OPERATIVNÍ PŘEDPOVĚDI POVODNÍ Z PŘÍVALOVÝCH DEŠŤŮ POMOCÍ FUZZY MODELU

Petr Janál[1], Miloš Starý[2]

Abstrakt

Předpověď povodní z přívalových dešťů je dnes velmi aktuálním tématem. Jedná se o jednu z nejobtížnějších úloh operativní hydrologie. Obtížnost řešení spočívá především v rychlosti průběhu jevu a velké míře neurčitosti obsažené v předpovědi srážek a srážkoodtokovém procesu v rámci malých povodí. Rychlost výpočtu a především schopnost pracovat s neurčitými vstupy patří k přednostem modelů využívajících fuzzy logiku. Prezentovaný fuzzy model byl sestaven ve vývojovém prostředí MATLAB a to na základě zpracované závislosti mezi zvolenými vstupy a výstupem modelu pro množinu malých povodí. Na základě předpovězené srážky nad povodím a geomorfologických vlastností zasaženého povodí je model schopný operativně odhadnout budoucí kulminační odtok a stanovit míru ohrožení povodí povodní z přívalového deště. Model by měl tvořit navazující článek na nowcasting srážek a operativně odhadovat ohrožení pro množinu malých povodí. Model byl sestavený na VUT FAST v Brně v rámci řešeného grantu GAČR 103/07/1620. V rámci jeho poloprovozního testování na ČHMÚ v Brně byla provedena zpětná simulace provozu za období od 24. 6. do 17. 7. 2009. Stručný popis sestavení a kalibrace modelu a vyhodnocení výsledků za simulované období je předmětem příspěvku.

Klíčová slova: fuzzy logika, přívalová povodeň, operativní předpověď

1. Úvod

Se vzrůstající extremitou počasí a s ní spojeným častějším výskytem přívalových srážek a povodní jimi způsobených, rostou požadavky na vývoj systémů pro včasné varování ohrožených osob. Transformace spadlé srážky na odtok v rámci malých povodí je ovlivněna spoustou faktorů s mnohostrannou vzájemnou vazbou a podmíněností, navíc časový a prostorový vývoj přívalových srážek je natolik nevyzpytatelný, že jen těžko budeme hledat jednu metodu, která by problematiku bezezbytku řešila. K úspěchu je třeba kombinovat různé metody a přístupy.

2. Metoda

Teorii fuzzy logiky i dalších použitých metod umělé inteligence (neuronové sítě, genetické algoritmy) lze nalézt např. v [1]. Sestavení a kalibrace modelu je podrobněji popsána např. ve [2] a [3], v dalším se omezíme pouze na stručný popis.

Model sestavený pomocí Fuzzy Logic Toolboxu ve vývojovém prostředí MATLAB [5] zahrnuje sedm vstupních veličin a využívá fuzzy inferenční systém (FIS) typu Mamdani. Vstupní veličiny jsou následující:

– plocha povodí [km^2] ..... *P*

– součinitel tvaru povodí α ……. *a*

– sklonitost povodí (Herbstův sklon) … *SK*

– lesnatost povodí [%] ……*LES*

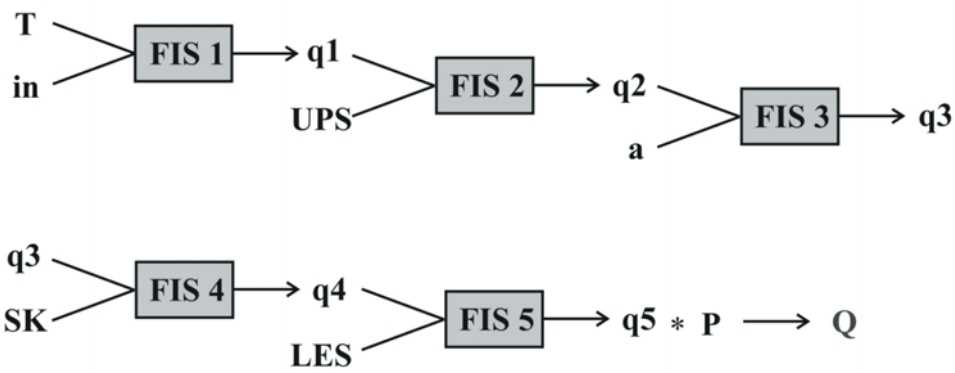
– doba trvání srážky [min] …….. *T*

– průměrná intenzita příčinné srážky [mm.h^{-1}] … *in*

– ukazatel předchozí srážky ……. *UPS*

Výstupní veličinou je kulminační odtok vody z povodí *Q* [m^3.s^{-1}], případně stupeň ohroženosti povodí.

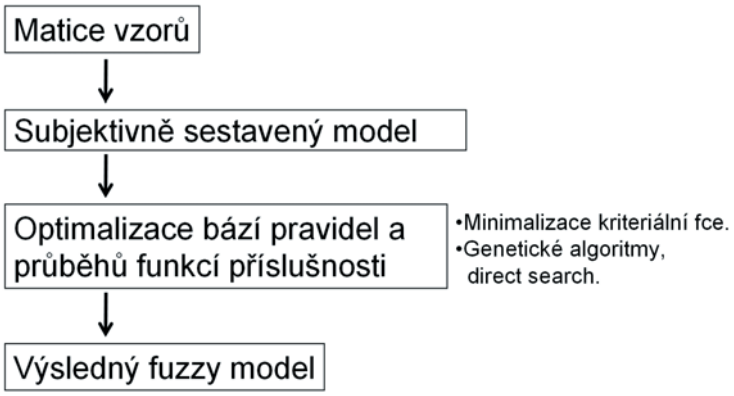
Zvolených sedm vstupních veličin lze do modelu zapojit více způsoby. Vstupy lze všechny zapojit do jednoho FIS, nebo lze vytvořit soustavu více FIS, které na sebe navazují, a vstupy zapojovat postupně. Na Obr. 1 je znázorněna sekvence struktury modelu použitého pro zmíněnou simulaci provozu.



Obr. 1: Schéma sekvence 5 FIS

Na obrázku 1 značí *q1*,…,*q5* dílčí specifické odtoky vody z povodí v jednotlivých fázích výpočtu a *Q* výsledný kulminační odtok.

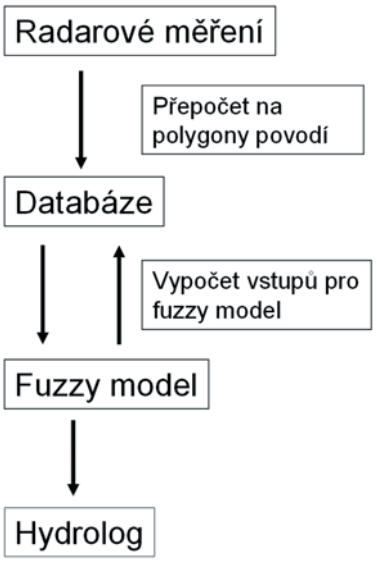
Sestavení modelu vychází z matice vzorů (u neuronových sítí mluvíme o tréninkové matici). Matice vzorů přiřazuje hodnoty výstupní veličiny různým kombinacím hodnot vstupních veličin. Získáme jí rozborem povodňových situací, které nastaly v minulosti. Reprezentativnost matice vzorů má stěžejní vliv na kvalitu výsledného modelu. Sestavení modelu a možnosti kalibrace jsou podrobně popsány v [2]. Postup lze shrnout následujícím schématem.



Obr. 2: Schéma sestavení fuzzy modelu

V praxi by měl model navazovat na nowcasting srážek a v obdobích hrozících přívalových povodní poskytovat hydrologům odhady ohroženosti povodí. V současnosti probíhá testování

modelu na brněnské pobočce ČHMÚ, kde by měl být v budoucnu provozován. Operativní provoz modelu vyžaduje rychlé získání vstupní dat. Vstupní veličiny charakterizující morfologii povodí jsou připravené předem pro celou množinu modelovaných povodí, zbývající vstupy se musí získat z měřených a předpovídaných dat. Za účelem přenosu a zpracování radarových odhadů srážek byla vytvořena databáze, která obsahuje různé produkty radarového měření srážek pro jednotlivá modelovaná povodí a další data potřebná pro provoz modelu. Databáze poskytuje možnost archivace jak vstupních veličin, tak i výstupů modelu a je tak nezbytná pro ladění modelu v průběhu provozu. Operativní provoz modelu lze shrnout schématem na Obr. 3.



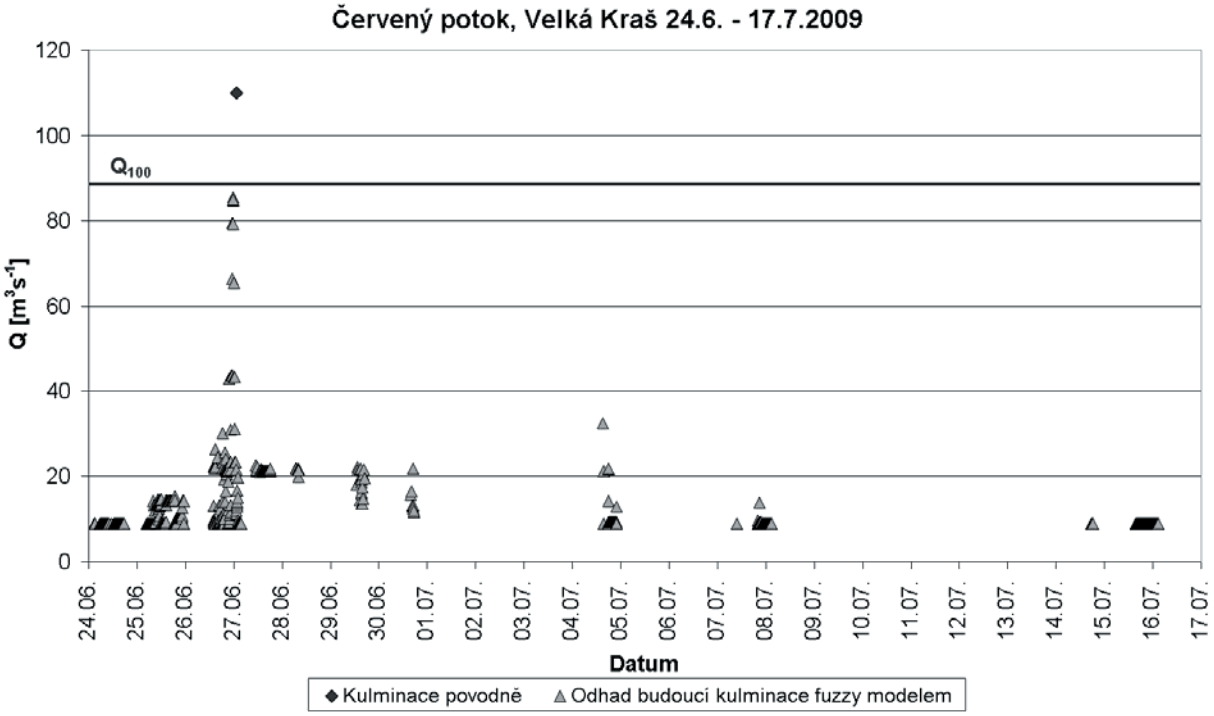
Obr. 3: Schéma operativního provozu modelu.

Výpočet probíhá v časovém kroku pěti minut. Proces operativního získávání hodnot vstupních veličin je popsán v [4].

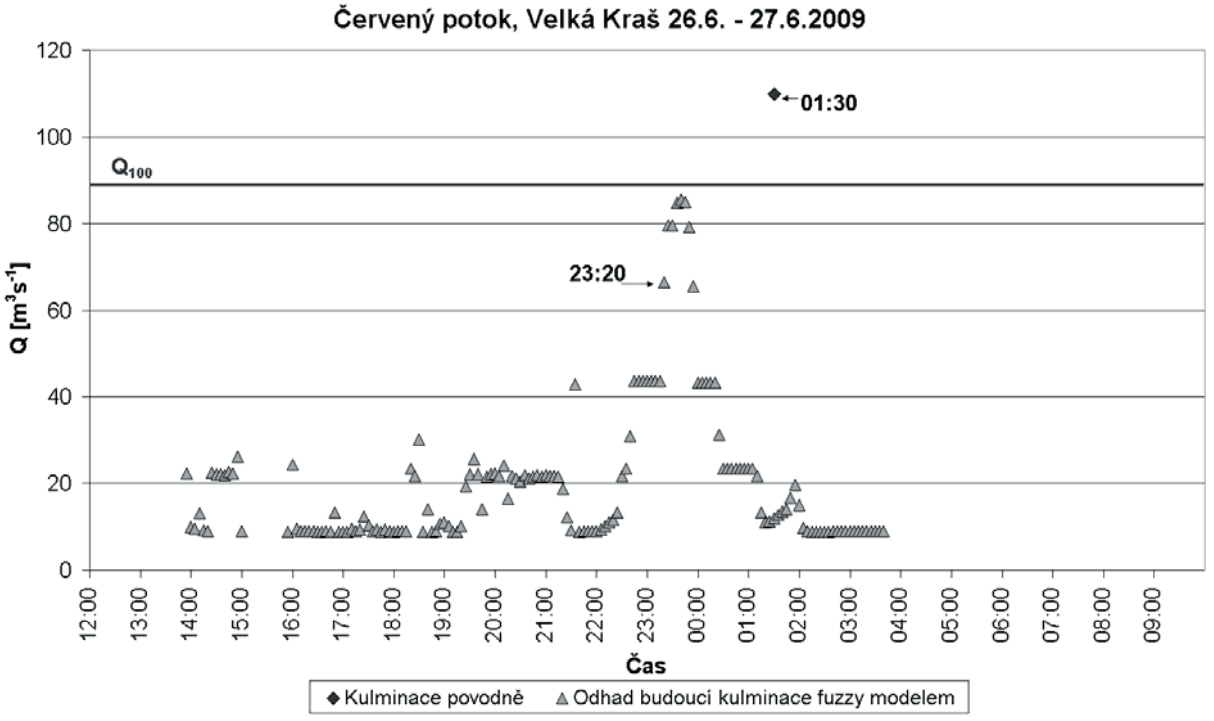
3. Výsledky

Pro období od 24. 6. 2009 do 17. 7. 2009 byla provedena zpětná simulace operativního provozu modelu. Během tohoto období bylo území ČR zasaženo četnými přívalovými srážkami. Využita byla předpověď srážek na 180 minut dopředu. Výpočet probíhal v pětiminutovém kroku. Na obrázcích 4 a 5 jsou uvedeny výstupy modelu pro povodí Červeného potoka se závěrovým profilem ve stanici Velká Kraš. Z měřených hodnot byla za sledované období k dispozici pouze hodnota kulminace 27. 6. 2009, která přesáhla hodnotu 100leté vody. Obr. 4 zachycuje celé simulované období a Obr. 5 přináší bližší pohled na povodeň z noci na 27. 6. Model poskytuje odhady budoucích kulminací a blíže nespecifikuje kdy přesně nastanou. Zmiňme ještě, že nejde o spojité modelování, model v každém časovém kroku znovu zhodnotí situaci na základě aktualizovaných dat bez jakékoli návaznosti na výpočet v předešlém kroku.

Další výsledky simulace operativního provozu lze nalézt v [4], kde jsou uvedeny výsledky pro povodí Jičínky a Fryšávky.



Obr. 4: Výsledky simulace operativního provozu modelu pro povodí Červeného potoka za celé simulované období.



Obr. 5: Výsledky simulace operativního provozu modelu pro povodí Červeného potoka 26. 6. – 27. 6. 2009.

4. Závěr

Fuzzy model navazuje na nowcasting srážek. Úspěšnost předpovědi srážek udává i úspěšnost předpovědi kulminačních průtoků fuzzy modelem. Při simulaci operativního provozu modelu se objevovaly i falešné alarmy. Při simulaci bylo využito předpovědi srážek na 180 minut dopředu. Zkrácením předpovědi na 120 minut lze očekávat nižší počet falešných alarmů, jelikož úspěšnost nowcastingu srážek rychle klesá s rostoucí dobou platnosti předpovědi. Zkrátí se tím ovšem i možný předstih předpovědi před kulminací povodně. Model je kromě verze určené pro operativní provoz, využívající databázi a skripty pro operativní výpočet vstupních hodnot, připraven i ve verzi umožňující přímé zadání hodnot vstupních veličin. Tuto verzi lze použít k odhadu budoucích kulminací pro libovolná povodí, pro které jsou známy hodnoty vstupních veličin. Na začátku řešení se uvažovalo o vytvoření modelu, který by byl univerzální a byl schopný vydávat předpovědi pro libovolná povodí v rámci povodí Moravy. Do simulace operativního provozu byla zahrnuta již poměrně rozsáhlá množina povodí, rozkládající se na velkém území. S rozšiřováním množiny modelovaných povodí roste i obtížnost sestavit model tak, aby podával uspokojivé výsledky na všech povodích. Vztahy mezi vstupy a výstupem modelu se pro vzdálená povodí mohou lišit vlivem dalších charakteristik nepostihnutých zvolenými vstupními veličinami. Řešením může být zavedení dalších vstupů, které by zohlednily např. vliv podloží. Fuzzy model je otevřený pro dodatečné přidání dalších vstupních veličin, případně obměnu těch stávajících. Přidané vstupy však zvyšují počet parametrů, které je třeba nastavit kalibrací a snižují přehlednost modelu. Z dnešního pohledu se jeví jako nadějnější řešení sestavení více fuzzy modelů pro menší skupiny povodí případně sestavení samostatného modelu pro každé povodí z množiny modelovaných povodí. Skupiny povodí by měly být tvořeny povodími s podobnou hydrologickou reakcí na srážku, jejich velikost a rozmístnění vyplyne z výsledků operativního provozu.

Literatura

[1] NACHÁZEL, K. – STARÝ, M. – ZEZULÁK, J., 2004. Využití metod umělé inteligence ve vodním hospodářství. Praha, Academia, ISBN 80-200-02229-4.

[2] JANÁL, P. – STARÝ, M., 2009. Fuzzy model pro předpověď stupně ohroženosti povodí povodněmi z přívalových dešťů. Journal of Hydrology and Hydromechanics, roč. 57, č. 3, s. 145–153. ISSN 0042-790X.

[3] JANÁL, P. – STARÝ, M., 2009. Fuzzy Model Use for Evaluation of Peak Outflow from River Basin during Flash Flood. In: *Proceedings of the tenth international conference on computing and control for the water industry.* Sheffield, pp 725–729. ISBN 978-0-415-54854-9.

[4] JANÁL, P. – STARÝ, M., 2010. Předpověď povodní z přívalových dešťů – fuzzy model. In: *Sborník workshopu A. Patery 2010 – extrémní hydrologické jevy v povodích.* Brno.

[5] MATLAB. 2010.Fuzzy Logic Toolbox – Neuro Toolbox,The Language of Technical Computing. The MathWorks, 1984-2010.

Kontakty na autora

1 Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, e-mail: petr.janal@chmi.cz

2 Vysoké učení technické v Brně, Ústav vodního hospodářství krajiny, e-mail: stary.m@fce.vutbr.cz