

PRŮBĚH A EXTREMITA POVODNĚ V ČERVNU 2013

Petr Šercl, Radovan Tyl, Martin Pecha, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, sercl@chmi.cz, tyl@chmi.cz, martin.pecha@chmi.cz

The course and the extremity of the June 2013 floods. During June of 2013 three episodes with significant precipitation amounts were observed. The most important one was the first, from 1st June to 2nd June, when 24 hours rainfall totals exceeded locally 100 mm and the rain was in some places very intensive. The course of the consequent flood and its extremity were also strongly influenced by previous soil saturation caused by abnormally rainy May. The extent of affected area by precipitation and local heavy rain had an effect in flooding not only of main rivers but smaller streams as well. The return period of peak flows exceeded 100 years in several gauging stations, situated mainly on smaller streams with catchment area less than 500 km². This flood was less significant in comparison with flood in August of 2002, but rising limbs of the hydrographs were steeper in many river sites.

KLÍČOVÁ SLOVA: extremita povodně – nasycení půdy – průběh povodně – povodně přívalové – regionální povodně – srážky přívalové

KEY WORDS: flash floods – flood course – flood extremity – regional floods – soil saturation – torrential precipitation

1. ÚVOD

Odtokovou situaci v průběhu měsíce června 2013 lze charakterizovat třemi epizodami významných srážek, přičemž velikost odtoku byla značně ovlivněna předchozím silným nasycením půdy na území ČR.

Z hlediska plošného rozsahu a extremity byla nejvýznamnější srážková epizoda 1. a 2. června, při které došlo po vypadnutí regionálních a lokálních přívalových srážek na území Čech k rozvodnění jak menších, tak i větších vodních toků v povodí Labe a doba opakování kulminačních průtoků povodňových vln přesáhla v některých profilech 100 let.

V druhé epizodě od 8. do 10. června se vyskytovaly srážky převážně lokálního přívalového charakteru, které způsobily na některých místech (z hlediska četnosti výskytu) významnější přívalové povodně, na hydrologicky pozorovaných větších tocích však nedošlo k překročení 5letého průtoku.

Třetí epizoda 24. a 25. června byla charakteristická poměrně vydatnými regionálními srážkami, které byly nejintenzivnější v povodí Doubravy a Chrudimky, kde se doba opakování kulminačních průtoků pohybovaly v rozmezí 10 až 50 let.

Vzhledem k tomu, že první epizoda srážek a následná odtoková odezva v prvním červnovém týdnu byla svým plošným rozsahem a extremitou odtoku nejvýznamnější, je tento příspěvek věnován převážně této povodňové situaci.

2. HYDROLOGICKÁ SITUACE A NASYCENOST ÚZEMÍ PŘED POVODNÍ

Červnovým povodním předcházel srážkově velmi významně nadnormální květen, v jehož průběhu spadlo v Če-

chách průměrně 115 mm, což činí 174 % květnového normálu, a na Moravě a ve Slezsku 97 mm odpovídajících 137 % normálu [4]. Srážky zapříčinily velmi silné nasycení území. Tento faktor značně ovlivnil odtokovou odezvu při povodňových situacích, které se následně vyskytly v průběhu června.

Na obr. 1 je mapa rozložení ukazatele nasycení, ze kterého je zřejmé, že nejvíce nasycené bylo území v západní polovině Čech (především v příhraničních oblastech) a dále v Krkonoších a Jeseníkách.

Průtoky na tocích v povodí Labe, Lužické Nisy a Stěnavy se na konci května pohybovaly většinou v rozmezí 20 až 60 denní vody, ojediněle, zejména na přítocích Berounky, byly v důsledku vydatnějších srážek z 30. května a silného předchozího nasycení významnější (až jednoletý průtok), viz [1]. V povodí Moravy a východněji ležících partiích povodí Odry byly průtoky (vlivem menšího nasycení území) při porovnání s územím Čech méně významné.

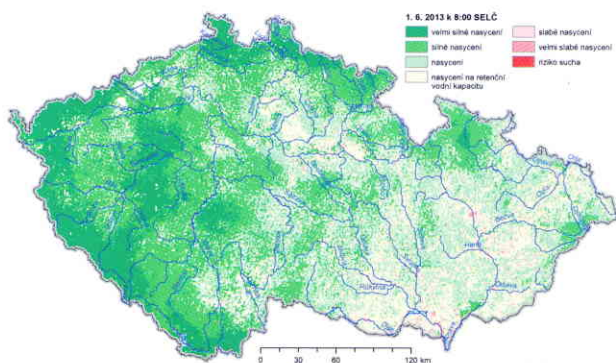
3. ROZLOŽENÍ A CHARAKTER PŘÍČINNÝCH SRÁŽEK A ODTOKOVÁ ODEZVA

3.1 Srážková epizoda 1. až 2. června

Rozložení srážek spadlých od 1. června 15:00 do 2. června 15:00 (SELČ = UTC +2 h), odvozené na základě měření meteorologického radaru [3] a srážkoměrných pozorování, je znázorněno v mapě na obr. 2, symbolikou u profilů vodoměrných stanic je uvedena doba opakování kulminačních průtoků povodňových vln. Nejvyšší 24hodinové úhrny přesáhly 100 mm a extremita kulminačních průtoků v nejvíce zasažených oblastech překročila dobu opakování 100 let.

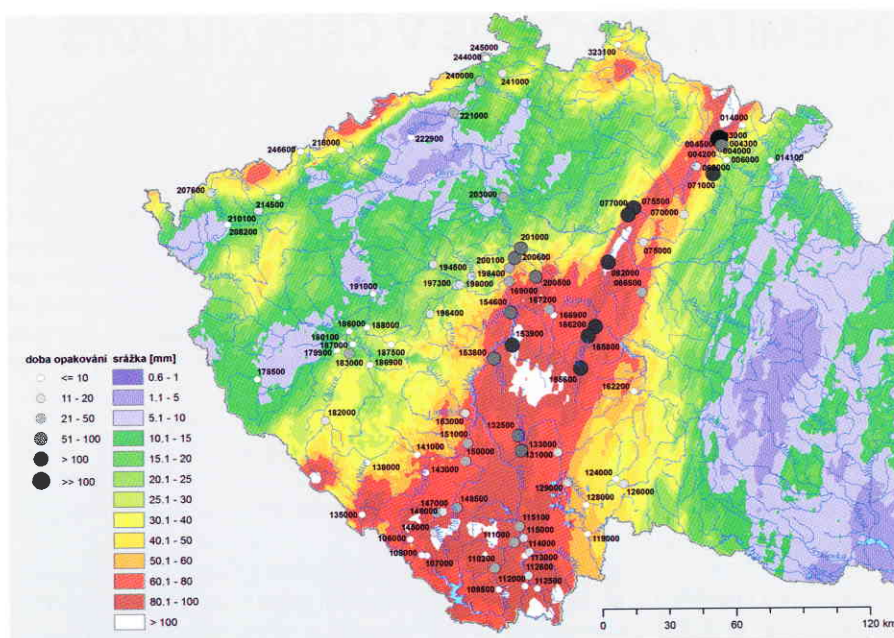
Významnější vzestupy hladin začaly nejdříve na přítocích Berounky (Klabava, Úslava), a to již během 31. května v důsledku srážek z 30. a 31. května (cca 20–45 mm).

Příčinné srážky první epizody povodní započaly nad územím Čech 1. června v ranních a dopoledních hodinách. Dešť byl regionálního charakteru a kromě severozápadních Čech slabé až mírné intenzity. V odpoledních a večerních hodinách intenzita deště, zejména ve středních, jižních a jihozápadních Čechách, zesilovala (místy 5–10 mm.h⁻¹) a lokálně se již začaly vyskytovat i srážky konvekčního charakteru. Vydatnými srážkami byly zasaženy toky v povodí Berounky pod Plzní (Úslava, Klabava) a postupně i v povodí Otavy (zejména Blanice), Lužnice pod rybníkem Rožmberk (Smutná-Cedron) a rovněž i povodí menších přítoků Vltavy, které tečou přímo do nádrží Vltavské kas-



Obr. 1 Ukazatel nasycení k 1. 6. 2013 08:00 SELČ (UTC +2 h).

Fig. 1. Index of soil saturation for 1st June 2013 08:00 MEST (UTC +2 h).



Obr. 2 Rozložení srážek od 1. 6. 15:00 do 2. 6. 15:00 SELČ (UTC +2 h) a doba opakování kulminačních průtoků ve vybraných vodoměrných stanicích.

Fig. 2. The map of 24 hour precipitation totals measured from 1st June 2013 15:00 MEST to 2nd June 2013 15:00 CEST (UTC +2 h) and return period of peak flows at selected gauging stations.

kády (Brzina, Mastník, Kocába). Vzestupy hladin započaly i na hlavních přítocích Vltavy (Lužnice, Otava a Berounka) a na Vltavě samotné. V odpoledních a večerních hodinách 1. června vydatně přišlo i v hřebenových partiích Krkonoš, což se projevilo vzestupy hladin na Labi nad vodním dílem (VD) Labská a na Úpě.

Těsně po půlnoci z 1. na 2. června se začaly ve východních Krkonoších a jejich podhůří vyskytovat místně i velmi intenzivní srážky konvekčního typu, které dále postupovaly v pásu táhnoucím se jihozápadním směrem, přičemž se navíc uplatnil tzv. řetězový efekt (srážky postupovaly po stejné dráze několik hodin). Srážky zasáhly povodí přítoků Úpy mezi Horním Maršovem a Trutnovem (např. Černohorský potok, Janský potok, Lysečinský potok), přítoky Labe nad VD Království (Malé Labe, Čistá), povodí Cidlina a Mrliny, přítoky Sázavy pod soutokem s Želivkou (vlašimská Blanice) a dále znovu některá povodí již nasycená srážkami spadlými 1. června. K nim patřily přítoky Vltavy do Vltavské kaskády (Brzina, Mastník), přítoky Lužnice

na jejím dolním toku (Smutná-Cedron) a přítoky na dolním toku Otavy (písecká Blanice).

Odtoková odezva byla vzhledem k předchozímu nasycení velmi rychlá. Naprosto výjimečná situace nastala na povodích přítoků Úpy a Labe v podhůří Krkonoš, kde velmi intenzivní srážky (místy až $45 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$), kromě přívalových povodní a lokálního zatopení, způsobily velmi výrazné erozní jevy plošného i lokálního charakteru a vyvolaly rovněž četné svahové sesuvy (obr. 3 a 4).

Mezi nejvíce postižená povodí patřila povodí Labe v Hostinném, a povodí drobných přítoků Úpy v okolí Horního Maršova a Svobody nad Úpou (již zmíněné potoky Černohorský, Janský a Lysečinský). Průběh povodně na nejvíce zasažených tocích byl odhadnut pomocí srážko-odtokového modelu HEC-HMS, viz obr. 5. Hladiny toků kulminovaly

v ranních hodinách 2. června.

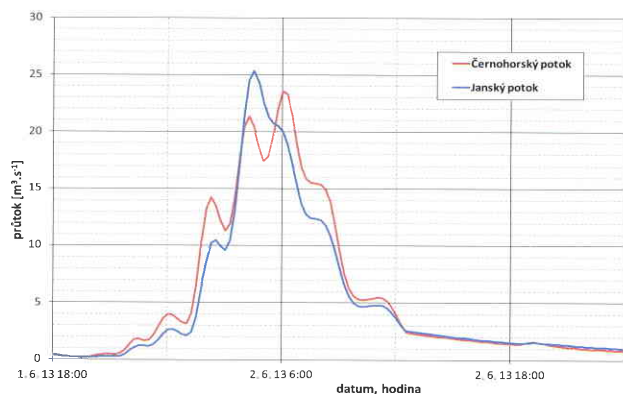
Průběh povodňových vln ve vybraných profilech v povodí Labe nad nádrží Les Království ukazuje obr. 6. Nádrž Les Království dokázala povodňovou vlnu z horního Labe velmi výrazně transformovat.

Následkem vydatných srážek začaly rovněž velmi rychle stoupat hladiny levostranných přítoků Cidlina (Javorka, Bystřice), které v ranních hodinách 2. června také kulminovaly. Vzhledem k tomu, že pokračoval prudký vzestup hladin pravostranných přítoků Vltavy do nádrží Vltavské kaskády pod VD Orlík (Brzina, Mastník), přítoků Sázavy pod soutokem s Želivkou (vlašimská Blanice), přítoků Lužnice a Otavy (Smutná-Cedron, písecká Blanice) a přítoků Vltavy pod VD Lipno (Polečnice), docházelo nejen k velmi rychlému plnění nádrží Vltavské kaskády, ale zejména vlivem neregulovaného přítoku ze Sázavy a Berounky i ke stoupání hladiny Vltavy v jejím úseku pod kaskádou, a tím pochopitelně i v Praze. Povodňová vlna na Vltavě byla částečně zmírněna retenčním účinkem nádrže Lipno, která dokázala objem



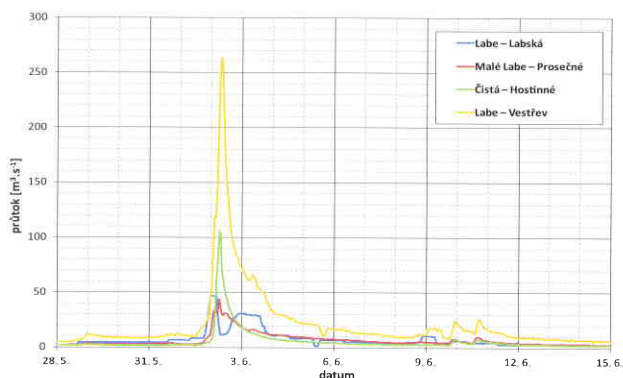
Obr. 3 a Obr. 4 Eroze (vlevo) a sesuv půdy v okolí Horního Maršova (foto autoři).

Fig. 3. and Fig. 4. Fluvial erosion (picture left) and landslide in the neighbourhood of Horní Maršov (photo – authors).



Obr. 5 Průběh povodně na Černohorském a Janském potoce (přtoky Úpy u Horního Maršova) odvozený pomocí srážkoodtokového modelu.

