

Automatizovaná rekonstrukce hydrogramu z průměrných denních průtoků

Automated reconstruction of hydrograph based on daily mean discharges

Antonín Malý

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Abstrakt

Příspěvek se zabývá možnostmi rekonstrukce hydrologické časové řady v podrobném kroku pouze na základě známých průměrných denních hodnot příslušné veličiny, místy doplněných o hodnotu lokálního maxima. V článku je představen a na reálných datech otestován jeden z možných způsobů řešení problematiky downscalingu (modelové detailizace) časové řady. Program PYKVEJF, který vznikl implementací navrženého postupu, umožňuje, na rozdíl od v Českém hydrometeorologickém ústavu dosud používaného software SPLINEQD, zpracovat rozsáhlé datové soubory hromadně, bez nutné interakce s uživatelem. Pilotní provoz naznačil druhý směr možného využití našeho programu: jedná se o mocný nástroj na vyhledání hrubých chyb v rámci hydrologických údajů digitalizovaných v podrobném časovém kroku.

Klíčová slova: downscaling časové řady, Pycnophylaktická interpolace, odtoková epizoda, historická povodeň, kulminační průtok

Abstract

The contribution deals with the possible reconstruction of hydrological time series in detailed time step, based only on the average daily values of the relevant quantity, occasionally with respect to the value of the local maximum. The article introduces a possible method of dealing with the problem of downscaling (model detaillling) time series – the programme PYKVEJF, which has also been tested and the actual data have been presented in the article. PYKVEJF, a programme that has been established as a result of implementing the proposed procedure, enables – unlike SPLINEQD, the software that has been used by the Czech Hydrological Institute to the present day – to process extensive data files on a large scale, without the necessary interaction with the user. The pilot operation suggested another potential use of this programme: it is also a powerful instrument of finding grave errors concerning hydrological data, digitalized in detailed time step.

Key words: downscaling time series, Pycnophylactic interpolation, runoff episode, historic flood, peak discharge

Úvod

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) pořizuje a archivuje desítky let dlouhé časové řady základních klimatologických a hydrologických veličin. Klíčovým bohatstvím v oblasti hydrologie jsou víceméně kontinuální záznamy vodních stavů v té době provozované staniční síti a provedená hydrometrická měření. Na základě těchto primárních dat jsou odvozeny a archivovány jednak hodnoty extrémů, zpravidla horních (kulminační průtoky, průběhy největších povodňových vln v podrobném kroku), jednak průtokové řady agregované ve formě denních průměrů. V posledních letech dochází k digitalizaci hydrogramů v kratším časovém kroku (hodinové průměry, lomové body), což nám otevírá cestu k velmi rychlému a efektivnímu řešení některých specifických hydrologických úloh. Příkladem takových úloh může být výpočet transformace povodňové vlny v říčním úseku či nádrži, analýza postupových dob, přesnější vykreslení teoretických povodňových vln s podmíněnou pravděpodobností překročení objemu a podobně.

V nedávné minulosti byla opakovaně diskutována a zdůrazněna potřeba zpětné digitalizace archivovaných historických průtokových řad v mnohem detailnější podobě, než je tomu dosud. Pravdou je, že průměrné hodinové průtoky jsou systematicky zpracovány až od listopadu 2002 (v centrální databázi až od listopadu 2004) a pokrytí záznamů průměrných denních průtoků tak činí méně než 25 %. Vlastní digitalizace průtoků je časově náročný proces, kdy je třeba nejprve zpracovat vodní stavy v krátkém časovém kroku a teprve poté těmto hodnotám přisoudit, z tehdy platné měrné křivky průtoků, příslušnou hodnotu průtočného množství. Tam kde historická měrná křivka není k dispozici, je třeba ji rekonstruovat na základě dávno provedených hydrometrických měření.

Praxe bohužel ukazuje, že některé cenné historické záznamy jsou nedohledatelné, nebo jsou znehodnocené a nejasné. Existují také případy, kdy jsou dostupné údaje ve vzájemném rozporu. Za podobných situací nám nezbyvá, než se pokusit, o rekonstrukci hydrogramu z těch informací, které se dochovaly. Velmi často bychom rádi znali průměrné hodinové průtoky charakterizující historickou povodňovou vlnu, ale máme k dispozici pouze denní hodnoty a kulminační průtok. Jak potom postupovat?

Materiál a metody

Modelové zahuštění (downscaling) časové řady je v principu nejednoznačná úloha. Z tohoto důvodu je třeba spektrum možných řešení omezit jedním, či několika silnými předpoklady

(nedokonalými, zjednodušujícími pravidly). Snažili jsme se proto takových podmínek stanovit co nejméně:

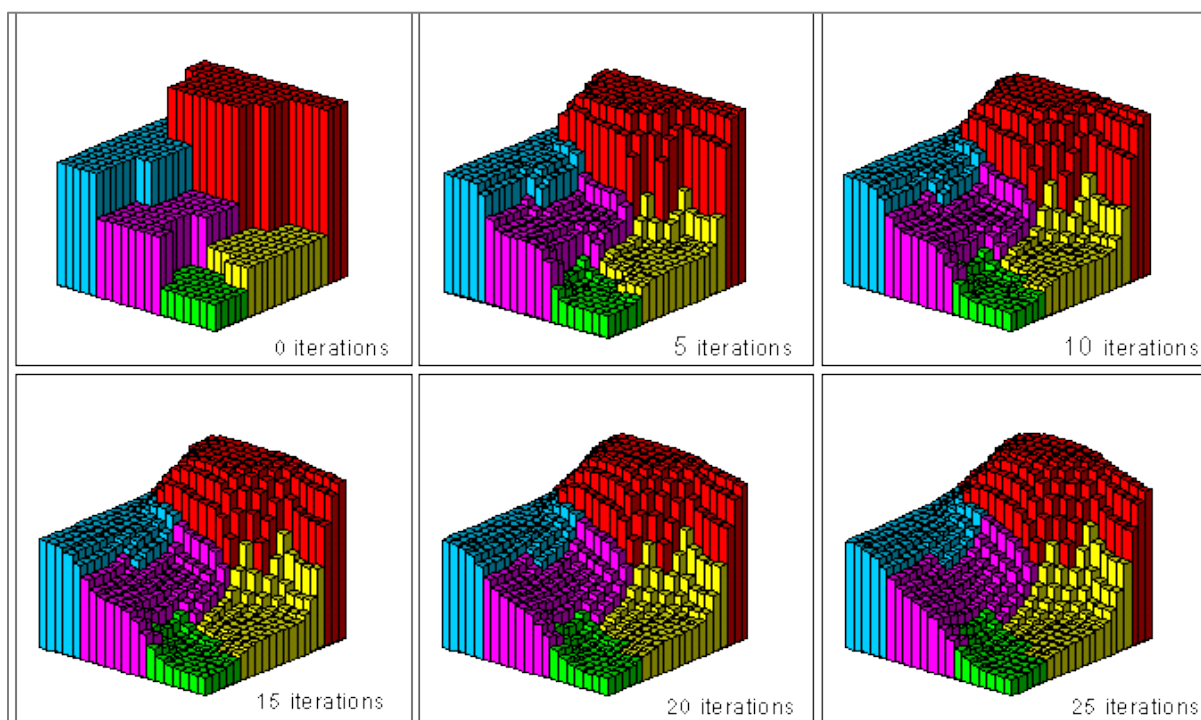
- 1) Modelová časová řada prochází všemi definovanými body, pakliže jsou tyto zadány. Typický „pevný“ bod na čáře hydrogramu může představovat vyhodnocené globální maximum výseku řady (kulminační průtok), pokud je známo.
- 2) Modelové průměrné denní hodnoty se shodují s empirickými průměrnými denními hodnotami rekonstruované řady.

