NEJISTOTA OPERATIVNÍCH HYDROLOGICKÝCH PŘEDPOVĚDÍ V ZÁVISLOSTI NA VSTUPUJÍCÍ PŘEDPOVĚDI SRÁŽEK V POVODÍ LABE

Jan Daňhelka

Příspěvek se zabývá problematikou nejistoty v operativním hydrologickém předpovědním procesu. Popsány jsou různé zdroje nejistoty hydrologických předpovědí a některé používané hydrologické předpovědní prostředky. Hlavní částí práce je vyhodnocení vydávaných předpovědí srážek (QPF) modelu ALADIN pro potřeby hydrologických předpovědí. Na základě statistického zhodnocení odchylek QPF a průměrných srážek na hodnocená povodí (MAP) byly odvozeny křivky pravděpodobnosti překročení „chyby" předpovědi srážek pro různé velikostní a časové intervaly pro celkem 88 povodí v povodí Labe. S jejich pomocí jsou generovány umělé srážkové ensembly na základě deterministické předpovědi srážek a následně také hydrologické ensembly. Výsledkem je pravděpodobnostní vyjádření nejistoty hydrologické předpovědi dané nejistotou vstupující předpovědi srážek.

Klíčová slova: Hydrologická předpověď, nejistota, kvantitativní předpověď srážek – QPF, povodí Labe

Operational hydrological forecast uncertainty due to inputting precipitation forecast in Elbe River basin. *Paper describes the question of uncertainty in operational forecasting. The major sources of uncertainty are mentioned. Evaluation of precipitation forecast (QPF) of NWS ALADIN was made using statistical approach. Differences of QPF to observed precipitation was expressed using probability exceedence curves for different time intervals, value intervals and totally 88 catchments within the Elbe River basin. Results were used to post process the deterministic QPF to produce alternative probabilistic precipitation inputs for hydrological forecasting. Using that the probabilistic background of the hydrological forecast is produced.*

Key words: Hydrological forecast, uncertainty, Quantitative precipitation forecast – QPF, Elbe river basin

---

1. ÚVOD

Operativní vydávání hydrologických předpovědí se potýká s problematikou nejistoty výsledků. Otázka kvantifikace a vyjádření nejistoty je jedním z hlavních témat současného aplikovaného hydrologického výzkumu. Výsledná nejistota hydrologické předpovědi je dána různými faktory, které lze rozdělit do tří skupin (Krzysztofowicz 2001a, 2001b, 2002).

Operativní nejistota je představována neočekávanými událostmi v povodí (například protržením hrází, ledovými zácpami), ale také „nekvantifikovatelným" vlivem hydrologa na výsledek předpovědi. Hydrolog vstupuje do výpočtu zejména při zpracování dat, při interaktivních úpravách parametrů a počátečních podmínek modelu a při updatingu výsledku předpovědi tak, aby odpovídal pozorovaným hodnotám.

Hydrologickou nejistotou se rozumí především vliv nepřesností kalibrace parametrů modelu, přenášených počátečních podmínek, vlastní nepřesnost (zjednodušení) rovnic používaných modelem. Dále je do této skupiny řazena nepřesnost dalších používaných hydrologických nástrojů a technik – tedy například nepřesnost vlastního měření vodních stavů, nepřesnost konsumpční křivky atd.

Vstupní nejistota, která hraje v našich podmínkách nejvýznamnější roli, je reprezentována především nejistotou vstupující předpovědi srážek (QPF). Právě eliminace vlivu nepřesné QPF na výsledek hydrologické předpovědi je cílem různých projektů a studií včetně tohoto příspěvku.

