

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI/2019/4

4/ Aktualizace empirických vztahů pro výpočet výparu

z vodní hladiny na základě pozorování výparu ve stanici Hlasivo

12/ Ztráta vody výparem z volné vodní hladiny

38/ Rozhovor s Ing. Janem Uhlíkem, Ph.D., hydrogeologem ve společnosti PROGEO, s. r. o.

Vodní dílo Klíčava

Vodní dílo Klíčava je přehrada o rozloze 80,1 km² a celkovém objemu 10,42 mil. m³ s úpravnou vody pod ní. Stavba, která trvala šest let, byla dokončena v roce 1955. Do roku 1999 sloužila přehrada jako zásobárna vody pro Kladno a okolí. Ze začátku byla kapacita přehrady dostačující, ale s postupem času narůstal počet odběratelů pitné vody a přehrada již svými zdroji vody nepokrývala poptávku ani potřebu. Proto se voda v přehradě navyšovala o přečerpávanou vodu z hlubinného dolu Nosek (do povodí Lánského potoka) a v roce 1997 se vodárenské soustavy nádrže Klíčava a artézských studní u Mělníka propojily. Provoz VD Klíčava začal být beze smyslu vzhledem ke kvalitnější

a cenově výhodnější vodě z artézských studní. V roce 1999 došlo k pozastavení dodávek vody až na období, kdy bylo potřeba více vody. Mezi lety, kdy nebyla přehrada v provozu, prošla mnoha rekonstrukcemi. Od března roku 2005 je zásobování Kladna a okolí vodou obnoveno. Přehrada se nachází asi 3 km nad obcí Zbečno na potoku Klíčava pod soutokem s Lánským potokem. Celá nádrž je umístěna v uzavřené Lánské oboře až na hráz, která je veřejnosti přístupná.

Redakce



Obsah



3 Úvod

4 Aktualizace empirických vztahů pro výpočet výparu z vodní hladiny na základě pozorování výparu ve stanici Hlasivo

Petra Šuhájková, Roman Kožín, Adam Beran, Eva Melišová, Adam Vizina, Martin Hanel

12 Ztráta vody výparem z volné vodní hladiny

Adam Beran, Ladislav Kašpárek, Adam Vizina, Petra Šuhájková



20 Dopad technického zasněžování na toky v Krkonoších

Pavel Tremel

31 Hydrotechnický výzkum kapacity sektorového uzávěru

Martin Králík, Jan Hlom



37 Autoři

38 Rozhovor s Ing. Janem Uhlíkem, Ph.D., hydrogeologem ve společnosti PROGEO, s. r. o.

Oddělení hydrologie

42 Pozorování výparu z vodní hladiny ve VÚV TGM

Adam Beran



44 Legislativní požadavky směrnice INSPIRE na hydrologická data

Tomáš Řezník

47 Workshop na téma Water Footprint

Dagmar Vološinová

48 Den otevřených dveří ve VÚV TGM

Tomáš Hrdinka



Vážení čtenáři,

Číslo VTEI, které jste právě dostali, vychází uprostřed léta, takže Vás asi nepřekvapí, že se zabývá tematikou, která s létem souvisí a přímo navazuje na fenomén doby, jímž je stále sucho. Určitě jste kromě různých statistik, srovnání katastrofických scénářů či víceméně odborných doporučení zaznamenali i několik novinek souvisejících s vodou, které k nám přišly z nejvyšších pater politiky, především předložení novely vodního zákona vládě, návrhy několika poslanců na ochranu vody ústavou, případně na právo každého občana na vodu. Z pohledu našeho výzkumného ústavu však bylo nejdůležitější vyhlášení výzvy v programu MŽP „Prostředí pro život“ a uvolnění informací o způsobu financování dlouhodobého výzkumu. Legislativní a finanční podpora jsou zcela zásadní atributy pro nastartování činností, které nám umožní reagovat na dopady klimatické změny, ale je zcela jasné, že nejsou samospatitelné a stát vše financovat nemůže.

Čtenáři, kteří se problematikou vody zabývají, si zcela jistě všimli, že minulý rok nebyl na srážky chudý, v některých oblastech byly srážky dokonce nad dlouhodobým průměrem, takže proč vlastně to sucho máme? Odpověď je celkem jednoduchá, jsou to zvyšující se teploty. Z tohoto důvodu se nám prodlužuje léto a ostatní roční období se zkracují. Vyšší teplota pak způsobuje nedostatek sněhu, tím i nedostatečné vsakování vody při jeho odtávání a následně nižší zásoby podzemních vod. Teplota však především způsobuje vyšší výpar, který nás o cennou vodu připravuje. Musíme se tedy naučit nejen zadržovat vodu v krajině, přesněji řečeno naučit se jí zadržovat více, než jsme doposud byli zvyklí, ale také se naučit, jak odpařování omezovat. O tom, co se v oblasti výparu ve výzkumu děje, si můžete přečíst právě v tomto čísle VTEI. Doufám, že publikované články budou pro Vás nejen zdrojem informací pro boj se suchem, ale také inspirací pro hledání dalších řešení, která na své objevení ještě čekají.



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

Aktualizace empirických vztahů pro výpočet výparu z vodní hladiny na základě pozorování výparu ve stanici Hlasivo

PETRA ŠUHÁJKOVÁ, ROMAN KOŽÍN, ADAM BERAN, EVA MELIŠOVÁ, ADAM VIZINA, MARTIN HANEL

Klíčová slova: výpar — srovnávací výparoměr — výparoměrná stanice Hlasivo — výparoměrná stanice Tišice — odvození regresních vztahů

SOUHRN

Výpar z vodní hladiny je jednou ze základních složek oběhu vody v přírodě a významně ovlivňuje celkovou hydrologickou bilanci povodí. Vzhledem ke komplikovanému přímému měření je často zjišťován ze vzorců, které jako vstupní data vyžadují dostupné měřené meteorologické veličiny.

V příspěvku je popsán způsob odvození regresních vztahů pro výpočet výparu ve stanici Hlasivo. Dále jsou uvedeny nově odvozené vzorce pro tuto lokalitu, které kombinují různé meteorologické veličiny. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při použití vzorce využívajícího k výpočtu globální sluneční radiaci a teplotu vody a vzorec založený na kombinaci teploty vody, relativní vlhkosti vzduchu a teploty vzduchu (popř. rychlosti větru).

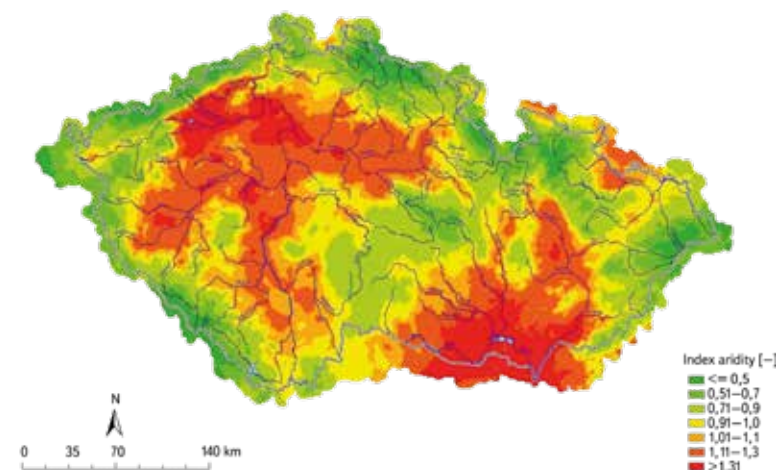
Hodnocení vzorců bylo provedeno na základě nejnižší hodnoty průměrné relativní chyby (MRE) a nejvyšší hodnoty Kling-Gupta účinnosti (KGE). Vzorce byly testovány na historické datové sadě ze zrušené výparoměrné stanice Tišice. Výsledky ukazují, že pro výpočet výparu pro jinou lokalitu je vhodnější využít vzorce, které se zakládají na jednoduché párové regresi s jednou meteorologickou veličinou (teplotou vody, nebo teplotou vzduchu), na rozdíl od vzorců využívající vícenásobné regrese. Při použití vzorců je vždy nutné ověřit rozsah jejich platnosti.

ÚVOD

Výpar z vodní hladiny je důležitým členem hydrologické bilance vodních nádrží. V posledních letech je význam výparu z volné hladiny navíc umocňován dopady klimatických změn. Zvyšování průměrné teploty vzduchu má za následek zvýšený úbytek vody výparem, nicméně tyto ztráty nejsou kompenzovány srážkovými úhrny, které jsou víceméně stejné a nerovnoměrně rozdělené. Na území České republiky se proto vyskytují oblasti, kde potenciální evapotranspirace významně převyšuje srážkové úhrny, viz *obr. 1*. Na povodích s vyšším zastoupením vodních ploch, případně při určování bilance vodních nádrží, je zapotřebí přesné určení výparu z vodní plochy.

Přímé měření výparu je komplikované a není tak časté. Běžná výparoměrná zařízení (např. GGI, Class-A-pan aj.) neudávají výpar, ale tzv. výparnost, která bývá zpravidla vyšší než skutečný výpar [1]. Z tohoto důvodu je výpar vodních nádrží odhadován na základě tabulkových hodnot podle nadmořské výšky [2] nebo určován z matematických vzorců, které obsahují snadněji měřitelné veličiny [3]. Závislost výparu na jednotlivých meteorologických veličinách je popsán českou [4, 5] i zahraniční literaturou [6–8].

V článku Berana a kol. [4] byly odvozeny empirické vztahy pro výpočet výparu z vodní plochy na základě dat ze stanice Hlasivo za období 1957–2012. Od té doby se průměrná teplota vzduchu stále zvyšovala a navíc se vyskytly roky s extrémně nízkými srážkovými úhrny (2015, 2018). To přispělo k potřebě aktualizování vztahů pro výpočet výparu z vodní hladiny se zahrnutím těchto skutečností.



Obr. 1. Index aridity na území ČR [9]

Fig. 1. Aridity index in the Czech Republic [9]

VÝCHOZÍ DATA

K odvození nových regresních vztahů pro výpočet výparu byla použita data z výparoměrné stanice v Hlasivu u Tábora, 547 m n. m. K letošnímu roku tak máme díky nepřetržitému fungování stanice 62letou datovou řadu. Jedná se nejen o hodnoty výparu, ale i další meteorologické veličiny, jež stanice zaznamenává.

Vzhledem k tomu, že naměřené denní hodnoty výparu bývají zatížené značnou náhodnou chybou [10], byla k odvozování používána data průměrného denního výparu v měsíci. K dispozici byly pozorované měsíční řady: teplota vzduchu ve 2 m [°C], teplota hladiny vody ve výparoměru [°C], relativní vlhkost vzduchu [%], globální sluneční radiace [W/m²] a rychlost větru [m/s]. Výpar byl měřen srovnávacím výparoměrem o ploše hladiny cca 20 m². Vzhledem k ploše srovnávacího výparoměru se naměřená výparnost považuje za reálný výpar.

Sezona měření výparu ve stanici Hlasivo je od května do října. V případě nízkých teplot (zamrzání vody ve výparoměru) může začít později nebo být ukončena o několik dní dříve. V takových případech jsou pro vyhodnocování vztahů a korelačních koeficientů výparu s vybranými meteorologickými veličinami data zkrácena tak, aby korespondovala s konkrétními dny, kdy se výpar měřil.

VZTAH VÝPARU K VYBRANÝM METEOROLOGICKÝM VELIČINÁM

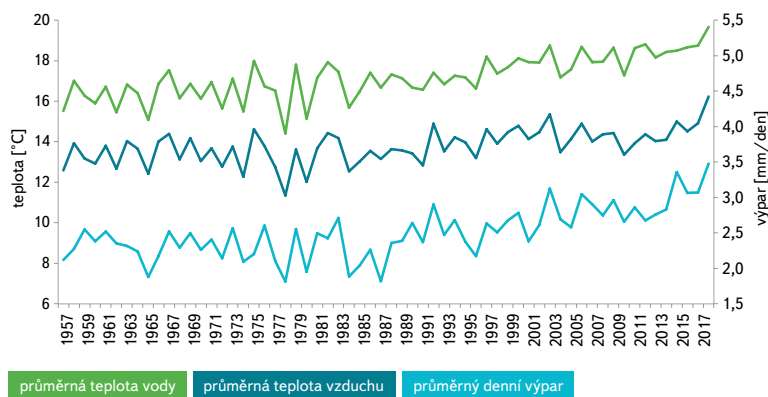
Spolu s průběhem výparu v čase byl zpracován i průběh teploty vzduchu a teploty hladiny vody ve výparoměru, viz *obr. 2*.

Z *obr. 2* a *3* je patrná vzájemná korelace mezi hodnotou výparu a teplotou vzduchu (korelační koeficient $r = 0,854$), závislost nejlépe vystihuje mocninná funkce s koeficientem determinace $R^2 = 0,752$.

Závislost výparu na teplotě vody nejlépe vystihuje exponenciální funkce na *obr. 4* s $R^2 = 0,819$ a $r = 0,886$.

Výpar z vodní hladiny nejvíce koreluje s globální sluneční radiací ($r = 0,914$) a jejich vztah nejlépe vystihuje mocninná funkce ($R^2 = 0,884$), viz *obr. 5*.

Výpar s relativní vlhkostí vzduchu vykazuje závislost nepřímo úměrnou ($r = -0,644$). Tuto závislost nejlépe vystihuje lineární funkce ($R^2 = 0,411$) viz *obr. 6*.



Obr. 2. Průběh průměrné denní hodnoty výparu, průměrné teploty vzduchu a vody ve stanici Hlasivo (květen–říjen)

Fig. 2. Average daily evaporation, average air and water temperature in Hlasivo station (May–October)

METODIKA ODVOZOVÁNÍ VZORCŮ

Vzhledem k tomu, že některé veličiny nebyly měřeny od začátku pozorování (vítr, globální sluneční radiace), byly zvoleny dva časové úseky (1957–2018 a 2006–2018), ze kterých byly vzorce odvozovány. Nejprve byly určeny párové závislosti průměrného denního výparu z vodní hladiny (v měsíčním kroku) na jednotlivých meteorologických veličinách. Regresní analýzou byla určena rovnice. Pomocí takto získaných rovnic byl vypočítán výpar.

Následně byly spočteny odchylky (rezidua) vypočítaného výparu od pozorovaného (naměřeného). V následujícím kroku byla regresí vyjádřena závislost vypočítaných rezidií na další meteorologické veličině. Kombinací dvou regresních vztahů došlo k vytvoření nového vzorce pro výpočet výparu, do kterého vstupují dvě meteorologické veličiny. Tento vzorec byl následně rozšířen o další veličinu, a to stejným způsobem. Z vypočítaného výparu byla spočtena rezidua od výparu pozorovaného. Na základě závislosti další meteorologické veličiny s těmito rezidui byl zkombinován nový vzorec.

Výše popsaným postupem byly vytvořeny desítky vzorců z datové řady Hlasivo 2006–2018, které kombinují veličiny: globální sluneční radiace, teplota vzduchu a vody, relativní vlhkost vzduchu a rychlost větru. Dále bylo vytvořeno několik vzorců z nejdelší možné datové řady, které kombinují teplotu vody a vzduchu (1957–2018) a relativní vlhkost vzduchu (1965–2018).

Vhodnost vzorců byla hodnocena na základě průměrné relativní chyby (MRE) a hodnoty Kling-Gupta efficiency (KGE) [11]. Závislosti výparu na datech z let 1957–2018 vykazují vyšší MRE a nižší KGE, jsou ovšem platné pro širší rozsah hodnot. Na základě nejvyšších hodnot KGE a nejnižších hodnot MRE v jednotlivých datových řadách byl zúžen výběr vzorců na 16, viz *tabulka 1*.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Tabulka 1 uvádí výběr vzorců pro výpočet výparu z vodní hladiny. První sloupec značí datovou řadu, ze které daný vzorec vznikl. V případě, že byl vzorec z delší datové řady kombinován s relativní vlhkostí vzduchu, je výpočet aplikován pouze na data od roku 1965.

Nejlépe shody vypočteného a měřeného výparu na základě KGE je dosaženo při použití odvozených vztahů se zastoupením měřených meteorologických veličin: teplota vody, relativní vlhkost vzduchu a rychlost větru (vzorec E5, MRE = 12,31 %, KGE = 0,937). Nejnižší hodnotu MRE vykazuje vzorec E2, do kterého vstupují veličiny: globální sluneční radiace a teplota vzduchu (MRE = 11,08 %, KGE = 0,892). V obou případech se jedná o vzorce vzniklé z datové řady Hlasivo 2006–2018.

Výpočet výparu na základě vzorců vzniklých z delší datové sady odpovídá nejlépe při použití vzorce E15, který kombinuje teplotu vody a relativní vlhkost vzduchu (MRE = 13,24 %, KGE = 0,907) a vzorce E14, kombinující teplotu vody, relativní vlhkost vzduchu a teplotu vzduchu (MRE = 13,20 %, KGE = 0,857). Průběh výparu vypočteného podle vybraných vzorců je znázorněn na *obr. 7*.

Validace vzorců

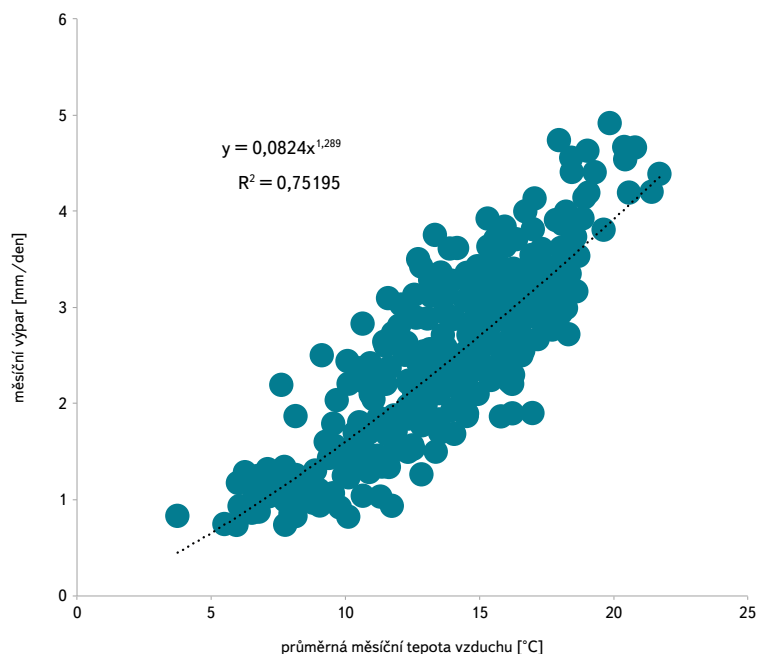
Všechny vytvořené vzorce byly validovány na datové řadě Hlasivo 1999–2005. K dispozici byly všechny veličiny, které vstupují do odvozených vzorců. U globální sluneční radiace není datová řada kontinuální. Jedná se o sezonu 1999 a poté 2001–2005. Výsledky testování jsou uvedeny v *tabulce 1*, sloupec „1999–2005“. Průběh naměřeného a vypočteného výparu je zobrazen na *obr. 8*. Maximální a minimální hodnoty veličin uvádí *tabulka 2*.

Z výsledků vyplývá, že nejlepší shody vypočteného a naměřeného výparu na základě nejnižší hodnoty MRE je dosaženo při použití vzorce založeného na lineárním vztahu s globální sluneční radiací a teplotou vody (vzorec E3, MRE = 10,38 %, KGE = 0,905). Z hodnocení na základě KGE vyplývá, že nejlepší vzorec k výpočtu výparu je vztah založený na kombinaci teploty vody, relativní vlhkosti vzduchu a teploty vzduchu (vzorec E14, MRE = 11,51 %, KGE = 0,933).

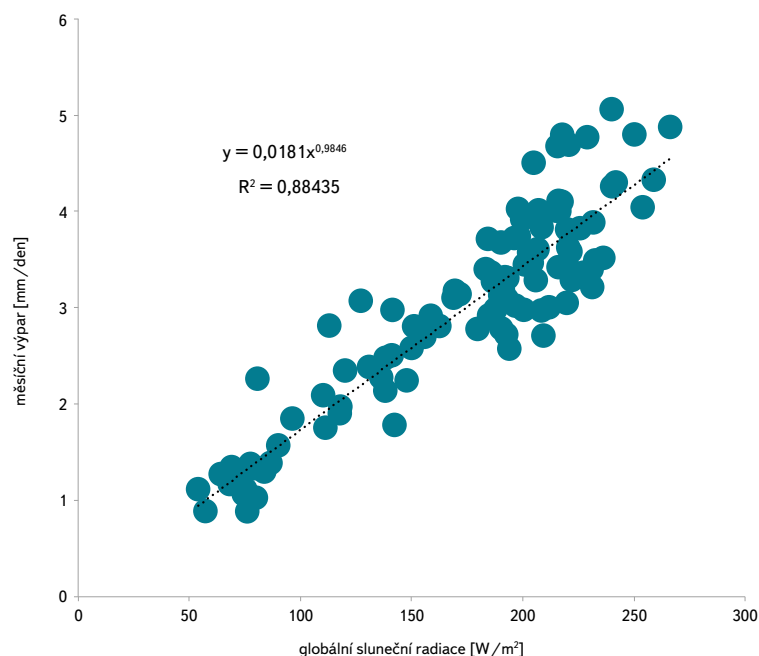
Obecně lze říci, že z hodnocení na základě KGE se jako významná veličina vstupující do výpočtu výparu prokázala teplota hladiny vody. Přičemž, je vhodné využívat vzorců z delší datové řady, jelikož jsou robustnější a mají širší rozsah platnosti, viz *tabulka 2*. Hodnota KGE u vzorců vycházejících z teploty vody se pohybuje mezi 0,85–0,93.

Z hodnocení na základě MRE se jako nejvýznamnější veličina vstupující do vzorců prokázala globální sluneční radiace. U takovýchto vzorců se MRE pohybuje mezi 10,4–12,7 %. Vzorce využívající k výpočtu globální sluneční radiaci jsou k dispozici pouze z datové řady 2006–2018.

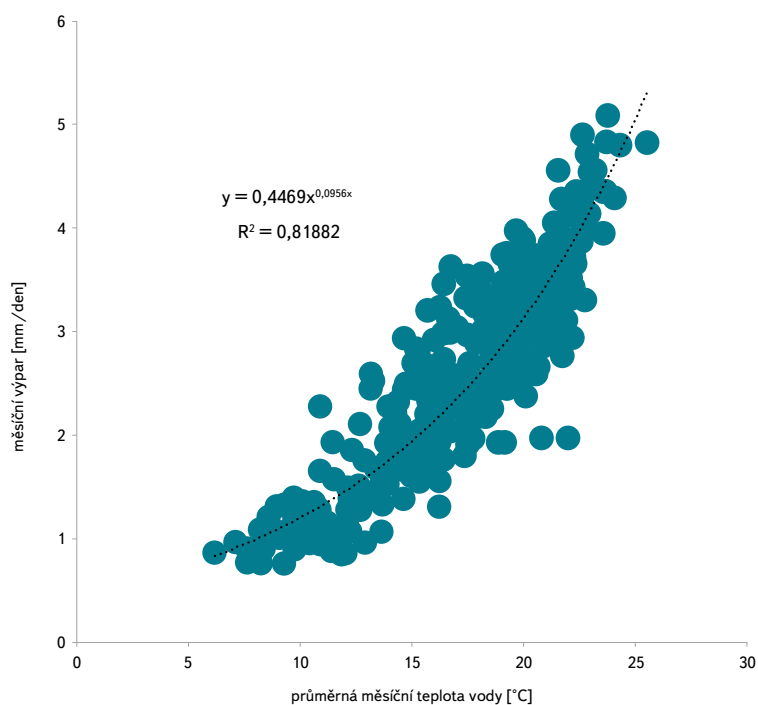
Všechny vzorce byly také aplikovány na datové řadě ze zrušené výparoměrné stanice Tišice u Neratovic, 163 m n. m. (1957–1974). V Tišicích byla rychlost větru ve 2 m měřena od roku 1959 a globální sluneční radiace zde nebyla měřena vůbec. Pro srovnání vypočteného výparu s naměřeným byly použity hodnoty ze srovnávacího výparoměru o stejné ploše jako v Hlasivu. Sezona



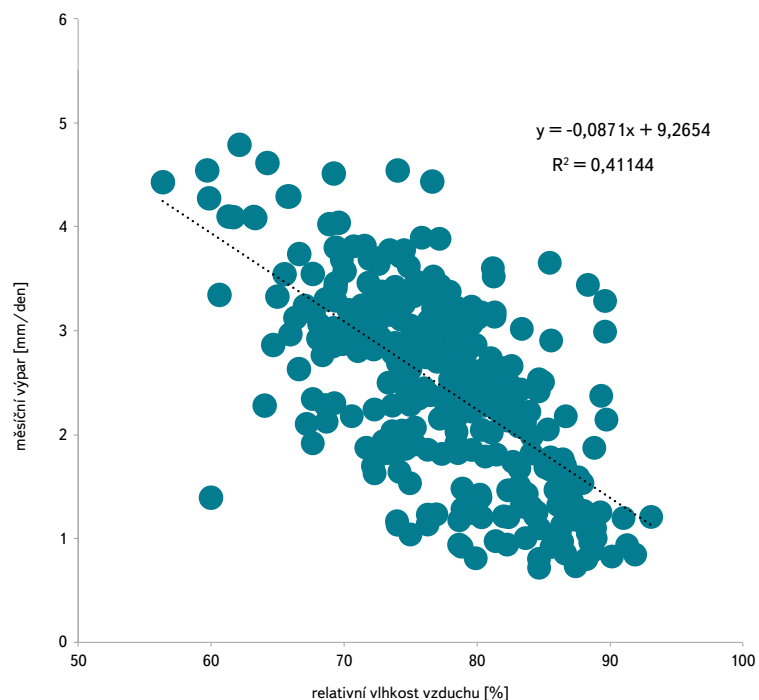
Obr. 3. Vztah mezi průměrnou měsíční teplotou vzduchu a výparem od roku 1957–2018
Fig. 3. Relationship between average monthly air temperature and evaporation from 1957–2018



Obr. 5. Závislost výparu z vodní hladiny na globální sluneční radiaci (1999–2018)
Fig. 5. The dependence of evaporation from water surface on global solar radiation (1999–2018)



Obr. 4. Vztah mezi průměrnou měsíční teplotou vody ve výparoměru a výparem od roku 1957–2018
Fig. 4. Relationship between average monthly water temperature in evaporimeter and evaporation from 1957–2018



Obr. 6. Vztah mezi průměrnou relativní vlhkostí vzduchu a výparem od roku 1965–2018
Fig. 6. Relationship between average relative air humidity and evaporation from 1965–2018

pro měření výparu v Tišicích byla od dubna do října. Výpar byl počítán pouze pro rozsah hodnot platný pro rovnice odvozené z Hlasiva v období 1957–2018. Při ponechání minimálních hodnot se projevil rozsah platnosti vzorců, proto některé výpočty udávaly nereálné hodnoty.

