KRÁTKODOBÁ PREDIKCE ODTOKU NA VYBRANÝCH MALÝCH HORSKÝCH POVODÍCH

Petr Máca

Pro potřeby krátkodobé predikce odtoku byl aplikován lineární black-box model na 4 vybraných malých povodích. Byly testovány 2 varianty black-box modelu. První předpovídá odtokový proces pouze na základě předchozích hodnot srážek, druhá varianta modelu předpovídá odtok na základě předchozích hodnot srážek a odtoků. Na nejmenších povodích s rozlohou 10 ha a 17 ha byly studovány možnosti 1-hodinové predikce. Na ostatních analyzovaných povodích byly analyzovány možnosti 1-denní predikce. Plochy zbývajících povodí byly 11,371 km^2 a 12,46 km^2. Vybrané varianty lineárního modelu byly kalibrovány a validovány na dostupných datových souborech. Kriterium shody byl koeficient determinace. Výsledky ukazují na velmi dobrou predikční schopnost použitého modelu pro 1-hodinové predikce odtoku na analyzovaných velmi malých povodích. Na povodích s 1-denní predikcí odtoku bylo dosaženo přijatelných hodnot koeficientu determinace.

Klíčové slova: lineární model, black-box model, déšť, odtok, predikce

Linear black-box model has been applied for the purposes of short term runoff prediction in the 4 small watersheds. Two different variants of black-box model have been tested. First predicts runoff on the basis of previous rainfall rates, second predicts runoff process on the basis of previous rainfall and runoff rates. 1-hour ahead prediction has been studied in the smallest watersheds with areas 10 ha and 17 ha. Possibilities of 1-dailly ahead prediction have been analyzed on the rest studied watersheds. Their areas were 11,371 km^2 a 12,46 km^2. Chosen variants of linear model has been calibrated and validated on the available data files. The Nash-Sutcliffe coefficient has been chosen as evaluation criterion. Results show very good prediction capability of the model for 1-hour ahead prediction in the very small basins. There have been reached acceptable values of Nash-Sutcliffe coefficients in the basins with 1-dailly ahead prediction.

Key words: linear model, black-box model, rainfall, runoff, prediction

---

ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Horská povodí v podmínkách České republiky jsou oblasti, které se vyznačují velkou heterogenitou. Jsou to území nejméně ovlivněná lidskou činností. Procesy vytvářející odtok z těchto povodí náleží jsou uvedeny v (Beven, 2002). Často je dominantním procesem Dunneův odtok, který je doplněn odtokem prostřednictvím preferenčních cest.

V poslední době jsou pro potřebu studia srážko - odtokového procesu využívány metody matematického modelování jednotlivých komponent hydrologického cyklu. Aplikací matematických modelů je popsáno hydrologické chování povodí, které je využito k analýzám srážko - odtokového procesu (Beven, 2002).

Dle složitosti popisu srážko – odtokového procesu jsou deterministické hydrologické modely děleny na black box, grey box a white box modely. Největší požadavky na rozsah vstupních dat a detailní popis srážko – odtokového procesu jsou kladeny modely white box, na druhé straně black box modely jsou založeny na analýze vzájemného vztahu mezi vstupními (srážky) a výstupními (odtoky) veličinami (Zeman, 1990).

Cílem předloženého příspěvku jsou krátkodobé predikce odtoku z velmi malých horských povodí. K tomuto účelu je použit jednoduchý lineární black-box model. Na dvou velmi malých horských povodích Modrava 1 a Modrava 2 byly testovány dvě varianty lineárního black-box modelu. První je založena predikci odtoku pouze na základě předchozích srážek. Druhá využívá předchozích odtoků. Na zbylých dvou povodích je odtokový proces předpovídán pouze na základě předchozích srážek a odtoků.

METODIKA

Popis lineárního black-box modelu

Podstatou použitého hydrologického black-box modelu je lineární model, který je vyjádřen rovnicí (1). Průměrný průtok $D(t)$ zaznamenaný za časový interval t je vyjádřen jako lineární kombinace srážkových úhrnů $P(t-1),\ldots,P(t-r)$ změřených před časovým úsekem t v *(t-r)* intervalech, odtoků $D(t-1),\ldots,D(t-r)$ zaznamenaných v *(t-k)* intervalech před předpovídaným úsekem a příslušných parametrů $\beta_1,\ldots,\beta_{k+r}$.

$$D(t)=\beta_1 D(t-1)+\cdots+\beta_k D(t-k)+\beta_{k+1}P(t-1)+\cdots+\beta_{k+r}P(t-r) \qquad (1)$$

Parametry $\beta_1,\ldots,\beta_{k+r}$ vyjadřují transformační funkci povodí. Jejich hodnoty jsou odhadnuty metodou nejmenších čtverců. Parametry k a r označují počet příslušných veličin použitých pro predikci odtoku. Pro jejich odhad jsou využity kalibrační soubory srážko-odtokových dat. Následně jsou odvozené modely verifikovány na validačním souboru dat. Tento soubor není součástí dat použitých při kalibraci. Hlavním evaluačním kritériem shody mezi měřenými a simulovanými daty je koeficient determinace.

Pro 1-hodinovou predikci odtoku pouze na základě předchozích srážkových dat byla použita varianta, u které je hodnota parametru $k=0$.

Uvedený postup byl použit v (Yu a kol, 1994).

