

Ing. Radovan Tyl, Ph.D., absolvoval stavební fakultu Českého vysokého učení technického v Praze v oboru Inženýrství životního prostředí a doktorské studium v oboru Vodní hospodářství a vodní stavby, které ukončil v roce 2012. Od roku 2004 pracuje v Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ) na oddělení povrchových vod jako hydrolog. Hlavní pracovní náplní je srážkoodtokové modelování malých povodí a správa a analýza prostorových dat v GIS. V rámci své práce je také zapojen do řešení několika grantových projektů se zaměřením na aplikovanou hydrologii (například „Vliv malých vodních nádrží na hladinu podzemních vod a celkovou hydrologickou bilanci s důrazem na suchá období"), kromě toho je hlavním řešitelem dílčí části dlouhodobé koncepce rozvoje výzkumné organizace ČHMÚ zabývající se aktualizací rozvodnic základních ploch povodí s využitím digitálního modelu reliéfu 5. generace.

Ing. Adam Vizina, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ adam.vizina@vuv.cz
www.vuv.cz

Zaměstnancem oddělení hydrologie ve VÚV TGM, v. v. i., od roku 2007. V roce 2014 ukončil doktorský studijní program Environmentální modelování na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze. Zabývá se hodnocením hydrologické bilance pro současné a výhledové podmínky, hodnocením hydrologických extrémů a hydrologickým modelováním. Je hlavním řešitelem několika výzkumných i soukromých projektů.

Rozhovor s Ing. Zbyňkem Folkem, generálním ředitelem státního podniku Povodí Ohře

Generálním ředitelem státního podniku Povodí Ohře jste se stal v květnu 2019. Po vašem nástupu do funkce v něm došlo k řadě změn. Které z nich byste označil za největší a jaké cíle si kladete do dalších let?

Státní podnik Povodí Ohře jsem přebral v uspokojivém stavu, odborná úroveň zaměstnanců ve všech oblastech je dobrá, zejména co se týče vodohospodářské problematiky, podnik disponuje lidmi na velmi vysoké odborné úrovni. Mohu s klidným svědomím tvrdit, že jsou to „tělem i duší" praví vodohospodáři.

V podniku ale nepanovala ta nejlepší nálada, pokulhávala zejména vnitřní komunikace, důvěra a na to navázané mezilidské vztahy. V této oblasti se, myslím, podařilo udělat významný krok kupředu. Celkově mám za to, že zaměstnanci cítí od vedení větší oporu a chodí do práce s pozitivnější náladou, přestože jsou aktuálně výrazně omezováni z důvodu koronavirové pandemie.

Podnik prošel výraznou organizační proměnou, kterou jsem dlouhodobě připravoval. Hlavním cílem bylo posílení nejen vnitřní, ale především vnější komunikace a propagace podniku zejména v souvislosti s přípravou a následnou realizací strategických investic. Výrazně patrné je to hlavně na úspěšné propagaci vodního díla Kryry, podívejte se na naše webové stránky (*www.poh.cz*). Již zmíněnou úpravu uspořádání odborných úseků jsem několikrát vyhodnocoval na základě vnitřních jednání, kde jsme postupně analyzovali všechny dopady změn.

Úkolů, které nás čekají v příštích letech, je mnoho, myslím, že k těm nejvýznamnějším se v našem rozhovoru jistě dostaneme.

Letos v lednu jste odstartovali projekt „Informační seriál o vodě H2O". Co od něj očekáváte?

Název „Informační seriál o vodě H2O" vznikl na základě pracovní verze připravovaného projektu v loňském roce a ujal se natolik, že jsme jej použili s drobnou úpravou i pro finální veřejné prezentování. A o co jde? Jedná se o týdenní seriál, který je tvořen obrázkovými spoty s komentářem, ty poukazují na základní vodohospodářská fakta vztahující se k vodnímu hospodářství. Dlouhodobě se snažíme přiblížit veřejnosti odbornou podstatu činnosti státního podniku Povodí Ohře. Laická veřejnost má „zakódovanou" schopnost stát se odborníkem na právě aktuální téma. Každý je hned biatlonistou, kuchařem, silničářem a poslední dobou i imunologem. Při povodních nebo suchu se z něj stává i odborník na vodní hospodářství. Tímto seriálem chceme přiblížit vodohospodářské téma veřejnosti, aby si udělala alespoň dílčí představu o šíři našeho oboru.

Připravujeme přibližně čtrnáct dílů tohoto seriálu a chceme v nich jednoduchou formou představit neodborné, ale zvídavé veřejnosti informace o stavu našich vod i vodního hospodářství jako jedné z důležitých složek životního prostředí. Kolegové z odborných pracovišť připravili jednoduché, graficky zpracované pohledy na základní faktory ovlivňující hydrologii, představili funkce našich nádrží a vysvětlili jejich význam. Protože velká část naší činnosti se zaměřuje na zlepšení kvality vody ve vodních tocích, začlenili jsme do seriálu také zajímavá fakta z této oblasti, jako jsou změny jakosti z pohledu průběhu vodního toku, z historického pohledu nebo z pohledu ročního cyklu.

Státní podnik Povodí Ohře pořádá pro veřejnost řadu akcí (Informační centrum Fláje, Den otevřených dveří, Želenickou neckyádu a další). Prostor pro pořádání takových akcí je však díky současné koronavirové situaci velmi omezen. Máte v plánu tyto aktivity řešit náhradním způsobem?

Informační centrum Fláje nelze řadit mezi pořádané akce, nýbrž mezi dlouhodobé aktivity, kterými se snažíme být veřejnosti nablízku a předávat potřebné informace. Informační centrum zvyšuje povědomí místních obyvatel i návštěvníků o historii regionu, obcí zaniklých kvůli výstavbě vodního díla Fláje, o využití vodní energie v oblasti a o zásobování vodou ve spolupráci s přehradou Rauschenbach na německé straně státních hranic. V Informačním centru podáváme důležité informace k historii, k technickým památkám nebo k ochrannému pásmu vodního zdroje. Budova informačního centra byla postavena v místech, kudy se před více než 60 lety pohyboval po kolejích obrovský lanový jeřáb, který sloužil pro ukládání betonu do tělesa přehrady během její výstavby. Zakončení bývalé jeřábové dráhy, kde je informační centrum umístěno, se nachází nad hladinou vody v nádrži. To ještě umocňuje pocit z návštěvy již tak výjimečného místa s ojedinělou pilířovou přehradou.

Každoročně pořádáme tradiční Den otevřených dveří, v letošním roce na vodních dílech Fláje, Skalka, Březová a na jezu Terezín. Obvyklý termín je v září. Na základě vývoje epidemické situace v loňském roce doufáme, že při dodržení potřebných opatření bude možné akci uskutečnit. Den otevřených dveří má vždy velký ohlas a hezkou účast.

Povodí Ohře podporuje i další akce, z těch výraznějších uvádím například:

- Den Ohře v Kynšperku nad Ohří spojený s vodáckými závody
- Josefínské slavnosti: Terezín – město změny
- Konference Vodní toky
- Světový den vody
- Schola Humanitas – fotografická soutěž
- Vodní záchranná služba Nechranice
- Auto pomáhá – reklama na vozidle pro sociální služby
- Českojiřetínský spolek – spolupráce IC Fláje – umístění sochy sv. Jana Křtitele (patrona VD Fláje) na VD Fláje aj.

Nyní je celorepublikové omezení vlivem epidemické situace natolik významné a omezení pohybu tak razantní, že v našich podmínkách je možné využít pouze elektronickou formu. K tomu trvale využíváme našich webových stránek s aktuálními informacemi. Například tradiční akci Čištění Ohře se nám za velmi přísných podmínek podařilo společně s neziskovou organizací MAS Sokolovsko, o. p. s., v polovině dubna zorganizovat.

I když je Informační centrum Fláje uzavřeno a exkurze se nekonají, mohou návštěvníci a obdivovatelé přehrady Fláje získat informace prostřednictvím informačních tabulí v území mezi údolními nádržemi Fláje a Rauschenbach. Rovněž tak mohou využít naučnou stezku, která byla vybudována a napojena na infrastrukturu cestovního ruchu. Například na již v minulosti realizovaný projekt Flájský plavební kanál, jenž byl uskutečněn státním podnikem Lesy ČR. Pevně věříme, že Infomační centrum na hlavní turistickou sezonu opět otevřeme.

Na všech vodních dílech ve správě státního podniku Povodí Ohře jsou instalovány informační tabule, kde návštěvníci získají informace k danému vodnímu dílu. Takže ten, kdo má přehradu, jak se říká, „za humny", se může kochat krajinou a dostane se mu i základních informací o přehradě.

Území ve správě státního podniku Povodí Ohře je velmi zatíženo důlní činností. S ukončením provozu hnědouhelných elektráren se dostává ke slovu naplánovaná hydrická rekultivace důlních děl. Jaké výzvy to představuje z pohledu vodohospodáře?