Výsledky testování jsou uvedeny v *tabulce 1*, sloupec „Tišice“. Průběh výparu je zobrazen na *obr. 9*. Nejlepší shody vypočteného a naměřeného výparu na základě hodnoty MRE je dosaženo při použití vzorce E6, založeného na vztahu s teplotou vody a rychlostí větru (MRE = 18,8 %, KGE = 0,755). Z hodnocení na

Tabulka 1. Výběr vzorců pro výpočet výparu a jejich hodnocení na základě MRE a KGE
 Table 1. The formulas for calculating evapotration and their evaluation based on MRE and KGE

Datová sada	Zn.	Veličiny	Vzorec	57 (65)–18		2006–2018		1999–2005		Tišice	
				MRE	KGE	MRE	KGE	MRE	KGE	MRE	KGE
06–18	E1	R	$0,0157 \cdot R^{1,0148}$			0,12	0,89	0,10	0,89		
06–18	E2	R Tvzd	$0,0169 \cdot R + 0,0369 \cdot \text{Tvzd} - 0,002 \cdot R - 0,1536$			0,11	0,89	0,11	0,90		
06–18	E3	R Tv	$0,0157 \cdot R^{1,0148} + 0,0209 \cdot \text{Tv} - 0,0017 \cdot R - 0,069$			0,11	0,89	0,10	0,90		
06–18	E4	Tv	$0,032 \cdot \text{Tv}^{1,5401}$	0,16	0,88	0,14	0,88	0,15	0,89	0,33	0,60
06–18	E5	Tv H V	$0,032 \cdot (\text{Tv}^{1,5401}) - 1,763 \cdot \ln(H) + 0,611 \cdot V - 1,3498$			0,12	0,94	0,12	0,93	0,24	0,67
06–18	E6	Tv V	$0,4834 \cdot \exp(0,0936 \cdot \text{Tv}) + 0,7129 \cdot V - 1,0594$			0,14	0,89	0,14	0,82	0,19	0,76
06–18	E7	Tv V H	$0,4834 \cdot \exp(0,0936 \cdot \text{Tv}) + 0,7129 \cdot V - 1,9686 \cdot H + 0,4706$			0,13	0,92	0,12	0,92	0,21	0,70
57–18	E8	Tvzd	$0,0824 \cdot \text{Tvzd}^{1,289}$	0,17	0,78	0,17	0,73	0,17	0,81	0,28	0,76
57–18	E9	Tvzd	$0,5267 \cdot \exp(0,1073 \cdot \text{Tvzd})$	0,16	0,83	0,17	0,82	0,17	0,84	0,30	0,65
57–18	E10	Tv	$0,0407 \cdot \text{Tv}^{1,4366}$	0,14	0,82	0,15	0,78	0,14	0,85	0,27	0,75
57–18	E11	Tv	$0,4469 \cdot \exp(0,0956 \cdot \text{Tv})$	0,14	0,87	0,14	0,88	0,14	0,89	0,29	0,63
57–18	E12	Tv Tvzd	$0,4469 \cdot \exp(0,0956 \cdot \text{Tv}) - 0,0112 \cdot \text{Tvzd} + 0,1869$	0,15	0,85	0,15	0,86	0,13	0,88	0,30	0,66
57 (65)–18	E13	Tv H	$0,0407 \cdot \text{Tv}^{1,4366} - 2,4396 \cdot H + 1,9261$	0,14	0,90	0,12	0,89	0,13	0,91	0,28	0,68
57 (65)–18	E14	Tv H Tvzd	$0,0407 \cdot \text{Tv}^{1,4366} - 1,893 \cdot \ln(H) - 0,239 \cdot \ln(\text{Tvzd}) + 0,1645$	0,13	0,86	0,12	0,85	0,12	0,93	0,29	0,73
57 (65)–18	E15	Tv H	$0,4469 \cdot \exp(0,0956 \cdot \text{Tv}) - 1,8338 \cdot H + 1,4425$	0,13	0,91	0,13	0,89	0,13	0,86	0,29	0,58
57 (65)–18	E16	Tvzd H	$0,0824 \cdot \text{Tvzd}^{1,289} - 2,3265 \cdot H + 1,8627$	0,16	0,86	0,15	0,84	0,16	0,88	0,31	0,70

Vysvětlivky:

E = výpar [mm/den], R = průměrná denní radiace [W/m^2], Tv = teplota vody [$^{\circ}C$], $Tvzd$ = teplota vzduchu [$^{\circ}C$], H = relativní vlhkost vzduchu [%/100], V = vítr [m/s]

Explanatory notes:

E = evaporation [mm/den], R = average daily radiation [W/m^2], Tv = water temperature [$^{\circ}C$], $Tvzd$ = air temperature [$^{\circ}C$], H = relative air humidity [%/100], V = air velocity [m/s]

Tabulka 2. Maximální a minimální hodnoty veličin naměřené ve stanici Hlasivo (měsíční průměry)
 Table 2. Maximum and minimum values, measured in the Hlasivo station (monthly averages)

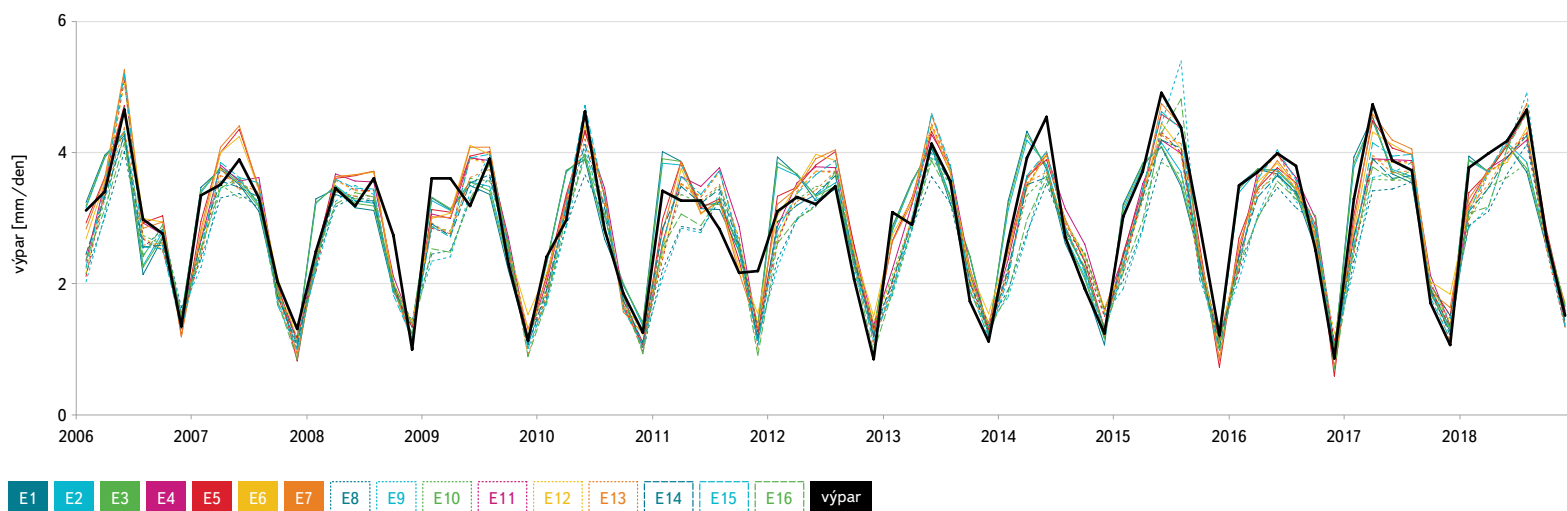
	E min./max. [mm/den]		R min./max. [W/m^2]		Tv min./max. [$^{\circ}C$]		Tvzd min./max. [$^{\circ}C$]		H min./max. [%/100]		V min./max. [m/s]	
Hlasivo 57–18	0,73	4,91	-	-	6,2	25,5	3,7	21,7	0,56	0,93	-	-
Hlasivo 06–18	0,85	4,91	57,1	266,5	9,5	25,5	6,8	21,7	0,60	0,93	0,7	2,4
Hlasivo 99–05	1,03	4,54	54,0	266,5	8,6	23,7	6,2	20,5	0,56	0,89	0,8	2,0

Vysvětlivky:

E = výpar, R = globální radiace, Tv = teplota vody, $Tvzd$ = teplota vzduchu, H = relativní vlhkost vzduchu, V = rychlost větru

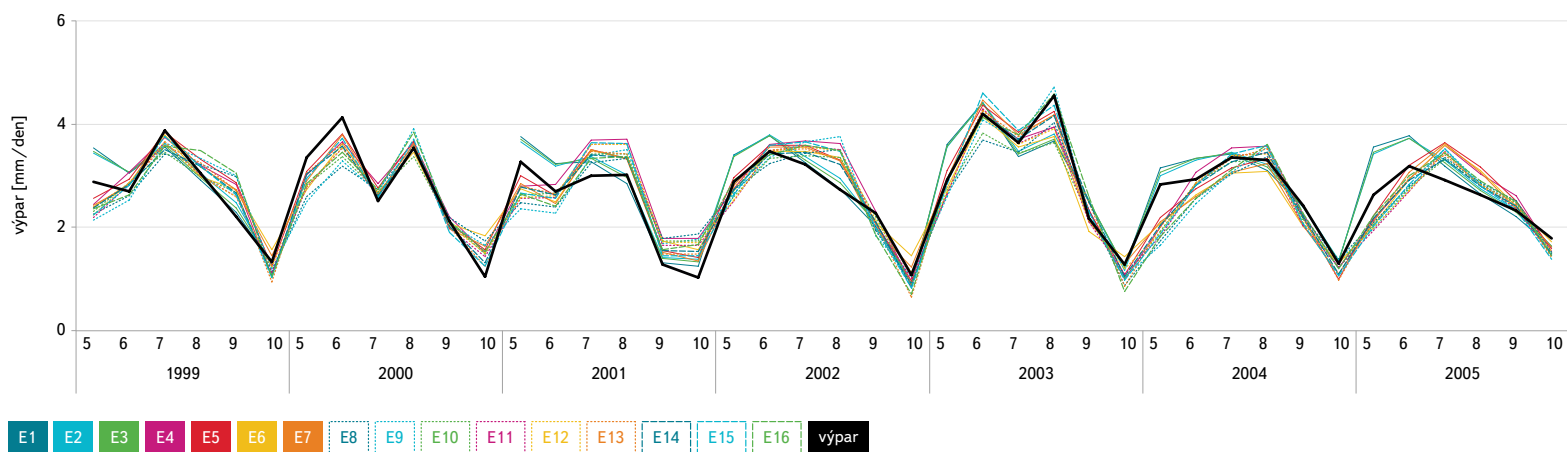
Explanatory notes:

E = evaporation, R = global solar radiation, Tv = water temperature, $Tvzd$ = air temperature, H = relative air humidity, V = air velocity



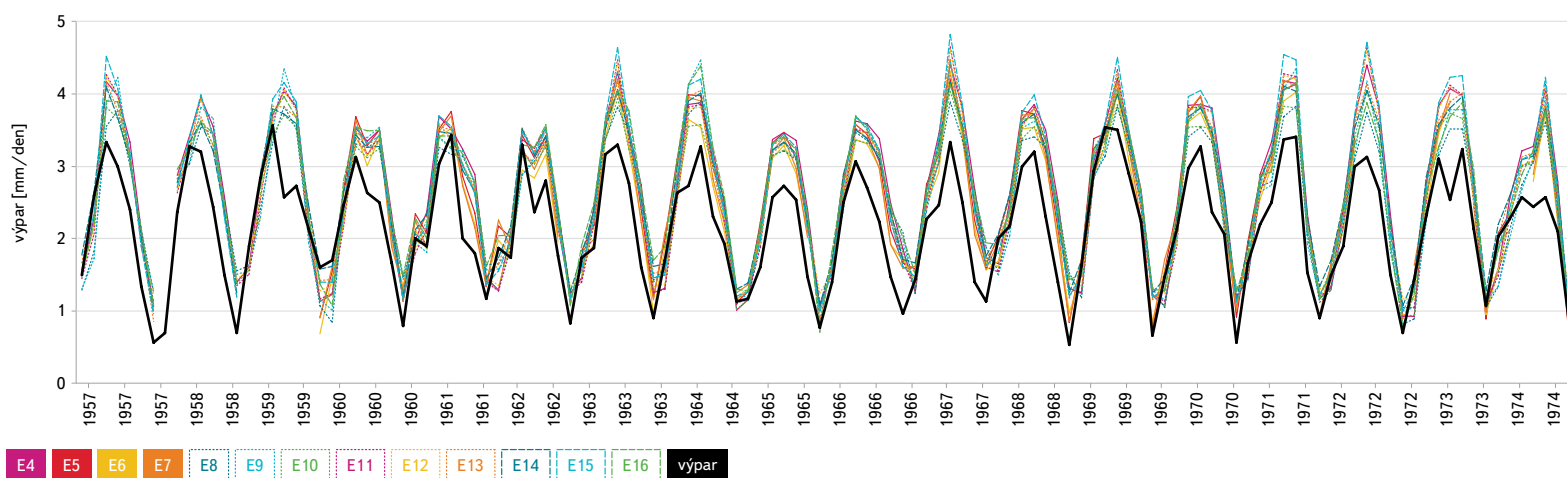
Obr. 7. Průběh naměřeného (černá barva) a vypočteného výparu pro roky 2006–2018

Fig. 7. Measured (black color) and calculated evaporation for years 2006–2018



Obr. 8. Průběh naměřeného výparu (černá barva) a vypočteného výparu pro roky 1999–2005

Fig. 8. Measured evaporation (black color) and calculated evaporation for years 1999–2005



Obr. 9. Průběh naměřeného výparu (černá barva) a vypočteného výparu pro stanici Tíšice

Fig. 9. Measured evaporation (black color) and calculated evaporation for Tíšice station



základě KGE vyplývá, že nejlepší vzorec k výpočtu výparu je vztah založený na jednoduché párové regresi s teplotou vzduchu (vzorec E8, MRE = 28,2 %, KGE = 0,756).

Obecně lze výsledky interpretovat tak, že rychlost větru je významnou veličinou, která zpřesňuje výpočet výparu. Při absenci měření rychlosti větru je vždy lepší použít vzorce vzniklé z delší datové řady, jelikož vykazují vyšší shodu na základě KGE. Dále bylo prokázáno, že jednoduchá párová regrese s teplotou vzduchu, nebo vody je pro výpočet výparu pro stanici Tišice přesnější, než vícenásobné regrese kombinující relativní vlhkost vzduchu.

ZÁVĚR

Všechny regresní vztahy pro výpočet výparu byly odvozeny na základě dat měřených pouze od května do října. Obor platnosti těchto vztahů je definován rozsahem hodnot uvedených v *tabulce 2*. Vytvořené vzorce byly validovány na datové řadě Hlasivo 1999–2005 a ověřené na datech ze stanice Tišice 1957–1974.

Pro výpočet výparu ve stanici Hlasivo jsou stěžejní vzorce, které obsahují globální sluneční radiaci, jež vykazují nejnižší MRE, konkrétně vzorec E3. Další stěžejní veličinou je teplota hladiny vody ve výparoměru, především v kombinaci s dalšími meteorologickými veličinami, které daný výpočet zpřesňují. Velmi dobře vychází vícenásobná regrese teploty hladiny vody s relativní vlhkostí vzduchu a teplotou vzduchu (vzorec E14), popř. teplota hladiny vody s relativní vlhkostí vzduchu a rychlostí větru (vzorec E5).

Pro výpočet výparu pro stanici Tišice je vhodné využít vzorce z delší datové sady, zakládající se na jednoduché párové regresi s teplotou vody (vzorec E10), anebo vzduchu (vzorec E8), popř. vzorce kombinující teplotu vody a rychlost větru (vzorec E6). Vhodnost využití globální sluneční radiace nebylo možné testovat.

Volba vzorců pro výpočet výparu závisí na dostupnosti jednotlivých meteorologických veličin, přičemž je nutné ověřit i rozsah platnosti jednotlivých vzorců.

Pro zpřesnění výpočtů je nutné vzorce validovat na více datových sadách z různých lokalit. Následně vytvořit sady vzorců, které budou využitelné pro lokality s podobnými geografickými charakteristikami. Dá se předpokládat, že vzorce ověřené na stanici Tišice jsou již nyní použitelné pro jiné lokality, avšak uživatel musí počítat s chybou 20–30 %.

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

Poděkování

Článek vznikl na základě výzkumu prováděného v rámci projektu Technologické agentury ČR TJ01000196 Vytvoření softwaru pro výpočet výparu z vodní hladiny pro podmínky ČR v rámci programu Zéta.

Literatura

- [1] SZEICZ, G. and LONG, I.F. *Surface resistance of crop canopies*. 1969. p. 122.
- [2] ČSN 75 2405. *Vodohospodářská řešení vodních nádrží*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [3] ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., REAS, D., and SMITH M. *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56*. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1998. ISBN 92-5-104219-5.
- [4] BERAN, A. a VIZINA, A. Odvození regresních vztahů pro výpočet výparu z volné hladiny a identifikace trendů ve vývoji měřených veličin ve výparoměrné stanici Hlasivo. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2013, 55, č. 4.
- [5] MOŽNÝ, M. Automatizace měření výparu z volné vodní hladiny. *Meteorologické zprávy*, 2003, 56, 5, s. 150–155.
- [6] BYCZKOWSKI, A. *Hydrologiczne podstawy projektowy wodnomelioracyjnych przepływ charakterystyczne*. Państwowe Wydawnictwo Rolnictwa i Leśnictwa, 1979. 401 s. ISBN 83-09-00035-9.
- [7] GASH, J.H.C. and SHUTTLEWORTH, W.J. *Evaporation*. Wallingford: IAHS Press, 2007. 521 s. ISBN 978-1-901502-98-5.
- [8] PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. A.*, 1948, 193, p. 120–145.
- [9] BUDÍK, L. a kol. *Odvození základních hydrologických údajů za referenční období 1981–2000*. Praha: ČHMÚ, 2015. 35 s.
- [10] MRKVIČKOVÁ, M. Vyhodnocení měření na výparoměrné stanici Hlasivo. *VTEI*, 49/II, příloha Vodního hospodářství, 2007, č. 6, s. 9–11. ISSN 0322-8916.
- [11] GUPTA, H.V., KLING, H., YILMAZ, K.K., and MARTINEZ, G.F. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modeling. *Journal of Hydrology*, 2009, vol. 377, No. 1–2, p. 80–91.

Autoři

Mgr. Petra Šuhájková^{1,2}

✉ petra.suhajkova@vuv.cz

Ing. Roman Kožín^{1,2}

✉ roman.kozin@vuv.cz

Ing. Adam Beran, Ph.D.^{1,2}

✉ adam.beran@vuv.cz

Ing. Eva Melišová²

✉ melisovae@fzp.czu.cz

Ing. Adam Vizina, Ph.D.^{1,2}

✉ adam.vizina@vuv.cz

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.^{1,2}

✉ martin.hanel@vuv.cz

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

²Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze

Příspěvek prošel lektorským řízením.

UPDATE OF EMPIRICAL RELATIONSHIPS FOR CALCULATION OF FREE WATER SURFACE EVAPORATION BASED ON OBSERVATION AT HLASIVO STATION

**SUHAJKOVA, P.^{1,2}; KOZIN, R.^{1,2}; BERAN, A.^{1,2};
MELISOVA, E.²; VIZINA, A.^{1,2}; HANEL, M.^{1,2}**

¹TGM Water Research Institute, p.r.i.

²Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences Prague

Keywords: evaporation — evaporation pan —
evaporation station Hlasivo — evaporation station Tišice —
regression analysis

Evaporation from free water surface is one of the essential components of water circulation in nature and significantly affects the overall water balance of the catchment. Due to the complicated direct measurement, it is often calculated from formulas that require available meteorological variables as input data.

The paper describes the method to obtain empirical relations for the estimation of evaporation as functions of available meteorological data in the Hlasivo station. Multiple linear and non-linear regression technique is used for fitting the best model forms. The best results were obtained using the formula based on global solar radiation and water temperature and the formula based on the combination of water temperature, relative air humidity and air temperature (or wind speed).

The formulas were evaluated by mean relative error (MRE) and Kling-Gupta efficiency (KGE). The formulas were validated on a historical data set from the canceled Tišice evaporation station. The results show that it is preferable to use formulas based on simple paired regression with one meteorological variable (water temperature or air temperature) to calculate the evaporation for another site, as opposed to equations obtained by multiple regression. When using empirical formulas, it is always necessary to verify their validity.

Ztráta vody výparem z volné vodní hladiny

ADAM BERAN, LADISLAV KAŠPÁREK, ADAM VIZINA, PETRA ŠUHÁJKOVÁ

Klíčová slova: výpar z vodní hladiny — celkový odtok — hydrické rekultivace — hydrologická bilance

SOUHRN

Vliv výparu z vodní hladiny na celkovou hydrologickou bilanci povodí může být značný, a to především v letech s nízkými srážkovými úhrny. Na povodích s významným zastoupením vodních ploch se vlivem oteplování jeho význam zvyšuje. V příspěvku je vyčíslena ztráta vody výparem z rybníční soustavy jižních Čech s dopady na celkový odtok z povodí Lužnice. Je také zmíněn vliv výparu z jezer vzniklých hydrickými rekultivacemi území zasažených povrchovou těžbou v severních Čechách.

ÚVOD

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

V popředí zájmu je klimatická změna, jejíž dopady mají dalekosáhlý vliv na různé oblasti lidských činností. Vodní hospodářství, jež je v ČR výlučně závislé na srážkových vodách, je z tohoto hlediska dopady klimatické změny významně ohroženo a může být citelně zasaženo. Aktuálně se jako největší problém jeví zvyšující se teplota vzduchu, jež má za následek zvyšování územního výparu a výparu z vodních ploch. Tyto ztráty vody z hydrologického systému nejsou dostatečně nahrazeny srážkovými úhrny, jež jsou na území ČR nerovnoměrně rozloženy, a tím pádem se v ČR vyskytují oblasti, kde celkový výpar převyšuje srážky a dochází k projevům sucha (např. [1, 2]). Na extrémní projevy klimatické změny je zapotřebí reagovat za pomoci navrhování adaptačních opatření, jež dokážou negativní dopady klimatické změny zmírnit, nebo jim zabránit.

V článku je popsán vliv výparu z vodní plochy na povodí Lužnice po uzávěrový profil Bechyně. Na tomto území se nachází nejvýznamnější rybníční soustavy v ČR. Vyhodnocení suchých let s extrémně nízkými úhrny srážek 2015 a 2018 Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) [3] dává důležitý podklad pro zamyšlení se nad navrhováním malých vodních nádrží a jejich lokalizaci. Ty mohou při využití pro rybochovné potřeby a špatným umístěním zhoršovat celkovou hydrologickou situaci na povodí. V závěru jsou v příspěvku uvedeny hlavní výsledky studie VÚV TGM, jež se mj. zabývala určením výparu z vodní hladiny jezera Most. Problematika výparu z vodní hladiny je v souvislosti se zatápěním jam po povrchové těžbě vzhledem k charakteru počasí v posledních letech vysoce aktuální. Zejména se řeší vhodnost hydrických rekultivací u neprůtočných jezer, tam kde je výpar vyšší než srážkové úhrny.

DATA A METODY

Zájmové oblasti

Pro popsání vlivu rybníční soustavy na celkový odtok z povodí bylo vybráno povodí Lužnice po profil Bechyně (*obr. 1*), které je typické vysokým zastoupením vodních ploch na svém území. Nachází se zde rybníční soustavy jižních Čech, jež svou plochou zaujímají 82,64 km², z celkové plochy povodí 4 055 km². Podíl vodních ploch na celkovém území je přibližně 2 %. Rybníky jsou většinou využívány k umělému chovu ryb. Ne všechny rybníky jsou propojeny s říční soustavou, nicméně prezentované výsledky výpočtu výparu mají spíše informativní charakter a jsou uvedeny pro řádovou představu vlivu výparu z vodních ploch na celkový odtok z povodí během suchých období. Dlouhodobý průměr teploty vzduchu na povodí Lužnice je 7,5–8 °C, dlouhodobé roční srážkové úhrny 600–650 mm [5].

Druhou zájmovou lokalitou je jezero Most, vzniklé zatopením bývalého povrchového Dolu Ležáky sloužícího do roku 1999 k těžbě hnědého uhlí. Jezero má plochu 311 ha a objem vody přibližně 70 mil. m³. Kompletně napuštěno bylo v roce 2014. Dlouhodobý průměr teploty vzduchu na území jezera Most je 8,5–9 °C, dlouhodobé roční srážkové úhrny 500–550 mm [5].