Popis povodí

V této studii byly využity datové soubory ze čtyř horských povodích situovaných na Šumavě a v Krušných horách . Vybrané charakteristiky povodí jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tab. 1 Charakteristiky povodí

Tab. 1 Watershed's characteristics

	Plocha (km^2)	**Nadmořská výška** (m n m)	**Lesnatost (kultura)**
Modrava 1	0.010	1210 – 1275	mrtvý les
Modrava 2	0.017	1180 – 1330	paseka
Křímov	10.7	500 – 804	40 %
Kamenička	12.46	575 – 800	90 %

První dvě nejmenší jsou experimentální povodí, které jsou spravovány Katedrou vodního hospodářství Fakulty lesnické a environmentální ČZU Praha. Jedná se o povodí Modrava 1 a Modrava 2. Tato povodí jsou situována v horních partiích NP Šumava (Kuna a kol, 1998). Studován byl soubor vybraných srážko-odtokových událostí. Data jsou zaznamenána v hodinovém časovém kroku.

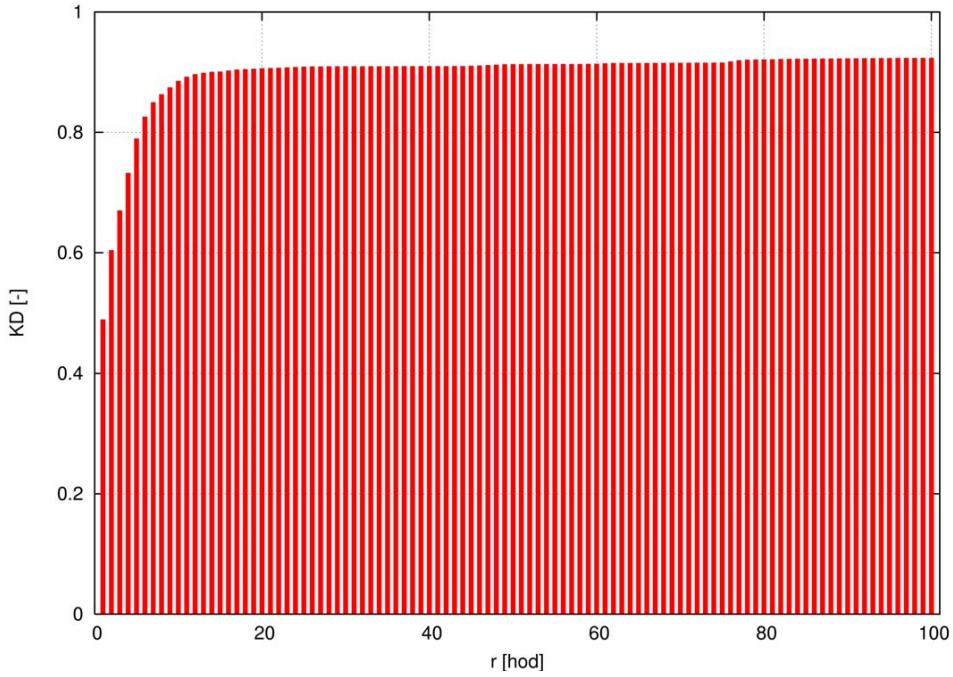
Vybrané srážko-odtokové události byly rozděleny do dvou typů souborů: soubor sestupných částí hydrogramů a soubor celých hydrogramů vybraných povodňových událostí.

Povodí Kamenička a Křímov jsou ve správě společnosti Povodí Ohře a.s. Jsou součástí vodohospodářské soustavy umístěné na řece Chomutovka v Krušných horách. V uzávěrových profilech obou povodí se nacházejí stejnojmenná vodní díla. Bylo studováno 12 let měření srážek a odtoků.

VÝSLEDKY

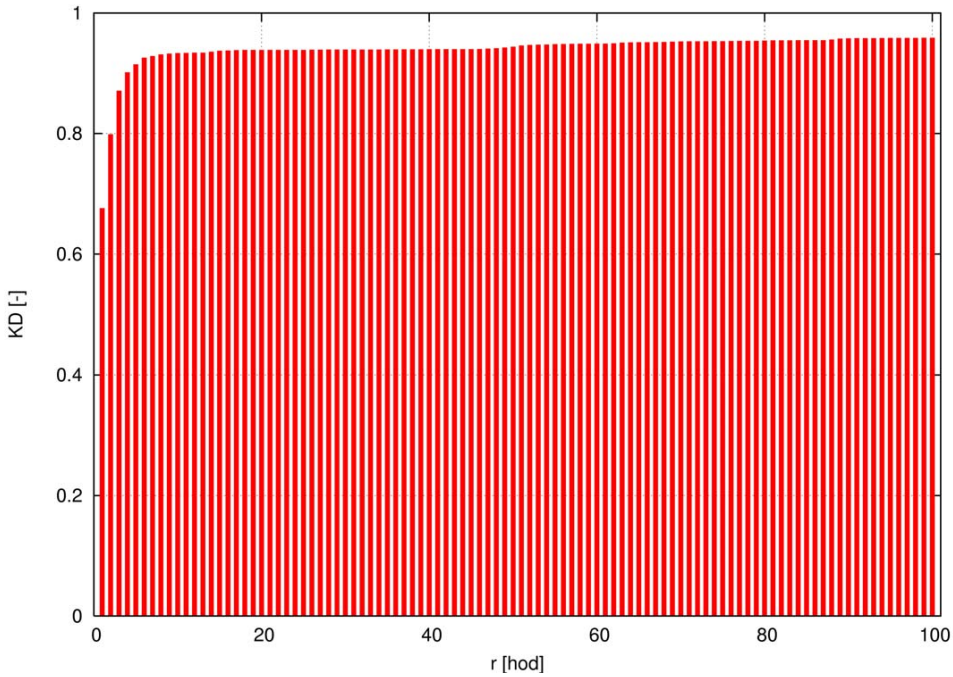
Kalibrační soubor sestupných větví hydrogramů