Pro hydrickou rekultivaci je třeba mít k dispozici dostatečné množství vody, a to jak s ohledem na předpokládané termíny ukončování těžby hnědého uhlí, tak i s ohledem na projevy změny klimatu. Hydrická rekultivace je historicky naplánována podle souhrnných plánů sanace a rekultivace. Ty však nepracují s aktuálními podklady, což se projevilo v případě jezera Most, do něhož se po jeho prvotním zatopení musí každoročně dočerpávat zhruba jeden milion metrů krychlových vody. Zatápění zbytkových jam povrchových lomů je z vodohospodářského hlediska třeba prověřit na základě aktuálních informací o vodních zdrojích a o dopadech klimatické změny na hydrologický režim území. Z tohoto důvodu vláda uložila ministru zemědělství ve spolupráci s ministrem průmyslu a obchodu zpracovat aktualizaci vodohospodářských bilancí zbytkových jam a posoudit realizovatelnost vzniku vodohospodářské soustavy u již dokončených a plánovaných hydrických rekultivací. Státní podnik Povodí Ohře zajistil zpracování studie, která se těmito úkoly podrobně zabývala. Studie prokázala, že je reálné zatopit a bez potřeby dočerpávání vody provozovat lokality Libouš a Bílina, v menší variantě pak i lokalitu ČSA. Pro lokalitu Vršany se neprokázalo udržení předpokládané hladiny vody jako reálné. V případě lokality Libouš je hladina udržitelná za předpokladu, že bude propojena s vodní nádrží Nechranice na Ohři. Toto propojení je zároveň vodohospodářskou příležitostí, významně by totiž zvýšilo nadlepšovací a transformační účinek vodního díla Nechranice pro dolní Ohři.

Obdobnou problematikou se zaobíral státní podnik Palivový kombinát Ústí, na základě úkolu ministra průmyslu a obchodu zadal zpracování analýzy, která se zabývala provozem propojených zatopených jam, avšak s mnoha zjednodušeními.

Obě tyto vodohospodářské analýzy byly spolu s podklady z dalších oborů využity pro jednání mezirezortní pracovní skupiny. Ta navrhla vládě materiál, na jehož základě budou v loňském roce zjištěné skutečnosti dále zpřesňovány a bude prověřována realizovatelnost finálního návrhu budoucí podoby rekultivovaných území, a tím i širší krajiny.

Provozní udržitelnost lokalit ČSA a Bílina je podmíněna dobrou jakostí vody v řece Bílině. Proto státní podnik Povodí Ohře aktuálně zajišťuje formou studie problematiku ke zlepšení jakosti vody ve spolupráci se zhotovitelem studie, Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka. Studie ukáže, za jakých podmínek a zda je s ohledem na jakost voda z Bíliny využitelná pro zatápění zbytkových jam a pro jejich doplňování v následném provozním režimu. Navrhne opatření, s jejichž pomocí by bylo možné jakost vody v Bílině zlepšit, a určí minimální zůstatkové průtoky, které je třeba v jednotlivých odběrných místech s ohledem na jakost vody zachovat.

Vedle toho bude upřesňován návrh budoucí podoby zatopených zbytkových jam a jejich okolí a prověřena bude také propojitelnost lokality Libouš s vodním dílem Nechranice. Kromě vodohospodářské problematiky se toto prověřování zaměří například i na krajinářskou, majetkoprávní, ekonomickou či energetickou stránku věci.

S ukončováním těžby uhlí je spojen i tzv. Fond pro spravedlivou transformaci, jenž je součástí finančních nástrojů Evropské komise pro udržitelný rozvoj. Plánujete využít tyto finanční zdroje pro činnost státního podniku? A pokud ano, na jaké aktivity?

Prostředky Fondu pro spravedlivou transformaci budou poskytovány prostřednictvím samostatného Operačního programu Spravedlivá transformace. Půjde o zcela nový program, který se v období 2021–2027 zaměří na řešení dopadů odklonu od uhlí v nejvíce zasažených regionech – tedy v Karlovarském, Ústeckém a Moravskoslezském kraji. Cílem je zejména zajistit dostatek pracovních míst pro pracovníky, kteří odcházejí z uhelného průmyslu, i zlepšení životního prostředí.

Podpořit z něj bude možné širokou škálu opatření – od podpory malých a středních podniků nebo výzkumu a inovací přes čistou energii a energetické úspory až po rekultivace a nová využití území. Podporovat bude možné i velké podniky zařazené v systému obchodování s emisními povolenkami.

Přesné zaměření programu se připravuje a finální podobu ještě neznáme. Bude vycházet z plánu spravedlivé územní transformace, který připravuje Ministerstvo pro místní rozvoj, jeho znění však ještě nebylo schváleno. Z toho důvodu není možné přesněji uvést, které aktivity bychom mohli z připravovaného dotačního titulu řešit. Budeme se tím zabývat více, jak se budou postupně zpřesňovat dostupné informace.

V uplynulých letech jsme prošli dlouhým obdobím sucha. Jak se z vašeho pohledu toto období promítlo ve státním podniku Povodí Ohře a jaké kroky či opatření plánujete v reakci na něj? Předpokládám, že to nebude pouze plánovaná vodní nádrž Kryry.

S klimatickými změnami lze v budoucnosti očekávat větší hydrologické extrémy, tedy i výraznější projevy sucha, z něhož může vyplynout nedostatek vody. Sucho se projevuje již v současnosti, poslední roky toho byly důkazem. O suchu, jeho průběhu a možných důsledcích informujeme v případě potřeby vodoprávní úřady, na našich webových stránkách naopak informujeme veřejnost o opatřeních, kterými vodoprávní úřady v období sucha omezují nebo zakazují odběry vody.

V důsledku sucha jsme po projednání s ČEZ, příslušným vodoprávním úřadem a orgánem ochrany přírody změnili povolení k nakládání s vodami a upravili manipulační řád pro vodní dílo Všechlapy, jež zajišťuje vodu pro energetiku.

Kromě operativních opatření souvisejících se suchem se samozřejmě připravujeme na budoucí období. V loňském roce jsme zajistili zpracování generelu

možných adaptačních opatření na sucho. V současné době prověřujeme zabezpečenost dostatečné dodávky vody z našich zásobních nádrží pro časový horizont roku 2100 se zohledněním středního scénáře klimatické změny na hydrologické poměry v území.

Celkový vodohospodářský uzel v lokalitě Kryry má zajistit dostatek vody pro říční systémy, pro zásobování zemědělství (zejména závlahy chmele), pro rekreaci a na druhou stranu i pro zmírnění dopadů povodní na jeho okolí. Bude zahrnovat přivaděče vody, vodní nádrž Mukoděly, Senomaty, Šanov, stávající nádrž Vidhostice a především hlavní nádrž Kryry. Do budoucna se zmíněná vodohospodářská soustava postará o oblast Blšanky ve správním území Povodí Ohře i o oblast Rakovnicka ve správním území Povodí Vltavy. Pro dobrou funkci i kvalitní zapojení do krajiny budeme spolu s výstavbou technických prvků připravovat i přírodě blízká opatření. Ta mají zajistit renaturaci či revitalizaci krajiny, eliminaci erozních procesů, vylepšení jakosti vody a mají také pomoci lépe udržet vodu v krajině.

V roce 2011 byl schválen Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod, který vnímáme jako důležité strategické opatření pro výhledovou ochranu vodních zdrojů. Je zohledňován v návrzích politiky územního rozvoje a v územně plánovacích dokumentacích. V roce 2020 byla přijata aktualizace, v níž byly v dílčím povodí Ohře do Generelu k dosavadním šesti zařazeny tři nové lokality (Skřiváň, Stříbrný potok, Tuřany). Lokalita Mnichov, kterou považujeme pro Karlovarský kraj dlouhodobě za velmi významnou, je nadále vedena v Generelu jako území, jehož ochrana je dostatečně zabezpečena ze strany ochrany přírody.

Dlouhodobě se řeší zatížení povodí těžkými kovy, zejména rtutí. Nejcitelnější je v oblasti vodního díla Skalka. Co správa povodí plánuje pro zlepšení stavu v nadcházejících letech?

S kontaminací vodních toků Kössein, Reslava, Ohře a následně vodní nádrže Skalka rtutí se zabýváme dlouhodobě. Původním zdrojem rtuti byl již dávno sanovaný chemický závod v bavorském Marktredwitzu (1788–1985). Nynějším zdrojem jsou kontaminované sedimenty, břehy a nivní půdy v povodí říčky Kössein a řeky Reslavy. Bohužel v současnosti je dotace našeho území rtutí odhadována na 420 kg/rok.

