

M-DENNÍ PRŮTOKY: NEJISTOTY VYBRANÝCH METOD PRO JEJICH ODVOZENÍ

Antonín Malý

Anotace: V článku jsou představeny některé z nejrozšířenějších metod, kterými jsou v ČHMÚ odvozovány M-denní průtoky. Cílem popsaného výpočetního experimentu bylo zjistit, nakolik se tyto postupy dokáží přiblížit ke skutečně vyhodnoceným M-denním průtokům vybraných 27 vodoměrných stanic. Z výsledků vyplývají tři zásadní závěry: 1) Dosavadní způsob hodnocení chyb návrhových hydrologických údajů je nedomyšlený a zkresluje vnímání neurčitosti M-denních průtoků; 2) Zatímco aktuální verze dlouhodobě doporučované bilanční metody dává ze všech popsaných přístupů zřetelně nejhorší výsledky, varianty intuitivní metody hydrologické analogie se profilují jako neúspěšnější; 3) Experimentálně zjištěná výběrová střední kvadratická relativní chyba odvozených minimálních průtoků je i v případě nejpřesnějších metod výrazně vyšší, než předpokládá současná technická norma ČSN 75 1400.

Klíčová slova: minimální průtoky, hydrologická bilance, hydrologická analogie, Katastr malých vodností, křížová validace, chyba odhadu

Antonín Malý: M-Day Discharges: Uncertainties of Selected Methods Used in Derivation

Annotation:

The article introduces some of the most frequently used methods for the derivation of M-day discharges used by ČHMÚ (Czech Hydrometeorological Institute). The purpose of the experimental calculation described below was to find out how reliable and close these procedures were to the actual evaluation of M-day discharges at 27 selected gauging stations. The result of this comparison confirmed three principal findings: 1) The present way of assessing the errors in hydrological design data is imperfect and distorts our perception of uncertainties concerning M-day discharges. 2) While the current version of the balance method, recommended for a long time, shows the worst results of all the procedures described, both variants of intuitive method of hydrological analogy appear to be the most successful. 3) The unbiased root-mean-square percentage error in the derivation of minimal discharges discovered by the experiment is considerably bigger than the limit required by the present Czech Technical Standard (ČSN 75 1400).

Key Words: minimum flows, hydrological balance, hydrological analogy, low flows register, cross-validation, estimation error

ÚVOD

Odvozování M-denních průtoků pro libovolný profil říční sítě je jedním ze stěžejních úkolů hydrologické služby ČHMÚ. Vydávané údaje jsou důležitým podkladem v projekční praxi i při rozhodování vodoprávních úřadů. Informace o M-denních průtocích nachází uplatnění při plánované výstavbě a intenzifikaci čistíren odpadních vod, výstavbě a rekonstrukci vodních nádrží a rybníků, při revitalizaci a technických úpravách vodních toků, nebo například při technicko-ekonomické rozvaze provozu malých vodních elektráren. Hodnoty M-denních průtoků zásadně ovlivňují stanovisko vodoprávních orgánů k žádostem o povolení k nakládání s povrchovými vodami, spolurozhodují o tom, kolik vody může být z toku odebráno a kolik odpadních vod vypuštěno. V ČHMÚ se každoročně vydávají M-denní průtoky pro přibližně 1500 lokalit, z nichž v naprosté většině případů se jedná o závěrové profily malých nepozorovaných povodí.

V průběhu desítek let si čeští hydrologové osvojili stále sofistikovanější metodické přístupy, které si kladly za cíl zkvalitnit návrhová data. Postupně sílil tlak na vytvoření univerzálního modelového řešení, které by zajistilo prostorovou konzistenci výsledných údajů a jejich přímé navázání na pozorované řady ve vodoměrných stanicích. Pro výsledky modelu, který by takové nároky splňoval, se vžilo označení „Katastr malých vodností“, či zkráceně „Katastr“. Výsledky Katastru usměrňují zpracovatele návrhových dat a omezují jejich subjektivitu. Hledání optimálního řešení prošlo historickým vývojem, který by se dal zjednodušeně charakterizovat: od jednoduchého ke složitějšímu – od trojčlenky a hydrologické analogie ke složitým bilančním metodám. Paralelně s tímto trendem však zůstal neoslaben názorový proud hájící význam individuálních zásahů zpracovatelů prostřednictvím lokálních oprav modelového řešení. Právě taková koncepce jako jediná umožňuje plné uplatnění znalostí hydrologů nabytých v terénu.

Ačkoliv prvními verzemi Katastru byla patrně hromadná zpracování dat z let 1931–1940 a 1941–1950 (VÚV, 2009), v povědomí široké odborné veřejnosti se za průkopnické dílo na tomto poli považuje až Katastr vodností 1931–1960, publikovaný v Hydrologických poměrech ČSSR (HMÚ, 1970). Dlužno dodat, že ani tento Katastr nebyl vytvořen jednotným algoritmem a jedná se tak spíše o detailní soupis návrhových dat než o homogenní

modelový výstup. O dalších dvacet let později (začátkem 90. let 20. století) byly dokončeny poslední přípravy k poskytování dat podle nové jednotné metodiky. M-denní průtoky začaly být vydávány za období 1931–1980. Kromě rozsáhlejšího a aktuálnějšího datového materiálu se nové zpracování opíralo o statistické postupy, které rozvinul úzký tým okolo Ing. Kašpárka (NOVICKÝ a kol., 1992). Specifický vývoj na pobožce ČHMÚ v Brně přinesl autonomní modelový přístup, který šel po stránce inovací ještě dál – autoři metodiky L. Budík a J. Kotrnek v něm mj. předznamenal využití dat o antropogenním ovlivnění (BUDÍK a KOTRNEC, 1994). Během následujícího dvacetiletí byly nastřádány další poznatky, došlo k prodloužení časových řad a revoluci ve vývoji výpočetní techniky. Do konce roku 2012 Ladislav Budík zásadně přepracoval původní metodiku Kašpárkova týmu. Nový, podstatně složitější postup odvození M-denních průtoků za období 1981–2010, vychází z flexibilnějšího teoretického rozdělení pravděpodobnosti, umožňuje do výpočtů zahrnout systematicky evidované antropogenní ovlivnění a ve velké míře využívá podklady pořízené pomocí GIS (BUDÍK a kol., 2014).

V zahraničí se používají odlišné metody interpolace a extrapolace návrhových charakteristik M-denních průtoků. Přes společný historický vývoj se dnes odlišného přístupu využívá na Slovensku (MELOVÁ, 2015), ve světové literatuře zaznamenáváme tendence k využití např. nových geostatistických metod (CASTIGLIONI a kol., 2011, LAAHA a kol., 2014). Rešerše zahraničních postupů a jejich analýza však není cílem našeho příspěvku.

Zatímco v České republice vývoj výpočetních metod na odvození M-denních průtoků nepřetržitě pokračuje a datový materiál je stále bohatší, proklamovaná spolehlivost návrhových charakteristik ustrnula na hodnotách platných před čtvrt stoletím. Pokud dnes pracujeme s údaji z hustší staniční sítě, máme dokonalejší metodiku i výpočetní aparát, proč nedochází k aktualizaci a tedy redukci nejistot návrhových charakteristik uváděných v technické normě ČSN 75 1400 (ČSN, 2014)? Jsou mezi úspěšností dřívějších a dnešních metod tak malé, neprůkazné rozdíly? Nebo byl původní odhad neurčitosti dat příliš optimistický a až dnes jsme díky novým přístupům tento nedostatek dokázali eliminovat? Jsou dnes deklarované nejistoty M-denních průtoků nastaveny věrohodně, nebo si zaslouží korekci? Případná změna by měla být na stranu snížení či navýšení dosavadních teoretických hodnot směrodatných chyb odhadu?