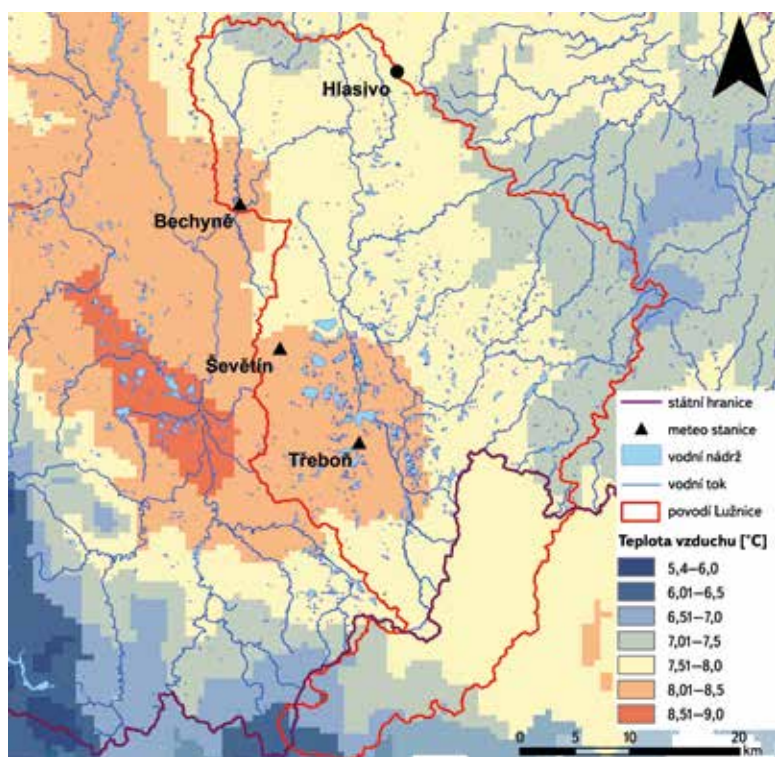
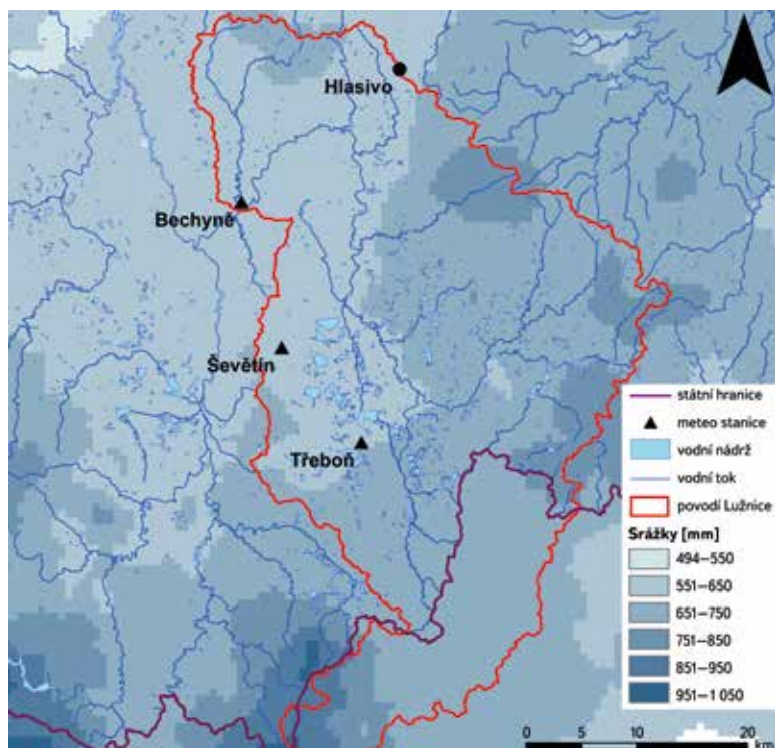
Hlavním zdrojem dat pro odvozování empirických vztahů pro výpočet výparu z vodní hladiny je výparoměrná stanice Hlasivo u Tábora.

Výparoměrná stanice Hlasivo

Pozorování výparu z vodní hladiny probíhá ve výparoměrné stanici Hlasivo u Tábora od roku 1957, poskytuje tedy dostatečně dlouhou řadu měřeného výparu z vodní hladiny (*obr. 2*) společně s dalšími meteorologickými veličinami (teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, teplota půdy v různých hloubkách, rychlost a směr větru, úhrn a intenzita srážek, globální sluneční radiace, teplota vody ve výparoměrech). Pozorování ostatních meteorologických veličin společně s výparem dovoluje odvozování empirických vztahů, jež slouží pro výpočet výparu z vodní hladiny i v jiných oblastech ČR. Na *obr. 2* lze pozorovat nárůst průměrného denního výparu z vodní hladiny cca o 0,5 mm/den v posledních letech, to představuje zvýšení výparu z vodní hladiny ve vegetačním období téměř o 100 mm (pro představu na plochu jezera Most se jedná navýšení o cca 300 tis. m³/rok).

Dlouhodobý průměr teploty vzduchu je 7,5–8 °C, dlouhodobé roční srážkové úhrny 550–600 mm [5].

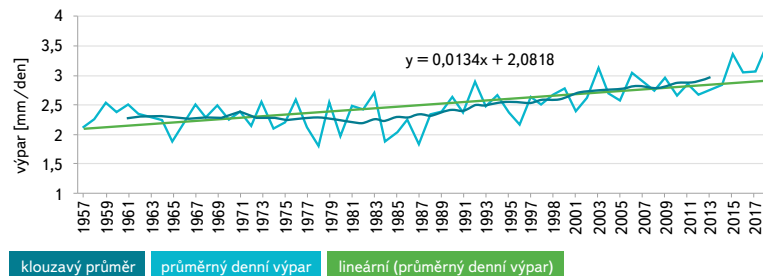
Výpar se měří obvykle v období od dubna (května) do října, kdy se teplota pohybuje většinou nad bodem mrazu a nedochází k zamrznutí výparoměrného zařízení. Ve stanici Hlasivo se po mnohaletých zkušenostech omezila měřicí perioda na měsíce květen až říjen.



Obr. 1. Zájmová oblast povodí Lužnice po profil Bechyně, výparoměrná a meteorologické stanice (nahore: srážkové úhrny, dole: průměrná teplota vzduchu)

Fig. 1. Lužnice catchment (Bechyně), evaporation and meteorological stations (above: map of precipitation, down: map of average air temperature)

Pro výpočet výparu na vodních plochách na povodí Lužnice byl použit nejednodušší empirický vztah, jenž vyžaduje pouze měřené hodnoty teploty vzduchu. Tento vzorec (uveden níže) byl odvozen na základě závislosti pozorovaného výparu a teploty vzduchu ve stanici Hlasivo za období 1957–2018. Vzorce s využitím globální sluneční radiace, teploty vody, případně jejich kombinace,



Obr. 2. Průměrný denní výpar v sezoně květen až říjen v letech 1957–2018
Fig. 2. Mean daily evaporation in season May–October in 1957–2018

dávají přesnější výsledky, nicméně tyto měřené veličiny jsme neměli k dispozici a účelem bylo poskytnout přibližný odhad, pro který nám vztah vyhovuje. Odvození empirických vztahů pro výpočet výparu z vodní hladiny je uvedeno v průběžné zprávě projektu TJ01000196 Vytvoření software pro výpočet výparu z vodní hladiny pro podmínky ČR [4]. Odvozený vzorec je:

$$V_{VH} = 0,0824 \times T_{vzd}^{1,289} \quad (1)$$

kde V_{VH} je výpar z vodní hladiny [mm/měsíc],
 T_{vzd} průměrná měsíční teplota vzduchu [°C].

Použitá data

Průběh pozorovaného odtoku a celkových srážek ve vodoměrné stanici Bechyně na Lužnici byl převzat ze zprávy ČHMÚ Sucho v roce 2018 [3]. Ve zprávě je uveden hydrogram průměrných denních průtoků za období duben až říjen 2018 a porovnán s rokem 2015. Tyto dva roky byly extrémní z hlediska nízkých úhrnů srážek, jejich distribucí v průběhu roku a navíc rok 2018 byl nejteplejším rokem na území ČR zaznamenaným v období od roku 1961.

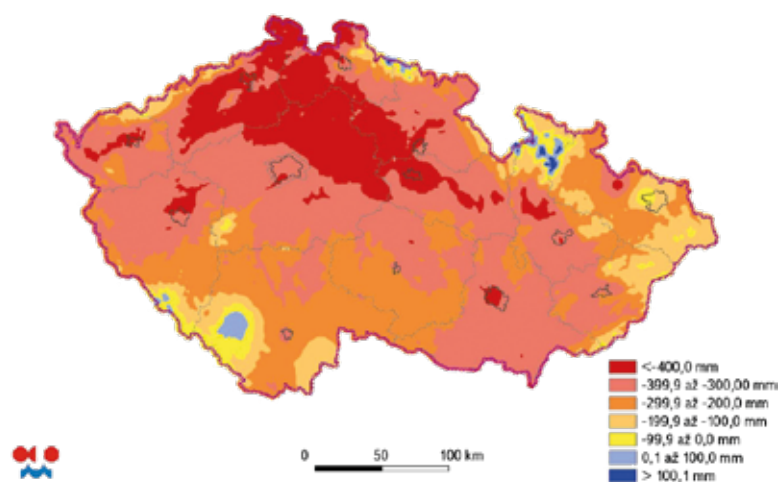
Obrázek 3 ukazuje bilanci srážek a potenciální evapotranspirace, kdy v roce 2018 (duben až září) byly téměř na celém území ČR srážky podstatně nižší.

Celkové rozložení dlouhodobých úhrnů srážek na ploše povodí a v okolí bylo získáno z map v Atlasu podnebí Česka od kolektivu autorů z ČHMÚ [5]. Obrázky 7,8 a 9 byly sestaveny na základě dat ze tří klimatických stanic (Bechyně, Třeboň-Lužnice a Ševětín-Mazelov).

Pro výpočty výparu na jezeře Most byly k dispozici měřené hodnoty výparu z plovoucího výparoměru na jezeře spolu s dalšími měřeními klimatickými veličinami od Palivového kombinátu Ústí, s. p., dále byla k dispozici klimatická data (srážkové úhrny, teplota vzduchu, rychlost větru) z nedaleké stanice ČHMÚ Kopisty.

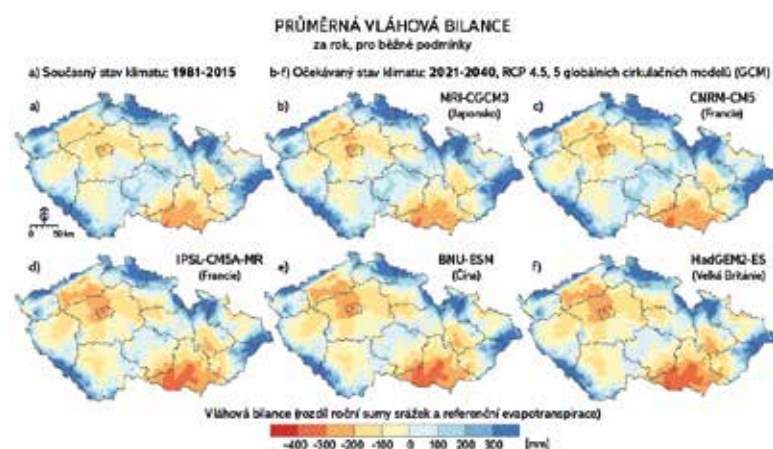
Znárodně dva mapové listy (obr. 4 a 5) zachycující klimatologickou vodní bilanci (rozdíl mezi ročním úhrnem srážek a referenční evapotranspirací) pro kalendářní rok pro současné (1981–2015) klimatické podmínky a podmínky očekávané v období 2021–2040 na základě odhadu pěti globálních cirkulačních modelů. Ty reprezentují jak pomyslný střed rozsahu změn teplot a úhrnů srážek (IPSL), tak modely předpokládající spíše mírný nárůst srážek (CNMR a MRI), resp. pokles srážek (HadGEM, BNU) ve vegetačním období a liší se i mírou nárůstu teplot. Modely HadGEM a CNMR zastupují modely s větším nárůstem teploty a modely MRI a BNU spíše s menším nárůstem teplot. Na prvním obrázku je zachycena vláhová bilance pro běžný rok (medián) a na druhém pro tzv. 10leté sucho (10% percentil). Z map je zřejmé, kde se nacházejí oblasti, které jsou bilančně deficitní. Odhad vývoje klimatu naznačuje prohlubující se vodní deficit pro všech pět globálních cirkulačních modelů a zvýšení deficitu vláhové bilance na většině území jak v běžném roce, tak v případě 10letého sucha. Výsledky vychází z Generelu vodního hospodářství krajiny ČR [6].





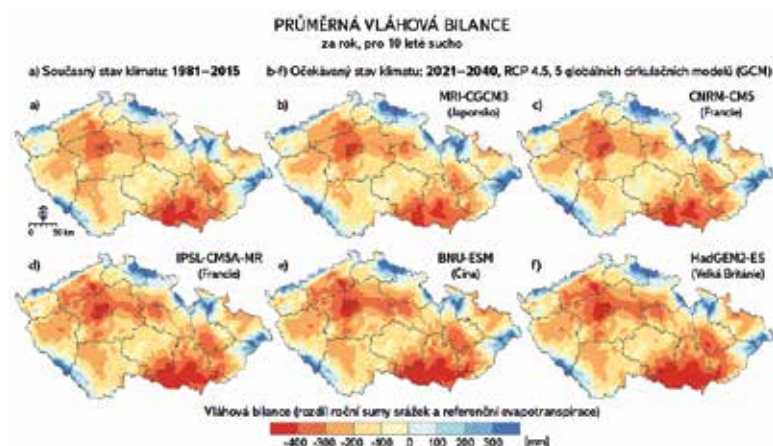
Obr. 3. Rozdíl sumy srážek a potenciální evapotranspirace travního porostu v mm za duben až září 2018 [3]

Fig. 3. Difference rainfall-potential evapotranspiration in mm (April–September 2018) [3]



Obr. 4. Vláhová bilance za období leden–prosinec pro běžný rok pro současné klimatické podmínky (1981–2015) a očekávané v období 2021–2040 pro 5 GCM modelů [6]

Fig. 4. Average moisture balance for period from January to December for current climatic conditions (1981–2015) and for predictions of 5 GCM models for the period 2021–2040 [6]



Obr. 5. Vláhová bilance za období leden–prosinec pro 10leté sucho pro současné klimatické podmínky (1981–2015) a očekávané v období 2021–2040 pro 5 GCM modelů [6]

Fig. 5. Moisture balance in a 10 year drought for the period from January to December for current climate conditions (1981–2015) and for predictions of 5 GCM models for the period 2021–2040 [6]

VÝSLEDKY

Povodí Lužnice

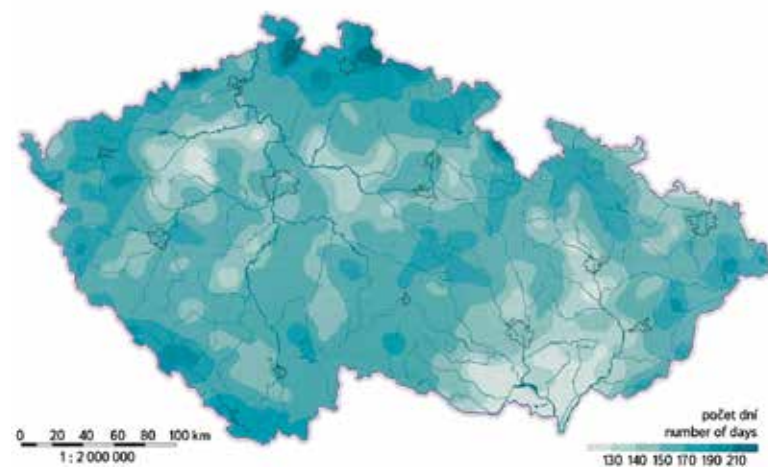
VLIV RYBNÍČNÍ SOUSTAVY NA ZVÝŠENÍ SRÁŽEK

První řešenou úlohou bylo posoudit, jestli rybníční soustava zvětšuje srážky a do jaké míry. Jde o efekt takzvaného malého oběhu vody.

Na mapě průměrného ročního srážkového úhrnu srážek (obr. 1) není patrné, že by se přítomnost vodních ploch v povodí Lužnice projevila zvětšením srážek v jejich okolí. Účinek vodních ploch na lokální zvýšení srážek je viditelný z obr. 6, kde je znázorněn průměrný roční počet srážkových dní s úhrnem vyšším než 0,1 mm. Nicméně tato skutečnost již není viditelná na mapě průměrného ročního počtu srážkových dní s úhrnem vyšším než 1 mm (obr. 10). Na základě výše uvedených skutečností lze konstatovat, že účinkem vodních ploch v povodí Lužnice je zvětšení počtu srážek jen do velikosti 0,1 mm. Značná část srážek velikosti do 0,1 mm je patrně tvořena usazenými srážkami, které v suchých obdobích prospívají vegetaci. Rozdíl počtu dní se srážkami do 0,1 mm v okolí rybníční soustavy od okolního území je přibližně 50 dní. Roční zvýšení srážek je tedy cca 5 mm. Z hlediska celkového ročního úhrnu je to méně než 1 %, což je v hydrologické bilanci území zanedbatelné. Podle [7] se z výparu nad pevninou do tvorby srážek zapojí v pásu dlouhém 500 km 8,8 %. Při odhadnuté šíři pásu, ve kterém se srážka z rybníční soustavy v povodí Lužnice uplatňuje hodnotou 20 km, by voda vypařená z rybníků zvětšila srážky v území 20 × 500 km o 0,06 mm/měsíc. Tento fakt potvrzuje i graf na obr. 7, který porovnává četnosti srážkových úhrnů s daným úhrnem (jedná se o vyhlazený histogram), pro dvě meteorologické stanice nacházející se v rybníční soustavě a jednu mimo ni (viz obr. 1, tabulka 1). Na grafu je možné pozorovat rozdíl četností nižších denních srážkových úhrnů, kdy stanice Ševětín a Třeboň vykazují vyšší počet dnů se srážkovým úhrnem. V tabulce 1 jsou uvedeny počty dní v roce se srážkovým úhrnem pro jednotlivá období. Průměrný počet dní se srážkou větší než 0,1 mm za období 1961–2016 je u stanic nacházejících se v rybníční soustavě 165, o 20 více než ve stanici Bechyně. Obrázek 8 reprezentuje časový vývoj v počtu dní se srážkovým úhrnem. Je zřejmé a zajímavé, že tento počet dní v posledních letech roste, a to právě u srážky s nízkým úhrnem (obr. 9).

VLIV VÝPARU NA CELKOVÝ ODTOK Z POVODÍ V OBDOBÍ SUCHA

Na obr. 11 jsou uvedeny hydrogramy průměrných denních průtoků na Lužnici v profilu Bechyně pro roky 2015 a 2018. Z průběhu je možné vypořizovat, že průběh denních průtoků byl v období od dubna do listopadu velice podobný,

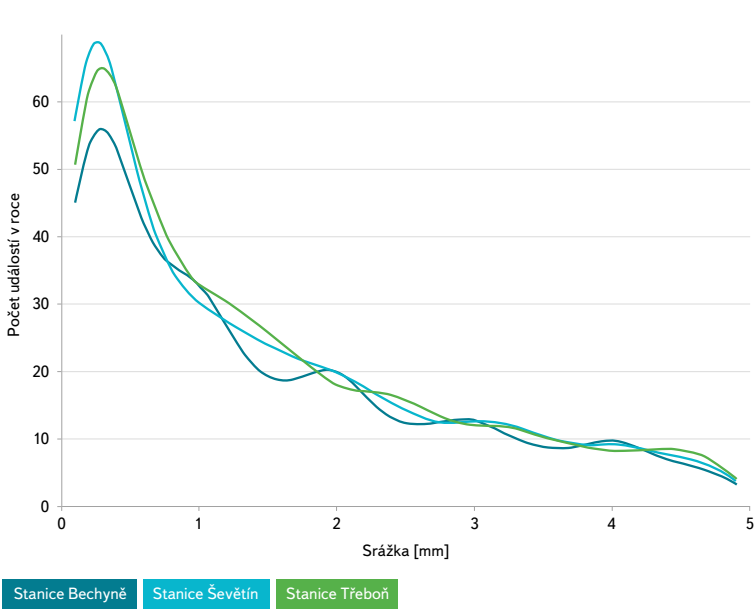


Obr. 6. Průměrný roční počet srážkových dní s úhrnem vyšším než 0,1 mm [5]

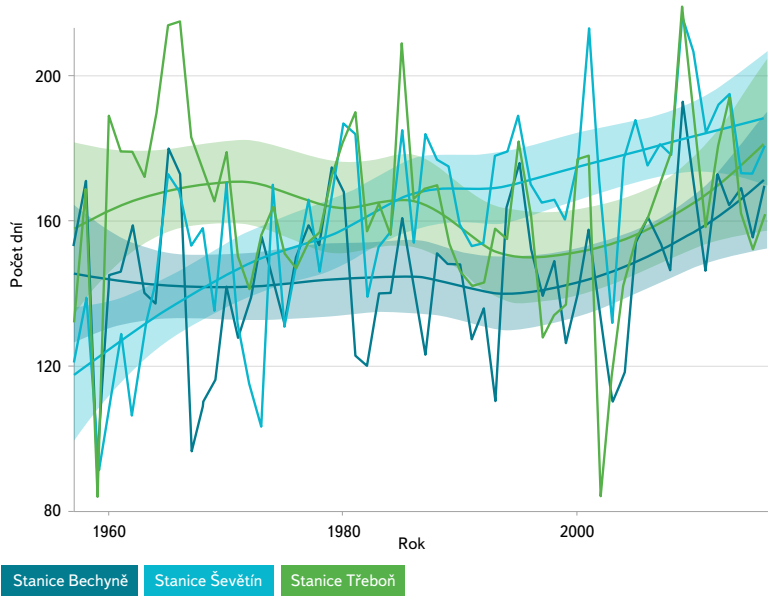
Fig. 6. Mean annual number of days with rain higher than 0.1 mm [5]

Tabulka 1. Počet dní se srážkovým úhrnem větším než 0,1 mm včetně
Table 1. Number of days with a total precipitation higher than 0.1 mm (inclusive)

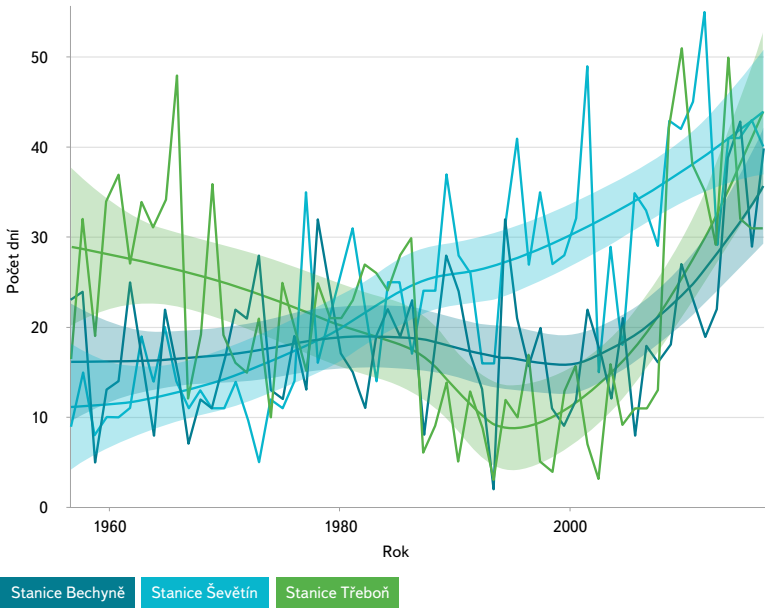
CHMI_ID	Název stanice	Nadm. Výška [m n. m.]	Počet dní 1961–1980	Počet dní 1981–2010	Počet dní 2010–2016	Počet dní 1961–2016
C2BECH01	Bechyně	406	145	144	163	146
C2TREB01	Třeboň, Lužnice	428	171	160	168	165
C2SEVE01	Ševětín, Mazelov	438	146	173	183	165



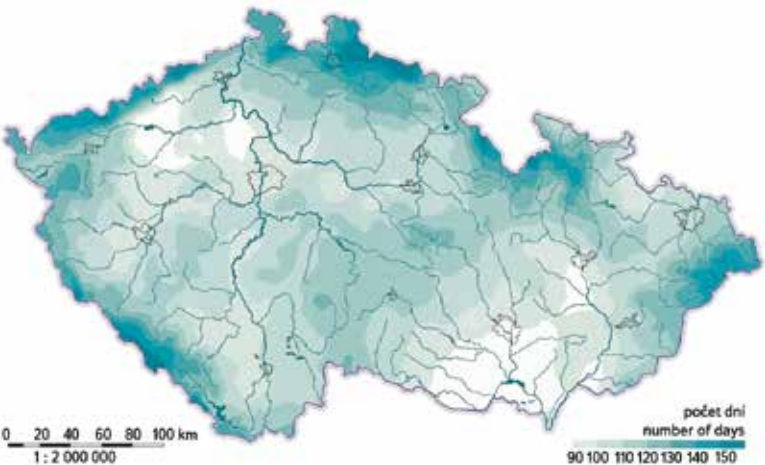
Obr. 7. Výskyt srážkových úhrnů od 0,1 mm (včetně) do 5 mm pro jednotlivé stanice
Fig. 7. Occurrence of precipitation amounts from 0.1 mm (inclusive) to 5 mm for selected stations



Obr. 8. Počet dní se srážkovým úhrnem větším než 0,1 mm včetně v jednotlivých letech (křivka je vyhlazena metodou loess); barevný pás značí interval spolehlivosti na 0,95
Fig. 8. Number of days with total precipitation higher than 0.1 mm inclusive (the curve is smoothed by loess method); color belt represents confidence interval level 0.95



Obr. 9. Počet dní se srážkovým úhrnem větším než 0,1 mm a menším než 0,2 mm včetně v jednotlivých letech (křivka je vyhlazena metodou loess); barevný pás značí interval spolehlivosti na 0,95
Fig. 9. Number of days with total precipitation higher than 0.1 mm and less than 0.2 mm inclusive (the curve is smoothed by loess method); color belt represents confidence interval level 0.95



Obr. 10. Průměrný roční počet srážkových dní s úhrnem vyšším než 1 mm [5]
Fig. 10. Mean annual number of days with rain higher than 1 mm [5]

v období od půlky července až do konce září průměrné denní průtoky nedosahovaly ani hodnoty Q_{364} v obou zmiňovaných rocích.

Pro vyčíslení vlivu výparu z vodních ploch na povodí Lužnice byl na základě průměrných měsíčních teplot vzduchu z výparoměrné stanice Hlasivo spočítán průměrný výpar, od kterého byly dále odečteny průměrné srážky. Tato průměrná ztráta vody výparem byla na základě celkové plochy vodních ploch na povodí (82,64 km²) převedena na průtok v jednotkách m³/s (obr. 12). Z grafu je patrné, že vliv výparu z vodních ploch na povodí Lužnice značnou část vegetační sezony od května do září převyšuje v profilu Bechyně m-denní průtok Q_{364} (1,78 m³/s), v maximech dosahuje dokonce hodnot Q_{355} (2,91 m³/s).

