

Zkušenosti s měřením vodních stavů ve vodoměrných stanicích VÚV (s využitím soustavy tlakových čidel)

TOMÁŠ HRDINKA

Klíčová slova: barologger – hydrogram – levelogger – kompenzace tlaku – měření vodního stavu – měření průtoku – nejistota měření – tlakové čidlo – úprava a korekce datových řad

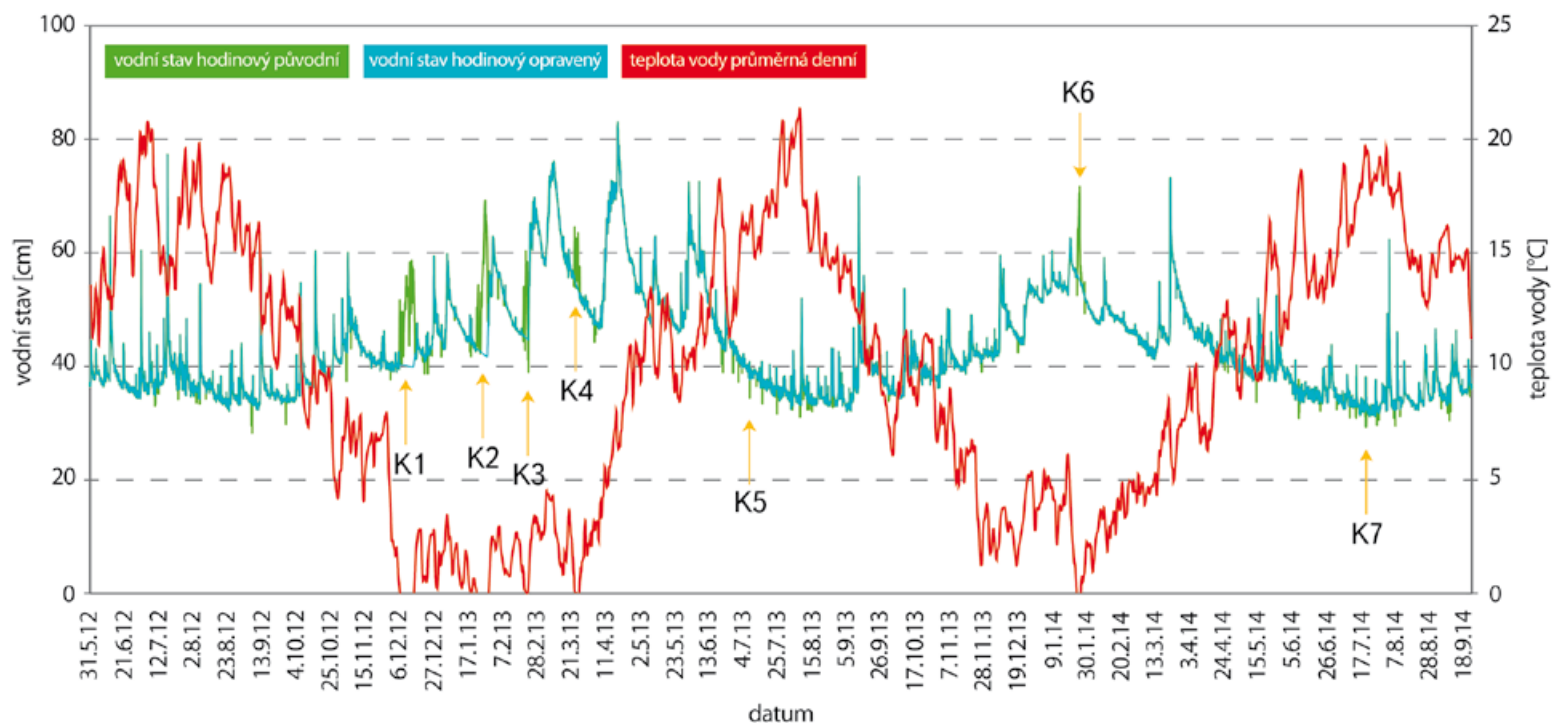
SOUHRN

Článek prezentuje zkušenosti s měřením vodních stavů (zejména nízkých) v přirozených říčních korytech prostřednictvím soustavy čidel zaznamenávajících hydrostatický tlak a tlak vzduchu. Jsou představeny postupy řešení nežádoucího ovlivnění vodního stavu přirozenými, umělými a nahodilými jevy a dále popsány nejistoty spojené s vyčíslením průtoků na základě měření průtoku hydrometrickou vrtulí a pomocí Chézyho rovnice. Dlouhodobé výsledky prokázaly, že uvedená metoda měření vodních stavů je vhodným a přesným nástrojem pro měření malých průtoků v nepozorovaných profilech.

ÚVOD

Pro účely několika projektů, řešených v rámci výzkumné činnosti Výzkumného ústavu vodohospodářského, v.v.i., bylo v letech 2012–2015 v rámci ČR zřízeno přes sto vodoměrných stanic, osazených soustavou tlakových čidel (firma Solinst), umožňujících záznam výšky vodního sloupce jako funkci hydrostatického tlaku vody (čidlo levelogger) kompenzovaného na tlak vzduchu při vodní hladině (čidlo barologger).

Na počátku projektu vždy proběhl předběžný výběr potenciálního umístění vodoměrných stanic na tocích podle cílených hydrografických a hydrogeologických podmínek. Přesné umístění stanic spojené s výběrem vhodného měřného hydrologického profilu, včetně jeho následného geodetického zaměření,



Obr. 1. Hydrogram stanice Oskava-Dolní Libina s vyznačením korekcí vlivu ledových jevů a nahodilých chyb měření