V českých podmínkách dosud žádná studie tyto pochybnosti nevyjasnila a úspěšnost rozdílných výpočetních metod nekvantifikovala. S výjimkou teoretické práce Kašpárka (KAŠPÁREK, 1989) se nikdo spolehlivosti M-denních průtoků v nepozorovaných profilech podrobněji nezabýval. Naš příspěvek je snahou o částečné vyplnění této znalostní mezery. Představíme čtyři metody, které dnes obvykle tvoří základ praktického modelového zpracování M-denních průtoků v ČHMÚ. V článku se pomocí jednoduchého výpočetního experimentu pokusíme vyčíslit a vzájemně porovnat neurčitost představených metod. Výsledek nám nabídne možnost rámcově posoudit věrohodnost nejistot uvedených v platné technické normě (ČSN, 2014) a případně navrhnout její úpravu.

M-DENNÍ PRŮTOK A JEHO TEORETICKÁ NEJISTOTA

Termín M-denní průtok označuje průměrný denní průtok, který je v daném profilu říční sítě v rámci definovaného referenčního období dosažen, nebo překročen po dobu M-dní v normálním (průměrném) roce. M-denní průtoky se z důvodu konvence vyčíslují pro hodnoty $M = 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 355$ a 364 dní (ČSN, 2014). Součástí zpracování M-denních průtoků bývá také stanovení dlouhodobého průměrného průtoků (Q_a). M-denní průtoky popisují hydrologický režim v zájmovém profilu během určitého období od oblasti nadprůměrných průtoků až po minima. Ve vodohospodářské praxi je největší poptávka o kvantil Q_{355d} (355-denní průtok) a jeho sousedy. Parametr Q_{355d} konvenčně definuje hydrologické sucho a figuruje jako dominující údaj v dosavadní metodice na výpočet minimálního zůstatkového průtoků (MŽP, 1998). V dalším textu budeme pod minimálními průtoky chápat průměrné denní průtoky s vodností na úrovni Q_{330d} , nebo nižší.

Návrhová data M-denních vod je pro převážnou většinu profilů třeba odborně odhadnout. Kvůli jednoznačnosti výkladu budeme v dalším textu ctít následující symboliku. Index i zastupuje i -tý kvantil v řadě M-denních průtoků, zatímco index a vyjadřuje hodnotu aritmetického průměru téže řady. Budeme pracovat se čtyřmi odlišnými modely, z nichž každý nám reprezentuje autonomní množinu odhadů. Množinu odhadů budeme značit indexem j . V každé množině může být předmětem odhadu návrhový průtok pro jeden nebo blíže neuvedený počet profilů. Celkový počet profilů v množině j budeme značit proměnnou N . V naší studii bude tento počet totožný pro všechny množiny odhadu (pracujeme s 27 profily vodoměrných stanic). Index n naproti tomu vyjadřuje pořadí konkrétního profilu v souboru všech uvažovaných profilů dané množiny j . Relativní chyba odhadu M-denního průtoků (di) je (při dodržení předchozí symboliky) vyjádřena vztahem (1):

$$di_{j,n} = \frac{(Qi_{j,n} - Qi_{E,n})}{Qi_{E,n}} \quad (1)$$

$Qi_{j,n}$ značí odhadovaný průtok i-té M-dennosti v n-tém profilu v rámci j-té množiny odhadů,

$Qi_{E,n}$ značí skutečnou (odhadovanou) hodnotu průtoku příslušné M-dennosti v n-tém profilu.

Kvalitu množiny odhadů je možné vyčíslit mj. na základě výběrové směrodatné odchylky ze souboru relativních chyb odhadu (σ_i). Použitím takové charakteristiky předpokládáme, že hodnoty relativních chyb odhadu budou symetricky rozložené okolo hodnoty nula, reprezentující hledanou hodnotu. Tento předpoklad nemůže být, vzhledem k povaze veličiny relativní chyby, vlastnostem hydrologických řad i metodám zpracování údajů prakticky dodržen. Ve skutečnosti platí, že s narůstající nepřesností odhadu stále rychleji narůstá asymetrie v rozdělení relativních chyb příslušného odhadu. Lépe vypovídající souhrnnou informací o kvalitě množiny odhadů je proto výběrová střední kvadratická relativní chyba odhadu ($\mathcal{G}_i$), viz rovnice (2):

$$\mathcal{G}_i = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (di_{j,n})^2}{N-1}} \quad (2)$$

V práci operujeme s termíny chyba a nejistota. Zatímco chyba vyjadřuje odchylku skutečné kvantity od její předpokládané podoby, nejistotou či neurčitostí rozumíme pravděpodobnostní rozložení velikostí chyb. Neurčitost zpravidla souhrnně vyjadřujeme prostřednictvím veličiny $\mathcal{G}_i$. Exaktní vyčíslení chyb a nejistot v hydrologii i ostatních přírodních vědách je prakticky nemožné. Příčinou je jednak neznalost holé skutečnosti (v lepším případě máme k dispozici relativně kvalitní měření), jednak omezený počet realizací odhadů skutečnosti (nejčastěji jeden odhad či měření). Kvůli zjednodušení popisu a snazšímu pochopení pro čtenáře v článku používáme termíny chyba a nejistota, přestože bychom měli vždy zdůraznit, že jsou pouze předpokládané. Chybu bychom zde proto měli raději nazývat odchylkou modelových a empirických dat.

Česká technická norma (ČSN, 2014) ve své příloze A definuje 4 třídy spolehlivosti, pro něž uvádí orientační velikosti směrodatných chyb odhadu. Z důvodu zjednodušení předpokládá ekvivalenci veličin σ_i a $\mathcal{G}_i$. Z tabulky 1 je zřejmé, že nejnižší nejistota odhadu se předpokládá u dlouhodobého průměrného průtoku. Naopak nejvyšší nejistota je logicky vázána k minimálním průtokům. Kvantifikace nejistot v technické normě (ČSN, 2014) se částečně opírá o výsledky studie (KAŠPÁREK, 1989), kde jsou příslušné hodnoty $\mathcal{G}_i$ stejné, nebo o málo nižší. V citované práci byly směrodatné relativní chyby příslušných charakteristik stanoveny s uvažováním platnosti několika neověřených teoretických předpokladů a nakonec subjektivně dopraveny. Tabulka 1 dokumentuje, že rozhodující část vydávaných M-denních průtoků se vztahuje k nepozorovaným profilům na menších tocích a bývá zařazována do III. třídy spolehlivosti. O důvod víc, proč se zabývat neurčitostí dat této kategorie.

Tabulka 1: Orientační teoretické nejistoty M-denních průtoků podle ČSN 75 1400

třída spolehlivosti	střední kvadratická rel. chyba odhadu [%] *			typický charakter profilu **	zastoupení *** [%]
	Q_a	$Q_{30d} - Q_{300d}$	$Q_{300d} - Q_{364d}$		
I	8	10	20	vodoměrná stanice s kvalitním, dostatečně dlouhým pozorováním	2
II	12	15	30	pozorovaný profil nesplňující kritéria tř. I, profil v blízkosti stanice na témže toku	11
III	20	25	45	profil uzavírající středně velká a malá nepozorovaná povodí	78
IV	30	40	60	profil uzavírající malá a velmi malá nepozorovaná povodí	9

Poznámka: * nesprávně se předpokládá, že je shodná se směrodatnou odchylkou rel. chyb odhadu; ** není doslovně převzato z ČSN 75 1400, odráží obvyklou praxi; *** není převzato z ČSN 75 1400, skutečný stav v rámci zpracovaných profilů v ČHMÚ Brno (1996–2015)

VYBRANÉ METODY ODHADU M-DENNÍCH PRŮTOKŮ

Regresní odhad (R)

Relativně jednoduchý přístup, sloužící jako výchozí krok při aplikaci většiny ostatních metod. V rámci vybraných málo ovlivněných vodoměrných stanic jsou parametrizovány čáry překročení průměrných denních průtoků. Zároveň jsou pro povodí definována závěrovými profily těchto stanic pomocí nástrojů GIS stanoveny vybrané fyzikogeografické charakteristiky. Území České republiky je rozděleno do několika regionů na základě litologických poměrů a pro každý region je nalezen co nejtěsnější regresní vztah mezi zkoumanými fyzikogeografickými podmínkami zde ležících vybraných povodí a parametry čar překročení průměrných denních průtoků příslušných vodoměrných stanic. Prostřednictvím GIS je pro celé území České republiky odvozena sada rastrů v podrobném prostorovém kroku zastupujících jednotlivé parametry teoretického rozdělení pravděpodobnosti průměrných denních průtoků v rámci platného referenčního období 1981–2010. V základní matici, tvořené povodími 4. řádu, jsou z regresních rastrů odvozeny průměrné hodnoty jednotlivých parametrů a nad každou nalezenou sadou parametrů následně zkonstruována odpovídající čára překročení průměrných denních průtoků reprezentující závěrové profily těchto povodí.