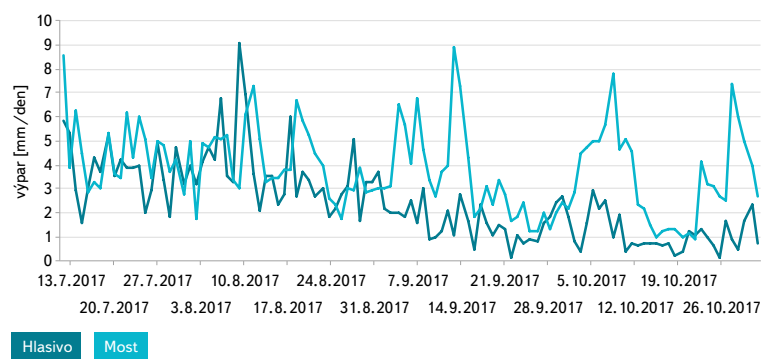
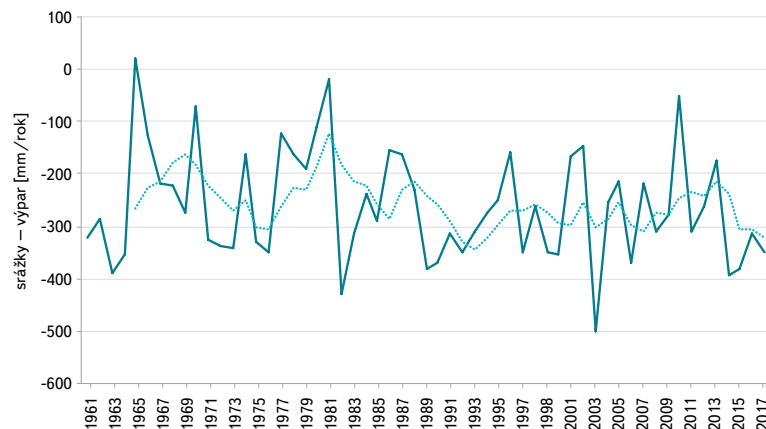
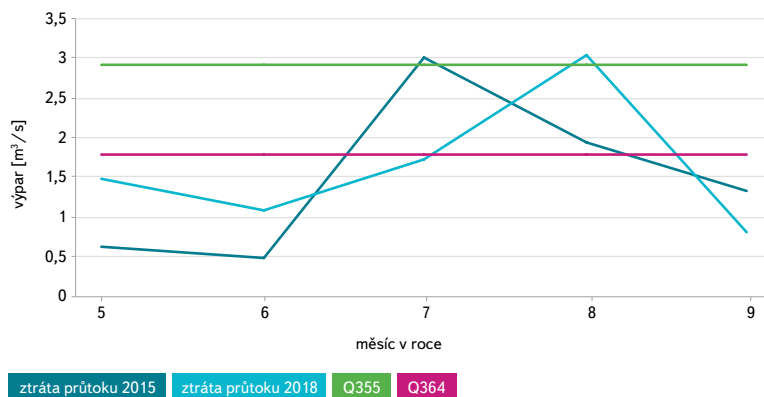
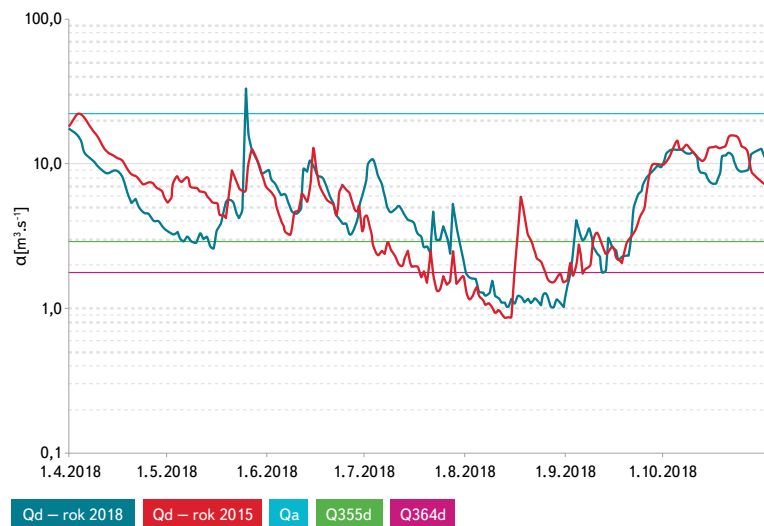
VLIV VÝPARU Z VODNÍ HLADINY NA ZTRÁTU VODY Z JEZERA MOST

Podle mapy z Atlasu podnebí Česka [5] je v lokalitě jezera Most dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek mezi 450 až 550 mm a dlouhodobý průměrný roční výpar z vodní hladiny v pásmu 600 až 650 mm. Pokud od sebe odečteme průměrné hodnoty z těchto rozmezí, dostaneme 625 - 500 = 125 mm, což způsobuje dlouhodobý průměrný roční pokles hladiny o 12,5 cm. Podle mapy dlouhodobé roční vláhové bilance (půdňi) je průměrný roční deficit 200 mm. V případě suchých a teplých let, což je případ posledních roků, jsou srážky

podstatně nižší a výpar z vodní hladiny vyšší, vodní bilance je tedy více deficitní. Na základě pozorovaných srážkových úhrnů od roku 1961 a výparu z vodní hladiny vypočteného na základě pozorované teploty vzduchu se roční deficit srážky – výpar pohybuje v posledních letech okolo hodnoty -300 mm/rok, jak je patrné z obr. 13.

Z porovnání pozorovaných hodnot výparu plovoucím výparoměrem na jezeře Most a dat z výparoměrné stanice Hlasivo (obr. 14) pro období 13. 7. 2017 (začátek místního pozorování) až 31. 10. 2017 je vidět vysoká míra shody v letních měsících a vyšší výpar z vodní hladiny jezera Most v měsících září a říjen. Tento rozdíl je způsobený rozdílem teploty vody, kdy si jezero drží vyšší teplotu než malý výparoměr, který na změny teploty vzduchu reaguje téměř okamžitě [8]. Navíc výpar z jezera je více ovlivněn rychlostí větru.

V letech 2016 a 2017 byl na lokalitě jezera Most vypočítán výpar z vodní hladiny v rozmezí 700–900 mm za rok. V období let 1961 až 2017 docházelo ke zvyšování průměrné teploty vzduchu s průměrným gradientem 0,378 °C za 10 let, což mělo za následek zvyšování průměrného výparu z vodní hladiny a zvyšování deficitu srážky – výpar. Nárůst teploty vzduchu pro oblast jezera Most do roku 2055 se očekává v rozmezí 0,27–0,37 za 10 let, roční srážkové úhrny zůstanou spíše stejné, lze proto očekávat další zvyšování vláhového deficitu ve prospěch ztrát vody. Tyto výsledky jsou převzaty z výzkumné zprávy Beran a kol. [8]. Pro představu lze uvést, že zvýšení průměrného denního výparu o 1 mm se rovná zvýšení úbytku vody na ploše jezera o přibližně 3 000 m³ vody za jeden den.



ZÁVĚR

Pokud malé vodní nádrže nebudou určeny pro nadlepšování průtoků v obdobích hydrologického sucha, což neumožňuje jejich využití k intenzivnímu chovu ryb, bude jejich efekt na odtok z povodí závislý na tom, zda v období sucha srážky, které na hladinu spadnou, jsou větší než výpar z hladiny. V opačném případě, tj. obvykle, rybníky v období sucha odtok z povodí vlivem intenzivního výparu zmenšují. Významný vliv na zvýšení srážek v bezprostředním okolí nebyl prokázán. Vliv výparu z vodních ploch na povodí Lužnice na celkový odtok z povodí je vlivem vysokého zastoupení vodních ploch značný. V letních měsících dosahuje ztráta vody výparem hodnoty 3 m³/s, což se v profilu Bechyně rovná průtoku Q_{355} . Pozitivní vliv na mikroklima a estetické funkce krajiny nebyly v rámci příspěvku řešeny.

Pro zajímavost, byly vyhodnoceny měřené hodnoty výparu z výparoměrné stanice v Praze-Podbabě za období 28. 3.–28. 4. 2019, kdy byla průměrná teplota vzduchu 11 °C a spadlo pouhých 9 mm srážek. Za toto období se vypařilo 56 mm, což v případě podobného průběhu počasí v dalších měsících může mít za následek další rekordní rok z pohledu ztrát vody výparem.

I přes nejistoty spojené s modelováním klimatu v budoucích časových horizontech lze, na základě dosavadního vývoje klimatu ČR v posledních letech, jednoznačně potvrdit zvyšování průměrné roční teploty vzduchu, což má vzhledem ke stagnující velikosti srážkových úhrnů významný vliv na výslednou bilanci výpar-srážkový úhrn. Při plánování hydrických rekultivací na územích po povrchové těžbě je třeba s těmito fakty počítat, jelikož ztráty vody výparem jsou na velkých vodních plochách značné.

Poděkování

Příspěvek byl prezentován na konferenci Rybníky 2019 (13. 6. 2019–14. 6. 2019, Praha). Problematika jezera Most byla řešena v rámci výzkumného úkolu pro objednatel Palivový kombinát Ústí, s. p. (obj. OV-13.65.00-18-0460). Výsledky studie byly prezentovány na konferenci SMART REGION FÓRUM Ústeckého kraje SMART VODA (25. 4. 2019 Chomutov).

Literatura

- [1] BERAN, A. a HANEL, M. Definování zranitelných oblastí z hlediska nedostatku vody na území České republiky. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2015, roč. 57, č. 4–5, s. 21–24. ISSN: 0322-8916.
- [2] HANEL, M., BERAN, A. a KAŠPÁREK, L. Definování zranitelných oblastí z hlediska nedostatku vody na území České republiky. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2015, roč. 57, č. 4–5, s. 21–24. ISSN: 0322-8916.
- [3] DAŇHELKA, J. a kol. *Sucho v roce 2018 – Předběžné hodnocení*. Praha: ČHMÚ, 2019.
- [4] BERAN, A., FIALOVÁ, P., KOŽÍN, R., MELIŠOVÁ, E., BLOCHER, J.R. a BAŠTA, P. *Odvození vzorců pro výpočet výparu, využití dálkového průzkumu Země pro výpočet výparu*. Výzkumná zpráva projektu TJ01000196, 2019.
- [5] TOLASZ, R., BRÁZDIL, R., BULÍŘ, O., DOBROVOLNÝ, P., DUBROVSKÝ, M. a kol. *Atlas podnebí Česka*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN 978-80-86690-26-1.
- [6] TRNKA, M. a kol. Bilanční hodnocení zdrojů a potřeb vody s ohledem na závlahové systémy. Výzkumná zpráva. Praha: CzechGlobe, ČHMÚ, SPÚ, VÚV TGM, 2017.
- [7] BIERKENS, M. and VAN DEN HURK, B. Feedback mechanisms: precipitation and soil moisture. In: Bierkens, M.F.P., Dolman, A.J., Troc, h P.A. (eds.) *Climate and the hydrological cycle*. IAHS Special publication, Mangalore, 2008.
- [8] BERAN, A., KAŠPÁREK, L. a VIZINA, A. *Model průběhu meteorologických veličin pro oblast jezera Most do roku 2050*. Výzkumná zpráva. Praha: VÚV TGM, 2018.

Autoři

Ing. Adam Beran, Ph.D.¹

✉ adam.beran@vuv.cz

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.¹

✉ ladislav.kasperek@vuv.cz

Ing. Adam Vizina, Ph.D.^{1,2}

✉ adam.vizina@vuv.cz

Mgr. Petra Šuhájková^{1,2}

✉ petra.suhajkova@vuv.cz

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

²Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze

Příspěvek prošel lektorským řízením.

WATER LOSS BY EVAPORATION FROM FREE WATER SURFACE

BERAN, A.¹; KASPAREK, L.¹; VIZINA, A.^{1,2}; SUHAJKOVA, P.^{1,2}

¹TGM Water Research Institute, p.r.i.

²Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences Prague

Keywords: evaporation from a free water level – total runoff – hydric recultivation

Evaporation from free water surface is one of the important factors affecting the total water balance of a catchment. Since direct measurement of evaporation is complicated, evaporation is in practice often calculated using formulas based on common meteorological variables. The paper introduces of evaporation from free water surface on the total runoff from the Lužnice river basin, which is characterised by many ponds. Also, the effect of breeding ponds that may, under certain conditions considerably contribute to hydrological drought is demonstrated.



Dopad technického zasněžování na toky v Krkonoších

PAVEL TREML

Klíčová slova: technické zasněžování — sjezdovka — průtok — hladina toku — minimální zůstatkový průtok — sníh — znečištění toků — ochrana přírody

SOUHRN

Príspevek se zabývá dopadem technického zasněžování na vybrané toky na území Krkonoš z pohledu změn v průtocích, z hlediska interakce možného znečištění přírodního prostředí z toků a opačně, a rozdílů mezi přírodním sněhem a sněhem ležícím na sjezdovce z hlediska hustoty sněhu a s tím souvisejícím odlišným odtokovým vlastnostem.

ÚVOD

Následující příspěvek analyzuje dopad technického zasněžování na vybrané toky v Krkonoších z pohledu změn v průtocích, z hlediska interakce možného znečištění přírodního prostředí z toků a opačně a rozdílů mezi přírodním sněhem a sněhem ležícím na sjezdovce z hlediska hustoty sněhu a souvisejících odlišných odtokových vlastností.

Problematika hodnocení dopadu odběrů vody pro technické zasněžování na průtoky vodních toků nebyla prozatím na území České republiky komplexně řešena. Pokud byla tematika řešena, tak pouze z hlediska vlivu na konkrétní profil (z něhož by se měla voda pro technické zasněžování odebírat) v rámci povoleného řízení. Pro každý z těchto odběrných profilů je vodoprávním úřadem vydáno povolení pro nakládání s vodou. Povolení od vodoprávního úřadu obsahuje mj. údaje o velikosti minimálního zůstatkového průtoku, maximálního povoleného denního odběru vody, maximálního povoleného měsíčního odběru vody a maximálního povoleného ročního odběru vody. Těmito limity by se měli jednotliví odběratelé řídit.

Podrobnější analýza porovnání kumulativního vlivu více odběrů na jednotlivých povodích nebyla známa. V roce 2009 byla na základě požadavku Správy KRNAP zpracována pilotní studie o vlivu technického zasněžování na průtoky dílčích povodí Labe, Úpy a Jizery vzhledem k teoretickým závěrovým profilům v místech odtoku těchto tří toků z území Krkonošského národního parku a jeho ochranného pásma [1]. Byl počítán maximální kumulativní vliv ze všech povolených odběrů vody pro technické zasněžování. Za běžných podmínek nebyl shledán podstatný vliv.

První pravidelná terénní měření, z nichž by se dal vypožarovat vliv odběrů vody pro technické zasněžování na vodní toky, byla zahájena v zimě 2011/2012 na Zeleném a Vlčím potoce v Peci pod Sněžkou pod odběrnými profily pro technické zasněžování. Na těchto profilech byl vliv technického zasněžování na průtoky patrný. Jednalo se ale pouze o dvě bodová měření v antropogenně ovlivněném prostředí s více vlivy, na základě nichž nebylo možno objektivně zobecnit získané poznatky.

Proto byl iniciován vznik komplexnějšího projektu, který by se problematikou zabýval. Technologickou agenturou ČR bylo v projektu Epsilon podpořeno řešení projektu s názvem Podpora dlouhodobého plánování v oblasti vodního hospodářství na území Krkonošského národního parku s důrazem na řešení problematiky vlivu technického zasněžování na pokles průtoků s cílem zvýšit dlouhodobou efektivitu ochrany přírody a krajiny (označení TH02030080). Projekt se zabývá problematikou vlivu dopadů technického zasněžování na vodní toky velmi komplexně – od vytvoření měřicí sítě pro sledování dopadů technického zasněžování na vodní toky na 22 profilech na území Krkonoš, přes komplexní zhodnocení vlivu technického zasněžování na změnu průtoků v tocích, srovnání těchto dopadů s ostatními vlivy, návrh opatření na eliminaci negativních dopadů, včetně vytvoření metodiky pro povolování odběrů vody pro technické zasněžování, tak aby tyto odběry vody byly spravedlivé ke všem odběratelům a bylo zajištěno trvale udržitelné hospodaření s vodou, které zajistí odběry vody pro všechny potenciální odběratele a zároveň nebude narušena ekologická rovnováha v toku. Měla by být vytvořena i mapa ovlivnění území Krkonoš technickým zasněžováním a jinými odběry. Kromě samotného pozorování dopadů v terénu probíhá i matematické modelování dopadů. Výsledky tohoto projektu by měly díky nezávislým měřením ukázat, zda skutečně odběry vody pro technické zasněžování přispívají významně ke snížení hladiny v tocích, nebo naopak zda se jedná hlavně o nepodložené domněnky odpůrců technického zasněžování.

Následující příspěvek představí vybrané části z počáteční fáze probíhajícího výzkumu. V úvodu bude ukázán na výsledcích pozorování možný dopad vlivu odběrů vody pro technické zasněžování na změnu průtoků. Následně je prezentován doplňkový výzkum možné vzájemné interakce odběru vody ze znečištěného toku a přírodního prostředí či rozdílů mezi směsí technického a přírodního sněhu na sjezdovce a přírodního sněhu mimo sjezdovku.

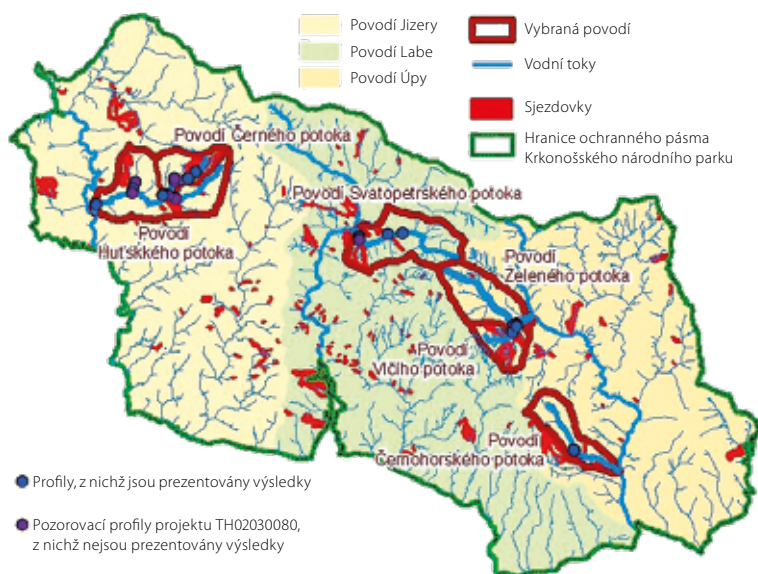
Literatura zabývající se problematikou technického zasněžování a tematikou sněhu se věnuje zejména dopadům klimatických změn na možnosti technického zasněžování [např. 1–6]. Další skupinu tvoří studie zachycující ekonomický přínos lyžování pro daný region [např. 3, 7, 8]. Velké množství studií zkoumá dopady technického zasněžování na ekosystémy (rostliny a živočichy) [podrobná rešerše v 9, dále např. 10–12], světelné znečištění [13], popř. lze nalézt úkoly snažící se nějakým způsobem spočítat neznámé množství vody používané pro technické zasněžování [např. 1, 2, 4, 14–16]. Do další skupiny projektů je možno zařadit úkoly související s výzkumem sněhu – jeho vlastnostem, hydrologickému režimu, modelováním výšky sněhové pokrývky, lavinám apod. [např. 17–22]. Zvláštní skupinu tvoří souhrnné studie ekologických organizací poukazující na negativní dopady technického zasněžování [23, 24].

VYBRANÉ LOKALITY, METODIKA MĚŘENÍ PRŮTOKŮ

Na území Krkonošského národního parku a jeho ochranného pásma se odebírá voda pro technické zasněžování celkem na 48 místech. Pro studium dopadů vlivu technického zasněžování na změnu průtoků byly vybrány profily, které leží na menších a středně velkých tocích (do mediánu průtoku $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$), protéká v nich voda po celý rok a je možno měřit průtoky nad i pod profilem, z něhož se odebírá voda pro technické zasněžování. Na základě těchto kritérií bylo vybráno 22 pozorovacích profilů (obr. 1). Profily se nacházejí na celém území Krkonoš v různých fyzicko-geografických podmínkách. Porovnávají jsou i dopady ostatních antropogenních činností.

Pro prezentaci v tomto příspěvku byla vybrána data ze 14 hlavních profilů, z nichž jsou k dispozici spolehlivá data. Jsou na nich instalovány hladinoměry od firmy Fiedler s online přenosem dat a měřením výšek hladin po 5 minutách. Vyhodnocena data jsou z období mezi 1. prosincem 2017 a 23. dubnem 2019. Pro jednoznačné označení profilů v dalším textu je užít název toku a pořadové číslo profilu v pořadí od pramene (např. pozorovací profil na Svatopetrském potoce ve Špindlerově Mlýně umístěný nad odběrem vody u sjezdovky Stoh má označení Svatopetrský 1).

Měření průtoků probíhá průběžně během celého roku při různých vodních stavech. Na základě měrné křivky využívající závislosti získaných bodových hodnot z křivky kontinuálně sledované výšky hladiny toku a naměřenými průtoky v rámci terénních měření byly odvozeny kontinuální hodnoty průtoků, jež byly dále analyzovány. Měrné křivky závislosti naměřených průtoků a výšky hladin toku jsou průběžně zpřesňovány. Díky tomu může docházet u hodnot kontinuálně odvozených průtoků v čase k mírným změnám (drobnému posunu hodnot odvozených průtoků). V případě, že se hodnoty průtoků v tocích u odvozených křivek průtoků pohybují těsně kolem hodnoty minimálního zůstatkového průtoku a probíhá odběr vody, nelze s ohledem na tuto možnou nepřesnost objektivně posoudit, zda byl odběr vody v souladu s vydaným povolením, či zda eventuálně mohl být překročen povolený limit pro odběr vody.



Obr. 1. Vybraná povodí pro sledování dopadů technického zasněžování
Fig. 1. Selected river basins for monitoring the impact of snowmaking

DOPAD TECHNICKÉHO ZASNĚŽOVÁNÍ NA ZMĚNU PRŮTOKŮ

Dopad na experimentální povodí

Měření na tocích byla zahájena v říjnu a listopadu 2017. Díky tomu jsou k dispozici data ze dvou zimních období – zimy 2017/2018, zimy 2018/2019 a léta 2018. Zima 2017/2018 byla běžnou zimou posledních let s ideálními podmínkami pro výzkum dopadů technického zasněžování na pokles průtoků – nebylo příliš teplo ani příliš zima. Jediným obdobím, kdy zamrzaly toky v Krkonoších, byl přelom února a března 2018. Následovaly suché léto a podzim, kdy byly zaznamenány na tocích v Krkonoších extrémně nízké průtoky, přičemž nízké průtoky (pod hranici Q_{330d}) přetrvávaly v Krkonoších do přelomu listopadu a prosince 2018. S ohledem na tuto skutečnost nebylo možno na řadě toků technicky zasněžovat. V prosinci došlo ke zlepšení – začalo sněžit. Díky oteplení sněh tál a došlo ke zvýšení průtoků, nicméně v porovnání se zimou 2017/2018 byly průtoky v krkonošských tocích menší. Na začátku ledna 2019 se situace obrátila a nasněžilo velké množství přírodního sněhu – např. na Labské Boudě bylo k 15. lednu 220 cm sněhu, na Sněžce 210 cm a v Peci pod Sněžkou 103 cm přírodního sněhu [25]. Díky dostatku přírodního sněhu nebylo potřeba sjezdovky technicky zasněžovat.

V extrémních případech je odebíráno z vodního toku až 70 % objemu protékající vody. Zda se jedná o velké objemy vody, které mohou ohrozit vodní tok, či nikoliv, je potřeba hodnotit u každého toku zvlášť podle jeho hydrologických poměrů a výšky hladiny zůstatkového objemu. Jiná situace nastává, pokud se aktuální velikost průtoku blíží k hranici minimálního zůstatkového průtoku, jiná pokud překračuje hranici povodňových stupňů. V případě odběru vody v období minimálních průtoků je jakýkoliv odběr vody nežádoucí a může významně poškodit ekosystém toku, naopak při odběrech vody během povodňových stavů se může docílit zmírnění negativního vlivu rozlivu povodňové vody.

Ke správnému zhodnocení dopadu vlivu technického zasněžování na průtoky v tocích je zapotřebí znát jejich roční průběh a situaci, za níž se voda odebírá. Krkonošské toky mají největší průtoky buď na jaře nebo v zimě a nejnižší na podzim nebo v létě (obr. 2). Z pohledu hodnocení vlivu dopadu je proto ideální porovnat zimní průtoky i s průtoky v letním období.

V případě běžné zimy (jako byla zima 2017/2018), kdy se střídají chladnější období s oblevami a dlouhodobě nemrzne, mají toky dostatek vody. Ve většině případů i v době technického zasněžování protéká korytem toku více vody než v letním a podzimním období. Je to dobře patrné z podrobné analýzy variability denních hodnot průtoků během roku a srovnání průtoků v období, kdy se typicky může zasněžovat (měsíce prosinec až únor) a období, kdy se nezasněžuje, resp. byly v roce 2018 naměřeny nejmenší průtoky (měsíce červen až září). Na polovině profilů (8 ze 14 – profily Černý 1, Černohorský 1, Vlčí 2, přítok Huťského potoka, Huťský 6 a na všech profilech na Svatopetrském potoce) byla zimní minima vyšší než medián průtoků v letním období, přičemž přítok Huťského potoka, z něhož se i zasněžuje, je potok, který má ze sledovaných toků nejmenší roční medián průtoku. Obdobně se odebírá voda pro technické zasněžování i v Vlčího potoka a Svatopetrského potoka. Na ostatních profilech byly mediány letních průtoků vyšší než zimní minimum, avšak vždy nižší než hodnota Q_{330d} pro letní období.

Na začátku zimy 2018/2019 (měsíce listopad a prosinec) vrcholilo hydrologické sucho z předchozího období. Z tohoto důvodu byly měřeny na sledovaných tocích nízké průtoky, při kterých nebylo vhodné odebírat vodu z toků (nejen pro účely technického zasněžování). Byly zaznamenány odběry vody ze Zeleného, Vlčího, Černohorského a Svatopetrského potoka. Naopak na Černém potoce nebyly zaregistrovány žádné odběry.