Kalibrační soubor sestupných větví povodí Modrava 1 byl tvořen 12 událostmi, 1 událost byla validována. U povodí Modrava 2 bylo při kalibraci využito 13 povodňových epizod a 1 validována. Nejprve byla testována třída modelů s parametry $(k=0)$ a $r=1,\ldots,100$. Hodnoty koeficietnů determinace KD ukazují obrázky 1 a 2.



Obr. 1 Koeficienty determinace souboru sestupných vln hydrogramů – povodí Modrava 1

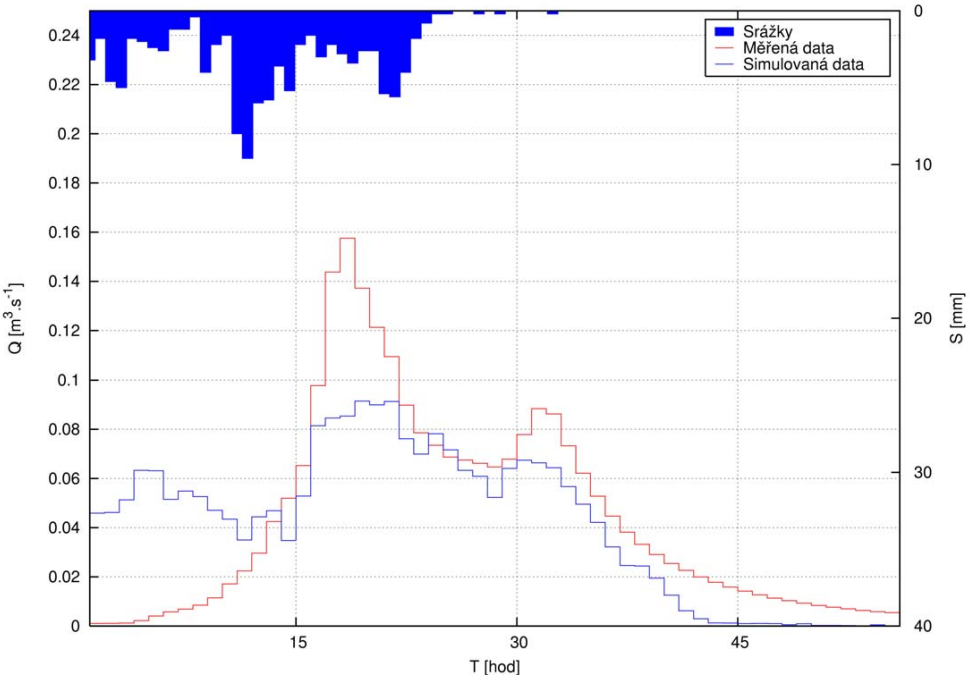
Fig. 1 Nash-Sutcliffe coefficients of the set of falling limbs of hydrographs – Modrava 1 watershed



Obr. 2 Koeficienty determinace souboru sestupných vln hydrogramů – povodí Modrava 2

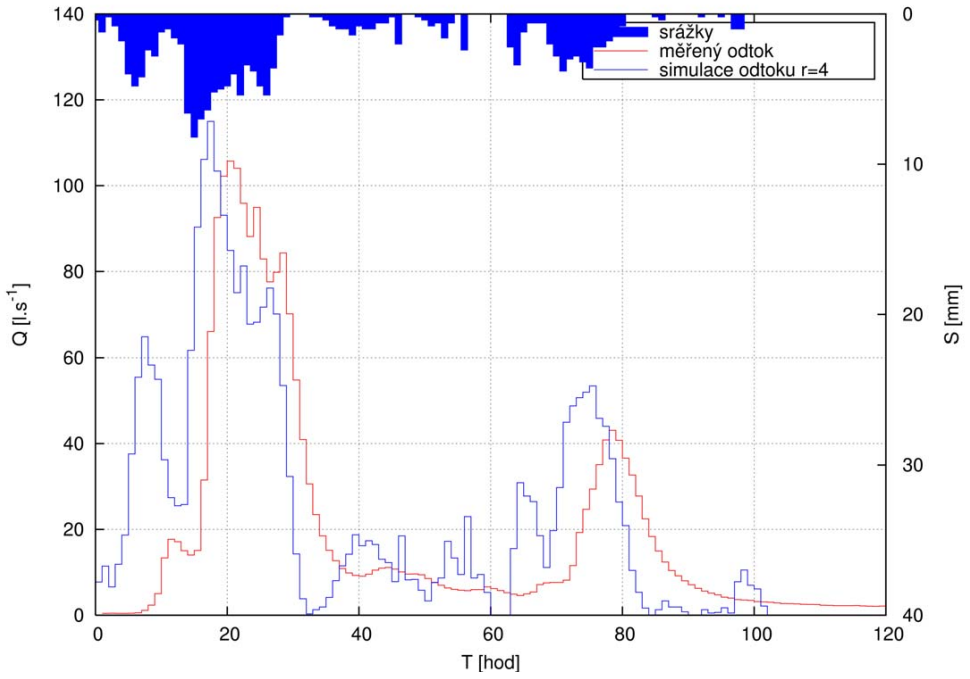
Fig. 2 Nash-Sutcliffe coefficients of the set of falling limbs of hydrographs – Modrava 2 watershed