Státní podnik Povodí Ohře se historicky snaží donutit bavorskou stranu k realizaci opatření, která by transport rtuti do České republiky omezila. V roce 2011 byl realizován mezinárodní projekt, jehož hlavním výsledkem byla lokalizace ložisek rtuti v nivách řek Kössein a Reslava. V dnešní době probíhá další mezinárodní projekt zabývající se omezením kontaminace vodních toků Kössein, Reslavy, Ohře a vodní nádrže Skalka, realizuje se v rámci dotačního titulu Operační program přeshraniční spolupráce Interreg V – Česká republika – Svobodný stát Bavorsko 2014–2020.

Česká část projektu byla ukončena v roce 2019 a jejím výstupem byla analýza rizik. Z ní vyplynulo, že současný stav vodní nádrže Skalka představuje reálné ekologické i zdravotní riziko. Týká se to například konzumace dravých, ale i nedravých ryb z nádrže, pro děti a těhotné ženy byla jako významné zdravotní riziko vyhodnocena dokonce už jejich nepravidelná konzumace. Ve středním riziku ohrožení se nacházejí vodní a příbřehové ekosystémy. Naopak náhodné požití vody nebo kontakt s povrchovou vodou rizikem není. Výsledky analýzy včetně potřeby zákazu konzumace ryb z nádrže byly v prosinci 2019 prezentovány odborné veřejnosti včetně Českého rybářského svazu a Krajské hygienické stanice.

Na bavorské straně je zpracovávána studie proveditelnosti realizace opatření a údržby vodních toků Kössein a Reslavy. Kromě výběru správných způsobů péče o koryta vodních toků by projekt na bavorské straně měl vyústit v uskutečnění několika vybraných pilotních opatření. To vše s primárním cílem snížit erozi, to jest snížit remobilizaci rtuti, a tím minimalizovat kontaminaci území České republiky.

Povodí Ohře upřednostňuje tvrdá bariérní opatření (opevnění, dlažba, balvany), neboť pouze ta mohou garantovat minimální erozi. Bavorská strana preferuje přírodě blízká inženýrsko-biologická opatření (kokosové a rákosové rohože, vrbové řízky, haťové válce, štěrk a jiné), která dle našeho názoru podporují erozi a remobilizaci rtuti. Jsme přesvědčeni, že ačkoli jsou přírodě blízká opatření v souladu s Rámcovou směrnicí o vodách, měla by být aplikována na vodních tocích nekontaminovaných těžkými kovy. V daném případě potřeba ochrany životního prostředí a zdraví před účinky rtuti převažuje nad obecným trendem přírodě blízkých úprav vodních toků. Nyní bavorští kolegové studii proveditelnosti podle našich námitek přepracovávají.

Vodní dílo Skalka funguje jako retence a větší část kontaminace je uložena v jejím vzdutí. Přesto však byly vysoké koncentrace rtuti (5,23 mg/kg) zaznamenány i v sedimentu z jezové zdrže v Kynšperku nad Ohří (asi 23 říčních km pod vodním dílem Skalka). Celkově se dá konstatovat, že kontaminantem je rtuť vázaná na plavitelný organický sediment. Povrchová voda je rtuti prostá.

Vybrané výsledky analýz matric posuzovaných v rámci analýzy rizik z roku 2019 (bez plavenin – ty sleduje a hodnotí POh, s. p., samostatně):

Matrice	Limit	Naměřené maximum
Sediment ve VD	0,8 mg/kg / 20 µg/kg*	7,72 mg/kg
Sediment Ohře pod VD	0,8 mg/kg / 20 µg/kg*	5,23 mg/kg
Bolen dravý	0,5 mg/kg / 1,0 mg/kg**	3,11 mg/kg (průměr)
Cejn	0,5 mg/kg**	0,87 mg/kg (průměr)

** limit pro využití sedimentu na zemědělské půdě / NEK – RP pro biotu v pevné matrici dle NV č. 401/2015 Sb.*

*** limity dle Nařízení Komise (ES) č. 1881/2006 – limity pro produkty rybolovu*

Nejvyšší hodnoty vnosu rtuti na české území jsou měřeny vždy během vysokých průtoků, kdy dochází vlivem eroze k odplavování materiálu z kontaminované nivy. Například 11. února 2019 byla bavorskými kolegy v Reslavě zjištěna hodnota rtuti 9,02 µg/l, což při průtoku 11 m^3/s znamenalo denní vnos rtuti na naše území ve výši 8,6 kg. Koncentraci rtuti sleduje pravidelně bavorská strana i náš podnik. Navíc odebíráme mimořádné vzorky během zvýšených průtoků.

Požadavek na tvrdá opatření byl v roce 2020 prezentován a odsouhlasen zástupci Ministerstva životního prostředí. V rámci jednání byly dohodnuty i další požadavky a diskutována byla i možnost uplatnění Minamatské úmluvy, která se však primárně zabývá jinými aspekty – zejména těžbou rtuti nebo použitím rtuti v průmyslu a výrobcích. Ministerstvu jsme sdělili náš názor, že je nutné na bavorské partnery vytvářet tlak nejen z úrovně správce povodí, ale i na mezistátní úrovni.

Následně česká strana formulovala prostřednictvím Česko-německé komise pro hraniční vody tyto požadavky vůči Bavorsku:

- realizace tvrdých bariérních opatření na Kössein a Reslavě
- upuštění od realizace inženýrsko-biologických úprav jejich koryt
- informování státního podniku Povodí Ohře o veškerých zásazích do koryt Kössein a Reslavy
- změna metodiky monitoringu jakosti vod včetně provádění odběrů za vysokých průtoků
- řešení náhrady za omezení v užívání vodního díla Skalka
- v budoucnu dořešení sanace (těžby sedimentu) Skalky na náklady Bavorska

Očekáváme další složitá a dlouhotrvající jednání s bavorskou stranou. Pevně ale věříme, že naše desetiletí trvající snaha o řešení problému kontaminace území České republiky rtutí z Bavorska najde odpovídající podporu na nejvyšší státní úrovni. Kýžený výsledek – zastavení vnosu rtuti na naše území a sanace vodního díla Skalka – za to jistě stojí.

Poslední dotaz je tak trochu pro odlehčení. Posloucháte countryrockovou kapelu Povodí Ohře?

Hudbu poslouchám víceméně jen při cestách v autě, kde ji mám jako kulisu. Většinou poslouchám Český rozhlas, hlavně kvůli pravidelnému dopravnímu zpravodajství. Tam jsem kapelu Povodí Ohře zatím nezaslechl, přestože byla nominována na cenu Vinyla v kategorii deska roku, na cenu Apollo a také na cenu Anděl. O kapele ale povědomí mám a jejich písně znám. Slyšel jsem je naživo, když nám hráli na našem pravidelném letním setkání zaměstnanců, tedy když to ještě bylo možné. Teď bohužel díky stávajícím restrikcím v souvislosti s pandemií koronaviru takováto setkání organizovat nemůžeme, ale pevně věřím, že to nebude trvat věčně.

Ing. Josef Nistler

Littering

ÚVOD

Při nakládání s odpady a údržbě veřejných ploch zainteresované strany čelí problému výskytu litteringu. Littering je popisován jako ekologický, sociální a estetický problém, ale málokdy je zmiňován i jeho ekonomický dopad. Uvědomění si rozsahu jeho vlivu je prvním důležitým krokem při vývoji strategie ke změně chování obyvatel.

S neustále rostoucím počtem populace, zvyšující se životní úrovní a změnou životního stylu roste i spotřeba zboží a služeb. Spolu s tímto jevem vzniká obrovské množství odpadu, který je vedlejším produktem každé lidské činnosti. V posledních letech – a v současné pandemické době obzvlášť – byl zaznamenán velký nárůst spotřeby jednorázových obalů, jenž úzce souvisí se zvýšeným výskytem černých skládek, respektive s počtem volně pohozených odpadků [1].

Nejčastějšími takovými odpadky jsou nejrůznější obaly spotřebního zboží, potravin a nápojů. Tento jev je zapříčiněn pohodlností a malou ochotou obyvatel řádně nakládat se vzniklým odpadem, tj. vložit ho do nejbližší sběrné nádoby, nejlépe pro tříděný odpad. Bohužel v místě výskytu „smetí" se lidé méně ostýchají pohodit další odpadky, čímž se míra znečištění zvyšuje.

S cílem omezit toto nevhodné chování lidí se správci veřejných prostranství snaží rozmístit co nejvíce odpadkových košů, často je vyprazdňovat a pravidelně uklízet problémové lokality, což stojí obce nemalé finanční prostředky, které jsou v konečném důsledku zaplaceny z kapes všech místních obyvatel [2].

Účinnost a úroveň řešení problémů s odpadem je odrazem úrovně, vyspělosti a kulturnosti společnosti, a proto je čistota otevřených prostranství v současnosti jednou z nejdůležitějších výzev, jež ovlivňují vzhled měst, obcí a veřejných míst. Nezákonně odhozený odpad, tzv. littering, se tedy dostává do popředí pozornosti.

