

Přímý monitoring výparu z vodní hladiny Vavříneckého rybníka a jeho vliv na celkovou hydrologickou bilanci

ADAM BERAN, VÁCLAV DAVID, RADOVAN TYL

Klíčová slova: plovoucí výparoměr — Vavřínecký rybník — výpar z vodní hladiny — hydrologická bilance

ABSTRAKT

Vlivem zvýšené průměrné teploty vzduchu dochází ke zvyšování výparu vody z vodní hladiny. Plovoucí výparoměr monitoruje výpar z vodní hladiny spolu se základními meteorologickými veličinami přímo na hladině vodní nádrže, jeho výsledky by tedy měly být přesnější než výpočet na základě dat z přilehlých meteorologických stanic. V letech 2020–2022 byl sledován výpar z vodní hladiny plovoucím výparoměrem na Vavříneckém rybníce ve Středočeském kraji. Výsledky ukazují ve všech třech letech výpar převyšující srážky o více než 100 mm v období duben až září. Tato skutečnost z pohledu dlouhodobé bilance v principu znamená úbytek vody ve vodním toku za předpokladu zachování objemu vody v nádrži. Problematika vlivu malých vodních nádrží na hydrologickou bilanci je nicméně velice komplexní téma, kde posouzení negativních a pozitivních vlivů není vždy černobílé a vyžaduje podrobné zkoumání.

ÚVOD

Na území České republiky (ČR) se v posledních desetiletích zvyšuje průměrná teplota vzduchu, za posledních 60 let to bylo o více než 2 °C [1]. Se zvyšující se teplotou dochází ke zvýšenému výparu vody ze všech povrchů české krajiny, ať už jsou to pole, lesy, nebo vodní plochy. Úbytek vody výparem je při vyrovnané bilanci kompenzován srážkovými úhrny, nicméně celkové srážkové úhrny na území ČR se příliš nemění a zůstávají s různými výkyvy na stejné úrovni. Z toho vyplývá, že v rámci ČR v oblastech s nižšími dlouhodobými srážkovými úhrny, jako jsou např. oblasti jižní až střední Moravy, Polabí, Poohří nebo dolního toku Vltavy, dochází k navyšování záporného rozdílu srážek a výparu. V těchto oblastech převyšuje celkový územní výpar srážky, a proto jsou dlouhodobě deficitní.

V posledních letech je snahou pro území ČR navrhovat a přijímat adaptační opatření, jež by podpořila zadržení vody v krajině a dokázala snížit celkový deficit vody. Jedním z diskutovaných opatření je výstavba či obnova malých vodních nádrží (MVN). Dle ČSN 75 2410 jde o nádrže s maximální hloubkou 9 m a objemem ovladatelného prostoru do 2 mil. m³ [2]. MVN mají potenciál v suchém období nadlejšovat průtok pod hrází, stejně tak přínosné může být navyšování hladiny podzemní vody v okolí nádrže. Dopady na hydrologickou bilanci mohou být ovšem také negativní, a to zejména nevhodným zvolením funkce MVN nebo jejím umístěním v rámci ČR. Při nedostatečném přítoku do MVN a zvolením oblasti s dlouhodobou zápornou vláhovou bilancí bude docházet k nadměrnému vypařování vody, a vliv na hydrologickou bilanci vodního toku tak může být negativní.

Vyčíslení ztrát vody výparem pro konkrétní MVN je možné vypočítat, přesnější údaje však lze získat přímým monitoringem za využití výparoměru. VÚV TGM se zabývá přímým monitoringem výparu již od padesátých let minulého století [3]. V posledních letech jsou k určení výparu z vodních ploch používány plovoucí výparoměry, jež jsou umístěny přímo na hladině vodních ploch, a dokážou tak nejvěrněji postihnout meteorologické podmínky konkrétních nádrží.

V příspěvku jsou popsány výsledky měření výparu plovoucím výparoměrem z vodní plochy Vavříneckého rybníka v letech 2020–2023 a jeho vliv na celkovou hydrologickou bilanci. V závěru jsou diskutovány klady a zápory využití MVN jako adaptačního opatření podporujícího zadržení vody v krajině.