Průtok

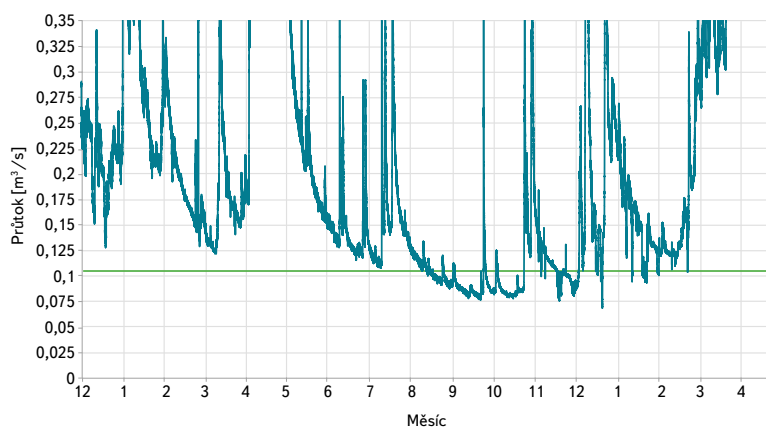
Q-nad

Q-pod

MZP

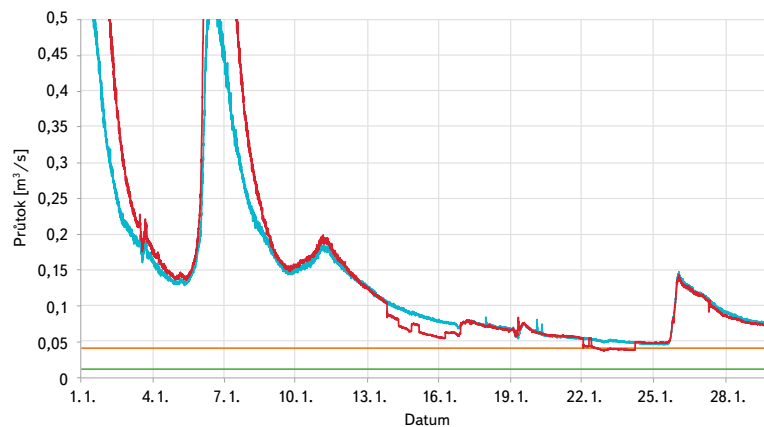
Medián QI

Q-nad – průtok naměřený na měrném profilu nad místem odběru vody pro technické zasněžování
 Q-pod – průtok naměřený na měrném profilu pod místem odběru vody pro technické zasněžování
 MZP – hodnota minimálního zůstatkového průtoku, pod níž se nesmí odebírat voda pro technické zasněžování
 Medián QI – medián průtoků za období červen až září 2018



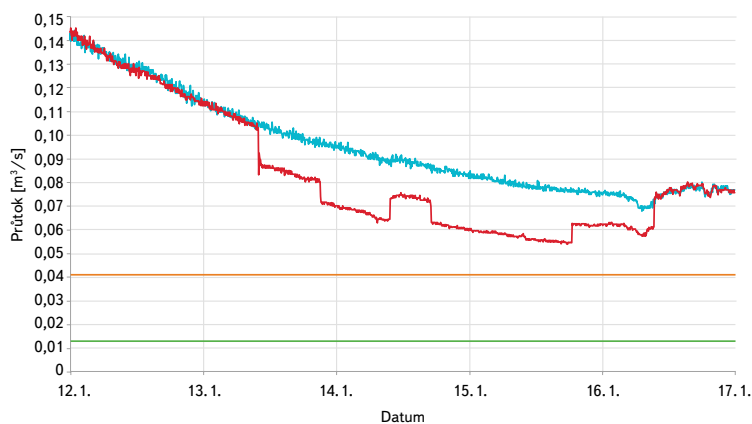
Obr. 2. Průběh průtoků od prosince 2017 do dubna 2019 na Svatopetrském potoce pod odběrem vody pro technické zasněžování ve Svatém Petru ve Špindlerově Mlýně (s ohledem na zachycení vývoje průběhu nejmenších hodnot v grafu zobrazeny pouze hodnoty průtoků nižší než 0,35 m³/s)

Fig. 2. Running of discharges during the year at the Svatopetrský stream under water abstraction for snowmaking in Svatý Petr in Špindlerův Mlýn



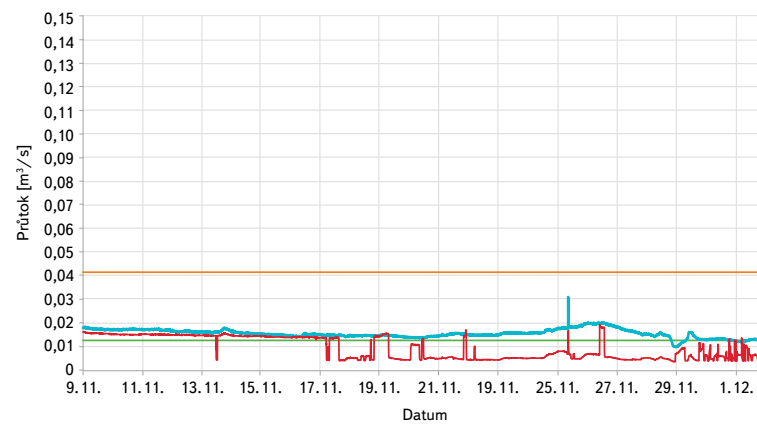
Obr. 4. Odběry vody z 12. až 16. ledna 2018 na Černohorském potoce v kontextu s ostatními lednovými průtoky

Fig. 4. Water abstraction from 12th to 16th January 2018 at Černohorský stream in the context of other January discharges



Obr. 3. Příklad vlivu odběrů vody na průtoky středně velkého vodního toku za běžné zimy (Černohorský potok ve dnech 12. až 16. ledna 2018)

Fig. 3. An example of the effect of water abstraction on medium-sized streams during normal winters (Černohorský stream between 12th–16th January 2018)



Obr. 5. Příklad vlivu odběrů vody na průtoky středně velkého vodního toku v období nízkých průtoků – v době, kdy byl průtok pod hranicí minimálního zůstatkového průtoku pro odběry vody, tzn. období, v němž není povolen odběr vody (Černohorský potok v listopadu a začátku prosince 2018)

Fig. 5. An example of the effect of water abstraction on medium-sized streams during small discharges – at a time when discharges were below the minimum residual flow for water abstraction, i.e. period in which water abstraction is not permitted (Černohorský stream in November and early December 2018)

Průtok

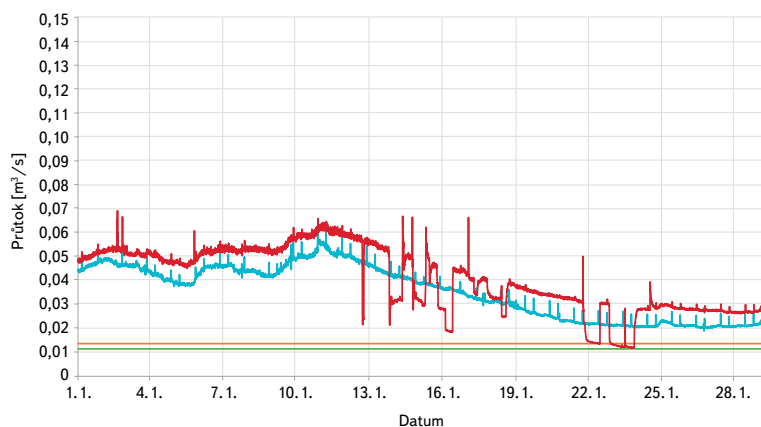
Q-nad

Q-pod

MZP

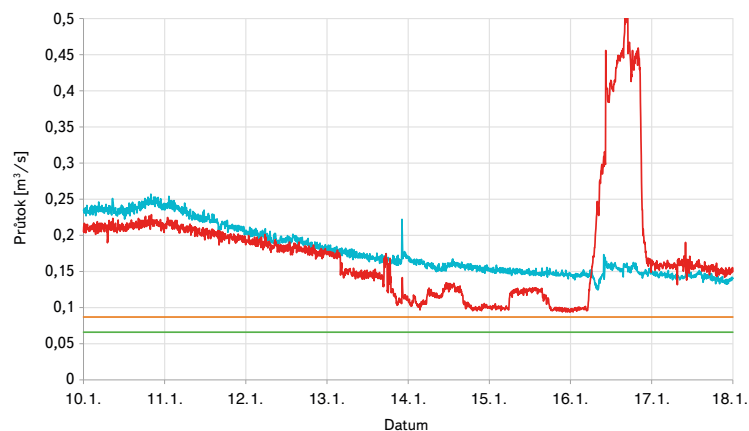
Medián QI

Q-nad – průtok naměřený na měrném profilu nad místem odběru vody pro technické zasněžování
 Q-pod – průtok naměřený na měrném profilu pod místem odběru vody pro technické zasněžování
 MZP – hodnota minimálního zůstatkového průtoku, pod níž se nesmí odebírat voda pro technické zasněžování
 Medián QI – medián průtoků za období červen až září 2018



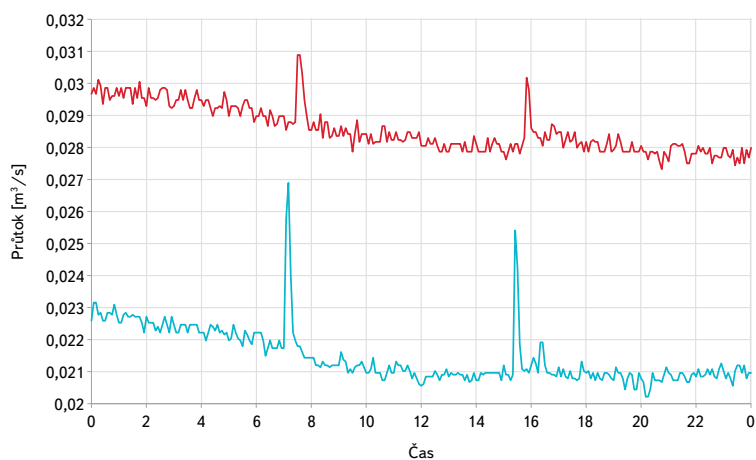
Obr. 6. Příklad vlivu odběrů vody na průtoky malého vodního toku za běžné zimy (Černý potok v lednu 2018)

Fig. 6. An example of the effect of water abstraction on small-sized streams during normal winters (Černý stream in January 2018)



Obr. 8. Dopad antropogenní činnosti v povodí Zeleného potoka – odhrnování sněhu do vodního toku dne 16. 1. 2018, odběr vody pro technické zasněžování ve dnech 13. až 16. 1. 2018

Fig. 8. Impact of anthropogenic activity in the Zelený stream catchment area – snow removal into the stream on 16th January 2018, water abstraction for technical snowmaking from 13th to 16th January 2018



Obr. 7. Dopad antropogenní činnosti (vypouštění vod) v povodí Černého potoka; příklad vzestupu průtoků dne 19. 1. 2018 (poznámka: vzdálenost pozorovacího profilu nad a pod odběrovým místem 600 m)

Fig. 7. Impact of anthropogenic activity (discharge of water) in the Černý stream catchment area; example of increase of discharges on 19th January 2018

Ukázky příkladů dopadu technického zasněžování na průtoky vybraných toků jsou zobrazeny na obr. 2 až 8. Na obr. 2 je ukázán celoroční průběh průtoků na Svatopetrském potoce (potok se středně velkým průtokem, medián průtoku 0,17 m³/s). Na obr. 3 je zobrazen podrobnější pohled na jeden z typických odběrů vody pro technické zasněžování v běžné zimě (na Černohorském potoce). Na obr. 4 je dán tento odběr (z obr. 3) do souvislosti s dalšími průtoky v měsíci lednu. Je zde vidět, že přestože je odebíráno i 27 % objemu vody, přírodní kolísání hladiny toku je významnější. Daleko významnější pro Černohorský potok byly odběry vody z listopadu 2018, které jsou zobrazeny na obr. 5. Již při letním porovnání obr. 3 a 5 je patrné, že listopadové odběry vody (které byly realizovány v době nízkých průtoků a zároveň v období, kdy byl průtok na toku menší než povolený minimální zůstatkový průtok pro odběr vody, tzn. odběry vody by neměly být podle platných vydaných rozhodnutí realizovány) měly na Černohorský potok významnější dopad, kde odběry vody v kombinaci s velmi nízkými průtoky a podnulovými teplotami vzduchu mohly vést k vymrznutí koryta toku, nebo dokonce i k jeho vyschnutí.

Jiný pohled na odběry vody pro technické zasněžování ukazuje obr. 6. Zatímco na příkladu Černohorského potoka byl ukázán dopad na středně velké toky (kam se zařazuje většina z prezentovaných toků, medián průtoků Černohorského potoka je 0,03 m³/s), tak Černý potok patří k těm s menším průtokem (medián 0,02 m³/s). Rozdílný u obou potoků je i roční chod průtoků. Zatímco Černý potok má průtok vyrovnanější, tak u Černohorského potoka dochází k většímu rozptylu mezi hodnotami menších a větších průtoků. Díky menšímu průtoku na Černém potoce mají odběry vody v místě odběru na kolísání průtoku výrazně větší dopad. Negativní dopad odběrů vody je u Černého potoka kompenzován dostatečnou dotací vody z okolních zdrojů, po proudu dochází k rychlému navýšení průtoku a relativně brzké minimalizaci vlivu odběru vody.

Změna dynamiky odtoku při tání sněhu nás také zajímala – na všech profilech bylo analyzováno, jaká část odtoku pochází z přírodního sněhu a jaká část z technického sněhu. S ohledem na krátkou dobu pozorování zatím nelze







Obr. 9. Místo odběru vody pro technické zasněžování na Vlčím potoce v Pecí pod Sněžkou
Fig. 9. The place of water abstraction for technical snowmaking on Vlčí stream in Pec pod Sněžkou



Obr. 10. Zamrzlá akumulační nádrž na odběr vody pro technické zasněžování z Janského potoka v Janských Lázních
Fig. 10. Frozen water storage reservoir for technical snowmaking from Janský stream in Janské Lázně

publikovat jednoznačné závěry, zda (o kolik a po jakou dobu) je dotace vody pocházející z tajícího technického sněhu pro nadlepení průtoků vodních toků významná či nikoliv.

Byl sledován vliv i dalších antropogenních faktorů. V rámci měření bylo objeveno v Rokytnici nad Jizerou na Černém potoce periodické vypouštění vod, které probíhá během hlavní turistické sezony zpravidla dvakrát denně (viz obr. 7, dobře patrné i z obr. 6, vypouštění detekováno i na mírně zvýšených hodnotách v odebraném vzorku dne 20. 2. 2019 – viz *tabulka 1* – a nepřímého kontinuálního měření konduktivity toku). V Pecí pod Sněžkou bylo zaznamenáno odklizení sněhu z komunikací do vodního toku (na obr. 8 je zobrazena ukázka vlivu na průtoky Zeleného potoka). Na sledování vlivu odběrů vody pro technické zasněžování a ostatní antropogenní činnosti na pokles průtoků byla zaměřena pozornost i v rámci analýzy dopadu na soustavu jednotlivých povodí Huťského potoka v Rokytnici nad Jizerou. Přestože byl zaznamenán na jednotlivých pozorovacích profilech těsně pod provedenými odběry vliv na pokles průtoků, dále po proudu toku byly podstatnější ostatní odběry a vypouštění a odběry vody pro technické zasněžování na průtocích nebylo možno v kombinaci s ostatními vlivy rozpoznat.



Obr. 11. Měření vodní hodnoty sněhu pomocí sněhoměru ve Vítkovici
Fig. 11. Measurement of water value of snow using snow meter in Vítkovice

Posuzování dopadu technického zasněžování

Odběry vody pro technické zasněžování mají na vodní tok obdobný vliv jako ostatní odběry vody. Je vhodné tyto odběry posuzovat stejně jako ostatní odběry. Výhodou odběrů vody pro technické zasněžování oproti ostatním odběrům je jejich realizace v zimní čtvrtině roku, kdy zpravidla bývá vyšší průtok. Existují však dvě riziková období – začátek zimní sezony, kdy často přetrvávají nízké průtoky z předchozího podzimního období s nízkým průtokem, a období, kdy dostatečně mrzne a dochází k vymrzání toků, a tudíž k poklesu průtoků v toku.

Z pohledu velikosti toku není odběr vody ze středně velkých a velkých toků (s mediánem průtoku od 0,025 m³/s) v běžné zimě při dodržení všech povolení zásadní. U menších toků je dopad odběrů vody na kolísání hladiny ve vodním toku významnější. Při dodržení všech povolených limitů by s odběry vody neměl být problém. S ohledem na neexistenci staniční sítě na malých tocích a zjednodušeným výpočtům hodnot minimálních zůstatkových průtoků (a dalších charakteristik) formou analogie stavu mezi povodími, kde existuje staniční síť, a povodím, z něhož se má realizovat odběr, může v ojedinělých případech nastat situace, kdy odvozené hodnoty limitních hodnot průtoků mohou být v některých případech nadhodnoceny nebo podhodnoceny. V případě podhodnocení limitů může nastat problém s dodržení optimální velikosti minimálního zůstatkového průtoku. Z tohoto důvodu by bylo vhodné, aby pod každým odběrovým místem bylo instalováno certifikované zařízení na měření průtoků a na základě konkrétních dat byly upraveny povolené limity maximálního odebraného množství vody, resp. minimálního zůstatkového průtoku, aby lépe odpovídaly realitě.

Zvláštním případem je povolený průběžný odběr vody z velmi malých toků (resp. vodotečí) s průtokem kolem jednotek l/s. Ten je nevhodný. Tyto vodoteče často nemají stálý průtok. Přestože v nich v zimě protéká voda, je v nich složité udržet hodnotu minimálního zůstatkového průtoku. Využití vodotečí je teoreticky možné v období jarního tání či jiných extrémních srážek, kdy je vody dostatek, formou akumulace vody v retenčních nádržích.

Právě využití odtékající vody v období jarního tání a dalších období extrémních srážek je jedna z variant, jakým způsobem eliminovat případné negativní účinky odběrů vody z toků. Pokud by došlo k vybudování retenčních nádrží na akumulaci vod z tání sněhu a extrémních srážek a využití této vody pro technické zasněžování sjezdovek, neměl by být problém při jejich dostatečné kapacitě technicky zasněžovat sjezdovky během celé zimní sezony a zejména na začátku sezony, kdy provozovatelé ski areálů potřebují technicky zasněžovat sjezdovky před Vánoci, ale s ohledem na přetrvávající malý průtok není možno z vodních toků vodu odebírat. Někteří provozovatelé pak odebírají vodu nad rámec vydaných povolení. Zároveň by neměl být problém pokrýt i druhé kritické období, v němž je během zimy v toku málo vody – v době, kdy hodně mrzne. Třetí potenciálně rizikovým obdobím, v němž mohou nádrže přispět ke snížení rizika zvýšených odběrů vody, je období oblevy, kdy jsou přes den vysoké teploty a během noci krátká období, v nichž mrzne, a je potřeba nárazově co nejvíce zasněžovat. V případě, že akumulační nádrž bude postavena na vhodném místě, tak aby krajinářsky zapadla do prostředí a zároveň nenarušila ekologicky cenné prostředí, jedná se o preventivní řešení, které může eliminovat negativní odběry vody během nízkých průtoků a zároveň chránit území proti negativním dopadům jarních rozlivů. V případě možných odběrů z různých velkých průtoků se nabízí i možnost lepší regulace – omezovat odběry vody z toků v období malých průtoků a naopak je směřovat do období s vyššími průtoky – např. v souvislosti s často diskutovanou problematikou poplatků za odběr vody pro zasněžování sjezdovek, kdy se vede dlouhodobá diskuse, zda výjimku pro odběry vody pro technické zasněžování sjezdovek zachovat, či nikoliv. Pokud by byl zvolen kompromis – obecné zrušení této výjimky bezplatného odběru vody pro technické zasněžování, avšak s možností prominutí tohoto poplatku v případě že by odběry vody probíhaly pouze při nadprůměrných průtocích (a obecně byly splněny předem stanovené podmínky pro ekologicky dlouhodobě udržitelný rozvoj) a bylo měření průtoků a zařízení na odběry vody certifikováno – by na tom byly ekologicky se chovající areály stejně jako dnes. Ve vydaných povoleních by bylo potřeba definovat období nadprůměrných průtoků a ošetřit období, během něhož bude možno vodu odebírat a kdy nikoliv.

HUSTOTA A VODNÍ HODNOTA SNĚHU NA TECHNICKY ZASNĚŽOVANÉ SJEZDOVCE A MIMO NI

S ohledem na množství vody, které může odtéci ze sjezdovek, je zásadní i množství vody, které sníh obsahuje. Z tohoto důvodu je důležitá i vodní hodnota sněhu, resp. hustota sněhu. Čerstvý sníh má menší vodní hodnotu sněhu a hustotu než např. sesedlý sníh, firn nebo mokrá sníh. Zajímalo nás, jaké jsou rozdíly ve vodní hodnotě sněhu a v hustotě sněhu na sjezdovkách a mimo ně při různých typech počasí. Ve 12 dnech bylo provedeno celkem 211 měření v Janských Lázních, Peci pod Sněžkou, Špindlerově Mlýně, Rokytnici nad Jizerou, Pasekách nad Jizerou a Vítkovicích.

Hustota sněhu mimo sjezdovku se pohybovala mezi 0,08 a 0,28 g/cm³, na sjezdovce pak mezi 0,11 a 0,43 g/cm³. Vodní hodnota sněhu se pohybovala mimo sjezdovku od 159 mm po 557 mm a na sjezdovce od 188 mm do 742 mm. Na sjezdovce bylo v průměru mezi 1,3 až 1,9× více vody ve sněhu než mimo ně. Číslo vyjadřuje nejnižší a nejvyšší průměr z více hodnot na téže

sjezdovce, resp. mimo ni. Rozpětí mezi krajními hodnotami může být značné (např. vodní hodnota sněhu v Rokytnici na sjezdovce byla v blízkém okolí od 398 mm do 536 mm).

Rozdíl mezi množstvím vody je dán typem počasí (umrzlý sníh má vyšší vodní hodnotu než čerstvý), strukturou sněhu a zhutňováním sněhu rolbou. Vliv zhutnění rolbou je velmi dobře patrný z pozorování v terénu, kdy při odběrech sněhu sněhoměrem na sjezdovce je nejprve horní vrstva tuhá, pod rolbou zhutněnou vrstvou je postupně sníh měkčí. Pokud neprobíhá soustavné zhutňování, je rozdíl mezi vodní hodnotou na neupravované sjezdovce a mimo ni menší.

ANALÝZA CHEMISMU VODY A SNĚHU

V souvislosti s technickým zasněžováním se často diskutuje o problematice kvality vody využívané k technickému zasněžování, ať už v souvislosti s užívanými aditivami nebo s ohledem na odběry znečištěné vody z toků díky neexistenci účinných čistíren odpadních vod u jednotlivých horských bud. K celkovému obrazu o vlivu technického zasněžování patří nejen pohled na dopad na změnu průtoků a hydrologické bilance, ale i pohled na možné znečištění menších toků (u nichž se běžně kvalita vody nesleduje) a ev. dopad takto znečištěné vody na biotu sjezdovky.

Proto bylo během zimní sezony 2018/2019 odebráno 25 vzorků, u nichž byl proveden základní chemický rozbor, kde akreditovaná laboratoř VÚV TGM, v. v. i., v Praze stanovila celkový obsah dusíku a fosforu, obsah amoniakálního a dusičnanového dusíku, obsah chloridů a pH. Obsahy amoniakálního a dusičnanového dusíku pak byly výpočtem převedeny na množství amonných iontů a dusičnanů. Cílem těchto rozborů nebylo podrobně zmapovat znečištění na jednotlivých potocích a sjezdovkách a variabilitu tohoto znečištění (kde by bylo pro objektivitu potřeba provádět častý monitoring a zároveň během každého odběru vzorků odebrat současně větší množství vzorků s ohledem na proměnlivost prostředí), ale pouze orientačně zjistit, jak hodně může být voda a sníh znečištěný běžně se vyskytujícími látkami a zda je potenciálně toto znečištění významné a je potřeba ho řešit.

Na přítomnost aditiv chemické rozboru nebyly prováděny s ohledem na minimální pravděpodobnost užití těchto aditiv, vysokým nákladům na pořízení jedné chemické analýzy a s ohledem na to, že v lyžařských areálech, v nichž byla teoretická pravděpodobnost užití aditiv největší, byly prováděny analýzy podnikem Povodí Labe a v rámci projektu TITSMZP707 (Vliv technického zasněžování na biologické složky přírodního prostředí na území Krkonošského národního parku a jeho ochranného pásma).

V průběhu sezony bylo během tří termínů (na začátku, uprostřed a na konci zimy) odebráno celkem 25 vzorků – 12 vzorků z potoků, 4 vzorky z nového sněhu a 9 vzorků ze sjezdovek ze všech námi sledovaných oblastí (Rokytnice nad Jizerou, Špindlerův Mlýn, Janské Lázně, Pec pod Sněžkou). Naměřené znečištění na technicky zasněžovaných sjezdovkách bylo minimální (viz hodnoty v tabulce 1). Znečištění bylo hluboko pod limity pro pitnou vodu. Jediným případem, kdy byly překročeny limity hodnot pro pitnou vodu, byl jeden vzorek odebraný ze sjezdovky, na níž se jel světový pohár ve sjezdovém lyžování. Obsah amonných iontů zde překračoval normu více než 16x, oproti jiným sjezdovkám byl také zvýšený obsah chloridů (avšak limity pro pitnou vodu nebyly překročeny). Zvýšené hodnoty znečištění v jednom ze dvou odebraných vzorků souvisí s pravděpodobným užitím salmiaku (chlorid amonný – NH₄Cl), který se používá při závodech pro udržení optimální kvality sjezdových tratí během závodu. Analýza vzorků ze sjezdovky, na níž se jel světový pohár, byla z tohoto důvodu zvolena záměrně, protože bylo zajímavé zjistit, jak velké lokální znečištění sjezdovky může být, pokud se na dané sjezdovce koná vrcholová sportovní akce, na níž je s ohledem na udržení kvality sjezdových tratí během závodu a její regulérnosti nutná předzávodní úprava sjezdovky, včetně jednorázového výjimečného užití salmiaku v období, kdy je vyšší teplota vzduchu, tak, aby zůstala sjezdová trať po celou dobu tvrdá a netvořila se na ní koryta.

