STANOVENÍ ZÁKLADNÍHO ODTOKU AUTOMATICKOU SEPARACÍ HYDROGRAMU

***Radek Vlnas*[1]**

Abstrakt

Příspěvek shrnuje poslední vývoj v oblasti digitální filtrace hydrogramu a představuje výsledky separace základního odtoku pomocí dvouparametrického Eckhardtova filtru. Dále podává srovnání s dříve používanou metodou podle Klinera a Kněžka.

Klíčová slova: základní odtok, automatická separace, výtoková čára

1. Úvod

Podle Rámcové směrnice o vodách a navazujících právních předpisů vyhodnocuje ČHMÚ každoročně velikost základního odtoku v měsíčním kroku. Tyto údaje představují limitní hodnoty pro různé aktivity v oblasti hospodaření s vodními zdroji, jakými jsou například odběry vody pro průmysl, domácnosti nebo zavlažování nebo pro hodnocení množství a kvality vody. Porozumění procesu tvorby této složky odtoku je výhodné při stanovení hydrologické bilance. Informace o průběhu základního odtoku jsou užitečné při kalibraci hydrologických modelů, protože fluktuace základního odtoku do značné míry ovlivňuje shodu celkového měřeného a modelovaného odtoku.

Častou metodou stanovení základního odtoku je analýza hydrogramu. V současnosti vývoj v této oblasti směřuje k využívání metod separace hydrogramu s vysokým podílem automatizace zpracování dat. Vysoké míry objektivity takového postupu je dosaženo použitím pevně stanovených parametrů, které jsou zárukou konzistentního řešení. Kvalita dat v oblasti nízkých průtoků je ovšem i při analýze hydrogramu velmi často omezujícím faktorem.

2. Filtrace hydrogramu

Hall definuje základní odtok jako složku celkového odtoku jejímž zdrojem je podzemní voda [1]. Výtoková čára je částí poklesové větve hydrogramu v bezsrážkovém období. Podle Boussinesqovy rovnice [2] předpokládající chování zásoby podzemní vody jako lineární nádrže pro tuto část hydrogramu platí:

$$S = kQ \tag{1}$$

kde S je zásoba podzemní vody, Q je odtok, k je výtokový koeficient. V souladu s Hallovou definicí může být odtok Q v případě rezervoáru podzemní vody ztotožněn se základním odtokem bf .

Rovnici výtokové čáry odvodili kolem roku 1904 Maillet [3] a Horton [4]:

$$Q_t = Q_0 \cdot \exp(-t/k) \tag{2}$$

kde Q_t je odtok v čase t, Q_0 je počáteční odtok. Za předpokladu konstantního časového kroku může být výraz $\exp(-1/k)$ nahrazen parametrem a a pro po sobě jdoucí časové kroky pak platí:

$$Q_i = aQ_{i-1} \tag{3}$$

kde i je časový krok. Wittenberg a Sivapalan [5] zjistili, že parametr a odvozený pro různé oblasti odtoku není konstantní, ale zvyšuje se s poklesem hydrogramu, což znamená, že v praxi je vztah mezi zásobou a odtokem často nelineární. Zavedli tudíž nelineární vztah ve tvaru

$$S = kQ^b \tag{4}$$

Exponent b má šikmé rozdělení pravděpodobnosti s modem 0,3 a 0,4 s střední hodnotou b = 0,5. Wittenberg [6] také odvodil tvar rovnice (3) pro tento nelineární vztah.

Výše uvedené vztahy však popisují pouze část sestupné větve hydrogramu, kdy vlivem absence infiltrace nedochází k dotaci zásob podzemní vody. Otázkou tedy je, jakým způsobem stanovit vztah pro odtok podzemní vody i v obdobích dotace a zvětšování průtoku vody v toku.