V dalším kroku dochází ke kompozici výsledků z měřítka základní matrice do větších územních celků ve shodě s hierarchií říční sítě. Při kompozici se dbá na dodržení teoretických předpokladů a přijatých omezujících podmínek. Modelové řešení uvažuje postupnou transformaci rozdělení M-denních průtoků prostřednictvím skládání řad v soutokových uzlech, a také jejich transformaci podél říčních úseků. Do výpočtu vstupují mimo jiné všechny relevantní evidované údaje o ovlivnění, které jsou rovněž zastoupeny vlastními čarami překročení (BUDÍK a kol., 2014).

Bilančně optimalizovaný regresní odhad (B)

V ČHMÚ jde, s výjimkou výpočtů ve specifických oblastech, o oficiálně jedinou, dlouhodobě doporučovanou metodu (MP NH, 2015, BUDÍK a kol., 2014). Podle jejích variant byl zpracován Katastr malých vodností 1931–1980 i právě používaný, dosud nejpropracovanější Katastr 1981–2010. Princip metody „B“, kterou v textu obvykle označujeme jako „bilanční“, spočívá nejprve v rozčlenění celé výpočetní domény (pokrývající Českou republiku a hydrologicky související povodí) do dílčích výpočetních úseků. Výpočetní úseky jsou definovány podobou vodoměrné staniční sítě. V každém výpočetním úseku získáme iniciální výsledky pomocí metody „R“ a na tyto aplikujeme empirickou opravu dlouhodobého průměrného průtoků. Na základě adjustačního algoritmu, jsou regresní odhady kvantilů M-denních průtoků na úrovni povodí 4. řádu korigovány tak dlouho, dokud nedojde k nejlepší shodě modelového výsledku s empirickou čarou překročení průměrných denních průtoků v nejbližší, po toku níže ležící, vodoměrné stanici. Zbylá rezidua modelu a empirických dat na dolní hraně výpočetního úseku jsou předepsaným postupem reverzně rozpočtena až do úrovně závěrových profilů povodí 4. řádu. Tímto mechanismem je, na rozdíl od výsledků ostatních popsaných metod, zajištěna plná shoda modelového řešení a skutečně vyhodnocených řad v rámci pozorovaných profilů. V metodě „B“ se dlouhodobý průměrný průtok (Qa) v zájmovém profilu, při zanedbání možného antropogenního ovlivnění, vypočte podle výrazu (3):

$$Qa_{B,n} = \frac{\left[\left(Qa_{E,D} - \sum_{o=0}^O Qa_{E,Ho} \right) \cdot Qa_{R,n} \right]}{Qa_{R,MP}} \quad (3)$$

$Qa_{E,D}$ značí empirický dlouhodobý průměrný průtok ve vodoměrné stanici zdola ohraničující výpočetní úsek,

$Qa_{E,Ho}$ značí empirický dlouhodobý průměrný průtok O -té vodoměrné stanice shora ohraničující výpočetní úsek; řada výpočetních úseků horní ohraničení stanic nemá ($O=0$),

$Qa_{R,n}$ značí odvozený dlouhodobý průměrný průtok v n -tém profilu získaný regresní metodou,

$Qa_{R,MP}$ značí regresní metodou odvozený dlouhodobý průměrný průtok z celého mezipovodí, vymezeného příslušným výpočetním úsekem.

Ve skutečnosti nemá výraz (3) obecnou platnost, protože nepředpokládá výskyt antropogenního ovlivnění. Námi použitý model využívá exaktního vyjádření, které působení antropogenního ovlivnění a jiných eventualit uvažuje. Z důvodu názornosti a úspornosti popisu jej neuvádíme. Daleko složitější adjustace probíhá při

stanovení M-denních průtoků (BUDÍK a kol., 2014). Pro zjednodušení konstatujeme, že regresní odhady jednotlivých M-denních průtoků jsou korigovány násobícím koeficientem, který je proměnný v rámci kvantilů téhož profilu a za stávající metodiky i mezi jednotlivými profily (4):

$$Qi_{B,n} = Qi_{R,n} \cdot (xi_{B,n} + yi_{B,n}) \quad (4)$$

$Qi_{R,n}$ vyjadřuje i-tý kvantil řady M-denních průtoků v n-tém profilu, získaný metodou regresního odhadu

$xi_{B,n}$ je optimalizovaný korekční koeficient platný v i-tém kvantilu n-tého profilu,

$yi_{B,n}$ je proměnná pevně vázaná k reziduům modelového výsledku na dolní hraně výpočetního úseku a rovněž související se strukturou a vstupními parametry výpočetního úseku.

Odhad na základě hydrologické analogie (A)

Metoda hydrologické analogie patří k nejužívanějším pracovním postupům v hydrologii. Její popularita těží z faktu, že hydrologové pracují většinou s nedostatečným objemem přesných informací a jsou nuceni asociovat objekty a probíhající procesy i v situaci, kdy k takové operaci chybí přímé důkazy (KŘÍŽ, 1978). Jeden náš kolega shrnul v nadsázce popsané východisko jako parafrázi známé scénky komika Holzmann: „...hledání klíčku z aluminia nikoliv v místě jeho ztráty, ale tam, kde je dostatek světla...“. Přísně vzato, je uvedení názvu metody hydrologické analogie pod tímto bodem lehce zavádějící, protože každý ze čtyř zkoumaných přístupů její princip v různé míře využívá. I s tímto vědomím jsme se nakonec pro název rozhodli, protože postup označený jako „A“ reprezentuje metodu hydrologické analogie v její elementární podobě. Dále popsany přístup, je nejjednodušší z představených technik odhadu.

Nejprve k povodí zájmového profilu, pro který chceme odhadnout M-denní průtoky a dlouhodobý průměrný průtok, nalezneme tzv. „analogon“. Analogonem chápeme stanici, jejíž povodí je svou vzdáleností i charakterem přírodních a antropogenních podmínek co nejbližší našemu zájmovému povodí. Jakmile takovou stanici identifikujeme, budeme předpokládat, že v ní fungují podobné zákonitosti rozdělení průměrných denních průtoků. Dlouhodobý průměrný průtok určíme podle výrazu (5):

$$Qa_{A,n} = \frac{(Qa_{E,\alpha} \cdot Qa_{R,n})}{Qa_{R,\alpha}} \quad (5)$$

$Qa_{E,\alpha}$ značí empirický dlouhodobý průměrný průtok v analogonu (α),

$Qa_{R,\alpha}$ značí odvozený dlouhodobý průměrný průtok v analogonu získaný regresní metodou.

Platnost vztahu (5) je vázána na situace, kdy ani v zájmovém povodí, ani v povodí analogonu nedochází k antropogennímu ovlivnění (či na celkovou bilanci obdobně působícím procesům přírodního rázu). Ve skutečnosti námi použitý model využívá obecně platné složitější vyjádření, které neuvádíme. Jakmile nalezneme hodnotu dlouhodobého průměrného průtoku, kvantily M-denních průtoků stanovíme podle rovnice (6):

$$Qi_{A,n} = \frac{(Qi_{E,\alpha} \cdot Qa_{A,n})}{Qa_{E,\alpha}} \quad (6)$$

$Qi_{E,\alpha}$ značí i-tý kvantil empirické řady M-denních průtoků v analogonu.