2. VYUŽITÍ QPF V HYDROLOGICKÝCH PŘEDPOVĚDÍCH V POVODÍ LABE

Pro potřeby operativního hydrologického systému AquaLog bylo povodí Labe rozděleno do 22 oblastí na základě orografie a hranic dílčích povodí. Tyto oblasti jsou uvažovány jako meteorologicky kvazihomogenní. Meteorologický model ALADIN při každém svém běhu vypočet průměrnou srážku pro tyto oblasti. Ta pak vstupuje do AquaLogu v šestihodinovém kroku pro 48hodinový předstih. Protože meteorologické modely nejsou schopny dokonale přesné předpovědi srážek v měřítku potřebném pro hydrologické modelování malých horských povodí o ploše někdy pouze okolo 100 km^2, vede zprůměrňování předpovědi na definované oblasti k menší chybě nežli používání primárních výstupů ALADINa s gridem cca 10 km. Přesto stávající stav nelze považovat za dokonalý a je třeba řešit dopad chyb QPF na hydrologické předpovědi. Tento vliv je dokumentován na případě povodně v srpnu 2002 v závěrečné zprávě projektu „Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002“ (ČHMÚ 2004).

3. METODA STATISTICKÉHO ZPRACOVÁNÍ

Cílem celého hodnocení bylo získat pro jednotlivá povodí (respektive mezipovodí) kvantitativní vyjádření nejistoty způsobené použitím QPF v podobě používané v operativním provozu. Takto získané hodnoty pak použít pro možné vytvoření operativní pravděpodobnostní předpovědi průtoků.

Hodnocení bylo provedeno pro českou část povodí Labe při respektování a využití fragmentace na subpovodí na základě jeho konfigurace v rámci hydrologického předpovědního systému AquaLog. Prvním krokem bylo zpracování všech dochovaných předpovědí pro definovaných 22 oblastí za celou dobu od počátku jejich vydávání. Celkově tedy bylo hodnoceno období listopad 2001 až červen 2004.

K určení průměrné srážky na povodí (MAP) byl v našem případě využit samotný systém AquaLog. Ten využívá nejrozšířenější metodu Thiessenových polygonů se zohledněním nadmořské výšky stanic, pro kterou jsou použita veškerá operativně dostupná srážková data (tedy veškeré srážkoměrné stanice s podrobnějším krokem měření, menším než 24 hodin, z měřících sítí ČHMÚ a Podniků Povodí s. p.). Využití operativní sítě navíc dobře simuluje skutečné operativní potřeby a podmínky na něž jsou modely „naučeny“ (nakalibrovány) a s nimiž získávají zkušenosti také obsluhující hydrologové. Jinak řečeno případné budoucí využití a provedené vyhodnocení bude operovat na „homogenním“ datovém setu.

Díky tomu, že při definování předpovědních oblastí byly respektovány i hranice jednotlivých povodí, lze naprosté většině povodí jednoznačně přiřadit příslušnou předpovědní oblast a tedy také vlastní srážkovou předpověď.

Pro zkoumané období 32 měsíců byly porovnány šestihodinové MAP získané z výpočtu AquaLogu s odpovídajícími předpověďmi z modelu ALADIN pro příslušné oblasti. Porovnání bylo provedeno pro celkem 95 povodí odděleně na základě doby předstihu předpovědi – předpokladem je, že s rostoucím předstihem klesá přesnost předpovědi, zároveň však takto dojde k eliminaci vlivu denního chodu srážek. Kromě toho bylo hodnocení prováděno intervalově na základě předpovídané hodnoty. Při předběžném hodnocení osmi vybraných povodí byly odvozeny vhodné intervaly (0; 0.1 – 0.3; 0.4 - 1.0; 1.1 – 3.0; 3.1 – 5.0 a více než 5 mm). Rozmezí intervalů bylo zvoleno tak, aby v každém intervalu došlo k dostatečnému výskytu případů pro statistické zpracování. Proto byla dolní mez nejvyššího intervalu stanovena na 5 mm, ačkoliv z hydrologického hlediska by bylo vhodnější použít ještě větší hodnotu. V takovém případě by však v této kategorii počet výskytů výrazně klesal pod 20 a statistické zpracování by tak bylo bezpředmětné.

