VÝVOJOVÉ TRENDY A NÁSTROJE V OPERATIVNÍ HYDROLOGII

Jan Daňhelka[1], Radek Čekal[1]

Abstrakt

Dle vodního zákona předpovědní povodňovou službu v ČR zabezpečuje ČHMÚ ve spolupráci se správci povodí. Pro zabezpečení předpovědní povodňové služby je nezbytná úzká spolupráce meteorologů, hydrologů a vodohospodářů a rozvoj předpovědních metod a nástrojů. Příspěvek rekapituluje vývoj metod, postupů a nástrojů (hydrologické modely, zpracování dat aj.) v posledním období a jeho cílem je přinést komplexní přehled o současném stavu předpovědní služby v ČR.

Příspěvek dále popisuje současný stav automatizace sítí a operativní dostupnosti dat. Dále jsou představeny používané předpovědní systémy AquaLog (pro povodí Labe) a HYDROG (povodí Moravy a Odry). Jsou rovněž prezentovány nástroje ve stádiu vývoje, nebo zkušebního provozu (predikce přívalových povodní, pravděpodobnostní předpovědi, vyhodnocování sněhových zásob aj.).

Na závěr jsou krátce diskutovány formy a způsoby distribuce výstupů předpovědní povodňové služby, její legislativní rámec a také využití předpovědí při zvládání povodní.

Klíčová slova: povodně, operativní hydrologie, předpovědi, hydrologické modely

1. Úvod

V České republice se vyskytují různé typy povodní, což přináší rozdílné nároky na předpovědní nástroje a postupy v hydroprognózní službě. Přívalové povodně, které se v ČR ve velkém množství vyskytly v červnu a červenci 2009, jsou specifické svým velmi rychlým vývojem a velmi nízkou prediktabilitou příčinných konvektivních srážek, kde je problémem nejen předpověď jejich intenzity, ale i časového a především prostorového výskytu. Přitom právě přesné místo výskytu extrémních srážek může rozhodovat o tom, zda přívalová povodeň vůbec vznikne. Od uživatelů předpovědí pak často zaznívá požadavek na konkrétní cílení výstrah před vznikem přívalové povodně pouze do postižených povodní.

Povodně z tání sněhu pak naráží na problém vyhodnocení množství sněhu a jeho vlastností, které ovlivňují intenzitu tání při oblevě. Rozdílné podmínky v období tání, zejména výskyt dešťových srážek, intenzita přímého slunečního záření aj., ovlivňují intenzitu tání, která se může mezi jednotlivými roky velmi výrazně lišit.

Praxe pak klade na hydroprognózní službu zejména požadavky na včasnost a přesnost předpovědí. Důležitým aspektem je vnímání výstupů předpovědí jako celkového produktu bez rozlišování jednotlivých zdrojů nejistoty celkové předpovědi a různých typů povodní.