Bilančně optimalizovaný regresní odhad využívající princip hydrologické analogie (AB)

Jak z názvu vyplývá, jedná se o postup kombinující všechny předchozí metody. Z hlediska pracnosti výpočtu je řešení z představených možností nejnáročnější. Odvození dlouhodobého průměrného průtoku je totožné jako u metody „A“, po dosazení popisného indexu **AB** na levou stranu rovnice platí opět vztah (5). Kvantily řady M-denních průtoků jsou stanoveny podle výrazu (7):

$$Qi_{AB,n} = Qi_{R,n} \cdot (xi_{AB,n} + yi_{AB,n}) \quad (7)$$

$x_{AB,n}^i$ je optimalizovaný korekční koeficient platný v i-tém kvantilu n-tého profilu,
 $y_{AB,n}^i$ je proměnná pevně vázaná ke struktuře a vstupním parametrům výpočetního úseku.

Hlavní rozdíl vztahu (7) oproti výrazu (4) spočívá v tom, že optimalizace iniciálního řešení probíhá vzhledem k profilu analogonu, nikoliv k profilu nejbližší, níže ležící vodoměrné stanice, bilančně zahrnující povodí zájmového profilu. Vzhledem k tomu, že analogonem může, ale nemusí být vodoměrná stanice, ke které naše zájmové povodí bilančně přispívá, mohou být v určitých případech řešení metodami „B“ a „AB“ totožná. Podstatu všech čtyř popsaných přístupů zjednodušeně shrneme v tabulce 2:

Tabulka 2: Základní principy vybraných metod odhadu

metoda	způsob stanovení	
	Qa	Qi
R	bez oprav	kompozice bez oprav
B	oprava podle níže ležící bilanční stanice	kompozice s opravou podle níže ležící bilanční stanice
A	oprava podle analogonu	tvár křivky překročení stejný jako u analogonu
AB	oprava podle analogonu	kompozice s opravou podle analogonu

EXPERIMENTÁLNÍ VYČÍSLENÍ CHYB ODHADU

Abychom mohli vyčíslit a porovnat nejistotu jednotlivých modelových přístupů k odhadu dlouhodobých průměrných průtoků a řad M-denních průtoků v nepozorovaných profilech, rozhodli jsme se provést výpočetní experiment založený na metodě křížové validace. Křížová validace zde spočívá v tom, že vhodně vybrané stanice vyloučíme ze zpracování, dopočítáme jejich data pomocí čtyř rozdílných modelových přístupů a dosažené výsledky nakonec porovnáme se skutečně vyhodnocenými údaji.

V rámci části území České republiky, které je v kompetenci brněnské pobočky ČHMÚ, jsme nejprve identifikovali množinu vodoměrných stanic. Vybrané stanice suplují, za předpokladu jejich vynechání z okrajových podmínek modelových výpočtů, charakteristické profily III. třídy spolehlivosti podle ČSN (2014), viz tabulka 1. Pro uvažovaných 27 staničních profilů bylo možné stanovit odhady M-denních průtoků všemi čtyřmi představenými metodami. V rámci každé modelové odvozované stanice bylo potřeba nadefinovat příslušný výpočetní úsek (přístup „B“) a nejvhodnější analogon, včetně jemu odpovídajícímu výpočetnímu úseku (výpočet metodami „A“ a „AB“). Situaci vybraných vodoměrných stanic spolu s dílčími, dále okomentovanými výsledky, zachycuje obrázek 1.

Výpočty probíhaly ve vlastním vyvinutém programu, který se odlišuje od dosud doporučovaného výpočetního nástroje. Naše algoritmy modifikují oficiální metodický postup (BUDÍK a kol., 2014), zjednodušují, a podle našeho názoru zpřesňují optimalizační proceduru, ale především zkracují dobu potřebnou k provedení zadání a výpočtu až o dva řády. Jako výsledek našeho snažení jsme pro každý z 27 staničních profilů získali 4 sady modelových řad M-denních průtoků, doplněné o hodnoty dlouhodobých průměrných průtoků. Pátou sadou hodnot, se kterou jsme dále pracovali, byly skutečně vyhodnocené (empirické) údaje.

Dalším dílčím krokem mělo být stanovení jednotlivých relativních chyb odhadu (ve skutečnosti však odchylek modelových odhadů od empirických dat, viz předchozí text) podle konvenčního vztahu (1) a jejich statistické zhodnocení, zahrnující výpočet výběrových středních kvadratických relativních chyb odhadu podle rovnice (2). V tomto bodě se však ukázalo, že stávající přístup ke kvantifikaci chyb je pro relevantní interpretaci neurčitosti nepoužitelný. Prvním a klíčovým nedostatkem dosud užívaného měřítka nejistot je to, že není zohledněna možnost v praxi zcela běžná – vyschnutí toku. Nepatrná absolutní chyba je pak spojena s nekonečnou relativní chybou příslušného odhadu podle rovnice (1). Pro vyčíslení veličin σ_i i $\mathcal{G}_i$ je existence jediného takového případu fatální – zbylá část odhadů se stává nadbytečná. Druhým problémem výpočtu relativních chyb odhadu podle rovnice (1) je citlivostní asymetrie, která může značně zkreslovat skutečnou úspěšnost odhadu. Zatímco chyby z nadhodnocení mohou přinést až neomezeně vysokou relativní chybu, chyby z podhodnocení nemohou překročit hladinu 100 %. Pokud pracujeme se silně nepřesnými odhady, chyby z nadhodnocení hrají daleko větší roli, než omyly ve smyslu podhodnocení. Kvůli potřebě nejistotu výstižněji kvantifikovat jsme se proto dále v naší studii rozhodli zavést modifikovanou relativní chybu odhadu na základě vyjádření (8):

$$dMi_{j,n} = \max \left\{ \left| \frac{(Qi_{j,n} - Qi_{E,n})}{\left(Qi_{E,n} + \frac{Qa_{E,n}}{k} \right)} \right|; \left| \frac{(Qi_{E,n} - Qi_{j,n})}{\left(Qi_{j,n} + \frac{Qa_{j,n}}{k} \right)} \right| \right\} \quad (8)$$

$Qa_{E,n}$ zastupuje empirický dlouhodobý průměrný průtok v n-tém profilu,

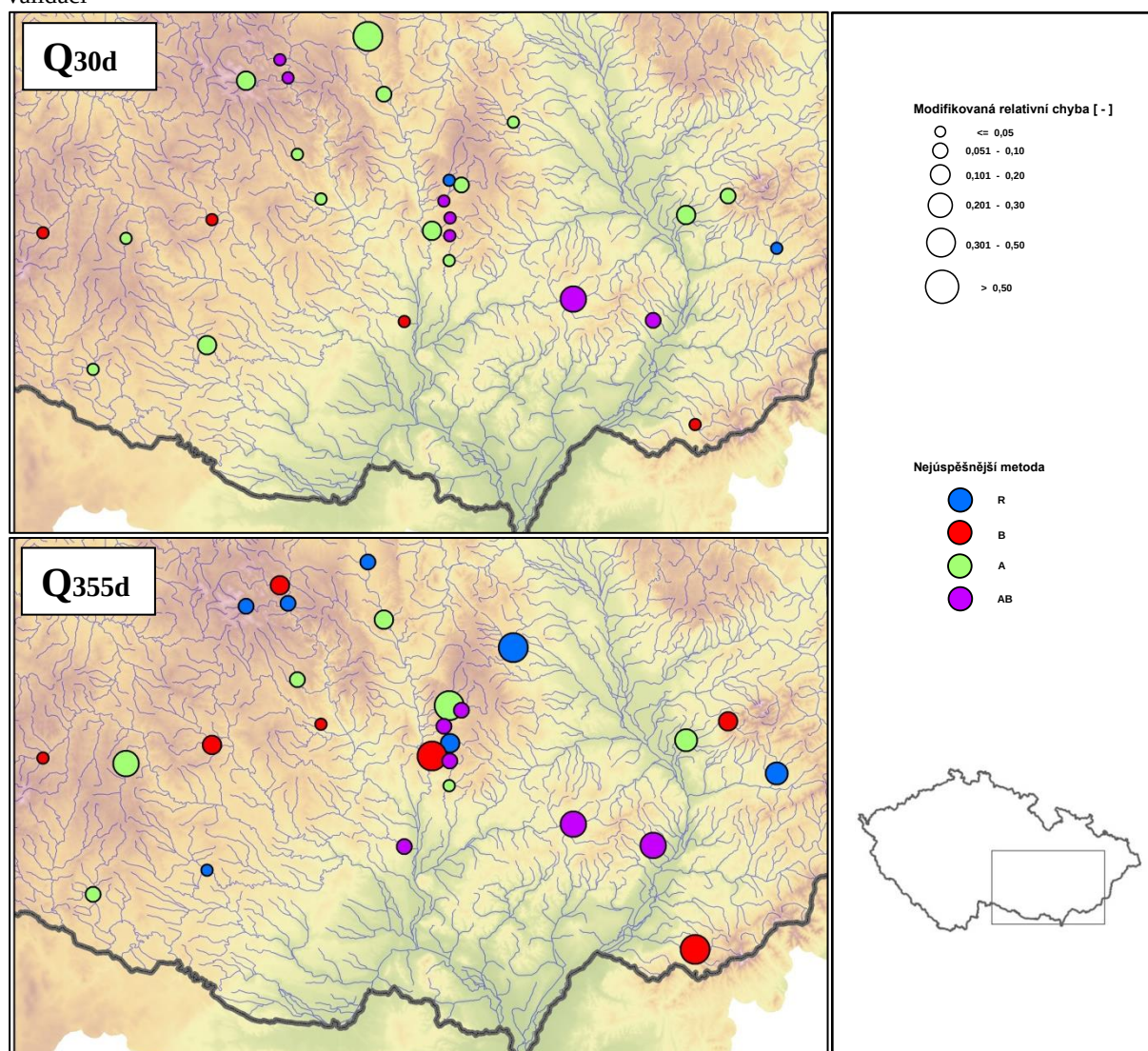
$Qa_{j,n}$ zastupuje dlouhodobý průměrný průtok v n-tém profilu odvozený v rámci j-té množiny odhadu,