Fig. 5. Flood hydrographs on Černohorský and Janský creeks (Úpa tributaries nearby Horní Maršov) derived by rainfall-runoff model.



Obr. 6 Průběh povodňových vln ve vybraných profilech povodí horního Labe.

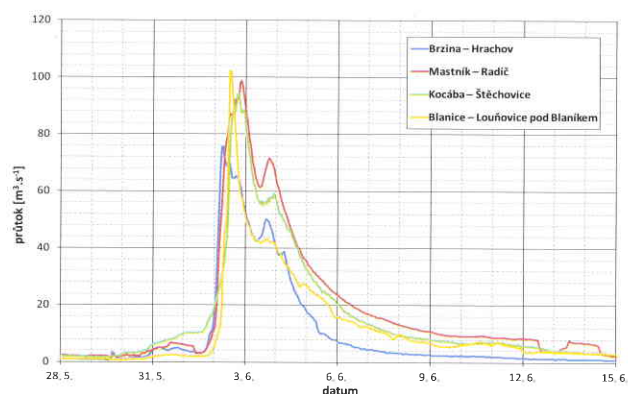
Fig. 6. Flood hydrographs at selected gauging stations in the upper Labe basin.

povodňové vlny z pramenných partií Vltavy zachytit. Nádrž Římov transformovala povodňovou vlnu z Malše a oddálila její nástup, takže nedošlo ke střetu vrcholu povodňové vlny z Malše s vrcholem povodňové vlny ze Stropnice.

V neděli 2. června v dopoledních hodinách pokračovala výrazná srážková činnost (s intenzitami 3–8 mm.h⁻¹) s tím, že srážkové pásmo se posouvalo více k západu. Srážky způsobily další vzestupy hladin na přítocích Vltavy pod VD Orlik a dosažení největších kulminačních průtoků v historii pozorování na Brzině, Mastníku a Kocábě. Obdobná situace nastala i na přítocích Sázavy na jejím dolním toku, kde zejména vlašimská Blanice byla extrémně rozvodněna. Průběh průtoků na těchto tocích je znázorněn na obr. 7.

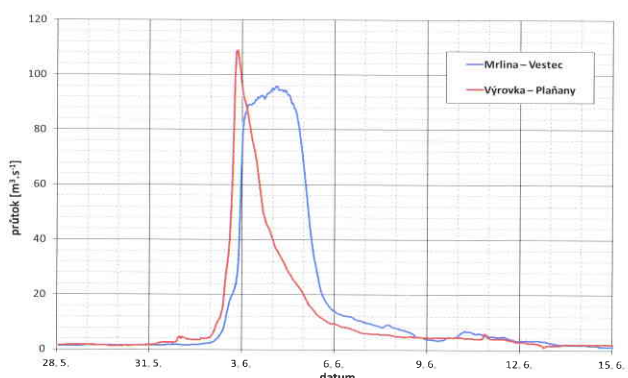
Velmi intenzivní (více než 20 mm.h⁻¹) a vydatné srážky (30–70 mm za 6 hodin) zasáhly povodí Mrliny, povodí Vrchlice a především povodí Výrovky, kde způsobily rozsáhlé záplavy. Průběh povodně na Mrlině a Výrovce je zachycen na obr. 8. Dramatická situace vznikla v povodí Mrliny, kde vydatné srážky způsobily protžení hráze Komárovského rybníka na Štítarském potoce nad měrným profilem Svídnice. Voda rovněž obtékala z velké části profil vodoměrné stanice na Mrlině ve Vestci, a proto přesnější stanovení proteklého množství bude ještě předmětem dalšího vyhodnocení.

Obr. 9 dokumentuje průběh povodňových vln ve vodoměrných stanicích na hlavních tocích tvořících přítok do nádrže Orlik. V porovnání s povodní v srpnu 2002 byly



Obr. 7 Průběh povodňových vln ve vybraných profilech přítoků Vltavy a Sázavy.

Fig. 7. Flood hydrographs at selected gauging stations situated on tributaries of Vltava and Sázava rivers.



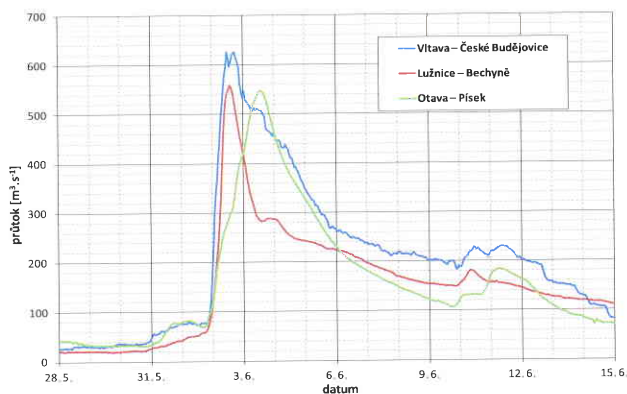
Obr. 8 Průběh povodňových vln na Mrlině ve Vestci a Výrovce v Plaňanech.

Fig. 8. Flood hydrographs at Vestec (Mrlina river) gauging station and Plaňany (Výrovka river) gauging station.

kulminační průtoky v červnu 2013 menší ve všech uvedených profilech. Nejmenší rozdíl v kulminačních průtocích obou povodní byl zaznamenán v Bechyni na Lužnici, ale vzhledem k tomu, že srážky zasáhly přítoky Lužnice zejména na jejím dolním toku, transformační účinek rybníční soustavy se nemohl projevit, a Lužnice kulminovala oproti srpnu 2002 dříve než Vltava v Českých Budějovicích a Otava v Písku. Porovnání průběhu povodní v srpnu 2002 a červnu 2013 v Bechyni na Lužnici je na obr. 10.

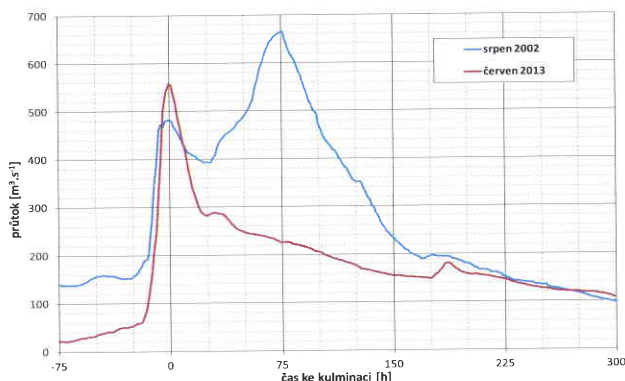
Srážky 2. června v odpoledních hodinách, s výjimkou západních a jihozápadních Čech, ustávaly, takže většina vodních toků kulminovala ještě během odpoledních a večerních hodin téhož dne, případně v nočních a ranních hodinách 3. června. Dáletrvajících srážek na jihozápadě Čech vyvolaly nový vzestup hladin na přítocích Berounky (Úhlava, Úslava, Klabava) z 2. na 3. června, což způsobilo opoždění kulminace Berounky v Berouně, která dosáhla vrcholu až 3. června před půlnocí. Srážky, které spadly 3. června opět především v Čechách, již situaci výrazněji nezměňovaly, pouze zpomalily nebo na čas zastavily pokles povodňových vln.

Průběh povodně na Berounce v Berouně a na Vltavě v Praze-Zbraslavi a Praze-Chuchli je znázorněn na obr. 11. Z grafu je patrné, že výraznější zvětšování průtoků v Praze nastalo v sobotu 1. června v pozdních odpoledních hodinách, což je zcela v souladu s nástupem povodňové vlny na Berounce v Berouně a se zvyšujícím se odtokem z Vltavské



Obr. 9 Průběh povodňových vln na hlavních tocích nad nádrží Orlik.

Fig. 9. Flood hydrographs at gauging stations situated on main tributaries to Orlik reservoir.



Obr. 10 Porovnání průběhů povodňových vln na Lužnici v Bechyni v srpnu 2002 a červnu 2013.

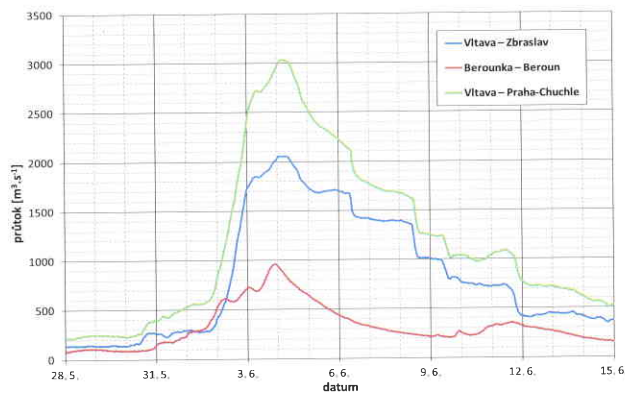
Fig. 10. Flood hydrographs at gauging station Bechyně (Lužnice river) during the floods in August of 2002 and June of 2013.

kaskády, zachyceným v profilu v Praze-Zbraslavi. Vltava v Praze-Chuchli kulminovala 4. června v ranních hodinách, a to zhruba tři hodiny po kulminaci povodňové vlny zaznamenané v Praze-Zbraslavi a 6 hodin po dosažení maxima Berounky v Berouně.

Velké problémy zapříčinilo rozvodnění pravostranných přítoků Vltavy přímo v hlavním městě Praze, jmenovitě Botiče a Rokytka, kde zejména nástup povodňové vlny na Botiči, v úseku pod nádrží Hostivař, byl velmi rychlý a neočekávaný. Nutno podotknout, že v době psaní tohoto příspěvku (začátek listopadu 2013) stále probíhaly diskuse nad průběhem a velikostí přítoku do VD Hostivař a vlivu manipulací na tomto vodním díle na průběh povodně pod VD Hostivař [2]. Na Rokytce u soutoku s Vltavou v Praze-Libni došlo k vybřežení vody z koryta v důsledku vzduší hladiny poté, co byla uzavřena protipovodňová vrata a čerpadla nestačila odčerpávat do Vltavy přitékající vodu z Rokytky. Zpětným vzduším byla ovlivněna i hladina v profilu vodoměrné stanice, a proto hydrogram povodně v průtocích nebylo možné standardními postupy odvodit.

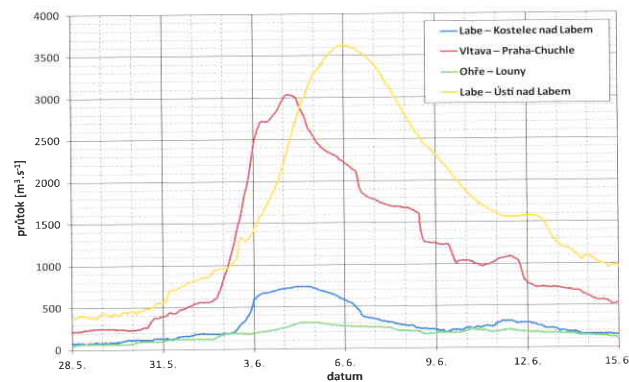
Na úseku Vltavy nad soutokem s Labem došlo, obdobně jako při povodni v srpnu 2002, k rozlivům a zpětnému vzduší hladiny Labe. Přítok z horního toku Labe byl na soutoku s Vltavou oproti povodni v srpnu 2002 zhruba o $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ větší, maximální přítok z Vltavy byl cca o $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ menší.

Výšku vodní hladiny, a tím i průběh povodně na dol-



Obr. 11 Průběh povodňových vln na Vltavě a Berounce.

Fig. 11. Flood hydrographs at gauging stations situated on Vltava and Berounka rivers.



Obr. 12 Průběh povodňových vln na Vltavě v Praze, na Ohři v Lounech a na Labi v Kostelci nad Labem a v Ústí nad Labem.

Fig. 12. Flood hydrographs at gauging stations Praha-Chuchle (Vltava river), Louny (Ohře river), Kostelec nad Labem (Elbe river) and Ústí nad Labem (Elbe river).

ním toku Vltavy a Labe, ovlivnily provedené manipulace na nádržích a jejich transformační účinek, rozlivy do inundační a do určité míry i protipovodňové zábrany. Podrobný popis vlivu všech těchto faktorů je nad rámec rozsahu tohoto příspěvku.

V Ústí nad Labem kulminovalo Labe 5. června večer, v Děčíně a Hřensku 6. června v časných ranních hodinách. Průběh povodně na Labi v Kostelci nad Labem, na Vltavě v Praze, na Ohři v Lounech a na Labi v Ústí nad Labem je znázorněn na obr. 12.

3.2 Srážková epizoda 8.–10. června

Srážky, které se vyskytovaly 8. až 10. června nad územím České republiky, byly převážně konvekčního charakteru, přičemž na některých místech způsobily lokální zatopení území a přívalové povodně. Půda byla stále ještě velmi nasycená, a proto významnější povrchový odtok vyvolaly i přívalové srážky menší intenzity.

8. června se vyskytovaly jen velmi lokální intenzivnější srážky především v severozápadní polovině Čech. Denní úhrny zpravidla nepřekročily 40 mm . Přívalová povodeň byla například zaznamenána na Dolanském potoce na Kladensku v obcích Dolany a Běloky.

9. června byly lokální přívalové srážky intenzivnější a vydatnější než 8. června a byly rovněž plošně rozsáhlejší. Maximální denní úhrny přesáhly i 70 mm . Nejvydatnější srážky se vyskytly na Mladoboleslavsku,

Tab. 1 Kulminační stavy a průtoky ve vybraných vodoměrných stanicích v první vlně povodní.
Table 1. The peak stages and discharges at selected gauging stations during the first flood episode.