Fig. 1. Hydrograph of Oskava-Dolní Libina hydrometric station showing the correction of the ice-induced and random errors

bylo následně provedeno in situ. Při výběru umístění stanice bylo postupováno v souladu s hydrologickou praxí, aby se minimalizovaly rušivé vlivy ovlivňující výšku zaznamenávaného vodního stavu a pravidelné měření průtoku pomocí hydrometrické vrtule (ČSN EN ISO 748), nebo výšky přepadového paprsku (ČSN ISO 3846) (prizmatické koryto, dostatečná hloubka průtočného profilu a rychlost proudění vody v průtočném profilu, vodoměrný profil bez vegetace, vhodný přístup apod.).

Za dobu trvání projektu byl na jednotlivých stanicích získán téměř tříletý kontinuální záznam výšky hladiny vody nad čidlem (v hodinovém kroku), zavěšeným na řetízku známé délky v ochranném kovovém tubusu opatřeném vodočtem (vodní stav byl pro další účely vždy vztažen k nule na vodočtu) a připevněném ke dnu a bokům říčního koryta, případně k tělesu hráze Thomsonova přelivu. I přes výše uvedená opatření bylo u naprosté většiny vodoměrných stanic nutné přistoupit k vyčištění datových řad, ovlivněných obzvláště extrémními přírodními podmínkami (zejména ledové jevy), ale i dalšími antropogenními (např. stavba mostu, zřízení barologgeru), technickými (nahodilé chyby měření) a náhodnými vlivy (pád větve do profilu, zanesení profilu po povodni apod.). Po stažení dat bylo při vracení leveloggeru do tubusu rovněž nutné se vyvarovat vzpříčení sondy v tubusu nebo jejího protočení v karabině spojující víčko sondy s řetízem tak, aby byla zachována stále stejná vzdálenost čidla k nule na vodočtu. Vyčištění průtoků z vyčištěných datových řad bylo dále spojeno s odpovídající mírou nejistoty při sestavování příslušné konsumpční křivky.