Pro všechna hodnocená povodí byly vypočteny odchylky šestihodinových QPF od odpovídajících MAP dle následujících rovnic:

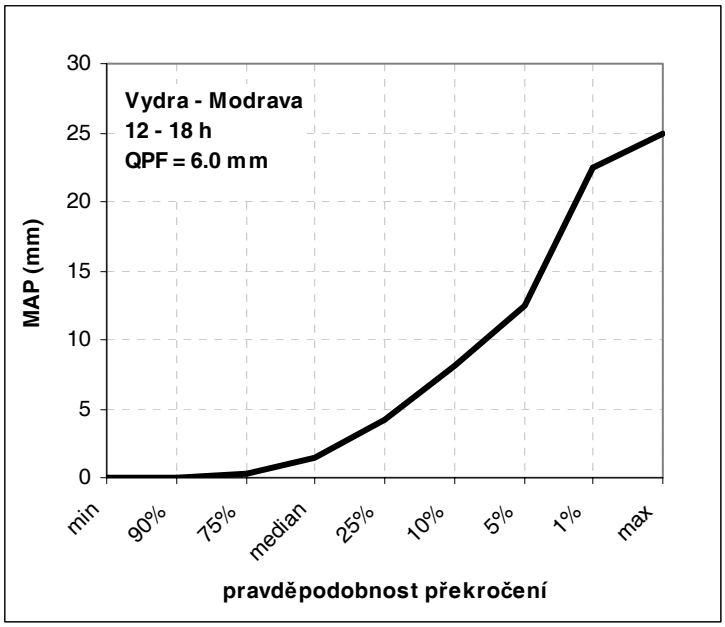
$$\forall(QPF_i = 0) \Rightarrow \quad \delta = MAP_i$$

$$\forall(QPFi > 0) \Rightarrow \quad \delta = \frac{MAP_i}{QPF_i} \tag{1}$$

Kde QPF_i je srážková předpověď pro časový interval i, MAP_i je vypočtená průměrná srážka na příslušném povodí v odpovídajícím intervalu i.

Z hodnocení byly vynechány případy, kdy jedna z hodnot (QPF_i, MAP_i) nebyla známa, stejně tak jako případy časového posunu. V tomto případě byly pro všechny odchylky větší než 500 % zkontrolovány předcházející a následující interval předpovědi a srážkového úhrnu. Pokud předpověď pro aspoň jeden z těchto intervalů byla v dobré shodě s pozorovanými srážkami v původním intervalu (50 až 200 % hodnoty) a zároveň v tomto intervalu nebyly pozorovány odpovídající srážky, bylo předpokládáno, že předpověď množství srážek byla „správná“ a došlo pouze k jejímu časovému posunu oproti realitě a daný případ byl z hodnocení vyloučen.

Statistické rozložení odchylek bylo vyjádřeno prostřednictvím vybraných kvantilů. Pomocí těchto charakteristik je popsáno typické rozložení chyby pro jednotlivá povodí – a tedy získána empirická křivka pravděpodobnosti překročení (obr. 1). Takto získané typické rozložení chyby umožňuje na základě deterministické předpovědi srážek pro zpracovaná povodí vytvořit pravděpodobnostní křivku očekávané „skutečné“ plošné srážky, tedy jakousi post-processingovou pravděpodobnostní předpověď srážek. Pro variantu zobrazenou v obrázku 1 (QPF = 6 mm) můžeme například předpokládat, že s 50 % pravděpodobnostní skutečné srážky dosáhnou pouze 1.51 mm nebo méně. Zároveň ale existuje 10 % pravděpodobnost, že srážky přesáhnou 8.11 mm, respektive 5 % pravděpodobnost překročení 12.46 mm.