Ident.	Tok	Profil	Plocha povodí [km ²]	Údaje ke kulminačnímu průtoku				
				den	h	vodní stav [cm]	průtok [m ³ .s ⁻¹]	dobu opak.
					SELČ			[roky]
003000	Malé Labe	Prosečné	72,75	2. 6.	6:00	175	47,7	10–20
004000	Čistá	Hostinné	77,42	2. 6.	6:20	345	120	>> 100*
004200	Labe	Vestřev	299,99	2. 6.	7:50	354	272	50–100
004300	Pilníkovský potok	Chotěvice	103,50	2. 6.	6:30	223	30,5	5–10
004500	Kalenský potok	Dolní Olešnice	62,00	2. 6.	11:20	262	44,7	20–50
006000	Labe	Království	531,96	2. 6.	14:20	240	156	5–10
014000	Úpa	Horní Staré Město	144,75	2. 6.	9:10	183	98,4	10
014100	Úpa	Slatina nad Úpou	401,36	2. 6.	12:40	272	133	5–10
066500	Vrchlice	Vrchlice	97,43	2. 6.	17:30	187	37,1	50
069000	Javorka	Lázně Bělohrad	38,35	2. 6.	7:10	166	18,4	10–20
070000	Cidlina	Nový Bydžov	455,92	3. 6.	13:00	285	89,8	10–20
071000	Bystřice	Rohoznice	43,47	2. 6.	6:00	157	30,1	> 100
075000	Cidlina	Sány	1 151,00	5. 6.	0:10	323	134	10–20
075500	Štítarský potok	Svidnice	209,79	3. 6.	4:40	338	60,2	> 100
077000	Mrlina	Vestec	458,98	3. 6.	22:50	314	95,7	> 100
082000	Výrovka	Plaňany	263,78	2. 6.	19:50	454	110	> 100
106000	Teplá Vltava	Lenora	175,80	2. 6.	8:30	177	63,2	10
107000	Teplá Vltava	Chlum	347,01	2. 6.	12:50	267	90	5–10
108000	Studená Vltava	Černý Kříž	103,17	2. 6.	12:00	184	34,7	5–10
109500	Vltava	Zátoň	1 303,76	2. 6.	10:10	232	205	5–10
110200	Polečnice	Český Krumlov	197,72	2. 6.	11:20	299	107	20–50
111000	Vltava	Břeží	1 825,60	2. 6.	15:10	326	420	20–50
112000	Malše	Kaplice	257,67	2. 6.	17:00	239	87,7	10
112500	Černá	Ličkov	126,57	2. 6.	12:30	255	82,2	10
112600	Malše	Pořešín	436,83	2. 6.	17:20	300	177	10–20
113000	Malše	Řimov	493,89	2. 6.	22:30	267	152	10
114000	Stropnice	Pašínovice	400,68	2. 6.	14:10	342	105	10–20
115000	Malše	Roudné	962,69	2. 6.	4:30	380	236	10–20
115100	Vltava	České Budějovice	2 849,82	2. 6.	18:00	486	628	20–50
119000	Lužnice	Pilař	942,28	4. 6.	0:00	419	120	10
124000	Nežárka	Rodvínov	297,20	3. 6.	5:20	160	43,7	5–10
126000	Hamerský potok	Oldřich	11,60	4. 6.	17:20	123	19,4	20
128000	Nová řeka	Mláka	70,64	5. 6.	1:30	327	75,5	10
129000	Nežárka	Hamr	982,40	5. 6.	6:00	426	136	10–20
131000	Lužnice	Klenovice	3 152,01	5. 6.	9:20	330	204	10–20
132500	Smutná	Rataje	217,62	2. 6.	12:00	349	136	100
133000	Lužnice	Bechyně	4 055,13	2. 6.	14:40	594	561	100
135000	Vydra	Modrava	90,17	2. 6.	18:00	160	54,6	5–10
138000	Otava	Sušice	534,46	2. 6.	20:30	220	205	5–10
141000	Otava	Katovice	1 133,38	3. 6.	4:10	270	240	5–10
143000	Volyňka	Němčice	383,80	2. 6.	14:20	266	95,8	5–10
145000	Blanice	Blanický Mlýn	85,51	2. 6.	8:30	249	60	10–20
147000	Blanice	Podezdvory	202,76	2. 6.	9:50	273	120	20–50
148000	Blanice	Husinec	212,39	2. 6.	14:30	251	94,8	10–20
148500	Zlatý potok	Hracholusky	74,37	2. 6.	9:10	190	41,5	50
150000	Blanice	Heřmaň	840,34	3. 6.	6:50	279	199	20–50
151000	Otava	Písek	2 913,93	3. 6.	14:40	522	548	20–50

Ident.	Tok	Profil	Plocha povodí [km ²]	Údaje ke kulminačnímu průtoku				
				den	h	vodní stav [cm]	průtok [m ³ .s ⁻¹]	dobu opak.
					SELČ			[roky]
153000	Skalice	Varvažov	368,53	2. 6.	16:00	258	75	10–20
153800	Brzina	Hrachov	133,24	2. 6.	6:00	259	79,6	100
153900	Mastník	Radč	268,62	2. 6.	20:50	282	103	> 100
154600	Kocába	Štěchovice	308,59	2. 6.	16:50	248	101	100
162200	Trávka	Červená Řečice	317,60	2. 6.	18:50	258	57,2	5–10
165600	Blanice	Louňovice	211,33	2. 6.	11:30	410	107	> 100
165800	Chotýšanka	Slovénice	117,11	2. 6.	13:30	270	76,4	> 100
166200	Blanice	Radonice-Zdebuzeves	541,86	2. 6.	19:30	504	189	> 100
166900	Konopišský potok	Poříčí nad Sázavou	89,33	3. 6.	10:50	155	16,4	10
167200	Sázava	Nespeky nad Sázavou	4 038,65	3. 6.	5:10	544	515	20–50
169000	Vltava	Zbraslav	17 826,39	4. 6.	2:00	1605	2 060	20–50
178500	Radbuza	Tasnovice	171,71	3. 6.	3:40	232	41,6	5–10
179900	Radbuza	Lhota	1 179,38	3. 6.	12:50	335	112	10
180100	Radbuza	České Údolí	1 262,53	3. 6.	13:00	344	129	10
182000	Uhřava	Klatovy	338,81	3. 6.	8:10	313	68,5	10–20
183000	Uhřava	Štěnovice	893,18	3. 6.	3:30	357	189	20–50
186000	Berounka	Bílá Hora	4 016,55	3. 6.	6:40	524	387	10
186900	Bradava	Žákava	102,65	1. 6.	22:40	177	27,4	10
187000	Ušava	Koterov	733,94	3. 6.	3:10	275	133	5–10
187500	Klabava	Hrádek	158,45	2. 6.	23:10	230	57,7	5–10
188000	Klabava	Nová Huf	359,40	3. 6.	6:30	251	101	10
191000	Berounka	Liblín	6 454,88	3. 6.	12:40	443	651	5–10
194500	Berounka	Zbečno	7 520,32	3. 6.	21:00	607	804	10–20
196400	Červený potok	Hořovice	71,06	2. 6.	21:50	120	36	20
197300	Litavka	Beroun	625,49	2. 6.	3:50	261	159	10–20
198000	Berounka	Beroun	8 286,26	3. 6.	22:30	578	960	20
198400	Loděnice	Loděnice	253,75	2. 6.	7:20	262	38,5	20
200100	Vltava	Praha-Chuchle	26 729,97	4. 6.	4:50	546	3 040	20–50
200500	Dobřejovický potok	Průhonice	13,00	2. 6.	9:30	131	16,6	100
200600	Botič	Praha-Nusle	134,89	2. 6.	19:00	319	68,5	50–100
201000	Rokytk	Praha-Libeň	137,32	2. 6.	18:40	191	46	50–100
203000	Vltava	Vraňany	28 062,12	4. 6.	13:10	785	3 080	20–50
207600	Svatava	Kraslice	120,00	2. 6.	8:40	139	55,8	10–20
208200	Svatava	Svatava	294,48	2. 6.	12:10	204	76,5	10
210100	Stará Role	Rolava	126,13	2. 6.	4:50	184	55,8	10–20
214500	Bystřice	Ostrov	127,54	2. 6.	4:30	159	42,6	5–10
218000	Chomutovka	Třetí Mlýn	43,43	2. 6.	13:20	118	19,3	5–10
221000	Labe	Ústí nad Labem	48 560,58	5. 6.	19:50	1072	3 630	20–50
222900	Bílina	Bílina	588,70	4. 6.	6:30	201	32,7	5–10
240000	Labe	Děčín	51 120,39	6. 6.	1:20	1074	3 740	20–50
241000	Kamenice	Srbská Kamenice	97,79	1. 6.	15:20	162	38,2	10–20
244000	Kamenice	Hřensko	214,92	1. 6.	17:30	178	60	5–10
245000	Labe	Hřensko	51 408,49	6. 6.	2:50	1108	3 750	20–50
246600	Černá voda	Černý Potok	32,61	1. 6.	14:10	156	12,8	5–10
323100	Řasnice	Frydlant v Čechách	30,64	3. 6.	11:50	162	19,5	5–10

* symbol >> odpovídá době opakování 500 let a více

na Děčínsku ve Šluknovském výběžku, v okolí Netolic na Českokubějovicku, u Soběslavi na Táborsku, v okolí Podbořan na Lounsku a Jirkova na Chomutovsku, v okolí Horšovského Týna na Domažlicku a rovněž na Jesenicku. S výjimkou zmíněného Jesenicka se přívalové srážky na území Moravy a Slezska 9. června nevyskytovaly. Nejvýznamnější přívalové povodně byly zaznamenány na Šluknovsku (Jiříkov), na Mladoboleslavsku (Jamníky, Kosmonosy), na Chomutovsku a na Lounsku (Lubenec).

10. června se lokální přívalové srážky vyskytly kromě Čech i na Moravě a ve Slezsku. Maximální denní úhrny jen výjimečně překročily 50 mm. Na Moravě bylo zasaženo opět Jesenicko, dále Opavsko, okolí Šumperka, Blanensko a další spíše již menší území (Bystřice pod Lopeníkem). V Čechách se významnější srážky vyskytly v okolí Mariánských Lázní, na Rokycansku, na Plzeňsku a Prachaticku. Přívalové povodně a lokální zatopení byly hlášeny např. z okolí Bystřice pod Lopeníkem, ze Šumperska a Plzeňska.

V důsledku přívalových srážek, které se 8.–10. června vyskytovaly na území ČR, se zvedly hladiny i větších řek (Lužnice, Radbuza, Klabava, Berounka, toky na Jesenicku), kulminační průtoky však jen ojediněle přesáhly dobu opakování 5 let. Průběh povodně na malých povodích, zasažených přívalovými srážkami, bude ve vybraných případech ještě vyhodnocen pomocí srážkoodtokového modelu.

3.3 Srážková epizoda 24.–25. června

Situace na tocích se ve druhé polovině června uklidňovala a jejich vodnosti postupně klesaly k hodnotám odpovídajícím 210 až 60denním průtokům. Povodí však byla stále nasycena, a tak po vydatných regionálních srážkách 24. a 25. června hladiny některých toků opětovně stoupaly na povodňové stavy. Srážky zasáhly zejména východní polovinu Čech a pomezí Čech a Moravy.

Srážkové úhrny za uvedené dva dny místně přesáhly 100 mm. Nejvyšší úhrny se vyskytly v povodí Chrudimky a Doubravy a na hřebenech Krkonoš a Jizerských hor. Odtoková odezva byla nejvýraznější v povodí Chrudimky a Doubravy. Kulminační průtok s největší extremitou (až 50 let) se vyskytl na Novohradce v Luži a Úhřetvicích, významně rozvodněn byl i přítok Novohradky Žejbro ve Vrbatově Kostelci (20–50letý průtok). Povodňová vlna na Chrudimce nad soutokem s Novohradkou byla transformována účinkem soustavy nádrží a doba opakování kulminačních průtoků nepřesáhla 5 let. Na Doubravě, druhém nejvíce zasaženém povodí, byl ve Spačicích překročen 10letý průtok.

4. ZHODNOCENÍ EXTREMITY POVODNĚ

V důsledku kombinace regionálních a lokálních přívalových srážek ve srážkové epizodě 1. a 2. června se významné průtoky vyskytly nejen na větších tocích, ale i na menších tocích s plochou povodí v řádu desítek až stovek kilometrů čtverečních.

V tab. 1 je uveden seznam profilů, kde doba opakování kulminačního průtoku během první vlny povodně dosáhla více než 5 let. Extrémní povodně s dobou opakování více než 100 let se vyskytly v Podkrkonoší na říčce Čisté, v povodí Cidliny na Bystřici, v povodí Mrliny, v Plaňanech na Výrovce, v Radíči na Mastníku a ve všech vodoměrných profilech v povodí vlašimské Blanice. Lze se oprávněně domnívat, že průtoky s touto extremitou byly i na mnohých nepozorovaných menších vodotečích v nejvíce zasažených

oblastech. Je proto možné konstatovat, že průtoky s větší extremitou se vyskytovaly spíše na menších tocích.

Z hlavních přítoků Vltavy byla nejvíce rozvodněna Lužnice, kde doba opakování v Bechyni dosáhla 100 let, na Otavě v Písku a na Sázavě v Nespekách šlo o 20 až 50letý průtok a na Berounce v Berouně byl dosažen 20letý průtok. Na Vltavě od Českých Budějovic až po soutok s Labem extrémita kulminačního průtoku ve vodoměrných stanicích odpovídala době opakování 20–50 let. Na Labi v Ústí nad Labem, Děčíně a Hřensku byl rovněž dosažen 20 až 50letý průtok.

V porovnání s povodní v srpnu 2002 byla povodeň v červnu 2013 co do extremity méně významná, ale její nástup byl důsledkem odlišného rozložení příčinných srážek a jejich výraznější intenzity v mnohých profilech rychlejší.

5. ZÁVĚR

Povodně, které se v červnu 2013 vyskytly na našem území, byly typickými letními povodněmi z regionálních a lokálních přívalových srážek. I když v průběhu června jsou patrné tři průtokové vlny, z hlediska plošného rozsahu a extremity byla jednoznačně nejvýznamnější první vlna povodně, způsobená srážkami spadlými 1. a 2. června. Povodňovou vlnu z první vlny srážek lze charakterizovat těmito aspekty:

Velikost odtoku za povodně byla značně ovlivněna velmi silným nasycením území srážkami, které spadly v poslední dekádě května.

Největších extremit dosáhly kulminační průtoky na menších a malých vodních tocích, kde došlo ke kombinaci přívalových a regionálních srážek. V některých oblastech to vedlo k projevům erozní činnosti a sesuvům půdy.

V některých profilech se vyskytl největší kulminační průtok v historii pozorování (Blanice v Radonicích, Mastník v Radíči, Kocába ve Štěchovicích atd.) a doba opakování překročila 100 let.