k je konstanta limitující velikost výsledné chyby, v našem případě jsme použili $k = 100$.

Po aplikaci vztahu (8) byla pro každou ze čtyř výše popsaných metod vypočtena příslušná výběrová střední kvadratická modifikovaná relativní chyba odhadu ($\mathcal{M}i$) podle rovnice (9):

$$\mathcal{M}i_j = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (dMi_{j,n})^2}{N-1}} \quad (9)$$

Obrázek 1: Nejmenší modifikovaná relativní chyba parametrů Q30d a Q355d ve stanicích podrobených křížové validaci



Dodejme, že vztahy (1) a (8) a z nich vyplývající vzorce (2) a (9) pracují pouze s veličinou $Q_{i,j,n}$. Při vyčíslení chyb odhadu dlouhodobého průměrného průtoku v těchto rovnicích však bylo třeba počítat s parametrem $Qa_{j,n}$. Výsledné veličiny, $\mathcal{M}i$, získané jednotlivými metodami, jsme porovnali mezi sebou a konfrontovali je s nejistotou deklarovanou v aktuálně platné technické normě.

Vzhledem k předpokladu, že výběrová střední kvadratická modifikovaná relativní chyba bude silně záviset na odlehlých hodnotách, byla kvantifikována její useknutá varianta neuvažující nejhorší odhad. Tuto označujeme $\mathcal{M}i_{(-1)j}$. Dále jsme se rozhodli pro vizualizaci rozdělení modifikovaných relativních chyb odhadu pomocí krabicových grafů. V grafech vynášíme hodnoty chyb odpovídající 10, 25, 50, 75 a 90 % pravděpodobnosti dosažení nebo překročení. Ačkoliv ČSN (2014) nespecifikuje způsob rozdělení teoretických relativních chyb odhadu, rozhodli jsme se tyto simulovat prostřednictvím normálního rozdělení pravděpodobnosti a po provedení transformace na požadovanou veličinu $d\mathcal{M}i_{j,n}$ je porovnat s chybami modelovými. Ke konstrukci normálního rozdělení postačují informace z tabulky 1. Jsme si vědomi toho, že námi zvolený postup je v tomto bodě napadnutelný, umožňuje nám však posoudit do jaké míry se liší zaznamenané chyby odhadu (odchyly modelových výstupů od empirických dat) od nejintuitivnější interpretace rozdělení chyb teoretických. Součástí našeho zpracování byla také hrubá prostorová analýza nalezených výsledků pomocí jejich vykreslení v GIS. Zajímalo nás, zda existuje zřetelná prostorová vazba mezi velikostí modelových chyb a zda je úspěšnost jednotlivých metod regionálně podmíněna.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Kvalita odhadů jednotlivých metod, vyjádřená podle dosavadní konvence prostřednictvím veličiny $\mathcal{I}i_j$ i pomocí nově navržené charakteristiky $\mathcal{M}i_j$, je shrnuta v tabulce 3. Tutéž tabulku doplňujeme o veličinu $\mathcal{M}i_{(-1)j}$ a také o teoretické směrodatné chyby odhadu ve třídách spolehlivosti III a IV podle ČSN (2014). Referenční teoretickou řadou jsou hodnoty vázané k III. třídě spolehlivosti, hodnoty třídy IV mají informativní význam. Vizuální prezentaci těchto informací doplněných o charakteristiku σi_j nabízí obrázek 2.

Z pomyslného klání čtyř popsanych postupů nejhorších výsledků dosáhla zdánlivě sofistikovaná metoda založená na bilančně optimalizovaném regresním odhadu (B). Tento poznatek je zásadní z toho důvodu, že metoda „B“ je v ČHMÚ aktuálně doporučovaným přístupem k odhadu M-denních průtoků v nepozorovaných profilech. Hlavním důvodem selhávání postupu je silná závislost kvality výsledků na struktuře staniční sítě zahrnuté do výpočtů. Naše práce dokumentuje, že nárůst nejistot bilancovaných veličin je u metody „B“ natolik dramatický, že zpravidla překonává očekávanou neurčitost komponovaného regresního odhadu (R). Čím menší je průtokový příspěvek modelem dopočítávaného mezipovodí vůči závěrové stanici příslušného výpočetního úseku, tím více a stále rychleji narůstá nejistota výsledného odhadu. Uvedené platí samozřejmě pro všechny M-denní průtoky s tím, že směrem k dolním kvantilům rozdělení (minimální průtoky) dochází k výrazné progresi potenciálních chyb.

Převážnou část rozsahu M-denních průtoků ve vztahu k veličinám $\mathcal{I}i_j$ a $\mathcal{M}i_j$ nejlépe modeloval elementární postup, vycházející z principu hydrologické analogie (A). Jednoduchost a robustnost řešení je hlavním důvodem dosažené stabilní kvality odhadů. V oblasti nejvýznamnějších kvantilů Q330d až Q364d dosáhla nejlepších výsledků metoda kombinující všechny vybrané techniky (AB). Ve zbylé části rozsahu křivky M-denních průtoků se metoda „AB“ profiluje, s malým odstupem, jako druhá nejperspektivnější. Vyšší věrohodnost modelových minimálních průtoků stanovených metodou „AB“ si vysvětlujeme tím, že uvedená technika lépe reflektuje heterogenitu přírodních podmínek, a na rozdíl od postupu „A“, využívá údaje o antropogenním ovlivnění. Předpokládáme, že díky těmto okolnostem dokáže metoda „AB“ lépe rozlišit individuální vlastnosti hydrologického režimu nepozorovaných povodí za nízkých průtoků. Z těchto důvodů patří modelový postup „AB“ (při zpracování profilů třídy III a IV) v ČHMÚ Brno aktuálně k nejpreferovanějším.