METODIKA

Projekt „Vliv malých vodních nádrží na hladinu podzemních vod a celkovou hydrologickou bilanci s důrazem na suchá období“ (TITSMZP809)

Vliv výparu z vodní hladiny na celkovou hydrologickou bilanci MVN byl řešen v letech 2019–2022 v rámci programu Technologické agentury ČR (TA ČR) Beta2 „Vliv malých vodních nádrží na hladinu podzemních vod a celkovou hydrologickou bilanci s důrazem na suchá období“ pro Ministerstvo životního prostředí (MŽP). Hlavním cílem projektu bylo posoudit vliv MVN na hydrologickou bilanci a její složky v různém prostorovém měřítku. Analýza byla provedena v blízkém okolí MVN, ve zdrojových povodích a v povodích se soustavami rybníků a MVN. Hydrologická bilance byla posuzována zejména s ohledem na vliv MVN na hladinu podzemní vody, výpar a odtok. Aktivita vycházela z přímého monitoringu vybraných hydrologických veličin na MVN, z analýz blízkého okolí MVN prostřednictvím dat dálkového průzkumu Země, odhadu složek hydrologické bilance hydrologickými modely spolu s popisem nejistot, odhadu fyzikogeoграфických charakteristik MVN a dotčených povodí a z regionální analýzy charakteristik MVN [4].

Projekt „Centrum Voda“ (SS02030027)

Po skončení výše zmíněného projektu přešel výzkum přímého monitoringu výparu z vodní hladiny na Vavříneckém rybníce pod pracovní balík WP3 „Adaptační opatření na povrchových a podzemních vodách v deficitních

oblastech“, který je součástí výzkumného projektu SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum voda)“ řešeného v rámci Programu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí – Prostředí pro život (Podprogram 3 – Dlouhodobé environmentální a klimatické perspektivy) spravovaného TA ČR. Uvedený pracovní balík má za cíl pro deficitní oblasti ČR posoudit možná adaptační opatření s ohledem na předpokládané scénáře změny klimatu. Mezi zkoumaná možná adaptační opatření patří převody vody, umělá infiltrace, ochrana a podpora podzemních vodních zdrojů, změna manipulace či navýšení zásobního prostoru stávajících vodních/suchých nádrží, výstavba či obnova MVN, podpora přirozené infiltrace prostřednictvím retence vody v krajině a realizace hájených lokalit pro akumulaci povrchových vod. Přesné určení výparu z vodní hladiny hraje roli při navrhování či obnově MVN jako adaptačního opatření.

Rybník Vavřinec

Vavřínecký rybník se rozprostírá ve Středočeském kraji na horním toku Výrovky (ř. km 49,4) přibližně 3 km severně od Uhlířských Janovic v okrese Kutná Hora. S rozlohou hladiny přibližně 71 ha a objemem přes 1 mil. m³ patří k největším MVN ve Středočeském kraji a mezi ty velké náleží i v celostátním měřítku. Je napájen Výrovkou přitékající od Uhlířských Janovic a Ostašovským potokem přitékající od jihozápadu. Plocha povodí k profilu hráze činí 60 km².

Lokalita se nachází v hydrogeologickém rajonu 6531 Kutnohorské krystalinikum. Jde o typické prostředí hydrogeologického masivu s výskytem puklinově propustných hornin. K infiltraci srážek dochází prakticky v celé ploše území, s výjimkou ploch s výskytem sprašových, málo propustných hornin, kde je infiltrace velmi omezena. Přírodní zdroje podzemních vod jsou spíše podprůměrné, hodnoty specifického podzemního odtoku uvádí Krásný a kol. [5] kolem 1,5–2 l/s/km², bilanční výpočty ČGS z roku 2006 počítají s hodnotou 2,19 l/s/km², čemuž odpovídá infiltrace na úrovni zhruba 8 % úhrnu celkových srážek. Dlouhodobé novější hodnoty přírodních zdrojů za období 1981–2019 uvádí Kašpárek a kol. [6], jehož výpočty na základě hydrologických metod pro hydrogeologický rajon (HGR) 6531 odpovídají hodnotě 1,5 l/s/km²; jde tedy v daném HGR o zmenšení přírodních zdrojů ve srovnání se staršími údaji, zejména vlivem suchého období 2014–2019.