CO JE TO LITTERING A JAKÉ JSOU PŘÍČINY JEHO VZNIKU

Littering je činnost, při níž zůstává odpad – litter – volně pohozený či ponechaný na místě, které pro něj není vyhrazeno, ať už v přírodě, nebo na veřejném prostranství [3]. Jedná se, stejně jako např. u černých skládek, o nelegální aktivitu a nelegální nakládání s odpady, což vede k významnému znečišťování životního prostředí. Tento jev úzce souvisí s činností člověka, která je jen velmi těžce kontrolovatelná a prakticky nepostižitelná. Zahraniční studie [4–10] poukazují na to, že odhazování odpadu volně po okolí není jev ojedinělý, nýbrž docela běžná činnost velké části obyvatelstva. Littering je celosvětový problém, který se vyskytuje napříč společnostmi. Jedná se o problém bez univerzálního opatření a jednoduchých řešení. Vzhledem k podstatě samotného jevu, jež tkví v chování jedinců, je velmi obtížné omezit či úplně zastavit tento způsob nakládání s odpady. Důvody jsou nemožnost a neúměrná finanční nákladnost úplné kontroly a postihu.

Rozsah litteringu je ovlivněn více faktory a závisí zejména na charakteru oblasti, v níž tento jev pozorujeme, účelu, k němuž je vymezena, nebo množství lidí, kteří se v ní pohybují. Souvisí také s typem zařízení, jež se vyskytují v okolí, a s celkovým stavem prostředí dané oblasti, který může dávat prostor k větší bezohlednosti a dalšímu šíření nepořádku.

Vzhledem k tomu, že odpad souvisí s běžnými činnostmi, jde nejčastěji o pohozené obaly od jídla z rychlého občerstvení, žvýkačky, cigaretové nedopalky, kapesníky, kelímky atd. Littering se nejčastěji vyskytuje ve větších městech se značným množstvím lidí či na turisticky atraktivních místech s vysokou frekvencí návštěvnosti turistů, zvlášť pokud jde o relaxační a odpočinkové zóny, okolí restaurací typu rychlého občerstvení a cyklistické stezky.

Obecně ve společnosti převládá přesvědčení, že za nepořádkem na veřejných prostranstvích stojí nedostatečný počet odpadkových košů nebo jejich nedostatečná kapacita. Na základě průzkumu [11] bylo ale zjištěno, že ve

Tab. 1. Srovnání hmotnostního a objemového zastoupení jednotlivých skupin odpadů v uličních koších a litteringu v Praze 1 [11]

Složka odpadů	Uliční koše Praha 1		Littering Praha 1	
	Hmotnost odpadů [%]	Objem odpadů [%]	Hmotnost odpadů [%]	Objem odpadů [%]
Papír	19,3	25,95	8,15	17,32
Plasty	22,31	35,67	10,86	27,34
Sklo	11,95	2,38	17,29	4,68
Biologicky rozložitelný odpad	10,92	4,32	42,57	44,05
Kovy	3,48	4,32	6,37	2,22
Nebezpečný odpad	3,3	0,32	1,06	0,04
Domovní odpad	17,14	21,62	0	0
Exkrementy	1,22	2,7	6,7	0,8
Tetrapack	10,36	2,7	0	0
Ostatní odpad	0	0	6,97	3,84

sledovaných oblastech Prahy byly koše naplněny průměrně jen z 66 % své kapacity, a přesto se littering vyskytoval. Volně pohozený odpad lze tedy připisovat spíše neochotě lidí donést jej na určené místo.

Důvodem litteringu není ani místní poplatek za popelnice, protože odhazování drobného odpadu vzniká při aktivitách spojených s pohybem na vnějším prostranství, čímž opět docházíme k závěru, že příčinou odhazování odpadků je pohodlí občanů, kteří nejsou ochotni odnést smetí do odpadkového koše a očekávají, že je za ně na veřejném prostranství někdo uklidí.

Littering úzce souvisí s nestandardním chováním občanů a jeho míra je určována počtem kusů pohozeného odpadu. Na základě druhu odpadků lze určit aktivity, při nichž se lidé dopouštějí odhazování litteru. Pro porovnání jsou s kapacitou nádob na odpadky sledovány také hmotnost a objem pohozeného odpadu.

Intenzita litteringu závisí na:

- druhu litteru
- demografických kritériích
- struktuře skupiny
- lokalitě
- čase

Nejčastěji jsou volně pohazovány drobné odpadky jako cigaretové nedopalky, obaly a zbytky jídla. Ty jsou v malém množství sice méně nápadné, ale pokud se ve větším množství nacházejí mimo odpadkové koše, jsou nepřehlédnutelné. Značný vliv na množství odhozených obalů má také věk lidí; častěji se tohoto chování dopouštějí mladí, svobodní lidé, kteří ve srovnání s manželskými páry odhazují odpad v mnohem větší intenzitě. Snížený zájem o veřejný pořádek mají také turisté, ti oproti rezidentům dbají na řádné odhazování odpadků do odpadkových košů mnohem méně [13, 14]. V celkovém měřítku pozitivně ovlivňuje množství litteru i přítomnost ženy v mužském kolektivu. Dále platí, že pokud jsou lidé již zvyklí na dělání nepořádku z minulosti, jen obtížně mění své návyky a je těžší přimět je ke změně chování. Zároveň lze říci, že všechny tyto faktory jsou ovlivňovány skutečností, že littering je intenzivnější tam, kde je slabý společenský tlak na udržování veřejného pořádku a kde scházejí informace o jeho následcích.

Z estetického hlediska vytváří littering nepříjemné prostředí pro stálé obyvatele dané oblasti, kteří pro ni sice nepředstavují jediný zdroj financí, ale snížení kvality místa může způsobit jejich odliv a tím negativně ovlivnit stav rozpočtu obcí a měst. Neestetické prostředí působí odpudivě zejména na turisty, pro něž se tak snižuje atraktivnost navštěvované lokality. V krajním případě mohou nepřívětivé reference v zahraničí vést až k poklesu cestovního ruchu ve znečištěné oblasti. Je tedy v zájmu každé obce s problémem volně odhozeného odpadu bojovat [15–17].

Littering je negativním jevem nejen z estetického hlediska, ale způsobuje i řadu dalších problémů, jako jsou znečištění vodních zdrojů, ucpávání odtokových systémů a ohrožení živočišných druhů.

V České republice se o litteringu příliš nemluví, třebaže se jedná o velice rozšířený problém, který se v lidské společnosti vyskytuje od samého jejího počátku. Lidé odhazovali odpad vždy, ale s rostoucí vyspělostí civilizace se začal druh odhazovaného odpadu měnit a čím dál více vyvolávat problémy v životním prostředí [18].

Tab. 2. Vazba mezi naplněností košů, jejich volnou kapacitou a množstvím pohozených odpadů [11]

Lokalita		Volně pohozený odpad – objem [%]	Odpad v odpadkových koších – objem [%]	Volná kapacita košů – objem [%]
Praha	Staroměstské náměstí	14	89	89
	Národní třída	5	95	54
	nádraží Holešovice	7	93	90
	P + R Opatov	3	97	80
	Riegrovy sady	16	84	86
Plzeň	náměstí Republiky	2	98	64
	Americká třída	1	99	64
	CAN Husova třída	1	99	67
	Borský park	4	96	68
Olomouc	Dolní náměstí	7	93	50
	ul. 28. října	2	98	33
	Bezručovy sady	3	97	66
	ČS město	6	94	65
Rýmařov	Radniční	2	98	26
Karlova Studánka	Hlavní ulice	13	87	92

JAK NA JEV LITTERINGU REAGUJE LEGISLATIVA ČESKÉ REPUBLIKY?

V České republice se termín littering příliš nepoužívá. V naší legislativě se vyskytuje označení uliční smetky, jež lze považovat za ekvivalent slova litter. Uliční smetky jsou odpady, které pocházejí z čištění veřejných prostranství, a odpady uložené do uličních košů. Ve vyhlášce č. 8/2021 Sb. o Katalogu odpadů[1] a posuzování vlastností odpadů patří do skupiny komunálního odpadu.

Dalším pojmem, pod nímž se skrývá nelegálně odložený odpad, je černá skládka. Jedná se o nelegálně odložený odpad na místech, která k tomu nejsou určena ze zákona. O černé skládce mluvíme v případě, kdy je odpad ponechán vně kontejneru pro něj určeného.

Na veřejném prostranství jsou sbírány i exkrementy, jež jsou podle Katalogu odpadů zařazeny do kategorie zvířecí trus, moč a hnůj. Ve smyslu nelegálně zanechaného odpadu lze na něj také pohlížet jako na litter. Ve chvíli, kdy se psí exkrementy odklidí spolu se směsným uličním odpadem, zařazují se dle Katalogu odpadů do kategorie uliční smetky.

V České republice se problematika volně pohozeného odpadu (litteringu) řeší pomocí přenesené pravomoci, to znamená, že řešení problému spadá do působnosti obcí. Uplatnění zde nachází tzv. princip subsidiarity, jenž je jedním ze základních principů evropské legislativy. Jde o přenesení řešení problémů na co nejnižší úroveň a co nejblíže občanům.