Použití digitální filtrace k separaci základního odtoku jako první navrhli Lyne a Hollick [7], kteří aplikovali teorii separace signálu rozdílné frekvence. Přes dodatečné úpravy dalšími autory však bylo faktem, že filtrace postrádala fyzikální základ týkající se výtoku z nádrže a poskytovala základní odtok s konstantní hodnotou $\mathrm{BFI} = 0{,}5$. Parametr BFI je podíl základního a celkového odtoku a pohybuje se v rozmezí od 0,2 ve slabě rozrušených horninách krystalinika až po 0,8 v sedimentech České křídové tabule.

Eckhardt [8] následně odvodil rovnici filtrace za předpokladu platnosti lineárního vztahu mezi zásobou podzemní vody a odtokem i v oblasti hydrogramu mimo výtokovou čáru:

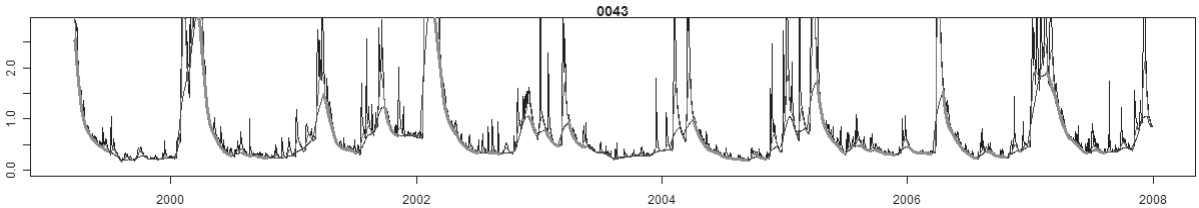
$$bf_i = \frac{(1-\mathrm{BFI}_{\max})a.bf_{i-1} + (1-a)\mathrm{BFI}_{\max}Q_i}{1-a\mathrm{BFI}_{\max}} \tag{5}$$

kde bf je základní odtok, Q je celkový odtok, a je parametr, $\mathrm{BFI}_{\max}$ je maximální baseflow index a i je časový krok.

3. Odvození parametrů

Eckhardtův filtr byl testován na souboru 206 vodoměrných stanic v denním kroku v období 1971–2003.

Parametr a může být vyjádřen pomocí výtokového koeficientu k z rovnice (2). Čili tento parametr může být odvozen z analýzy výtokových čar. K tomu účelu byl vyvinut program inspirovaný prací Rutledge [9, 10]. Vzhledem k tomu, že i evidentní období recese jsou v záznamu hydrogramu často přerušována vlivem krátkodobé srážkové činnosti popř. odběrů vody a podobně, lze doporučit vyhlazení časové řady pomocí sekvence klouzavých 11 denních minim a 31 denních středních hodnot. Části na začátku takto stanovených výtokových čar jsou ovlivněny hypodermickým odtokem a části na konci pak často nepřesnostmi ve vyhodnocení nízkých průtoků. Tyto části jsou tudíž z analýzy vynechávány (Obr. 1)