LEDOVÉ JEVY A NAHODILÉ CHYBY MĚŘENÍ

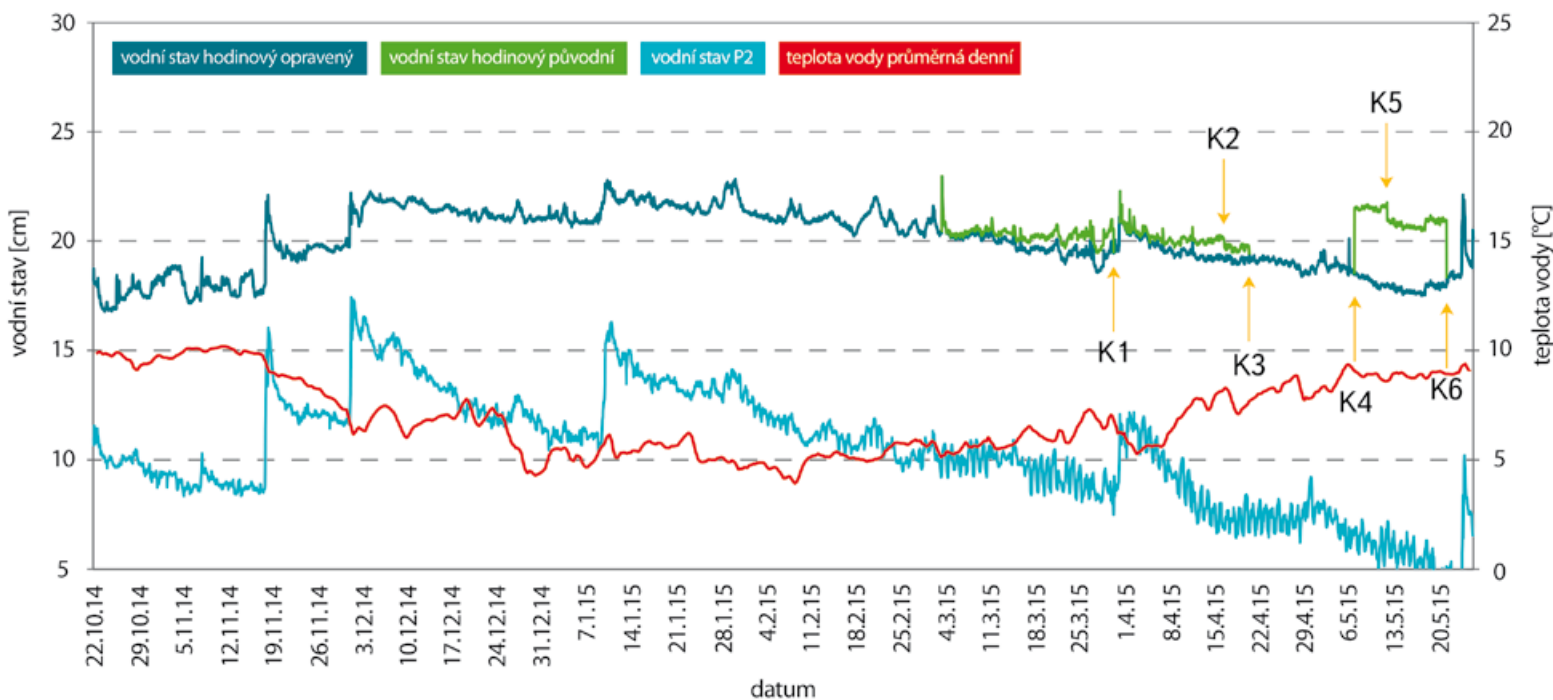
Na 80 % stanic došlo při poklesu průměrné denní teploty vody pod 0 °C k ovlivnění vodního stavu změnou tlakových podmínek proudění vody pod ledem (obr. 2). Tento stav byl nejčastěji charakterizován prudkým nárůstem a kolísáním

vodního stavu bez ohledu na charakter hydrogramu z předchozích dnů (obr. 1). Pro odstranění tohoto vlivu byl určující vodní stav před zamrznutím (průměrná denní teplota vody ~0 °C) a po kompletním rozmrznutí hladiny (průměrná denní teplota vody > 1 °C), kde mezilehlé vodní stavy, odpovídající době zámru hladiny, byly z důvodu absence vhodných analogonů dopočítány aritmetickým průměrováním obou odlehklých hodnot v závislosti na délce zámru a s ohledem na charakter hydrogramu před zámrem a po zámru vodní hladiny (korekce K1–K4 a K6 na obr. 1).