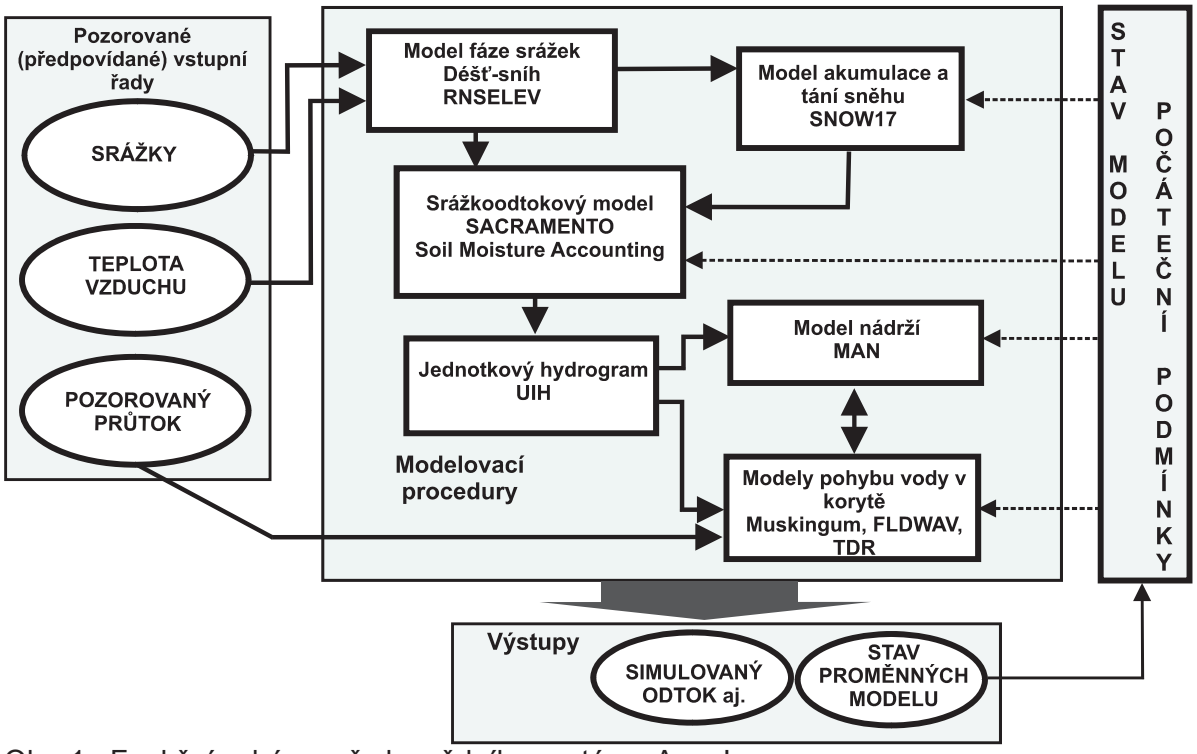
2. Současný stav předpovědní povodňové služby ČHMÚ

Předpovědní povodňová služba ČHMÚ je komplexní systém nástrojů a postupů poskytujících informace pro povodňové orgány a další účastníky systému ochrany před povodněmi v ČR i pro širokou veřejnost. Popsání celého jejího systému není v rámci jednoho systému možné, v následujícím textu jsou proto uvedeny jen její vybrané části a aktivity.

Významnou aktivitou ČHMÚ je podíl na zabezpečení hlásné povodňové služby, kdy provozuje síť automatických vodoměrných stanic (v současnosti je v provozu 318 stanic, jejichž údaje jsou k dispozici na internetových stránkách https://hydro.chmi.cz). Při provozu automatických stanic ČHMÚ úzce spolupracuje se státními podniky Povodí a také s některými obcemi. Dalším příspěvkem ČHMÚ k hlásné povodňové službě je provoz srážkoměrů a meteorologických radarů aj. ČHMÚ rovněž vede evidenci hlásných profilů kategorie A a B na uvedených internetových stránkách.