Spolehlivost popsanych přístupů k odhadu M-denních průtoků se podstatně liší. Pokud při hodnocení výsledků uvážíme citlivost veličiny výběrové střední kvadratické relativní chyby na odlehlé hodnoty, můžeme říci, že dvě neúspěšnější metody odhadu M-denních průtoků se v pásu průtoků vyšších než medián řady přijatelným způsobem přibližují k uvažovaným teoretickým hodnotám třídy III podle české technické normy. Směrem k oblasti minimálních průtoků však empirické chyby odhadu začínají prudce divergovat od teoretických hodnot (ČSN, 2014). U kvantilů Q330d až Q364d, o které má vodohospodářská veřejnost největší zájem, dosahují chyby neúspěšnějších modelových přístupů několikanásobně vyšších hodnot, než technická norma

předpokládá. Předchozí poznatky platí za situace, kdy hodnotíme chyby na základě námi zavedené výběrové střední kvadratické modifikované relativní chyby odhadu ($\mathcal{M}i_j$). Jestliže budeme stejné výsledky posuzovat

optikou dosavadního způsobu vyčíslení chyb ($\mathcal{I}i_j$), shledáváme, že teoretické směrodatné chyby minimálních průtoků jsou v praxi nedosažitelné. Zůstanou nedosažitelnými až do okamžiku, kdy dojde ke změně konvenčního výkladu neurčitosti dat v technické normě a k eliminaci vlivu nekonečně vysokých relativních chyb odhadu.

Obrázek 3 prezentuje pravděpodobnostní rozložení modifikovaných relativních chyb odhadu (přesněji řečeno odchylek modelových a empirických dat, diskutováno v předchozím textu). Kromě chyb jednotlivých modelových technik jsou ke každé z vybraných charakteristik zobrazeny také teoretické chyby III. třídy spolehlivosti platné v případě, že zastoupení chyb by se řídilo zákonem normálního rozdělení pravděpodobnosti. Z obrázku 3 je možné dovodit řadu informací, např.: 1) relativní chyby jednotlivých modelových přístupů jsou asymetrické, nesledují normální rozdělení; 2) převážná část odhadů má výrazně nižší chybu, než odpovídá hodnotě veličiny $\mathcal{M}i_j$, o této dominantně rozhodují odlehle případy; 3) převážná část odhadů dvou nejúspěšnějších modelových metod zaznamenává v oblasti kvantilů M-denních průtoků nad mediánem nižší modifikovanou relativní chybu, než vykazuje stejná část odhadů teoreticky předpokládaná u III. třídy spolehlivosti podle ČSN (2014); 4) nejméně úspěšná metoda (B) poskytuje v některých profilech vysoce kvalitní odhad minimálních průtoků, doplácí však na svou nestabilitu.

Na obrázek 1 jsme odkazovali v předešlém textu ve vztahu k poloze vybraných vodoměrných stanic použitých k provedení křížové validace. Stejný obrázek kromě toho znázorňuje, v které ze stanic byla nejúspěšnější ta která technika odhadu kvantilu Q30d a Q355d. Velikost symbolu odráží hodnotu nejmenší zaznamenané modifikované relativní chyby odhadu, barva symbolu nám prozrazuje, který z popsanych postupů ji dosáhl. Vidíme mj. to, že přístup „A“ je obvykle metodou zajišťující nejmenší chybu odhadu parametru Q30d. U minimálních průtoků, konkrétně kvantilu Q355d, je situace jiná. Všechny metody jsou zastoupeny přibližně rovnoměrně. Zároveň je vidět, že vliv prostorové autokorelace chyb je potlačen jinými vlivy – nedochází k zjevnému shlukování stanic se stejnou nejúspěšnější metodou.

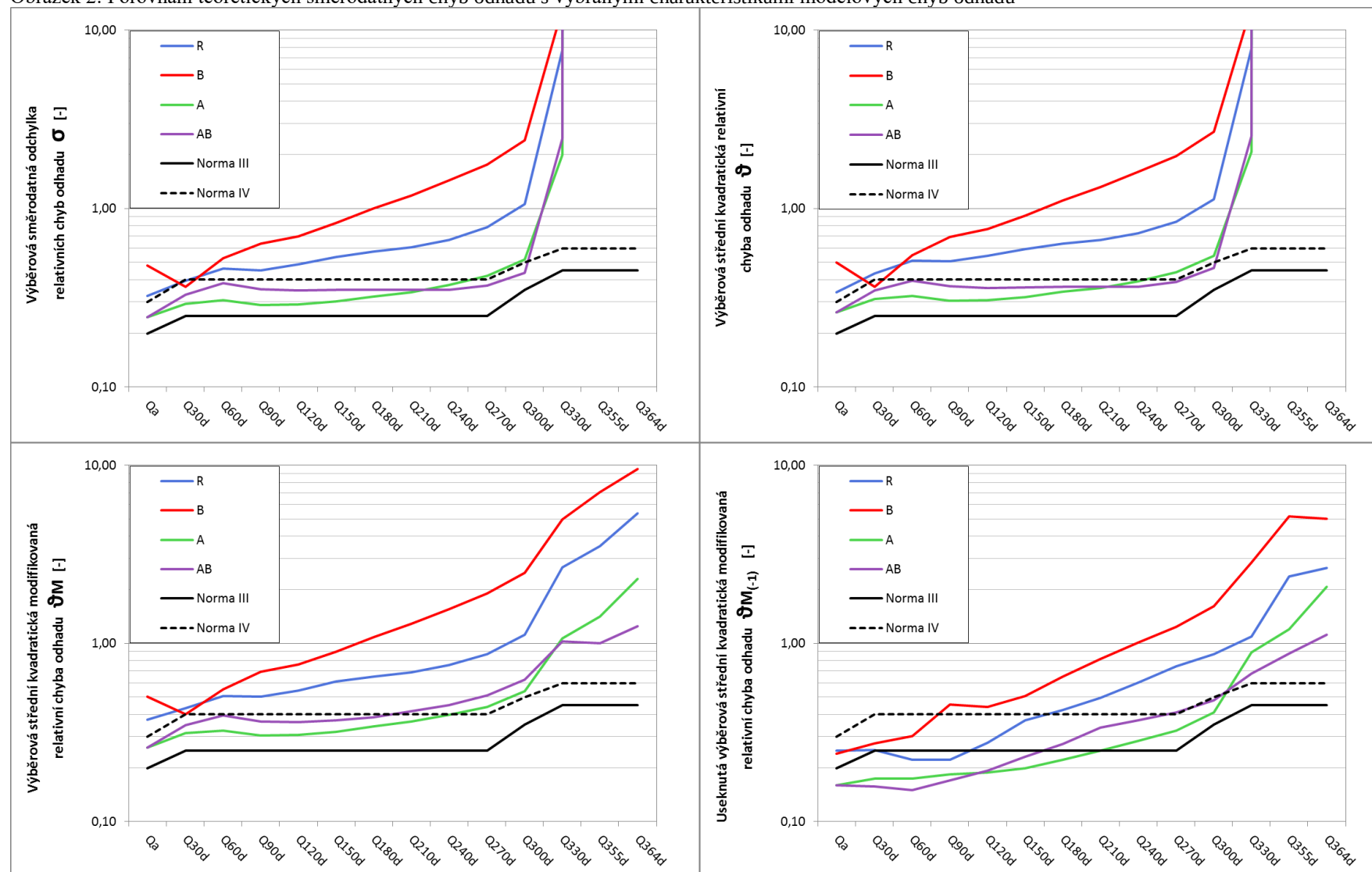
Propagace chyb návrhových dat v nepozorovaných profilech říční sítě je a zůstává opomíjenou oblastí hydrologického výzkumu u nás i ve světě. Rádi bychom chtěli předložené výsledky v budoucnu rozšířit o další modelové techniky a dosavadní závěry ověřit a zpřesnit na rozsáhlejší datovém vzorku. K tomuto účelu by bylo možné využít údaje všech relevantních vodoměrných stanic ČHMÚ. Současně bychom si chtěli vyhradit větší prostor na detailní analýzu pořízených informací. Naše předsevzetí však nesnižuje závažnost prezentovaných výsledků, jež vybízejí k řadě otázek. Otázek, které by měly být zodpovězeny a které si musí položit jak zpracovatelé dat, tak jejich uživatelé.