Obr. 1 Ukázka křivky pravděpodobnosti překročení pro povodí Vydry v případě předpovědi 6 mm pro interval předstihu 12 – 18 hodin.

Fig. 1 Probability exceedence curve for QPF=6 mmfor Vydra river catchment and forecast period 12 to 18 hours.

Díky tomu, že v posuzovaném období se vyskytuje jak nadnormálně vlhká perioda (srpen 2002 až leden 2003), tak také suché období (červen 2003 až září 2003), lze se domnívat, že tato křivka překročení bude dobře vystihovat dlouhodobé rozložení odchylky QPF od MAP.

Pro detailnější informace o provedených pracích odkazujeme na jiné práce autora podrobněji popisující některé aspekty použité metodiky i dosažených výsledků (např. Daňhelka 2004).

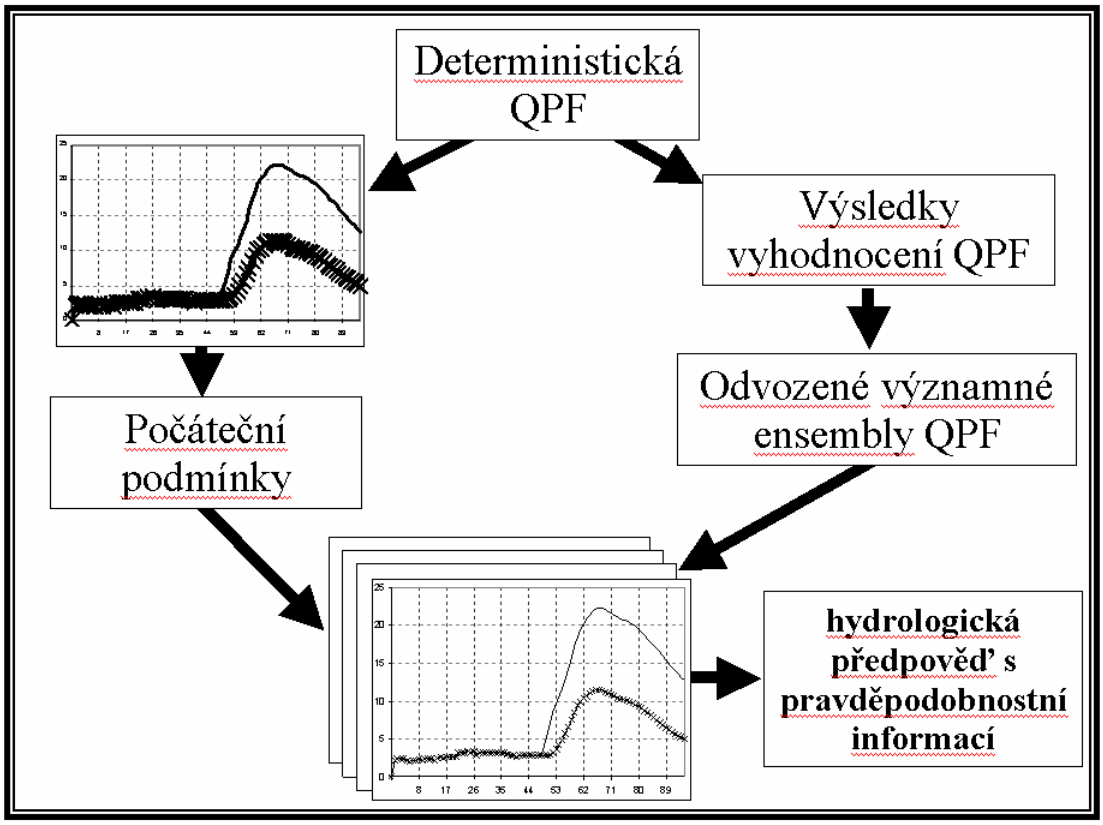
4. PRAVDĚPODOBNOSTNÍ HYDROLOGICKÉ PŘEDPOVĚDI

Existují v zásadě tři přístupy ke tvorbě pravděpodobnostní hydrologické předpovědi na základě QPF. Prvním z nich je využití ensemblových předpovědí srážek přímo vypočtených meteorologickými modely. Příkladem je systém EFFS (European Flood Foreasting System) evropského výzkumného centra v Ispře využívající ensemblů EMWF (European Center for Medium-range Weather Forecast). Druhá metoda spočívá v nahrazení předpovědí srážek historickými pozorovanými srážkovými řadami (analogy) a je používána v systému ESP (Extended Streamflow Forecast) v americké National Weather Service. Tyto metody však nejsou vhodné pro předpovědi v našich podmínkách vyžadující sice kratší předstih, ale operující s velmi malými povodími. Třetím způsobem je pak v této studii použitý postprocessing deterministických QPF.