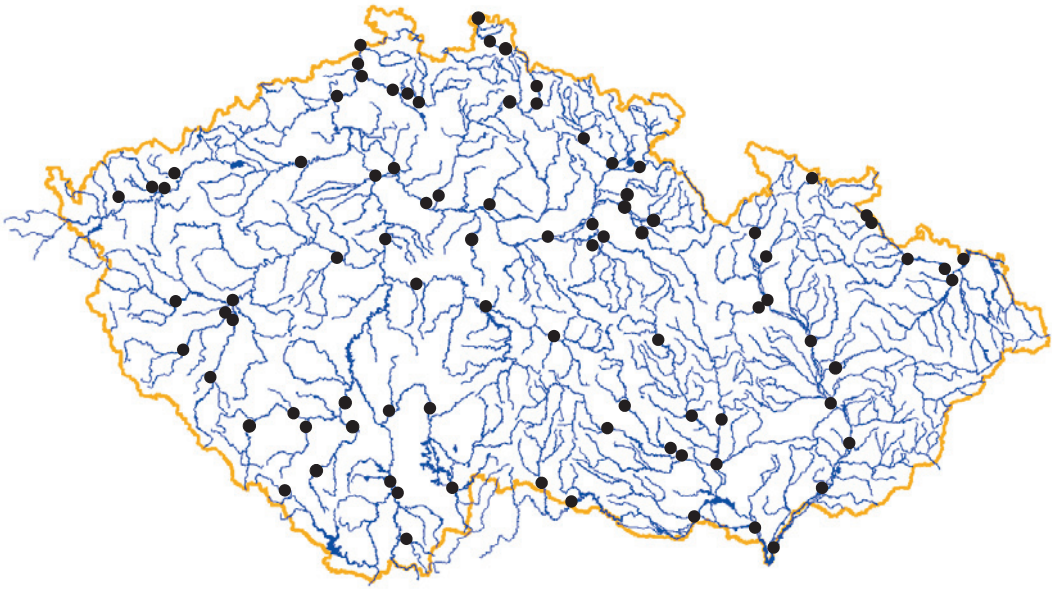
Hydrologické předpovědní modely jsou v ČR rozvíjeny zejména od povodní v roce 1997. Na povodí Labe byl implementován předpovědní systém AquaLog, který je inspirován americkým NWSRFS (NWS, 2010) a využívá sněhový model SNOW17 a srážkoodtokový model SAC-SMA (Obr. 1). Na povodích Odry a Moravy je provozován systém HYDROG vyvinutý v ČR. Předpovědními systémy je aktuálně pokryta naprostá většina území ČR (výjimkou jsou například povodí Bíliny, Lužické Nisy a malých hraničních toků), přitom výstupy jsou pro hydrologickou službu k dispozici v přibližně 200 profilech, z nichž 89 jich je volně zobrazováno na internetových stránkách http://hydro.chmi.cz (Obr. 2). Modely jsou provozovány v hodinovém kroku s předstihem 48 hodin. Výpočet je prováděn jednou denně ráno, v případě povodní se frekvence zpracování předpovědí zvyšuje dle aktuálních potřeb. Podrobněji o provozu a stavu implementace předpovědních modelů pojednává Daňhelka (2007).

V nedávné době došlo k významné úpravě systému zpracování vstupních dat (AquaBase, SOMDATA), která směřovala zejména k automatizaci načítání dat a ke změně charakteru vstupů z bodových hodnot (respektive Thiessenových polygonů) k plně distribuovaným vstupům odvozovaným variabilními interpolačními metodami (IDW, krigging, co-krigging) s možností zohlednění vlivu nadmořské výšky, nebo interaktivní práci s gridovým polem vstupujících meteorologických prvků (Vlasák a kol. 2009).