Tabulka 3: Variantní vyjádření modelových relativních chyb odhadu a jejich srovnání s chybami teoretickými

j		Qa	Q30d	Q60d	Q90d	Q120d	Q150d	Q180d	Q210d	Q240d	Q270d	Q300d	Q330d	Q355d	Q364d
R	$\mathcal{I}$	0,34	0,43	0,51	0,51	0,55	0,59	0,64	0,67	0,73	0,84	1,12	7,91	∞	∞
	$\mathcal{M}$	0,37	0,43	0,51	0,50	0,54	0,61	0,65	0,69	0,75	0,87	1,12	2,66	3,52	5,35
	$\mathcal{M}_{(-1)}$	0,25	0,25	0,22	0,22	0,28	0,37	0,42	0,49	0,60	0,75	0,87	1,09	2,37	2,65
B	$\mathcal{I}$	0,50	0,37	0,55	0,69	0,77	0,91	1,11	1,32	1,60	1,97	2,69	13,64	∞	∞
	$\mathcal{M}$	0,50	0,40	0,55	0,69	0,76	0,90	1,09	1,29	1,55	1,90	2,49	4,97	7,09	9,52
	$\mathcal{M}_{(-1)}$	0,24	0,27	0,30	0,45	0,44	0,51	0,65	0,82	1,01	1,24	1,62	2,84	5,18	5,01
A	$\mathcal{I}$	0,26	0,31	0,33	0,31	0,31	0,32	0,34	0,36	0,39	0,44	0,54	2,08	∞	∞
	$\mathcal{M}$	0,26	0,31	0,32	0,30	0,31	0,32	0,34	0,36	0,40	0,44	0,54	1,07	1,42	2,31
	$\mathcal{M}_{(-1)}$	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,25	0,28	0,32	0,41	0,89	1,20	2,08
AB	$\mathcal{I}$	0,26	0,35	0,40	0,37	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,39	0,47	2,55	∞	∞
	$\mathcal{M}$	0,26	0,35	0,39	0,37	0,36	0,37	0,39	0,42	0,45	0,51	0,63	1,02	1,00	1,25
	$\mathcal{M}_{(-1)}$	0,16	0,16	0,15	0,17	0,19	0,23	0,27	0,34	0,37	0,41	0,48	0,68	0,88	1,12
Norma III	$\mathcal{I}$	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	* 0,35	0,45	0,45	0,45
Norma IV	$\mathcal{I}$	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	* 0,50	0,60	0,60	0,60

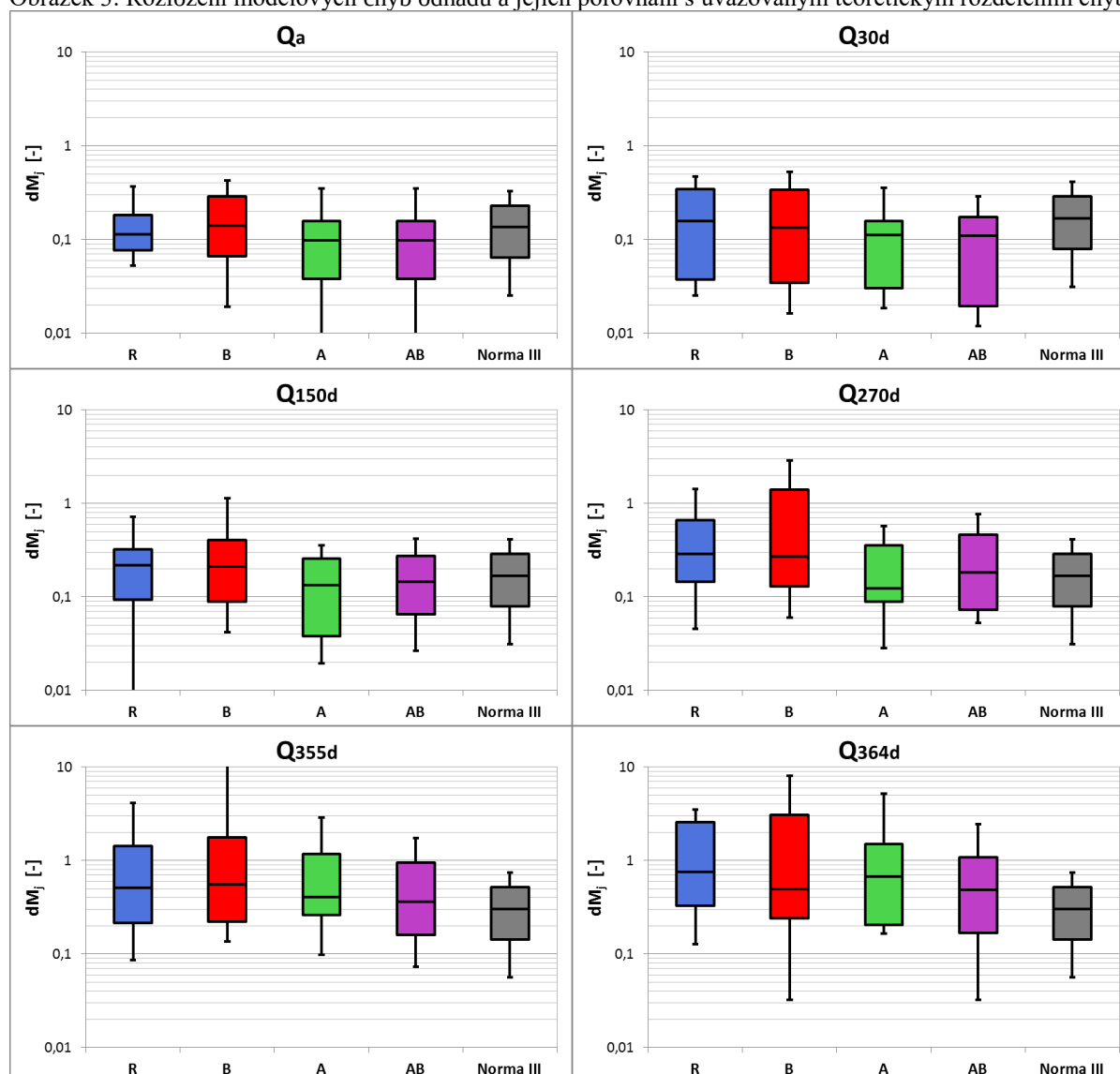
Poznámka: referenční řada Norma III (IV) odpovídá teoretickým nejistotám v III. (IV.) třídě spolehlivosti podle ČSN (2014);
* vzhledem k nejednoznačné klasifikaci (ČSN, 2014) uvádíme průměrnou hodnotu obou z přípustných možností

Obrázek 2: Porovnání teoretických směrodatných chyb odhadu s vybranými charakteristikami modelových chyb odhadu



Poznámka: referenční řada Norma III (IV) odpovídá teoretickým nejistotám v III. (IV.) třídě spolehlivosti podle ČSN (2014)

Obrázek 3: Rozložení modelových chyb odhadu a jejich porovnání s uvažovaným teoretickým rozdělením chyb



Poznámka: V krabicových grafech jsou vyneseny hodnoty modifikovaných relativních chyb odhadu zastoupené v experimentálním vzorku s 10, 25, 50, 75 a 90 % pravděpodobností dosažení či překročení. Šedý graf znázorňuje rozdělení teoretických chyb odhadu v III. třídě spolehlivosti (ČSN, 2014) za předpokladu normálního rozdělení relativních chyb odhadu.

ZÁVĚR

Stávající kvantifikace nejistot M-denních průtoků uvedená v ČSN 75 1400 je nevyhovující, vede k mystifikacím ohledně skutečné kvality poskytovaných dat, zvláště v případě nízkých absolutních hodnot odhadovaných průtoků. V rámci čtyř zkoumaných metod se nejvíce osvědčily techniky odhadu M-denních průtoků založené na intuitivním principu hydrologické analogie. Výrazně nejhoršího výsledku dosáhla v ČHMÚ dlouhodobě doporučovaná bilanční metoda, obvykle označovaná jako „Katastr“. V našem článku je ukázáno, že dosavadní modely odhadu M-denních průtoků v nepozorovaných profilech nedokáží zajistit jejich kvalitu na úrovni, která je považována za standard. Hybatelem, který může situaci pomoci a chyby modelů usměrnit blíže ke konvenčně přijatelným mezím, je pouze hydrolog se svými znalostmi. V celém procesu zpracování dat je tím posledním, nejdůležitějším a značně subjektivním článkem. Uživatelům M-denních průtoků proto popřejme, aby si hydrologové vydávající návrhová data své právo odmlouvat modelům uhájili a aby jej využívali co nejčastěji.