AquaLog byl navržen a vyvinut pro vydávání deterministických hydrologických předpovědí. Protože však deterministická předpověď bývá jejími uživateli obvykle vnímána jako „jistá“, je přidaná pravděpodobnostní informace velmi důležitá a užitečná pro eliminaci této nesprávné interpretace předpovědí. Použitím výsledků provedeného vyhodnocení jsme schopni vyjádřit nejistotu vstupující QPF, která je hlavním zdrojem celkové nejistoty hydrologické předpovědi v našich podmínkách. Pomocí získaných pravděpodobnostních křivek překročení lze pro hodnocená povodí vytvořit „významné“ ensembly na základě deterministické QPF. A následně je použít jako alternativní QPF vstupy do upraveného deterministického modelu (obr. 2).

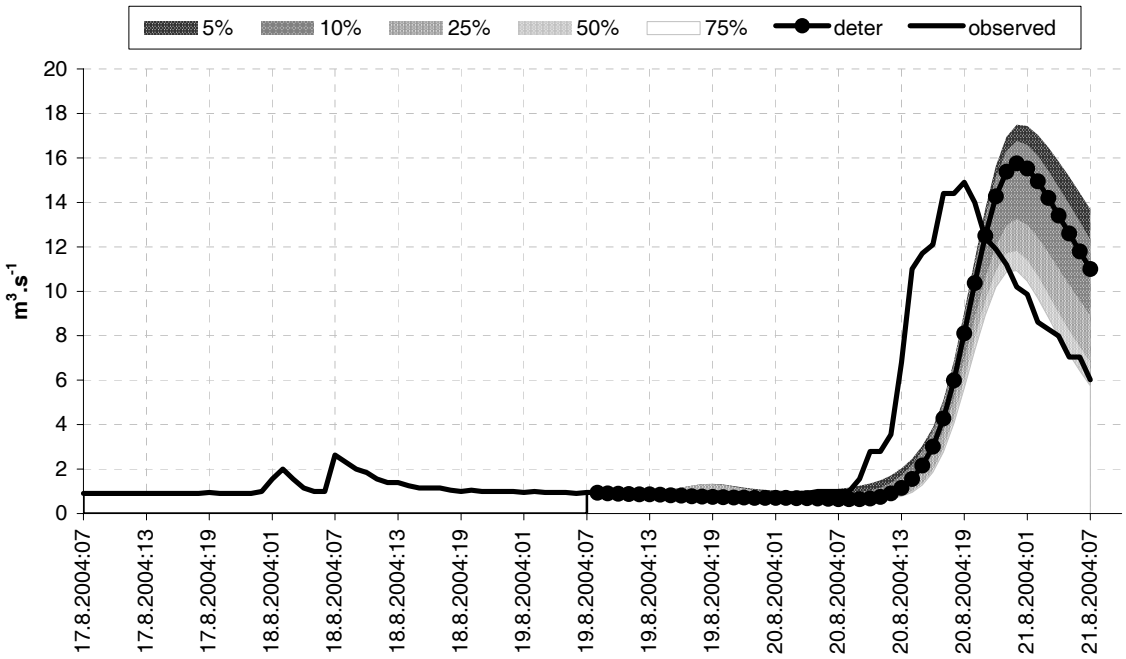
Pro využití v modelu byly vybrány ensembly s pravděpodobností překročení 75 %, 50 %, 25 % a 10 %. Při určitém zjednodušení předpokládáme, že pro odvození těchto ensemblů lze použít příslušné kvantity získané z pravděpodobnostních křivek překročení pro příslušná povodí, časové a velikostní intervaly. Otázkou zůstává, zda z takto získaných ensemblů pro jednotlivé předpovědní intervaly je možné prostým součtem získat odpovídající ensembly pro celé předpovědní období 48 hodin. Proto byl proveden test porovnáním odchylek QPF pro celé 48hodinové předpovědní období s odchylkami pozorovanými v jednotlivých šestihodinových intervalech. Jejich porovnání vykazuje poměrně dobré výsledky, koeficienty determinace jsou velmi vysoké a směrnice regresních přímek se blíží hodnotě 1.0. Je tedy možné akceptovat jistou nepřesnost pro hodnoty směrnice blízké 1.0, respektive vydělit odvozené hodnoty ensemblů pro jednotlivé časové intervaly hodnotou směrnice regresní přímky.