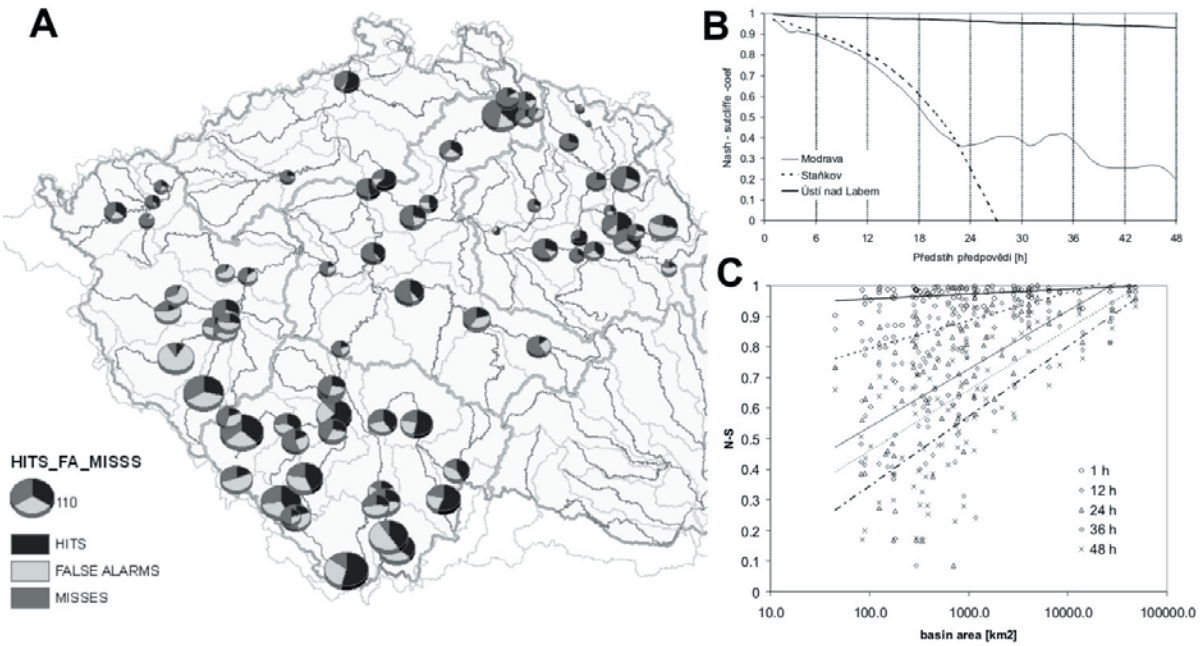
Obr. 1: Funkční schéma předpovědního systému AquaLog.

Významným nástrojem pro další rozvoj a zlepšování předpovědních nástrojů je *vyhodnocení předpovědí.* To je součástí vyhodnocení všech povodňových událostí, kdy je podrobně hodnocen vliv jednotlivých faktorů, jako je zejména vstupující předpověď srážek a teploty vzduchu, či manipulace na vodních dílech, na celkovou úspěšnost předpovědi. Z pohledu uživatelů je však důležitý komplexní pohled na schopnost modelu vystihnout riziko vzniku povodně v reálném čase. Proto bylo provedeno dlouhodobé (2000 až 2009) vyhodnocení úspěšnosti předpovědí modelů v situacích překročení úrovní stupňů povodňové aktivity (SPA) a to pomocí kritérií hit rate, miss rate, false alarm ratio, průměrné chyby kulminace a objemu povodně a hodnoty Nash-Sutcliffe v závislosti na délce předstihu předpovědi. Metodika i výsledky jsou podrobněji prezentovány zejména v práci Vlasáka a Daňhelky (2010).



Obr. 2: Mapa předpovědních profilů uveřejňovaných na internetových stránkách ČHMÚ.

Závěry vyhodnocení prokázaly, že existují rozdíly v poměru kategorií hit – miss a false alarm v prostoru v závislosti na příslušné pobočce ČHMÚ sestavující předpovědi (Obr. 3A), což lze pravděpodobně z velké části přičíst interaktivnímu provozu modelu, kdy zvolená předpovědní strategie (například akceptace vyššího množství falešných alarmů s cílem minimalizace nepředpovězených událostí, tedy kategorie miss) může podvědomě směřovat prognostika k nadhodnocování či podhodnocování. Dalším závěrem je výrazná rozdílnost intenzity poklesu hodnoty Nash-Sutcliffe kritéria s dobou předstihu, která je velmi rychlá u malých zdrojových povodí a naopak jen velmi pozvolná u větších toků, což dobře dokumentuje zásadní vliv přesnosti QPF a zároveň stanovuje časovou mez smysluplné prediktability pro jednotlivá povodí (Obr. 3B).



Obr. 3: Poměr vyhodnocených Hit-Miss-False Alarm rate v povodí Labe (A), graf poklesu hodnoty Nash-Sutcliffe v závislosti na předstihu předpovědi pro vybraná povodí (B) a závislost hodnoty Nash-Sutcliffe na velikosti povodí (C) pro případy překročení úrovně 1. SPA.