Poznámka: Na zcela dokonalém splnění obou podmínek 1) a 2), pro účely praxe, není třeba za všech okolností trvat ze dvou důvodů: a) kvůli chybám vyplývajících z nejistoty měření a následného vyhodnocení zkoumané veličiny, b) kvůli chybám vyplývajících ze zaokrouhlení patřičné veličiny. V případě průtoků, které jsou standardně uváděny s přesností na tzv. tři platné číslice, např. 1,0945 m³/s se zaokrouhluje na 1,09 m³/s atd., ČSN (2014), je třeba počítat s chybou zaokrouhlení v rozpětí 0 až 1 % skutečné hodnoty. Přitom střední hodnota takovéto chyby, modelovaná generátorem pseudonáhodných čísel, se pohybuje zhruba na úrovni 0,05 % skutečné hodnoty. Vedle toho je zde nejistota vyplývající z vyhodnocení průměrných denních průtoků, která se předpokládá o více než jeden řád významnější. Mírná benevolence v nedodržení podmínek 1) a 2) je tedy jistě na místě.

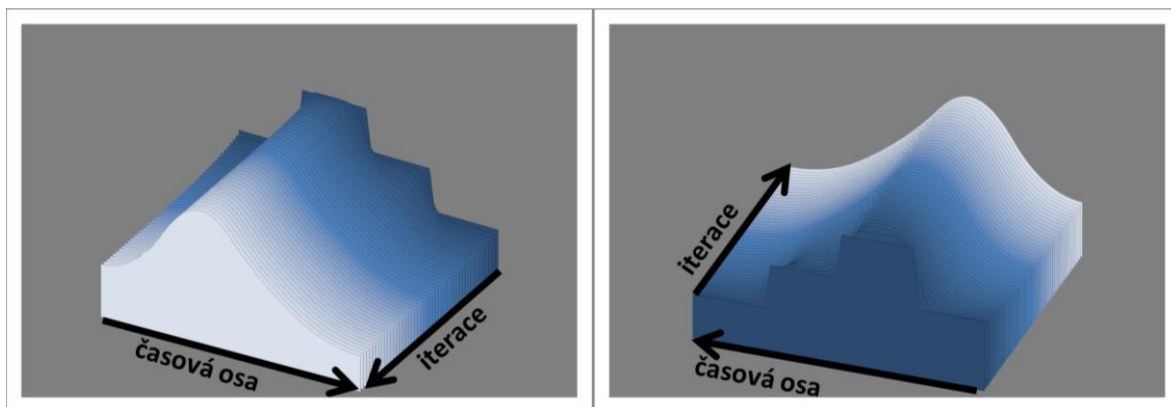
- 3) Známa hodnota globálního maxima výseku řady, popř. minima, nesmí být nikde v rámci modelového řešení porušena ve smyslu jejího překročení, resp. podkročení.
- 4) Hledaná diskretizovaná časová řada vykazuje silnou autokorelaci mezi hodnotami sousedících prvků, které ji tvoří. Modelové řešení má mít pokud možno plynulý (hladký) průběh. Náhlá změna (skok) posloupných hodnot se nepředpokládá, s výjimkou případů, kdy si to vynutí silnější, výše definované podmínky 1) až 3). Vzhledem k dynamice odtokového procesu je tato podmínka jako jediná do značné míry problematická a v principu vždy vede k jisté chybě, respektive k neurčitosti modelového řešení.

V ČHMÚ je k dispozici program SPLINEQD (DOLEŽEL, 2005), který rámcově využívá zásady formulované v podmínkách 1) až 4). Algoritmus SPLINEQD je založen na výpočtu iniciálního kubického splajnu a jeho postupné optimalizaci. Určitým nedostatkem programu je však znatelná divergence modelových a empirických průměrných denních hodnot, typicky výrazně přesahující nepřesnost danou zaokrouhlením na tzv. tři platné číslice. Program nezbytně vyžaduje manuální spuštění iteračního cyklu, dodatečné ruční úpravy v zadání (kvůli přidání dalších uzlových bodů, nutných ke konstrukci lépe přiléhavého splajnu), nemá podrobný manuál k obsluze a běžnému uživateli nedovoluje provádět hromadné výpočty. Velkou provozní komplikací je to, že program SPLINEQD není podporován novými počítačovými operačními systémy.

Z uvedených důvodů jsme se rozhodli zkonstruovat vlastní program v prostředí MS Excel, fungující na bázi odlišné metody než je tomu u SPINEQD a jiných obdobných nástrojů. Jako inspirace při tvorbě výpočetního algoritmu nám posloužila metoda Pycnophylaktické prostorové interpolace, TOBLER (1979). Zatímco výsledkem klasické Pycnophylaktické interpolace je hladký „terén“ zachovávající v předdefinovaných regiorech zadanou průměrnou „nadmořskou výšku“, my hledáme, pokud možno, hladký průběh vrchní hrany obrazce, který si zachovává zadané velikosti ploch nad předdefinovanými úseky své základny. Náš problém je tedy prostší o jednu dimenzi, prostor nahrazujeme rovinou, viz obrázky 1 a 2.