Obr. 2. Vodoměrná stanice VÚV v profilu Oskava-Dolní Libina (severní Morava)
Fig. 2. TGM Water Research Institute (TGM WRI) hydrometric station at Oskava-Dolní Libina (northern Moravia)

Především v letních měsících byly v období nízkých průtoků zaznamenávány četné nahodilé chyby měření, spočívající v náhlém, dočasném (hodinovém) poklesu vodního stavu o několik cm, které nebylo v harmonii s vodními stavy zaznamenanými před a po poklesu. Příslušný chybný vodní stav byl pak nahrazen aritmetickým průměrem předchozí a následující hodnoty (korekce K5 a K7 na obr. 1).



Obr. 3. Hydrogram vodoměrné stanice P8-Skryjský potok s vyznačením korekcí vlivu dočasného ucpání (omezení) průtočného profilu Thomsonova přelivu povodňovým plávmí
Fig. 3. Hydrograph of P8-Skryjský Stream hydrometric station showing the correction of temporal blockage (with flood debris) on Thomson weir

ZMĚNY V PRŮTOČNÉM PROFILU, ANтропоGENNÍ OVLIVNĚNÍ

Problémy s dočasným snížením průtočnosti profilu a jeho opětovným vyčištěním, spojené s náhlým zvýšením, resp. poklesem vodního stavu, byly zaznamenávány nahodile, především po větších povodních (říční nánosy, naplavené balvany) a u Thomsonových přelivů (pád větve do horní zdrže, vzpříčení větve v přelivu) (obr. 3 a 4). V případě, že byl na hydrogramu zřetelně identifikován vzestup a pokles vodního stavu, byl příslušný úsek opraven o hodnotu vzestupu/poklesu hladiny (korekce K4 a K6 na obr. 3).



Obr. 4. Vodoměrná stanice P8 osazená Thomsonovým přelivem na štolovém výtoku Skryjského potoka u Dukovan

Fig. 4. P8 hydrometric station fitted with Thomson weir on the underground effluent of Skryjský Stream at Dukovany (southern Moravia)

Pokud došlo vlivem vyčištění průtočného profilu k poklesu hladiny, přičemž odpovídající vzestup hladiny nebyl jednoznačně identifikován, bylo přistoupeno ke zpětné úpravě původních vodních stavů k nejbližší významné povodňové události aritmetickým průměrováním tak, že na začátku události

byl vodní stav ponechán a na konci revidovaného období se již shodoval s hodnotou odpovídající vyčištěnému průtočnému profilu (korekce K1–K3 a K5 na obr. 3). Pro k mezilehlých hodnot byl spočítán průměrný pokles na jednu mezilehlou hodnotu ΔH a ten byl postupně kumulativně odečítán od původních vodních stavů (H_p) dle vztahu:

$$H_i = H_{pi} - (i \times \Delta H), i = 1, 2, \dots, k$$

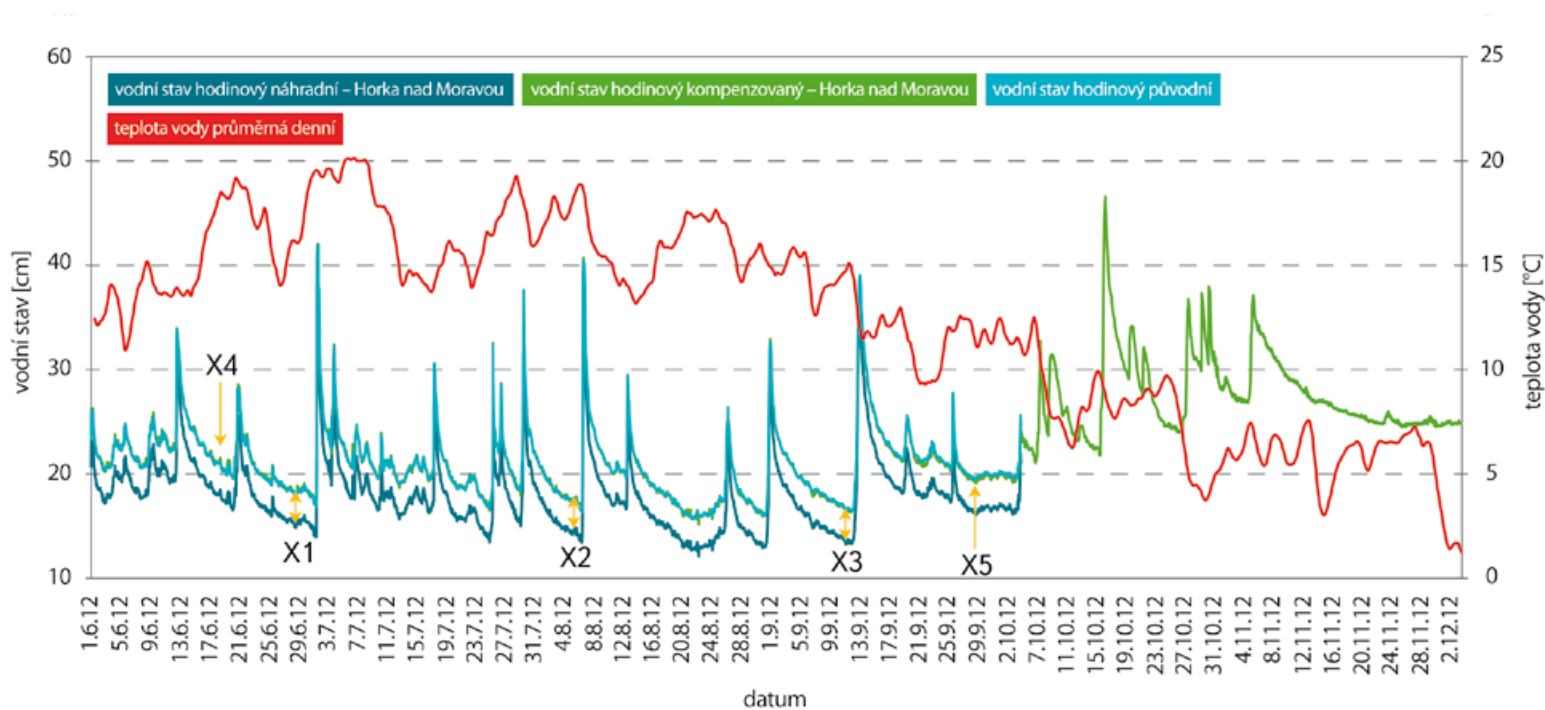
Antropogenní ovlivnění datových řad bylo zaznamenáno především ve spojitosti s nepředpokládanou úpravou koryta toku v okolí stanice (revitalizace koryta, rekonstrukce mostu, výstavba jezu – čtyři stanice) a zcizením barometrické sondy (šest stanic), kdy se např. rekonstrukce mostu spojená se stavbou bednění v řečišti projevila obdobným způsobem, jaký řešily korekce K4 a K6 na obr. 3.



Obr. 6. Čidlo Solinst Barologger 3001 firmy určené pro kompenzaci hydrostatického tlaku na tlak vzduchu

Fig. 6. Solinst Barologger 3001 sensor used for compensation of hydrostatic pressure on air pressure

Při zcizení barologgeru (obr. 6) bylo třeba přistoupit ke kompenzaci na tlak vzduchu z barologgeru na nejbližší vodoměrné stanici (v praxi vzdálenost do 15 km).