Vyhodnocování sněhových zásob zejména v období před jarním táním je nezbytná pro účely řízení vodních nádrží, ale i pro vlastní předpovědi hydrologickými modely, které vyžadují znalost přesného počátečního stavu sněhové pokrývky. Data o vodní hodnotě sněhu jsou pravidelně v zimním období měřena v pondělí ráno v síti cca 300 měrných profilů (profesionální stanice i dobrovolní pozorovatelé), z nichž jsou data operativně zasílána na předpovědní pracoviště ČHMÚ. Od roku 2008 jsou pak data nově zpracovávána v prostředí GIS. Tento přístup umožňuje získat plošně spojitý odhad výšky sněhové pokrývky a její vodní hodnoty. Při interpolaci je použita orograficky podmíněná interpolace s doplněním virtuálních stanic v pravidelném gridu, zejména pro přesnější určení hranice sněhové pokrývky. Ta je dosud odhadována na základě nadmořské výšky, avšak probíhá výzkum možnosti využití analýzy družicových dat pro přesnou identifikaci ploch pokrytých sněhem (více odkazujeme na příspěvek Čekala a Schnebergerové v tomto sborníku).

3. Vývoj nových nástrojů a postupů

Zkušenosti z povodní i každodenního provozu modelu prokázaly nezbytnost vývoje nových předpovědních nástrojů. Za tímto účelem ČHMÚ řeší grant SP/1c4/16/07. Jeho cílem je zejména vyvinutí systému pravděpodobnostních hydrologických předpovědí a vývoj nástroje pro indikaci míry rizika vzniku přívalových povodní v ČR.

Krátkodobá *pravděpodobnostní hydrologická předpověď* je v podmínkách střední Evropy obecně dobře zpracovatelná na základě variantních vstupů kvantitativní předpovědi srážek (QPF), tedy na základě meteorologického ansámblu. Aktuálně ČHMÚ pracuje na vytvoření interface mezi výstupy systému ALADIN-LAEF (16 členů ansámblu) a používanými hydrologickými modely.

Z hlediska střednědobé a dlouhodobé predikce odtoku jsou hydrologické simulace většinou založeny na ansámblu historických realizací průběhu meteorologických prvků v dané části roku (viz například systém ESP provozovaný NWS v USA). V rámci zmiňovaného projektu byl navržen postup statistické analýzy historických klimatických řad, na jejímž podkladě je vygenerována syntetická 1000letá řada teploty vzduchu a srážek (respektive jsou generovány různé řady reprezentující teplotně a srážkově nad-, pod-, normální podmínky). Poté je na základě dostupných měsíčních předpovědí ECMWF, pro něž byla ověřena dostatečná schopnost vystihnout budoucí měsíční srážkové úhrny ve smyslu příslušnosti k jednotlivým třetinám pravděpodobnostního rozložení, učiněn podmíněný výběr 20 až 50 let, které jsou dále v simulacích použity jako členy ansámblu. Pro podrobnější popis metodiky zájemce odkazujeme na zprávy o řešení grantového projektu (ČHMÚ, 2007, ČHMÚ 2008, ČHMÚ 2009), kde je mimo jiné řešena i problematika časoprostorové distribuce vstupujících meteorologických prvků a otázka způsobu prezentace pravděpodobnostních předpovědí.