Obrázek 1: Princip klasické Pycnophylaktické prostorové interpolace
Zdroj: NCGIA (2015)



Obrázek 2: Degenerovaná Pycnophylaktická interpolace při aplikaci na časové řady

V další části textu stručně popíšeme základní myšlenku našeho algoritmu:

Hledáme množinu n prvků x_i kde $i \in \langle 1;n \rangle$. Veličina x_i v našem případě reprezentuje průměrnou hodnotu skutečného (hledaného) průtoku v rámci zvoleného časového kroku Δt a index i značí polohu této hodnoty ve zkoumané části diskretizované časové řady. Vedle toho máme množinu m shluků X_j kde $j \in \langle 1;m \rangle$. Veličina X_j je průměrem všech v ní obsažených prvků $x_{i,j}$ a v našem případě zastupuje známý průměrný denní průtok, nebo redukovanou známou okamžitou hodnotu hledané časové řady (typicky kulminační průtok). Z uvedeného vyplývá, že jednotlivé shluky X_j mohou obsahovat jeden nebo více prvků x_i . Délku shluku normovanou velikostí časového kroku Δt vyjadřuje proměnná n_j , proto platí:

$$X_j = \frac{\sum x_{i,j}}{n_j} \quad (1)$$

Na začátku úlohy známe pouze časově orientované hodnoty X_j . V **první fázi řešení** vytvoříme proto iniciální řadu prvků $x_{i(0)}$ tak, aby se každá hodnota $x_{i(0),j}$ vždy rovnala příslušné hodnotě X_j (všechny shluky tedy budou mít nulový rozptyl hodnot prvků $x_{i(0),j}$). Z prvků $x_{i(0),j}$ obdobným způsobem jako ve výše uvedené rovnici (1) odvodíme odpovídající průměrnou hodnotu ve shluku $X_{j(0)}$. Tato hodnota nyní zůstává totožná s X_j . Výjimkou jsou případy, kdy $x_{i,j}$ zastupují okamžité redukované hodnoty globálního maxima výseku řady a

přísluší tak současně dvěma shlukům X_j . Popsanou eventualitu je pak třeba v návazné výpočetní proceduře zvlášť ošetřit.

V **druhé fázi řešení** pomocí oboustranného klouzavého aritmetického průměru vytvoříme z iniciální řady prvotní shladenou řadu prvků $x_{i(1)}$. Například tak, že:

$$x_{i(1)} = \frac{x_{i-1(0)} + x_{i(0)} + x_{i+1(0)}}{3} \quad (2)$$

U vztahu (2) záměrně neuvádíme index j , protože shlazení iniciální řady probíhá stejným způsobem uvnitř i vně hranic každého časově definovaného shluku. Prvky $x_{i(1),j}$ aritmeticky zpřůměrujeme, obdobně jako u vztahu (1), a dostáváme novou řadu modelových průměrných denních průtoků $X_{j(1)}$. Pro tuto řadu odvodíme sadu korekčních koeficientů $k_{j(1)}$:

$$k_{j(1)} = \frac{X_j}{X_{j(1)}} \quad (3)$$

Ve **třetí fázi řešení** vytvoříme prvotní adjustovanou řadu prvků $x_{i(2)}$ tak, aby platilo:

$$x_{i(2),j} = x_{i(1),j} \cdot k_{j(1)} \quad (4)$$

Opět, v souladu s již naznačeným postupem, pokračujeme:

$$X_{j(2)} = \frac{\sum x_{i(2),j}}{n_j} = X_j \quad (5)$$

Dále opakujeme výše popsanou **druhou a třetí fázi řešení** tak dlouho, dokud poslední vygenerovaná řada prvků $x_{i(e)}$ nevyhoví předepsaným kritériím kvality výsledku. Po dokončení cyklu na úrovni třetí fáze řešení tj. adjustace řad, automaticky dochází ke splnění podmínek 1) a 2), viz začátek této kapitoly. Podmínku označenou jako 3), jež zajišťuje nepřekročení zadaného maxima, je třeba jednoduchým způsobem implementovat do výpočetní procedury a přizpůsobit jí adjustační mechanismus. Dodržení dostačující míry

plynulosti diskretizované řady, požadované v podmínce 4), můžeme indikovat např. pomocí parametru Z :

$$Z \geq Z_{(e)} \quad (6)$$

Zde platí:

$$Z_{(e)} = \sqrt{\frac{\sum (x_{i(e)} - x_{i(e-1)})^2}{n}} \quad (7)$$

Kde Z je námi stanovená, hraniční střední kvadratická odchylka posledních dvou modelově vygenerovaných řad a $Z_{(e)}$ je empiricky zjištěná, modelová střední kvadratická odchylka posledních dvou vygenerovaných řad.

Samotné dosažení kvalitního výsledku spočívá tedy v minimalizaci parametru $Z_{(e)}$ prostřednictvím dostatečně vysokého počtu vygenerovaných modelových řad (vysoká hodnota e). Nalezené řešení musí v každém případě dodržet kritérium dané vztahem (6). Jestliže do výpočtu zahrneme informaci o okamžitém globálním maximu výseku řady Q_{MAX} , musí platit následující podmínka:

$$Q_{MAX} = X_{j,MAX} \cdot k_{\Delta t} = x_{i,MAX} \cdot k_{\Delta t} \quad (8)$$

Kde $X_{j,MAX}$ značí nejvyšší hodnotu empirických prvků X_j , $x_{i,MAX}$ vyjadřuje nejvyšší hodnotu prvků x_i a $k_{\Delta t} \in (0;1)$ chápeme jako kulminační redukční koeficient. Se vzrůstající délkou časového kroku Δt bude $k_{\Delta t}$ klesat. Kulminační redukční koeficient jsme pro náš účel odhadli na základě vztahu:

$$k_{\Delta t} = e^{\left[\left(\frac{\Delta t}{iD} \right) \cdot LN \left(\frac{Q_{D,MAX}}{Q_{MAX}} \right) \right]} \quad (9)$$

Kde Δt značí délku trvání časového kroku v hodinách, tD je délka trvání dne v hodinách, QD_{MAX} vyjadřuje nejvyšší průměrný denní průtok, který lze asociovat s okamžitou kulminační hodnotou výseku řady, Q_{MAX} je okamžitý kulminační průtok výseku řady.