Výsledky validací vybraných povodňových událostí ukazují obrázky 3 a 4. Pro predikci na povodí Modrava 1 byl použit model založený na 10 předchozích hodinových srážkových úhrnech, pro povodí Modrava 2 bylo použito 4 předchozích hodinových srážkových úhrnů.



Obr. 3 Validace povodňové vlny z 28.10. 1998 – povodí Modrava 1

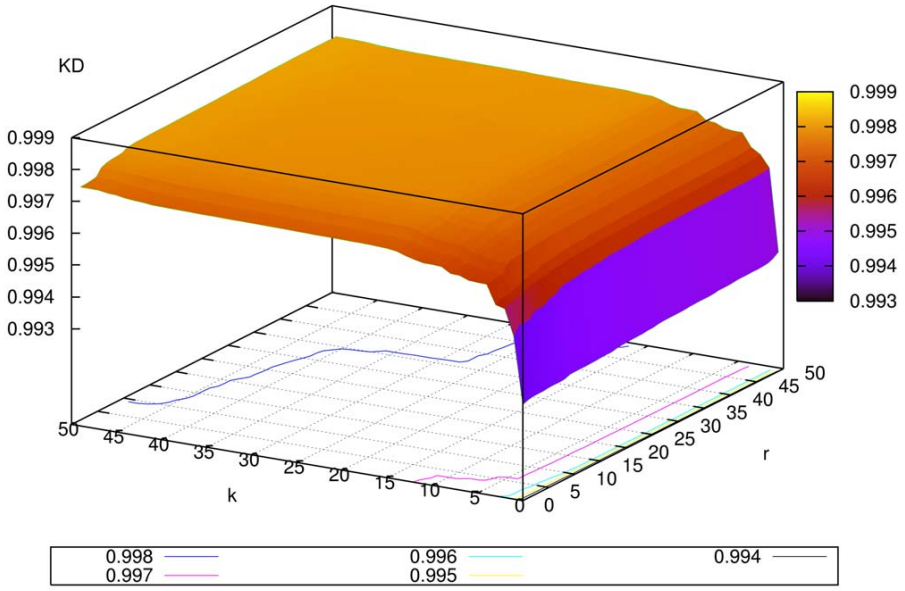
Fig. 3 Validation of flood hydrograph from 28th October 1998 – Modrava 1 watershed



Obr. 4 Validace povodňové vlny z 14.9. 1998 – povodí Modrava 2

Fig. 4 Validation of flood hydrograph from 14th September 1998 – Modrava 2 watershed

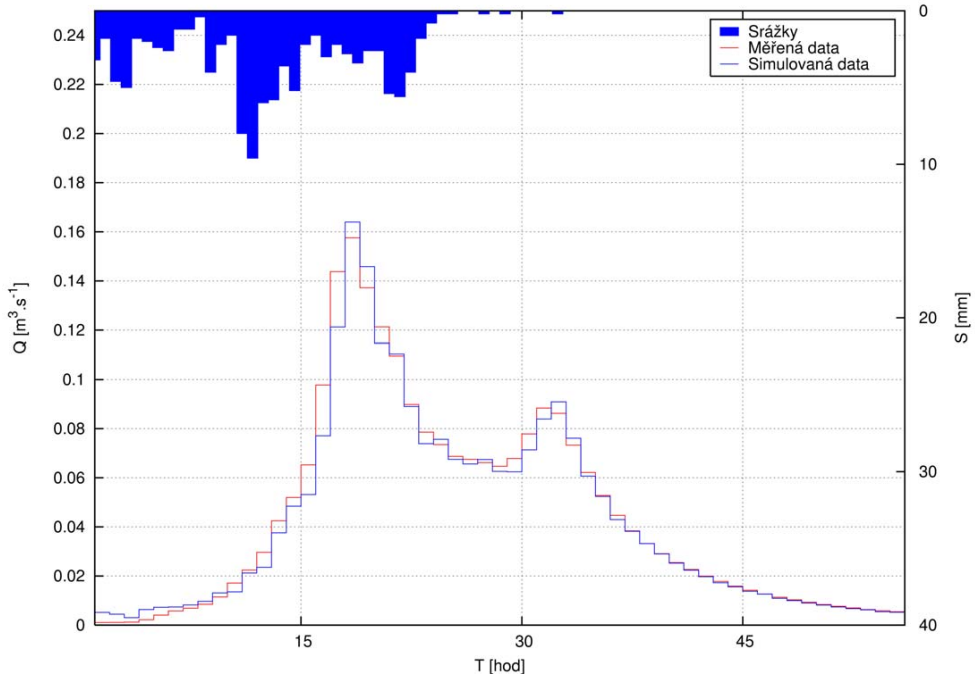
Vzhledem k dosažené malé shodě měřených a vypočtených odtoků byly aplikovány modely, které vycházejí vedle předchozích srážek také z předchozích odtoků. Výpočet byl proveden pouze na povodí Modrava 1. Vypočtené hodnoty koeficientů determinace kalibračního souboru dat jsou uvedeny na obrázku 5. Byla testována třída modelů s parametry $k = 1,\ldots,50$ a $r = 1,\ldots,50$.