Predikce přívalových povodní s dostatečnou prostorovou přesností a s dostatečným časovým předstihem není současnými prostředky možná tak, aby bylo možné výsledky účelně distribuovat do ohrožených oblastí, kde v podmínkách střední Evropy přívalová povodeň vzniká již v desítkách minut po příčinné srážce. Přesto je možné indikovat potenciál jednotlivých povodí k tvorbě rychlého povrchového odtoku a tedy k nebezpečí vzniku přívalové povodně, a to na základě fyzickogeografických charakteristik povodí a jeho aktuální nasycenosti,která je velmi významným faktorem i v případě přívalových povodní (Daňhelka a Kubát 2009). Na základě inspirace americkým systémem Flash Flood Guidance je v ČHMÚ od roku 2008 vyvíjena aplikace FFG-CZ, která na základě vyhodnocení CN hodnot a jejich operativního updatingu na základě předchozích srážek identifikuje pro malá povodí (respektive grid 3 km) intenzitu srážek při níž by došlo k intenzivnímu odtoku s dosažení alespoň 0,4 násobku teoretické hodnoty Q_{100}.

Další součástí systému je pak operativní vstup radarových odhadů srážek a odhad konkrétní odtokové odezvy na základě schematizace modelem HEC-HMS. Systém je od května 2010 nasazen ve zkušebním provozu. Pro podrobnější popis systému odkazujeme opět na zprávy

o řešení projektu SP/1c4/16/07 (zejména ČHMÚ 2009) a na příspěvek Šercla a kol. v tomto sborníku.

4. Předpovědní služba ČHMÚ v systému ochrany před povodněmi

Předpovědní pracoviště ČHMÚ se skládají vždy z meteorologické a hydrologické části, což zabezpečuje velmi úzkou a nepřetržitou spolupráci meteorologů a hydrologů na přípravě informací v rámci předpovědní povodňové služby. To je ještě podpořeno používáním jednotného systému vydávání výstrah na meteorologické a hydrologické jevy (systém SIVS), kdy jsou meteorology a hydrology vydávány společné informace (výstrahy).

Předpovědní pracoviště ČHMÚ velmi úzce spolupracují zejména s dispečinky státních podniků Povodí, které pro své potřeby řízení vodních nádrží provozují vlastní srážkoodtokové modely. Kromě již zmiňované široké výměny hydrologických a meteorologických dat, poskytuje ČHMÚ podnikům Povodí také meteorologické předpovědi a vzájemně jsou vyměňovány výsledky hydrologických modelů, případně jsou připravovány jednotné předpovědní výstupy pro informování povodňových orgánů.

Nově se v průběhu povodní osvědčila I přímá komunikace s operačními středisky Hasičského záchranného sboru a s krizovými štáby krajů, které se odehrává prostřednictvím videokonferencí.

Zkušenosti z povodní 2009 ukázaly na problémy stávajícího metodického pokynu MŽP (15/2005) pro zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby a to zejména v zabezpečení hlásné služby povodňovými orgány a předávání informace po toku, ale také v oblasti účelnosti a systému vydávání a distribuce výstrah zejména s ohledem na přívalové povodně, kdy krátký časový průběh neumožňuje včas a cíleně doručit výstrahu do postižené oblasti. Za tímto účelem bude nezbytná úprava metodického pokynu a ČHMÚ již realizoval některé kroky pro rychlejší a adresnější výstražnou službu. Jde zejména o zkrácení intervalu detekce intenzivních srážek a překročení limitů jejich úhrnů na základě meteorologických radarů a srážkoměrných stanic a s přímým zahrnutím nowcastingových produktů do vyhodnocování. Druhým krokem pak byla změna rozlišení při lokalizaci výstrahy z měřítka krajů na úroveň okresů.

Pro dokreslení celkového obrazu činností předpovědní služby ČHMÚ je nezbytné zmínit i některé významné činnosti v rámci *mezinárodní spolupráce*. ČHMÚ je aktivně zapojen v systému Meteoalarm, který by v nejbližší době měl být rozšířen i na výstrahy před povodňovými jevy. ČHMÚ dále spolupracuje s JRC v Ispře na provozu systému evropského systému včasného varování před povodněmi EFAS, pro nějž dodává přímo hydrometeorologická data a spolupracuje poskytováním uživatelské expertizy.