Použitelnost odvozené metody byla testována v operativním provozu pro situaci ze dne 16. října 2004 pro povodí Jizery. V tomto případě kvůli dalším faktorům (přítomnost sněhu v povodí, problematika rozlišení kapalných a pevných srážek v souvislosti s předpovědí teplot) se ukázala metoda jako problematická při použití v situacích zimního typu. Naopak simulace předpovědí pro 19. srpna 2004 ukázala naději na dobrou použitelnost v případě situací letního typu (obr. 3).



Obr. 2 Schéma procesu tvorby pravděpodobnostní hydrologické předpovědi

Fig. 2 Designed probabilistic forecasting process



Obr. 3 Ukázka výstupu s pravděpodobnostní informací

Fig. 3 Forecast output with added probabilistic information

5. ZÁVĚR

Provedené vyhodnocení QPF umožňuje využití jeho výsledků při tvorbě pravděpodobnostní hydrologické předpovědi v povodí Labe a tak k vyjádření nejistoty vydávané předpovědi. Celý proces je v současnosti připravený pouze pro manuální použití a tedy poněkud náročný na čas. Proto je plánován jeho provoz pouze v případech očekávaných potenciálně nebezpečných srážek a pro letní období, kdy rozhodující část celkové nejistoty předpovědi je dána právě nejistotou vstupující předpovědi srážek.

Literatura:

ČHMÚ (2004): Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002 – 2. etapa (aktualizace podle výsledků 3. etapy) – Hydrologické vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002 , ČHMÚ, Praha, 146 s.

Daňhelka, J. (2005): Nejistota operativních předpovědí, Disertační práce, Přírodovědecká Fakulta Univerzity Karlovy, Praha

Daňhelka, J. (2004): Use of QPF for hydrological modelling – a source of error, Proceedings of XXIInd Conference of Danubian countries, Brno, August 31st – September 4th 2004, ČHMÚ, Brno, 10 p.

Krzystofowitcz, R. (2001a): The case for probabilistic forecasting in hydrology, Journal of Hydrology, vol. 249, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, p. 2 - 9

Krzystofowitcz, R. (2001b): Integrator of uncertainties for probabilistic river stage forecasting: precipitation dependent model, Journal of Hydrology, vol. 249, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, p. 69 - 85

Krzystofowitcz, R. (2002): Bayesian system for probabilistic river stage forecasting, Journal of Hydrology, vol. 268, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, p. 16 – 40

Autoři

Jan Daňhelka, ČHMÚ, Na Šabatce 17, 143 06 Praha, danhelka@chmi.cz