Algoritmus, tak jak byl představen, může být vhodným prostředkem k rekonstrukci časových řad veličin nabývajících nezáporných hodnot. Vzhledem k navrženému způsobu adjustace za pomoci sady násobících koeficientů, viz rovnice (3) a (4), je přirozenou dolní mezí výpočtu nulová hodnota veličiny. Pilotní testování programu nám však odhalilo, že pro účely rekonstrukce hydrologických řad bude vhodné zavést ještě přísnější dolní okrajovou podmínku. Přirozenou spodní mez okamžitého průtoku, v případě hydrologických řad, tvoří tzv. výtoková křivka. Čím nižší průtoky pozorujeme, tím nižší pokles průtoku můžeme v nejbližším časovém kroku očekávat. Konstrukce výtokové křivky není jednoznačná záležitost, tím spíše, že obvykle pracujeme pouze s malým výsekem časové řady. Z tohoto důvodu jsme přikročily k velkému zjednodušení:

$$Q_{MIN} \approx x_{i,MIN} = \text{MAX} \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot X_{j,MIN1} - X_{j,MIN2} \\ 0 \end{array} \right\} \quad (10)$$

Kde Q_{MIN} značí potenciální minimální okamžitou hodnotu výseku řady, $x_{i,MIN}$ představuje potenciální minimální hodnotu řady prvků x_i , $X_{j,MIN1}$ reprezentuje nejnižší hodnotu v rámci množiny shluků X_j (v rámci zkoumaného výseku časové řady) a $X_{j,MIN2}$ odpovídá druhé nejnižší hodnotě v rámci stejné množiny shluků X_j .

Na základě výše popsané metody downscalingu časových řad byl sestaven programový nástroj v prostředí MS Excel s pracovním názvem PYKVEJF. Název představuje složeninu zkratk anglických slov „Pycnophylactic“ a „Wave“. Ve své základní podobě je určen pro rekonstrukci 21 dnů dlouhého výseku řady průměrných dvacetiminutových průtoků na základě známých průměrných denních průtoků a nepovinně zadaných hodnot kulminačních průtoků. Modelové výsledky na obou okrajích právě používaného výseku řady mohou být nepříznivě ovlivněny neznalostí informací ze svého bezprostředního okolí. Jedná se o obecný problém provázející všechny numerické kontinuální modely. V rámci řešení se na okrajích

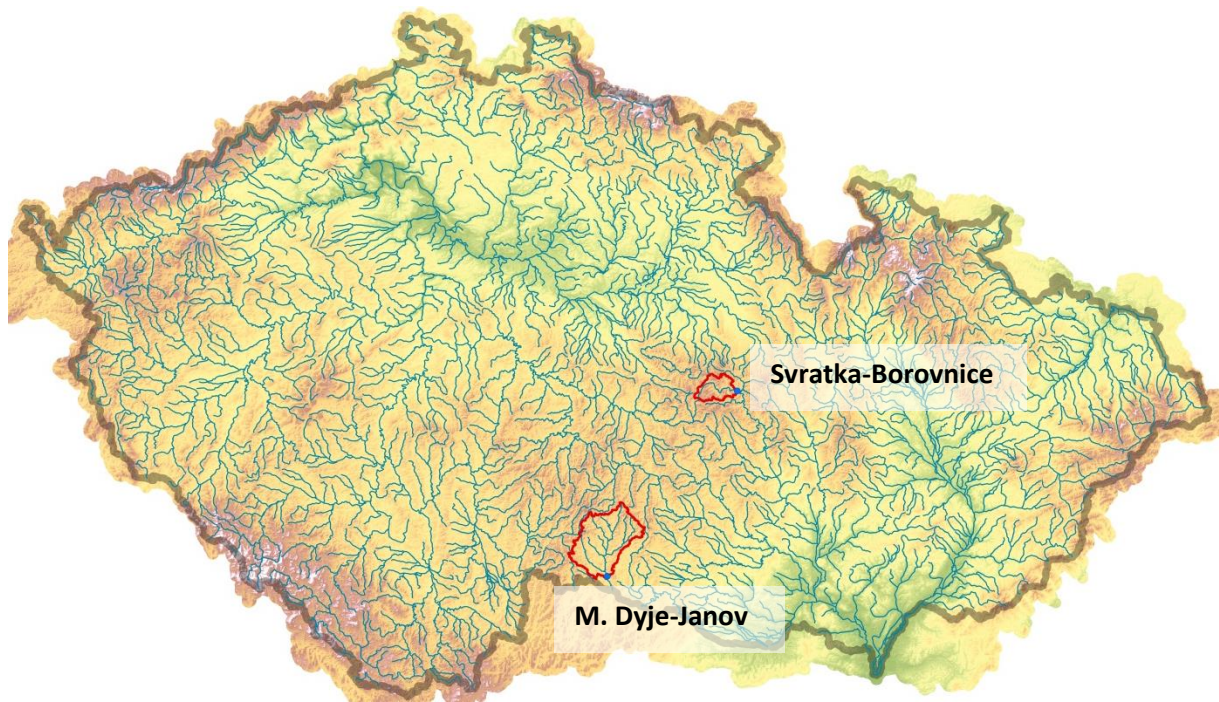
výseku proto raději vyčleňuje třídní tzv. nárazníková zóna (buffer), která je použita pro výpočet, ale nebere se jako plnohodnotný výsledek.