Obr. 5 Koeficienty determinace kalibrace povodňové vlny 28.10. 1998 – povodí Modrava 1

Fig. 5 Nash-Sutcliffe coefficients calibration of flood hydrograph from 28th September 1998 – Modrava 1

Pro validaci byl použit model s hodnotami parametrů $k = 5$ a $r = 5$. Výsledný hydrogram odtoku validované události ukazuje obrázek 6.



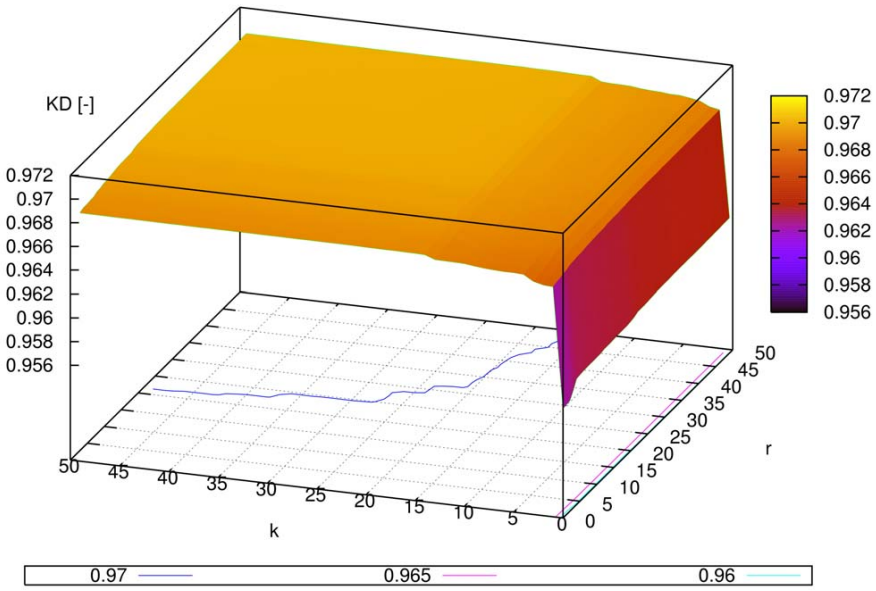
Obr. 6 Validace povodňové vlny 28.10. 1998 – povodí Modrava 1

Fig. 6 Validation flood hydrograph from 28th October 1998 – Modrava 1

Kalibrační soubor sestupných větví hydrogramů byl testován pouze na povodí Modrava 1.

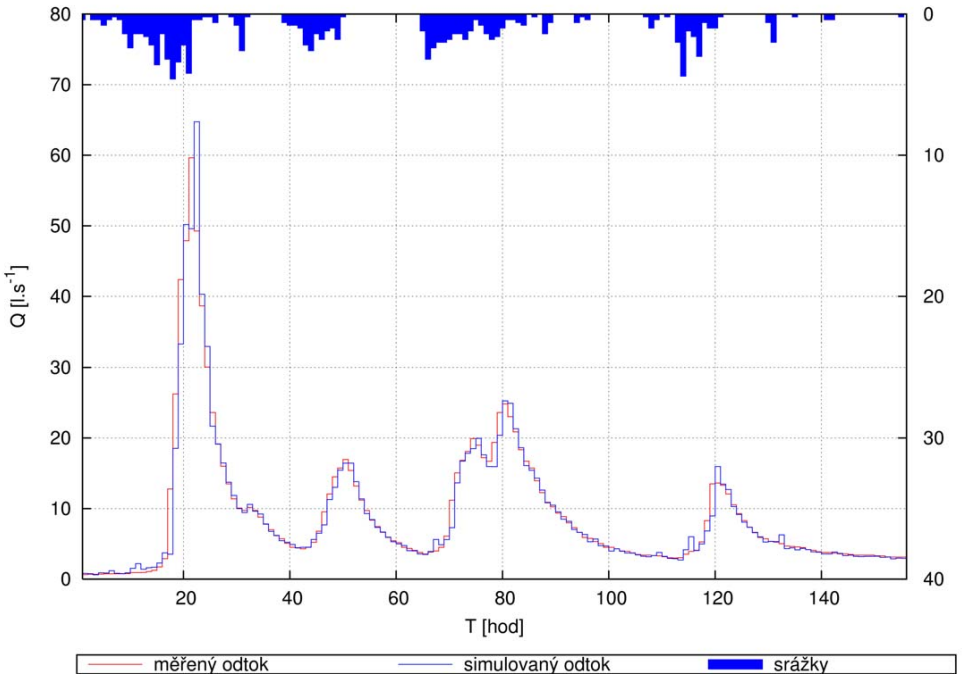
Kalibrační soubor celých hydrogramů

Kalibrační soubor celých hydrogramů byl testován na datových souborech povodí Modrava 2. Kalibrační soubor byl tvořen souborem 13 vln a 1 povodňová událost byla validována. Byly testovány třídy modelů s parametry $k = 1,\ldots,50$ a $r = 1,\ldots,50$. Koeficienty determinace kalibračního souboru dat ukazuje obrázek 7, validační soubor je znázorněn na obrázku 8. Validován byl model s parametry $k = 5$ a $r = 5$.