Obr. 5. Vodoměrná stanice Šumice-Náměšť na Hané s vyznačenou korekcí po kompenzaci na tlak vzduchu na náhradní vzduchové čidlo na přílehlé stanici Cholinka-Horka nad Moravou
Fig. 5. Šumice-Náměšť na Hané hydrometric station showing the correction after the air pressure compensation based on substitute sensor (because of a loss) from nearby Cholinka-Horka nad Moravou hydrometric station (central Moravia)

Tlakové změny, dané různou polohou stanic, způsobily změnu vodního stavu typicky v řádu několika centimetrů (obr. 5), což odpovídalo i 10–15% průměrného vodního stavu ve stanici. Na původní datové řadě, která se dochovala z posledního stažení dat, byla proto zjištěna průměrná odchylka vodních stavů za celou dobu pozorování oproti vodním stavům při využití náhradního barologgeru (X1–X3 na obr. 5) a výsledná hodnota pak byla započítána všem následně zaznamenaným vodním stavům po odcizení (na obr. 5 např. + 30,3 mm). Specifická poloha obou stanic a s ní spojené změny tlaku vzduchu (v horizontálním i vertikálním směru) se projeví v neúplné shodě mezi původním a náhradním hydrogramem (X4 a X5 na obr. 5), změny se však řádově pohybovaly v prvních jednotkách % měřeného vodního stavu ve stanici a pro účel projektu tak byly dále považovány za nepodstatné.

VYČÍSLENÍ PRŮTOKŮ Z DATOVÝCH ŘAD

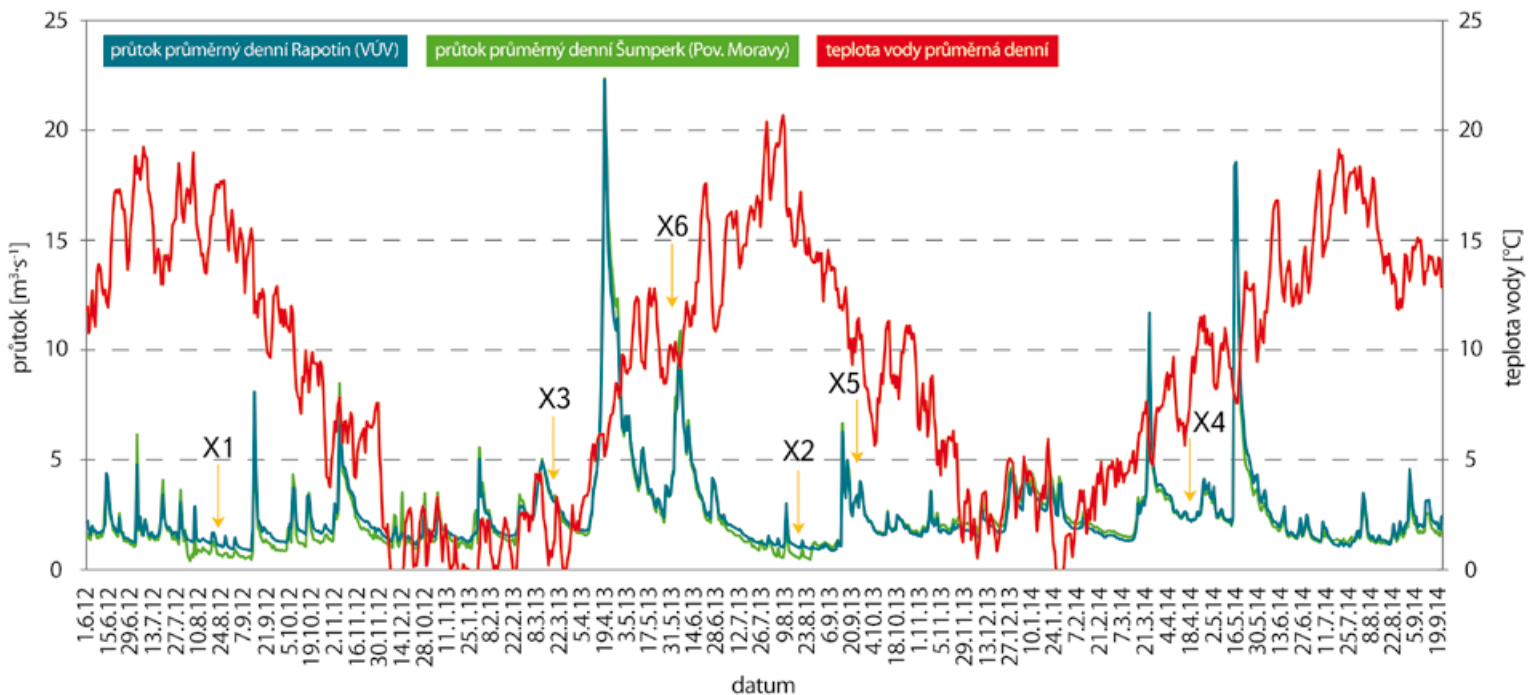
Pro vyčíslení průtoků z vyčištěných datových řad byly využity konsumpční křivky (obr. 9) sestavené na základě měřených průtoků in situ (cca 12 měření především nízkých a středních vodních stavů) a extrémního průtoku vypočteného podle ČSN ISO 1070 (Chézyho rovnice) pro nejvyšší zaznamenaný vodní stav za celou dobu pozorování (drsnostní parametry koryta a podélný sklon koryta zjištěny in situ, plocha průtočného profilu softwarově z geodeticky zaměřeného příčného profilu koryta toku ve stanici) (obr. 8). Konsumpční křivka pro každou stanici je proto tvořena vždy dvěma částmi s vyznačením vodního stavu, kde dochází ke změně výpočtu průtoku, přičemž první část křivky je zprava omezena největším průtokem změřeným in situ a druhá část křivky je empirická, vzniká proložení největšího změřeného průtoku in situ a průtoku vypočteného pomocí Chézyho rovnice. Pro všechny křivky bylo zvoleno optimalizované proložení prostřednictvím funkce s nejvyšší hodnotou spolehlivosti (koeficient R ve většině případů > 95 %).