Nástup povodně na některých velkých tocích byl atypický a velmi rychlý v důsledku zasažení dolní části povodí vydatnými a intenzivními srážkami a velkou dotací z jejich extrémně rozvodněných menších přítoků (Sázava v Nespekách, Lužnice v Bechyni, částečně i Vltava v Praze).

Literatura

- [1] HANDŽÁK, Š. – VRABEC, M. – ČERNÁ, L., 2013. Týdenní zpráva o hydrometeorologické situaci v České republice. Zpráva č. 18. Týden od 29. 4. do 5. 5., ČHMÚ.
- [2] FRYČ, T. – KURKA, D., 2013. Měření a vyhodnocení průtokových množství v době povodně v červnu 2013. *Meteorologické Zprávy*, roč. 66, č. 6, s. 208–212. ISSN 0026-1173.
- [3] NOVÁK, P. – KYZNAROVÁ, H., 2013. Využití radarových měření pro kvantitativní odhady a nowcasting srážek v Českém hydrometeorologickém ústavu. *Meteorologické Zprávy*, roč. 66, č. 6, s. 175–181. ISSN 0026-1173.
- [4] VALERIANOVÁ, A. – HOLTANOVÁ, E. – CRHOVÁ, L., 2013. Klimatologie příčinných srážek červnové povodně v České republice v roce 2013. *Meteorologické Zprávy*, roč. 66, č. 6, s. 190–196. ISSN 0026-1173.

Lektor (Reviewer): Ing. Adam Vízina

PŘEDPOVĚDNÍ POVODŇOVÁ SLUŽBA PŘI POVODNI V ČERVNU 2013

Radek Čekal, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, cekal@chmi.cz

Tomáš Vlasák, Český hydrometeorologický ústav, Pobočka České Budějovice, Antala Staška 1177/32, 370 07 České Budějovice 7, tomas.vlasak@chmi.cz

Flood Forecasting Service during the floods of June 2013. The Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) is responsible for Flood Forecasting Service in the Czech Republic. Flood Forecasting Service has developed new information products to support flood protection since floods in August 2002. This paper presents overview of activities of Flood Forecasting Service, in particular activities related to flood warnings during flood in June 2013. Hydrological model forecasts are the most important source for issuing of flood warnings. Therefore assessment of forecasts performance was carried out and results are presented in more detail. Evaluation of hydrological forecasts has been done using the peak over the threshold (flood stage category) approach. Forecasts were sorted according to success of the event prediction to categories HIT, MISS, and FALSE ALARM. First flood warnings based on hydrological forecasts were released almost 3 days in advance. Success rate of forecasts calculated with given method was a bit higher the average rate from period 2002 to 2012. But the hydrograph rising limb and peak flow were in most cases underestimated. Therefore level of danger of released warnings was lower than it should have been. Assessment of uncertainty sources showed that quantitative precipitation forecast were underestimated as well as fast runoff (represented by surface and subsurface flow) calculated by hydrological model.

KLÍČOVÁ SLOVA: povodeň – model hydrologický – předpovědi průtoku – vyhodnocení předpovědi

KEY WORDS: Flood – hydrological modelling – flow forecast – forecast evaluation

1. ÚVOD

Aktivity jednotlivých účastníků systému ochrany před povodněmi v České republice v rámci hlášené a předpovědní povodňové služby jsou legislativně dány vodním zákonem (č. 254/2001 Sb.).

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) zabezpečuje ve spolupráci se správci povodí předpovědní povodňovou službu. Současně se ČHMÚ účastní na hlášené povodňové službě. Pro její zabezpečení ČHMÚ provozuje meteorologické a hydrologické měřicí sítě a síť předpovědních pracovišť. Centrální předpovědní pracoviště (CPP) v Praze má za úkol vytváření výstrah a informačních zpráv v rámci předpovědní povodňové služby.

Předkládaný článek se věnuje činnosti předpovědních hydrologických pracovišť ČHMÚ, vydávání hydrologických informačních zpráv, a zejména pak zhodnocení modelových hydrologických předpovědí z průběhu povodňových epizod v červnu 2013.

Povodňovou situaci na konci května a v průběhu června 2013 lze z odtokového hlediska rozdělit na tři samostatné odtokové vlny. První vlna, která na většině hydrologických stanic dosáhla největší extremity, byla omezena obdobím od konce května do 6. června, druhá vlna se na malém počtu toků vyskytla mezi 7. a 13. červnem a třetí vlna je omezena 23. až 27. červnem 2013.

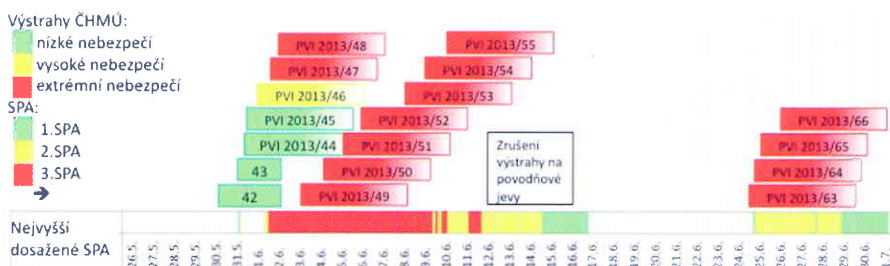
Zvýšená aktivita hydrologických předpovědních pracovišť, tzn. prodloužené nebo nepřetržité služby, čtenější aktualizace hydrologických předpovědí a vydávání výstražných informací se týkala zejména pracovišť ČHMÚ v povodí Labe.

2. PŘEDPOVĚDNÍ VÝSTRAŽNÉ INFORMACE A INFORMACE O VÝSKYTU NEBEZPEČNÝCH JEVŮ

První předpovědní výstražná informace (dále jen PVI) na nebezpečí související s povodňovou událostí byla CPP v Praze-Komořanech vydána v neděli 26. 5. 2013 v 08:51 UTC. PVI byla vydána na nízký stupeň povodňové bdělosti pro celý Plzeňský kraj. Následující den, tedy 27. 5. 2013, však byla s okamžitou platností zrušena.

PVI ze středy 29. 5. 2013 v 09:51 UTC týkající se povodňových jevů, která varovala před nebezpečím vzniku povodně s vysokým stupněm nebezpečí – 2. stupeň povodňové aktivity (dále jen SPA), pro Liberecký a Ústecký kraj a nízkým stupněm nebezpečí (1. SPA) pro kraje Karlovarský a Plzeňský, lze považovat za začátek povodňové epizody. Následující dny byly v aktualizovaných výstrahách zmiňovány i ostatní kraje a postupně se zvyšovaly také stupně nebezpečí povodně. Z vyhodnocení úspěšnosti výstrah na povodňové jevy vyplynulo, že předstih prvních výstrah byl dostatečný (až 3 dny před výskytem prvních SPA). Avšak při první povodňové vlně, ještě bezprostředně před výrazným překročením 3. SPA na horních profilech, se v závislosti na předpovědi srážek nepředpokládalo, že povodeň dosáhne takové extremity, a proto platné výstrahy upozorňovaly pouze na nižší stupeň nebezpečí.

Celkem bylo v období od 26. 5. 2013 do 27. 6. 2013 vydáno 20 PVI předpovědní povodňové služby na výskyt meteorologických jevů bouřka, déšť a povodeň. Největší



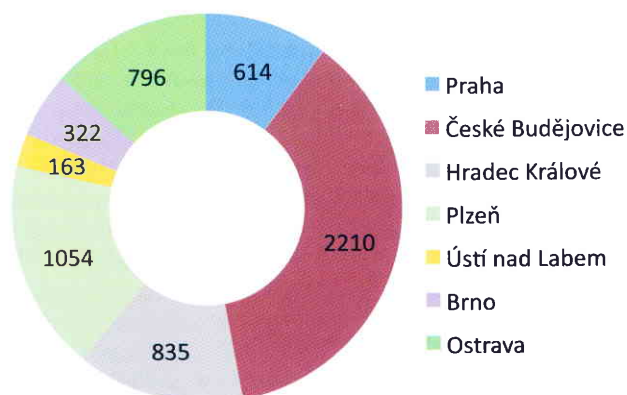
Obr. 1. Přehled vydaných PVI pro povodňové stupně na příkladu Jihočeského kraje a jejich srovnání s dosaženými SPA.

Fig. 1. Overview of released PVI warnings of flood stages, example of the South Bohemian Region, and their comparison with the degrees of flood stages.

Tab. 1 Počet vydaných zpráv HIZ a HRIZ během povodňových událostí v červnu 2013.

Table 1. Number of HIZ (hydrological information reports) and HRIZ (hydrological regional reports) released during the June 2013 floods.

Pracoviště	Počet vydaných HRIZ (HIZ) během povodňové situace			
	do 6. 6. 2013	7. 6.–13. 6. 2013	od 23. 6. do 27. 6. 2013	Celkem
RPP (zprávy HRIZ)	52	18	17	87
CPP (zprávy HIZ)	13	5	3	21

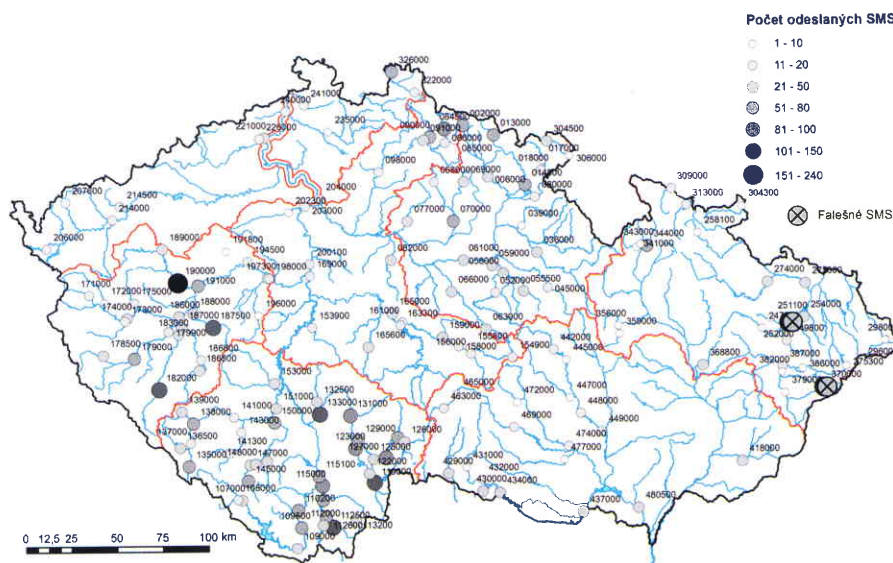


Obr. 2 Počet odeslaných varovných SMS z vodoměrných stanic z územní působnosti jednotlivých poboček ČHMÚ během povodní v červnu 2013.

Fig. 2. Number of warning text messages transmitted from water gauging stations in areas served by each of the CHMI's regional offices during the June 2013 floods.

počet, 12 PVI, byl vyhotoven během první povodňové vlny, u druhé a třetí vlny byly vydány shodně čtyři PVI.

Informací o výskytu nebezpečných jevů (dále jen IVNJ) upozorňující na výskyt extrémního stupně nebezpečí intenzivní srážky, silné bouřky a dosažení 3. stupně povodňové aktivity bylo v průběhu červnových povodní vydáno 47, nejvíce 28 při první povodňové vlně, při druhé a třetí vlně 10 resp. 9 IVNJ.



Obr. 3 Počet varovných SMS odeslaných z vodoměrných profilů ČHMÚ během povodně v červnu 2013 (červeně je vyznačena územní působnost poboček ČHMÚ).

Fig. 3. Number of warning text messages transmitted from the CHMI's water gauging sites during the June 2013 floods (red: areas served by the CHMI's regional offices).

3. HYDROLOGICKÉ INFORMAČNÍ ZPRÁVY A VAROVNÉ SMS Z VODOMĚRNÝCH PROFILŮ

Při vydání výstrahy na povodňové jevy je dále vývoj odtokové situace průběžně popisován v hydrologických informačních zprávách (HIZ) pro celou ČR a v hydrologických regionálních informačních zprávách (HRIZ). Tyto zprávy jsou vedle výstrah nejdůležitější informací pro orgány protipovodňové ochrany.

Během tří povodňových epizod v červnu 2013 bylo vydáno 108 zpráv HIZ a HRIZ, z toho oddělení hydrologických předpovědí CPP v Praze-Komořanech vyhotovilo 21 zpráv HIZ. Největší počet 13 jich bylo vydáno během první odtokové vlny, během druhé vlny pět a u třetí vlny tři zprávy HIZ. Na RPP na pobočkách ČHMÚ bylo během tří povodňových epizod publikováno celkem 87 hydrologických regionálních zpráv HRIZ. Nejvíce, 52, jich bylo při první odtokové vlně, během druhé a třetí vlny bylo pak 18 resp. 17 zpráv, tab. 1.

Automatizované vodoměrné stanice provozované Českým hydrometeorologickým ústavem kromě samotného měření a odesílání dat na příslušné servery generují také varovné SMS. Generování těchto zpráv je vázáno na překročení, či podkročení určených limitů odpovídajících úrovním SPA pro dané vodoměrné profily. Zprávy jsou pak podle distribučního seznamu příslušné stanice odesílány koncovým uživatelům: zaměstnancům ČHMÚ, podnikům Povodí, s. p., operačním střediskům Hasičského záchranného sboru, a na základě pořadníku též krajským úřadům, obecním úřadům a obcím s rozšířenou působností.

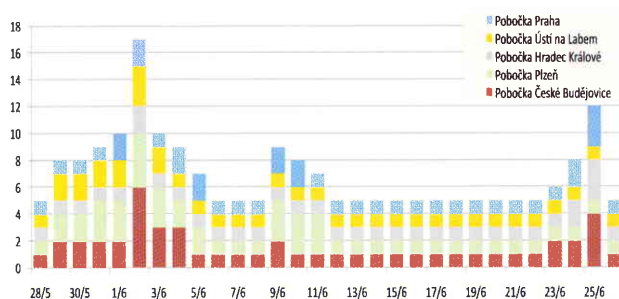
Varovné SMS jsou důležitou informací zejména u povodní s rychlým nástupem pro aktivizaci povodňových orgánů. Během měsíce června 2013 bylo automatickými stanicemi ČHMÚ vygenerováno a odesláno téměř 6 000 varovných SMS. Z tohoto čísla největší část připadá na vodoměrné stanice v územní působnosti poboček České Budějovice a Plzně, (obr. 2, obr. 3).