Tabulka 1. Znečištění sněhu a vodních toků
Table 1. Snow and water pollution

Vzorek		pH	Cl	Amonné ionty	NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	N _{celk.}	P _{celk.}	Konduktivita
		-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µS/cm
přírodní sníh	od	5,1	< 1,00	< 0,050	< 0,500	< 0,039	< 0,113	< 1,00	< 0,025	2,8
	do	7,0	< 1,00	0,064	0,506	0,05	0,114	< 1,00	< 0,025	5,3
	sníh Sv. Petr 10. 12. 2018	5,1	2,28	0,151	0,593	0,117	0,134	< 1,00	< 0,025	14,4
sníh na sjezdovce	od	5,3	< 1,00	0,067	< 0,500	0,052	< 0,113	< 1,00	< 0,025	4,7
	do	7,0	< 1,00	0,244	0,795	0,19	0,18	< 1,00	0,039	18,7
	černá FIS sjezdovka ve Špindlerově Mlýně 13. 3. 2019	8,2	19,0	8,18	0,649	6,35	0,147	6,54	< 0,025	93,3
	sjezdovka na Hnědém vrchu v Peci pod Sněžkou 13. 3. 2019	6,9	< 1,00	0,102	1,6	0,079	0,361	< 1,00	< 0,025	29,1
vodní toky	od	4,8	< 1,00	< 0,050	1,18	< 0,039	0,267	< 1,00	< 0,025	16
	do	7,2	1,85	< 0,050	2,9	< 0,039	0,655	< 1,00	0,027	81
	Černý potok 20. 2. 2019	7,0	1,99	0,145	4,65	0,113	1,05	1,04	0,082	61
	Huťský potok	7,6	39,0	< 0,050	5,5	< 0,039	1,24	1,39	0,049	155
Limit pro pitnou vodu		6,5–9,0	100	0,5	50					1250

Poznámka: V tabulce jsou zobrazeny mezní hodnoty změřených koncentrací znečišťujících látek a uvedeny vzorky odchylovající se od těchto hodnot. Oranžově jsou zvýrazněny hodnoty vzorků překračující limit pro pitnou vodu a zeleně jsou zvýrazněny hodnoty vzorků, které jsou nižší, než je hodnota mezní detekce laboratorního stanovení koncentrace dané látky.

Obdobně málo významné bylo znečištění v potocích, z nichž se odebírá voda pro technické zasněžování. Z tohoto pohledu by odběr vody z toku neměl představovat pro přírodní prostředí zásadnější problém. Kromě 12 komplexních vzorků analyzovaných v akreditované laboratoři bylo pro vyhodnocení k dispozici ještě přes 200 měření hodnot konduktivity, která se měří průběžně za různých vodních stavů současně s měřením průtoků. Naměřené hodnoty konduktivity byly velmi nízké (mezi 16 a 81 µS/cm), přičemž nejnižší nejvyrovnanější hodnoty byly na Černošském potoce (konduktivita v rozmezí mezi 20 a 30 µS/cm) v Janských Lázních. Naopak nejvyšší konduktivita byla všeobecně na tocích v Rokytnici nad Jizerou. Vyšší znečištění (avšak výrazně pod limitem pro pitnou vodu) zde bylo v Huťském potoce. Konduktivita se na horní části Huťského potoka pohybovala za běžných podmínek mezi 76 a 144 µS/cm, na spodní části toku pod Rokytnicí (kde se voda pro technické zasněžování neodebírá) mezi 107 a 229 µS/cm (limit pro pitnou vodu je 1 250 µS/cm). V současné době je věnována pozornost hlavně kvalitě protékající vody v Černém potoce. Přestože odebrané vzorky z tohoto potoka prozatím svými hodnotami příliš nevybočovaly z měření na ostatních profilech, existuje předpoklad, že na části toku tomu tak nemusí být s ohledem na vypouštění vod, které je podchyceno daty s hodnotami zvýšených průtoků a hodnotami naměřené zvýšené konduktivity v toku. Bohužel, rozborů vzorků z toku z doby vypouštění nejsou prozatím k dispozici – nepřímo pouze vzorek z 20. 2. 2019, který byl ale odebrán až 2 hodiny po vypouštění vody při doznívání dopadu vypouštění.

Z provedených rozborů vzorků vyplývá, že ve většině případů by během technického zasněžování nemělo docházet díky odběrům vody z vodních toků ke kontaminaci přírodního prostředí znečišťujícími látkami. Problematické mohou být pravděpodobně pouze jednotky případů, kdy probíhá nepovolené vypouštění odpadních vod, popř. je nedostatečně účinná lokální čistírna odpadních vod.



Obr. 12. Sjezdové tratě ve Svatém Petru ve Špindlerově Mlýně; v levé části snímku černá FIS sjezdovka, na níž se jel světový pohár ve sjezdovém lyžování a kde byly naměřeny zvýšené koncentrace amonných iontů
Fig. 12. Ski slopes in Svatý Petr in Špindlerův Mlýn

ZÁVĚR

Odběry vody pro technické zasněžování nepředstavují při běžné zimě na středně velkých a velkých tocích při dodržení maximálního povoleného množství odebrané vody pro technické zasněžování zásadní problém. Menší toky jsou s ohledem na možnost výraznějšího kolísání hladiny zranitelnější. V zimní sezoně existují dvě kritická období (začátek zimy a období mrznutí), v nichž se mohou potenciálně častěji vyskytnout nízké průtoky, a s ohledem na jejich výskyt není žádoucí, aby probíhaly odběry vody. Pro překlenutí těchto období je ideální využít akumulační nádrže naplněné vodou odebranou v období se zvýšenými průtoky.



Odběry vody pro technické zasněžování mají na vodní tok obdobný vliv jako ostatní odběry vody. Je vhodné tyto odběry posuzovat stejně jako ostatní odběry a brát v potaz i ostatní antropogenními vlivy (vypouštění vod, shrnování sněhu do toku apod.). V kontextu ostatních odběrů a antropogenních vlivů mají odběry vody pro technické zasněžování za běžných podmínek spíše menší vliv než ostatní antropogenní činnost. Vlivy odběrů vody pro technické zasněžování na toky jsou tak přeceňovány.

Z hlediska znečištění vody v tocích, z nichž se odebírá voda pro technické zasněžování, i ze sněhu nebyly za běžných podmínek naměřeny žádné znepokojivé údaje. Jediné vyšší koncentrace znečišťujících látek se vyskytly nárazově ve vzorku ze sjezdovky, na níž se jel světový pohár ve sjezdovém lyžování. Z hlediska porovnávání hustoty sněhu na sjezdovce a mimo ni má sníh na sjezdovce přibližně 1,5x větší hustotu než mimo ni.

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci výzkumného projektu Technologické agentury ČR a označením TH02030080 a názvem Podpora dlouhodobého plánování v oblasti vodního hospodářství na území Krkonošského národního parku s důrazem na řešení problematiky vlivu technického zasněžování na pokles průtoků s cílem zvýšit dlouhodobou efektivitu ochrany přírody a krajiny.

Poděkování patří i ostatním kolegům z Odboru hydrologie, hydrauliky a hydrogeologie VÚV TGM, v. v. i., kteří se spolupodíleli na výstavbě staniční sítě a měřeních.

Literatura

[1] TREML, P., HANEL, M., KAŠPÁREK, L., NOVICKÝ, O. a BŘEZINA, S. Vliv odběrů vody pro technické zasněžování na odtokovou výšku hlavních toků v Krkonoších. *Opera Corcontica*, 2012, roč. 49, s. 73–87.

[2] VANHAM, D., TOFFOL, S., FLEISCHHACKER, E., and RAUCH, W. Water demand for snowmaking under climate change conditions in an alpine environment. In: BORSODORF, A., STÖTTER, J., VEUILLIET, E. (eds.) *Managing Alpine Future II. Proceedings of the Innsbruck Conference of Austrian Academy of Science*, 2011, p. 228–234.

[3] ABEGG, B. Natürliche und technische Schneesicherheit in einer wärmeren Zukunft. In: *Alpine Schnee- und Wasserressourcen gestern, heute, morgen*, 2012, p. 29–35.

[4] STEIGER, R. and MAYER, M. Snowmaking and Climate Change. *Mountain Research and Development*, 2008, vol. 28, No. 3, p. 292–298.

[5] STEIGER, R. The impact of climate change on ski season length and snowmaking requirements in Tyrol, Austria, 2010, vol. 43, No. 3, p. 251–262.

[6] ZAPPA, M., BERNHARD, L., FUNDEL, F., & JÖRG-HESS, S. Vorhersage und Szenarien von Schnee- und Wasserressourcen im Alpenraum. In: *Alpine Schnee- und Wasserressourcen gestern, heute, morgen*, 2012, p. 19–27.

[7] KPMG. Horská střediska v ČR – identifikace přínosů pro regionální rozvoj a veřejné rozpočty, 2014, 173 s.

[8] PÜTZ, M., GALLATI, D., and KYTZIA, S. Winter Tourism, Climate Change, and Snowmaking in the Swiss Alps: Tourists' Attitudes and Regional Economic Impacts. *Mountain Research and Development*, 2011, vol. 31, No. 4, p. 357–362.

[9] FLOUSEK, J. Vliv lyžování na horskou přírodu: shrnutí současných poznatků a stav v Krkonoších. *Opera Corcontica*, 2016, roč. 53, s. 15–60.

[10] FLOUSEK, J. a HARČARIK, J. Sjezdové lyžování a ochrana přírody. *Ochrana přírody*, 2009, roč. 64, č. 6, s. 8–10.

[11] ŠTURSA, J. Ekologické aspekty sjezdového lyžování v Krkonoších. *Opera Corcontica*, 2007, roč. 44, č. 2, s. 603–616.

[12] KOCKOVÁ, J. Srovnání vegetace sjezdových tratí s umělým a přírodním sněhem v CHKO Bílé Karpaty a v CHKO Beskydy. Bakalářská práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2008, 29 s.

[13] BUJALSKÝ, L., BŘEZINA, S., MATĚJLÍČEK, L. a FROUZ, J. Světelné znečištění způsobené umělým osvětlením sjezdovek v Krkonošském národním parku. *Opera Corcontica*, 2014, roč. 51, s. 109–124.

[14] TEICH, M.,LARDELLI, C., BEBI, P., GALLATI, D., KYTZIA, S., POHL, M., PÜTZ, M., and RIXEN, C. Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneiung. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 2007.

[15] CARAVELLO, G., CRESCINI, E., TAROCCO, S., and PALMERI, F. Environmental modifications induced by the practice of „Artificial snow-making“ in the Obereggen/Val D'Ega Area (Italy). *Journal of Mediterranean Ecology*, 2006, vol. 7, p. 31–39.

[16] RIXEN, CH., TEICH, M.,LARDELLI, C., GALLATI, D., POHL, M., PÜTZ, M., and BEBI, P. Winter Tourism and Climate Change in the Alps: An Assessment of Resource Consumption, Snow Reliability, and Future Snomaking Potential. *Mountain Research and Development*, 2011, vol. 31, No. 3, p. 229–236.

[17] DANKO, M., HOLKO, L., KRAJČÍ, P. a HLAVČO, J. Meranie a modelovanie snehovej pokrývky v horskom mikropovodí. In: BRYCH, K. a TESAŘ, M. (eds.) *Hydrologie malého povodí. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR*, 2017, s. 10–12. ISBN 978-80-87117-15-6.

[18] JONAS, T. Monitoring von Schneewasserressourcen in der Schweiz. In: GURZELER, S. (ed.) *Alpine Schnee- und Wasserressourcen gestern, heute, morgen*. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, 2012, p. 7–12.

[19] LEHNING, M.,GRÜNEWALD, T.,MARTY, CH.,MOTT, R.,and STÄHLI, M. Kleinräumige Schneeverteilung und Einfluss der Topographie. In: GURZELER, S. (ed.) *Alpine Schnee- und Wasserressourcen gestern, heute, morgen*. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, 2012, p. 14–18.

[20] LEHNING, M., VÖLKSCH, I., GUSTAFSSON, D., NGUYEN, T.A., STÄHLI, M., and ZAPPA, M. ALPINE3D: a detailed model of mountain surface processes and its application to snow hydrology. *Hydrol. Process.*, 2006, vol. 20, p. 2111–2128.

[21] LEHNING, M., BARTELT, P., BROWN, R.L., and FIERZ, C. A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning, Part III: meteorological forcing, thin layer formation and evaluation. *Cold Regions Science and Technology*, 2002, vol. 35, p. 169–184.

[22] ESSERY, R.S., MORIN, Y., LEJEUNE, Y., and MÉNARD, C. A comparison of 1701 snow models using observations from an alpine site. *Adv. Water Resour.*, 2013, vol. 55, p. 131–148.

[23] HAMBERGER, S. and DOERING, A. Der gekaufte Winter – Eine Bilanz der künstlichen Beschneiung in den Alpen. Gesellschaft für ökologische Forschung und BUND Naturschutz in Bayern BN, 2015, 123 p.

[24] HAHN, F. Künstliche Beschneiung im Alpenraum – Ein Hintergrundbericht. CIPRA International, 2004, 18 p.

[25] Sníh v ČR a okolí dne 15. 1. 2019 v 7:00 SEČ. [cit. 15. 1. 2019]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/aktualni-stav-pocasi/ceska-republika/snehove-zpravodajstvi/mereni-chmu/snih-v-CR>

Autor

Mgr. Pavel Tremľ
✉ pavel.tremľ@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

IMPACT OF SNOWMAKING ON STREAMS IN THE GIANT MOUNTAINS

TREML, P.

TGM Water Research Institute, p.r.i.

Keywords: snowmaking — slope — discharge — flow level — minimum residual flow — snow — water pollution — nature protection

The paper analyses effects of snowmaking on stream flows in the Giant Mountains, detailed analysis of runoff conditions and differences in amount of water contained in technical and natural snow. Attention is paid to possible interaction between water abstraction and water pollution.

Hydrotechnický výzkum kapacity sektorového uzávěru

MARTIN KRÁLÍK, JAN HLOM

Klíčová slova: povodňový průtok — hydraulický model — měrná křivka

SOUHRN

Príspevek se zabývá hydraulickým a statickým posouzením sektorového uzávěru v Děčíně a v Českém Krumlově na základě vyhodnocení experimentálních měření provedených na fyzikálním hydraulickém modelu ve vodohospodářské laboratoři Fakulty stavební ČVUT v Praze. Hydrotechnický výzkum popisuje měření hladin, průtoků a tlaků na obtékané ploše. Na modelu bylo vyhodnoceno mnoho typů technických možností úprav přelivu. Kapacita přelivu je ovlivňována manipulacemi s pohyblivými uzávěry. Klasické hydraulické výpočty nejsou dostatečně přesné vzhledem k velikosti a významnosti celého vodního díla. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k otestování zjednodušených teoretických hydraulických výpočtů pomocí fyzikálního hydraulického modelu.

ÚVOD

Hydrostatický sektor je typ jezové konstrukce, jehož pohyb se ovládá propojením tlačné komory s horní nebo dolní vodou. Spodní stavba jezu je navržena tak, aby se hradicí těleso zvedalo přetlakem vody vyvozeným při propojení prostoru horní vody s tlačnou komorou a sklápělo se při jejím propojení s dolní vodou. Hlavní výhodou hydrostatického sektoru je úspora pohybujících mechanismů, protože pohyb hradicího tělesa je zajištěn spojením přes trojcestný ventil různými polohami horní nebo dolní vody. Tlačná komora je tedy umístěna ve spodní stavbě jezu a podstatně se ušetří na výšce pilířů, což se příznivě projeví i při začlenění jezu do rámce krajiny. Rozhodujícími podmínkami pro správnou funkci je vytvoření dostatečného rozdílu hladin horní a dolní vody ve všech polohách hradicího uzávěru. Dále je potřeba zajistit podmínky pro zdvih při udržování stálého vzduší a udržet hradicí uzávěr v nejnižší poloze při stoupání průtoků. Zvláštní pozornost nutno věnovat vlivu dolní vody a tvaru spodní stavby na funkci uzávěru. K dokonalé funkci hydrostatického sektoru je nutné, aby jeho vnitřní prostor byl stále naplněn vodou, nebo aby vniklý vzduch byl z horní části plněného prostoru odváděn. Hydraulické charakteristiky jsou podobné jako u jezů se strojním pohybem. Budování hydrostatických jezů je možné i v místech s omezeným prostorem, neboť prostorové nároky na technologii jsou malé. Jsou to pouze kanálky se šoupaty pro propojení tlačné komory s horní a dolní vodou a jejich ovládání. Umísťování jezů může být i do míst s mírně nepříznivými hydraulickými podmínkami, které je potřeba prověřit na hydraulickém modelu. Opodstatnění fyzikálního modelování je zásadní v okruhu otázek ohledně upřesnění hydraulických charakteristik nebo v nalezení popisu jednotlivých hydraulických jevů, které nelze popsat rovnicemi a vzorci základní hydrauliky.

PLAVEBNÍ STUPEŇ DĚČÍN

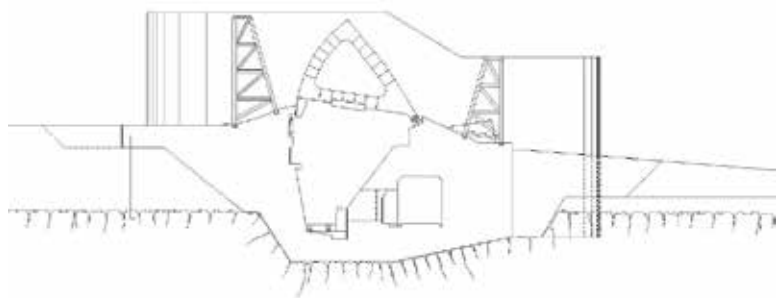
Plánovaný plavební stupeň Děčín v ř. km 737,12 Labe je situován v levostranném oblouku v bezprostřední blízkosti děčínského přístavu Loubí. Plánovaný plavební stupeň Děčín má velký význam v možnosti využití labsko-vltavské vodní cesty pro lodní nákladní dopravu. Labsko-vltavská vodní cesta spojuje Českou republiku s přístavy v Severním a Baltském moři. V současné době není v úseku od státní hranice ČR/SRN zajištěna splavnost s dostatečným ponorem po většinou část roku. Navrhovaný plavební stupeň společně s koncentračními stavbami pod plavebním stupněm by měly zajistit splavnost s ponorem 1,4 metru po 345 dní v roce a s ponorem 2,2 metru po 180 dní v roce.

Plavební stupeň Děčín se skládá z jezu, plavební komory, malé vodní elektrárny a biokoridoru. Jez se tvoří třemi jezovými poli, každé o šířce 40 metrů. Jednotlivá pole jsou oddělena pilíři, každý o šířce 4 metry. Pole jsou hrazena hydrostatickými sektory, které při plném sklopení navazují na betonovou konstrukci jezu a společně tvoří Jamborův práh. Jamborův práh převyšuje dno řeky o 1,3 metru. V jezovém tělese se nachází komunikační a revizní štola. Betonová konstrukce je dělena příčnými dilatačními spárami na několik celků. Tlumení energie přepadající vody je řešeno pomocí bezvývarového řešení. Na konci Jamborova prahu se nacházejí rozrážeče, za nimi je zához z lomového kamene. Zához je tvořen ze dvou frakcí, v bezprostřední blízkosti jezu se nachází frakce tvaru krychle o straně cca 1 metr, dále od jezu je „jemnější“ frakce o průměrném zrna 0,45 metru.

Plavební komora je situována u levého konvexního břehu, její pozice je určena tak, aby i přes dlouhé rejdry na vstupu a z výstupu komory dobře navazovala na plavební dráhu lodí v oblouku. Užité délka komory je 200 metrů, komoru je možné rozdělit na horní (38 m) a dolní (140 m) provozní délky. Užité šířka komory je 24 metrů. Komora je tvořena železobetonovou polorámovou konstrukcí. Plnění a prázdnění komory je zajištěno pomocí dlouhých obtoků. Horní vrata jsou hrazena spustným segmentem, střední a dolní vrata jsou vzpěrná.

Vzniklý spád je využíván malou vodní elektrárnou nacházející se u pravého břehu mezi biokoridorem a jezovými poli. Elektrickou energii vyrábí dvě Kaplanovy turbíny o celkovém výkonu 7,9 MW a celkové hltnosti 250 m³.s⁻¹. Na pravém břehu se nachází biokoridor o šířce 30 metrů sloužící pro překonání jezu veškerou vodní faunou a dále také suchozemskými živočichy [1].

Hydrostatický jez na plavebním stupni Děčín je tvořen spodní pevnou betonovou konstrukcí s tlačnou komorou a pohyblivým ocelovým uzávěrem. V prahu jezového tělesa se nachází tlačná komora, s jejíž pomocí jsou ovládány hydrostatické sektory (obr. 1). Jezový uzávěr je tvořen svařenou ocelovou konstrukcí o výšce 5,2 metru a délce 40 metrů. Voda je do tlačné komory přiváděna potrubím, které prochází pod celou jezovou konstrukcí revizní štolou. Ocelová konstrukce uzávěru je otočná okolo ložisek umístěných na povodňové straně. Sektor je možné zaaretovat v horní a dolní poloze.



Obr. 1. Řez spodní stavby a hydrostatickým sektorem VD Děčín

Fig. 1. The cut of the substructure and the hydrostatic sector of the Děčín waterworks

JEZ „JELENÍ LÁVKA“ – ČESKÝ KRUMLOV

Jez „Jelení lávka“ je vzdouvacím stupněm na Vltavě v tradiční lokalitě centra Českého Krumlova s vysokou pohledovou expozicí. Původní jediný a základní účel jezu – hydroenergetické využití průtoku a spádu v pravobřežním objektu mlýna s návazným mlýnským odpadem mimo koryto Vltavy je dnes nutně spojen s účelem estetického vzdutí hladiny řeky podél městského centra.

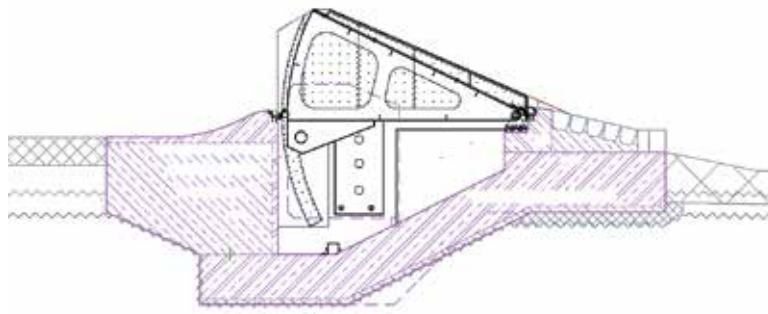
V rámci protipovodňových opatření v Českém Krumlově byl v letech 2012 až 2013 rekonstruován jez „Jelení lávka“. Při této rekonstrukci byl původní pevný jez nahrazen pohyblivým jezem hrazeným hydrostatickým sektorem. Rekonstrukce pevného jezu na pohyblivý byla provedena s ohledem na zlepšení průchodu povodní historickým centrem města.

Půdorysně šikmý jez vůči ose toku, zahrnující pevné a sklopné pole, zahrnuje širokou propust u levého břehu. Propust zajišťuje smíšenou funkci koridoru sportovní či rekreační plavby a rybího přechodu přes spádový stupeň. U pravého břehu je vytvořen oddělením od řečiště nornou stěnou s lávkou přítokový kanál k objektu mlýna. Tento kanál přivádí vodu do dvou kašen vertikálních turbín, oddělených vzájemně užší jalovou propustí s osazeným vodním kolem, odtok od turbín je realizován odpadním kanálem mimo říční koryto. Odkalení přítokového kanálu je zajištěno další jalovou propustí, hrazenou zdvižným stavidlem v prodloužené ose jezu.

Vodní dílo je tvořeno pohyblivým jezem, plavební propustí se současnou funkcí rybího přechodu při levém břehu a vtokovým zálivem – přítokovým kanálem k MVE, umístěné pod budovou mlýna, na pravém břehu.

V úseku 40 m od pravobřežního pilíře je jez řešen jako sklápěcí pohyblivé pole s osazením ocelového hydrostatického sektoru s dřevěným opláštěním viditelné přelivné plochy. Zbytek délky jezu po levobřežní propust se zalomením osy koruny je řešen jako pole pevného jezu s vnitřní přístupovou chodbou k levému okraji pole sektoru. V běžném provozu bude sektorový uzávěr trvale zaaretován v horní poloze z pravé strany. Po nástupu povodňových průtoků ve stanovený okamžik bude ručně uzávěr odaretován a sklopen. Po konci povodně bude uzávěr v určený okamžik opět vztyčen a zaaretován. Tvar hydrostatického sektoru je atypický, prodloužený v přelivné ploše pevného jezu – pohyblivé pole tak odpovídá vizuální podobě spodní stavby pevného jezu (obr. 2).

Pohyb hydrostatického sektoru nahoru a dolů je řešen trubním propojením jeho tlačné komory s horní či dolní vodou. Pro některé přechodové stavy je plnění i prázdnění tlačné komory podpořeno čerpáním. Armaturní komora je umístěna v pravém dutém pilíři jezu. Levé zavázání sektoru zahrnuje pouze horní aretaci uzávěru pro účel revize tlačné komory při jejím vyčerpání. Přístup k aretaci je možný chodbou od šachty v pilíři propustí v konstrukci pevného jezu.



Obr. 2. Řez spodní stavbou a hydrostatickým sektorem VD Český Krumlov

Fig. 2. The cut of the substructure and the hydrostatic sector of the Český Krumlov waterworks

Jezová propust u levého břehu má smíšenou funkci vodácké propusti a rybího přechodu. V šířce propusti je vytvořena plavební snížená kyneta s větším přerodem vody. Zdrhla v propusti, které zpomalují i čeří proud v propusti, zároveň vytváří mezilehlé tišiny jako útočiště ryb v pohybu proti proudu. Zdrhla jsou vytvořena z poměrně vysokých plastových polí kartáčů. Výška kartáčů ve střední snížené plavební kynetě je 50 cm, v přidružených bočních polích pak 30 cm.