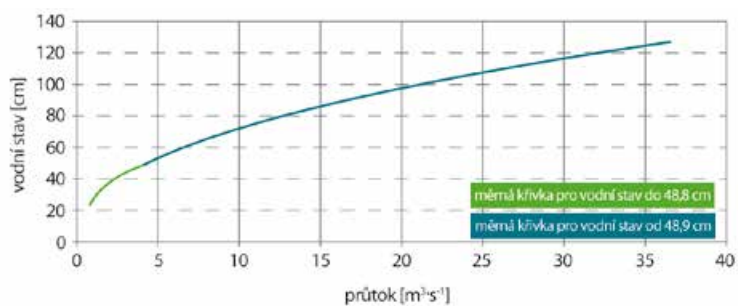
Obr. 8. Vodoměrná stanice Desná-Rapotín s vyznačením nejvyššího zaznamenaného vodního stavu (120,5 cm), pro který byl dopočten odpovídající průtok s využitím Chézyho rovnice

Fig. 8. Desná-Rapotín hydrometric station with the highest recorded water level marked for which the respective water flow was calculated using the Chézy formula

Na obr. 7 je zobrazena průtoková řada ve stanici Desná-Rapotín, porovnaná s průtokovou řadou ze stanice Desná-Šumperk (profesionální stanice povodí Moravy), nacházející se cca 5 km níže na toku. Zatímco v oblastech středních (X3 a X4 na obr. 7) a vyšších průtoků (X5 a X6 na obr. 7) je shoda (a tedy i kvalita měření průtoků ve stanici VÚV) téměř dokonalá, u nízkých průtoků je u stanice Desná-Šumperk patrné jejich velké podhodnocení, a to až o 50% (X1 a X2 na obr. 7). Vzhledem k zaměření projektu spojenému s důsledným měřením především malých průtoků ve stanicích VÚV lze konstatovat, že pokud mezi oběma stanicemi nedochází k zásadním odběrům vody, bylo by žádoucí zpřesnit měrnou křivku ve stanici Desná-Šumperk pomocí účelového hydrometrování.