4. HYDROLOGICKÉ PŘEDPOVĚDI A JEJICH VYHODNOCENÍ

4.1 Hydrologické modelové předpovědi

Za běžné situace připravují předpovědní pracoviště ČHMÚ hydrologickou předpověď jednou denně, zpravidla mezi 9:00 a 10:00 SELČ (UTC +2 h). V povodí Labe se používá hydrologický model AquaLog, v povodí Odry a Moravy model Hydrog. Během hrozící nebo již probíhající povodně se předpovědi aktualizují častěji s ohledem na aktuální vývoj hydrologické situace. Protože vstupem do modelu je předpověď srážek a teploty vzduchu z numerického předpovědního modelu ALADIN, který obnovuje výpočet vždy po 6 hodinách, je také hydrologická předpověď aktualizována nejdříve za dalších 6 hodin.

Většina předpovědních pracovišť zvýšila četnost výpočtu hydrologické předpovědi již na konci



Obr. 4 Četnost vydaných hydrologických předpovědí podle předpovědních pracovišť a dne.

Fig. 4. Frequency of hydrological forecasts issued, by forecasting office and day.

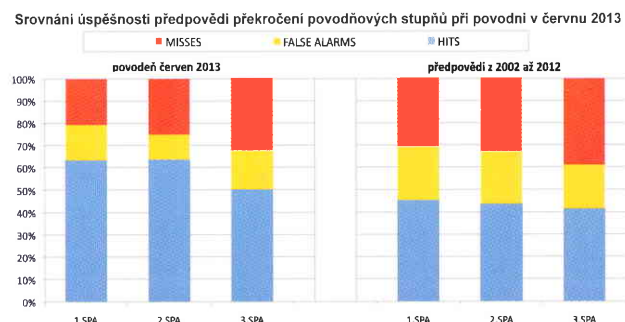
května, kdy meteorologické modely začaly signalizovat riziko vydatných srážek. Vrchol aktivity z hlediska počtu vydaných hydrologických modelových předpovědí byl mezi 1. a 3. červnem. Například hydroprognózní pracoviště pobočky Plzeň v době od 31. 5. do 3. 6. aktualizovalo hydrologickou předpověď s dvěma výjimkami nepřetržitě každých 6 hodin. Celkově za celou povodňovou epizodu z června 2013 vydali hydroprognostici ČHMÚ na pracovištích v povodí Labe 59 předpovědí nad rámec běžného klidového režimu (obr. 4).

4.2 Souhrnné vyhodnocení hydrologických modelových předpovědí

K souhrnnému vyhodnocení úspěšnosti všech hydrologických předpovědí vydaných ČHMÚ byla použita metoda kategoriálního hodnocení. Metoda je založena na redukci předpovědi (časové řady průtoků) na jediný jev; její podrobný popis je publikován například v [1, 4]. Vyhodnocení pak sleduje, zda byl či nebyl daný jev předpověděn a zda nastal či nenastal. Každou předpověď je možné přiřadit do jedné ze čtyř kategorií: HIT (úspěšná předpověď), FALSE ALARM (falešné varování), MISS (chybějící varování) a bez předpovídaného jevu, viz kontingenční tabulka.

Jev pozorován → Jev předpovídan ↓	Ano	Ne
Ano	HIT	FALSE ALARM
Ne	MISS	—

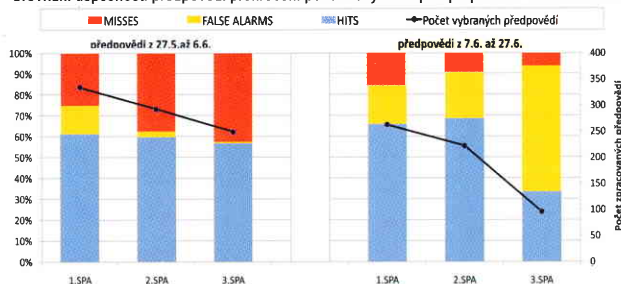
Předpovídaným jevem bylo zvoleno překročení 1., 2. a 3. SPA, tedy události, které mají přímou návaznost na činnost povodňových orgánů. Podmínkou pro zařazení do některé z kategorií HIT, MISS nebo FALSE ALARM bylo, aby poslední pozorovaný průtok byl menší než zvolený prahový



Obr. 5 Kategoriální hodnocení úspěšnosti hydrologických předpovědí při povodni v červnu 2013 v porovnání s dlouhodobou úspěšností.

Fig. 5. Categorical evaluation of the success rate of hydrological forecasts during the June 2013 floods, compared with the long-term success rate.

Srovnání úspěšnosti předpovědí překročení povodňových stupňů při povodni v červnu 2013



Obr. 6 Kategoriální hodnocení úspěšnosti hydrologických předpovědí při povodni v červnu 2013.

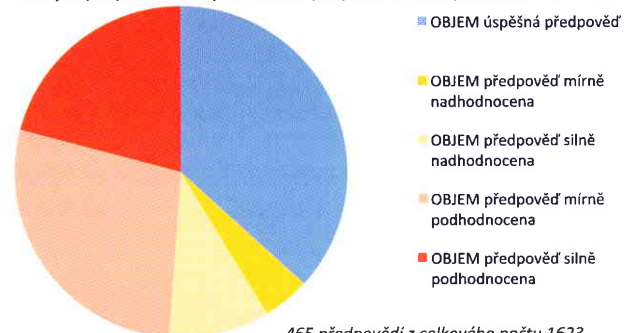
Fig. 6. Categorical evaluation of the success rate of hydrological forecasts during the June 2013 floods.

průtok. Hodnoceny tedy byly pouze hydrologické předpovědi na vzestupu povodně.

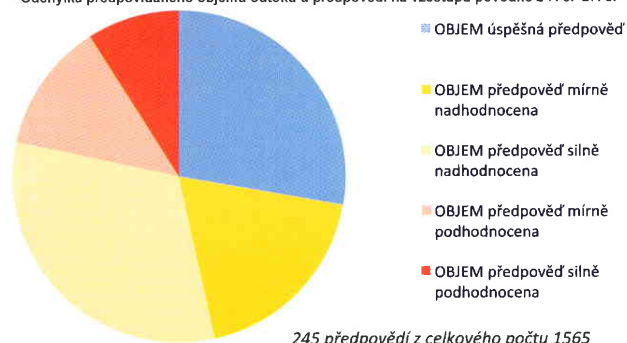
Kategoriální vyhodnocení všech hydrologických modelových předpovědí, které byly vydané mezi 27. květnem a 27. červnem 2013 (obr. 5), ukazuje že většina předpovědí správně signalizovala překročení SPA, což je lepší výsledek, než je dlouhodobá úspěšnost předpovědí, založená na identické metodě za období 2002 až 2012 [1]. Se zvyšující se extremitou prahového průtoku (SPA) úspěšnost předpovědí klesala. Použije-li se jako kritérium namísto SPA překročení úrovně desetileté povodně, pak již téměř polovina vydaných předpovědí spadá do kategorie MISS (chybějící varování).

Podíl falešných varování (FALSE ALARM) a chybějících varování (MISS) je výrazně odlišný u první, hlavní vlny povodně ze začátku června a dalších podružných vln, které následovaly v druhé a třetí červnové dekádě. Z výrazné převahy četnosti předpovědí v kategorii MISS nad FALSE ALARM (obr. 6) vyplývá, že předpovědi na vzestupu první povodňové vlny čas-

Odchylka předpovídaného objemu odtoku u předpovědí na vzestupu povodně z 28. 5.–6. 6.



Odchylka předpovídaného objemu odtoku u předpovědí na vzestupu povodně z 7. 6.–27. 6.



Obr. 7 Vyhodnocení předpovědí objemů odtoku na vzestupných větvích povodně.

Fig. 7. Evaluation of the forecasts of run-off volumes in the flood rising segments.

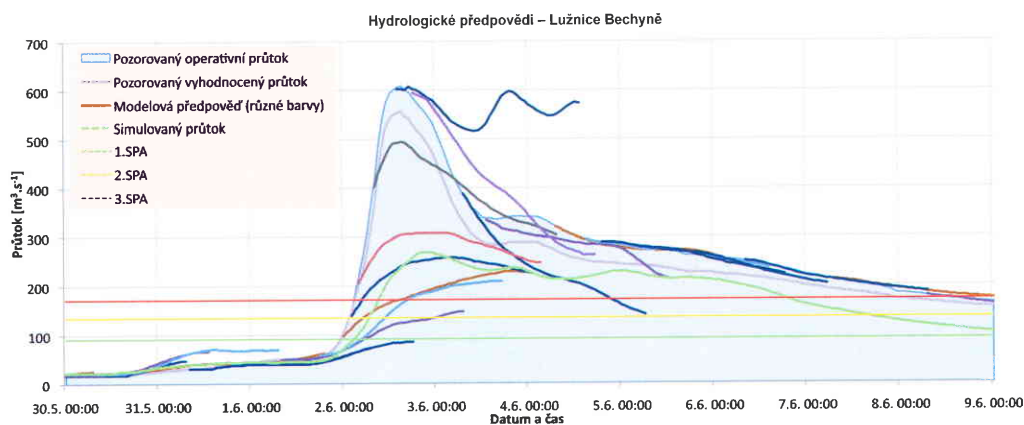
těji podhodnocovaly skutečný průtok. Hydrologické předpovědi ve druhé a třetí červnové dekádě naopak častěji varovaly před povodňovými stavy, které nakonec nebyly dosaženy (obr. 6).

Další použitou metodou hodnocení bylo porovnání předpověďného a pozorovaného objemu odtoku za celé předpovědní období (0 + 48 h). Předpověditelnost objemu odtoku je klíčová zejména pro operativní řízení vodních nádrží, kde je celkový objem přítoku do nádrže stejně důležitým kritériem jako kulminace a časový průběh průtoku. Hodnocené předpovědi byly rozděleny podle podílu mezi předpovídaným a pozorovaným objemem odtoku do 5 kategorií podle: (1) úspěšné předpovědi s odchylkou do $\pm 20\%$, (2) předpovědi mírně nadhodnocené – odchylka mezi $+20\%$ až $+40\%$, (3) předpovědi silně nadhodnocené – odchylka více než $+40\%$, (4) předpovědi mírně podhodnocené – odchylka mezi -20% až -40% , (5) předpovědi silně podhodnocené – odchylka méně než -40% .

Pro hodnocení předpovídaného objemu odtoku byly použity pouze předpovědi, u kterých na předpovídané nebo pozorované časové řadě průtoků došlo k výraznému zvětšení průtoku o hodnotu rovnající se rozdílu mezi hodnotou jednoletého a dlouhodobého průměrného průtoku pro daný vodoměrný profil. Předpovědi při setrvalém vodním stavu nebo nevýrazném kolísání hladiny nebyly do hodnocení zahrnuty.

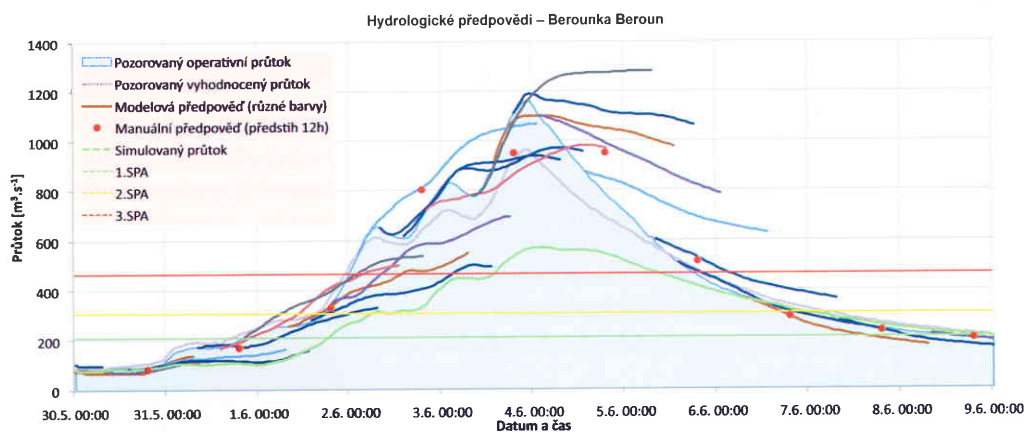
V době vzestupu hlavní povodňové vlny ze začátku června byla 1/3 objemových předpovědí úspěšných a téměř polovina měla předpovídaný objem vody mírně nebo silně pod-

hodnocený (obr. 7). Důvodem relativně vysokého počtu podhodnocených předpovědí byla kombinace podhodnocené předpovědi srážek a výpočtu srážkoodtokového vztahu (viz níže). Na nejistotu hydrologického modelu lze usuzovat i z relativně vyššího počtu nadhodnocených předpovědí na poklesové fázi povodňové vlny, kde již nehraje roli vliv předpovědi srážek, ale faktory spojené se samotným výpo-



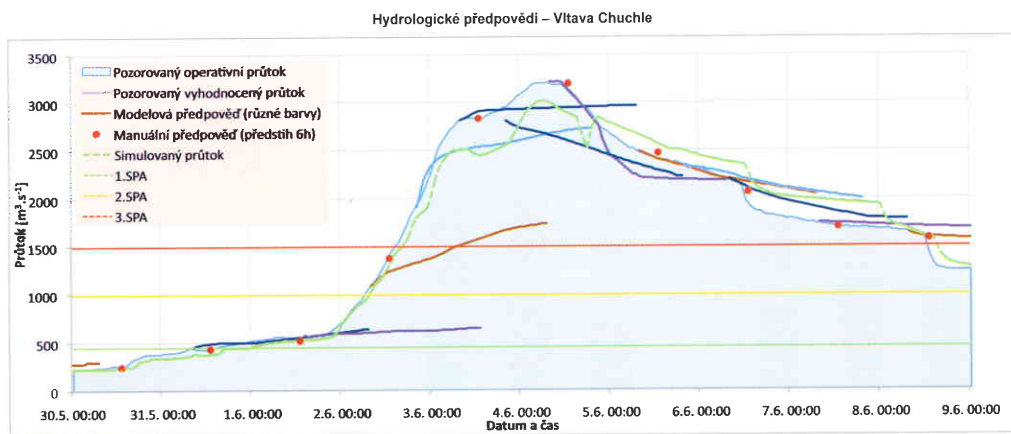
Obr. 8 Hydrologické předpovědi a zpětné simulace průtoku modelem podle skutečných srážek.