Program pracuje s pevným počtem opakování fáze shlazení a adjustace (fixní hodnota e), který se po mnoha pokusných výpočtech ukázal jako plně dostačující. Modelové průměrné dvacetiminutové průtoky, získané pomocí programu PYKVEJF, jsou pro náš účel nejprve agregovány do řady průměrných hodinových průtoků a dále jsou automaticky porovnávány s empirickými daty, jestliže jsou tyto k dispozici a pokud jsou zadány. Výsledkem je mimo jiné souhrnná tabulka obsahující informace o časovém vymezení rekonstruovaného hydrogramu, identifikátoru vodoměrné stanice, mohou zde být vypsány parametry kvality řešení $Z_{(e)}$ a konečně také kvantitativně vyjádřená míra shody mezi modelovými a empirickými průměrnými hodinovými průtoky, jestliže jsou součástí zadání. Jako měřítko shody je možné doporučit Nash-Sutcliffův koeficient efektivity E_{N-S} (11), NASH a SUTCLIFFE (1970). Jestliže je tento koeficient roven jedné, znamená to, že nastala shoda skutečnosti a modelového řešení, při vzrůstající divergenci obou řad koeficient efektivity klesá a v extrémních případech může nabývat vysokých záporných hodnot.

$$E_{N-S} = 1 - \frac{\sum (x_i - x_{i(e),M})^2}{\sum (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (11)$$

Kde x_i zastupuje empirické průměrné hodinové průtoky, $x_{i(e),M}$ značí průměrné hodinové průtoky získané z poslední modelově vygenerované řady a veličinou \bar{x}_i rozumíme aritmetický průměr empirických průměrných hodinových průtoků v použitém výseku řady.

Možnosti a limity sestaveného algoritmu byly testovány na reálných hydrologických řadách. Pro tento účel jsme shromáždili údaje o průměrných denních, průměrných hodinových a maximálních měsíčních okamžitých průtocích ve stanicích Svatka-Borovnice (plocha povodí 128 km²) a Moravská Dyje-Janov (518 km²) za desetileté kalendářní období (I/2004-XII/2013). Poloha vybraných vodoměrných stanic je znázorněna na obrázku 3.



Obrázek 3: Poloha vybraných stanic použitých k testování programu

Na základě empirických denních průtoků a empirických měsíčních kulminací jsme modelovali příslušné odtokové epizody v hodinovém kroku, bez ohledu na absolutní velikost maximálního okamžitého průtoku. Z každé stanice jsme měli za každý rok k dispozici celkem 12 situací, dohromady za obě stanice tedy 240 případů. Empirické průměrné hodinové průtoky nám posloužily jako validační datová sada. Obě řady (modelovou i empirickou) jsme nejprve normovaly hodnotou okamžitého kulminačního průtoku. Z každé epizody jsme odvozovali Nash-Sutcliffův koeficient míry shody mezi devadesáti sedmi empirickými a modelově rekonstruovanými průměrnými hodinovými průtoky, symetricky rozloženými v intervalu počínajícím dva dny před kulminací a končícím dva dny po kulminaci. Kromě ověření základní funkčnosti programu PYKVEJF nás zajímala spolehlivost modelového řešení našeho algoritmu ve vazbě na výběr:

- stanice
- sezóny (zvláště jsme uvažovali zimní a letní hydrologický půlrok, daných seskupením měsíců XI-IV a V-X)

Abychom mohli lépe posoudit efektivitu navrhované techniky downscalingu časových řad, rekonstruovali jsme paralelně stejná data pomocí jednoduché varianty metody kubického splajnu. Jednoduchý kubický splajn (dále jen SPLINE) byl konstruován v hodinovém kroku

tak, aby přesně protínal bod redukované hodinové kulminace, získané opět na základě vztahů (8) a (9), a v ostatních dnech procházel vždy bodem průměrného denního průtoku vztaženým k dvanácté hodině polední. Velmi podobným způsobem byl kubický splajn využit k downscalingu průtokové řady Dunaje v práci DANÁČOVÁ a SZOLGAY (2014). V případě metody SPLINE jsme navíc respektovali horní i dolní okrajové podmínky definované ve vztazích (8), (9) a (10), viz bod 3) na začátku této kapitoly.