Plovoucí výparoměr

Výparoměr plovoucí na hladině vodní plochy dokáže nejlépe simulovat meteorologické podmínky dané vodní nádrže. Jde o věrné zachycení teploty vody, která se v klasických zakopávaných výparoměrech ve srovnání s podmínkami vodních ploch na jaře rychleji ohřívá a na podzim zase rychleji chladne. Vodní plochy totiž mají díky svému velkému objemu určitou setrvačnost, a proto je teplota stálejší než v samotné měrné nádobě. Stejně tak je monitoring výparu přímo na vodní hladině reprezentativnější s ohledem na další podmínky ovlivňující tento proces, jako je oslnění a především rychlost větru.

Plovoucí výparoměr používaný na rybníce Vavřinec (obr. 1) je tvořen nosnou konstrukcí zahrnující plováky a vlnolamy, jejíž součástí je měrná nádoba o průměru 620 mm. Zařízení je napájeno pomocí akumulátoru dobíjeného 2 ks solárních panelů (à 20 W). Nádoba je vybavena obousměrným čerpadlem, které napouští/vypouští vodu do/z výparoměrné nádoby v případě změny hladiny od referenční hodnoty o 5 cm.

Senzorové vybavení:

- H7-G-TA4-NZ – univerzální multikanálová monitorovací jednotka s GSM/GPRS modulem
- Přesný snímač výšky hladiny výparoměru, rozsah 0–400 mm
- RVT13/RK – snímač relativní vlhkosti vzduchu a teploty vzduchu

- WD360 – snímač směru větru
- WS103 – anemometr v celokovovém provedení
- PT100-KP – snímač teploty vody, čtyřvodičové připojení
- RDH11 – detektor deště s řízeným vytápěním
- NR LITE2 – Net radiometr Kipp & Zonen



Obr. 1. Plovoucí výparoměr

Fig. 1. Floating evaporation meter

DATA

Data jsou zaznamenávána v 10minutovém intervalu a odesílána na server 3 x denně v 1:00, 7:00 a 19:00 hodin na základě GSM přenosu dat. Výpar a srážky jsou měřeny na základě 1minutového záznamu hladiny vody ve výparoměrné nádobě v kombinaci s detektorem deště (v případě detekce deště je zvýšení hladiny způsobeno srážkami) a informacemi o dopouštění/vypouštění vody do/z nádoby. Průměrné denní hodnoty meteorologických veličin jsou počítány jako průměr z 10minutových měření v daném dni. Hodnoty výparu a srážek jsou odvozovány z 1minutových záznamů.

Sledované meteorologické veličiny – výpar [mm], srážky [mm], solární radiace [W/m²], teplota vzduchu [°C], teplota vody ve výparoměru [°C], teplota vody v hloubkách 0,5–1–1,5–2–2,5 m [°C], rychlost větru [m/s], okamžitá rychlost větru [m/s], směr větru [0–360°], relativní vlhkost vzduchu [%].

Meteorologická data byla zaznamenávána plovoucím výparoměrem, pro verifikaci byla použita data z měřické sítě ČHMÚ ze stanice P3STAN01 Vavřinec, Žišov. Vodoměrné stanice na přítoku a odtoku (obr. 2) byly zřízeny v rámci projektu TITSMZP809 v roce 2019 a v minutovém kroku zaznamenávají vodní stav na přítoku – Ostašovský potok, Výrovka a odtok – Výrovka pod hrází Vavříneckého rybníka. V rámci projektu byly zřízeny mělké (hloubka do 9 m) monitorovací vrty pro pozorování hladiny podzemní vody v okolí rybníka (50–300 m).