Fig. 8. Hydrological forecasts and retrospective discharge simulation using a model and actual precipitation data.



Obr. 9 Hydrologické předpovědi a zpětné simulace průtoku modelem podle skutečných srážek.

Fig. 9. Hydrological forecasts and retrospective discharge simulation using a model and actual precipitation data.



Obr. 10 Hydrologické předpovědi a zpětné simulace průtoku modelem podle skutečných srážek a měřených průtoků ve výše ležících profilech.

Fig. 10. Hydrological forecasts and retrospective discharge simulation using a model and actual precipitation data and discharges measured at higher altitude sites.

čtem hydrologického modelu. Je-li simulovaná povodňová vlna menší než skutečná, pak typickým projevem je podhodnocení předpovědi při nástupu povodně a nadhodnocení při poklesu hladin.

U předpovědi objemu odtoku při druhé povodňové vlně dominuje výrazný podíl nadhodnocených předpovědí, a to především na vzestupné části povodňové vlny. V tomto případě odchylky souvisely převážně s nadhodnocenou předpovědí srážek.

Na podhodnocení hydrologických předpovědí u první povodňové vlny se kromě podhodnocené předpovědi srážek podílel relativně větší měrou také výpočet hydrologického modelu. Rozbor výpočtu jednotlivých odtokových složek ukázal, že model v příliš velké míře převáděl vodu ze spadlých srážek do základního odtoku (dotace zásob podzemních vod). Ve skutečnosti značný podíl srážek odtékal povrchově a podpovrchově i přesto, že základní odtok před povodní signalizoval, že podložní vrstvy mají relativně velkou kapacitu pro zachycení srážek. Proces perkolace, tzn. převádění vody mezi vrchní půdní vrstvou a podloží, probíhal při povodni výrazně pomaleji, než jak byl podle předchozích povodní nakalibrován v modelu [2].

4.3 Vyhodnocení úspěšnosti hydrologických modelových předpovědí u vybraných vodoměrných stanic

Vyhodnocení úspěšnosti hydrologických modelových předpovědí pro dolní tok Lužnice

Dolní tok Lužnice pod Tábořem a také její přítoky (Smutná aj.) dosáhly na začátku června 100letých průtoků [3]. Hydrologické předpovědi se v této oblasti počítají pro Lužnici v Bechyni a pro říčku Smutnou v Ratajích. Přestože v případě Lužnice se jedná o spodní úsek velké řeky, povodňová vlna je tvarem typická spíše pro pramenné oblasti, protože odtok se tvořil převážně v dolní části povodí (obr. 8). Předpovědi většinou silně podhodnotily skutečný průběh odtoku.

Příčina neuspokojivé hydrologické předpovědi je v kombinaci podhodnocené předpovědi srážek a podhodnoceného výpočtu hydrologického modelu. V předpovědi srážek, která byla k dispozici 1. 6. 2013 v ranních hodinách, se počítalo s plošným úhrnem 40 mm za 48 hodin pro danou oblast, ve skutečnosti však napadlo až 80 mm. Zpětné výpočty hydrologického modelu (v grafu uvedeno jako simulovaný průtok) navíc ukázaly, že i při přesné předpovědi srážek, by tuto extrémní odtokovou situaci model nedokázal uspokojivě simulovat, a povodeň by významně podhodnotil. Modelové parametry povodí dolní Lužnice budou na základě této povodně znova kalibrovány ve smyslu posílení složek přímého odtoku.

Vyhodnocení úspěšnosti hydrologických modelových předpovědí pro dolní tok Berounky

Doba opakování povodně na Berounce v dolním úseku v profilu Beroun byla odhadnuta na 20 let [3]. Delší doběhové doby způsobují, že hydrologická předpověď je v tomto profilu méně závislá na předpovědi srážek. Podhodnocení předpovědí na vzestupné větvi povodňové vlny proto nebylo tak výrazné, a tak ho lze z větší části připsat nejistotám spojeným s hydrologickým modelováním, jak ukazuje i podhodnocený simulovaný průtok vypočtený na základě naměřených srážek bez zpřesnění pomocí zahr-

nutí měřených průtoků z výše ležících vodoměrných profilů (obr. 9).

Vyhodnocení úspěšnosti hydrologických modelových předpovědí pro dolní tok Vltavy pod vodní dílem Vrané

Předpovědi pro dolní tok Vltavy pod soutokem s Berounkou a pod VD Vrané jsou ovlivňovány předpověďmi pro dolní tok Berounky, profil Beroun a zejména pak včasnými informacemi o manipulacích na Vltavské kaskádě, jejíž poslední stupeň, VD Vrané, je v bezprostřední blízkosti profilu Praha-Chuchle. Vzhledem k tomu, že při povodni v prvním červnovém týdnu byl průtok Prahou (doba opakování kulminačního průtoku byla vyhodnocena na 20 až 50 let [3]) vytvářen z jedné třetiny přítokem z Berounky a ze dvou třetin odtokem z kaskády, byla úspěšnost předpovědí přímo úměrná informacím o řízeném odtoku z Vltavské kaskády, který je zcela v kompetenci Povodí Vltavy, s. p., obr. 10 (v tomto případě je simulovaný průtok založen na vstupu měřených průtoků v Berouně a ve Vraném – srovnej s obr. 9).

5. ZÁVĚR

Během povodně v červnu 2013 hydrologická předpovědní pracoviště ČHMÚ plnila všechny povinnosti v rámci zajištění předpovědní povodňové služby. V porovnání s povodní v roce 2002 došlo k výraznému rozšíření informační podpory rozhodování povodňových orgánů, k dispozici bylo více hlášených i předpovědních stanic, aktuální informace ze srážkoměrných stanic, informační zprávy, textové verze předpovědí, varovné SMS atd.

Z vyhodnocení předpovědních výstražných informací vyplývá, že časový předstih varování na povodňovou situaci v červnu 2013 byl dostatečný, avšak stupeň nebezpečí, extremity, byla v prvních PVI podceněna.

Na celkové úspěšnosti hydrologických předpovědí se negativně podepsala skutečnost, že u první povodňové vlny byla místy výrazně podhodnocena i předpověď srážek a v návaznosti na to i samotný výpočet odtokové odezvy. To znamená, že odchylky obou hlavních zdrojů nejistoty předpovědi byly orientovány na stejnou stranu. Podobná synergie platí i u předpovědí při epizodách z druhé a třetí červnové dekády, v tomto případě šlo ovšem o opačný efekt – nadhodnocení předpovědí.

Literatura:

- [1] ČHMÚ, 2013. Vyhodnocení úspěšnosti hydrologických předpovědí povodní v letech 2002–2012. [cit. 30. 10. 2013]. Dostupné na WWW <<http://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/vyhodnoceni.html>>.
- [2] NWS, 2013. NWS RFS User Manual – Conceptualization of the Sacramento Soil Moisture Accounting Model. [cit. 30. 10. 2013]. Dostupné na WWW <http://www.nws.noaa.gov/oh/hrl/nwsrfs/users_manual/part2/_pdf/23sacsm.pdf>.
- [3] ŠERCL, P. – TYL, R. – PECHA, M., 2013. Průběh a extremity povodně v červnu 2013. *Meteorologické Zprávy*, roč. 66, č. 6, s. 197–202. ISSN 0026-1173.
- [4] VLASÁK, T. – DAÑHELKA, J., 2010. Vyhodnocení hydrologických předpovědí povodní v povodí Labe. *Meteorologické Zprávy*, roč. 63, č. 1, s. 5–12. ISSN 0026-1173.

Lektor (Reviewer): RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D.

MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ PRŮTOKOVÝCH MNOŽSTVÍ V DOBĚ POVODNĚ V ČERVNU 2013

Tomáš Fryč, Daniel Kurka, Český hydrometeorologický ústav, Pobočka Praha, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, fryc@chmi.cz, kurka@chmi.cz

Flood measurements and evaluations during the floods of June 2013. Flood measurements and evaluations are some of the most interesting aspects of a hydrologist's work. The contribution reports primarily on the measurements taken using ADCP instruments during the floods. It outlines the relationships between the measured water levels and discharges, using the discharge rating curves. The purpose of the contribution is to highlight the importance of data on directly measured discharges for the final evaluation of discharge volumes during floods.

KLÍČOVÁ SLOVA: povodeň – měření a vyhodnocování – ADCP
KEY WORDS: floods – measurements and evaluations – ADCP

1. ÚVOD

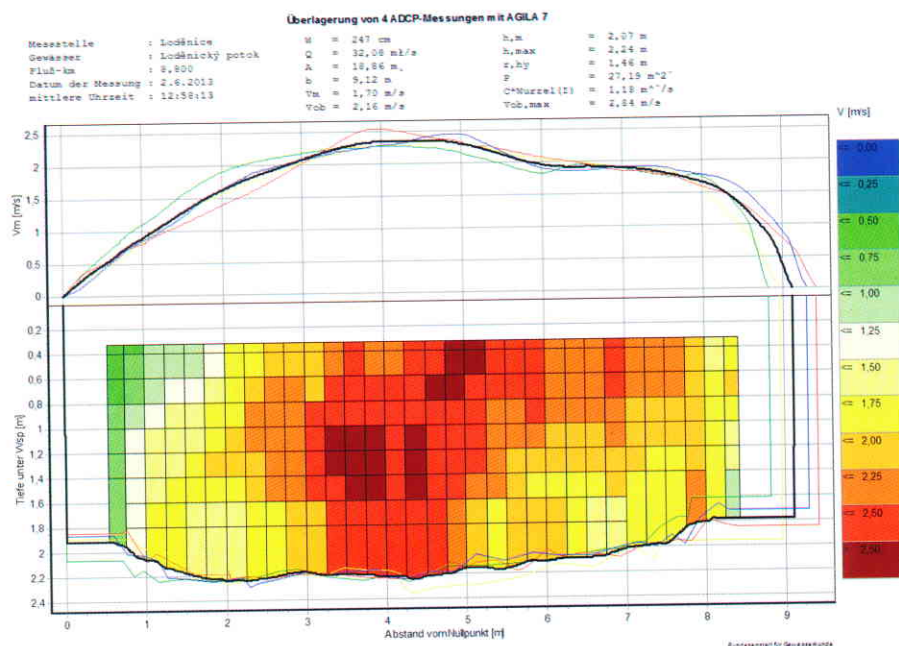
Hlavní pracovní náplní hydrologů ve skupině povrchových vod na pobočkách Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) je zajišťování monitoringu množství proteklé vody v pozorovaných měrných profilech na vodních tocích. Ani dnešní technika hydrologům zatím neumožňuje kontinuálně automaticky měřit průtok. S tím se zatím jen experimentuje v několika speciálních profilech, např. na Vltavě v Českých Budějovicích, ale má to značná úskalí spočívající především v investiční náročnosti a nutnosti extrapolace při rozlivu, neboť měrný paprsek monitoruje pouze koryto řeky. Proto se pomocí automatických přístrojů měří, co se týká množství, pouze vodní stav. Ke kontinuálnímu sledování hladiny sloužily dříve mechanické limnigrafy plovákového typu s automatickým záznamem na registrační papír se speciálním rastrem. Dnes je většina těchto přístrojů nahrazena moderními digitálními datalogery s principem měření nejčastěji pomocí tlakových čidel. Největší výhodou těchto přístrojů je možnost okamžitého přenosu naměřených dat o stavu hladiny na pobočku ČHMÚ. Tam

se údaj o změřeném vodním stavu okamžitě přepočte pomocí tzv. měrné křivky průtoku (MKP) na průtok, to je již údaj, který zajímá většinu uživatelů hydrologických dat. Ke správnému určení výsledného průtoku, musí být sestavená MKP pro každý měrný profil co nejpřesnější. A to je právě prací hydrologů – měřičů, kteří pravidelně provádějí měření na všech vodoměrných profilech během různých vodních stavů, a sledují tak závislost průtoku na vodním stavu. Při běžných vodních stavech bývají MKP většinou velmi spolehlivé, neboť hydrologové provedou několikrát za rok kontrolní měření průtoku. Buď pomocí hydrometrické vrtule nebo moderními ultrazvukovými měřidly na principu ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Spolehlivost MKP u velmi vysokých stavů, za které můžeme považovat přibližně překročení SPA (stupňů povodňové aktivity), je však horší, neboť úspěšné změření průtoku za vysokého vodního stavu je vzácnější než měření běžná, a to zejména z časových důvodů, neboť takový průtok se vyskytuje třeba jen několik hodin v roce, a ne vždy se hydrologovi podaří na stanici včas dojet a měření úspěšně provést. To se týká hlavně stanic na menších vodních tocích, kterých je přibližně 50 %.