Obr 7 Koeficienty determinace kalibrace povodňové vlny 7.9. 2001 – povodí Modrava 2

Fig. 7 Nash-Sutcliffe coefficients calibration of flood hydrograph from 7th September 2001 – Modrava 2

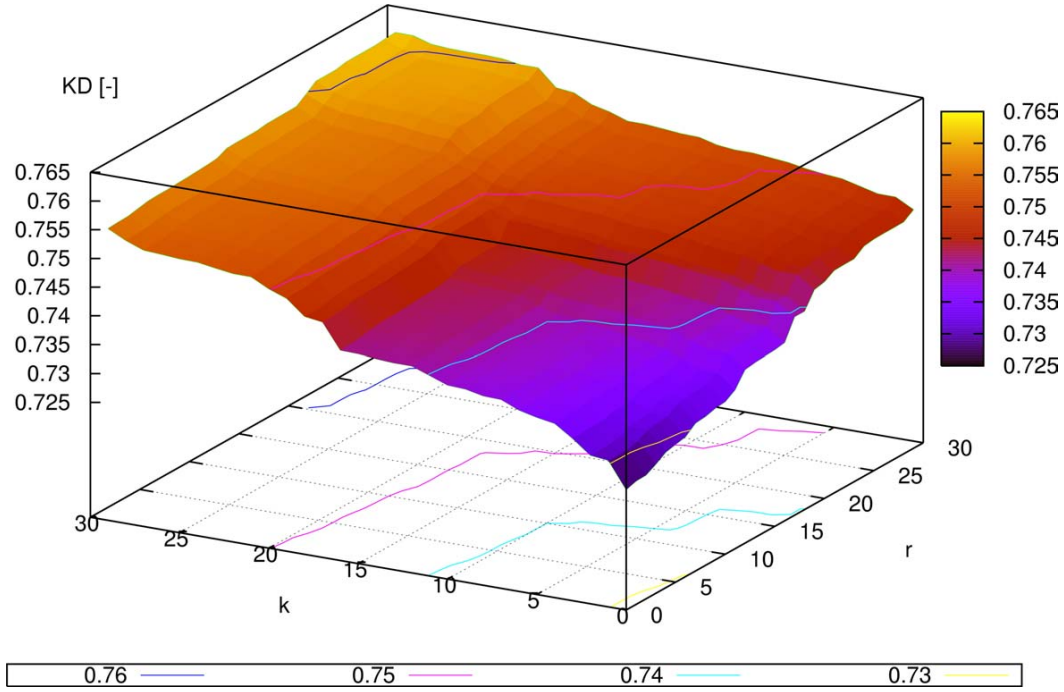


Obr. 8 Validace povodňové vlny 7.9. 2001 – povodí Modrava 2

Fig. 8 Validation flood hydrograph from 7th September 2001 – Modrava 2

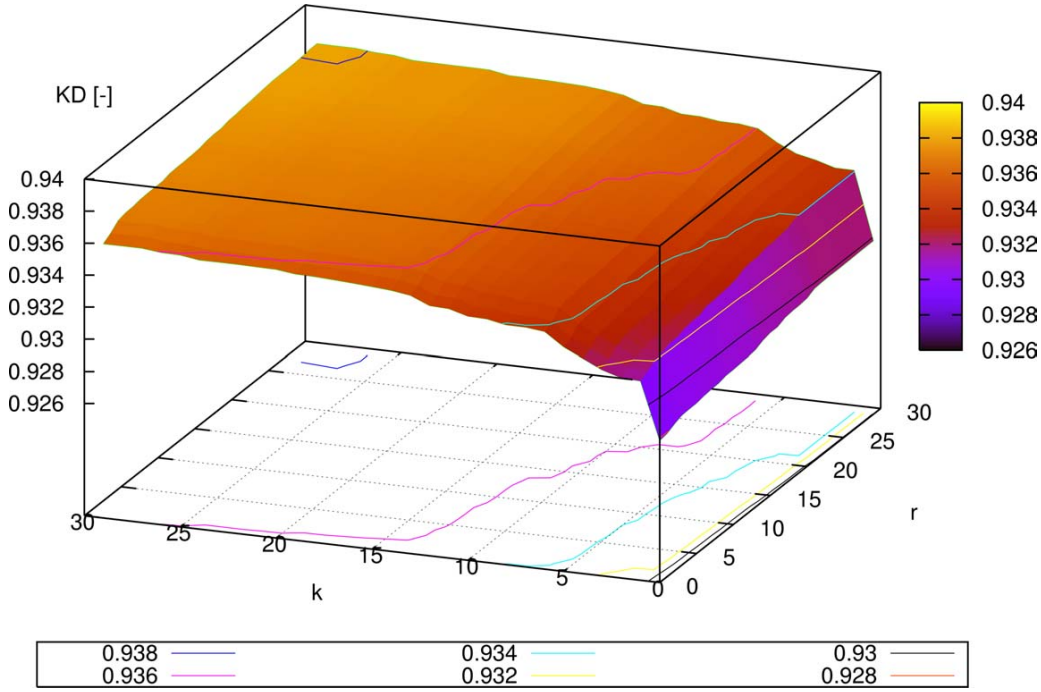
1-denní predikce

Pro 1-denní predikci odtokového procesu byly použity datové soubory 6-ti let měření. Datové soubory jsou tvořeny denními srážkovými úhrny a průměrným denním průtokem. Kalibrační soubor tvoří záznamy 5-ti let, validační soubor je tvořen záznamy 1 roku. Při kalibraci byla testována třída modelů s parametry $k = 1,\ldots,30$ a $r = 1,\ldots,30$. Výsledné hodnoty koeficientů determinace kalibračních souborů pro povodí Kamenička jsou na obrázku 9, pro povodí Křímov jsou na obrázku 10.



Obr. 9 Koeficienty determinace kalibrace povodí Kamenička (kalibrační soubor data 1996-2000)

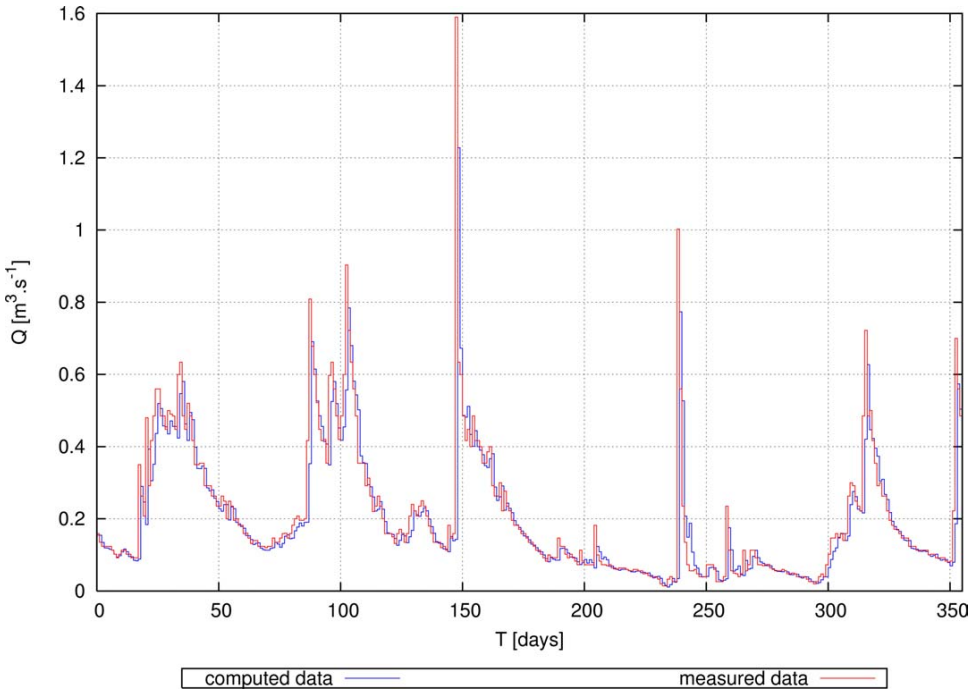
Fig. 9 Nash-Sutcliffe coefficients of calibration sets of models for Kamenička basin (calibration dataset 1996-2000)



Obr. 10 Koeficienty determinace kalibrace povodí Křímov (kalibrační soubor data 1996-2000)

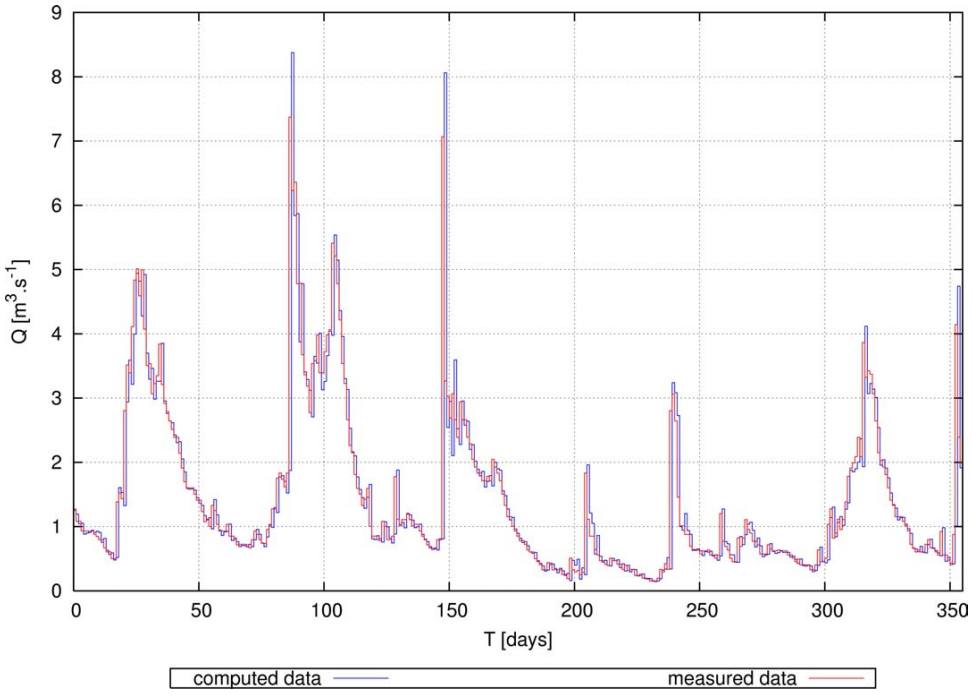
Fig 10 Nash-Sutcliffe coefficients of calibration sets of models for Křímov basin (calibration dataset 1996-2000)

Pro validaci na povodí Kamenička byl použit rok 1995 a model s parametry $k = 5$ a $r = 5$, pro povodí Křímov byl pro validaci použit rok 1995 a model s parametry $k = 5$ a $r = 5$. Výsledné simulace jsou na obrázku 11 pro povodí Kamenička a na obrázku 12 na povodí Křímov.



Obr. 11 Validace odtoku rok 1995 – povodí Kamenička

Fig. 11 Validation of runoff process year1995 – Kamenička basin



Obr. 12 Validace odtoku rok 1995 – povodí Křímov

Fig. 12 Validation of runoff process year1995 – Křímov basin

Varianty předpovědi průtoku pouze na základě předchozích srážek na těchto povodích jsou uvedeny v (Máca, 2003).

DISKUSE

1-hodinová predikce odtoku

V rámci 1-hodinové predikce odtokové procesu při vybraných povodňových událostech byly vyhodnoceny dva typy kalibračních souborů. Z vyhodnocovaných variant kalibračních souborů bylo při kalibraci nejvyšších hodnot KD dosaženo u souboru sestupných větví hydrogramů.

U varianty predikce odtoku na základě předchozích srážek byl nejvyšší nárůst koeficientů determinace dosažen u kalibračního souboru sestupných větví hydrogramů na intervalu $r \in \langle 1,10 \rangle$ pro povodí Modrava 1, $r \in \langle 1,6 \rangle$ u povodí Modrava 2. Výsledky validací (obrázky 3 a 4) ukazují na nízkou schopnost predikce odtokového procesu touto variantou black-box modelu.

Při vzájemném porovnání hodnot koeficientů determinace kalibračních souborů, pro modely předpovídající odtok na základě předchozích srážek a odtoků, vyšších hodnot bylo dosaženo na souboru sestupných větví hydrogramů. Tyto testované třídy modelů poskytly nejlepší validační výsledky (obrázky 8 a 6).

1-denní predikce odtoku

Pro 1-denní predikci odtoků byly testovány třídy modelů předpovídající odtoky na základě předchozích odtoků a srážek.

Nejvyšších hodnot koeficientů determinace bylo dosažena na kalibračním souboru pro povodí Křímov. Výsledky validačních simulací ukazují na přijatelnou shodu měřených a simulovaných hodnot odtoků (obrázky 11 a 12).

Hodnoty koeficientů determinace byly vysoké pro všechny testované modely, proto nejpřijatelnějšími modely s danými parametry *r* a *k*, které jsou přijatelné z hlediska náročnosti na vstupní data.

V uvedené studii byl hlavním kriteriem shody koeficient determinace, pro detailnější výběr vhodné varianty black-box modelu by posloužilo použití dalších srovnávacích kritérií.

ZÁVĚR

Předložený příspěvek se zabývá možnostmi krátkodobé predikce odtokového procesu na malých horských povodích. Na dvou experimentálních povodích ze Šumavy byla studována 1-hodinová predikce odtoku při srážko-odtokových událostech. 1-denní predikce odtoku byla analyzována na dvou povodích Krušných hor.

Pro potřeby 1-hodinové predikce byly testovány dvě varianty lineárního black-box modelu. Nejlepší simulační výsledky byly získány pro kalibrační soubor vybraných povodňových událostí a variantu modelu, která pro předpověď odtoku využívá předchozích srážek a předchozí odtoky.

Pro potřeby predikce 1-denních průměrných průtoků na povodí Křímov a Kamenička byly použity black-box modely, které vycházejí z obecného lineárního modelu. Průtoky jsou predikovány na základě předchozích odtoků z povodí a na základě předešlých srážkových průtoků. Byly vyhodnoceny datové soubory o celkové délce 12 let. 10 le t záznamů bylo použito pro identifikace hydrologických modelů 2 roky měření byly použity pro potřeby validace a verifikace hydrologických modelů. Výsledné simulace ukazují na dobrou shodu mezi měřenými a modelovanými hodnotami průměrných 1-denních průtoků.

Možnosti dalšího využití a aplikace uvedeného postupu jsou výrazně vyšší u povodí z Krušných hor.

Literatura

Beven K. J.(2001): Rainfall – runoff modelling. John Wiley and Sons, s 360.

Kuna P., Kuřík P.(1998): Hydrometeorologické pozorování na Šumavě.. Zprávy lesnického výzkumu, 43, č. ¾, s 37-39.

Máca P. (2003): Analýza srážko-odtokového procesu povodí VD Křímov a VD Kamenička. Sborník Konference COYOUS, s 104-110.

Yu P.S., Liu C. L., Lee T.Y.(1994): Application of transfer function model to storadge=runoff processes. In Hipel K.W. Time series Analysis in Hydrology and Environmental Engineering, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, s 87 – 97.

Zeman, E.(1994): Hydroinformatika a hydrologické modely. Habilitační práce ČVUT Praha, s. 91.

Autor

Petr Máca, Katedra vodního hospodářství FLE ČZU Praha, Kamýcká 1176, Praha 6 – Suchdol, 165 21, maca@fle.czu.cz,