Obr. 2. Umístění monitorovacích čidel na Vavříneckém rybníce

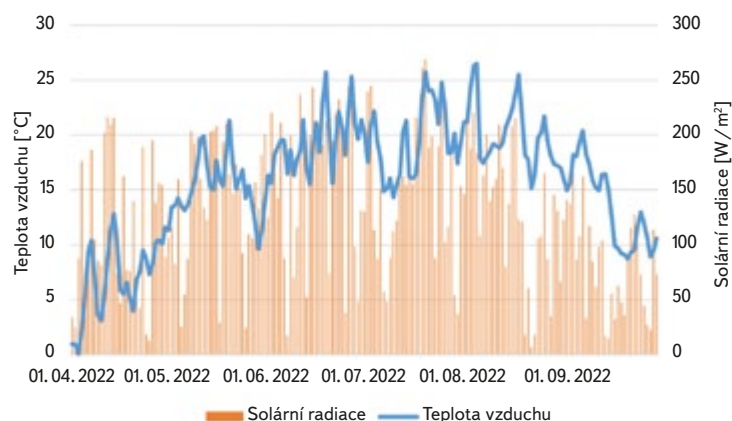
Fig. 2. Monitoring placement at Vavřínek pond

VÝSLEDKY

Ve výparoměrné sezoně od 1. dubna do 30. září 2022 byl změřen celkový výpar z vodní hladiny 678,4 mm, celkový srážkový úhrn byl pak 582,4 mm. Průměrná teplota vzduchu činila 15,81 °C. Průběh teploty vzduchu, solární radiace, výparu z vodní hladiny a srážek je znázorněn v grafech na obr. 3 a 4.

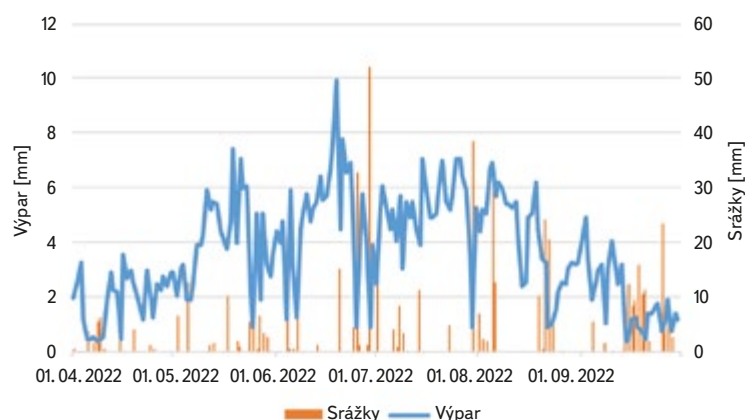
Srovnání celkového výparu a srážek v posledních třech letech, kdy byl plovoucí výparoměr používán, je uvedeno v tab. 1 spolu s údaji o rozdílu srážky a výparu. Znázornění výparu v mm a současně v m³ v denním kroku v letech 2019–2022 je zobrazeno na obr. 5. Měřená data dobře ilustrují skutečnost, že vodní plocha 71 ha znamená v letních měsících významný úbytek vody z vodního toku právě vlivem výparu. Každý jeden milimetr výparu znamená úbytek 710 m³ vody. Při průměrném denním výparu 3,7 mm v roce 2022 to představuje průměrnou denní ztrátu vody 2 627 m³. Maximální denní výpar za poslední tři roky byl na Vavříneckém rybníce změřen 19. června 2022, a sice 10 mm, což znamená úbytek vody vlivem výparu z hladiny 7 100 m³ za jediný den. Nutno zmínit, že nebyla brána v úvahu změna plochy hladiny při úbytku vody, která je při úbytcích několika centimetrů zanedbatelná.