Problematika volně pohozeného odpadu je v České republice upravena zákonem č. 541/2020 Sb., o odpadech. Na základě zákona o odpadech jsou zpracovány koncepční dokumenty, které navrhují konkrétní cíle a způsoby, jak předcházet vzniku odpadu a jak s ním zacházet. V zákoně o odpadech je odpad popisován jako movitá věc, jíž se osoba zbavuje či má úmysl nebo povinnost se jí zbavit. Povinností původce odpadu je nakládat s ním pouze způsobem stanoveným tímto zákonem a jinými právními předpisy vydanými na ochranu životního prostředí a zdraví lidí pro daný druh a kategorii odpadu. Nepodnikající fyzická osoba může svůj odpad předat podle § 59 obci, a to na místech obcí určených. Obec je povinna vymezit a určit místa, která budou sloužit k odkládání komunálního odpadu, a zároveň má informovat obyvatele o povinnosti komunální odpad na tato místa odkládat. Informování obyvatel probíhá například pomocí obecní vyhlášky.

Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech má – v souladu s legislativními předpisy Evropské unie – za úkol chránit životní prostředí předcházením vzniku odpadu z obalů, a to snižováním jejich hmotnosti, objemu, škodlivosti a obsahu chemických látek. Obalem se rozumí jakýkoli výrobek zhotovený z materiálu libovolné povahy určený k ochraně, manipulaci, dodávce, popřípadě prezentaci výrobku, který je určen spotřebiteli nebo jinému koncovému uživateli. Subjekt, jenž uvádí obal na trh, je povinen zajistit, aby hmotnost a objem obalu byly co nejmenší při dodržení požadavků kladených na zabalený výrobek a při zachování jeho přijatelnosti pro spotřebitele nebo koncového uživatele, a to zároveň se zaměřením na snížení množství odpadu z obalů, které bude nezbytné odstranit.

NÁKLADY SPOJENÉ S LITTERINGEM A PŘÍKLADY ŘEŠENÍ TOHOTO FENOMÉNU

Náklady obcí na odpadové hospodářství v posledních letech rostou. Jelikož součástí celkových nákladů jsou i náklady spojené s litteringem a černými skládkami, jsou obce nuceny neustále zdokonalovat systém sběru odpadu a navyšovat v souvislosti s nárůstem litteringu počet odpadkových košů. V následující tabulce jsou uvedeny náklady, jež obce vynakládaly na celkové hospodaření s odpady, a náklady, které byly vynaloženy na údržbu a svoz odpadkových košů.

Za zobrazené období jsou náklady spojené s údržbou odpadkových košů na úrovni cca 4 %, což je téměř 400 mil. korun z rozpočtu obcí v ČR v roce 2012. Do nákladů spojených s litteringem musí být zahrnuto i zprostředkování informací obyvatelům, které vycházelo na cca 7 Kč na obyvatele za rok; poslední položkou v boji proti litteringu jsou samotné náklady na úklid prostranství znečištěného volně pohozeným odpadem, jež činily cca 75 Kč na obyvatele za rok, což dohromady tvořilo téměř 13 % celkových nákladů vynaložených na odpadové hospodářství.

Při pohledu na celkové náklady na hospodaření s odpady je zřejmé, že pokud obce doplácejí z vlastních zdrojů přibližně 30 % ročně na boj s odpadem, zmíněný 13% podíl litteringu na této částce není zanedbatelný. Tato částka spolu s náklady na odstranění černých skládek (viz *tab. 4*) by mohla být efektivněji vynaložena například na obnovu stávajícího inventáře, svozové techniky, rozšíření služeb odpadové obslužnosti obce apod.

Tab. 3. Vývoj celkových nákladů na hospodaření s komunálním odpadem a vývoj nákladů na odpadkové koše v obcích v letech 2003–2012 (Kč/obyvatel/rok)

Rok	Celkové náklady	Meziroční změna [%]	Koše	Meziroční změna [%]	Koše celkem [%]
2003	652		25		4,1
2004	687	5,37	28	12,0	4,0
2005	702	2,18	28	0,0	3,9
2006	747	6,41	29	3,6	4,1
2007	813	8,84	33	13,8	5,9
2008	865	6,40	51	54,5	3,9
2009	871	0,69	34	-33,3	4,2
2010	882	1,26	37	8,8	4,2
2011	912	3,40	38	2,7	4,2
2012	903	-0,99	36	-5,3	4,0

Tab. 4. Náklady odpadového hospodářství v obcích v letech 2004–2018 (Kč/obyvatel/rok) [19]

Rok	Směsný odpad	Objemný odpad	Tříděný odpad	Sběrné dvory	Biologický odpad	Černé skládky
2004	416	42	75	52		12
2005	429	42	80	54		12
2006	463	45	98	56		12
2007	495	57	116	65		9
2008	511	49	122	88		13
2009	521	53	132	86	81	11
2010	522	50	136	89	71	11
2011	515	48	145	98	72	10
2012	530	71	149	93	51	10
2013	531	71	149	80	50	7
2014	523	74	154	87	56	9
2015	518	62	153	106	67	8
2016	525	63	166	102	73	8
2017	532	63	182	107	75	8
2018	536	62	199	118	76	12

Tab. 5. Rozdělení nástrojů na podporu odpadového hospodářství [20]

Hlavní nástroje	Další dělení nástrojů	Vybrané příklady nástrojů
Administrativní (normativní)	politické nástroje	mezinárodní akty, Státní politika životního prostředí ČR, Energetická koncepce ČR,…
	zákonné a technické normy, koncepční materiály	zákony, vyhlášky, mezinárodní smlouvy a dohody, evropské směrnice, plány odpadového hospodářství,…
	instituty	evidence a ohlašování odpadů, EIA, SEA, integrované povolení a integrovaný registr znečištění
Ekonomické	poplatky	za znečišťování životního prostředí, za využívání přírodních zdrojů, za odkládání odpadů na skládky, recyklační,…
	podpory	dotace z veřejných zdrojů, zvýhodněné půjčky, převzetí závazků a dotace z fondu EU
	ostatní nástroje	daňová zvýhodnění, cla, povinné finanční rezervy, pojištění, náhrady škod, obchodovatelná povolení, ekologické daně,...
Ostatní	organizační nástroje	EMS, EMAS, Národní program čistší produkce, Zelený bod,…
	institucionální nástroje	instituce, jež vykonávají veřejnou správu nebo poskytují podporu výkonu veřejné správy – CeHO, Státní fond ŽP, EKO-KOM, a. s.
	informační nástroje, výchova a vzdělávání	Český statistický úřad, ISOH, EVVO, odborná periodika vydávaná pro odpadové hospodářství (Odpadové fórum, Odpady), odborné příručky, sborníky ze seminářů,...
	dobrovolné nástroje	aktivity subjektů, které nejsou normativně uloženy jako povinnost, ale jsou motivovány snahou zlepšit postavení na trhu nebo flexibilitu regulace ze strany státní správy
	výzkum a vývoj	vypisování grantů a projektů jednotlivých rezortů, především ministerstva ŽP, průmyslu a obchodu, zemědělství, školství, mládeže a tělovýchovy, Grantové agentury ČR, výzkumné práce VŠ

Foto: Shutterstock.com

V případě, že se obec rozhodne řešit problém s litteringem, může se s pomocí několika nástrojů pokusit změnit chování obyvatel a návštěvníků problematických oblastí. Nástroje, které může využít, se dají rozdělit do několika skupin podle toho, jakým způsobem se snaží změnit chování obyvatel. Využívány jsou nástroje ekonomické, administrativní, dobrovolné a informační.

Ekonomické nástroje mohou napravit situaci, v níž tržní procesy nepřinášejí uspokojivé výsledky. Stát se pomocí těchto nástrojů snaží zastoupit tržní nabídku v podobě ceny a tím docílit optimální situace. K dispozici jsou environmentální daně, poplatky a subvence.

Další způsob, jak lze snížit výskyt litteringu, je používat obaly z rozložitelných materiálů, což je žádoucí i s ohledem na fakt, že 10 % obalů zůstává odloženo v přírodě. K přirozenému rozkladu tam dojde za 300 i více let a některé obaly jsou v terénu nerozložitelné. Jako další řešení se ještě nedávno nabízelo používání tzv. oxo-plastů, které by se v přírodě rozložily díky působení ultrafialového záření a mechanického napětí. Následně byly oxo-plasty spolu s ostatními jednorázovými plasty od roku 2021 zakázány.