Obr. 7. Porovnání hydrogramu z vodoměrné stanice Desná-Rapotín (VÚV) s hydrogramem z vodoměrné stanice Desná-Šumperk (povodí Moravy), ležící 5 km po proudu řeky
Fig. 7. Comparison of Desná-Rapotín hydrometric station (operated by TGM WRI) hydrograph with the hydrograph of Desná-Šumperk hydrometric station (operated by Povodí Vltavy, State Enterprise), situated 5 km downstream (northern Moravia)



Obr. 9. Sestrojená konštrukční křivka pro stanici Desná-Rapotín pro vodní stavy do 48,8 cm a nad 48,9 cm

Fig. 9. Constructed rating curve for Desná-Rapotín hydrometric station for water levels up to 48.8 cm and over 48.9 cm

ZÁVĚR

Využití soustavy tlakových čidel ve vodoměrných stanicích Výzkumného ústavu vodohospodářského se vzhledem k jejich mimořádné citlivosti ukázalo jako velice přesný a zároveň spolehlivý způsob měření vodních stavů (včetně extrémně nízkých) na profilech povrchových vod, a to i s ohledem na obtíže, které jsou s měřením vodních stavů a vyčíslením průtoků v nepozorovaných povodích spojeny. Největší nepřesnosti měření vodních stavů byly zaznamenány v souvislosti s pravidelným zamrznáním vodní hladiny v okolí stanice a nahodilými vlivy přírodního i antropogenního původu, které však bylo možné podle zvolené metodiky uspokojivě eliminovat. Nejistota ve vyčíslení průtoků z datových řad byla při použití dané metodiky spojena především s vyššími a povodňovými stavy, u malých a středních průtoků lze výsledky označit za robustní a spolehlivé.

Po praktické stránce se sondy samotné ukázaly jako velice spolehlivý přístroj s minimální chybivostí a velkým pracovním rozsahem (nejmenší interval měření 0,1 s, paměť na 40 000 záznamů, citlivost měření výšky vodního sloupce 0,01 mm, citlivost měření teploty vody 0,01 °C, nevyměnitelná baterie po třech letech provozu vykazovala 99–100% kapacity, synchronizace času, přehledné uživatelské rozhraní, optický přenos dat). Po stažení dat z dvojice čidel (kvůli kontrole koryta a možnému zcizení barologgeru se provádělo cca 3krát do roka) se pomocí softwaru Solinst Levelogger 4.0.3 provedla příslušná kompenzace na tlak vzduchu, exportovaný soubor typu .csv je možné následně editovat v prostředí MS Office.

Literatura

Manuál k použití vodoměrných zařízení firmy Solinst.

Dostupné z: <http://www.solinst.com/products/dataloggers-and-telemetry/3001-levelogger-series/operating-instructions> [online], 1. 7. 2015.

ČSN EN ISO 748. (2001) *Měření průtoku kapalin v otevřených korytech – Metody rychlostního pole*. Praha: Český normalizační institut, 44 s.

ČSN ISO 3846. (2012) *Měření průtoku v otevřených korytech pomocí přelivů pravoúhlého průřezu se širokou korunou*. Praha: Český normalizační institut, 32 s.

ČSN ISO 1070. (1994) *Měření průtoku kapalin v otevřených korytech. Metoda sklonu a plochy*. Praha: Český normalizační institut, 20 s.

Autor

RNDr. Tomáš Hrdinka, Ph.D.

✉ tomas_hrdinka@vuv.cz

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

Příspěvek prošel lektorským řízením.

EXPERIENCE WITH MEASUREMENT OF WATER LEVELS IN TGM WRI HYDROMETRIC STATIONS (USING THE SYSTEM OF PRESSURE SENSORS)

HRDINKA, Tomas

T. G. Masaryk Water Research Institute, p.r.i.

Key words: adjustment and correction of data series – barologger – hydrograph – levelogger – measurement of water level – pressure compensation – pressure sensor – water flow measurement – uncertainty

The paper describes the experience with measurement of water levels (particularly low ones) in natural river beds using a system of sensors recording hydrostatic pressure and air pressure. Several procedures on how to deal with adverse effects of natural, artificial and random phenomena on water level are described as well as the uncertainties associated with quantifying water flows using a hydrometric propeller and the Chézy formula. Long-term results demonstrate that the method of measuring water levels is suitable and accurate tool for measuring low flows in unobserved profiles.