Na obr. 6 je porovnání denního výparu s aktuálním odtokem z rybníka a také s hodnotou průměrného dlouhodobého odtoku $Q_a = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ a s hodnotou minimálního zůstatkového průtoku $MZP = 0,047 \text{ m}^3/\text{s}$. V roce 2020 došlo k jednomu případu, kdy aktuální odtok z rybníka poklesl pod hodnotu minimálního zůstatkového průtoku. Tato situace nastala na konci sezony v září, kdy chyběly srážkové úhrny a přítok do nádrže. Odtok byl navýšován zásobou vody v rybníce. V roce 2022 bylo zaznamenáno několik dní, kdy výpar z vodní hladiny převyšoval hodnotu minimálního zůstatkového průtoku, a dokonce i aktuální hodnotu odtoku vody z rybníka. Toto je nejlépe pozorovatelné kolem 19. června 2022, kdy byl výpar extrémní.



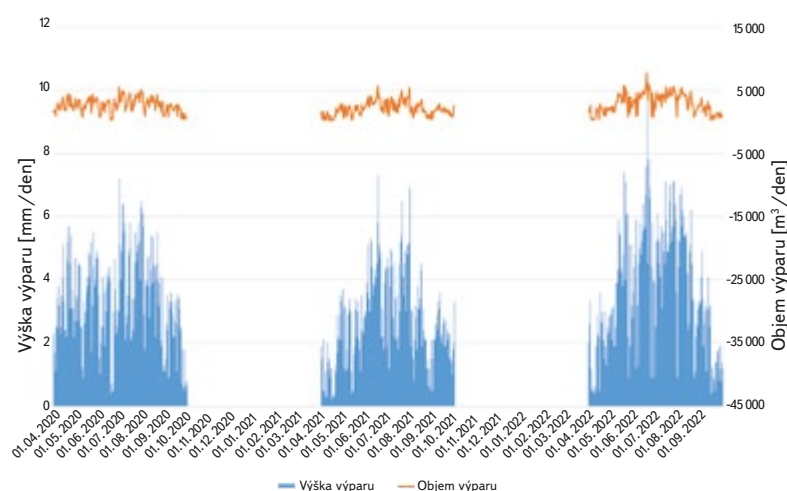
Obr. 3. Teplota vzduchu a solární radiace na rybníce Vavřínek v období 1. duben 2022 – 30. září 2022

Fig. 3. Air temperature and solar radiation at Vavřínek pond in period 1st April 2022 – 30th September 2022



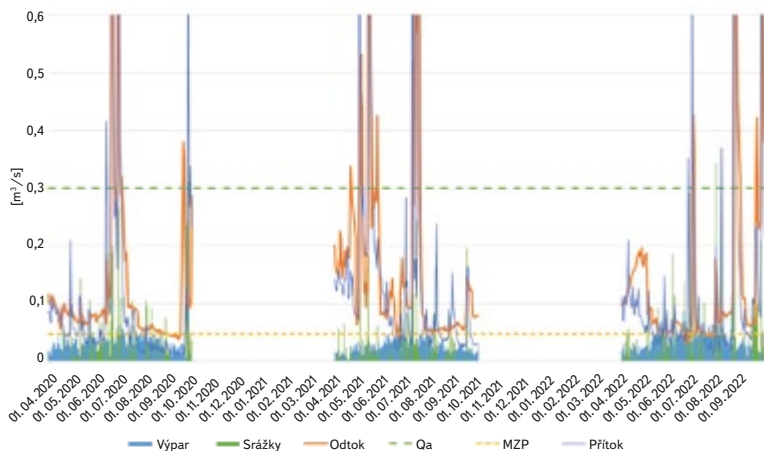
Obr. 4. Výpar z vodní plochy a srážkové úhrny na Vavříneckém rybníce v období 1. duben 2022 – 30. září 2022

Fig. 4. Water surface evaporation and rainfall depths at Vavřínek pond in period 1st April 2022 – 30th September 2022



Obr. 5. Výpar z vodní plochy Vavříneckého rybníka v období 1. duben 2020 – 30. září 2022

Fig. 5. Water surface evaporation at Vavřínek pond in period 1st April 2020 – 30th September 2022



Obr. 6. Výpar z vodní plochy ve srovnání se srážkami, přítokem a odtokovými charakteristikami Vavříneckého rybníka 1. duben 2020 – 30. září 2022

Fig. 6. Volume of water level evaporation compared to the precipitation, inflow and water outflow characteristics at Vavřínek pond 1st April 2020 – 30th September 2022