Cílem osvěty by mělo být zvýšení povědomí občanů o tom, že odhazování odpadu v přírodě nebo na veřejném prostranství je nepřijatelné. V případě, že je třeba osvětou dosáhnout změny chování u některé ze skupin občanů, je nutné tuto problémovou skupinu nejdříve identifikovat. Po její úspěšné identifikaci můžeme určit, který způsob bude nejefektivnější. K tomu, abychom dokázali ovlivnit cílovou skupinu, je třeba vzbudit její pozornost. V případě neefektivní osvětové kampaně lze přistoupit k udělování finančních postihů. Na základě § 5 zákona č. 251/2016 Sb[2]., o přestupcích, je možné stanovit výši pokuty až 20 000 Kč, a to za znečištění veřejného prostranství, veřejně přístupného objektu nebo veřejně prospěšného zařízení či v případě zanedbání úklidu veřejného prostranství.

V České republice lze využít poplatek za uložení odpadu na skládku, místní poplatek za provoz systému shromažďování, sběru, přepravy, třídění, využívání a odstraňování komunálních odpadů, dále poplatek za komunální odpad, poplatek na podporu sběru, zpracování, využití a odstranění autovraků, registrační a evidenční poplatky dle zákona o obalech. V případě litteringu přichází v úvahu pouze systém záloh na obaly a materiály. V České republice funguje tento systém u skleněných obalů. O jeho rozšíření na další nápojové obaly se snaží projekt Zálohujme.cz. Názory na míru vlivu těchto iniciativ na rozsah litteringu se různí [10, 21].

V problematice litteringu lze sdílet a využívat informace z dalších vyspělých zemí. Zkušenosti ze zahraničí ukazují, že nejvíce využívané nástroje jsou dobrovolné, ekonomické a v menší míře sankce. Vzhledem k množství případů porušování pořádku na veřejném prostranství je obtížné toto chování postihovat, protože počet lidí vyhrazených ke kontrole jeho dodržování je vždy nedostatečný.

Na základě zkušeností z USA je patrné, že kampaně, jež by měly sloužit ke vzdělávání lidí v oblasti problematiky litteringu, mají jen malý výsledný efekt. Jako účinnější se ukázala finanční motivace, na kterou reaguje pozitivně většina populace. Coby řešení volně pohozených odpadů se v USA nejvíce osvědčil zálohovací systém pro jednorázové obaly. Díky zálohovacímu systému nastalo výrazné snížení pohozeného litteru. Množství nápojových obalů se zmenšilo o 70 až 84 % a celkově se littering snížil o 34 až 47 %.

Systém zálohování vybraných nápojových obalů je zaveden ve více než 30 státech světa a v USA je používán v 11 státech. Tento systém nemá negativní dopad na cenu nápojů. Celkově dochází k recyklaci přibližně 500 obalů na obyvatele za rok. Účinnost tohoto systému je patrná, pokud porovnáme výsledky se státy, které obaly nezálohují. Ty recyklují pouze 191 obalů na obyvatele za rok [22].

ZÁVĚR

Littering je celosvětový problém, a to nejen ekologický a estetický, ale i ekonomický. Negativně ovlivňuje turistickou přitažlivost a kvalitu života rezidentů míst znečištěných odpadky. Snižuje cenu nemovitostí a v konečném důsledku náklady na jeho odstranění zaplatíme my všichni v podobě zvýšených poplatků za odvoz odpadů. Proto bychom k jeho předcházení ani řešení neměli být lhostejní.

Poznámky

1. Vyhláška č. 8/2021 Sb., o Katalaogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů)

2. Zákon č. 251/2016 Sb., o některých přestupcích

Tab. 6. Míra snížení litteringu na základě zálohovacího systému [22]

Stát USA	Míra snížení množství pohozených odpadů z nápojových obalů [%]	Celkové snížení volně pohozených odpadů z obalů [%]
New York	70–80	30
Oregon	83	47
Vermont	76	35
Massachusetts	n/a	30–35
Michigan	84	41
Iowa	76	38
Connecticut	50–85	19
Maine	69–77	34–64

Poděkování

Příspěvek byl podpořen z Institucionálních prostředků na rozvoj výzkumné organizace – VÚV TGM, v. v. i. v rámci interního grantu č. 3600.52.22/2020.

Literatura

[1] KAZA, S. *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050.* Washington, DC: World Bank Group, 2018. Urban development series. ISBN 978-1-4648-1329-0.

[2] SLAVÍK, J., VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE a INSTITUT PRO EKONOMICKOU A EKOLOGICKOU POLITIKU. *Poplatkové systémy v obcích – rizika a příležitosti pro odpadové hospodářství.* Praha: IREAS, Institut pro strukturální politiku, 2009. ISBN 978-80-86684-59-8.

[3] *Litter* [on-line]. 2021 [vid. 20. listopad 2020]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Litter&oldid=1008558329

[4] *Keep Scotland Beautiful* [on-line]. [vid. 30. srpen 2019]. Dostupné z: https://www.keepscotlandbeautiful.org/

[5] *Litter-Audit-Report.pdf* [on-line]. [vid. 30. srpen 2019]. Dostupné z: https://trashfreemaryland.org/wp-content/uploads/2017/10/Litter-Audit-Report.pdf

[6] *Littering_Vergleichsstudie_05.pdf* [on-line]. [vid. 6. leden 2021]. Dostupné z: https://gewerbe-basel.ch/content/uploads/2016/12/Littering_Vergleichsstudie_05.pdf

[7] National Litter Pollution Monitoring System Report – 2018. *Tobin* [on-line]. [vid. 30. srpen 2019]. Dostupné z: https://www.tobinconsultingengineers.com/project/national-litter-pollution-monitoring-system-report-2018/

[8] OECD. *OECD Environmental Performance Reviews: Norway 2001* [on-line]. B.m.: OECD, 2001 [vid. 15. červenec 2020]. OECD Environmental Performance Reviews. ISBN 978-92-64-19654-4. Dostupné z: doi:10.1787/9789264195738-en

[9] EPA, N. report-littering. *NSW Environment Protection Authority* [on-line]. [vid. 30. srpen 2019]. Dostupné z: https://www.epa.nsw.gov.au/your-environment/litter-and-illegal-dumping/report-littering

[10] *Studie_PET_CETA_2019.pdf* [on-line]. [vid. 1. květen 2020]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_190606-zalohovani-PET/$FILE/Studie_PET_CETA_2019.pdf

[11] *1-2009-pdf.pdf* [on-line]. [vid. 25. srpen 2020]. Dostupné z: http://www.odpadoveforum.cz/upload/pageFiles/1-2009-pdf.pdf

[12] HLADÍKOVÁ, M. *Analýza a návrh řešení pro nakládání s odpady z veřejných ploch ve městě Burgdorf ve Švýcarsku.* Ostrava: 2012. Diplomová práce. VŠB Technická univerzita Ostrava

[13] PICKERING, C.M., J. HARRINGTON a G. WORBOYS. Environmental Impacts of Tourism on the Australian Alps Protected Areas. *Mountain Research and Development* [on-line]. 2003, roč. 23, č. 3, s. 247–254. ISSN 0276-4741, 1994-7151. Dostupné z: doi:10.1659/0276-4741(2003)023[0247:EIOTOT]2.0.CO;2

[14] WORLD TOURISM ORGANIZATION, ed. *Indicators of sustainable development for tourism destinations: a guidebook*. 2004. ISBN 978-92-844-0726-2.

[15] LACHAPELLE, P. Managing Sanitation in Protected Areas: Problems and Challenges in Sagarmatha (Mt. Everest) National Park, Nepal. *Himalaya, the Journal of the Association for Nepal and Himalayan Studies*. 1998, roč. 18, č. 11, s. 53–57

[16] BAHÝĽ, J. *Nakládání a hospodaření s odpady z cestovního ruchu v národních parcích České republiky* [on-line]. 2007 [vid. 1. květen 2020]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/j603i/TEXT_Bc_Prace.txt

[17] Nature Calls: Clean Park Restrooms. *Kaivac Cleaning Systems* [on-line]. [vid. 2. květen 2020]. Dostupné z: https://kaivac.com/a_832-Nature-Calls-Clean-Park-Restrooms

[18] KŘELINOVÁ, L. *Hodnocení nástrojů regulace nelegálního nakládání s odpady – případová studie Praha 4 – Libuš – Vysokoškolské kvalifikační práce – Vysoká škola ekonomická v Praze* [on-line]. B.m., 2013 [vid. 6. leden 021]. Bakalářská práce. Vysoká škola ekonomická v Praze. Dostupné z: https://vskp.vse.cz/65439_hodnoceni-nastroju-regulace-nelegalniho-nakladani-s-odpady-pripadova-studie-praha-4-libus

[19] *Infoservis | EKO-KOM* [on-line]. [vid. 25. srpen 2020]. Dostupné z: https://www.ekokom.cz/news/758/212/Ekonomika-odpadoveho-hospodarstvi-obci-za-rok-2018

[20] KURAŠ, M., V. DIRNER, V. SLIVKA a M. BŘEZINA. *Odpadové hospodářství.* Chrudim: Ekomonitor, 2008. ISBN 978-80-86832-34-0.