Z příkladů bilaterální spolupráce je nezbytné připomenout jednotný předpovědní systém pro povodí Labe provozovaný ČHMÚ a německými kolegy, kdy data a předpovědi zpracované pro tok Labe modely na území ČR automaticky vstupují do navazujícího německého modelu povodí Labe. V uplynulých letech se přitom podařilo založit přímou komunikaci mezi předpovědními pracovišti ČHMÚ v Praze a LUfG v Drážďanech v době povodní poskytující z české strany ústní komentář a konzultace k aktuálnímu vývoji (včetně odhadu funkce Vltavské kaskády) a vydané předpovědi a její nejistotě.

V povodí Dunaje je rozvíjena trilaterální spolupráce na vybudování jednotného předpovědního systému (HYDROG) pro dolní Moravu a Dyji ve spolupráci ČHMÚ, SHMÚ a spolkového úřadu Dolního Rakouska. ČHMÚ dále rakouským kolegům poskytuje i vydané předpovědi systémem HYDROG pro profily v rakouské části povodí Dyje.

Předávání předpovědí probíhá i v povodí Odry mezi ČHMÚ a IMGW.

5. Závěr

Předpovědní služba ČHMÚ prochází kontinuálním vývojem směrem k dokonalejším předpovědním nástrojům. Aktuálně jsou již dlouhodobě provozovány předpovědní systémy a výsledky vyhodnocení jejich výstupů potvrzují jejich přínos v protipovodňové ochraně. Další probíhající vývoj pak směřuje k pravděpodobnostním předpovědím odtoku v krátkodobém i střednědobém horizontu, širšímu uplatnění metod GIS při zpracování dat a také k vytvoření nástrojů pro predikci nebezpečí vzniku přívalových povodní.

Velmi významnou, respektive naprosto zásadní součástí předpovědní služby však je schopnost vytvářet produkty pro potřeby uživatelů a tyto produkty uživatelům doručit, čili zejména vzájemná komunikace mezi jednotlivými účastníky systému ochrany před povodněmi.

Literatura

[1] ČHMÚ, 2007. Výzkum a implementace nových nástrojů pro předpovědi povodní a odtoku v rámci zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby v ČR. Závěrečná zpráva o řešení projektu v roce 2007, SP/1c4/16/07, ČHMÚ, Praha.

[2] ČHMÚ, 2008. Výzkum a implementace nových nástrojů pro předpovědi povodní a odtoku v rámci zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby v ČR. Závěrečná zpráva o řešení projektu v roce 2008, SP/1c4/16/07, ČHMÚ, Praha.

[3] ČHMÚ, 2009. Výzkum a implementace nových nástrojů pro předpovědi povodní a odtoku v rámci zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby v ČR. Závěrečná zpráva o řešení projektu v roce 2009, SP/1c4/16/07, ČHMÚ, Praha.

[4] DAŇHELKA, J., 2007. Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědí, Sborník prací ČHMÚ, sv. 51, ČHMÚ, Praha. 104 s. ISBN 978-80-86690-48-3

[5] DAŇHELKA, J. – KUBÁT, J. (eds.), 2009. Přívalové povodně na území České republiky v červnu a červenci 2009. ČHMÚ, Praha. 2009. 71 s. ISBN 978-80-86690-76-6

[6] NWS, 2010. NWSRFS User Manual Documentation. <http://www.nws.noaa.gov/oh/hrl/nwsrfs/users_manual/htm/xrfsdocpdf.php>

[7 VLASÁK, T. – DAŇHELKA, J., 2010. Vyhodnocení hydrologických předpovědí povodní v povodí Labe. Meteorologické Zprávy, roč. 63, č. 1, s. 5–12. ISSN 0026-1173

[8] VLASÁK, T. – KREJČÍ, J. – DAŇHELKA, J., 2009. Going to space: Implementation of spatial input data processing in real-time flood forecasting in the Czech Republic. EGU General Assembly, Vienna 2009, 1

Kontakty na autora

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