Tab. 1. Srovnání výparu a srážek v letech 2020–2022 (duben až říjen)

Tab. 1. Comparison of water level evaporation and rainfall in 2020–2022 (April – October)

	Výpar [mm]	Srážky [mm]	Rozdíl [mm]
2020	615,5	464,1	-151,4
2021	495,2	397,6	-97,6
2022	678,4	582,6	-95,8

ZÁVĚR

Výpar z vodní hladiny je významným činitelem ovlivňujícím hydrologickou bilanci povodí. Vavřínecký rybník je nádrží s poměrně velkou rozlohou vodní plochy, čímž jsou ztráty vody vypařováním ještě umocněny a během suchých období může vznikat situace, kdy vlivem výparu dochází k negativnímu ovlivnění hydrologické bilance. V průběhu monitorovaného období byl v sezonách od dubna do září celkový výpar z vodní hladiny v rozmezí 500 až 680 mm, srážky se pohybovaly v rozmezí 400 až 580 mm. Rozdíl mezi výparem z vodní hladiny a srážkami činil 150 mm v roce 2020, v letech 2021 a 2022 100 mm ve prospěch výparu, což v přepočtu na objem vody činí více než 70 000 m³ vody.

V průběhu pozorování se stalo jen výjimečně, že hodnoty odtoku z rybníka poklesly pod hodnotu minimálního zůstatkového průtoku. Odtok byl v málovodných obdobích doplňován na úkor zásoby vody v rybníce. V roce 2022 došlo také k jednotlivým případům, kdy aktuální výpar z vodní plochy byl větší než aktuální odtok vody z rybníka.

Příspěvek shrnuje monitorovaná data výparu získaná pozorováním plovoucím výparoměrem, umístěným v letech 2020–2022 na hladině rybníka Vavřínek. Plovoucí výparoměry dokážou věrněji monitorovat podmínky na vodních plochách, zejména přesněji postihnout teplotu vody, solární radiaci a rychlost větru. Výpar z vodní hladiny je z hlediska bilance vodního toku v rámci hydrologické bilance záporným činitelem. Na základě pouhého zhodnocení velikosti srážek a výparu nelze nicméně tvrdit, že MVN mají negativní dopad na své okolí. Vliv MVN na hydrologický režim je velmi komplexní, stejně jako ovlivnění MVN jednotlivými hydrologickými procesy. Ztráta vody výparem je tedy jedním z aspektů, jež sice ovlivňují bilanci vodního toku negativně, na druhou stranu ovšem působí kladně ochlazením vzduchu vlivem spotřeby energie

na změnu skupenství vody při výparu, což má za následek pozitivní ovlivnění mikroklimatu. Za pozitivní lokální vliv MVN lze bezpochyby považovat i zvýšení zásob podzemní vody v důsledku vzdušné vody v nádržích. V neposlední řadě je nutné zmínit možnost transformace povodňových vln při významných srážko-odtokových událostech.

Pozitivní i negativní vlivy MVN na hydrologický režim jsou popsány v souhrnné zprávě projektu TITSMZP809 [4]. Jak vyplývá z výzkumů provedených v rámci projektu, ovlivňují MVN režim jak povrchových, tak podpovrchových vod. Výstavba MVN je často vnímána jako možný prvek ochrany před dopady klimatické změny, nicméně je důležité pamatovat na to, že vodohospodářské prvky ovlivňují různé procesy různými způsoby, a to jak pozitivně, tak i negativně. Při obnově nebo navrhování nových MVN by proto všechny možné dopady měly být náležitě posouzeny. V hledisku vlivu výparu je důležité umístění MVN v rámci ČR v oblastech s vyrovnanou bilancí srážky-výpar a důležitá je také funkce MVN. Postupem při navrhování nebo obnově MVN se zabývá metodický postup pro posouzení dopadů MVN na hydrologickou bilanci a vodní zdroje [7].

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci projektů TITSMZP809 „Vliv malých vodních nádrží na hladinu podzemních vod a celkovou hydrologickou bilanci s důrazem na suchá období“ a „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum voda)“ financovaných Technologickou agenturou ČR.