Na pravém břehu v břehové linii nadjezí, je před vtokem do mlýna instalována norná stěna s možností osazení hrubých česlí světlosti 30 cm. Norná stěna je vytvořena jako srubová konstrukce s horní lávkou a jednoduchým dřevěným zábradlím. Po lávce je umožněn přístup obsluhy k armaturní komoře, v konstrukci v chráničkách pod mostovkou vedou i kabely NN přípojky k jezu. Za stěnou navázanou na pravobřežní pilíř jezu s armaturní komorou je prostor přiváděcího kanálu ke kašnám dvou turbín, pod objektem mlýna s navazujícím derivačním odpadem, zaústěným dále do Vltavy [2].

POPIS KONSTRUKCE HYDROSTATICKÉHO UZÁVĚRU

Hydrostatický pohyblivý jez je tvořen pevnou spodní stavbou s tlačnou komorou a ocelovým pohyblivým uzávěrem. Tvar spodní stavby odpovídá požadavku osazeného typu pohyblivého jezového uzávěru – hydrostatického sektoru. Tlačná komora jezu je spojena vodotěsnými dveřmi s armaturní komorou a s přístupovou chodbou pod pevnou částí jezu od dělícího pilíře propustí. V tlačné komoře jsou na povodním prahu zakotvena ložiska sektoru. V ozubech spodní stavby jsou dále zakotveny profily prahových těsnění sektoru. Část spodní stavby jezu tvoří Jamborův práh. V rámci prahu jsou do spodní stavby zakotveny patky slupic provizorního hrazení jezu.

KAPACITA JEZU

Sektor je možné zaaretovat v horní a dolní poloze. Za běžných průtoků nebude s hydrostatickým sektorovým uzávěrem, zaaretovaným v horní poloze, nijak manipulováno. Výjimkou mohou být krátkodobé kontrolní funkční zkoušky a revizní prohlídky. Za povodně bude hydrostatický sektorový uzávěr sklopen a zaaretován v dolní poloze.



Měrná křivka jednotlivých částí jezu i celek byla počítána na základě hydraulického výpočtu pro přepad vody:

$$Q = \sigma_z m b_0 \sqrt{2gh_0}^{3/2} \quad (1)$$

kde Q je průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 σ_z součinitel zatopení,
 m součinitel přepadu,
 b_0 účinná šířka přelivu [m],
 g tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],
 h_0 přepadová výška [m].

Měrné křivky jednotlivých objektů byly počítány pro mnoho poloh hydrostatického sektoru. Nutno poznamenat, že přesnost výpočtů je dána geometrií, složitostí stavebních konstrukcí a velikostí zatopení dolní vodou, která má přímý vliv na kapacitu objektů. Při hydraulických výpočtech bylo nutno zohlednit tvary přelivných ploch jednotlivých částí jezu součinitelem přepadu a dispozičního uspořádání stavebních konstrukcí odpovídajícími součiniteli bočního zúžení. Zohlednit všechny ukazatele, které ovlivňují kapacitu přelivu, při různých hladinách vody ve zdrži, je prakticky nepostihnutelné a oddělit od sebe součinitele pro jednotlivé části jezu (včetně přeléváných pilířů) je nemožné.

HYDROTECHNICKÝ MODELOVÝ VÝZKUM

Hydraulické jevy, proudění vody a jeho hydraulické charakteristiky je možno zkoumat na postaveném vodním díle, nicméně z objektivních příčin je tento výzkum značně ztížen, proto se často přistupuje ke zkoumání na zmenšeném modelu vodního díla v laboratorních podmínkách. Počáteční, okrajové a limitující podmínky jsou dány rozměrovou, silovou a hmotnostní analýzou, které vychází z podmínek zkoumání jevů na modelu pomocí Froudova zákona mechanické podobnosti. Pokud existuje alespoň částečná rozměrová podobnost, je možno použít pro hydraulické výpočty analogii z předchozích výzkumů. Přepočtení jednotlivých charakteristik z původního modelu na skutečné vodní dílo lze provést pomocí vzorců:

- měřítko délek M_l ,
- měřítko rychlostí $M_v = M_l^{1/2}$,
- měřítko průtoků $M_Q = M_l^{5/2}$,
- měřítko sil $M_F = M_l^3$.

Měřítka modelu jezu s hydrostatickým sektorem bylo určeno na základě mezních podmínek modelové podobnosti, možnostech laboratoře, konstrukčních možnostech a podmínek reprezentativnosti výzkumu. Zvolená měřítko pro model jezu v Děčíně byla podle vzorců stanovena takto: délek $M_l = 1 : 20$, rychlostí je $M_v = 1 : 4,47$, průtoků je $M_Q = 1 : 1\,789$ a sil je $M_F = 1 : 8\,000$. Zvolená měřítko pro model Český Krumlov byla podle vzorců stanovena takto: délek $M_l = 1 : 16$, rychlostí je $M_v = 1 : 4$, průtoků je $M_Q = 1 : 1\,024$ a sil je $M_F = 1 : 4\,096$.

Voda byla k modelu hydrostatického sektoru přiváděna rozváděcím potrubím v laboratoři, průtok byl měřen pomocí magneticko-indukčního průtokoměru, voda byla uklidněna v uklidňovací nádrži. Voda z modelu byla odvedena sběrnou nádrží do podzemních prostor vodohospodářské laboratoře, kde je umístěna centrální akumulace vody.

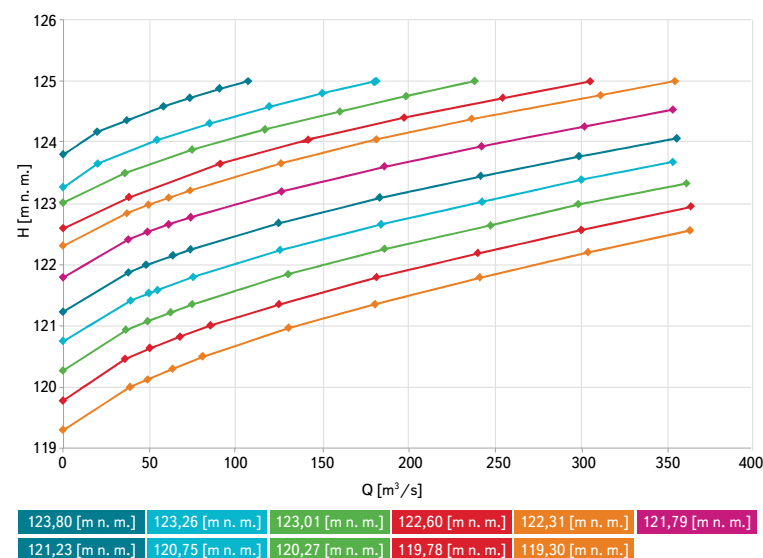
Cílem modelového výzkumu bylo ověřit a zpřesnit hydraulické výpočty jezu s hydrostatickým sektorem. Kapacitu jezu ovlivňuje tvar přelivné plochy, drsnost přelivné plochy, pilíře mezi jednotlivými poli, předpolí jezu a dolní voda v korytě pod jezem. Všechny tyto detaily bylo potřeba zohlednit při fyzikálním modelování, aby výsledky byly co nejvěrohodnější.

VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ

Výsledky pokusů všech měření jsou zaznamenány pomocí měrné křivky hydrostatického sektoru a pomocí grafických závislostí sil působících na hydrostatický sektor (nejsou součástí tohoto článku).

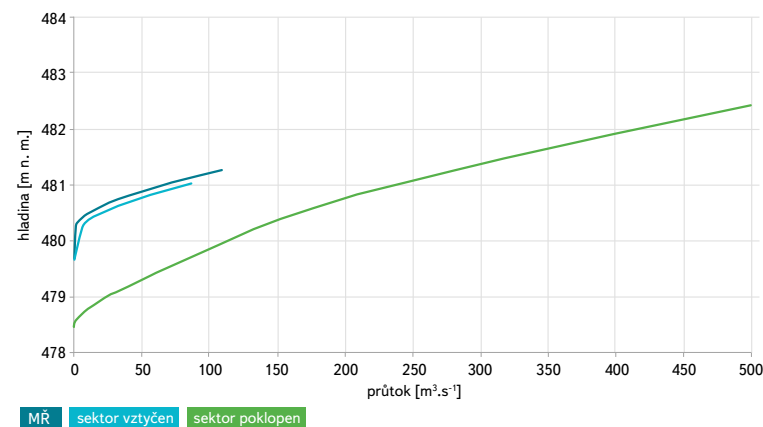
Pro úplnost měření byly změřeny a vyhodnoceny konzumní křivky hydrostatického sektoru v mezipolohách mezi úplným vztyčením a úplným sklopením. Při úplném sklopení hydrostatického sektoru v Českém Krumlově byl do výpočtu zahrnut součinitel zatopení dolní vodou. Součinitel zatopení dolní vodou byl uvažován pro polohy hladin dolní vody nad přelivnou hranou sklopeného hydrostatického sektoru. Na hydraulickém modelu byla dolní hladina nastavována podle konzumní křivky dolní vody.

Z obr. 3 konzumních křivek VD Děčín je patrný rozdíl kapacit mezi jednotlivými polohami hydrostatického sektoru. Kapacita přelivu je velkou měrou závislá na geometrickém tvaru, proto se s různými polohami hydrostatického sektoru mění. Na obr. 4 konzumních křivek jezu v Českém Krumlově lze pozorovat výrazný rozdíl v kapacitě jezu vztyčeného hydrostatického sektoru ve srovnání se sklopeným uzávěrem. Součinitel přelivu je také v tomto případě výrazně ovlivňován nátokovými podmínkami v nadjezí a dolní vodou pod jezem.



Obr. 3. Měrná křivka jezu Děčín

Fig. 3. The specific curve of the Děčín weir



Obr. 4. Měrná křivka jezu „Jelení lávka“ – výpočet Králík x manipulační řád

Fig. 4. Specific curve weir „Jelení lávka“ – calculation of Králík and handling regulations

V rámci všech měření přepadových výšek přes hydrostatický sektor byly také měřeny polohy hladiny v místě druhé vzájemné hloubky a dále poloha hladiny dolní vody. Při všech pokusech se pod sektorem nalézal prostý vodní skok. Veškerá kinetická energie byla utlumena v přilehlém prostoru, kde se očekává tlumení kinetické energie podle projektu.

Na hydrostatický sektor působí vnější síly od vlastní tíhy, statického a dynamického působení vody a třecí síly v ložiscích a těsněních. Model hydrostatického sektoru byl vyroben z plastů a těsnění potřebné pro správnou funkci z pryže, která při stejném zatížení vodou může vykazovat různé tření mezi konstrukcí pilířů a sektorem, a tím znehodnotit měření vnějších sil. Pro měření reakcí sil byly pokusy opakovány třikrát po sobě a výsledky vykazovaly naprostou shodu, což je důkaz pro korektnost naměřených údajů a nezávislost postupu na možných diferencích třecích sil. Vyhodnocení sil je možno použít při výpočtu zatížení na hydrostatický sektor a pro návrh manipulace pomocí vztlakové síly v tlačné komoře.

ZÁVĚR

Určení měrné křivky pohyblivého jezu s hydrostatickým sektorem se opírá rovněž o výsledky předchozích výzkumů, které ale nepostihovaly konkrétní tvar přelivné plochy a podmínek proudění vody před hydrostatickým sektorem jezu. Proto je součinitel přepadu odlišný od původního výpočtu. Rozdíl původního součinitele přepadu zjištěného z literatury [3] ve srovnání se součinitelem vypočteným z naměřených hodnot průtoku a přepadové výšky je 4 % při zdviženém sektoru a 12,5 % při sklopeném sektoru.

Hydraulické fyzikální modelování má své opodstatnění při řešení složitých úloh návrhu a posouzení hydrotechnických děl. Při posouzení nově navrženého i stávajícího stavu jezu a navazujících objektů byl použit hydraulický model, který věrně popisuje proudění na jednotlivých objektech. Výsledky řešení stávajícího stavu byly znázorněny ve formě grafického zpracování měrných křivek a křivek vnějších sil působících na konstrukci hydrostatického sektoru. Výsledky těchto měření mohou být použity pro posouzení a optimalizaci všech dílčích částí jezu. Znalosti získané v modelovém výzkumu, nejen významných vodních děl, jsou velmi ceněné a v celkovém pojetí jsou získány za malou cenu z ceny projektu, či za zlomek ceny z výstavby plánovaného vodního díla [4].

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory grantu SGS19/046/OHK1/1T/11 Kombinovaný výzkum proudění vody na hydrotechnických stavbách.

Literatura

- [1] FOŠUMPAUR, P. a kol. *Fyzikální hydraulický modelový výzkum plavební komory Děčín*. výzkumná zpráva. Praha, 2016.
- [2] KRÁLÍK, M. Hydrotechnický výzkum sektorového uzávěru. *Vodní hospodářství*, 2017.
- [3] HAVLÍK, V. a MAREŠOVÁ, I. *Hydraulika (příklady)*. skript. Praha: ČVUT, 1990.
- [4] ČÁBELKA, J. a GABRIEL, P. *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice*. Praha: Academia, 1987.

Autoři

Ing. Martin Králík, Ph.D.¹

✉ martin.kralik@fsv.cvut.cz

Ing. Jan Hlom^{1,2}

✉ jan.hlom@vuv.cz

¹Katedra hydrotechniky, Fakulta stavební ČVUT v Praze

²Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

HYDROTECHNICAL RESEARCH OF A SECTOR GATE

KRALIK, M.¹; HLOM, J.^{1,2}

¹Department of Hydrotechnics, Faculty of Civil Engineering CTU in Prague

²TGM Water Research Institute, p.r.i.

Keywords: flood discharge — hydraulic model — consumption curve

The article deals with the hydraulic and structural assessment of a sector gate in Děčín and Český Krumlov based on the evaluation of experimental measurements performed on a physical hydraulic model In the Water Management Laboratory of the Faculty of Civil Engineering, CTU in Prague. The hydrotechnical investigation describes the measurement of levels, discharges and pressures in the spillway. Many types of technical options of the spillway modifications were evaluated on the model. The capacity of the spillway structure is influenced by the operation of the gates. Standard hydraulic formulas cannot be regarded as accurate enough considering the size and importance of the entire hydraulic structure. For the reasons mentioned above the simplified theoretical calculations were validated on the physical hydraulic model.



Autoři VTEI

Ing. Adam Beran, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i.

✉ adam.beran@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Adam Beran, Ph.D., je hydrolog specializující se na dopady klimatické změny na hydrologický režim a možnosti adaptování. Ve VÚV TGM, v. v. i., působí od roku 2010, v roce 2019 ukončil doktorský studijní program Environmentální modelování na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze. Je hlavním řešitelem projektů na témata změny hydrologické bilance vlivem klimatické změny, adaptační opatření, sucho, výpar a související.

Ing. Martin Králík, Ph.D.

ČVUT v Praze

✉ martin.kralik@fsv.cvut.cz
www.fsv.cvut.cz



Ing. Martin Králík, Ph.D., je zaměstnancem Katedry hydrotechniky, Fakulty stavební, ČVUT v Praze od roku 2005, a to jako odborný asistent. Vystudoval obor Vodní hospodářství a vodní stavby na Fakultě stavební, ČVUT v Praze. Jako hlavní řešitel nebo člen řešitelského týmu se podílí či podílel na řešení několika výzkumných projektů v oboru fyzikálního modelování.

Mgr. Petra Šuhájková

VÚV TGM, v. v. i.

✉ petra.suhajkova@vuv.cz
www.vuv.cz



Mgr. Petra Šuhájková je od roku 2018 zaměstnancem oddělení hydrologie ve VÚV TGM, v. v. i. V roce 2015 ukončila magisterský obor Učitelství biologie a geografie pro SŠ na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy. Ve své diplomové práci se věnovala tématu interakce podzemní a povrchové vody za extrémních hydrologických situací. V roce 2019 nastoupila na doktorské studium České zemědělské univerzity v Praze se zaměřením na hydrologické modelování. V rámci své činnosti ve VÚV TGM, v. v. i., a studia na ČZÚ se zabývá především problematikou evaporace z vodní hladiny.

Mgr. Pavel Tremel

VÚV TGM, v. v. i.

✉ pavel.tremel@vuv.cz
www.vuv.cz



Mgr. Pavel Tremel vystudoval Přírodovědeckou fakultu UK v Praze, obor Fyzická geografie. Pracuje v oddělení hydrologie VÚV TGM, v. v. i., kde se kromě hydrologických analýz věnuje i mezioborovému výzkumu a vazbám mezi hydrologií, meteorologií a klimatologií, přičemž více než 10 let se specializuje na komplexní výzkum problematiky sucha (z hydrologického i meteorologického pohledu), dlouhodobě se dále zabývá tematikou dopadů klimatické změny na vodní zdroje, problematikou teploty vody či vlivem technického zasněžování na vodní toky.



Rozhovor s Ing. Janem Uhlíkem, Ph.D., hydrogeologem ve společnosti PROGEO, s. r. o.

Českou republiku v posledních letech trápí nízké srážkové úhrny a vysoké teploty vzduchu. Jaký je pozorovaný vývoj zásob podzemní vody?

Poslední nadprůměrné doplnění zásob podzemní vody na území ČR nastalo v roce 2010. Následující roky již byly z hlediska doplňování zásob podzemní vody pouze průměrné, ale i výrazně podprůměrné (2016–2018). Důsledkem je snížení zásob doprovázené poklesem hladiny podzemní vody hlouběji pod úroveň terénu.

V období bez srážek napájí říční síť pouze podzemní voda. V letech 2016–2018 byla v povodí Moravy i Labe opakovaně dosažena mnohaletá minima pozorovaného odtoku. Například v oblasti Dolnomoravského úvalu (profil Strážnice) v roce 2018 poklesl průtok k hodnotám $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0,63 \text{ l/s/km}^2$). Lze si tak již představit situaci, kdy by v případě masivnějších odběrů pro závlahy odtok v Moravě při hranici se Slovenskem téměř ustal.

Dochází vlivem dlouhodobého sucha a změnou klimatických podmínek ke změnám některých vlastností půd, jež mají vliv na infiltraci vody do podzemních kolektorů?

Doplňování podzemních vod primárně závisí na velikosti srážek a na jejich distribuci v čase jak během jednotlivých srážkových událostí, tak i v průběhu celého roku. Aby k doplnění zásob podzemní vody došlo, musí být horninové prostředí mezi terénem a hladinou podzemní vody, tzv. proměnlivě saturovaná zóna, nasyceno nad svou retenční kapacitu. Mocnost proměnlivě saturované zóny na území ČR dosahuje decimetry (oblasti drenáže podzemní vody), ale i vyšší desítky metrů (horninová prostředí s dobrou propustností – nejčastěji křídového stáří).

K doplnění zásob podzemní vody dochází v ČR dosud pravidelně v průběhu zimy a zejména v navazujícím jarním období. Nadprůměrně teplé zimy s absencí sněhové pokrývky ale způsobují snížené doplňování. Celoročně zvýšený výpar daný vzestupem teplot a větší vláhový deficit v proměnlivě



saturované zóně z letního a podzimního období neumožňuje jarní doplnění zásob podzemní vody na obvyklou úroveň. Z důvodu změny klimatu tak hrozí nižší obnova zásob podzemní vody. A to i přesto že se srážky nemusí snížit, nebo dokonce i mírně vzrostou.

Retenční schopnost a proudění podzemní vody v proměnlivě saturované zóně jsou úzce spjaty s uspořádáním pórů (vodivých cest). Procesy, které vedou ke zhutnění půdního horizontu, ztrátě jeho propustnosti, nebo k zamezení infiltrace např. v důsledku zástavby, snižují obnovu zásob podzemní vody. Srážky se pak více účastní povrchového a mělkého přípoверхového odtoku na úkor odtoku podzemního.

Je možné pozorovat přímou souvislost mezi snižující se zásobou vody v podzemí a zvýšenou evapotranspirací?

Na časových řadách chodu teplot v ČR lze v posledních třech dekadách jednoznačně identifikovat vzestupný trend. V dětství mne otec naučil jezdit na sjezdovkách a bruslit na svazích a rybnících v Praze. Totéž jsem svým dětem dopřát nemohl. Dlouhodobější výskyt teplot v blízkosti 30 °C nebyl v létě běžný. Klima se skutečně změnilo a lze to dokladovat na měřeních realizovaných ČHMÚ.

Výpar z rostlin a půdy nelineárně vzrůstá s nárůstem slunečního záření, teploty a rychlosti proudění vzduchu. Růst teplot tak prokazatelně znamená větší ztráty vody z krajiny a proto i snížené doplňování zásob vody podzemní. Z hlediska doplnění zásob podzemní vody jsou pro území ČR významné změny klimatu zejména v období zimy a jara. V létě a na podzim obvykle k doplnění zásob podzemní vody téměř nedocházelo ani dosud.

Zásoby podzemní vody kolísají v ročních a víceletých cyklech. Snížené doplňování se neprojeví okamžitě, ale mnohaletými poklesovými trendy (i změny





klimatu jsou spíše pozvolné). Existenci trendů poklesu zásob podzemní vody lze dokládat častějším výskytem dosud nepozorovaných minim úrovní hladin podzemní vody i odtoku v říční síti, rovněž jejich trváním i plošným rozsahem.

Napjatější vodní bilance se promítá do činnosti provozovatelů vodních zdrojů. Ti i přes značný pokles odběrů podzemní vody během posledních dekád (z důvodu růstu ceny vody) mají mnohdy problém vyhovět stanoveným limitům (minimální hladiny a průtoky v říční síti v oblastech zdrojů podzemních vod), které byly na základě historické zkušenosti o hydrogeologických poměrech pro oblasti jímání stanoveny.

Může mít zvyšující se výpar z vodní hladiny, např. z rybníků, přímý vliv na hladinu podzemní vody v jejich bezprostředním okolí? A jak se díváte na roli rybníků a malých vodních nádrží jako potenciální zdroje pro posilování podzemních vod?

Vodní nádrže jsou v oblastech s převažujícím výparem nad srážkami doplňovány povrchovým přítokem a příronem podzemních vod (nejčastěji jejich kombinací). Pokud povrchový přítok chybí (např. nebeské rybníky, pískovny, šterkovny), jsou ztráty výparem nahrazovány přítokem podzemní vody.

Antropogenní změny krajiny podstatně zvýšily povrchový odtok. Ten v době srážek vzniká na zpevněných plochách, ale i na polích s nepříznivými poměry danými sklonem, obděláváním i aktuální skladbou plodin. Zadržení povrchového odtoku a vytvoření zásoby pro suché období je správná myšlenka. Vodní nádrže jsou ale rovněž recipientem splavenin a příjemcem znečištění. Často se v nádržích vyskytuje eutrofizace a prostředí deficitní na rozpuštěný kyslík. V posledních letech se dostává do popředí zájmu problematika kontaminace vod pesticidy a jejich metabolity, léčiv a dalšími průmyslovými látkami. Minimálně stejně hodnotná je tak proto myšlenka podporovat přirozené vsakování srážek do horninového prostředí, případně ho ve vhodných lokalitách posilovat umělou infiltrací.

Nádrže je možné stavět pouze v příznivých morfologických a geologických poměrech. Obvykle se jedná o oblasti regionální drenáže podzemních vod. Nádrže mohou primárně nadlepšovat nepříznivé odtokové poměry v říční síti. Zlepšení stavu podzemních vod není hlavním přínosem nádrží.

Je možné charakterizovat oblasti v ČR, které považujete za nejohroženější jak v současných podmínkách, tak v podmínkách ovlivněných změnou klimatu například k pol. 21. století?

Klimatická změna se nejvíce projeví v oblastech s napjatou vodní bilancí – tedy v místech s nízkým srážkovým normálem, nebo v místech s odběry podzemní vody pro lidskou spotřebu. Geograficky se jedná především o nížiny, kam je vázána značná část populace i zemědělské výroby, tzn. oblast jižní Moravy nebo Polabí. Vlivem srážkového stínu je klimatickou změnou silně ohroženo rovněž Žatecko.

V širší soutokové oblasti Moravy a Dyje je za dosavadních podmínek velikost doplňování zásob podzemí vody odhadována jen okolo 0,5 l/s/km². Ročně se zde do podzemních vod infiltruje pouze cca 15 mm vodního sloupce. Přitom v letním období na jižní Moravě dosahuje výpar z volné hladiny v maximech až 11 mm za den.

Změny klimatu mohou v uvedených oblastech ČR dosud pravidelné každoroční doplňování zásob podzemní vody změnit jen na občasné. Přijatá adaptační opatření, studie problematiky i informovanost společnosti patří mezi klíčové faktory, které ovlivní, jak bolestné změny klimatu výsledně budou.

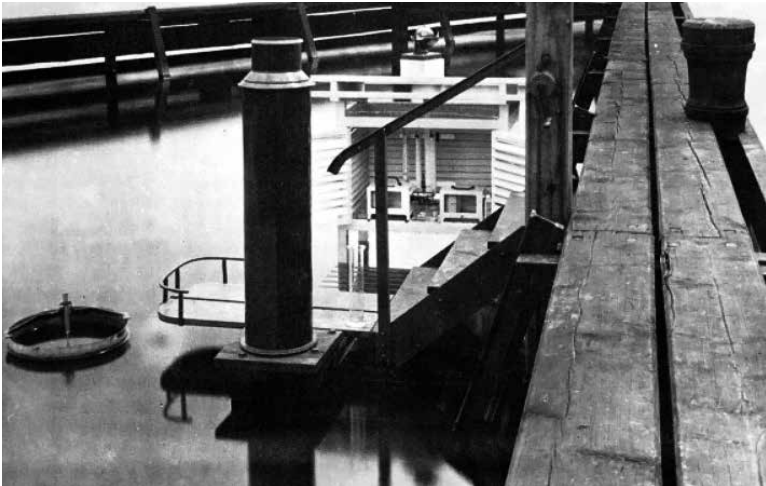
Oddělení hydrologie



Pozorování výparu z vodní hladiny ve VÚV TGM

Výpar z volné hladiny je jedním ze základních prvků hydrologické bilance. Jeho průměrná hodnota se v průběhu let mění vlivem postupující klimatické změny, stejně jako je tomu u dalších prvků hydrologické bilance. Data z výparoměr-
ných stanic jsou přínosná pro studie posuzující vliv klimatické změny na hyd-
rologickou bilanci, stejně tak pro stanovení rovnic pro jeho výpočet a obecně
pro bližší poznání hydrologického cyklu. Význam pozorování je zvětšen potře-
bou kvantifikovat změny výparu vlivem probíhající změny klimatu. Pozorování
výparu z vodní hladiny není prováděno běžně, z důvodu značné náročnosti na
údržbu a obsluhu výparoměr-
ných stanic. Z tohoto důvodu je dopočítáván ze
vzorců na základě závislosti na dalších meteorologických veličinách.