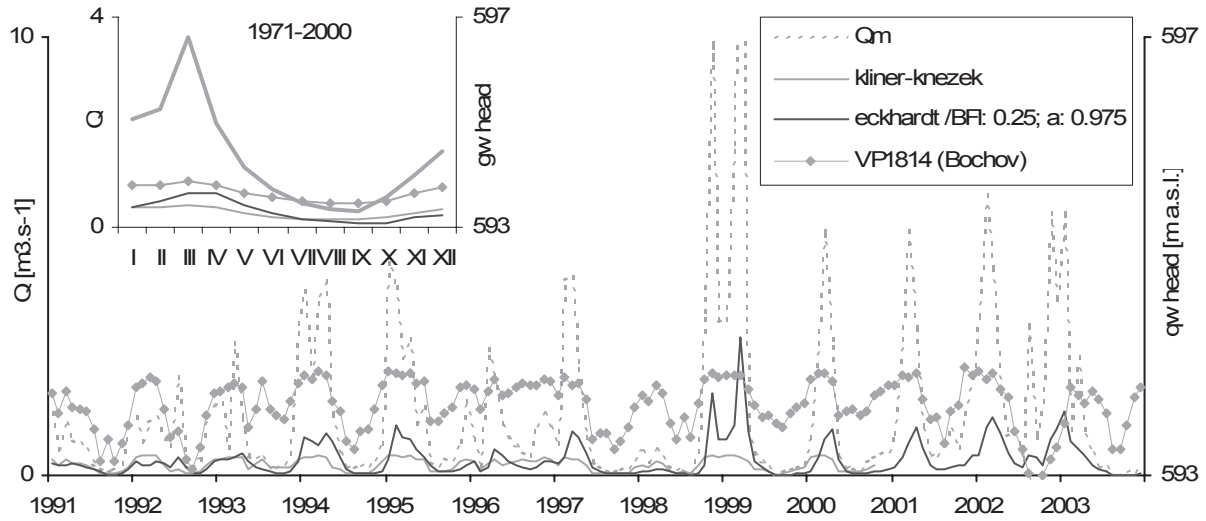


Obr. 1: Analýza výtokové čáry ve stanici 0043 Chotěvice. Slabá černá čára je průměrný denní průtok, silná šedá značí identifikované výtokové čáry.

Parametr BFI_{max} je maximální poměr základního a celkového odtoku. Tento parametr lze odladit pomocí manuální kalibrace. Nejvhodnější BFI_{max} je obvykle taková hodnota, při níž je přirozeně splněna podmínka, že základní odtok je menší než celkový a současně separovaný základní odtok sleduje průběh výtokové čáry. Porovnáním takto dosažených hodnot BFI_{max} s hydrogeologickou rajonizací ukázalo velmi dobrou shodu s litologií povodí.

4. Srovnání metod

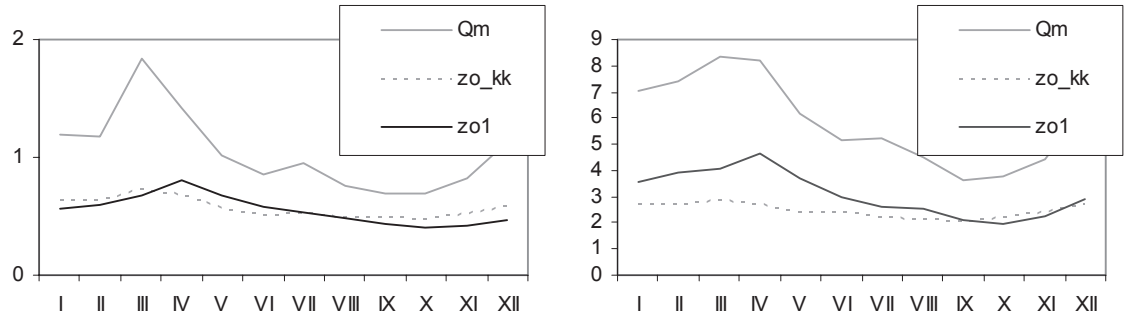
Separace základního odtoku filtrací hydrogramu podle Eckhardta je poměrně objektivní: parametr a lze odvodit analýzou výtokových čar a BFI_{max} je možné kalibrovat podle průběhu celkového a základního odtoku s přesností do 10 %. Oproti tomu je dříve používaná podle Kliner Kněžkova metoda více subjektivní. Velmi záleží na individuálním rozhodnutí zpracovatele jak určí vztah mezi hladinou vody ve vrtu a odtokem. Kromě toho je metoda velmi citlivá na výběr odpovídající objektu vrtu nebo pramene. Fakt že metoda zahrnuje pozorování podzemní vody je nesporně výhodou. Odpovídající objekt sledování režimu podzemní vody je však často obtížné nalézt. Příklad separace oběma metodami podává Obr. 2. Nejbližší vhodný objekt pozorování podzemní vody je v tomto případě v povodí Teplé v nivě Lomnického potoka, které sousedí s povodím Úterského potoka (krystalinikum), ale je orientováno na sever. Maximální úrovně hladiny ve vrtu jsou konstantní v celém období. Dokonce i v roce 2002 během katastrofálních povodní nepřekročila úroveň hladiny maximum z jiných let. To znamená, že bez ohledu na intenzitu dotace podzemní vody poskytuje v tomto případě metoda Klinera a Kněžka také hodnoty shora omezené tímto maximem. Z grafu je zřejmé, že více než stav podzemní vody v povodí sleduje vrt pouze lokální procesy v návaznosti na aktuální hladinu vody v toku.