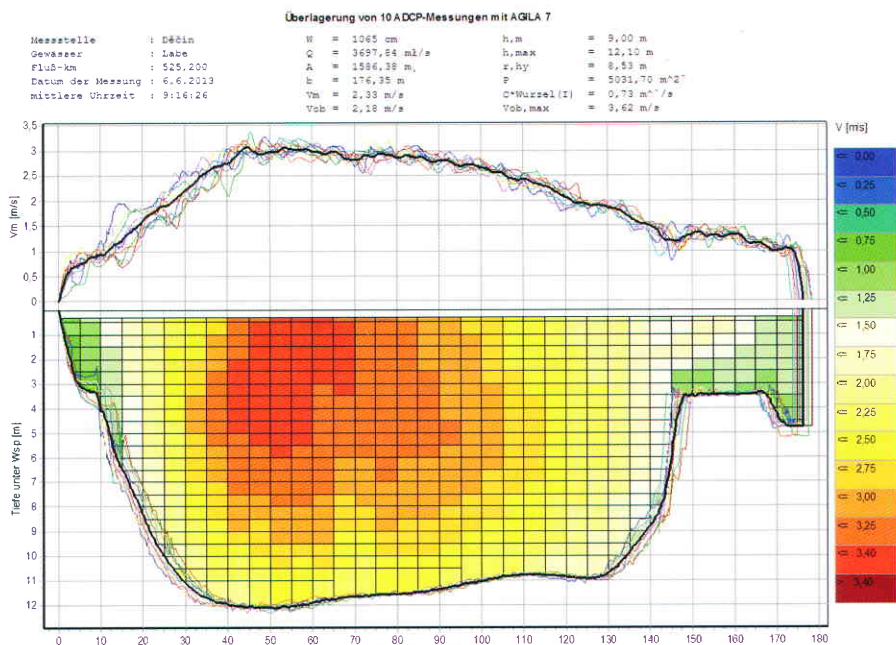
2. MĚŘENÍ ZA POVODNĚ 2013

2.1 Přístrojové a informační vybavení hydrologa na pobočce ČHMÚ v roce 2013

V posledních přibližně 10 letech byla v ČHMÚ provedena významná modernizace technologií, přístrojů i pracovních metod. Začíná to přesnějším předpovídáním srážek pomocí různých numerických modelů a z toho plynoucím vydáváním výstrah jen pro určité konkrétní oblasti. Samozřejmostí je sledování aktuálních srážek pomocí radarů a v posledních letech se výrazně zahustila i síť automatických srážkoměrů, které velmi zpřesňují právě radarové informace. Pro pobočkového hydrologa jsou však nejdůležitější informace z limnigrafických stanic na vodních tocích, které na vět-



Obr. 1 Grafický výstup z měření průtoků přístrojem ADCP – Rio Grande. SW Agila, stanice, ČHMÚ Loděnice (most Hostín), Loděnický potok, 2. 6. 2013 12:00 UTC, $Q_{měř} = 32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{kulm} = 38,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
Fig. 1. Graphic output from discharge measurements using Rio Grande ADCP, Agila software, station: ČHMÚ Loděnice (the Hostín bridge), the Loděnický potok stream, 2 June 2013 at 12:00 UTC, $Q_{measured} = 32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{peak} = 38,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 2 Grafický výstup z měření průtoků přístrojem ADCP – Rio Grande. SW Agila, stanice ČHMÚ Děčín (most E. Beneše), Labe, 6. 6. 2013 8:15 UTC, $Q_{měř} = 3700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{kulm} = 3740 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Fig. 2. Graphic output from discharge measurements using Rio Grande ADCP, Agila software, station: ČHMÚ Děčín (the Edvard Beneš bridge), the Elbe, 6 June 2013 at 8:15 UTC, $Q_{measured} = 3,700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{peak} = 3,740 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

šině měřících stanic v reálném čase hlásí aktuální stav hladiny. Ideální je, když je dostupná pro měrný profil i aktuální předpověď průtoků, avšak to se týká spíše stanic na větších vodních tocích. Dnešním standardem pro měření vodního stavu je interval 10 minut; pokud hladina vystoupí nad určitou úroveň, například při dosažení SPA, stanice ihned posílá varovné SMS na předem nadefinovaná telefonní čísla¹. Kromě pobočkového hydrologa, který má danou stanici na starosti, dostává SMS i předpovědní pracoviště na pobočce a různé orgány státní správy (starostové obcí u vodního toku, hasiči, členové povodňových komisí a další).

Pro úspěšné změření velkého průtoků je rozhodující volba správného měřidla. V ČHMÚ je nyní k dispozici celkem 5 měřících přístrojů typu ADCP – Rio Grande (obr. 6). Tyto plastové čluny trimaranové konstrukce o rozměru cca $0,8 \times 1,2 \text{ m}$ s ultrazvukovou sondou uprostřed dokáží měřit poměrně úspěšně i rychlosti kolem $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Jsou tedy vhodné i pro měření povodňových průtoků a od jejich uvedení do provozu v roce 2004 jsou pro hydrology v ČHMÚ opravdu velkým přínosem. Zjednodušený popis metody měření člunem ADCP viz poznámka pod čarou² [2].

2.2 Situace na pobočce Praha ČHMÚ na konci května 2013

Konec května 2013 byl charakteristický nestabilním počasím [4]. Na území působnosti pobočky³ se vyskytovaly časté místní bouřky s přívalovými dešti. Hydrologové proto měli v terénu téměř každý den. Povodí bylo velmi nasáklé a o zvýšené průtoky nebyla nouze. Před kritickým prvním červnovým víkendem již bylo velmi pravděpodobné, že někde v Čechách spadne opravdu velká srážka, která způsobí komplikace na tocích, avšak až do poslední chvíle nebylo zřejmé, kde přesně se tak stane. Po deštivé sobotě bylo jasné, že už v neděli některé toky dosáhnou povodňových stavů – stupňů povodňové aktivity (SPA), a bude nutno provádět povodňová měření; hydrologové měli pohotovost. První varovné SMS začaly přicházet ze stanic večer

a předpověď rovněž signalizovala další vzestup hladin v tocích. Aktuální ranní situace v neděli 2. 6. 2013 potvrdila již velmi hroživé předpovědi ze sobotního večera. Na většině menších vodních toků, které patří do působnosti ČHMÚ, pobočky Praha, již byly dosaženy 3. SPA. Radarové mapy [3] ukázovaly úhrny srážek za posledních 24 hodin někde i více než 100 mm. Pro rozhodnutí, kam nasměrovat měření pomocí mobilního zařízení byl v tu chvíli rozhodující pohled na aktuální radarové odrazy srážek a samozřejmě i předpověď srážek z modelu ALADIN [1].

2.3 Reportáž z měření průtoků z prvního povodňového dne – neděle 2. 6. 2013

Měření velmi vysokých průtoků je hlavně na menších tocích možné až po dosažení kulminace, neboť na vzestupné povodňové větvi je vodní tok znečištěn velkým

množstvím plovoucích předmětů, a měření by proto bylo velmi nebezpečné. Při první červnové povodňové vlně 2. 6. 2013 proběhla kulminace nejdříve na stanicích v povodí Litavky a na dalších přítocích Berounky. Na přítocích Vltavy ustaly srážky později. Podle toho bylo rozhodnuto započít měření s přístrojem ADCP – Rio Grande nejdříve v povodí Berounky.

Během dopoledne měřící skupina zkontrolovala stanici Praha-Radotín na Radotínském potoce a Loděnici na Loděnickém potoce. V obou případech měření nebylo možné uskutečnit. Vodní toky právě kulminovaly, a nebyl

¹ Všechny tyto informace jsou pro pobočkové měřiče průtoků velmi cenné. Lze pak poměrně dobře udělat plán měření pro daný den tak, aby byly změřeny i vysoké vodní stavy nedlouho po kulminacích.

² Člun, na kterém je přístroj ADCP umístěn, se přemísťuje od jednoho břehu vodního toku ke druhému. V českých podmínkách je člun nejčastěji tažen na laně měřičem, který přechází po mostě. Ultrazvuková sonda snímá akusticky vodní těleso pod sebou. Směrem ke dnu jsou vysílány ve čtyřech vzájemně odkloněných paprscích signály o dané frekvenci, jsou odráženy částicemi rozptýlenými ve vodě a zpětně zachyceny sondou ADCP jako tzv. echa. Změna frekvence mezi vysílaným a přijímaným signálem podává informace o pohybu částic. Systém ADCP je schopen rozlišovat přijatá echa z různých hloubek a na základě toho zkonstruovat rychlostní profil. Další ultrazvukové signály (reflexe ode dna řeky) jsou nutné k určení hloubky a rychlosti pohybu člunu. Z naměřených hodnot (kontinuální průběh rychlostí a příčného profilu) je možné ihned určit okamžitý průtok. Data ze sondy ve člunu jsou on-line přenášena do počítače, který obsluhuje druhý pracovník. Na monitoru počítače je vykreslován graf naměřených hodnot a zároveň probíhá i přepočet na průtoky. Pro zpřesnění výsledků se měření několikrát opakuje. Tato měření se následovně mezi sebou porovnávají a zpracují programem pro vyhodnocení měření. Největší výhodou uvedené metody je rychlost změření průtoků v jednom profilu při dosažení vysoké přesnosti.

³ Do působnosti pobočky ČHMÚ Praha patří povodí Jizery, Sázavy, Berounky od soutoku s Rakovnickým potokem, Vltavy pod Orlikem a Labe bez většiny přítoků od Nymburka po státní hranici.

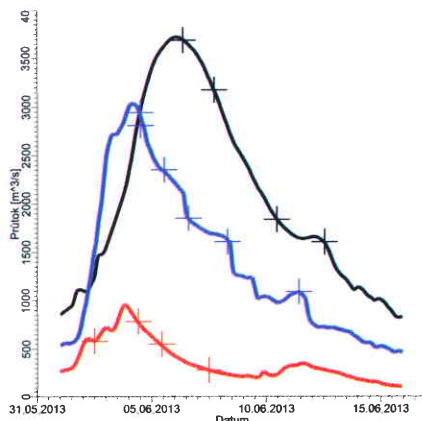
nalezen žádný vhodný profil, ve kterém by bylo možné průtok bezpečně a úspěšně změřit. Další lokality však byly použitelné. Kulminace proběhla v Hředlích na Stropnickém potoce a v Berouně na Litavce. Další měření se povedlo uskutečnit na Berounce v Berouně z lávky pro pěší, spojující centrum města s autobusovým nádražím. Tam sice řeka ještě nekulminovala, avšak díky malému množství plovoucích předmětů se měření podařilo úspěšně dokončit.

Po poledni se dalo měřit i na Loděnickém potoce. Ne sice v blízkosti stanice, ale skoro až u soutoku s Beroučkou v obci Hostín. Grafický výstup z tohoto měření ukazuje obr. 1. Výsledný změřený průtok, $32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ byl zařazen dle klasifikace N-letosti na úroveň téměř 20leté vody. Ještě větší průtoky z hlediska N-leté klasifikace ($N = 50$) byly měřeny posléze na menších vodních tocích v jihovýchodní oblasti středních Čech v povodí Vltavy a Vlašimské Blanice, a to na stanicích Hrachov – Brzina a Louňovice – Blanice. Měření na Brzině bylo úspěšně provedeno ve velmi nestandardním profilu, na propustku pod hlavní silnicí v závalu vodní nádrže Slapy. Za normální situace zde má voda již nulovou rychlost způsobenou vzdutím přehradou. Tentokrát se však voda z Brziny valila propustkem pod silnicí o šířce cca 16 m a hloubce 5 m do vodní nádrže průměrnou rychlostí téměř $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Během pozdního odpoledne ještě byly navštíveny stanice Štěchovice – Kocába a Slověnice – Chotýšanka. Měření v těchto stanicích ani v jejich okolí však nebylo možné vzhledem k tomu, že 100leté průtoky na menších vodních tocích s vysokým podélným sklonem se měří velmi obtížně a i měřidla typu ADCP mají svoje hranice. Na hledání jiného vhodného profilu již nebyl čas, protože bylo naplánováno změřit ještě jeden velmi důležitý profil v Praze-Nuslích na Botiči. V době příjezdu do Nuslí se už stmívalo a situace tam byla docela dramatická. Plným korytem se valil průtok odpovídající 50 až 100leté vodě. Bylo krátce po kulminaci a vodní stav klesl zatím jen asi o 10 cm. Následovalo hledání vhodného profilu k provedení měření. Po chvíli ladění parametrů pro nakonfigurování měřidla byli nakonec hydrologové úspěšní. V 19:50 UTC byl změřen průtok $63 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

2.4 Měření povodně v dalších dnech na pobočce Praha ČHMÚ

V dalších dnech hydrologové na pražské pobočce vytvořili dvě měřičské skupiny. První skupina měla k dispozi-



Obr. 3 Průběh povodně ve stanicích ČHMÚ Beroun – Beroučka (červená), Praha-Chuchle – Vltava (modrá), Děčín – Labe (černá). Křížky znázorňují provedená měření průtoku přístrojem ADCP.

Fig. 3. Flood profiles at the CHMI's stations in Beroun on the Beroučka (red), in Prague-Chuchle on the Vltava (blue), and in Děčín on the Elbe (black). Crosses depict ADCP discharge measurements.

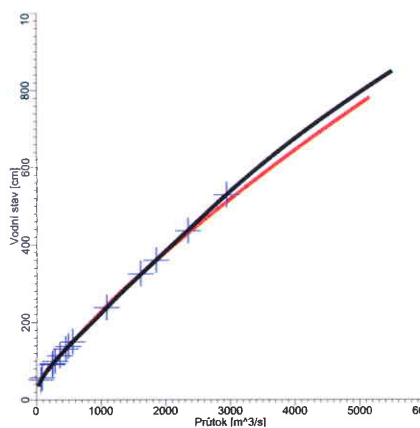
ci, podobně jako v neděli, měřidlo ADCP – Rio Grande, a zaměřila se tedy na měření vysokých průtoků blízko kulminací. Druhá skupina měřila s menším člunem ADCP – Stream Pro. Tento člun není příliš vhodný pro rychle tekoucí vodní toky; maximální možná měřitelná rychlost je cca $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ s maximální hloubkou 4 metry, proto bylo nutno hledat takové měrné profily, kde již rychlosti nejsou příliš velké. Přesto se i tímto malým člunem podařilo udělat mnoho cenných měření průtoku, např. v Průhoncích na Dobřejovickém potoce, v Loděnici na Loděnickém potoce, či ve Velvarech na Bakovském potoce.

Ta nejdůležitější měření však byla prováděna osvědčeným měřidlem Rio Grande. V pondělí se měřilo ještě převážně na menších vodních tocích (Rokyta, Výrovka, Kocába). V úterý bylo po kulminaci i na některých velkých řekách, takže se postupně začalo měřit i tam. V poledne přišla na řadu Vltava v Praze. Ve 12:50 bylo z Železničního mostu na Výtoni změřeno $2830 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což podle klasifikace N-letosti odpovídá 20letému průtoku. Kulminace zde měla hodnotu $3060 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Poslední řekou, kde se čekalo na kulminaci, bylo dolní Labe, které v úseku mezi Ústím nad Labem a Děčínem kulminovalo až v noci na čtvrtek 6. 6. 2013. Pražští hydrologové dorazili po složitých objízdných trasách na most v Děčíně ve čtvrtek před 08:00 UTC dopoledne. Stav hladiny byl jen o 7 cm nižší, než jaký dosáhla za kulminace. Mohlo tedy začít měření historicky nejvyššího průtoku na území ČR. Při povodních v roce 2002 se totiž přístroji typu ADCP v Česku ještě neměřilo. Měření hydrometrickou vrtulí u takto velkých průtoků není možné hlavně z bezpečnostních důvodů, takže při povodni v roce 2002 se průtok odhadoval jen metodou měření povrchových rychlostí pomocí plováků [5].