Autoři článku děkují zaměstnancům podniku Rybářství Chlumec za ochotu a součinnost při monitoringu plovoucím výparoměrem na rybníce Vavřínek.

Příspěvek byl 15. června 2023 prezentován na konferenci Rybníky 2023.

Literatura

- [1] ŠTĚPÁNEK, P., TRNKA, M., MEITNER, J., DUBROVSKÝ, M., ZAHRAVNÍČEK, P., LHOTKA, O., SKALÁK, P., KYSELÝ, J., FARDA, A., SEMERÁDOVÁ, D. *Očekávané klimatické podmínky v České republice*. Brno: Ústav výzkumu globální změny, Akademie věd České republiky, 2019.
- [2] ČSN 75 2410 *Malé vodní nádrže*, duben 2011.
- [3] BERAN, A., KAŠPÁREK, L., VIZINA, A., ŠUHÁJKOVÁ, P. Ztráta vody výparem z volné vodní hladiny. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2019, 61(4), s. 12–18. ISSN 0322-8916.
- [4] DAVID, V., ČERNOCHOVÁ, K., KRÁSA, J., BERAN, A., DATEL, J. V., KOŽÍN, R., TYL, R., JEDLIČKA, M., KUKLA, P. a kol. *Shrnutí posouzení vlivu malé vodní nádrže na složky hydrologické bilance malého povodí*. Praha: ČVUT, 2023.
- [5] KRÁSNÝ, J., DAŇKOVÁ, H., KNĚŽEK, M., KULHÁNEK, V., SKOŘEPA, J., TREFNÁ, E. *Výsledky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1 : 200 000, list 13, Hradec Králové*. Vyd. 1. Praha: Ústřední ústav geologický, 1982. 159 s.
- [6] KAŠPÁREK, L., KOŽÍN, R., DATEL, J. V., PELÁKOVÁ, M. Odhad přírodních zdrojů podzemní vody v hydrogeologických rajonech v České republice v měnících se klimatických poměrech 1981–2019. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2022, 64(5), s. 4–13.
- [7] BERAN, A., DATEL, J. V., DAVID, V., VIZINA, A., TREML, P., KOŽÍN, R., TYL, R. *Metodický postup pro posouzení dopadů malých vodních nádrží na hydrologickou bilanci a vodní zdroje*. Praha: VÚV TGM, v. v. I., 2022.

Autoři

Ing. Adam Beran, Ph.D.¹

✉ adam.beran@vuvv.cz

ORCID: 0000-0002-8800-5599

Ing. Václav David, Ph.D.²

✉ vaclav.david@fsv.cvut.cz

ORCID: 0000-0002-7792-9470

Ing. Radovan Tyl, Ph.D.³

✉ radovan.tyl@chmi.cz

ORCID: 0000-0002-5270-3248

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

²České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Praha

³Český hydrometeorologický ústav, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2023.07.001

DIRECT MONITORING OF WATER VAPOR FROM THE FREE WATER LEVEL OF THE VAVŘINECKÝ POND AND ITS INFLUENCE ON THE HYDROLOGICAL BALANCE

BERAN, A.¹; DAVID, V.²; TYL, R.³

¹T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

²Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering, Prague

³Czech Hydrometeorological Institute, Prague

Keywords: floating evaporimeter — water surface — evaporation — hydrological balance

Because of the increased average air temperature, there is an increase in water vapor from the water surface. Between 2020 and 2022, evaporation from the water surface was observed with a floating evaporimeter at the Vavřínecký pond in the Central Bohemia region. A floating evaporimeter monitors evaporation from the water surface along with basic meteorological quantities directly on the surface of the water reservoir, so its results should be more accurate than calculations based on data from nearby meteorological stations. The results show that in all three years evaporation exceeds precipitation by more than 100 mm in the period from April to September. However, the issue of the influence of small water reservoirs on the hydrological balance is a very complex topic, where the assessment of negative and positive effects is not always black and white and requires detailed investigation.