[21] *Mýty a fakta o zálohovém systému: Třetí Ruka* [on-line]. [vid. 26. leden 2021]. Dostupné z: https://www.tretiruka.cz/news/myty-a-fakta-o-zalohovem-systemu/

[22] USER, S. *Litter studies in bottle bill states* [on-line]. [vid. 25. září 2020]. Dostupné z: https://www.bottlebill.org/index.php/benefits-of-bottle-bills/litter-studies-in-bottle-bill-states

Autoři

Ing. Dagmar Vološinová
✉ dagmar.volosinova@vuv.cz

Bc. David Rohovec, DiS.
✉ david.rohovec@vuv.cz

Ing. Elžbieta Čejka
✉ alzbieta.cejkova@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka

Ukradená digitální identita časopisu – další riziko pro akademické pracovníky

Stejně jako mnoha jiným publikujícím autorům se i v mé e-mailové schránce pravidelně objevuje nabídka uveřejnit článek ve všech možných vědeckých časopisech. Většina těchto zpráv skončí ve spamu, ale i ten si pravidelně kontroluji. A přiznávám, že ze zvědavosti sleduji, jaké časopisy dychtí po tom, abych za patřičný obnos (APC – article processing charge) u nich otiskl výsledky své práce. Většinou se jedná o časopisy z Indie a nedělám si iluze, že to nejsou pochybné, či dokonce predátorské plátky. O jejich praktikách, nebezpečí, jež představují, ale také o tom, jak se jim bránit, bylo napsáno i v české literatuře mnoho, namátkou třeba [1–4]. Občas se však objeví i výjimky. V lednu a únoru 2015 jsem našel ve spamu nabídku publikovat článek v rakouském botanickém časopise *Wulfenia*, což je periodikum indexované v databázi Web of Science. Označil jsem e-maily příznakem „nejedná se o spam", ale jelikož se tento žurnál nepohybuje v oboru, ve kterém působím, na nabídku jsem nereagoval. Mimochodem, dodnes mám oba uvedené e-maily v doručené poště.

Před pár měsíci jsem zaznamenal ve spamu další e-mail s nabídkou zveřejnění příspěvku v indexovaném časopise. Po otevření odkazu mi však jeho stránky připadaly velmi primitivní, takže jsem chvilku pátral a brzy jsem zjistil, že e-mail neodkazuje na skutečné stránky časopisu, nýbrž na jejich velmi jednoduchou kopii. Zasmál jsem se naivní snazew kriminálních živlů zmást mne a vylákat z „protřelého vědeckého pracovníka" peníze za vydání článku. Jenže podobných e-mailů v posledních týdnech přibývá a vyznačují se prakticky stejnou „šablonou" jak e-mailové zprávy, tak vzhledu webové stránky. Jedná se tak evidentně o opakovanou, a tudíž organizovanou kyberkriminalitu. Rozhodl jsem se tedy tématu krádeže digitální identity vědeckého časopisu trochu věnovat a nestačil se divit. Záhy se ukázalo, že i já jsem jeden z „poškozených". Naštěstí, škoda je v mém případě pouze na sebevědomí „protřelého vědeckého pracovníka", a nikoli hmotná.

Krádeží digitální identity či únosem časopisu se rozumí aktivita, kdy se webové stránky vydávají za stránky regulérních vědeckých žurnálů nebo je kopírují. Prvními periodiky, u nichž byla zdokumentována krádež digitální identity, byly švýcarský *Archives des Sciences* a rakouský *Wulfenia* [5]. Ano, přiznávám, e-maily, které jsem v roce 2015 vyndal ze spamu, nejsou ničím jiným než spamem. I když musím dodat, že falešné stránky *Wulfenie* nevypadají na první pohled jako podvrh. Butler popisuje [5], že podvodníci dokonce krátkodobě zmátli i experty z Web of Science. Tento typ kriminality se často zaměřuje na časopisy, jež své webové stránky nemají nebo nejsou hostovány na vlastní doméně. Dále pak na žurnály malých vydavatelství a z neanglicky mluvících zemí [6]. Zmapováním činnosti těchto kriminálních živlů v období 2011 až 2015 se zabývali např. Jalalian a Dadkhah [7], v současnosti třeba Abalkina [8].

Kopírování webových stránek či vytváření webových stránek periodik, jež vlastní stránky nemají, není jediná metoda, kterou kyberzločinci využívají. Bohannon [9] popisuje, jak lze poměrně snadno získat doménu regulérního žurnálu, pokud není včas zaplacena. Trapp [10] zase uvádí případy, kdy jsou rozesílány výzvy k publikaci ve fiktivních speciálních číslech skutečných časopisů.

Cílem těchto kriminálních aktivit není nic jiného než podvodem získat peníze od autorů v rámci současného trendu otevřeného přístupu k výsledkům výzkumu (OA – open access). Některé „unesené" časopisy dokonce evidují více zveřejněných článků než ty stejnojmenné regulérní [11]. Přitom „ztrátu" pro autory nemusí představovat jen poplatek zaplacený za uveřejnění. V mnoha případech jsou odborné články povinným výstupem z projektů financovaných z veřejných prostředků. Autor, jenž zašle svůj příspěvek k otištění do některého z těchto časopisů, bude těžko vysvětlovat při auditu projektu, že naletěl kyberzločincům a článek buď nevyšel vůbec, nebo v podvodném plátku, který není indexován ve Web of Science či ve Scopusu. Pokud text v takovém žurnálu skutečně vyjde, lze pochybovat, že byl recenzován, a tudíž nesplňuje definici pro výsledek typu J/C (článek v recenzovaném časopise) dle Metodiky 17+ [12]. Je pravděpodobné, že náklady na jeho publikaci nebudou uznány při vyúčtování projektu, a dokonce může být ze strany poskytovatele požadováno vrácení části podpory za nedosažení přislíbených výsledků. Stejně tak se takový článek jen stěží promítne do bibliografie autora a jejího hodnocení, jež mnohá akademická pracoviště provádějí. Nemluvě o tom, že některé instituce zahrnují publikační aktivity do systému hodnocení a odměňování zaměstnanců nebo i do rozdělování grantů.

Dalším neblahým projevem těchto kriminálních jevů je pokřivení publikačního prostředí. Je nepochybné, že recenzní řízení u predátorských i unesených plátků není žádné nebo jen formální. Jalalian a Mahboobi [13] uvádějí případ, kdy redakce časopisu autorovi zaslala připomínky recenzentů k textu a dostala od něj rozčílenou odpověď, co si to dovoluje, vždyť on je autor, který uveřejnil množství článků v prestižních „amerických časopisech", a nikdy po něm nikdo žádné úpravy nechtěl. Asi nebude překvapení, že velké množství „amerických časopisů" je vydáváno v Asii a s Amerikou má společné pouze to slovo v názvu.

Digitální svět vytváří nové možnosti, a to nejen pro poctivé občany, ale i pro kriminální živly. Digitální publikování a internet zpřístupnily výsledky výzkumu širokému okruhu čtenářů. Model přístupu k výsledkům výzkumu na bázi předplatného není pro tyto kriminální živly příliš zajímavý. Současný trend zpřístupnění výsledků výzkumu volně každému (open access) a z něho vyplývající model založený na platbě předem za vydání článku (APC) přitahují pozornost kriminálních subjektů pro jednoduchost jeho zneužití. Připomeňme, že open access je reakcí na selhávání tradičního způsobu šíření vědeckých informací pomocí komerčních vydavatelů a systému předplatného [14], z čehož v posledních desetiletích profitovala zejména velká vědecká nakladatelství, ale pro akademickou sféru se informace o výsledcích výzkumu začaly stávat nedostupnými [15].

Současné technologické vybavení umožňuje strojově získávat obsahy webů, seznamy e-mailových adres, rozesílat hromadné e-maily i vytvářet „prefabrikované" webové stránky. Akademickým pracovníkům pak nezbývá nic jiného než před odesláním svého článku prověřit, jestli vybraný časopis není predátorský a zda se nejedná o falešný web. V literatuře lze nalézt řadu doporučení, na co by si autoři měli dát pozor a jak postupovat při prověřování periodik [16–18]. Nejjednodušší cestou je však spolupráce s odbornými pracovníky knihovny, kteří by v takovém prověřování měli být zběhlí a měli by pomoci autorům při výběru nejvhodnějšího časopisu pro publikaci výsledků jejich výzkumu.