Obr. 2: Srovnání měsíčních hodnot základního odtoku ve stanici 1750 Trpísty (Úterský p.) odvozených metodou Klinera a Kněžka a digitální filtrací hydrogramu podle Eckhardta. VP 1814 je vrt použitý pro separaci podle metody Klinera a Kněžka. Qm je celkový odtok.

5. Závěr

Eckhardtova metoda separace základního odtoku byla testována na sadě 206 vodoměrných stanic v období 1971–2003. Pro 30 stanic bylo současně provedeno srovnání s výsledky dosaženými pomocí metody Klinera a Kněžka. Výsledky obou metod se v lepších případech liší v rozmezí do 10 % vzhledem k celkovému odtoku (Obr. 3A). Mnohem větší rozdíly byly zaznamenány ve stanicích, kde objekt sledování podzemní vody není z různých příčin vhodný (Obr. 3B). Lze tedy předpokládat, že Eckhardtovu metodu separace základního odtoku lze rutinně používat pro potřeby ČHMÚ.



Obr. 3A: 0170 Maršov nad Metují (Metuje), Obr. 3B: 1830 Štěnovice (Úhlava), zo1 je základní odtok separovaný pomocí Eckhardtova filtru, zo_kk metodou Klinera a Kněžka.

Poděkování
Tato práce byla podpořena grantem Ministerstva životního prostředí ČR „Zákonitosti interakce systému voda/hornina/krajina a jejich využití při ochraně podzemních vod v České republice“ (VaV SP/2e1/153/07).

Literatura

[1] HALL, F.R., 1968. Base flow recession - a review. Water Resources Research 4(5), pp 973-983.

[2] BOUSSINESQ, J., 1877. Essai sur la théorie des eaux courantes. Mém. prés. par divers savants à l’Acad. des Sci. de l’Inst. Nat. de France, 23., 680 p.

[3] MAILLET, E., 1905. Essais d’Hydraulique Souterraine et Fluviale. Hermann, Paris. 218 p.

[4] HORTON, R. E., 1933. The role of infiltration in the hydrological cycle. Trans. Am. Geophys. Union 14. pp 446–460.

[5] WITTENBERG, H. – SIVAPALAN. M., 1999. Watershed groundwater balance estimation using recession analysis and baseflow separation. Journal of Hydrology 219, pp 20–33.

[6] WITTENBERG, H., 1999. Baseflow recession and recharge as nonlinear storage processes. Hydrological Processes 13, pp 715–726.

[7] LYNE, V. D. – HOLLICK, M., 1979. Stochastic time-variable rainfall runoff modelling. Hydrology and Water Resources Symposium, Institution of Engineers Australia, Perth, pp 89–92.

[8] ECKHARDT, K., 2005. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. Hydrological Processes 19, pp 507–515.

[9] RUTLEDGE, A. T., 1998. Computer programs for describing the recession of ground-water discharge and for estimating mean ground-water recharge and discharge from stream flow records. USGS WRIR. 98–4148.

[10] RUTLEDGE, A. T., 2007. RECESS: A computer program for analysis of streamflow recession [online]. USGS, WWW: http://water.usgs.gov/ogw/recess/

Kontakty na autora

1 Český hydrometeorologický ústav Praha, e-mail: vlnas@chmi.cz