LITERATURA

BUDÍK, L., KOTRNEC, J., 1994: Stručný metodický popis a manuál k programu pro výpočet hydrologických návrhových veličin, program KATABR – m-denní vody. ČHMÚ, Brno, 25 s.

BUDÍK, L., ŠERCL, P., KUKLA, P., LETT, P., PECHA, M., 2014: Odvození základních hydrologických údajů za referenční období 1981–2010. ČHMÚ, Praha, 65 s., 7 s. příloh.

CASTIGLIONY, S., CASTELLARIN, A., MONTANARI, A., SKØIEN, J., O., LAAHA, G., BLÖSCHL, G., 2011: Smooth regional estimation of low-flow indices: physiographical space based interpolation and top-kriging. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 715–727, doi:10.5194/hess-15-715-2011.

ČSN 2014: ČSN 75 1400. Hydrologické údaje povrchových vod. Česká technická norma. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 16 s.

HMÚ, 1970: Hydrologické poměry Československé socialistické republiky, Díl III. Hydrometeorologický ústav, Praha, 305 s., mapové přílohy.

KAŠPÁREK, L., 1989: Odhad směrodatné chyby průtoků a jejich základních charakteristik. Praha, ČHMÚ, 57 s.

KŘÍŽ, V., 1978: Hydrologická analogie a její využití ke kvantifikaci změn hydrologického režimu řek způsobených činností člověka. In: Sborník Československé společnosti zeměpisné, č. 1, sv. 83, s. 33–39.

LAAHA, G., SKØIEN, J., O., BLÖSCHL, G., 2014: Spatial prediction on river networks: comparison of top-kriging with regional regression. *Hydrological processes*, 28, 315–324, doi: 10.1002/hyp.9578.

MELOVÁ, K., 2015: Spracovanie hydrologických charakteristík. M-denné prietoky na slovenských tokoch v období 1961–2000. Seminář "Charakteristiky m-denních a minimálních průtoků, Praha, Novotného lávka, 29. září 2015. [ppt prezentace]

MP NH, 2015: Odvozování M-denních průtoků. Metodický pokyn MP NH 2015 /8. ČHMÚ. 6 s., 3 s. příloh.

MŽP, 1998: Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí k zásadám stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích č.j. ZP16/98., 4 s.

NOVICKÝ, O., KAŠPÁREK, L., KOLÁŘOVÁ, S., 1992: Hydrologická data pro návrhové účely. ČHMÚ, Praha, 143 s.

VÚV, 2009: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, 90 let 1919–2009. VÚV T. G. M., v. v. i., Praha, 128 s., ISBN 978-80-85900-88-0.

PODĚKOVÁNÍ

Mgr. et. Mgr. Markétě Malé, PhDr. Evě Chalupové, Ing. Jiřímu Košťkovi, Mgr. Pavlu Coufalovi, Mgr. Martinu Knotovi a především Davidovi a Kristýně Malých.

Antonín Malý, Mgr.
Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno
Kroftova 43
Brno, 616 67
Tel: +420 541 421 026
E-mail: antonin.maly@chmi.cz

Antonín Malý: M-DAY DISCHARGES: UNCERTAINTIES OF SELECTED METHODS USED IN DERIVATION

Abstract:

In the course of the past decades Czech hydrologists have adopted more and more sophisticated methodology, the aim of which has been to improve the quality of the design data concerning M-day discharges. There has been a constant pressure to create a universal model offering a reliable solution guaranteeing that the resulting data will be spatially consistent, the data bank will become larger and larger, and the data will be directly connected to the rows of data in the observed gauging stations. Despite the long-term intensive methodology development, the growing data bank, and the more and more precise data from various locations, the level of expected reliability of hydrological design data remains the same as in the period at the beginning of the 1990's. This paradoxical situation results from the fact that only very limited attention has yet been paid to the theoretical uncertainties of M-day discharges. So far, no study in the Czech Republic has dealt with the validation of standard errors of the design data required by the Czech Technical Standard ČSN 75 1400 (ČSN, 2014), based on the results of Kašpárek's theoretical research (KAŠPÁREK, 1989).

The uncertainties of the individual methods used to derivate M-day discharges in ungauged profiles remain as yet an unknown quantity. Therefore, we have decided to make a contribution to the problem, using cross-validation of M-day discharges at 27 gauging stations. We selected suitable stations, worked out their data using four different model methods, and finally compared the results with the actual data. In each case, for each method and each hydrological characteristics, we applied a conventionally used tool – we calculated the unbiased root-mean-square percentage error. We found out that the given index provided infinitely high values and was insensitive when in the whole set of estimates there was a single case of dried-up waterway, undetected by the model. In order to avoid this problem, we proposed an alternative quantification of the estimation error and in this way we also expressed the reliability of model solutions.

According to our data sample, the worst result was yielded by a relatively sophisticated method based on an optimized, compound regression estimate ("B") respecting hydrological balance. This finding is significant because method "B" is a procedure which is recommended by ČHMÚ (Czech Hydrometeorological Institute) not only currently, but also long-term for the estimation of M-day discharges in unobserved profiles. The main failure of this procedure is its strong dependence of the quality of results on the structure of the station's network, which is involved in calculations. Our study shows that the increase in uncertainties of the balanced quantum in method "B" is so dramatic that, as a rule, it outweighs the predicted uncertainty of the compound regression estimate ("R").

Most of the volume of M-day discharges was best modelled by the simplest of the presented procedures, called "A". According to method "A", each unobserved profile is allocated its "analogon", i.e. the water gauging station that has a very similar hydrological regimen. The final estimate of M-day discharges is the result of the average long-term flows and the shape of the daily discharge exceedance curve. The shape of the exceedance curve in the estimated profile is supposed to be identical with the analogon; when estimating long-term average flows it is necessary to use the empirical correction of regression value valid in the analogon. Despite its schematism, the above-mentioned procedure has proved to be very robust and successful. The simplicity of the solution is the main reason for the relative stability of the quality of estimates. As regards the most significant quantiles Q_{330d} to Q_{364d} , the best results were achieved by the method labelled "AB". Procedure "AB" is similar to method "A" – it derives the rate of the long-term flow in the same way. In the unobserved profile, "AB" applies the empirical correction of the shape of the daily discharge exceedance curve valid in the analogon. For the values of M-day discharges higher than Q_{330d} , method "AB" proves to be a close second among the most promising methods.

The reliability of the described procedures used to estimate M-day discharges is enormously varied. If we, in the proces of assessing the results, consider the sensitivity of the quantum of the unbiased root-mean-square percentage error to data outliers, we can claim that in the range of flows higher than the median, the two most successful methods of M-day discharge estimates come satisfactorily close to the expected theoretical values given by the Czech Technical Standard. However, in the range of flows lower than Q_{330d} , the most successful models are several times higher than theoretical errors. These findings are only true if we apply the modified relative error of estimate that has been introduced by us. If the same results are seen through the optics of the current method of quantification of errors, we find out that the theoretical standard errors of minimum flows are practically unattainable – and they will remain unattainable until the conventional interpretation of data uncertainties is fundamentally altered.

This article shows that the current models of multiple M-day discharge estimates are unable to guarantee their quality at a level that could be considered standard. The only driving force that can improve the situation and that can guarantee that the errors of the models will become more acceptable and less conventionally incorrect is the hydrologist and his or her knowledge. In the whole complicated process of data

evaluation the hydrologist is the last, the most important, but also the most subjective element. M-day discharge users, i.e. mainly water management authorities, should only hope that hydrologists engaged in modelling design hydrological data will not resign and will not only keep defending their right to dispute and challenge various models but will also do this as much as possible.