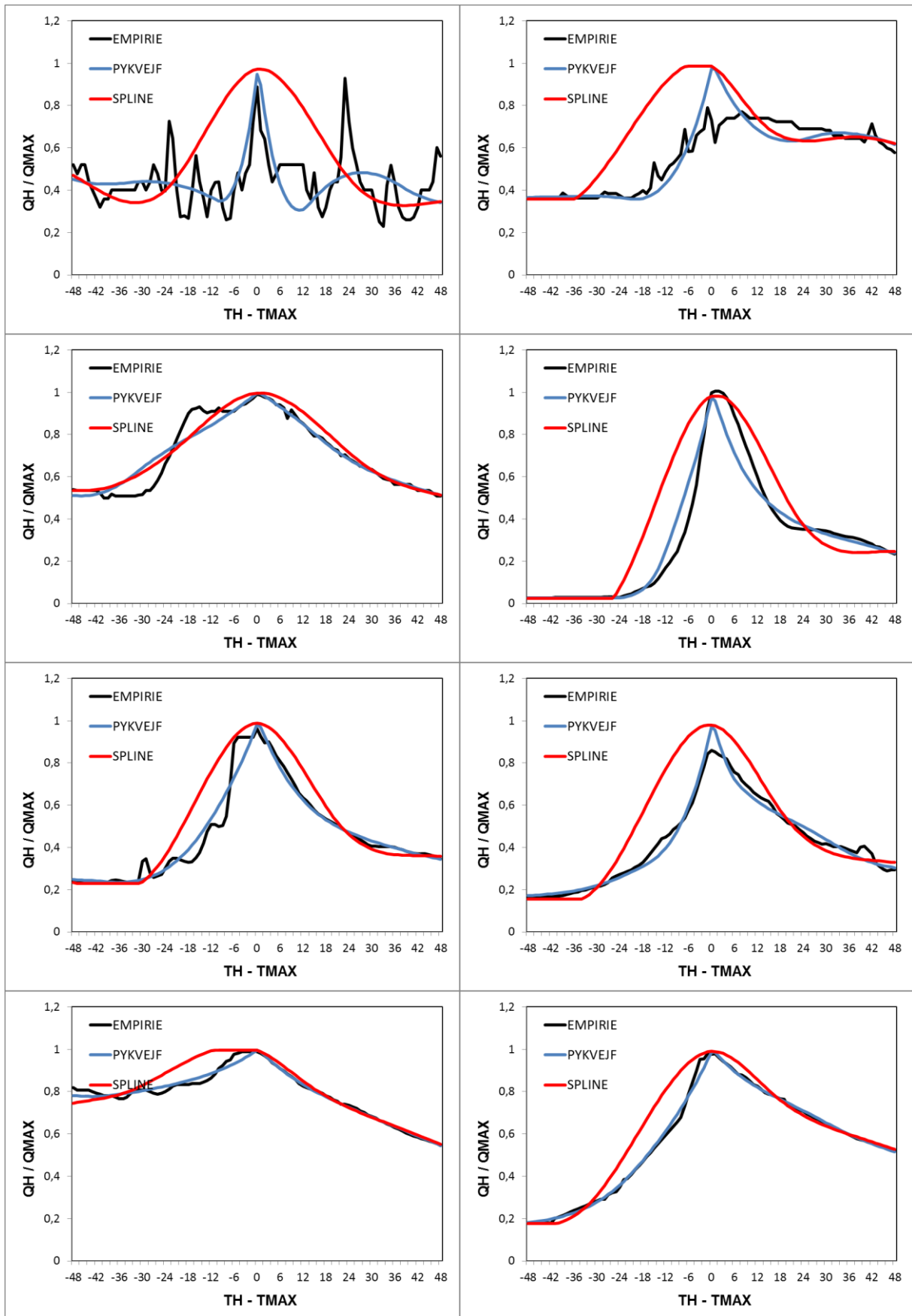
Výsledky

Výsledky testování algoritmu pro jednotlivé stanice a sezóny jsou graficky prezentovány na obrázcích 4, 5, 6 a 7. Kvalitu rekonstrukce empirických dat naším přístupem, na příkladu stanice Svratka-Borovnice v letním půlroce, je možné posoudit na obrázku 4. Podobné srovnání pro stanici Moravská Dyje-Janov a období zimního půlroku je na obrázku 5. Každý z těchto obrázků obsahuje 8 konkrétních situací, které byly vybrány z celého souboru případů na základě rovnoměrného řazení (percentilu) epizod podle velikosti Nash-Sutcliffova koeficientu efektivity. Hodnota percentilu P byla získána podle vztahu:

$$P = \frac{(a-1)}{(b-1)} \quad (12)$$

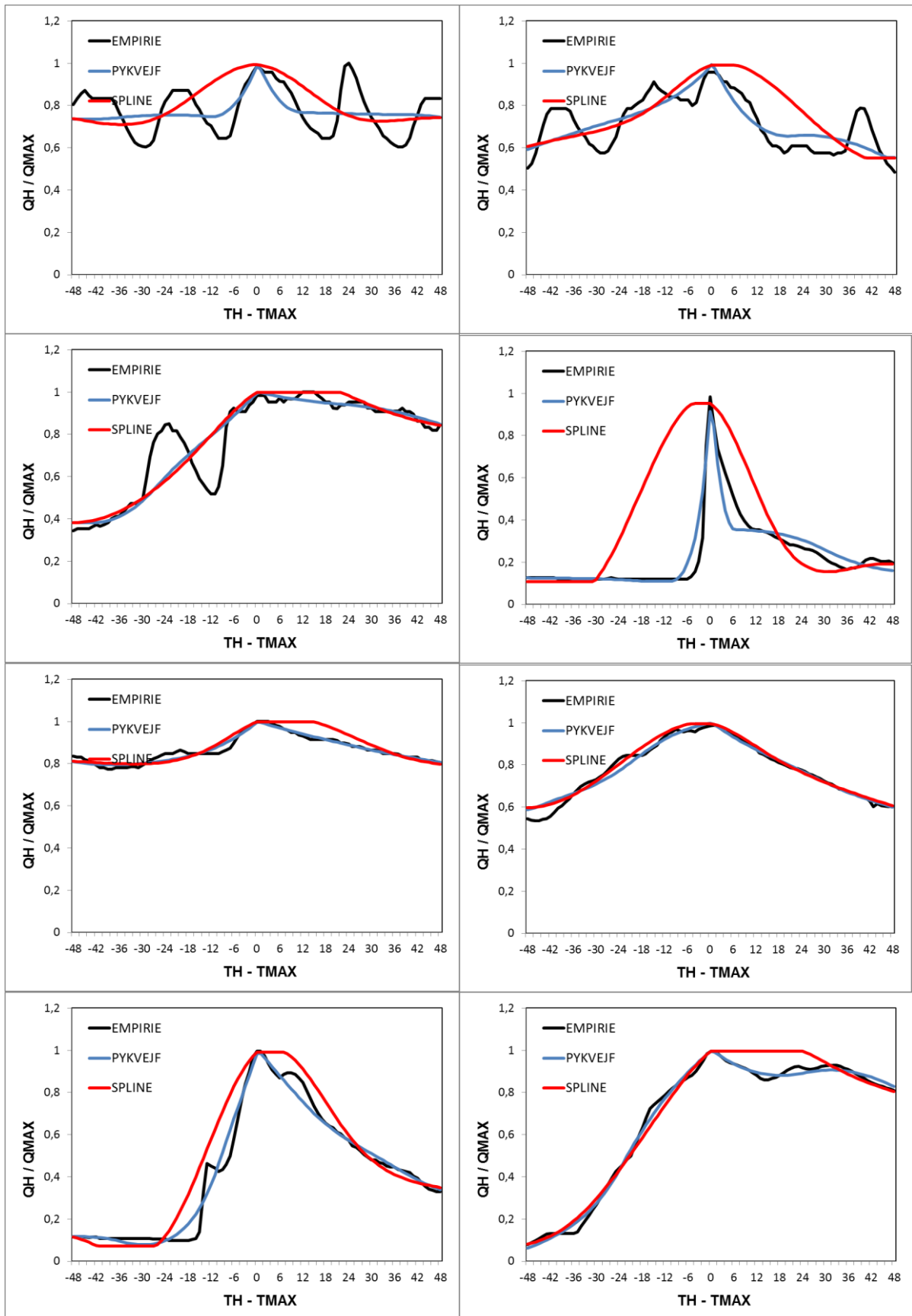
Kde a značí pořadí velikosti Nash-Sutcliffova koeficientu dané epizody v rámci celé množiny sestupně řazených případů dané kategorie. Parametr b vyjadřuje celkový počet případů, tj. množství analyzovaných epizod v dané kategorii. Hodnota percentilu P je pak interpretována jako pravděpodobnost, se kterou se ve zbývající části množiny případů objeví epizoda s vyšším Nash-Sutcliffovým koeficientem.

Řazení případů na obrázcích 4 a 5 probíhá ve směru zleva doprava a shora dolů ve smyslu zvyšující se kvality rekonstrukce empirických průměrných hodinových průtoků programem PYKVEJF. V levém horním rohu je tak umístěn absolutně nejhorší případ dané kategorie (percentil 1), vpravo dole vidíme naším modelem nejlépe reprodukováný hydrogram (percentil 0). Z pouhého vizuálního srovnání nám patrně neunikne, že o něco lepší výsledky vykazuje náš model pro stanici Svratka-Borovnice za letní půlrok, než pro stanici Moravská Dyje-Janov za půlrok zimní. Zároveň z obrázků vidíme i kvalitu rekonstrukcí empirických dat získaných metodou SPLINE, která je zpravidla výrazně nižší, než u algoritmu založeném na Pycnophylaktické interpolaci.



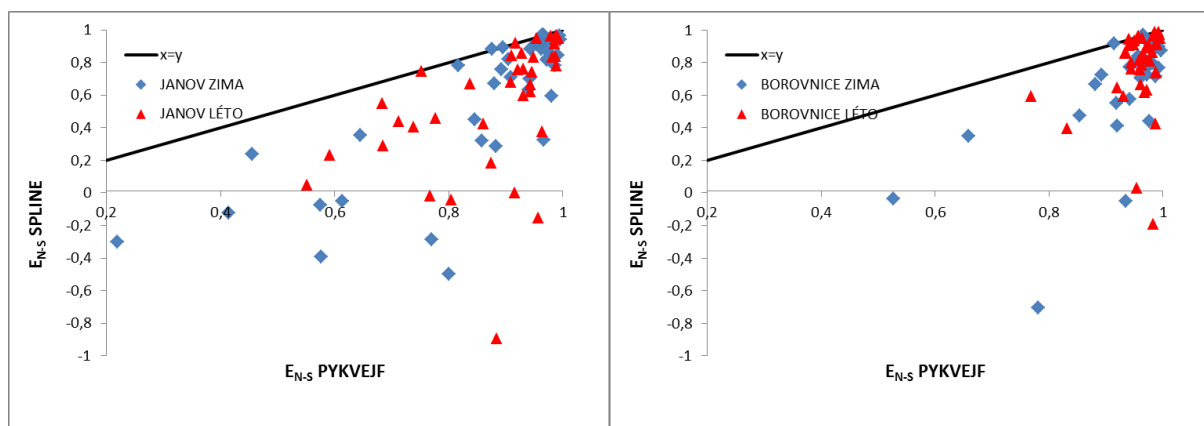
Obrázek 4: Vybrané rekonstruované epizody, Svatka-Borovnice, letní půlrok

Poznámka: hodnoty P zleva doprava, shora dolů: 1; 0,86; 0,71; 0,57; 0,43; 0,29; 0,14; 0



Obrázek 5: Vybrané rekonstruované epizody, Moravská Dyje-Janov, zimní půlrok
 Poznámka: hodnoty P zleva doprava, shora dolů: 1; 0,86; 0,71; 0,57; 0,43; 0,29; 0,14; 0

Poněkud odlišný pohled na výsledky nabízí obrázky 6 a 7. Na prvním z nich jsou porovnány hodnoty Nash-Sutcliffova koeficientu stejných epizod postupem PYKVEJF a SPLINE. Jen připomeňme, že vyšší hodnota koeficientu znamená příznivější výsledek. Vlevo vidíme analýzu případů pro stanici Moravská Dyje-Janov, vpravo pro stanici Svatka-Borovnice. Vynesené body jsou barevně odlišeny. Teplá barva reprezentuje letní hydrologický půlrok, studená půlrok zimní. Silnou černou linií je zobrazena relace, při které by obě použité metody dávaly stejně kvalitní výsledky. Poloha bodů pod touto linií v obou grafech na obrázku 6 se dá jednoznačně interpretovat tak, že program PYKVEJF dává výrazně lepší výsledky (dosahuje vyšší efektivity), než postup SPLINE.



Obrázek 6: Porovnání koeficientů efektivity metod PYKVEJF a SPLINE pro jednotlivé epizody

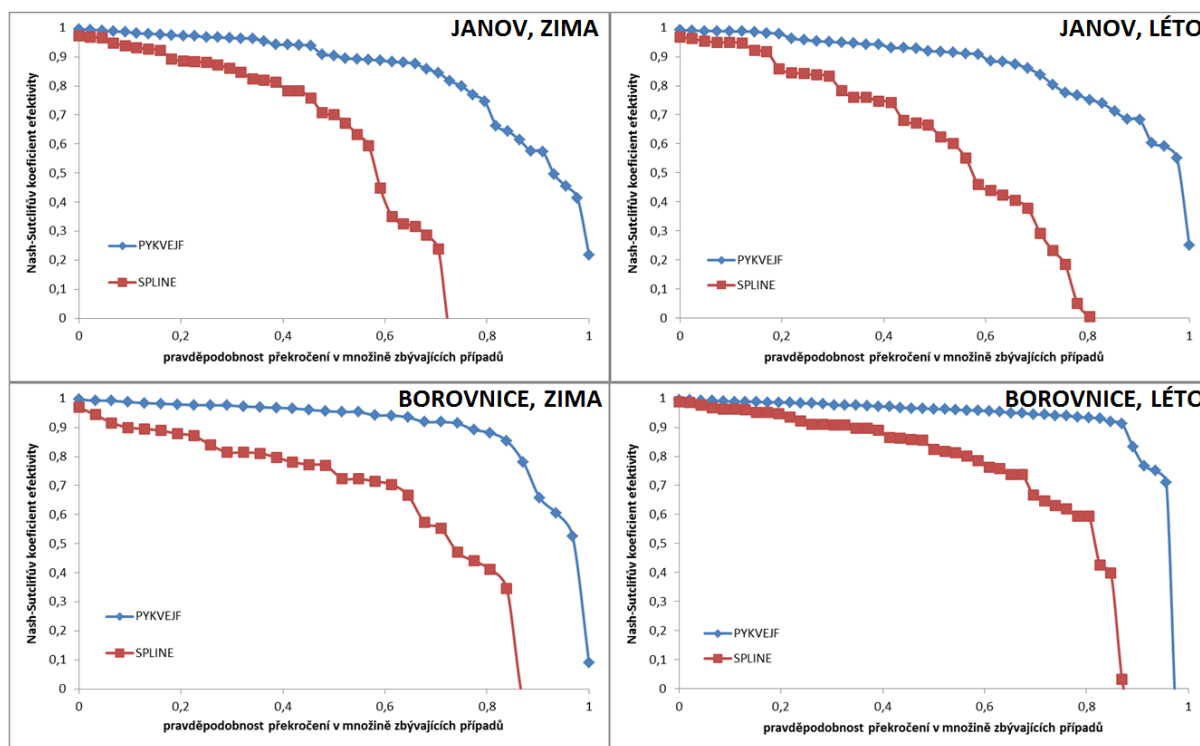
Na obrázku 7 jsou analyzované epizody řazeny zvlášť pro jednotlivé stanice a kalendářní období ve smyslu tzv. čar překročení Nash-Sutcliffova koeficientu. Lze říci, že program PYKVEJF lépe reprodukuje hydrogramy stanice Svatka-Borovnice, než Moravská Dyje-Janov. Kromě toho je náš model efektivnější při rekonstrukci případů „letních“ než „zimních“.

Diskuze

Dosavadní testování výpočetního algoritmu naznačilo, že program PYKVEJF je fungujícím, pohodlným nástrojem, který nám umožňuje rekonstruovat rozsáhlé časové řady automatizovaně a mnohdy s až překvapivě vysokou přesností. Stává se tak neocenitelným pomocníkem v situacích, kdy podrobná hydrologická data chybí, nebo se jeví jako nedůvěryhodná. Program nám již dnes umožňuje řešit řadu důležitých hydrologických úloh,

aniž bychom museli čekat na to, až se desítky let archivované informace podaří převést do digitální podoby. Za pomoci programu je možné rekonstruovat historické povodně, můžeme jej využít například k vykreslení návrhových povodňových vln s podmíněnou pravděpodobností překročení objemu (KULASOVÁ a kol. 2007), můžeme jím detailizovat syntetické řady generované v hrubším časovém kroku.

Při pilotním testování zafungovalo kouzlo nechtěného, když se ukázalo, že program PYKVEJF velice účinně detekoval úseky časových řad, které obsahovaly chyby ve smyslu vzájemné nekonzistence průměrných denních, průměrných hodinových a okamžitých měsíčních kulminačních průtoků. Náš algoritmus tedy může sloužit také jako nástroj hrubé kontroly tam, kde podrobné časové řady máme k dispozici.



Obrázek 7: Pravděpodobnostní porovnání koeficientů efektivity metod PYKVEJF a SPLINE

Na druhé straně je potřeba říci, že modelová rekonstrukce dat je a vždy bude krajním řešením, za normálních okolností nemůže kvalitou konkurovat empirickým datům a měla by proto být používána s rozmyslem.

Výsledky testování nás v mnohém překvapily. Očekávali jsme, že naše metoda bude spolehlivěji fungovat u většího z obou povodí a lepších výsledků bude dosahováno v zimním půlroce. K této domněnce nás vedla představa vyšší dynamiky, tedy adekvátně tomu představa nižší autokorelace průtokových řad v „létě“ a u menšího povodí. Na velmi omezeném vzorku 240 případů se ukázal pravý opak. Z vizuálního posouzení průběhu vybraných odtokových situací, souvisejících s měsíčními kulminačními průtoky, vyplynulo, že hydrogramy stanice Moravská Dyje-Janov jsou na rozdíl od stanice Svratka-Borovnice více rozkolísané, v záznamech se častěji objevují podružná maxima. V zimním období u obou stanic častěji dochází k fluktuacím hladiny, především díky epizodickému tání sněhové pokrývky. Avizované překvapení může také do určité míry souviset s tím, že kritériem výběru epizody byla přítomnost měsíčního kulminačního průtoku bez ohledu na jeho absolutní velikost.

V příští práci bychom chtěli rozšířit testovací datový balík o další vodoměrné stanice a pokusit se najít obecnější vztah mezi mírou efektivity našeho modelu na straně jedné a velikostními (hodnota kulminačního průtoku), prostorovými (geometrické a fyzicko-geografické vlastnosti povodí) i časovými atributy (sezonalita, délka zkoumaného výseku, fáze hydrogramu) vymezené kategorie rekonstruovaných případů na straně druhé.

Závěr

K downscalingu průtokových řad se obvykle využívá technik, které buď nedokáží zachovat výchozí předpoklady zadání, nebo neposkytují výstupní hydrogram v podobě hladké křivky. Námí představený algoritmus obě tyto kvality splňuje. Je hlubokou pravdou, že sebelepší modelové řešení nikdy nebude plnohodnotnou náhradou skutečně napozorované řady. Neurčitost plynoucí z notně generalizované výchozí informace nelze obejít a obelstít. Prezentovaný algoritmus a sestavený program PYKVEJF nám však nabízí možnost automatizovaně rekonstruovat rozsáhlé hydrologické řady s chybou, která je pro praktické uplatnění výsledku mnohdy ještě přijatelná. Představená metoda je perspektivní i mimo obor hydrologie, je však zapotřebí věnovat pozornost a úsilí sestavení optimálních modelových okrajových podmínek.

Literatura

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

DANÁČOVÁ, M., SZOLGAY, J. (2014): Zmeny vo vzťahu medzi postupovou dobou povodňových vln a prietokom pomocou multilineárneho modelu. In: Sborník příspěvků ze Semináře Adolfa Patery 2014. Extrémní hydrologické jevy v povodích. Praha. s. 47-54. ISBN 978-80-02-02574-0

DOLEŽEL, F. (2005): Program SPLINEQD na odvozování hodinových průtoků z průměrných denních průtoků. Software + uživatelský manuál ve formátu .ppt.

KULASOVÁ, B., ŠERCL, P., BOHÁČ, M. (2007): Metodická příručka pro výběr a aplikaci vhodné metody odvození hydrologických podkladů za účelem posouzení bezpečnosti vodních děl. Projekt QD1368 "Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní". Dílčí výstup V07. Praha: ČHMÚ. 128 s.

NASH, J. E., SUTCLIFFE, J. V. (1970): River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10 (3), p. 282-290.

NCGIA (2015): <http://www.ncgia.ucsb.edu/pubs/gdp/pop/pycno.html>

TOBLER, W. R. (1979): Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions, Journal of the American Statistical Association, 74, 367, p. 519-530.

Kontakt:

Mgr. Antonín Malý

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Kroftova 43, Brno, 616 67

+420 541 421 023, antonin.maly@chmi.cz