Výzkumný ústav vodohospodářský se zabývá pozorováním výparu z vodní
hladiny již od 30. let minulého století. V období mezi světovými válkami konal
ústav pozorování v souvislosti s plánovanou nádrží na Rozkoši u České Skalice
(rybník Rovenský) a na výzkumné hydrologické stanici při ústavu v Podbabě [1]
(obr. 1 a 2). Bylo používáno plovoucích i zemních výparoměrů. Výsledkem těchto
prací bylo nakonec sestrojení tzv. Rónova výparoměru. V následujících letech



Obr. 1. Pozorování výparu v Praze Podbabě (přibližně 40. léta)

byla v souvislosti s plánovanou výstavbou tzv. Odersko-dunajského průplavu
zřízena celostátní síť výparoměrů Rónových. V roce 1956 byly zřízeny výparo-
měrné stanice v Hlasivu u Tábora, která je v provozu dodnes, a v Tišicích na
Mělnicku (1956–1974). V roce 2018 bylo obnoveno pozorování výparu z vodní
hladiny v areálu VÚV v Podbabě, současně byly pořízeny dva plovoucí výparo-
měry, jež budou v provozu v rámci výzkumných projektů na vodních nádržích.

Výparnost z Rónova výparoměru v mm (Denní průměr v měsíci)								
Stanice :		Nadm.výška :		Zem.délka :		Zem.šířka :		
Praha - Podbaba VÚV		182 m		14°25'		50°70'02"		
měsíc								
Rok	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1943					5,5	2,4	-	-
1944	(2,4)	3,7	4,2	4,9	4,8	(3,2)	0,9	(0,5)
1945	3,2	-	(5,8)	7,1	4,3	2,7	(1,4)	-
1946	(4,0)	(5,4)	5,1	6,0	4,6	2,7	(0,9)	(0,5)
1947	(3,7)	(5,6)	6,7	(7,5)	6,8	(4,8)	-	-
1948	(4,6)	5,1	(5,9)	4,6	(4,6)	3,3	(1,6)	-
1949	(3,2)	(4,1)	4,8	5,4	5,6	3,2	(3,6)	(0,7)
1950	-	-	-	-	5,8	3,2	(1,0)	(0,4)
1951	-	3,8	(5,0)	(5,4)	5,2	(3,0)	1,6	(0,5)
1952	3,2	(3,5)	(4,7)	7,1	6,3	2,0	1,0	-
1953	(4,0)	(5,1)	(4,9)	5,9	8,6	4,2	1,5	-
1954	(2,8)	4,7	(6,0)	4,4	5,5	(3,0)	1,2	-
1955	(2,5)	4,3	5,1	5,0	3,8	2,3	(3,1)	(0,4)
1956	2,1	4,2	4,0	5,3	4,1	3,6	1,2	-
1957	2,7	4,5	6,4	4,9	(3,8)	(2,2)	1,0	(0,6)
1958	-	4,3	4,9	4,8	4,2	2,8	0,8	0,5
1959	3,7	5,3	(6,6)	(5,2)	5,2	3,4	-	-
1960	3,9	5,5	5,8	6,9	5,2	2,9	2,0	(0,9)
1961	3,2	2,7	5,2	4,7	3,5	3,1	-	-
1962	stanice zrušena							

Obr. 2. Průměrný měsíční výpar z Rónova výparoměru – stanice Podbaba

Tabulka 1. Seznam v současnosti měřených veličin ve stanici Hlasivo

Výpar z volné hladiny (srovnávací výparoměr (obr. 1), GGI 3000, Class-A Pan)	Teplota půdy v hloubce 20 cm
Teplota vzduchu ve výšce 2 m nad povrchem země	Teplota půdy v hloubce 50 cm
Relativní vlhkost vzduchu ve výšce 2 m nad povrchem země	Rychlost a směr větru
Teplota půdy v hloubce 5 cm	Úhrn a intenzita srážek
Teplota půdy v hloubce 10 cm	Globální sluneční radiace
	Teploty vody ve výparoměrech

Tabulka 2. Seznam v současnosti měřených veličin ve stanici Podbaba

Výpar z volné hladiny 3 výparoměry (průměr bazénu 2 m)	Rychlost a směr větru
Teplota vzduchu ve výšce 2 m	Úhrn a intenzita srážek
Relativní vlhkost vzduchu ve výšce 2 m nad povrchem země	Globální sluneční radiace
Teplota půdy v hloubce 10 cm	Teploty vody ve výparoměrech

VÝPAROMĚRNÁ STANICE HLASIVO

Výparoměrná stanice v Hlasivu u Tábora byla vybudována v roce 1956 v místech původní výzkumné meteorologické stanice a nyní je jedinou nezrušenou základní výparoměrnou stanicí na území ČR. Zaznamenává data o výparu z volné hladiny spolu s dalšími meteorologickými prvky (*tabulka 1*). Výpar je zde měřen v sezoně od května do října.

V Hlasivu byly v průběhu let používány výparoměry Rónův, Wildův, GGI 3000, Class-A pan a srovnávací výparoměr o ploše hladiny 20 m² (*obr. 3*). Na blízkém rybníku byl v minulosti umístěn na voru nejprve plovoucí výparoměr o ploše 1 m², později výparoměr o ploše 3 m² (*obr. 4*), pozorování probíhalo v 50. až 70. letech minulého století.

VÝPAROMĚRNÁ STANICE PODBABA

Od roku 2018 je pozorován výpar v areálu pražského pracoviště VÚV TGM. Jsou zde aktuálně umístěny tři výparoměrné bazény o průměru 2 m (*obr. 5*). Probíhá zde klasické měření výparu z vodní hladiny (1) v měsících duben až říjen (podle teplot i déle), (2) ve stejných měsících z vody s odlišným albedem z důvodu zelené barvy vody, (3) celoročně za použití nemrznoucí směsi rozpuštěné soli ve

vodě. Výsledky pozorování jsou porovnávána s pozorováním ze stanice Hlasivo a od roku 2019 budou porovnávána s pozorováním plovoucími výparoměry. Současně s výparem jsou zde měřeny další meteorologické veličiny (*tabulka 2*). Aktuální hodnoty měřených meteorologických veličin i výparu jsou online dostupné na internetových stránkách <http://www.suchovkrajine.cz/aplikace>.



Obr. 3. Srovnávací výparoměr ve stanici Hlasivo



Obr. 4. Plovoucí výparoměr – stanice Hlasivo



Obr. 5. Výparoměrné bazény v Podbabě (vpředu čistá voda, uprostřed solný roztok, v pozadí zelená „vykvetlá“ voda)

Literatura

[1] VÁŠA, J. *Přímé měření výparu z volné vodní hladiny*. Praha: VÚV TGM, 1968.

Autor

Ing. Adam Beran, Ph.D.

✉ adam.beran@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

Legislativní požadavky směrnice INSPIRE na hydrologická data

Směrnice INSPIRE je pojem, který se v poslední dekádě skloňuje v souvislosti s prostorově lokalizovanými daty, tzv. geodaty, hydrologickými nevyjímaje. Plným názvem Směrnice Evropského parlamentu a Rady ze dne 14. března 2007 o zřízení Infrastruktury pro prostorové informace v Evropském společenství (INSPIRE) primárně adresuje dostupnost, kvalitu, uspořádání, zpřístupnění a sdílení prostorových informací. INSPIRE legislativa je v českém právním prostředí definována zákonem č. 380/2009 Sb., který novelizoval znění zákona č. 123/1998 Sb., o právu na informace o životním prostředí, resp. doprovodnou vyhláškou č. 103/2010 Sb., o provedení některých ustanovení zákona o právu na informace o životním prostředí.

Pod zjednodušeným označením „směrnice INSPIRE“ se rozumí také deset dalších evropských legislativních dokumentů, které blíže popisují základní principy jednotlivých stavebních kamenů infrastruktury pro prostorové informace. Těmito stavebními kameny jsou metadata, síťové (neboli webové) služby, geodata, pravidla pro sdílení dat, sledování infrastruktury. Na technické úrovni pak hovoříme o desítkách dokumentů, které ukazují, jak nejlépe implementovat vznesené legislativní požadavky.

S blížícím se termínem pro naplnění všech legislativních povinností na geodata definovaná ve směrnici INSPIRE (říjen 2020) provádí Evropská komise častější kontroly se zaměřením na chybějící plnění povinností jednotlivých členských států. V rámci České republiky je legislativně definovaným koordinátorem směrnice INSPIRE Ministerstvo životního prostředí, které tyto povinnosti a pravomoc delegovalo na Českou informační agenturu životního prostředí (CENIA).

Primárním účelem směrnice INSPIRE je podpora nalezení geografické informace uživatelem. Z toho důvodu je legislativně vyžadováno, aby geografická data byla popsána metadaty. INSPIRE metadata se skládají z cca 20 metadatových prvků, pomocí kterých se uvádí základní popis datové sady, série datových sad nebo webové služby publikující geodata. Definovanými metadatovými prvky jsou například název, abstrakt, klíčová slova, datum vytvoření, odkaz pro získání geografické informace, jazyk, původ dat, odpovídající měřítko, omezení veřejného přístupu, podmínky přístupu a použití, zodpovědná organizace, datum aktualizace metadat apod. Smyslem je popsat geodata tak, jak jsou popsány jiné produkty každodenní činnosti, od údajů o složení potravin až po vinětu na láhvi vína. V běžném životě člověk na tato metadata spoléhá a jinak by tomu mělo být v případě geodat.

Metadata sama o sobě nezaručují ani vyhledání, ani získání geodat. Jsou však vhodným začátkem těchto procesů. Vyhledávání, prohlížení i stahování geodat zajišťují webové služby popsané níže. Vyhledávací službu si může čtenář zjednodušeně představit jako webovou stránku, na které může zadat název hledaných dat, měřítko či zakreslením do mapy vyznačit zájmové území např. kolem soutoku Dyje a Moravy. Prohlížeč služby následně dovolí procházet mapou s hydrologickými geodaty podobně jako na portálech Mapy.cz či Google Maps. Pomocí prohlížečské služby je pak možné podívat se na náhled geodat, která lze následně stáhnout pomocí služby stahování dat. Oproti portálům Mapy.cz či Google Maps cílí směrnice INSPIRE na 34 témat prostorových dat. Jejich výčet je velmi pestrý, od katastrálních parcel, přes ortofota, vodstvo, geologii, statistické jednotky, zařízení pro sledování životního prostředí (zjednodušeně senzory), oblasti ohrožené přírodními riziky, meteorologické jevy, rozložení druhů až po nerostné suroviny. Metadata, vyhledávací i prohlížečské služby musí být dostupné bez poplatku, mohou však být chráněny například registrací. Pro zamezení nechtěného kopírování nebo zneužití dat může být v prohlížečských službách kvalita obrazu degradována či znehodnocena například vodoznakem.

Směrnice INSPIRE definuje také tzv. datové modely. Ty si lze představit jako explicitní definici objektů, které mají být v geodatech uloženy, jako například vodní tok, jez, brod, stojatá voda, povodí, záplavové území či mokřad. Pro každý tento objekt, resp. prvek v Geografickém informačním systému (GIS) jsou definovány konkrétní atributy, jako například geometrie záplavového území, doba opakování povodní (Q_5 , Q_{20} , Q_{100} atd.), jedinečný identifikátor prvku či datum vytvoření/modelování v GIS. Takto definované atributy jsou povinné. Zároveň je však vytvořen mechanismus pro situace, kdy hodnotu atributu nelze uvést. Takové případy mohou nastat ve chvílích, kdy správná hodnota není známa nebo ji není z různých důvodů možné spočítat či uvést, či je daná hodnota jakkoli utajená. Dobrým úmyslem v pozadí tohoto požadavku je nepředávat uživateli pouze nulovou hodnotu, ale také uvést důvod, proč je tato hodnota nulová.

Směrnice INSPIRE nikoho nepřesvědčuje pro nová mapování ani pro vedení GIS prvků a jejich atributů jen v předepsané formě. Úmysl i nejčastější praxe nenarušují dobře zaběhnuté a odzkoušené procesy v dané organizaci. Konkrétně řečeno, zaměstnanci mohou dál používat svoje systémy i data tak, jak jsou zvyklí. Z databází s geodaty může být jen navíc nastaven export dat relevantních pro uživatele z řad veřejné správy, soukromých subjektů či občanů. Tento export by pak byl ve struktuře podle směrnice INSPIRE. Zároveň se zjednoduší reportování vůči Evropské environmentální agentuře, například s ohledem na Rámcovou směrnici o vodách (2000/60/ES). Evropská komise prostřednictvím směrnice INSPIRE sjednotila své požadavky na geodata, takže pokud se mají předávat geodata odpovídající Rámcové směrnici o vodách či Ramsarské úmluvě o mokřadech, předávají se ve struktuře definované směrnici INSPIRE.

Jednotliví pořizovatelé či správci dat mohou vytvářet geoportály, kde bude možné vyhledávat geodata, prohlížet si je či bude uživatelům umožněno si je stáhnout. Míra otevřenosti, zpoplatnění či licencí je přitom na daném subjektu. Pro vytvoření geoportálu hovoří návštěvnost a obliba geoportálů u veřejnosti obecně, představují nejvíce navštěvované webové stránky veřejné správy nejen v České republice, ale i v celé Evropě. Proti hovoří náklady na jejich realizaci i správu. Alternativou je využití infrastruktury Ministerstva životního prostředí s doprovodným exportem geodat na straně pořizovatelů dat.

Infrastruktura pro prostorové informace není jednorázovou záležitostí. Prostorová informační infrastruktura je stejná jako jiné infrastruktury – vodo-hospodářská, pro přenos elektrické energie či telekomunikační. Vyžaduje velké úsilí mnoha lidí i finanční investice po desetiletí. Uživatelé se nestarají o to, jak funguje, jen ji používají. Z těchto důvodů je také nutné sledovat funkcionalitu a využívání infrastruktury pro prostorové informace. Souhrnná zpráva o stavu prostorových informací a služeb daného subjektu proto musí být předávána Evropské komisi každý rok, vždy nejpozději 15. května roku následujícího.

Autor

doc. RNDr. Tomáš Řezník, Ph.D.

✉ tomas.reznik@sci.muni.cz

Geografický ústav Přírodovědecké fakulty, Masarykova univerzita





Workshop na téma Water Footprint

Dne 22. května 2019 pořádal Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., v pražském areálu workshop na téma Water Footprint. Odborným garantem byl Ing. Libor Ansoerge, Ph.D. Workshopu se zúčastnilo devět tuzemských a zahraničních expertů zabývajících se problematikou posuzování vodní stopy (WF). Cílem workshopu byla výměna informací a zkušeností s vodní stopou na pracovištích v České republice, navázání kontaktů a diskuse potřeb dalšího rozvoje vodní stopy v ČR.

Ing. L. Ansoerge, Ph.D., přivítal hosty a představil řešení problematiky Vodní stopy ve VÚV TGM. V návaznosti na skončený projekt QJ1520322 podpořený Ministerstvem zemědělství z programu KUS se VÚV TGM zabývá i nadále vodní stopou a tato problematika se promítla i do Dlouhodobé koncepce rozvoje VÚV TGM, kde je vymezena oblast výzkumu č. 12 Výzkum a hodnocení životního cyklu výrobků, služeb a institucí s vazbou na vodu. Tato oblast výzkumu je rozdělena na tři dílčí cíle. DC12-1 se soustředí na vývoj přístupů ke kvantifikaci modré, zelené a šedé vodní stopy výrobků, služeb a institucí v ČR podle Water Footprint Assessment Manuálu. S ohledem na vodohospodářské zaměření VÚV TGM se práce soustředí na kvantifikaci vodní stopy významných vodohospodářských infrastruktur, jako jsou vodní nádrže a systémy zásobování pitnou vodou a nakládání s odpadními vodami. Dílčí cíl DC12-2 se zabývá výzkumem metod a regionalizace charakterizačních faktorů užívaných při LCA water scarcity/availability footprint studiích pro různé typy vodních zdrojů. Aktuální práce se zaměřují na regionalizaci vybraných charakterizačních faktorů (AWARE, fwua), dat pro analýzu LCIA (Life Cycle Impact Assessment – hodnocení dopadu životního cyklu) a v neposlední řadě variabilitu dostupných dat používaných k hodnocení vodní stopy, které ovlivňují i její citlivost. Práce na posledním dílčím cíli DC12-3, který je zaměřen na vývoj metod hodnocení vlivů užívání vody na úrovni midpoint a endpoint v rámci LCA, jsou v současnosti omezeny z důvodů nedostatku řešitelských kapacit. Během prezentace byla zmíněna možnost využívání vodní stopy jako nástroje pro řízení vodního/environmentálního hospodářství, potřeba popularizace vodní stopy, potřeby dalšího výzkumu. Jako vhodný nástroj pro další rozšiřování vodní stopy do praxe bylo uvedeno zavedení výuky vodní stopy na vysokých školách.

Dalším účastníkem workshopu byl doc. Ing. Jan Weizettel, Ph.D., (UK – Centrum pro otázky životního prostředí), který představil svůj projekt, ve kterém hodnotí nejen vodní, ale i environmentální stopu vybraných výrobků s finální spotřebou v hodnocené zemi. Ta je obdobou národní uhlíkové stopy (emise ekvivalentu CO_2 z veškerých výrobních řetězců všech výrobků spotřebovaných občany dané země). K vyjádření WF používá input-output analýzu, při které jsou ekonomiky rozděleny do sektorů a výrobky do produktových skupin jednotlivých zemí a regionů. Předpokládá, že každý sektor a skupina výrobků v rámci jedné země nebo regionu jsou homogenní, tj. mají stejnou výrobní a stejnou prodejní strukturu. Ke sledovaným/posuzovaným tokům výrobků mezi ekonomickými sektory přiřazuje environmentální dopady pokrývající celé výrobní řetězce. Jako své hlavní zaměření v oblasti WF uvedl hodnocení zemědělské produkce v jednotlivých zemích a regionech podílejících se na globálním využívání vzácného, omezeně obnovitelného přírodního zdroje – vody. Objem spotřebované modré vody převádí na kubické metry ekvivalentu vzácnosti vody a tím odráží místní a časový nedostatek vody v povodí příslušného výrobního řetězce. Pro hodnocení WF bilančním přístupem v souladu s normou EN ISO 14046 využívá pouze ukazatele „modré vody“ tj. přírodní vody odebrané přímo z vodních zdrojů. Pomocí charakterizačních faktorů WF převádí všechny dílčí stopy na jeden společný jmenovatel (objem spotřebované vody v litrech vážených vzácností). Jako silnou stránku charakterizačních faktorů uvádí snadnou pochopitelnost pro koncového uživatele. Představil výsledky svého výzkumu, které ukazují, že mezinárodní obchod ovlivňuje/pomáhá omezit vodní stres v aridních/semi-aridních oblastech jako je Portugalsko, Mexiko nebo Střední východ. Ke své práci využívá model MRIO (multiregionální model vstupů a výstupů) a vodní stopu kvantifikuje pro hodnocený stát v globálu.

Problematicu vodní stopy řeší v úzké spolupráci s Dr. Stephanem Pfisterem (ETH Zürich, Institute of Environmental Engineering).

Zástupkyně pracoviště VÚT Brno NETME Centre Xuexiu Jia, MSc., po představení výzkumného týmu prof. Ing. Jiřího J. Klemeše, DrSc., jehož je členkou, seznámila účastníky workshopu s dosaženými úspěchy výzkumného týmu jako je studie poskytující přehled všech dostupných definic WF a měrných jednotek spojených s environmentálními, sociálními a ekonomickými stopami včetně kompozitních stop, které kombinují dvě i více stop jednotlivých. Ve svých pracích došli k závěrům, že vzhledem k umístění výrobců a spotřebitelů v různých částech světa jsou významné rozdíly ve virtuálních emisích CO_2 a virtuální vodě. Dovozem výrobků vyráběných s nižšími emisemi uhlíku a nižší spotřebou vody než v domácím průmyslu může mezinárodní obchod snížit globální tlak na životní prostředí. Roli WF vidí v prezentaci problematiky vodní stopy, indexu nedostatku vody, vodního stresového indexu, potenciálu degradace vody apod. Díky dobře vyvinutým rámcům vodní stopy, ať dopadové tak bilanční, lze porovnávat využití vody a poskytovat informace pro identifikaci kritického uživatele ve výrobním řetězci. Podle X. Jia není WF dostatečným nástrojem ke sledování vodních sítí a pro management vodního hospodářství.

Doc. Ing. Vladimír Kočí, Ph.D., MBA, (VŠCHT, Fakulta technologie ochrany prostředí) a Ing. Martin Dočkal, Ph.D., (ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeli-orací a krajinného inženýrství) v krátkosti představili svá pracoviště a shodně uvedli, že vodní stopu chápou jako nástroj k posuzování dopadů na životní prostředí. Na VŠCHT je vodní stopa, resp. problematika vody řešena v rámci posuzování životního cyklu (LCA) ve specifických sektorech, jako je například chemický, stavební a obalový průmysl. Na ČVUT se studenti oboru životního prostředí seznamují s vodní stopou v rámci výuky.

Po úvodních vystoupeních proběhla diskuse, ve které si účastníci vyměnili zkušenosti a vlastní názory na problematiku vodní stopy. Ze závěrečné diskuse vyplynuly tyto klíčové potřeby:

- zvýšení propagace vodní stopy jak u politiků, podnikatelů, tak i obyvatel napříč spektrem;
- zjednodušení prezentace výsledků vodní stopy obdobně jako u uhlíkové stopy, která je široce využívána;
- zvýšení tlaku na výrobce prostřednictvím osvěty obyvatel-konzumentů, kteří budou chtít u výrobků znát vodní stopu;
- sjednocení názvosloví problematiky (např. sucho, nedostatek vody, vodní stopa) a způsobu výpočtu vodní stopy;
- zvýšení kvality a dostupnosti dat (sjednocení způsobu sledování i v časové řadě), sjednocení způsobu jejich využívání i z důvodu porovnávání výsledků, modelování využívání/znečištění vod.

Workshop byl účastníky hodnocen jako přínosný, a to i z důvodu vzájemného seznámení se a navázání kontaktů pro možnou budoucí spolupráci.

Poděkování

Tato akce byla podpořena účelově vázanými prostředky institucionální podpory na dlouhodobý rozvoj Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i., číslo projektu: IG/2019/1644.

Autor

Ing. Dagmar Vološinová

✉ dagmar.volosinova@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

Den otevřených dveří ve VÚV TGM

Dne 20. června 2019 se prostory Výzkumného ústavu vodohospodářského při příležitosti oslav 100. výročí od založení otevřely široké veřejnosti v rámci Dne otevřených dveří, a to jak na pražském pracovišti, tak na pobočkách v Brně a Ostravě.

Návštěvníci mohli v pražském areálu během 90minutových exkurzí zhlédnout nejzajímavější pracoviště instituce názorně reprezentující výzkum vody a vodního prostředí ve všech jejích aspektech. Největší ohlas měly zejména ukázky fyzických hydraulických modelů plavebního stupně Děčín a Trojské kotliny v měřítku 1 : 70, děti si mohly odnést figurky vytištěné na 3D tiskárnách používaných pro tisk vodoměrných zařízení. Dále se návštěvníci měli možnost seznámit s činností České kalibrační stanice vodoměrných vrtulí, která je v evropském prostoru unikátní tím, že pro experimenty využívá přírodní vodu z řeky Vltavy. Zástupci laboratoří seznámili přítomné s mnohdy překvapivými výsledky stanovení množství nelegálních drog v městských odpadních vodách, předvedli ukázky testování prototypů domovních čistíren odpadních vod a informovali o způsobech značení ryb pro sledování propustnosti migračních cest na našich vodních tocích. V závěru si návštěvníci pražského areálu mohli v rámci nově vybudované České výparoměrné stanice prohlédnout tři experimentální výparoměry.

Na brněnské a ostravské pobočce byly akce zaměřeny zejména na studenty středních škol se zájmem o přírodní vědy; kromě praktických ukázek vědecké a laboratorní práce se zapojením studentů do interpretace výsledků zde byly připraveny i vědomostní soutěže o ceny.

Pro velký zájem ze strany veřejnosti se akce uskuteční v červnovém termínu i v příštím roce.

Autor

RNDr. Tomáš Hrdinka, Ph.D.

✉ tomas.hrdinka@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.



VTEI/2019/4

Od roku 1959

VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE
WATER MANAGEMENT
TECHNICAL AND ECONOMICAL INFORMATION

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

Ročník 61



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 Chriateľ, Mgr. Vít Kodeš, Ph.D., Ing. Jiří Kučera, Ing. Milan Moravec, Ph.D.,
Ing. Jana Poárová, 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:

Bc. Lenka Michálková
T: +420 220 197 465
E: lenka.michalkova@vuv.cz

Kontakt na redakci:

E: info@vtei.cz

Autoři fotografií tohoto čísla:

Archiv VÚV

Grafická úprava, sazba, tisk:

ABALON s.r.o., www.abalon.cz

Náklad 1500 ks

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

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



MEDÚZKA SLADKOVODNÍ (CRASPEDACUSTA SOWERBII)

Je nepůvodní druh pocházející z Číny o velikosti kolem 2,5 cm. Většinu života stráví ve stádiu malého polpu. Jakmile teplota vody vystoupá nad 20 °C, začnou se tyto polpy přeměňovat v mladé medúzky. V našich podmínkách přežijí zhruba do podzimu a při poklesu vody pod 10 °C hynou. S medúzkami se můžeme setkat v různých pískovnách a nádržích. Jedna z největších kolonií, co jsem při potápění mohl pozorovat, se nachází u Přerova v zatopeném lomu Výkleky. Zde můžete koncem léta vidět tisíce medúzek vznášejících se ve vodním sloupci. Medúzky patří mezi žahavce, ale není se jich třeba obávat, žahavé buňky neproniknou lidskou kůží, a tak ani plavcům neublíží. *Text a fotografii dodal Rostislav Štefánek, www.zezivotaryb.cz.*

**VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T.G. MASARYKA**

veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz