

Předpověď přívalových povodní – Fuzzy model

Flash Floods Forecasting – Fuzzy Model

Petr Janál

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno

Abstrakt

Fuzzy model představuje nástroj na predikci povodní z přívalových dešťů založený na metodách umělé inteligence. Tvoří jeden z možných přístupů k řešení této obtížné úlohy operativní hydrologie. Přímo navazuje na nowcasting srážek a je schopen poskytnout prvotní informaci o možné hydrologické odezvě. V současné době je testován v plném provozu pro celou ČR.

Klíčová slova: Přívalové povodně, Fuzzy logika, operativní hydrologie.

Abstract

Fuzzy model is a tool for prediction of flash floods based on artificial intelligence methods. It represents one of the possible approaches to this difficult part of operative hydrology. Model directly follows the precipitation nowcasting and is able to provide one with early information about potential hydrological response. Currently, Fuzzy model is being tested in full operation covering the whole area of the Czech Republic.

Keywords: Flash Floods, Fuzzy Logic, Operative Hydrology

Úvod

Předpověď povodní z přívalových dešťů představuje pro odborníky z oblasti operativní hydrologie velkou výzvu. Výrazná prostorová i časová dynamika příčinných přívalových srážek vnáší do problematiky značnou míru neurčitosti, kterou se nám pravděpodobně v dohledné době nepodaří dostatečně eliminovat a musíme s ní počítat jak v procesu předpovědi, tak při interpretaci výsledků. Hlavním produktem operativní hydrologické předpovědi povodní z přívalových srážek je v rámci Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) Indikátor přívalových povodní (Flash Flood Guidance) [1]. Paralelně je však pozornost věnována i vývoji dalších nástrojů jako využití stávajících hydrologických modelů používaných v hlásné a předpovědní povodňové službě (HPPS). Zde je samozřejmě potřeba přistoupit k mnohem podrobnější schematizaci povodí a v současné době je tento přístup testován pouze na množině vybraných malých povodí a nepokrývá celou republiku [1]. Fuzzy

model, který je předmětem článku, je dalším nástrojem vyvíjeným na ČHMÚ. Jak už název modelu napovídá, jde o řešení založené na metodách umělé inteligence. Nejedná se o tak robustní nástroj, jakým je např. Flash Flood Guidance. Výhodami fuzzy modelu je především rychlost výpočtu, která umožňuje vyhodnotit možnost vzniku přívalové povodně na základě posledních dostupných vstupních dat, a to ve více variantách. V kontextu v současnosti probíhající klimatické změny získává na významu schopnost adaptivity na měnící se podmínky. Sestavení fuzzy modelu vychází z reálných epizod (2009-2018), které jsou neustále doplňovány a model tak dokáže reflektovat případné změny ve srážkoodtokovém procesu. Obtížnost předpovědi přívalových srážek a následně přívalových povodní přímo vyžaduje využití více nástrojů, a proto pestrost přístupů k řešení této úlohy je jediné ku prospěchu věci.

Metoda

Proces vytváření hydrologické předpovědi lze rozdělit do třech základních kroků:

1. Příprava vstupních dat
2. Výpočet hydrologického modelu
3. Publikace předpovědi

Oproti standardním hydrologickým předpovědím, myšleno předpovědím v rámci HPPS pro předpovědní profily, vyžaduje problematika přívalových povodní specifický přístup. V prvním kroku, přípravě vstupních dat, jsou při standardní hydrologické předpovědi měřená vstupní data kontrolována jak automaticky tak manuálně. Měřené srážky vycházejí zpravidla z kombinace srážkoměrného a radarového měření. Uvažuje se více variant předpovídaných srážek (z dostupných numerických modelů počasí) a konzultacemi s meteorologem je možno stanovit nejpravděpodobnější variantu budoucího vývoje srážek. V případě předpovědi přívalových povodní je vzhledem k nutnosti co nejkratšího intervalu aktualizace předpovědi (5-10 minut) manuální kontrola či úprava vstupních dat nereálná a celý proces musí být plně automatizovaný. Měřené srážky jsou zde odvozovány z radarového měření (a tudíž mohou být značně nadhodnocené či naopak podhodnocené). Předpovědi srážek vycházejí z extrapolace radarového echa (tzv. nowcastingu) a jsou zatíženy velmi velkou mírou nejistoty (extrapolace např. nepostihuje vznik nových a zánik stávajících bouřkových buněk). Různé varianty předpovědi srážek lze uvažovat v rámci možných dostupných variant výpočtu nowcastingu.

V druhém kroku spočívá při standardní hydrologické předpovědi práce hydrologa v adaptaci modelu na danou srážkoodtokovou situaci. Parametry modelu se upravují tak, aby došlo k co

nejlepší shodě měřených a simulovaných průběhů průtoku a následuje odhad budoucí průtokové situace v sledovaných říčních profilech. Při predikci přívalových povodní není možné vzhledem k vysoké míře nejistoty vstupních dat a především z časových důvodů dělat jakékoli úpravy parametrů hydrologického modelu v reálném čase. Hydrolog je odkázán na automatické výsledky výpočtů. Model je možné upravit pouze zpětně (pokud se např. ukáže, že vykazuje příliš mnoho falešných alarmů nebo opakovaně nepředpovídá povodně v dané lokalitě, ačkoliv vstupní srážková data odpovídají skutečnosti). Je třeba ovšem zdůraznit fakt, že přívalové povodně se vyskytují náhodně a pokud nezasáhnou povodí s vodoměrnou stanicí či nejsou příliš extrémní, nemusíme se o nich ani dozvědět.

Standardní hydrologické předpovědi jsou publikovány na internetu, aktualizovány zpravidla dvakrát denně, v případě povodňové situace častěji dle potřeby, v tomto případě jsou publikovány povodňové zprávy, kde je slovně popsán aktuální stav i očekávaný vývoj. Publikace předpovědi přívalových povodní je stále předmětem diskuze – především vzhledem k velmi vysoké nejistotě výsledných předpovědí. V současné době je v testovacím provozu na webových stránkách ČHMÚ zprovozněn systém FFG [1]. Výsledky z Fuzzy modelu jsou zatím předmětem výzkumu a nejsou veřejnosti k dispozici.

Výše zmíněné nejistoty vstupních měřených a předpovídaných dat tvoří pouze část všech nejistot, které ovlivňují předpověď přívalové povodně. Problém spočívá v tom, že v současné době nejsme schopni vstupní data významněji zpřesnit, což je i hlavní motivací pro použití metod umělé inteligence.

Teorii fuzzy logiky lze nalézt např. v [5]. Principy sestavení modelu jsou uvedeny např. v [3]. Zde uvedeme pouze stručný popis současné verze modelu a zaměříme se na jeho operativní provoz. Modelem je pokryto celé území ČR s určitým přesahem do pohraničních oblastí sousedních států dle rozvodnic dílčích povodí. Zájmové území je rozděleno do malých povodí o průměrné velikosti cca 30 km², celkem jde o 3245 malých povodí. Pro každé z nich jsou počítány vstupní veličiny jako průměrné hodnoty na ploše. Model v současnosti sestává ze dvou fuzzy inferenčních systémů (FIS). První FIS, sestavený dr. Ježíkem, slouží k určení náchylnosti dílčích malých povodí ke vzniku přívalové povodně, kde vstupními daty jsou charakteristiky jednotlivých povodí, více je uvedeno v [4]. Druhý FIS již tvoří operativní model a má 4 vstupní veličiny.

- Potenciální náchylnost povodí ke vzniku přívalové povodně
- Průměrná intenzita srážky

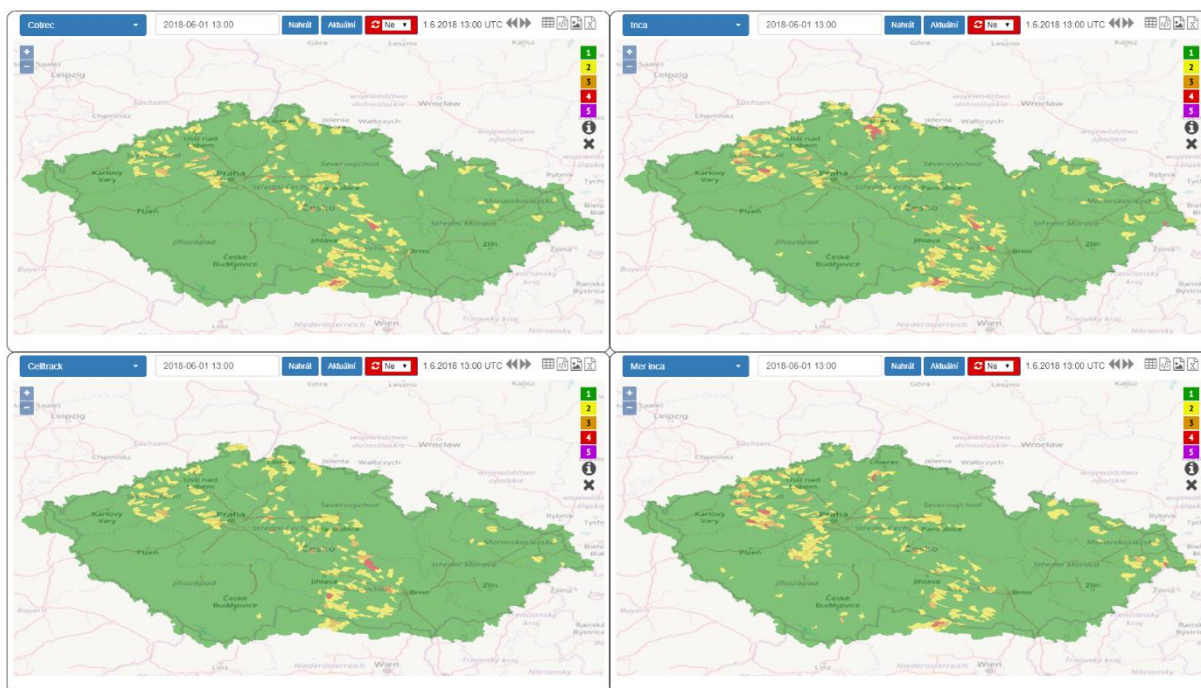
- Délka trvání srážky
- Index předchozí srážky

Hodnoty první vstupní veličiny (náchylnosti k přívalové povodni) jsou dopředu spočítané pro celou síť povodí pomocí prvního FIS [4] a v čase jsou neměnné. Aktualizaci je vhodné provést v případě dostupnosti přesnějších či aktuálnějších charakteristik povodí, nebo na základě zpětného hodnocení výsledků modelu. Zbylé tři vstupní veličiny (charakteristiky srážky) jsou operativně počítány pro celou síť povodí v každém výpočetním kroku. Jako předpověď srážek je uvažována extrapolace radarového echa (nowcasting srážek) různými metodami. Časový krok metody nowcastingu srážek pak určuje krok aktualizace výpočtu fuzzy modelu pro daný produkt. V každém výpočetním kroku model pracuje s časovým intervalem 5 hodin, kdy uvažuje 2 hodiny historie a 3 hodiny nowcastingu srážek, podrobněji popsáno v [3]. V současnosti jsou uvažovány následující produkty nowcastingu srážek [2],[6]:

- COTREC (časový krok 5 minut)
- CELLTRACK (časový krok 10 minut)
- INCA (časový krok 10 minut)

Mimo to je fuzzy model počítáný ve variantě bez nowcastingu srážek, kdy na vstupu uvažuje pouze měřenou srážku (adjustovaný radarový odhad). Index předchozí srážky je počítán klouzavě v každém kroku výpočtu.

Výstupem modelu je míra nebezpečí vzniku přívalové povodně (na intervalu 0-1) pro každé z 3245 dílčích povodí. Ta jsou navzájem hydrologicky provázána ve smyslu, že nebezpečí se propaguje směrem po toku a postupně se vytrácí. Čas výskytu povodně není předmětem výpočtu a bere se, že nebezpečí hrozí v nejbližší době. Délka předstihu varování závisí na délce uvažovaného nowcastingu srážek. Na výstupním intervalu $\langle 0,1 \rangle$ představuje 0 žádné nebezpečí a 1 nebezpečí 100leté a větší povodně. Na intervalu je definována škála 5ti stupňů ohrožení, které jsou pak prezentovány prostřednictvím aplikace Fuzzy Flash Flood, viz obr. 1.



Obr. 1 Ukázka aplikace Fuzzy Flash Flood.

Každých 5 resp. 10 minut (dle uvažovaného nowcastingu srážek) máme k dispozici variantní hydrologickou předpověď nebezpečí ve formě mapy ohrožených ploch. Lze tak využít nejaktuálnějších vstupních srážkových dat a získat okamžitou (prvotní) informaci o možné hydrologické odezvě.

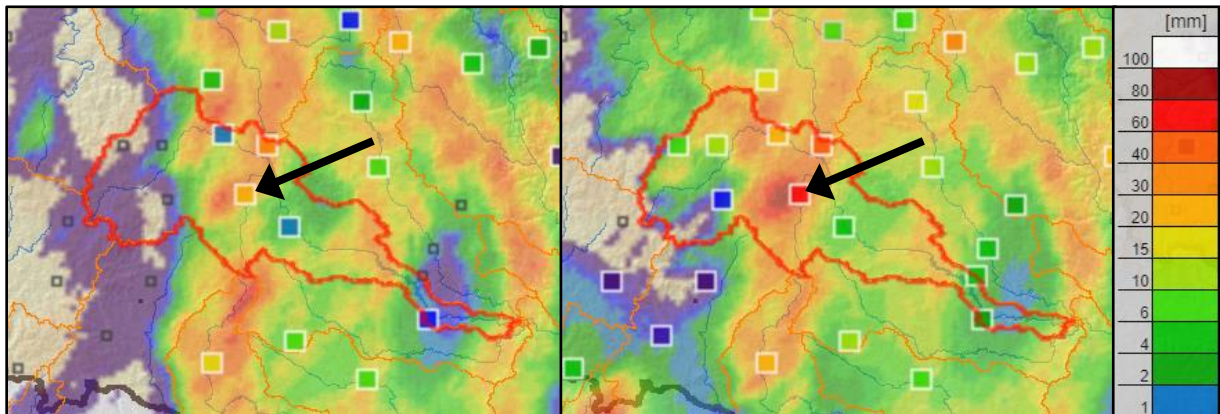
Ukázka výstupů - povodeň v povodí Brtnice 1. 6. 2018

1. června 2018 zasáhla město Brtnice přívalová povodeň. Voda zatopila přibližně 20 domů a napáchala škody za několik milionů korun. Vodoměrná stanice na stejnojmenném toku v zasažené obci ukazovala pouze překročení 1. stupně povodňové aktivity, což však neodpovídá vzniklým majetkovým škodám. Na vyhodnocení povodně v současné době pracují hydrologové brněnské pobočky ČHMÚ.

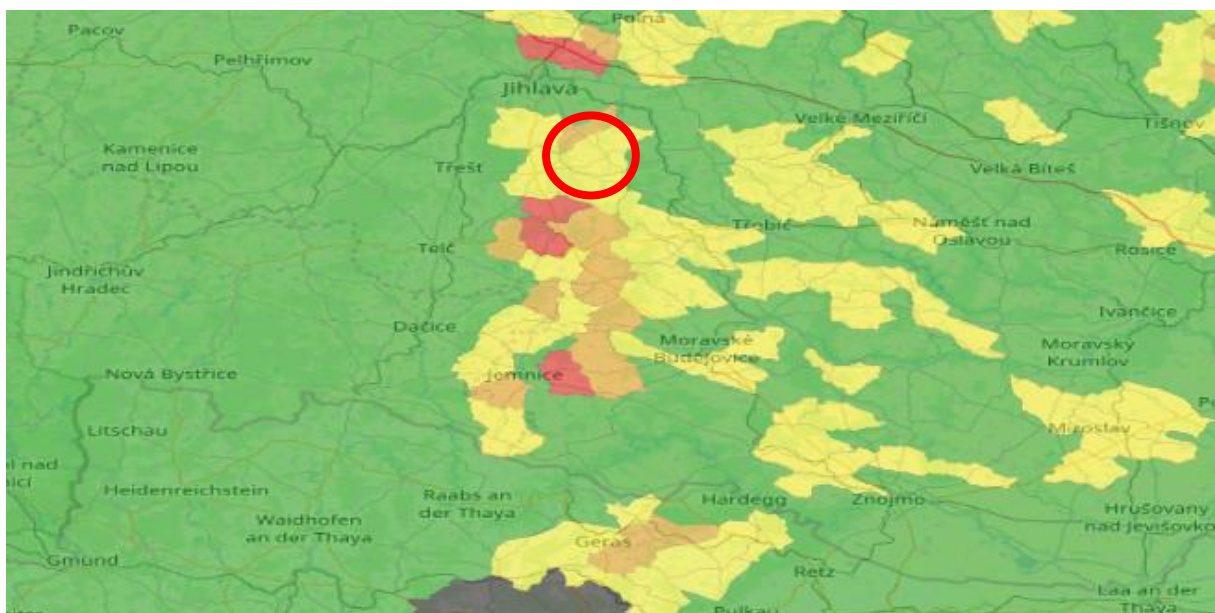
Příčinná srážka zasáhla povodí Brtnice v odpoledních hodinách, nejvíce srážek spadlo přibližně mezi 13 a 14 UTC. Nejvyšší naměřený srážkový úhrn činil asi 65 mm, podle kombinace radarového a srážkoměrného měření napršelo místy až 90 mm srážek (viz obr. 2).

Podle operativních výsledků Fuzzy modelu bylo v povodí Brtnice v několika po sobě jdoucích termínech signalizováno nebezpečí výskytu přívalové povodně (stupně 3 a 4) – na obr. 3 je ukázka výstupu produktu založeného na nowcastingu srážek metodou COTREC z 13:35 UTC. Výsledky jsou prvotní a poměrně slibné, mají však zatím pouze ilustrativní charakter.

Je nutné provést podrobnou analýzu vstupních a výstupních dat a případně provést korekce modelu.



Obr. 2 Adjustovaný radar 3h suma k 13:30 UTC (vlevo), kombinace radarového a srážkoměrného měření - 6h suma k 17:00 UTC (vpravo). Červeně je vyznačena hranice povodí Jihlavy, černá šipka ukazuje polohu města Brnice.



Obr. 3 Ukázka výstupu aplikace Fuzzy Flash Flood – produkt založený na nowcastingu srážek metodou COTREC 1.6.2018 v 13:35 UTC. Červeně jsou zobrazena nejvíce ohrožená povodí (stupeň 4), zeleně jsou povodí bez ohrožení (stupeň 1). Červeným kroužkem je vyznačena oblast s výskytem zmíněné přívalové povodně. V okolí došlo dle informací HZS rovněž k zatopení dalších lokalit.

Diskuze

Snaha předpovídat přívalové povodně vychází z možností, jaké má v současné době ČHMÚ k dispozici. Ještě před 15ti lety byla predikce přívalových povodní nemožná. Avšak rozvoj

radarového měření srážek a především srážkového nowcastingu přinesl určité možnosti předpovědi i takto rychlých přírodních katastrof.

Úspěšnost predikce přívalové povodně je přímo závislá na přesnosti radarového odhadu srážek a následně nowcastingu. Při konvektivní situaci může být chyba měření srážek radary i desítky procent (což platí i v případě srážkoměrů), chyba nowcastingu může být samozřejmě ještě vyšší. Nelze se tedy spoléhat na konkrétní čísla – která jsou vlastně „vždy špatně“ (navíc v dohledné budoucnosti nemůžeme očekávat jejich výrazné zpřesnění). Podstatou predikce přívalových povodní je vyhodnocení srážkoodtokové situace a odhad míry nebezpečí vzniku přívalové povodně **v reálném čase** s využitím veškerých dat, která máme aktuálně k dispozici. Přitom si musíme uvědomit, že vývoj konvekce je velmi rychlý a tudíž i míra rizika vzniku přívalové povodně může být v po sobě jdoucích časových intervalech (5-10 minut) zcela odlišná. Samozřejmostí je velké množství falešných alarmů, ale hrozí i promeškání povodně.

Metody umělé inteligence jsou pro práci s takto nejistými daty vhodnou volbou. Významnou výhodou fuzzy modelu je **rychlost výpočtu**. Model je schopen v kroku 5ti minut určit míru nebezpečí vzniku přívalové povodně pro tisíce malých povodí v celé ČR – a to pro několik variant vstupních dat. Ve výpočtu je zahrnut i proces přípravy srážkových vstupních dat, který je časově nejnáročnější.

System je plně funkční a běží v testovacím provozu na brněnské pobočce a výstupy jsou operativně sdíleny v rámci ČHMÚ. V současné době se provádí verifikace modelu – k tomu je však nutné mít k dispozici reálné srážkoodtokové epizody. Jak již bylo zmíněno, verifikace je velmi náročná, protože vzhledem k lokálnosti přívalových povodní máme jen omezenou zpětnou vazbu, o řadě z nich se nemusíme vůbec dozvědět. Situaci usnadňují informace od Hasičských záchranných sborů (které má ČHMÚ k dispozici), kde jsou zaznamenány i výjezdy v souvislosti s lokálními zátopami. Prospěšná by byla jistě i aktivní komunikace s veřejností.

Za jakých okolností lze tedy přívalovou povodeň předpovědět? Podstatou všeho je přesnost radarového měření srážek a také „ideální“ pohyb konvektivních buněk, který lze dobře předpovídat pomocí extrapolace radarového echa. Pokud je radarové měření srážek (a následně předpověď) podhodnocené, hydrologická předpověď nutně selže. Pokud je nadhodnocené, roste počet falešných alarmů.

Nabízí se otázka, zda má - vzhledem k výše naznačeným nejistotám - vůbec smysl předpovídat přívalové povodně. Předstih předpovědi může činit maximálně několik desítek minut. Povodni samozřejmě nelze zabránit. Musíme si však uvědomit, že v extrémních případech se nejedná o problém zatopení sklepů, ale o ochranu lidských životů. Během několika desítek minut lze jistě alespoň opustit místa blízko vodního toku.

Způsob varování obyvatel je stále předmětem diskuze. Publikace předpovědí na internetu je v případě přívalových povodní nedostačující. Pokud bychom byli v budoucnu schopni varovat přímo obyvatele v ohrožené obci, je zároveň nutné vytvořit strategii, jak mají v takovém případě jednat.

Závěr

Fuzzy Flash Flood model je nástroj pro predikci přívalových povodní, který využívá metody umělé inteligence pro vyhodnocení míry rizika vzniku přívalové povodně na malých povodích. Model běží v testovacím provozu na brněnské pobočce ČHMÚ a výsledky jsou prostřednictvím aplikace Fuzzy Flash Flood k dispozici všem pobočkám ústavu v rámci interní sítě. Podle dosavadních výsledků model dobře reaguje na příčinnou srážku. Další práce jsou zaměřeny na verifikaci modelu podle skutečných srážkoodtokových epizod a případné úpravy parametrů modelu či charakteristik dílčích povodí.

Literatura

- [1] Daňhelka, J, Janál, P., Šercl, P. a kol. (2015): Možnosti predikce přívalových povodní v podmínkách České Republiky, Edice Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu, Praha, 50 s., ISBN 978-80-87577-27-1, ISSN 0232-0401
- [2] Haiden et al. (2011): The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) system and its validation over the Eastern Alpine region. *Weather Forecasting*, 26.
- [3] Janál, P., Starý, M. (2012): Fuzzy model used for the prediction of a state of emergency for a river basin in the case of a flash flood – part 2, *J. Hydrol. Hydromech.*, Vol. 60, No. 3, p. 162–173.
- [4] Ježík, P. (2015): Využití vybraných metod umělé inteligence pro nalezení malých povodí nejvíce ohrožených povodněmi z přívalových dešťů. Brno, 95 s. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny.

- [5] Nacházel, K., Starý, M., Zezulák, J. (2004): Využití metod umělé inteligence ve vodním hospodářství, Academia, nakladatelství Akademie věd České republiky, Praha, ISBN 80-200-02229-4.
- [6] Novák, P. (2007): The Czech Hydrometeorological Institute's Severe Storm Nowcasting System. Atmospheric Research, 83, pp. 450–457.

Kontakt

Ing. Petr Janál, Ph.D.

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Kroftova 43, 616 67 Brno

Tel.: +420 541 421 020

Email: petr.janal@chmi.cz