V Děčíně byl 6. 6. 2013 v 08:20 UTC změřen průtok $3700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, grafický výstup z tohoto měření je na obr. 2.

I v dalších dnech se měření průtoku v měrných profilech na stanicích ČHMÚ postupně opakovala, aby měrné křivky průtoku mohly být dále upřesněny. Tam, kde to již plavební podmínky umožnily, byl postupně k přetahování měřicího člunu ADCP využíván i nafukovací motorový člun; např. v Chuchli, v Mělníku, v Ústí nad Labem nebo ve Hřensku.



Obr. 4 Měrná křivka průtoku (MKP) pro stanici Praha-Chuchle. Křížky znázorňují provedená měření průtoku přístrojem ADCP za poslední rok. Červená křivka byla platná před povodní. Černá křivka je aktuálně platná MKP pro profil Praha-Chuchle.

Fig. 4. The discharge rating curve (MKP) for the Prague-Chuchle station. Crosses depict ADCP discharge measurements for the past year. The red curve was valid before the floods. The black curve is currently valid MKP for the Prague-Chuchle site.



Obr. 5 Limnigrafická stanice ČHMÚ Hrachov – Bržina, 2. 6. 2013 15:00 UTC, $Q_{měř} = 64,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{kulm} = 79,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, měření v profilu u stanice nebylo možné.

Fig. 5. The CHMI's Hrachov-Bržina recording gauge station, 2 June 2013 at 15:00 UTC, $Q_{measured} = 64.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{peak} = 79.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; it was not feasible to take measurements at the site near the station.

Celkem bylo na pražské pobočce ČHMÚ v období 31. 5. až 12. 6. 2013 provedeno 58 úspěšných měření průtoku přístroji ADCP [6].

2.5 Měření povodně na ostatních pobočkách ČHMÚ

Červnové povodně v roce 2013 se nevyhnuly žádné z 5 poboček ČHMÚ na území Čech. Na pobočkách v Českých Budějovicích a v Plzni hydrologové uvítali pomoc při měření povodňových průtoků od svých moravských kolegů. Tyto pobočky totiž zatím nemají k dispozici vlastní přístroj typu ADCP – Rio Grande. Disponují pouze „malými“ čluny ADCP Stream Pro, kde je však omezena maximální rychlost a hloubka měření.

Na velkém množství stanic byl během červnových povodní změřen historicky největší průtok v historii stanice.

Celkem byl letos v červnu na stanicích v ČHMÚ změřen 91krát průtok, který je roven nebo vyšší, než je hodnota dvouleté vody ve stanici. Z toho ve 14 případech se jednalo o průtok, který je roven nebo vyšší, než je hodnota 20letého průtoku. Přehled těchto stanic je uveden v tab. 1.

3. HYDROLOGICKÉ VYHODNOCENÍ POVODNĚ

3.1 Data naměřených vodních stavů na stanicích

V současné době (září 2013) probíhají na všech pobočkách ČHMÚ zasažených v červnu 2013 povodní intenzivní práce spojené s průtokovým vyhodnocením povodně. Nutno konstatovat, že vyhodnocení průtoků je oproti povodni 2002 [7] daleko jednodušší, neboť na mnoha místech se povedlo změřit průtok při kulminaci a také naprostá většina stanic při této povodni měřila vodní stavy a předávala je on-line. Na nejvíce zasažené pražské pobočce z 90 stanic jen dvě stanice při povodni neměřily. A to stanice v Děčíně, která byla kompletně zatopena; operativně však byla data nahrazena radarovým měřením vodního stavu z mostu v Děčíně, proto veřejnost tuto ztrátu ani nezaznamenala. Druhou nefunkční stanicí byl měrný profil na Labi ve Hřensku, kde sice nedošlo k zatopení, avšak „starostlivá“ obsluha objektu bez vědomí ČHMÚ raději odpojila měřicí přístroj od elektrické energie, a to včetně záložní baterie.



Obr. 6 Měření průtoku přístrojem ADCP – Rio Grande v blízkosti stanice Radč – Mastník, 4. 6. 2013 14:00 UTC, $Q_{měř} = 41,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{kulm} = 103 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, přemísťování měřícího člunu metodou přetahování lana.

Fig. 6. Discharge measurements using Rio Grande ADCP near the Radč-Mastník station, 4 June 2013 at 14:00 UTC, $Q_{measured} = 41.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{peak} = 103 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; the measuring boat was moved by pulling a rope.

3.2 Použití speciálních metod k vyhodnocení vysokých průtoků

Ipřes velké množství měření průtoků, které bylo provedeno ve stanicích během povodně, bude ještě třeba některé profily (Výrovka – Plaňany, Botič – přítok do Hostivařské přehrady, Rokytka – Libeň, Mrlina – Vestec) geodeticky zaměřit a hydraulicky posoudit. Tyto práce v současné době probíhají, přičemž pro účely extrapolace měrných křivek a jejich ověření bylo nutné objednat spolupráci externích firem, které se zabývají matematickým modelováním proudění v říčních korytech. Výsledky prací budou posouzeny v konfrontaci s bilančním vyhodnocením protékajícího množství vody, které v současné době provádějí a budou provádět hydrologové.

Bilanční posouzení odtoku je prováděno nejen s ohledem na srážky spadlé na jednotlivá povodí vodoměrných stanic, ale i vzhledem k možným přítokům z mezipovodí a celkovému vývoji odtoku na velkých ucelených povodích.

Ukázka kontrolní srážkoodtokové bilance v některých menších stanicích ČHMÚ je uvedena v tabulce 2. Z tabulky je patrná závislost poklesu koeficientu odtoku na rostoucí ploše povodí. Pozoruhodná je malá hodnota součinitele a nízká N -letost pro stanici na Konopištském potoce. Jedná se o velmi atypické povodí štíhlého tvaru s velkým množstvím rybníků. V tabulce je jasně patrný trend závislosti koeficientu odtoku na charakteru povodí. V povodích s hustší zástavbou, velkými sklony terénu a nedostatkem záchytných nádrží (rybníků) má koeficient vyšší hodnoty než u povodí rovinatého a rybníčního charakteru.

4. ZÁVĚR

Oproti roku 2002, kdy ve významné části staniční síť byly zničeny vodoměrné stanice, včetně jejich záznamů vodních stavů, došlo k výraznému posunu; většina stanic měřila a data odesílala on-line. Dalším problémem při vyhodnocování extrémní povodňové situace v roce 2002 bylo to, že v mnoha vodoměrných stanicích nebyla k dispozici na podkladě hydrometrických měření věrohodně extrapolovaná měrná křivka průtoku. Od roku 2004, kdy se v ČHMÚ používá nový způsob měření průtoků pomocí přístroje ADCP, se poda-

Tab. 1 Přehled úspěšně provedených měření povodňového průtoku s dobou opakování 20 let a vyšší na stanicích ČHMÚ během červnové povodně.

Table 1. Overview of successful measurements of flood discharges with repeat times of 20 and more years at the CHMI's stations during the June 2013 floods.

Datum	Čas UTC	Stanice	Vodní tok	Pobočka ČHMÚ	$Q_{\text{měř.}}$	$Q_{\text{měř. N-leté}}$
2. 6. 2013	15:40	Hrachov	Brzina	Praha	65,5	50
2. 6. 2013	17:30	Louňovice	Blanice	Praha	63,0	50
2. 6. 2013	19:50	Nusle	Botič	Praha	63,0	>50
3. 6. 2013	09:25	Nový Bydžov	Cidlina	Hradec Králové	92,4	20
3. 6. 2013	11:30	Vestec	Mrlina	Hradec Králové	49,1	20–50
3. 6. 2013	11:50	Plaňany	Výrovka	Praha	54,2	50
3. 6. 2013	13:00	Svidnice	Štítarský potok	Hradec Králové	51,8	>50
3. 6. 2013	14:50	Štěnovice	Úhlava	Plzeň	170	20–50
3. 6. 2013	16:45	Písek	Otava	České Budějovice	560	20–50
3. 6. 2013	18:30	Štěchovice	Kocába	Praha	58	20
4. 6. 2013	09:00	Heřman	Blanice	České Budějovice	184	20–50
4. 6. 2013	10:50	Výtoň	Vltava	Praha	2830	20
6. 6. 2013	08:20	Děčín	Labe	Praha	3700	20–50
7. 6. 2013	16:30	Děčín	Labe	Praha	3180	20

řilo změřit daleko více průtoků i při vyšších stavech, často i během kulminace nebo v její blízkosti, což bylo dříve mnohem obtížnější. Na obr. 3 je příklad velmi dobře proměřeného průběhu průtoků povodňových vln, což bylo umožněno právě využíváním technologie ADCP. Podobně byla již proměřena i povodeň z tání sněhu na jaře roku 2006 [7], a proto současné měrné křivky v oblasti vysokých vodních sta-

vů jsou věrohodnější. Po povodni z června 2013 budou ještě upřesněny. Zajímavým poznatkem je průkazné vzdušné vlivem postavených protipovodňových zábran na větších tocích. To se projevuje zvýšením vodního stavu při stejném průtoku oproti situaci bez postavených zábran a dokládá logický fakt, že ochrana určité části ohroženého území tímto způsobem může zapříčinit problém jinde. Názorně tuto skutečnost dokládá obr. 4. Technologie měření průtoků ADCP a na ni navazující opravy měrných křivek tak umožňují pružně reagovat i na tyto dynamické změny ovlivňující vztah mezi vodním stavem a průtokem.

Literatura

- [1] BROŽKOVÁ, R. – MAŠEK, J. – TROJÁKOVÁ, A., 2013. Kvantitativní předpověď srážek modelem ALADIN při první vlně povodně v červnu 2013. *Meteorologické Zprávy*, roč. 66, č. 6, s. 181–190. ISSN 0026-1173.
- [2] KOCMAN, T. a skupina OHPT, 2007. Metodický pokyn NH 3/2007 Měření a vyhodnocování průtoků systémy ADCP.
- [3] NOVÁK, P. – KYZNAROVÁ, H., 2013. Využití radarových měření pro kvantitativní odhady a nowcasting srážek v Českém hydrometeorologickém ústavu. *Meteorologické Zprávy*, roč. 66, č. 6, s. 175–181. ISSN 0026-1173.
- [4] SANDEV, M. – DVOŘÁK, M., 2013. Vyhodnocení cirkulačních podmínek v atmosféře v první polovině roku 2013. *Meteorologické Zprávy*, roč. 66, č. 6, s. 167–175. ISSN 0026-1173.
- [5] ŠERCL, P. a kol., 2003. Hydrologické vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002.
- [6] ŠERCL, P. – TYL, R. – PECHA, M., 2013. Průběh a extrémita povodně v červnu 2013. *Meteorologické Zprávy*, roč. 66, č. 6, s. 197–202. ISSN 0026-1173.
- [7] ČHMÚ, 2006. Hydrologické vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR.

Lektor (Reviewer): Ing. Pavel Polcar

Tab. 2 Bilance proteklého množství pomocí metody odtokového koeficientu.

Table 2. Calculating the runoff volume employing the runoff coefficient method.

Srážkoodtoková bilance za období 25. 5. –20. 6. 2013 počítaná v kroku 1 den, řazeno dle odtokového koeficientu													Koeficienty odtoku	
Stanice	Vodní tok	DBČ	$Q_{\text{kulm}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	N-letost	A [km ²]	$q_{\text{kulm}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}]$	$q_{\text{prům}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}]$	SRA ₂₇ [mm]	SRA ₃ [mm]	SRA ₂ [mm]	SRA ₂₇ [m ³]	V ₂₇ [m ³]	27 dní	3 dny
Průhonice	Dobřešovický p.	2 005	16,6	100	13	1,277	0,054	193	108	93	2 513 887	1 641 400	0,65	0,84
Hrachov	Brzina	1 538	79,6	100	133,0	0,598	0,053	189	125	107	25 089 152	16 382 288	0,65	0,71
Slověnice	Chotýšanka	1 658	75,7	>100	119	0,636	0,045	163	105	91	19 348 771	12 541 621	0,65	0,65
Radonice	Blanice	1 660	189	>100	542	0,349	0,041	169	111	100	91 341 306	51 951 017	0,57	0,46
Štěchovice	Kocába	1 546	101	100	308	0,328	0,037	152	89	76	46 785 243	26 403 301	0,56	0,53
Louňovice	Blanice	1 656	107	>100	211	0,507	0,042	176	117	106	37 050 608	20 461 729	0,55	0,46
Radč	Mastník	1 539	103	>100	268	0,384	0,047	211	144	124	56 433 048	29 617 685	0,52	0,43
Praha-Libeň	Rokytky	2 010	46	50–100	137	0,336	0,036	167	86	71	22 909 358	11 371 913	0,50	0,44
Praha-Radotín	Radotínský p.	1 996	31,7	>50	67,8	0,468	0,034	165	75	59	11 180 220	5 456 228	0,49	0,61
Praha-Nusle	Botič	2 006	68,5	50–100	134,2	0,510	0,038	181	94	78	24 287 797	11 744 229	0,48	0,51
Plaňany	Výrovka	0 820	110	>100	265	0,415	0,029	166	112	101	44 062 227	17 982 060	0,41	0,40
Loděnice	Loděnický p.	1 984	38,5	20	255	0,151	0,027	158	66	50	40 276 862	15 951 810	0,40	0,43
Poříčí n. Sáz.	Konopišský p.	1 669	16,4	10	89,5	0,183	0,030	177	113	95	15 858 048	6 254 697	0,39	0,29
Svidnice	Štítarský p.	0 755	60,2	>50	210	0,287	0,023	142	96	90	29 871 878	11 268 158	0,38	0,41