Literatura

[1] KNECHT, P. O strašáku excelentního publikování a predátorských časopisech. *Universitas – revue Masarykovy univerzity* [on-line]. 2014, roč. 0, č. 3 [vid. 4. duben 2020]. ISSN 1212-8139. Dostupné z: https://journals.muni.cz/universitas/article/view/2681

[2] KRATOCHVÍL, J. a L. PLCH. Predátorské časopisy: praktiky jejich vydavatelů a jak se jim bránit. *Vnitřní lékařství* [on-line]. 2017, roč. 63, č. 1, s. 5–13 [vid. 4. duben 2020]. Dostupné z: http://eprints.rclis.org/33910/

[3] SMUTNÝ, Z. a V. ŘEZNÍČEK. Predátorští vydavatelé s otevřeným přístupem k obsahu a další nebezpečí pro současnou vědeckou komunitu. *Acta Informatica Pragensia* [on-line]. 2015, roč. 4, č. 2, s. 182–200 [vid. 4. duben 2020]. ISSN 18054951, 18054951. Dostupné z: doi:10.18267/j.aip.69

[4] SMUTNÝ, Z. Predátorské časopisy, pirátství a nové modely publikování odborných článků. *Acta Informatica Pragensia* [on-line]. 2016, roč. 5, č. 1, s. 82–91 [vid. 4. duben 2020]. ISSN 18054951, 18054951. Dostupné z: doi:10.18267/j.aip.87

[5] BUTLER, D. Sham journals scam authors. *Nature News* [on-line]. 2013, roč. 495, č. 7442, s. 421 [vid. 11. leden 2021]. Dostupné z: doi:10.1038/495421a

[6] MENON, V. G. a M. R. KHOSRAVI. Preventing hijacked research papers in fake (rogue) journals through social media and databases. *Library Hi Tech News* [on-line]. 2019, roč. 36, č. 5, s. 1–6 [vid. 11. leden 2021]. ISSN 0741-9058. Dostupné z: doi:10.1108/LHTN-11-2018-0070

[7] JALALIAN, M. a M. DADKHAH. The full story of 90 hijacked journals from August 2011 to June 2015. *Geographica Pannonica* [on-line]. 2015, roč. 19, č. 2, s. 73–87 [vid. 11. leden 2021]. ISSN 0354-8724, 1820-7138. Dostupné z: doi:10.5937/GeoPan1502073J

[8] ABALKINA, A. Detecting a network of hijacked journals by its archive. *arXiv:2101.01224 [cs]* [on-line]. 2021 [vid. 12. leden 2021]. Dostupné z: http://arxiv.org/abs/2101.01224

[9] BOHANNON, J. How to hijack a journal. *Science* [on-line]. 2015, roč. 350, č. 6263, s. 903–905 [vid. 12. leden 2021]. ISSN 0036-8075, 1095-9203. Dostupné z: doi:10.1126/science.350.6263.903

[10] TRAPP, J. Predatory publishing, hijacking of legitimate journals and impersonation of researchers via special issue announcements: a warning for editors and authors about a new scam. *Physical and Engineering Sciences in Medicine* [on-line]. 2020, roč. 43, č. 1, s. 9–10 [vid. 10. leden 2021]. ISSN 2662-4737. Dostupné z: doi:10.1007/s13246-019-00835-5

[11] DADKHAH, M. a G. BORCHARDT. Hijacked Journals: An Emerging Challenge for Scholarly Publishing. *Aesthetic Surgery Journal* [on-line]. 2016, roč. 36, č. 6, s. 739–741 [vid. 10. leden 2021]. ISSN 1090-820X. Dostupné z: doi:10.1093/asj/sjw026

[12] RVVI. *Metodika hodnocení výzkumných organizací a hodnocení programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací* [on-line]. Č. j.: 21805/2016-OMP. Praha: Úřad vlády ČR. 2017. Dostupné z: https://www.vyzkum.cz/FrontClanek.aspx?idsekce=799796

[13] JALALIAN, M. a H. MAHBOOBI. Hijacked Journals and Predatory Publishers: Is There a Need to Re-Think How to Assess the Quality of Academic Research? *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)* [on-line]. 2014, roč. 11, č. 5, s. 389–394 [vid. 11. leden 2021]. ISSN 2228-835X. Dostupné z: https://wjst.wu.ac.th/index.php/wjst/article/view/1004

[14] WELLEN, R. Taking on Commercial Scholarly Journals: Reflections on the ‚Open Access' Movement. *Journal of Academic Ethics* [on-line]. 2004, roč. 2, č. 1, s. 101–118 [vid. 14. leden 2021]. ISSN 1572-8544. Dostupné z: doi:10.1023/B:JAET.0000039010.14325.3d

[15] SIMANDLOVÁ, T., J. SKŮPA, M. MYŠKA, L. STRAKOVÁ, P. DĚDIČOVÁ, A. VTÍPIL, O. FABIÁN, P. SUBER, J. MAREK, P. RYGELOVÁ, L. MELICHAROVÁ, L. NĚMEČKOVÁ, M. BARTOŠEK, L. PLCH, R. SYROVÁ, I. MASÁR, J. KOTOUČEK, J. RÁKOSNÍK a M. VÁVROVÁ. *Otevřený přístup k vědeckým informacím: současný stav v České republice a ve světě* [on-line]. B. m.: Nakladatelství VUTIUM, 2016 [vid. 7. duben 2020]. ISBN 978-80-214-5359-3. Dostupné z: http://dspace.lib.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/61751

[16] ASADI, A., N. RAHBAR, M. ASADI, F. ASADI a K. KHALILI PAJI. On-line-Based Approaches to Identify Real Journals and Publishers from Hijacked Ones. *Science and Engineering Ethics* [on-line]. 2017, roč. 23, č. 1, s. 305–308 [vid. 14. leden 2021]. ISSN 1471-5546. Dostupné z: doi:10.1007/s11948-015-9747-9

[17] DADKHAH, M., M. M. OBEIDAT, M. D. JAZI, T. SUTIKNO a M. A. RIYADI. How Can We Identify Hijacked Journals? *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics* [on-line]. 2015, roč. 4, č. 2, s. 83–87 [vid. 11. leden 2021]. ISSN 2302-9285. Dostupné z: doi:10.11591/eei.v4i2.449

[18] DADKHAH, M., T. MALISZEWSKI a M. D. JAZI. Characteristics of Hijacked Journals and Predatory Publishers: Our Observations in the Academic World. *Trends in Pharmacological Sciences* [on-line]. 2016, roč. 37, č. 6, s. 415–418 [vid. 12. leden 2021]. ISSN 0165-6147. Dostupné z: doi:10.1016/j.tips.2016.04.002

Autor

Ing. Libor Ansorge, Ph.D.
ORCID: 0000-0003-3963-8290

VTEI/2021/3

Od roku 1959

VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

WATER MANAGEMENT
TECHNICAL AND ECONOMICAL INFORMATION

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství.
Je uveden v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.

Ročník 63

VTEI.cz

Vydává: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka,
veřejná výzkumná instituce, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Redakční rada:
RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur, doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.,
Mgr. Róbert Chriašteľ, Mgr. Vít Kodeš, Ph.D., Ing. Jiří Kučera, Ing. Martin Pavel,
Ing. Jana Poórová, Ph.D., Mgr. Hana Sezimová, Ph.D., Dr. Ing. Antonín Tůma,
Mgr. Lukáš Záruba, Ing. Marcela Zrubková, Ph.D.

Vědecká rada:
doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D., prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.,
prof. Ing. Radka Kodešová, CSc., RNDr. Petr Kubala, Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.,
Ing. Michael Trnka, CSc., Dr. rer. nat. Slavomír Vosika

Šéfredaktor:
Ing. Josef Nistler
E: josef.nistler@vuv.cz

Odborné redaktorky:
Mgr. Zuzana Řehořová (tištěné VTEI), Mgr. Radmila Hrdinová (web VTEI)

Kontakt na redakci:
E: info@vtei.cz

Zdroje fotografií tohoto čísla:
Archiv VÚV, Shutterstock.com, 123rf.com, obálka: Shutterstock.com

Grafická úprava, sazba, tisk:
ABALON s. r. o., www.abalon.cz

Náklad 1500 ks

Příští číslo časopisu vyjde v srpnu.
Pokyny autorům časopisu jsou uvedeny na www.vtei.cz.

ISSN 0322-8916
ISSN 1805-6555 (on-line)
MK ČR E 6365

ZE ŽIVOTA V KALUŽI

Na to, abychom mohli u nás v Čechách pozorovat rozmanitý podvodní život, nemusíme nutně cestovat do národních parků či za velkými jezery. Krásné planktonní korýše totiž najdeme i v loužích na cestách, jichž je po jarních deštích všude dost. Ten na snímku se jmenuje Moina, jeho české jméno však zní kaluženka, a to právě pro biotop, kde jej můžeme najít nejčastěji. Na zádech je vidět partenogenetické trvalé vajíčko, které samička vytvořila pro případ brzkého vyschnutí kaluže, což nejen pro kaluženky představuje největší nebezpečí. Oproti svým příbuzným z větších habitatů musejí totiž obyvatelé kaluží počítat s výrazně kratší dobou to, aby stihli celý životní cyklus. *Text a fotografii dodal Petr Jan Juračka, www.petr.juracka.eu.*

VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T. G. MASARYKA
veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz