



ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
CZECH HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

METEOROLOGICAL BULLETIN

<i>Václav Dvořák: Povodeň v České republice v červnu 2013.</i>	161
<i>Jan Daňhelka – Pavla Skřivánková: Povodeň 2013 v České republice v kontextu povodní minulých, systému předpovědní povodňové služby a jeho budoucnosti . .</i>	163
<i>Marjan Sandev – Miloš Dvořák: Vyhodnocení cirkulačních podmínek v atmosféře v první polovině roku 2013</i>	167
<i>Petr Novák – Hana Kyznarová: Využití radarových měření pro kvantitativní odhady a nowcasting srážek v Českém hydrometeorologickém ústavu.</i>	175
<i>Radmila Brožková – Ján Mašek – Alena Trojáková: Kvantitativní předpověď srážek modelem ALADIN při první vlně povodně v červnu 2013</i>	181
<i>Anna Valeriánová – Eva Holtanová – Lenka Crhová: Klimatologie příčinných srážek červnové povodně v roce 2013</i>	190
<i>Petr Šercl – Radovan Tyl – Martin Pecha: Průběh a extremita povodně v červnu 2013.</i>	197
<i>Radek Čekal – Tomáš Vlasák: Předpovědní povodňová služba při povodni v červnu 2013.</i>	203
<i>Tomáš Fryč – Daniel Kurka: Měření a vyhodnocení průtokových množství v době povodně v červnu 2013.</i>	208

<i>Václav Dvořák</i> : The June 2013 floods in the Czech Republic	161
<i>Jan Daňhelka – Pavla Skřivánková</i> : Floods 2013 in the Czech Republic in the context of past floods, Flood Warning Service and its future.	163
<i>Marjan Sandev – Miloš Dvořák</i> : Evaluation of atmospheric circulation conditions in the first half of 2013 . . .	167
<i>Petr Novák – Hana Kyznarová</i> : Use of radar measurements for quantitative precipitation estimates and nowcasts in the Czech Hydrometeorological Institute.	175
<i>Radmila Brožková – Ján Mašek – Alena Trojáková</i> : Quantitative precipitation forecast by the ALADIN model during the first flood episode in June 2013.	181
<i>Anna Valeriánová – Eva Holtanová – Lenka Crhová</i> : Climatology of the precipitation that caused the June 2013 floods.	190
<i>Petr Šercl – Radovan Tyl – Martin Pecha</i> : The course and the extremity of the June 2013 floods	197
<i>Radek Čekal – Tomáš Vlasák</i> : Flood Forecasting Service during the floods of June 2013	203
<i>Tomáš Fryč – Daniel Kurka</i> : Flood measurements and evaluations during the floods of June 2013	208

Abstracting and Indexing:

- Meteorological and Geostrophical Abstracts

Meteorologické Zprávy, odborný časopis se zaměřením na meteorologii, klimatologii, čistotu ovzduší a hydrologii. Dvoutměsíčník

Meteorological Bulletin, Journal specialized in meteorology, climatology, air quality and hydrology. Bi-monthly

Vedoucí redaktor – Chief Editor

R. Tolasz, Český hydrometeorologický ústav, Ostrava, Česká republika

Redaktoři – Assistant Editors

O. Šuvarinová, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

H. Stehlíková, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

Redakční rada – Editorial Board

J. Bednář, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

J. Brechler, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

R. Brožková, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

M. Cahynová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika

R. Čekal, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

Z. Horký, Praha, Česká republika

F. Hudec, Univerzita obrany, Brno, Česká republika

I. Hůnová, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

K. Krška, Brno, Česká republika

M. Lapin, Univerzita Komenského, Bratislava, Slovenská republika

F. Neuwirth, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Austria

L. Němec, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

V. Pastirčák, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, Slovenská republika

D. Řezáčová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika

M. Setvák, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

J. Strachota, Praha, Česká republika

J. Sulan, Český hydrometeorologický ústav, Plzeň, Česká republika

F. Šopko, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

A. Vizina, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, Česká republika

H. Vondráčková, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

V. Voženílek, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, Česká republika

Vydavatel (redakce) – Publishers

● Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, telefon 244 032 722, 244 032 725, e-mail: suvarinova@chmi.cz. Sazba a tisk: Studio 3P, spol. s r. o. Rozšiřuje a informace o předplatném podává a objednávky přijímá Český hydrometeorologický ústav, SIS, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, iva.sieglerova@chmi.cz. Cena jednotlivého čísla 25,- Kč, roční předplatné 240,- Kč, včetně poštovného. Registrační číslo MK ČR E 5107.

© Meteorologické Zprávy, Český hydrometeorologický ústav

● Czech Hydrometeorological Institute, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, Phones: (+420) 244 032 722, (+420) 244 032 725, e-mail: suvarinova@chmi.cz. Printed in the Studio 3P, I.L.c. Orders and enquiries: Please contact Czech Hydrometeorological Institute, SIS, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, Czech Republic, iva.sieglerova@chmi.cz. Annual subscription: 48,- EUR (6 issues)

● ISSN 0026-1173

METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

Meteorological Bulletin

ROČNÍK 66 (2013)

V PRAZE DNE 28. PROSINCE 2013

ČÍSLO 6

POVODEŇ V ČESKÉ REPUBLICE V ČERVNU 2013

V srpnu 2012 se na Nové radnici Magistrátu hl. města Prahy konala tematická konference k 10. výročí povodně 2002. V jejím rámci účastníci hodnotili nedávné povodně v širším kontextu současných aktivit, zaměřených na zkvalitnění preventivních opatření ke zmenšení jejich negativních účinků. Za necelý rok, v červnu 2013, postihla převážnou část Čech další extrémní povodeň. Po předchozím silném nasycení povodí zapříchly mimořádné srážky, kdy jejich 24hodinové úhrny dosáhly v některých oblastech hodnot 100mm a místy až 130mm [2] a které byly na mnoha místech doprovázeny přívalovými dešti, téměř okamžitý a velmi prudký vzestup hladin s extrémními průtoky nejprve ve vodních tocích východních, středních a jižních Čech a postupně také severních Čech a částečně jižní Moravy [1]. Povodeň způsobila ztrátu 15 lidských životů a značné povodňové škody, předběžně vyčíslené na 15,3 mld. Kč. Mimořádné srážky zavinily také desítky půdních sesuvů a další negativní jevy v postižených územích.

Toto číslo Meteorologických zpráv je věnováno tematice červnové extrémní povodně v roce 2013. Cílem je poskytnout přehledné informace o meteorologické a hydrologické situaci, průběhu a předpovědi srážek a průtoků, měření kulminačních průtoků v době povodní, stejně jako porovnání s minulými mimořádnými situacemi, včetně vyhodnocení činností v rámci systému integrované výstražné a předpovědní povodňové služby.

Není pochyb o tom, že připravenost na mimořádné situace se průběžně zlepšuje a v oblasti povodňové prevence bylo mnoho vykonáno. Pro krizové situace jsou legislativně stanoveny jednoznačné kompetence a Český hydrometeorologický ústav je plně zapojen do systému krizového řízení ČR, včetně účasti na jednáních Ústřední povodňové komise, Ústředního krizového štábu a zastoupení v povodňových orgánech krajů. Prostřednictvím systému integrované výstražné služby ČHMÚ jsou meteorologické a hydrologické předpovědi a výstražné, informační i další zprávy předávány v rámci Integrovaného záchranného systému operačním střediskům Hasičského záchranného sboru a odtud dále povodňovým orgánům nebo orgánům krizového řízení krajů a obcí. Výstražné informace jsou zároveň uváděny a zveřejňovány na internetových stránkách ČHMÚ a vybraným uživatelům, jako jsou například vodohospodářské dispečinky podniků Povodí, jsou zaslány elektronickou cestou.

Důsledným rozvojem postupů a metod pro vydávání předpovědi a výstrah, s využitím všech dostupných zdrojů dat

THE JUNE 2013 FLOODS IN THE CZECH REPUBLIC

August 2012 saw a thematic conference on the 10th anniversary of the 2002 floods, held at the New Town Hall of the Municipality of Prague. The delegates looked back at recent floods in a broader context of their then current activities focused on improving preventive measures designed to mitigate the adverse consequences of floods. Less than a year later, in June 2013, another extreme flood hit a large part of Bohemia. Following the earlier heavy saturation of basins, extreme precipitation, with 24-hour totals amounting to 100mm in some areas, and locally up to 130mm [2], and accompanied by torrential rain in many places, caused an almost immediate and rapid swelling of waters, with extreme discharges in water streams initially in eastern, central and southern Bohemia and then, progressively, in northern Bohemia and parts of southern Moravia [1]. The floods took 15 human lives and caused massive damage, tentatively quantified at CZK 15.3 billion. Extreme precipitation also resulted in dozens of landslides and other negative phenomena in the afflicted areas.

This issue of the Meteorological Bulletin is dedicated to the extreme floods in June 2013. The purpose is to provide clear information about the meteorological and hydrological situation, the forecasts of precipitation and discharges and their actual values and profiles, measurements of peak discharges during the floods, and a comparison with some of the earlier disasters, including an evaluation of operations in the system of the integrated flood warning and forecasting service.

There is no doubt that emergency preparedness is continuously improving and that much has been done in flood prevention. Clear-cut responsibilities are laid down in legislation for crisis situations, and the Czech Hydrometeorological Institute is fully a part of the country's crisis management system, including its participation in the meetings of the Central Flood Commission and Central Crisis Board and representation in the Regions' flood control authorities. Through the CHMI's integrated warning service, meteorological and hydrological forecasts and warnings, and informative and other reports are transmitted, as part of the country's Integrated Rescue System, to Fire Services' operations centres and thence to regional and municipal flood control and/or crisis management authorities. Warnings are also released and posted on the CHMI's website and sent via electronic mail to selected users such as Povodí companies' water management control centres.

The consistent development of the procedures and methods

z pozemních pozorovacích stanic, meteorologických radarů, meteorologických družic a výstupů z numerických předpovědních modelů počasí a hydrologických modelů, dochází k postupnému zpřesňování předpovědí a výstrah. I přes nesporný pokrok v této oblasti zůstávají některé specifické, mimořádně intenzivní meteorologické a hydrologické jevy, jejichž příkladem mohou být přívalové srážky a přívalové povodně, dosud obtížně předvídatelné z hlediska místa a času výskytu pro jejich lokální charakter, prudký nástup či krátké trvání. Zde se pak nabízí potenciál k dalšímu rozvoji metod a postupů, které by určitou míru nejistoty při zvládnutí rizik obdobných jevů pokud možno co nejvíce snížily.

Z poznatků a zkušeností získaných během dosavadních mimořádných povodňových situací z hlediska činnosti ČHMÚ vyplývá zejména potřeba dále zlepšovat technické, organizační a metodické zabezpečení předpovědní služby v celém komplexu otázek součinnosti mezi jejími jednotlivými složkami a rozvoje osvědčené spolupráce mezi meteorology a hydrology při přípravě a vydávání předpovědí, výstražných a informačních zpráv. Z hlediska návaznosti na systém informování povodňových či krizových orgánů a veřejnosti se jedná především o zajištění důsledného poskytování včasných informací o vzniku povodně na úroveň obcí, včetně podpory rozvoje lokálních výstražných systémů pro varování obyvatel. K tomu je účelné trvale provádět vzdělávání a praktické školení pracovníků povodňových a krizových orgánů a osvětu veřejnosti. Vzhledem ke skutečnosti, že mimořádné povodně vzniklé na území ČR mohou významně ovlivnit hydrologickou situaci či mít významný negativní dopad na území sousedních států, zůstává jednou z klíčových potřeb rozvoj spolupráce a sdílení informací v mezinárodním měřítku na úrovni odpovídajících orgánů dotčených zemí.

Některé příspěvky a informace o červnové povodni předložené v tomto čísle časopisu čerpají z činnosti na projektu vyhodnocení povodně v červnu 2013, o jehož zpracování rozhodla vláda ČR svým usnesením č. 533 ze dne 3. července 2013. Projekt je zaměřen na podrobné posouzení příčin, průběhu a důsledků povodně, obdobně jako tomu bylo v případě jiných velkých povodní z posledního období, např. povodní v červenci 1997, srpnu 2002 nebo na jaře 2006. Vláda uložila zajistit zpracování projektu a koordinaci dokumentačních a vyhodnocovacích prací ministru životního prostředí. Ministerstvo životního prostředí následně pověřilo koordinací projektu Český hydrometeorologický ústav.

Projekt se skládá z řady dílčích úkolů vztahujících se k jednotlivým aspektům vyhodnocení povodně a závěrečného souhrnu s návrhem opatření. Dílčí úkoly, které přímo spadají do oblasti činnosti meteorologické a hydrologické služby, řeší ČHMÚ, specializované úkoly, zaměřené na problematiku sesuvů a dopadů povodní na životní prostředí, zadalo ministerstvo Českému geologickému ústavu, resp. České inspekci životního prostředí. Při řešení ostatních dílčích úkolů týkajících se hodnocení činnosti orgánů povodňové služby a důsledků povodní ČHMÚ spolupracuje se správci povodí a externími odbornými organizacemi. Většina dokumentačních a vyhodnocovacích prací byla uzavřena do konce roku 2013. Předběžná zpráva o výsledcích projektu byla předložena vládě koncem listopadu 2013 a závěrečná zpráva s návrhem opatření bude zpracována do konce června 2014. Výsledky projektu mohou nesporně přispět k dalšímu zlepšení systému povodňové ochrany v České republice.

Závěrem bych rád poděkoval všem pracovníkům ústavu, kteří se podíleli na přípravě, zpracování a poskytování výstupů ČHMÚ během uplynulé mimořádné situace za vynikající součinnost při vydávání výstražných a informačních zpráv v rámci

for issuing forecasts and warnings, using all the available sources of data from ground-based observation stations, meteorological radars and meteorological satellites and outputs from numerical weather prediction models and hydrology models, is progressively helping to render forecasts and warnings more accurate. Despite the unquestionable advances in this respect, some specific, extremely intensive meteorological and hydrological phenomena, such as torrential rain and flash floods, continue to be very difficult to predict in terms of the time and place of their occurrence due to their local character, rapid onset, or short duration. In this respect, there is a potential for the continued development of the methods and procedures that would minimise the uncertainty, which will always exist to a certain extent, inherent in the management of the risk of such phenomena.

From the CHMI's perspective, the knowledge and experience derived from extreme flood situations to date suggest primarily the need to continue improving the technical, organisational and methodological provisions for the forecasting service; this need concerns the entire complex of issues related to co-operation between the various components of the forecasting service and promoting the well-tested co-operation between meteorologists and hydrologists in preparing and issuing forecasts and warning and informative messages. In terms of the links to the system of information provision to flood control and crisis management authorities and to the public, the above primarily means ensuring that timely information about flooding is continuously provided to municipalities, including support for the development of local signalling systems to warn the population. For this purpose, it is useful and advisable to continuously educate flood and crisis authorities' staff, including practical training and exercises, and to educate the public. Since extreme floods originating in the Czech Republic can significantly influence the hydrological situation in or produce a heavy negative impact on neighbouring countries, promoting co-operation and information sharing on the international scale, between the counterpart authorities of the countries in question, remains one of the crucial issues.

Some of the contributions and information on the June 2013 floods which appear in this edition, draw on the work carried out under the official project for an evaluation of the June 2013 floods; the Czech Cabinet adopted on this project in its Resolution No 533 of 3 July 2013. The project focuses on a detailed assessment of the causes, development and consequences of the floods, similarly as in the cases of other recent major floods such as those in July 1997, August 2002 and the spring of 2006. The Cabinet instructed the Ministry of the Environment to carry out the project and to coordinate documentation and evaluation. The Ministry then instructed the Czech Hydrometeorological Institute to coordinate the project.

The project is comprised of a large number of individual tasks relating to the various aspects of flood evaluation, and the final summary, including proposals for the actions to be taken. The individual tasks that fall within the remit of the meteorological and hydrological service are being carried out by the CHMI, while certain specialised tasks relating to landslides and environmental impacts of floods were assigned to Czech Geological Survey and Czech Environmental Inspectorate by the Ministry. The CHMI works with basin management companies and specialised external organisations on some other tasks geared towards assessing flood control authorities' work and consequences of the floods. Most of the documentation and evaluation was completed before the end of 2013. A preliminary report on the results of the project was provided to the Cabinet at the end of November 2013, and the final report, including the proposed measures, will

Systému integrované výstražné služby (SIVS), spolupráci s krizovými orgány krajů a obcí a osobní nasazení v době této situace, včetně měření průtoků v období vysokých vodních stavů. Není pochyb o tom, že ústav v náročném údobí obstál na velmi dobré úrovni a jsem přesvědčen, že tento přístup zůstane zachován i ve všech dalších obdobných situacích. O uznání přínosu všech zúčastněných svědčí nakonec i usnesení Ústřední povodňové komise č. 13 ze dne 27. června 2013, ve kterém komise vyjádřila poděkování všem, kteří se jakýmkoli způsobem zapojili do činností, jež bránily povodni, minimalizovaly škody způsobené povodněmi a následně i do odstraňování následků povodní. Ústřední povodňová komise zároveň vyjádřila respekt k vysoce odbornému jednání představitelů krajských a obecních samospráv a dalších příslušných volených orgánů, členů povodňových komisí a krizových štábů, profesionálních i dobrovolných hasičů, příslušníků Policie ČR i Městské policie, vojáků Armády ČR a Hradní stráže, zdravotníků, hygieniků, meteorologů, hydrologů, geologů, pracovníků podniků Povodí a též dobrovolníků, kteří se při povodních a po nich účastnili a stále účastní záchranných a likvidačních prací.

Ing. Václav Dvořák, Ph.D. (ředitel ČHMÚ)

Literatura:

- [1] ŠERCL, P. – TYL, R. – PECHA, M., 2013. Průběh a extremita povodně v červnu 2013. *Meteorologické Zprávy*, roč. 66, č. 6, s. 197–202. ISSN 0026-1173.
- [2] 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.

be presented by the end of June 2014. The results of the project can definitely help to further improve the flood control system in the Czech Republic.

In conclusion, my thanks go to all CHMI employees who were involved in the preparation, processing and provision of the CHMI's outputs during the most recent emergency situation for their outstanding effort in the release of warning and informative reports within the Integrated Warning Service System (SIVS), and for their collaboration with regional and municipal crisis management authorities and their personal commitment at the critical time, including discharge measurements when water levels were extremely high. There is no question that in that challenging period, the CHMI rose to the challenge very well and I am convinced that the CHMI will maintain this approach in all future situations like this. After all, the Central Flood Commission's Resolution No 13 of 27 June 2013, in which it expresses gratitude to all those who joined, in whatever way, efforts countering the floods and minimising flood damage, and then dealing with the consequences, bears out the acknowledgement for all stakeholders' contributions. At the same time, the Central Flood Commission expressed its respect for the highly professional conduct of regional and municipal self-governments and other competent elected bodies, members of flood commissions and crisis staff, professional and voluntary fire services, members of Police of the Czech Republic and Metropolitan Police, servicemen of the Army of the Czech Republic and the Castle Guards, medical personnel, public health officers, meteorologists, hydrologists, geologists, the staff of the Povodí companies, and also volunteers who participated, and continue to participate, in rescue and remedial missions during and after the floods.

Václav Dvořák, CHMI Director

POVODEŇ 2013 V ČESKÉ REPUBLICE V KONTEXTU POVODNÍ MINULÝCH, SYSTÉMU PŘEDPOVĚDNÍ POVODŇOVÉ SLUŽBY A JEHO BUDOUCNOSTI

Jan Daňhelka, Pavla Skřivánková, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, danhelka@chmi.cz, skrivankova@chmi.cz

Floods 2013 in the Czech Republic in the context of past floods, Flood Warning Service and its future. The contribution presents a short comparison of the June 2013 floods with the historical flood events in terms of similarities and differences. However, the main purpose of the paper is to summarise the experience from the flood as an impetus for the future development of the hydrometeorological service. A proposal is presented for potential changes in the system of hydrometeorological warnings in respect of intelligibility and practicability for the users. We in particular discuss the specifics of Prague from the point of view of the warning service.

KLÍČOVÁ SLOVA: povodně – předpovědní povodňová služba – povodňová ochrana
KEY WORDS: Flood – Flood warning service – Flood protection

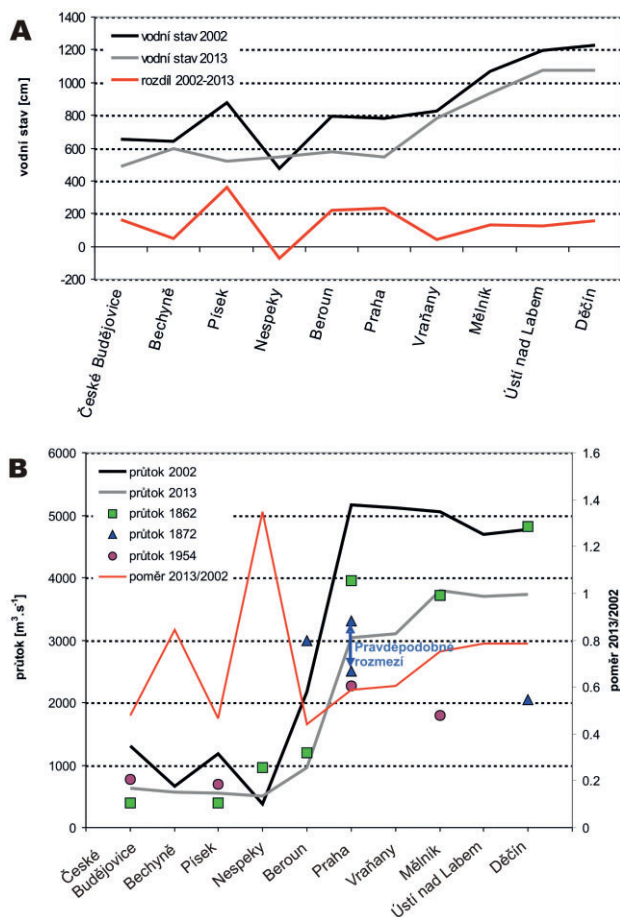
1. ÚVOD

Po povodňově klidném 20. století žijeme nyní opět v období četnějšího výskytu povodňových událostí podobnému druhé polovině 19. století. V květnu 2012 na valné hromadě České vědeckotechnické vodohospodářské společnosti zazněla tato slova: „...příští povodeň v Praze může opět změnit naše chápání limitů možného, může být úplně jiná, než ty minulé. Na druhý pohled pak ale nejspíše zjistíme, že vlastně byla hodně podobná tomu, co už známe, jen jsme tu podobnost před a během jejího průběhu nemuseli vidět...“ [3]. O něco

málo více než za rok poté přišla povodeň, která byla specifická tím, že srážky zasáhly oblast povodí těsně nad Prahou a povodeň do Prahy přišla mnohem dříve, než by se dalo dle analogií s jinými povodněmi očekávat. Přesto lze nalézt mnoho podobností a společných znaků.

2. SROVNÁNÍ S HISTORICKÝMI POVODŇOVÝMI UDÁLOSTMI

Z povodňové historie se pro srovnání s červnovou povodní 2013 nabízí hned několik povodňových událostí. První srovnání,



Obr. 1 Porovnání povodní 2002 a 2013 pro stanice Beroun, České Budějovice, Písek, Nespeky, Praha, Vraňany, Mělník, Ústí, Děčín: A) kulminační vodní stav, B) kulminační průtok s vyznačením hodnot z dalších zmiňovaných povodní (průtokově větší byla povodeň 2013 pouze ve stanici Nespeky na Sázavě, jejíž povodí, zejména Blanice, bylo jedno z nejvíce zasažených srážkami).

Fig. 1. A comparison of 2013 and 2002 floods for (A) peak stage and (B) peak flow including some additional floods in selected water gauges. The 2013 peakflow exceeded the 2002 only in Nespeky at Sázava river due to high precipitation and runoff response of Blanice river.

kteř se velmi často objevovalo již v průběhu samotné povodně, bylo s povodní v srpnu 2002. Toto hledání analogií bylo samozřejmě podloženo ještě relativně čerstvou zkušeností a probíhalo zejména z hlediska srovnávání dosažených výšek hladiny resp. kulminačních průtoků (viz obr. 1). V tomto ohledu samozřejmě povodeň 2002 dosahovala většinou výrazně větších hodnot. Výjimkou jsou víceméně jen malé toky v oblasti středních Čech, hlavně pak pravostranné přítoky střední a dolní Vltavy (Mastník, Brzina, Botič), přítoky dolní Lužnice (Smutná), přítoky středního Labe (Výrovka), nebo sázavská Blanice.

Z hlediska mechanismu vzniku povodní se pro srovnání nabízí katastrofální přívalová povodeň z roku 1872, která postihla povodí Berounky (pod Plzní, zejména povodí Střely, Litavky a dalších menších toků v oblasti) a Ohře (povodí Blánky). Těto povodňové události se mimo jiné v nedávné době věnovali Elleder a kol. [4], asi nejpodrobnější popis meteorologických příčin podali Müller a Kakos [8]. Lze shrnout, že tato povodeň sice vznikla za odlišné synoptické situace [8, 9], ale velmi podobný byl charakter srážek. V obou případech zasáhly intenzivní přívalové srážky rozsáhlé území, přičemž v roce 1872 jsou udávány srážkové úhrny dokonce význam-

ně vyšší než v roce 2013. V prvním případě byl sice zaznamenán maximální denní srážkový úhrn „pouze“ 65 mm v Bělé pod Bezdězem (mimo hlavní srážkovou oblast), ale jsou udávány i (bohužel neověřitelné) informace o srážkách 289 mm za 11 až 14 h v Měcholupech na Lounsku a 237 mm za 1 až 2 h v Mladoticích, ve druhém případě nejvyšší naměřený srážkový úhrn dosáhl 130,3 mm v Horním Maršově [10]. Zajímavou paralelou je i podobnost výskytu z hlediska kalendářního období, kdy příčné srážky obou povodní dělí jen 9 dní (24. 5. 1872 versus 2. 6. 2013). Porovnatelné hodnoty dosáhly i kulminační průtoky Vltavy v Praze: vyhodnocený průtok v červnu 2013 dosáhl 3 040 m³·s⁻¹ v Chuchli, v centru Prahy pak lze průtok odhadovat na 3 060 m³·s⁻¹ – viz [6], zatímco velikost kulminace v roce 1872 lze odhadovat v rozmezí 2 500 až 3 300 m³·s⁻¹ [4]. Oproti roku 1872 však v červnu 2013 k povodni přispěly všechny tři významné toky stékající se nad Prahou.

Bez zajímavosti není ani fakt, že povodeň 1872 byla hydrologie a vodohospodářství často zmiňována jako určité memento směrem k protipovodňové ochraně Prahy, zvláště s ohledem na její velice rychlý nástup (pouze 20 hodin od prvních depeší o průtrži mračen do kulminace v Praze [4]), který by představoval nebezpečí pro včasnou výstavbu mobilních ochranných zdí. To se letos potvrdilo, když výstavba se zdařila jen díky abnormálnímu úsilí všech, kdo ji prováděli, a díky Vltavské kaskádě, která dokázala potřebný čas z počátku povodně poskytnout.

Určitou paralelu lze sledovat i mezi povodněmi 2013 a 1862, a to přestože starší ze zmiňovaných byla povodní jarní z tání sněhu v kombinaci s dešťovými srážkami během oblevy. Ona paralela spočívá zejména v lokalizaci zdrojové oblasti povodně do oblasti středních Čech (povodí Sázavy, drobné přítoky střední Vltavy) a ve velmi rychlém nástupu povodně na Vltavě v Praze, kde hladina vystoupala za cca 14 až 15 h o více než 2 m [5]. V obou případech tak povodeň nevznikla na Šumavě, ale v podstatě ve středních Čechách.

Poslední velkou povodní na Vltavě ve 20. století byla povodeň v červenci 1954. Tato událost je známá zejména tím, že průběh povodně v Praze velmi významně ovlivnila v té době téměř dokončená, avšak dosud ne zcela naplněná nádrž vodního díla (VD) Slapy. To se projevilo ve snížení kulminačního průtoky v Praze na hodnotu 2 265 m³·s⁻¹ (při odhadovaném neovlivněném průtoky 2 920 m³·s⁻¹) [2]. Bratránek [2] uvádí, že pro transformaci povodně byl ve VD Slapy využit prostor o objemu 90 mil. m³ (celkový objem slapské nádrže je 269,3 mil. m³); pro srovnání objem nádrží Vltavské kaskády, který byl k dispozici před příchodem povodně 2013, dosahoval celkem 180 mil. m³, z toho 121,5 mil. m³ ve VD Orlický. Zajímavostí je rovněž uváděná skutečnost o rychlém průběhu povodně „...v důsledku výskytu srážek v podpovodí blízkém Slapům“ [2]. V tom lze tedy spatřovat další analogii k povodni 2013.

Poslední povodňovou událostí, kterou je vhodné zmínit v analogii k červnu 2013 je povodeň v srpnu 2010 v Jizerských horách. V tomto případě lze podobnost spatřovat v podobném stavu rozvoje předpovědní služby a systému pozorování z hlediska dostupnosti dat a prostředků pro jejich zpracování a také ve velmi intenzivních, byť plošně omezených, extrémních srážkách. V tomto případě však velmi významnou roli hrál návětrný efekt na severním úbočí Jizerských hor.

3. HYDROMETEOROLOGICKÁ SLUŽBA – ZKUŠENOSTI A PODNĚTY Z POVODNĚ 2013

Geografická poloha území České republiky předurčuje cíle a současně i limity předpovědní služby. Naše schop-

nost aktivně reagovat na vznik povodně je omezena zejména disponibilitou časem k provedení operativních protipovodňových opatření. S ohledem na tuto skutečnost budou vždy existovat požadavky na co nejpřesnější předpovědi s dlouhou dobou předstihu (pro potřeby výstavby protipovodňových mobilních stěn v řádu desítek hodin, v případě „odpuštění“ vodních nádrží pak v řádu dnů až týdnů). To je zvláště v případě kvantitativní předpovědi srážek mimo současné reálné možnosti modelování atmosféry.

Vždy je třeba počítat se vzájemně se lišícími výstupy numerických předpovědních modelů, a to nejen pro úhrny a lokalizaci predikovaných srážek. Přítom povodeň 2013 ukázala, že ani shoda různých modelů na lokalizaci srážkového pole nemusí odpovídat pozdější skutečnosti. Taková situace nastala právě před hlavní srážkovou epizodou, kdy různé modely situovaly maximum úhrnů srážek na německé území. Na základě těchto informací pak byly vydány výstrahy pro západ Čech. Ve skutečnosti však hlavní zdrojovou oblastí povodně byly střední a jižní Čechy v důsledku intenzivních srážek v noci na 2. 6. 2013 v této oblasti. Poučením z průběhu povodně 2013 tak musí být snaha o další zrychlení reakce předpovědních pracovišť na dynamicky se měnící podklady a informace používané pro sestavování předpovědi a výstrah. Je nutné velmi rychle reagovat jak na změny v předpovědích lokalizace a intenzity srážek numerickými modely, tak na veškeré informace o srážkách dostupné v reálném čase (tzn. data z meteorologických radarů a automatických srážkoměřů, včetně externích zdrojů dat, např. s. p. Povodí) a adekvátním způsobem rychle aktualizovat výstrahy.

Čekání na potvrzení hydrologických konsekvencí v podobě pozorovaných vzestupů vodních toků by mohlo být fatální. V případě povodně 2013 srážky postihly oblast, kde jsou malé vodní toky, které nejsou pozorovány, ale mohou představovat velké problémy a způsobit značné škody. Přitom se udává, že nejvíce obětí si vyžádají přívalové povodně v povodí o ploše 10 až 20 km² [1, 7], kde je dynamika proudění vody největší, vývoj povodně je velmi rychlý a současně již dochází ke koncentrovanému odtoku. Při účelných výstrahách a varování je tedy zjevně nezbytné reagovat již na informaci o spadlých srážkách a jejich velmi krátkodobé předpovědi.

3.1 Úprava systému výstrah

Stejně jako po předchozích povodních probíhá detailní vyhodnocení postupů při vydávání výstrah a informací o výskytu nebezpečných jevů. Na základě tohoto vyhodnocení probíhá diskuse o úpravách systému vydávání výstrah a jejich zavedení do praxe předpovědních pracovišť ČHMÚ.

Návrh koncepční úpravy systému vydávání výstrah bude zaměřen zejména na následující zjištěné problémy:

- nedostatečná lokální informace pro rozhodování na úrovni obcí;
- pravidla, způsob vydávání a obsah výstrah vydávaných při detekci nebezpečného jevu;
- problematika srozumitelnosti platnosti aktualizovaných výstrah (např. při nutnosti zvýšení úrovně nebezpečí v jednom kraji, musí být vydána výstraha pro všechny kraje; tato výstraha je však v krajích s již probíhající povodní často mylně interpretována jako výstraha před dalším zhoršováním situace);
- interpretace a posuzování často rozdílných výstupů z numerických předpovědních modelů, včetně hodnocení pravděpodobnosti výskytu předpovídané situace a další jejich využití;

- nezbytnost modernizace softwarové aplikace pro Systém integrované výstražné služby (SIVS) ve smyslu zajištění komplexního zpracování podkladů, editování a vydávání výstražných informací, včetně implementace formátu pro definování rozdílných výstupů pro konkrétní skupiny uživatelů.

Předpovědní výstraha je vydávána s rozlišením na úroveň krajů, je poměrně stručná, jejím cílem je aktivovat připravenost v daném kraji, neboť existuje potenciál výskytu nebezpečného jevu. Na ni by však v ideálním případě měla navazovat již konkrétně lokalizovaná výstraha při detekci nebezpečného jevu, obsahující podstatné informace o aktuálním stavu a především budoucím vývoji nebezpečného jevu a jeho možných dopadech. To vyžaduje fungování předpovědního pracoviště štabním systémem s jednoznačně definovanými a dodržovanými postupy monitoringu a vyhodnocování dat.

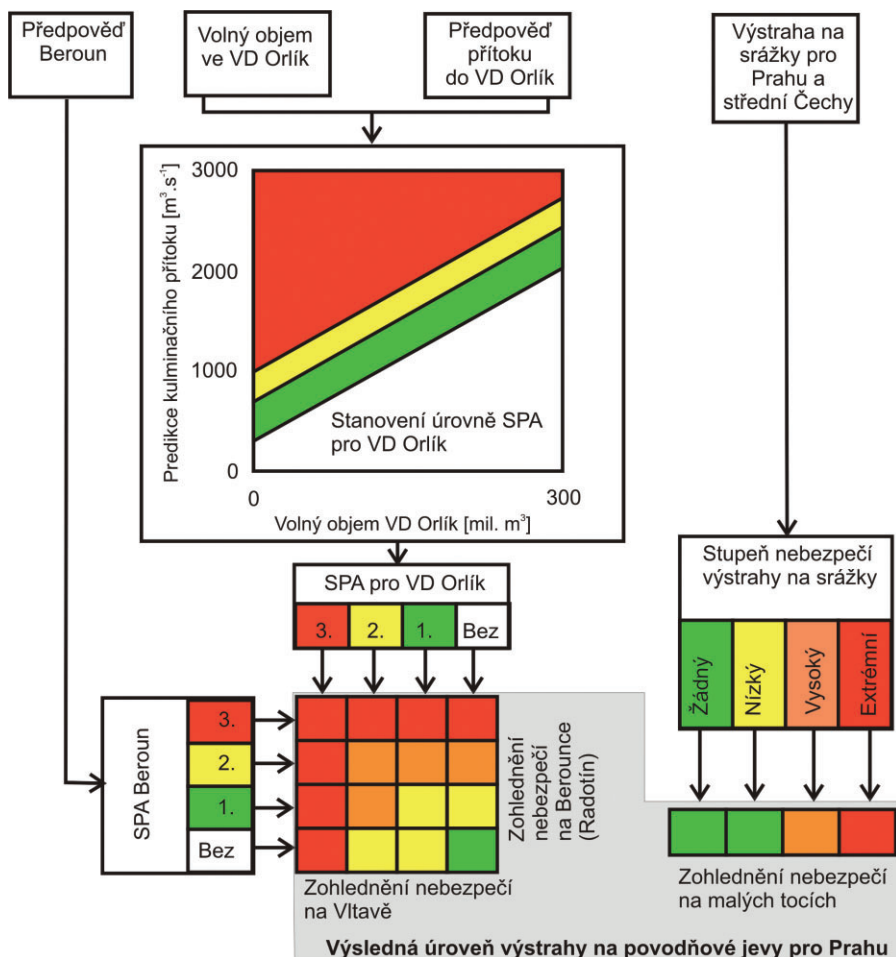
Je nutné zvážit, zda by předpovědní služba měla akceptovat princip očekávání v dané situaci nejhorší možné varianty, což je princip, jenž musí používat integrovaný záchranný systém při přípravných a záchranných pracích¹. Z psychologického hlediska lze sice předpokládat příznivější reakci veřejnosti v případě lepší skutečnosti oproti předpovědi než v opačném případě, nicméně uvedená předpovědní strategie s sebou přináší riziko, že příliš časté výstrahy sníží pozornost a ochotu veřejnosti na ně odpovídajícím způsobem reagovat. Na druhou stranu, jestliže budeme chtít snížit počet falešných výstrah, neobejde se to bez současného nárůstu nebezpečí, že některá povodeň zůstane nepředpověděna a lidé nebudou varováni. Nalezení rovnováhy mezi oběma výše uvedenými riziky je náročné, proto každá krizová situace znovu vyvolá rozsáhlou diskusi na toto téma.

Uvážíme-li navíc skutečnost, že podle vodního zákona automaticky při vydání výstrahy pro specifikovanou oblast nastává 1. stupeň povodňové aktivity (SPA), se všemi následky v podobě vyvolaných aktivit povodňových orgánů a dalších účastníků systému ochrany před povodněmi a s nimi spojených nákladů, je riziko falešných varování velmi významné. Jako kompromisní se jeví snaha o minimalizaci falešných varování při očekávaném malém riziku odpovídajícímu nejnižší úrovni výstrahy, tedy 1. SPA na vodních tocích, a to i za cenu zvýšení počtu nepředpověděných událostí této úrovně. Současně při předpokladu vyšších kategorií výstrah (2. a 3. SPA) naopak pracovat s nepříznivější variantou. Lze ostatně předpokládat, že reakce na straně uživatelů výstrah bude při jakémkoliv výstraže velmi podobná (postup přípravy na povodeň bude vždy začínat spíše jednoduššími přípravnými pracemi v podobě povodňových prohlídek apod.) a bude postupně přizpůsobována upřesňujícím informacím o vývoji povodňového nebezpečí. Přejít z nejnižší úrovně výstrahy do vyšší kategorie musí být velmi rychlý v reakci na změnu podkladů pro jejich vydání.

3.2 Poučení na příkladu hlavního města Prahy

Povodně 2013 rovněž poukázaly na specifickou Prahu z hlediska systému SIVS. Do budoucna je nezbytné řešit problematiku určení úrovně výstrahy, zejména v případě povodňových jevů pro Prahu bez čekání na efekt Vltavské kaskády.

¹⁾ Řada protipovodňových opatření může být činěna v několika stupních – např. povodňovou stěnu lze vybudovat, řekněme, na průtok 3 000 m³.s⁻¹, nebo na 4 500 m³.s⁻¹, avšak pokud je již jednou vystavěna v menší variantě a čelí návrhovému průtoku, nemusí být technicky proveditelné její navýšení na vyšší hodnotu.



Obr. 2 Návrh možného rozhodovacího stromu pro určení úrovně výstrahy na povodňové jevy pro území Prahy. Pro upřesnění uvádíme, že úrovně SPA jsou označovány: zelená = 1. SPA (bdělost), žlutá = 2. SPA (pohotovost), červená = 3. SPA (ohrožení), úroveň bez SPA není barevně označena; úrovně výstrah jsou označovány: zelená = bez nebezpečí, žlutá = nízké nebezpečí, oranžová = vysoké nebezpečí, červená = extrémní nebezpečí. Výsledná úroveň výstrahy na povodňové jevy je uvedena barvou příslušného pole v maticích v šedém poli.

Fig. 2. A proposal of a possible future decision tree for the identification of flood warning level (SPA) for Prague. The flood stage color scheme used in the Czech Republic includes: green = flood watch, yellow = flood warning, red = flooding (no flood stage = white). Compare to the weather warning color system (grey field): green = no warning, yellow = low hazard, orange = high hazard, red = extreme hazard.

Jednou z možností je využití systému Indikátoru přívalových povodní (Flash Flood Guidance – FFG) indikujícího odtok z malých povodí z hlediska klasifikace nebezpečí dosažení významného odtoku v reakci na srážky. Konkrétně stanovením limitu takto zasažené plochy jako vodítka pro odvození stupně výstrahy pro Vltavu v Praze.

Alternativou je vytvoření pomocných SPA pro VD Orlík – mohlo by se jednat například o kontingenční tabulku uvažující kombinace hodnoty predikovaného přítoku a volného objemu v nádrži, příp. i s vazbou na předpovídané průtoky Berounky či Sázavy. Návrh konceptu rozhodovacího stromu pro určení úrovně výstrahy na povodňové jevy na území Prahy je předložen k diskusi na obr. 2.

Druhým aspektem povodňových výstrah pro Prahu je omezení se na problematiku Vltavy, což je mimo jiné dáno skutečností, že jiné toky na území hlavního města nejsou osazeny hlásmnými profily kategorie A či B s automatizovaným přenosem. Proto jsou při přípravě výstrah poněkud opomíjeny. Doporučením by proto měl být vznik nových automatizovaných hlásmných profilů na území hlavního města, zejména

na na Berounce v Radotíně, na Botiči a Rokytce a jejich zařazení do celostátního systému hlásmné služby ČHMÚ.

3.3 Ostatní poznatky

Kromě výše zmíněné nutnosti zřízení hlásmných profilů na území hlavního města Prahy lze doporučit zřízení dalších hlásmných profilů s automatizovaným přenosem ještě na dlouhých úsecích velkých toků. Konkrétně lze doporučit zřízení profilu na Vltavě pod Prahou (např. v Řeži) pro potřeby informování povodňových orgánů v Kralupech nad Vltavou a dalších obcích na dolní Vltavě nebo zřízení profilu v oblasti Litoměřické inundace na Labi².

4. ZÁVĚR

Průběh povodně mimo jiné ukázal na citlivost našeho území na přesnou lokalizaci a množství předpovídaných srážek, zejména v situacích velkého nasycení půdy. Potvrdily se rovněž obavy mnohých hydrologů a vodohospodářů, že mohou nastat povodně, při kterých bude vzestup hladin řek rychlejší, než časový prostor plánovaný pro instalaci mobilních povodňových stěn jak v Praze (v minulosti bylo poukazováno na povodeň 1872), tak v dalších městech a obcích (např. povodeň ze Smutné v Bechyni).

Do budoucna je zřejmé, že požadavky a očekávání na hydrometeorologickou službu budou narůstat, z toho důvodu je nezbytné věnovat se i problematice správné komunikace s uživateli a způsobu a formě předkládání výstupů hydrometeorologické služby tak, aby nebyly dezinterpretovány a aby nebyly očekávány nereálné výstupy na straně jedné, ani aby nezůstávaly poskytnuté informace nevyužity. Klíčová je v tomto spolupráce s Hasičským záchranným sborem, který zajišťuje distribuci výstrah.

Povodně v červnu 2013 mimo jiné ukázaly, že důležitou úlohu při vydávání výstrah hraje nejen správná a rychlá interpretace modelových, měřených a pozorovaných informací, ale i správné vyhodnocení pravděpodobnosti naplnění modelových výstupů. Důkladná analýza povodně v rámci probíhajícího projektu Vyhodnocení povodně v červnu 2013, včetně vydávání výstrah a informací o výskytu nebezpečných jevů, bude využita při úpravě Systému integrované výstražné služby (zaměření na četnosti, obsah a srozumitelnost výstrah).

Povodně v červnu 2013 mimo jiné ukázaly, že důležitou úlohu při vydávání výstrah hraje nejen správná a rychlá interpretace modelových, měřených a pozorovaných informací, ale i správné vyhodnocení pravděpodobnosti naplnění modelových výstupů. Důkladná analýza povodně v rámci probíhajícího projektu Vyhodnocení povodně v červnu 2013, včetně vydávání výstrah a informací o výskytu nebezpečných jevů, bude využita při úpravě Systému integrované výstražné služby (zaměření na četnosti, obsah a srozumitelnost výstrah).

²⁾ V Litoměřicích je automatická stanice Povodí Labe, s. p., avšak její současné technické řešení neumožňuje funkčnost při povodňových stavech, a proto v průběhu povodně v červnu 2013 data operativně nepřenesla.

Literatura

- [1] BORGA, M., 2010. Characterisation of flash floods in Europe: implications for flood risk management, WG F Thematic workshop „Flash Floods and Pluvial Flooding“, Ispra Ambiente, Cagliari. [cit. 15. 9. 2013]. Dostupné z WWW: <http://www.isprambiente.gov.it/files/acque/I1_Borga_Uni_Padua.pdf>.
- [2] BRATRÁNEK, A., 1956. Vltavská kaskáda, možnost zlepšení ochrany Velké Prahy před povodněmi. *Vodní hospodářství*, 6, s. 142–145.
- [3] DAŇHELKA, J., 2012. Výročí povodně 2002 v širších souvislostech. Prezentace na valném hromadě ČVTVHS dne 14. 5. 2012. [cit. 15. 9. 2013]. Dostupné z WWW: <http://voda.chmi.cz/doc/hist_pov.pdf>.
- [4] ELLEDER, L. – KULASOVÁ, B. – DAŇHELKA, J., 2012. Přívalová povodeň 25. a 26. května 1872 a možnost protipovodňové ochrany. In: DAŇHELKA, J., ELLEDER, L. (Eds.), 2012: Vybrané kapitoly z historie povodní a hydrologické služby na území ČR, Praha: ČHMÚ, s. 100–118. ISBN 978-80-87577-12-7.
- [5] ELLEDER, L. – ŠIROVÁ, J. – DRAGON, Z. – DAŇHELKA, J. – KULASOVÁ, B. et al., 2012. Povodeň z 30. ledna až 15. února roku 1862, In: DAŇHELKA, J., ELLEDER, L. (Eds.), 2012: Vybrané kapitoly z historie povodní a hydrologické služby na území ČR. Praha: ČHMÚ, s. 25–99. ISBN 978-80-87577-12-7.
- [6] 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.
- [7] MARCHI, L. – BORGA, M. – PRECISO, E. – GAUME, E., 2010. Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and applications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 394, 1–2, s. 118–133, ISSN 0022-1694.
- [8] MÜLLER, M. – KAKOS, V., 2004. Extrémní konvekční bouře v Čechách 25.–26. května 1872. *Meteorologické Zprávy*, roč. 57, č. 3, s. 69–77. ISSN 0026-1173.
- [9] 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.
- [10] VALERIÁNOVÁ, A. – HOLTANOVÁ, E. – CRHOVÁ, L., 2013. Klimatologie přičinných srážek červnové povodně v České republice v roce 2013. *Meteorologické Zprávy*, roč. 66, č. 6, s. 190–196. ISSN 0026-1173.

Lektoři (Reviewers): Ing. Jan Kubát, Ing. Ivan Obrusník, DrSc.

VYHODNOCENÍ CIRKULAČNÍCH PODMÍNEK V ATMOSFÉŘE V PRVNÍ POLOVINĚ ROKU 2013

Marjan Sandev, Miloš Dvořák, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, sandev@chmi.cz, milos.dvorak@chmi.cz

Evaluation of atmospheric circulation conditions in the first half of 2013. In the first half of 2013 in the wider region of Central Europe dominated unusual course of weather events. Besides significant changes in temperature, this period was also characterized by great diversity of precipitation regime. Temperature extremes were recorded and heavy rainfall was causing snow calamity, in the spring and at the beginning of summer also floods in many places of Central Europe, including the Czech Republic. Intensive precipitation, especially in the second half of May, saturated soil in Central and Western Europe and precipitation during June resulted in occurrence of floods in Central Europe. The aim of this work is to evaluate the circulation conditions that led to anomalies of meteorological parameters and to examine circumstances for subsequent recurrent floods in the Czech Republic. Due to limited space in this publication, the authors recommend to interested persons to read the extended evaluation in the project “Evaluation of the floods in June 2013”, which is available by the end of 2013.

KLÍČOVÁ SLOVA: cirkulace atmosférická – pole tlaková – srážky – konvergence – stříh větru

KEY WORDS: atmospheric circulation – field pressure – precipitation – convergence – wind shear

1. ÚVOD

První polovina roku 2013 byla na území České republiky (ČR) charakteristická četnými anomáliemi meteorologických prvků. Z grafů na obr. 1. a 2. je vidět neobvyklý průběh teplotních a srážkových charakteristik s výraznými odchylkami, které v některých případech dosáhly až extrémních hodnot.

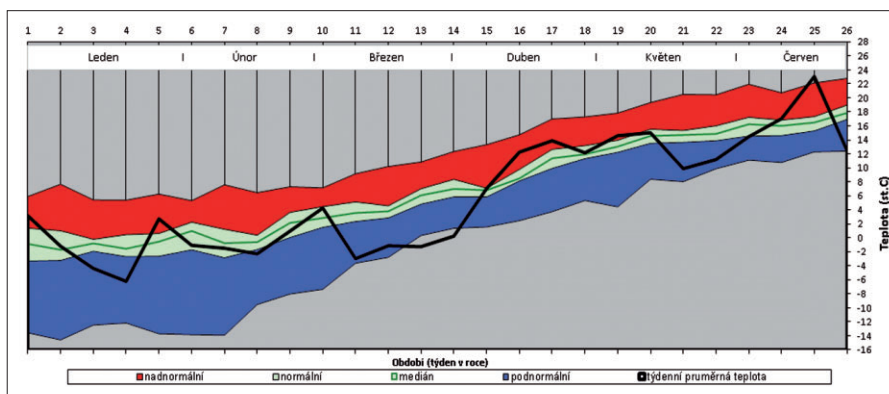
Leden a větší část února byly srážkově průměrné nebo nadprůměrné. Závěr února a první polovina března naopak přinesly suché počasí. Od 11. března následovaly čtyři týdny s ohledem na roční dobu velmi studeného počasí. Koncem března a v prvním dubnovém týdnu se vyskytla řada teplotních extrémů. Z hlediska dlouhodobých průměrných týdenních teplot se jednalo o nejméně chladnější období od roku 1912.

První tři měsíce roku 2013 jsou také charakteristické velmi nízkým množstvím slunečního svitu. Během celého období převládalo počasí s velkou oblačností, ať už doprováze-

né srážkami (při cyklonálním počasí) nebo beze srážek [5]. Týdenní průměrné množství oblačnosti většinou přesahovalo 8/10 pokrytí oblohy, což je i z dlouhodobého hlediska neobvyklé.

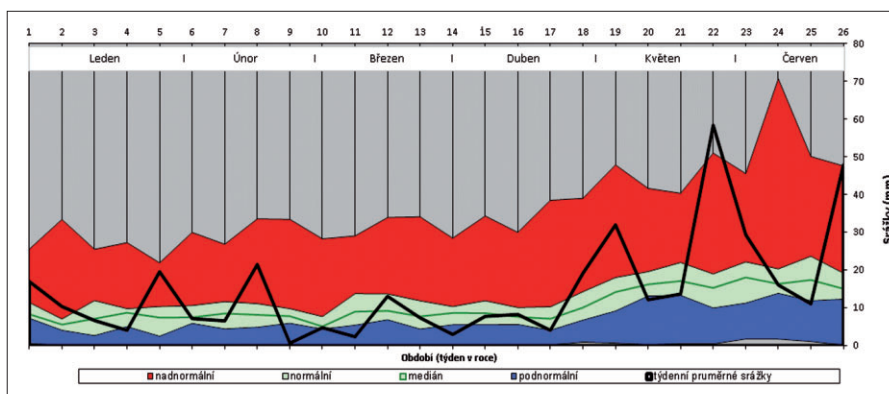
Po srážkově sušším březnu a dubnu se v květnu a červnu vyskytlo několik období s výraznými nadprůměrnými srážkami. První bylo zaznamenáno začátkem května, další dvě období přinesly z dlouhodobého hlediska extrémní srážky. Výrazně srážkové bylo období na konci května a začátkem června, kdy spadlé srážky spolu s nasycenými povodními [3] vedly k rozsáhlým povodním na území střední Evropy, včetně ČR. Další vlna povodní přišla po vydatných srážkách v posledním červnovém týdnu. Všechna tato období vzhledem k cyklonální cirkulaci byla doprovázena i výrazným úbytkem slunečního svitu.

Období od 20. května do 5. června bylo výrazně teplot-



Obr. 1 Průměrná týdenní teplota v ČR za období leden až červen 2013 v porovnání s dlouhodobými hodnotami (srovnávací období 1981–2010, extrémy za období 1912–2012).

Fig. 1. Average weekly temperature in the Czech Republic for the period January to June 2013 compared with the long-term values (comparative period 1981–2010, extremes for the period 1912–2012).



Obr. 2 Průměrné týdenní srážky v ČR za období leden až červen 2013 v porovnání s dlouhodobými hodnotami (srovnávací období 1981–2010, extrémy za období 1912–2012).

Fig. 2. Average weekly rainfall in the Czech Republic for the period January to June 2013 compared with the long-term values (comparative period 1981–2010, extremes for the period 1912–2012).

ně podprůměrné. Týden před vlnou vydatných srážek, které spadly koncem června, přišla do ČR vlna veder, během které byly překonávány teplotní extrémy na řadě meteorologických stanic. Tento 25. týden v roce, s průměrnou týdenní teplotou kolem 23 °C, byl nejteplejší za posledních minimálně 100 let.

2. ATMOSFÉRICKÁ CÍRKULACE

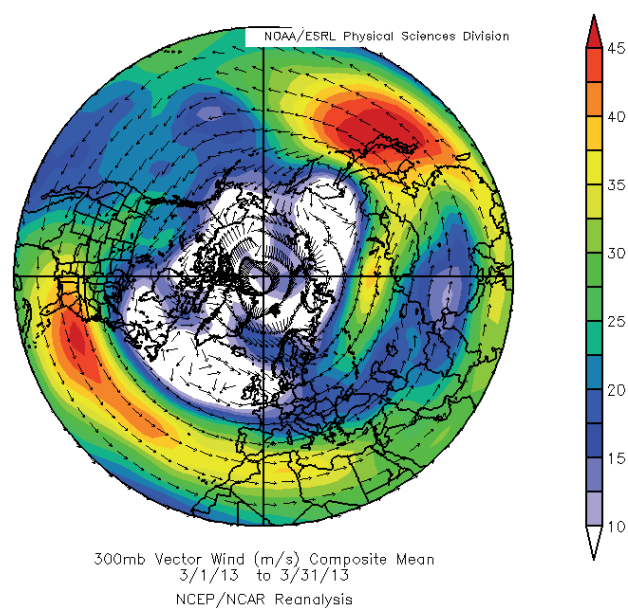
2.1 Leden až duben

Cirkulace v atmosféře v prvních třech měsících roku 2013 způsobila neobvyklý průběh počasí nejen u nás, ale téměř v celé Evropě. Od ledna do začátku dubna se do západního Středomoří dostal, nebo se zde přímo vytvořil, neobvykle vysoký počet tlakových níží. Tyto níže nad mořem nabíraly vlhkost a obvykle postupovaly dále k východu až severovýchodu přes Balkánský poloostrov, Maďarsko a Slovensko. Když se tyto oblasti nízkého tlaku vzduchu dostaly východně od našeho území, strhávaly do střední Evropy studený vzduch z vyšších zeměpisných šířek, tedy z oblastí Skandinávie a Ruska a zároveň přinášely i srážky. Ty však byly nejvýraznější východně a jihovýchodně od našeho území a v některých zemích způsobily sněhové kalamity. V lednu nastala taková situace šestkrát, obdobně i v úno-

ru a v březnu dokonce desetkrát a středy čtyř těchto tlakových níží těsně míjely naši východní hranici. Kdyby se podobná cirkulace opakovala v létě, přinesla by na četných místech evropského kontinentu výrazné povodně.

Příčiny těchto cirkulačních anomálií musíme hledat v širším okolí evropského kontinentu, zejména nad severním Atlantikem. Tryskové proudění (tzv. jet stream) nad severním Atlantikem bylo nadprůměrně silné a posunuté daleko na jih oproti běžnému stavu (obr. 3). Toto vyvolalo výraznou zápornou severoatlantickou oscilaci (NOA), což se projevilo změnou proudění nad centrální částí severního Atlantiku. Na místě, kde se obvykle nachází oblast vysokého tlaku vzduchu, tedy v oblasti Azorských ostrovů, byla rozsáhlá oblast nízkého tlaku (obr. 4). Na okraji této řídicí oblasti nízkého tlaku se vytvářely frontální vlny, které v západním proudění směřovaly do západní Evropy, resp. západního Středomoří. Toto trvalé zásobování studeným vzduchem a potenciální vorticitou¹ [6, 2] způsobovalo prohlubování již stávajících nebo opakovaný vznik nových tlakových níží v západním Středomoří.

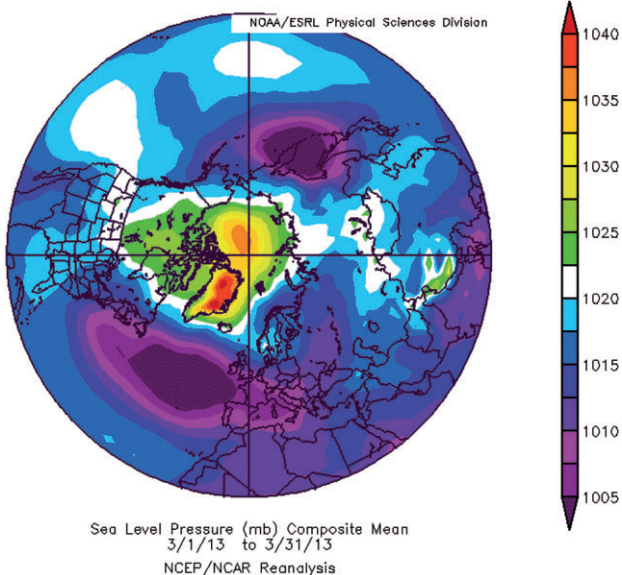
Záporná fáze arktické oscilace (AO) [1] měla v březnu za důsledek i vznik další výrazné anomálie nad Islandem. V této



Obr. 3 Průměrné hodnoty jet streamu v $m \cdot s^{-1}$ (300 hPa) na severní polokouli v březnu 2013 (zdroj NOAA/ESRL).

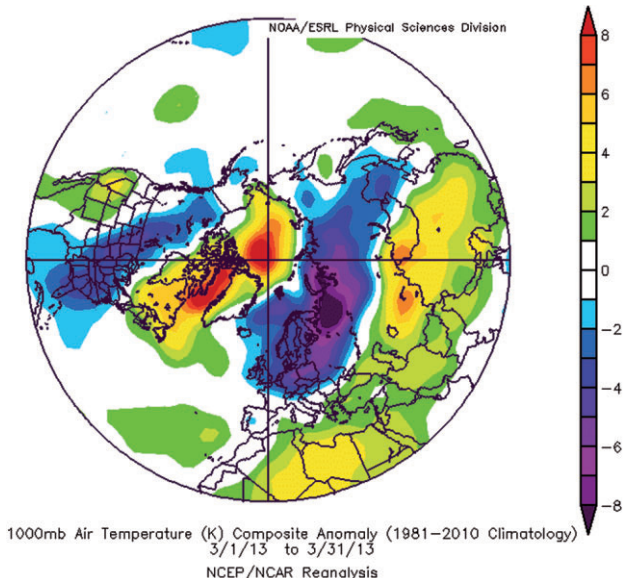
Fig. 3. Mean jet stream in $m \cdot s^{-1}$ (300 hPa) in the northern hemisphere in March 2013 (source NOAA/ESRL).

¹⁾ Vorticitá, vírnávnost – veličina obecně charakterizující míru rotace kolem dané osy. V meteorologii se zpravidla jedná o rotaci vzduchu kolem vertikální osy.



Obr. 4 Průměrné přízemní tlakové pole [mb] na severní polokouli v březnu 2013 (zdroj NOAA/ESRL).

Fig. 4. Mean Sea Level Pressure [mb] in the northern hemisphere in March 2013 (source NOAA/ESRL).



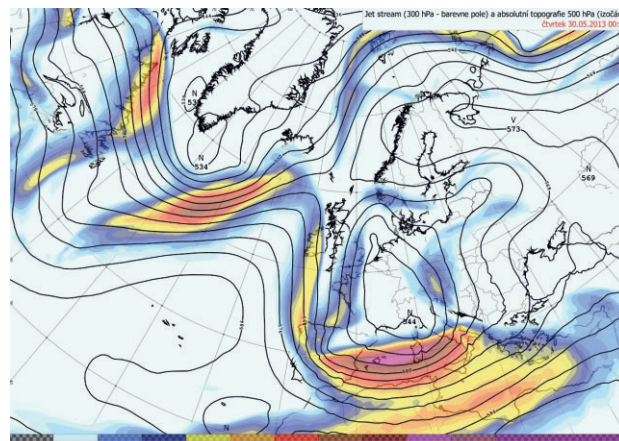
Obr. 5 Odchylka teploty vzduchu od normálu [$^{\circ}\text{K}$] v 1 000 hPa na severní polokouli v březnu 2013, normál za období 1981–2010 (zdroj NOAA/ESRL).

Fig. 5. Air temperature anomaly [$^{\circ}\text{K}$] at 1 000 hPa in the Northern Hemisphere in March 2013, climatology 1981–2010 (source NOAA/ESRL).

oblasti, která je jinak kolébkou tlakových níží, panovala v březnu tlaková výše. Při obvyklé cirkulaci se evropský kontinent ochlazuje buď vpádem studeného vzduchu z arktické oblasti (severozápadní až severní proudění), nebo rozšířením výběžku sibiřské tlakové výše. Studené počasí, které postihlo v několika vlnách větší část evropského kontinentu v březnu a začátkem dubna 2013, ilustruje obr. 5. Toto ochlazení spojené s aktivitou ve Středozemním moři není neobvyklé pro tuto roční dobu, ale v minulosti netrvalo tak dlouho a opakovaně.

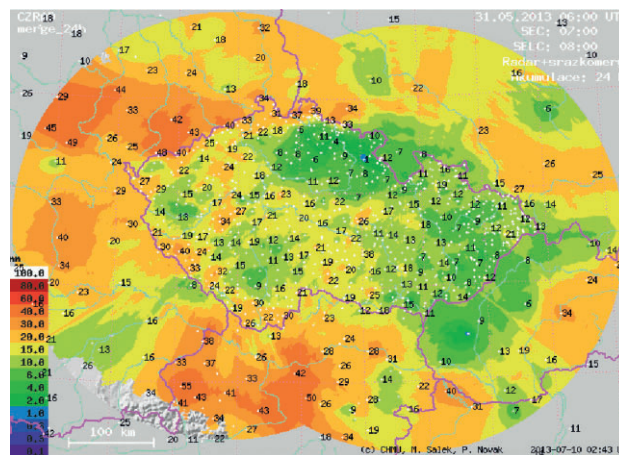
2.2 Květen

Z cirkulačního hlediska byl měsíc květen charakteris-



Obr. 6 Jet stream v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (hladina 300 hPa – barevné pole) a geopotenciální výška v hladině 300 hPa (izočáry) v oblasti Evropa – Atlantik dne 30. 5. 2013 v 00:00 UTC.

Fig. 6. Jet stream in $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (level 300 hPa – color field) and geopotential height at level 300 hPa (isolines) in the area Europe – Atlantic at 00:00 UTC on 30. 5. 2013.

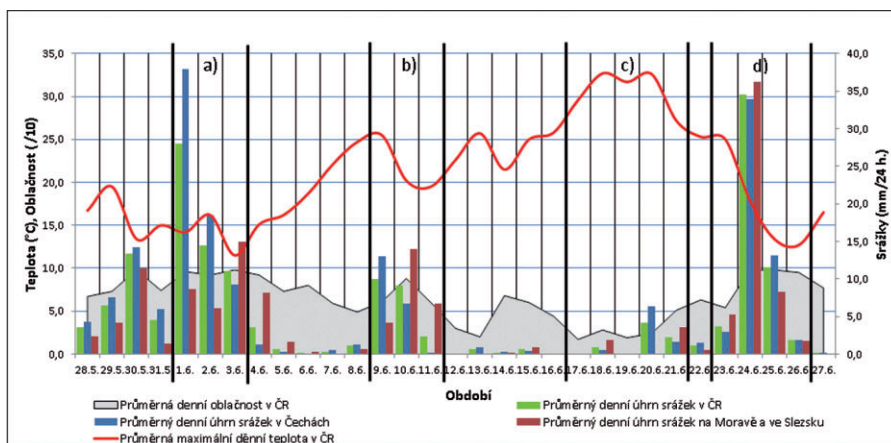


Obr. 7 Množství spadlých srážek za období od 30. 5. 06:00 UTC do 31. 5. 2013 06:00 UTC kombinací radarových odhadů a měření ze srážkoměrů.

Fig. 7. Amount of rainfall for the period from 06:00 UTC 30. 5. to 06:00 UTC 31. 5. 2013 based on combination of radars estimate and rain gauge observations.

ký výraznou cyklonální činností nad oblastí Britských ostrovů a západní, resp. jihozápadní Evropou, kde se po většinu měsíce udržovala brázda nízkého tlaku vzduchu. V první polovině května postupovaly fronty přes střední Evropu většinou od západu, při svém postupu k východu zpomalovaly a obvykle se vlnily.

Druhá polovina května byla ve znamení výrazného meridionálního proudění, které způsobovalo, že se studený vzduch při zemi často dostával daleko na jih až nad severní Afriku. V přílivu studeného vzduchu a přítomnosti jet streamu nad severní Afrikou a jihem centrálního Středomoří docházelo k tvorbě tlakových níží na sever od tohoto proudění, tedy nad západním a centrálním Středomořím. Takto vytvořené tlakové níže pak postupovaly ve směru výškového proudění (po přední straně brázdy nízkého tlaku) do vnitrozemí evropského kontinentu. Při jejich postupu k severu až severovýchodu nabíraly obrovské masy vlhkého vzduchu ze Středomoří. Naopak v jejich týlu byl stále obnovován příliv studeného vzduchu od severozápadu a severu, což přispívalo k jejich neustálé regeneraci.



Obr. 8 Průběh vybraných meteorologických prvků na území ČR za období od 28. 5. do 27. 6. 2013.

Fig. 8. Course of selected meteorological parameters in the Czech Republic for the period from 28. 5. to 27. 6. 2013.

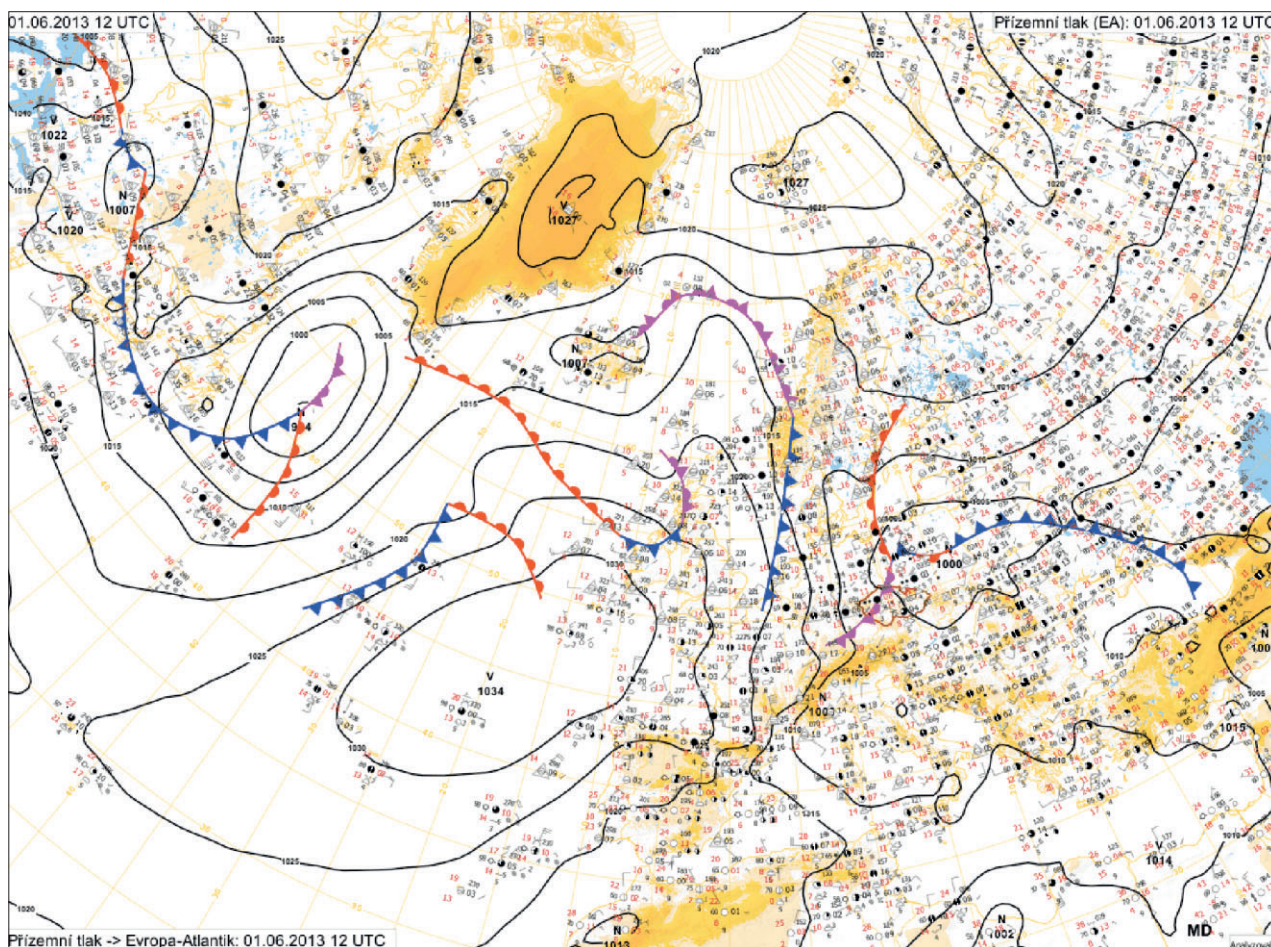
Tato cirkulace způsobila, že v závěrečné dekádě května, která bezprostředně předcházela první vlně záplav v červnu, bylo počasí v ČR výrazně teplotně podprůměrné s velkou oblačností a četnými, místy i vydatnými srážkami. Občasny déšť a přeháňky byly ojediněle doprovázeny i bouřkami, ale maximální denní úhrny na stanicích nepřevýšily 40 mm.

V samotném závěru května se nad větší částí evropského kontinentu udržovala rozsáhlá oblast nízkého tlaku vzduchu se středem nad západní Evropou

(JV Francie, Švýcarsko, severní Itálie) v celém průřezu atmosféry (obr. 6), kolem které se obnovovala jednotlivá jádra nízkého tlaku vzduchu.

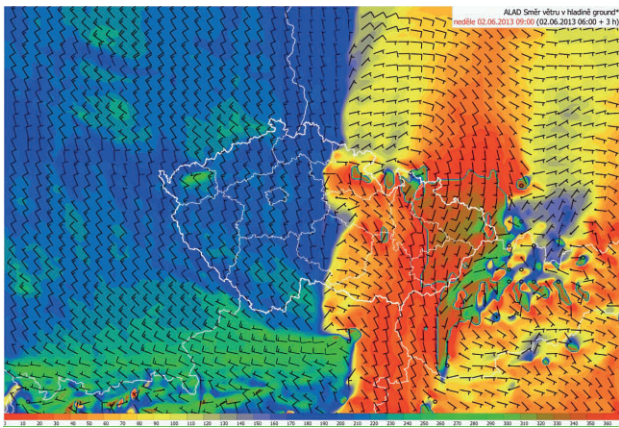
Významné srážky spadly 26. května, kdy v průměru napršelo kolem 5 mm, a to zejména v Čechách. Nejvyšší úhrny až 59 mm zaznamenala stanice Špičák. Dalším významným srážkovým dnem byl 29. květen, kdy přišlo na většině území ČR a místy se vyskytovaly i bouřky. V průměru spadlo kolem 6 mm, nejvíce srážek spadlo v centrální části Čech s maximálním úhrnem 43 mm v okolí Příbrami. Vůbec nejdešivějším dnem měsíce byl 30. květen (obr. 7), kdy spadlo na území ČR v průměru 12 mm srážek, a to celkem rovnoměrně po celém území. Maximum srážek zaznamenaly stanice Kdyně na jihozápadě Čech a Cínovec v Krušných horách, kde spadlo shodně kolem 40 mm srážek.

Jednou z příčin povodňové situace v červnu 2013 byl velmi vlhký květen, který byl jako celek na území ČR srážkově nadnormální s průměrným srážkovým úhrnem 113 mm, což odpovídá 152 % normálu. V Čechách bylo v průměru naměřeno



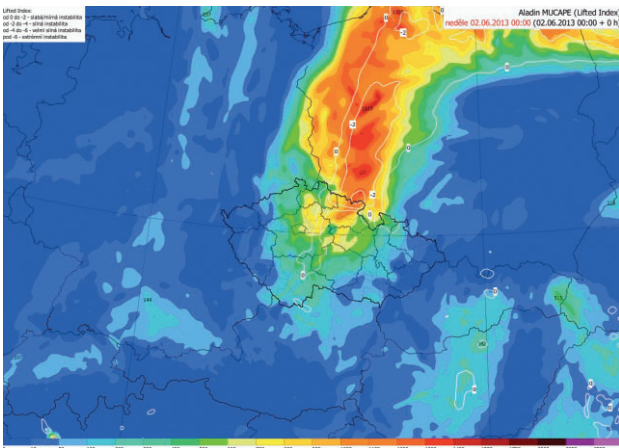
Obr. 9 Synoptická situace včetně frontální analýzy v oblasti Evropa – Atlantik dne 1. 6. 2013 ve 12:00 UTC.

Fig. 9. Synoptic situation including frontal analysis in area Europe – Atlantic at 12:00 UTC on 1. 6. 2013.



Obr. 10 Konvergence vzduchu v hladině 1 000 hPa (barevné zobrazení směru větru 0 až 360°, černé praporky – směr a rychlost větru) nad střední Evropou dne 2. 6. 2013 v 09:00 UTC (předpověď z modelu ALADIN z 2. 6. 2013 06:00 UTC).

Fig. 10. Ground air convergence in 1 000 hPa (color display of wind direction from 0 to 360°, black flags – wind direction and speed) over Central Europe at 09:00 UTC on 2. 6. 2013 (forecast of the ALADIN model from 06:00 UTC 2. 6. 2013).



Obr. 11 Analýza instability nad střední Evropou dne 2. 6. 2013 v 00:00 UTC (výstup z modelu ALADIN ze stejného termínu), barevné pole – MUCAPE, bílé čáry – Lifted Index v $J \cdot kg^{-1}$.

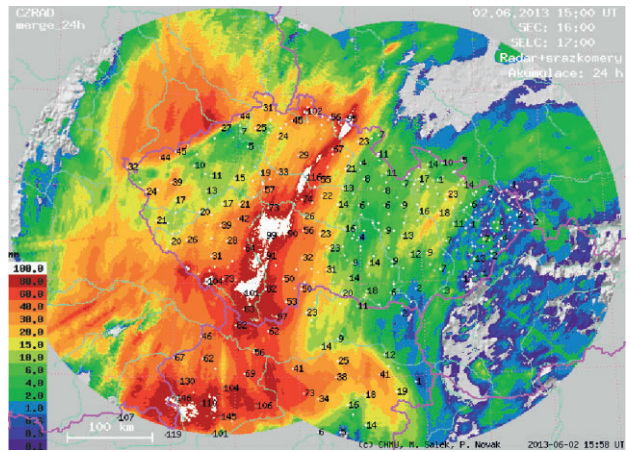
Fig. 11. Analysis of instability over Central Europe at 00:00 UTC on 2. 6. 2013 (output from the ALADIN model from the same term), color field – MUCAPE, white lines – Lifted Index in $J \cdot kg^{-1}$.

no 115 mm (174 % normálu), na Moravě a ve Slezsku 97 mm (137 % normálu).

2.3 Červen

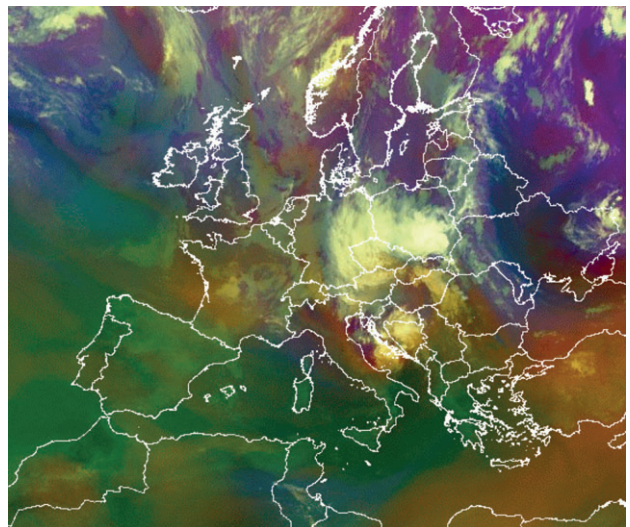
Z hlediska srážkové činnosti a následné hydrologické odezvy se během června vyskytla čtyři významná synoptická období. Průběh vybraných meteorologických prvků v tomto období je znázorněn graficky na obr. 8.

Konec května a začátek června 2013 byly na území ČR ve znamení cyklonálního počasí s velkou oblačností a četnými srážkami. Srážky, které se vyskytly v období od 1. 6. do 3. 6. (obr. 8, období a) způsobily povodně na části území ČR, extrémní srážky byly zaznamenány hlavně 1. 6., a to v Čechách, kde oproti území Moravy a Slezska napršelo až 4krát více srážek. Toto období bylo charakteristické i poměrně nízkými teplotami vzduchu. Další významné srážkové období nastalo od 9. 6. do 11. 6. 2013 (obr. 8, období b), kdy převládalo instabilní počasí, místy s výraznou bouřkovou čin-



Obr. 12 Množství spadlých srážek za období od 1. 6. 15:00 UTC do 2. 6. 2013 15:00 UTC kombinací radarových odhadů a měření ze srážkoměřů.

Fig. 12. Amount of rainfall for the period from 15:00 UTC 1. 6. to 15:00 UTC 2. 6. 2013 based on combination of radars estimate and rain gauge observations.



Obr. 13 Synoptická situace včetně frontální analýzy v oblasti Evropa – Atlantik dne 25. 6. 2013 v 00:00 UTC.

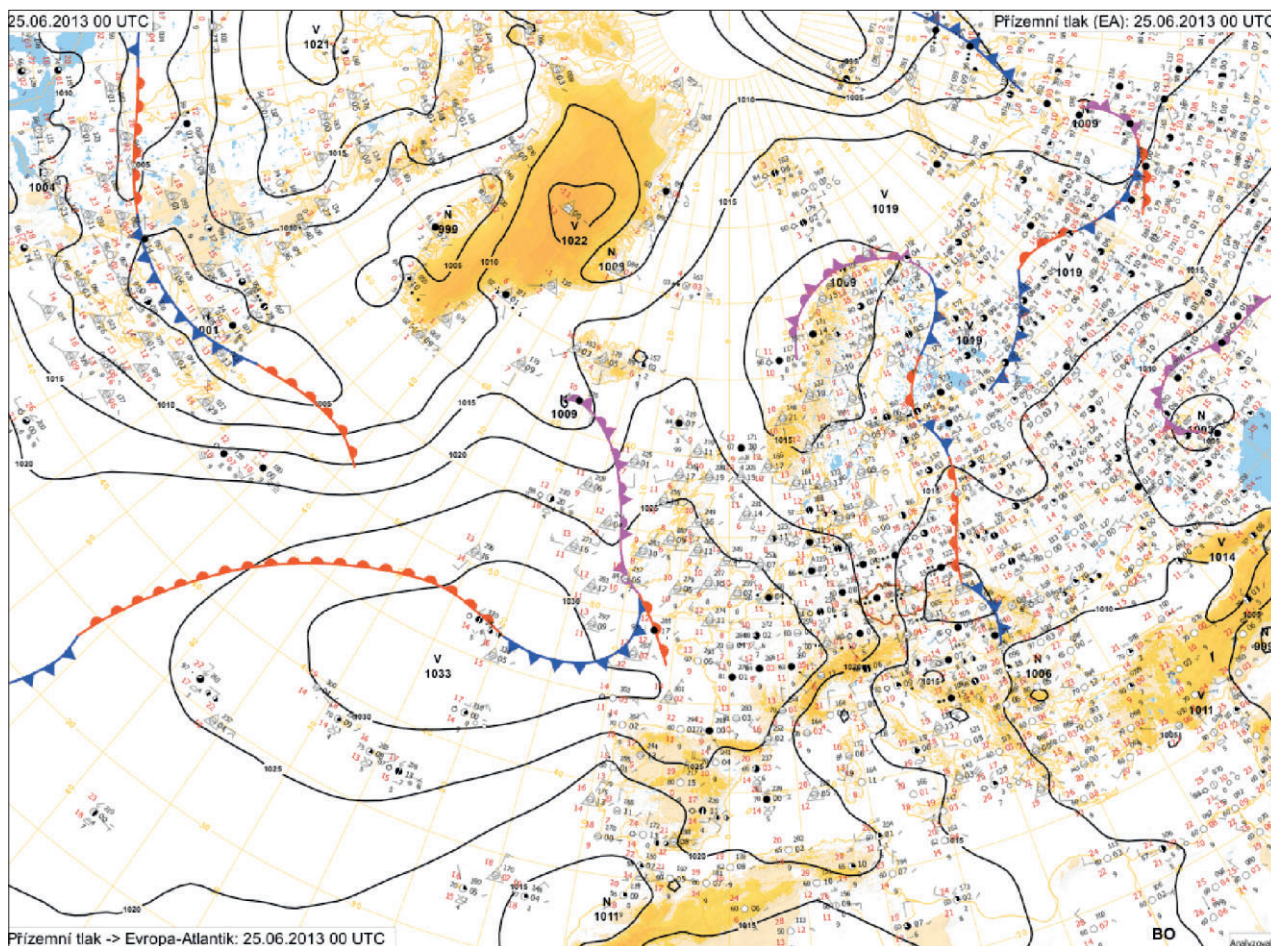
Fig. 13. Synoptic situation including frontal analysis in area Europe – Atlantic at 00:00 UTC on 25. 6. 2013.

ností. V druhé polovině června začal do střední Evropy proudit tropický vzduch od jihu a následovalo slunečné a velmi teplé období (obr. 8, období c). V posledním srážkově výrazném období se na území ČR opět vyskytly povodně. Od 23. 6. do 26. 6. (obr. 8, období d) převládalo opět cyklonální počasí doprovázené velkou oblačností a srážkami, přechodně i extrémními (24. 6.), které byly tentokrát rozloženy rovnoměrně na území celé ČR. Teploty opět výrazně klesly.

Měsíc červen 2013 jako celek byl na území ČR srážkově nadnormální, s průměrným srážkovým úhrnem 146 mm, což odpovídá 174 % normálu. V Čechách bylo v průměru naměřeno 152 mm (185 % normálu), na Moravě a ve Slezsku 119 mm (137 % normálu). Dvě srážkově významná období (a, d) jsou dále popsána podrobněji.

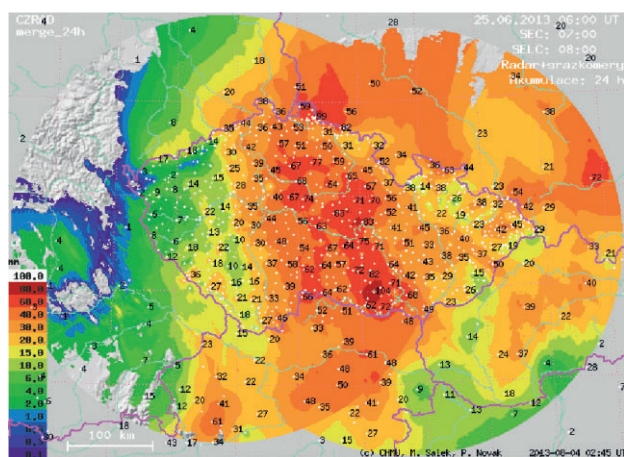
Srážkové období od 1. do 3. června 2013

Cirkulace ze závěru května pokračovala i na začátku června. Střed mohutné tlakové níže ve vyšších hladinách atmo-



Obr. 14 Snímek z družice MSG 2 – produkt „Airmass“ z termínu 25. 6. 2013 00:00 UTC.

Fig. 14. Satellite image from MSG 2 – product “Airmass” at 00:00 UTC 25. 6. 2013.



Obr. 15 Množství spadlých srážek za období od 24. 6. 06:00 UTC do 25. 6. 2013 06:00 UTC kombinací radarových odhadů a měření ze srážkoměrů.

Fig. 15. Amount of rainfall for the period from 06:00 UTC CEST 24. 6. to 06:00 UTC 25. 6. 2013 based on combination of radars estimate and rain gauge observations.

sféry postupoval z jihozápadní Evropy k severovýchodu a při svém postupu byl blokován rozsáhlou tlakovou výší nad severovýchodní Evropou. Z oblasti Azorských ostrovů zasahoval do jihozápadní Evropy hřeben vyššího tlaku vzduchu. Rozhodující pro výraznou srážkovou epizodu 1. a 2. 6. byla

tlaková níže, která se vytvořila 30. 5. na frontální vlně východně od území ČR a zvolna postupovala nad něj. Nad severní Evropou se udržovala tlaková výše a zároveň nad západní Evropou mohutněl výběžek azorské tlakové výše. Oba útvary postupně zablokovaly postup níže dále na sever a západ, což způsobilo její setrvání nad centrální částí evropské pevniny. Nad naším územím se vlnilo frontální rozhraní (obr. 9), které setrvalo téměř 20 h bez výraznějšího pohybu. V dalších dnech se tlaková níže nad východní Evropou začala zvolna vyplňovat, ale ještě 5. 6. ovlivňovala východ našeho území. Zároveň se do Čech rozšířil nevýrazný výběžek vyššího tlaku vzduchu od západu a v následujících dnech se nad střední Evropou udržovalo už jen nevýrazné tlakové pole.

Tato synoptická situace způsobila, že se během 1. 6. vytvořilo nad územím ČR výrazné konvergentní proudění v přízemní vrstvě. Čára konvergence setrvala po řadu hodin na stejném místě a 2. 6. ležela v prostoru od severních přes střední až do jižních Čech (obr. 10), odkud se začala jen pozvolna posouvat k východu. V týlu tlakové níže proudil do Čech studený vzduch od severozápadu (silné proudění v nižších hladinách) a zároveň mezi přízemní vrstvou a výškou od 3 do 6 km existoval výrazný stříh větru (přes $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Dalším prvkem, který přispěl k výrazným srážkám, bylo instabilní zvrstvení a to zejména na severu Čech (obr. 11). S výjimkou jižních Čech se v oblasti konvergence vyskytovaly kromě výrazného deště i občasné bouřky. V Krkonoších docházelo k významné bouřkové činnosti (Černá hora 80 mm za 6 h, Luční bouda 51 mm za 6 h). Hlavní příčinou povod-

ní v této oblasti byla ta skutečnost, že bouřkové buňky, i když nepříliš vertikálně vyvinuté, opakovaně postupovaly přes stejné území a přechodně se intenzita srážek výrazně zvýšila. Důvodem opakovaného výskytu bouřek na jednom místě byla bezprostřední blízkost středu tlakové níže nad Polskem a její setrvávání na stejném místě po několik hodin. V instabilním prostředí vlhký vzduch narážel na návětrí Krkonoš, přičemž se vytvářela silná dynamická vzestupná proudění. Kombinace všech faktorů způsobila výrazné srážkové úhrny v relativně úzkém pásmu a v krátkém časovém období. Za období od 1. 6. 15:00 UTC do 2. 6. 2013 15:00 UTC v pásmu nepřesahujícím šířku 50 km (obr. 12) napršelo za 24 hodin přes 80 mm, na některých místech i přes 100 mm srážek.

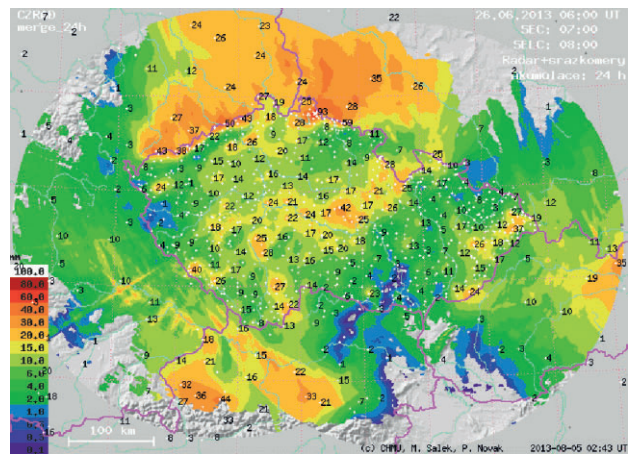
Týden na přelomu května a června byl srážkově extrémní. Jen za období od 1. 6. do 3. 6. spadlo na území ČR v průměru kolem 50 mm srážek, což způsobilo spolu s předchozím nasycením půdy rychlé zvýšení hladin řek a následně i povodně. Nejvíce srážek spadlo 1. 6. v Horním Maršově, 130 mm, v rámci regionů v průměru nejvíce spadlo v Jihočeském kraji, 58 mm, a Středočeském kraji, 45 mm. Dne 2. 6. nejvíce přišlo ve středních Čechách, 25 mm, nejvyšší denní úhrn měla konkrétně stanice Poděbrady, 88 mm. Dne 3. 6. se srážky vyskytovaly rovněž na celém území ČR, jádro výrazných srážek se však přesunulo na severní Moravu, s maximem na Lysé hoře kolem 47 mm a na stanici Morávka, kde spadlo až 50 mm.

Srážkové období od 23. do 26. června 2013

Čtyřdenní období v poslední červnové dekádě přineslo mimořádné srážky na území ČR i z hlediska dlouhodobých měření. Extrémní byl zejména jednodenní srážkový úhrn 24. 6., kdy na našem území v průměru spadlo kolem 35 mm srážek. V důsledku těchto srážek se na území ČR vyskytly opět povodně, hlavně v Čechách a v povodí Dyje na Moravě.

Brázda nízkého tlaku vzduchu ve vyšších hladinách, která se 22. 6. nacházela nad Britskými ostrovy, se postupně začala propadat k jihu a postupovat do vnitrozemí evropského kontinentu. Při zemi postupovala ze západní do střední Evropy studená fronta, která se nad Alpami začala vlnit. 23. 6. se na území ČR nacházelo frontální rozhraní, po jehož přechodu k nám začal proudit chladnější vzduch od severozápadu a přechodně se rozšířil nevýrazný výběžek vyššího tlaku od západu. 24. 6. se ve večerních a nočních hodinách na pomalu postupující zvlhčené studené frontě vytvořila jihovýchodně od našeho území samostatná tlaková níže, v jejímž týlu k nám zesílil příliv studeného vzduchu od severozápadu až severu (obr. 13).

Dne 25. 6. brázda ve vyšších hladinách ovlivňovala už celou západní a střední Evropu, včetně Itálie a západního Balkánu. Nad severovýchodní Evropou se udržoval hřeben vysokého tlaku vzduchu, nad východní Evropou zpočátku setrvala další výšková brázda. Oba tyto útvary blokovaly postup brázdy k východu a severovýchodu, brázda se ještě více prohlubovala, což v závěru období přispělo k tvorbě už uzavřené výškové tlakové níže setravající na místě. Při zemi střed tlakové níže těsně míjel severovýchod území ČR a při svém retrográdním postupu k severozápadu, se začala prohlubovat, což zapříčinilo zesílené proudění ze severních směrů v nižších vrstvách atmosféry. Do této cyklonální cirkulace byl vtahován vlhký a zpočátku i relativně teplý vzduch ze Středomoří (Jaderského) a Černého moře, který byl přenášen po přední straně brázdy k severu do vnitrozemí (obr. 14). Zde se střetával se studeným vzduchem v nižších hladinách,



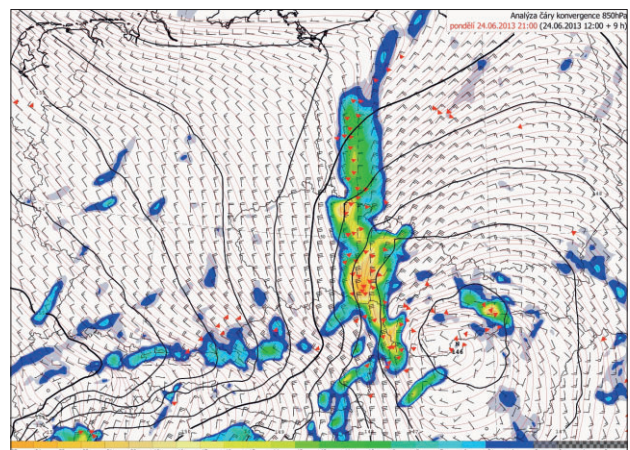
Obr. 16 Množství spadlých srážek za období od 25. 6. 06:00 UTC do 26. 6. 2013 06:00 UTC kombinací radarových odhadů a měření ze srážkoměřů.

Fig. 16. Amount of rainfall for the period from 06:00 UTC 25. 6. to 06:00 UTC 26. 6. 2013 based on combination of radars estimate and rain gauge observations.

což přispívalo k tvorbě intenzivních srážek v širším okolí střední Evropy.

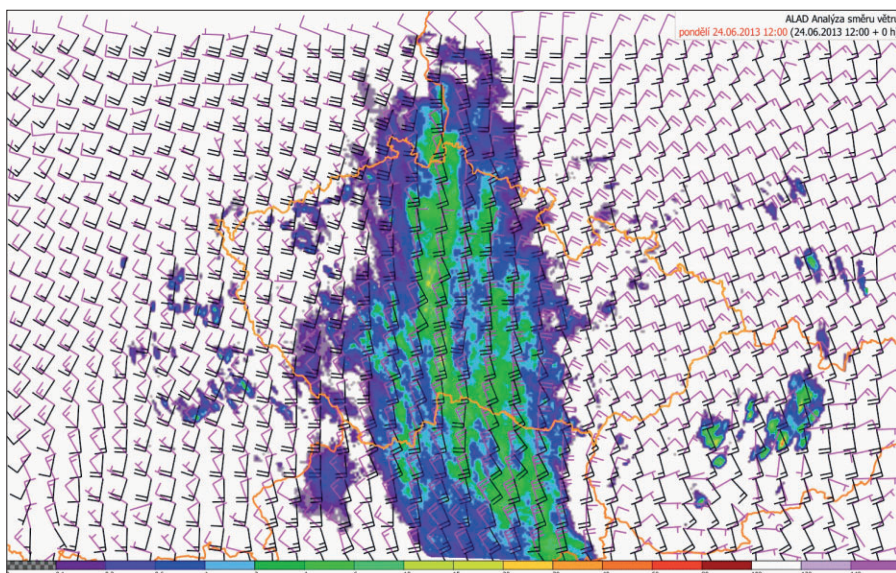
Dne 26. 6. se střed tlakové níže dostal až nad jižní Skandinávii, kde se zvolna začal vyplňovat. V závěru období se do střední Evropy začal rozšiřovat výběžek vyššího tlaku vzduchu a srážky na našem území postupně od západu ustaly.

Frontální rozhraní, které přecházelo přes naše území během 23. 6., přineslo místní přeháňky, na severovýchodě území ojediněle i bouřky, při kterých spadlo přes 40 mm srážek. Další frontální vlna postupující z alpské oblasti k severovýchodu přinesla první výraznější deště ve večerních hodinách na jihozápadě Čech. Během noci na 24. 6. se srážky postupně rozšířily i na Vysočinu, jižní Moravu a do středních a východních Čech. Během dopoledne 24. 6. se výrazné srážkové pásmo udržovalo ve východní polovině Čech



Obr. 17 Konvergence vzduchu nad střední Evropou (barevné pole), geopotenciální výška (izočáry), směr a rychlost větru (praporečky) a proudnice (červené čáry) v hladině 850 hPa dne 24. 6. 2013 ve 21:00 UTC (průměr z modelů ALADIN, GFS, ECMWF a EDZW – předpověď z 24. 6. 2013 12:00 UTC).

Fig. 17. Convergence flow over Central Europe (color field), geopotential height (isolines), wind direction and speed (flags) and streamlines (red lines) at level 850 hPa at 21:00 UTC on 24. 6. 2013 (average of models ALADIN, GFS, ECMWF a EDZW – forecast from 12:00 UTC 24. 6. 2013).



Obr. 18 Analýza větru ve vybraných hladinách (fialové praporky – vítr v hladině 850 hPa, černé praporky – vítr v hladině 500 hPa) dne 24. 6. 2013 ve 12:00 UTC (výstupy z modelu ALADIN ze stejného termínu), radarová odrazivost – srážky v mm (barevné pole) ze stejného termínu.

Fig. 18. Analysis of wind at selected levels (purple flags – wind at level 850 hPa, black flags – wind at level 500 hPa) at 12:00 UTC on 24. 6. 2013 (outputs from the model ALADIN from the same date), radar reflectivity – precipitation in mm (color field) from the same date.

a na západní Moravě a zůstávalo zde až do večerních hodin téměř bez pohybu. K večeru se výrazné srážky začaly objevovat i na ostatním území Moravy a Slezska. V první polovině noci na 25. 6. začaly srážky na východě Moravy a Slezska ustávat a celé srážkové pásmo se pozvolna posouvalo zpět na západ. Do rána už přšlo téměř na celém území Čech. Během dopoledne 25. 6. intenzita srážek pozvolna slábla, do večera srážky většinou ustaly.

24. 6. přšlo téměř na celém území ČR a byl to nejdeštivější den celého června. Nejvyšší úhrny byly zaznamenány při trvalých vydatných deštích ve východních Čechách (v průměru 49 mm) a na jižní Moravě (47 mm), zatímco západní výběžek České republiky se výjimečně obešel beze srážek. Podle údajů z meteorologických stanic nejvíce srážek spadlo v okolí Moravského Krumlova – 104 mm za 24 hodin. Během 24hodinového období 24. 6. 06:00 UTC do 25. 6. 06:00 UTC na území ČR spadlo v pásu širokém kolem 150 km (ve směru západ-východ) více než 40 mm srážek. Srážky na některých stanicích trvaly s proměnlivou intenzitou i přes 24 hodin. Nejvíce byly postiženy severní a východní Čechy, východní polovina středních Čech, Vysočina a západní Morava (obr. 15).

I když se 25. 6. srážky vyskytovaly téměř na celém území, spadlo už v průměru jen kolem 10 mm. Nejvíce srážek bylo naměřeno v Krušných a Jizerských horách a ve východních Čechách (obr. 16). Maximální denní úhrn 93 mm měla stanice Bílý Potok v Jizerských horách. 26. 6. spadly na území ČR v průměru už jen necelé 2 mm srážek, s maximálními úhrny v severních a východních Čechách a na severu Moravy a Slezska do 20 mm.

Z makrosynoptického hlediska je tato neobvykle silná srážková činnost nad střední Evropou způsobena již zmíněnou atmosférickou cirkulací a rozložením tlakových útvarů nad Evropou v celé vrstvě atmosféry. Z mezsynoptického hlediska byly tyto intenzivní a trvalé srážky nad centrální částí ČR způsobeny silnou konvergencí vzduchu v nižších hladinách (obr. 17), která zůstávala po řadu hodin téměř bez pohy-

bu. Konvergence vyvolávala silná dynamická vzestupná proudění. K tomu se v inkriminované oblasti vyskytoval i výrazný stříh větru (obr. 18) a spolu s konvergencí přispíval k tvorbě intenzivních a déletrvajících srážek. V nižších hladinách (850 hPa) převládalo proudění ze severních směrů, naopak ve vyšších hladinách (500 hPa) foukal vítr z jihu. Intenzita srážek byla na návětrných stranách pohoří a hor (Vysočina a Krkonoše) umocněna i silným severním prouděním v nižších hladinách (opět obr. 18).

3. ZÁVĚR

Během června 2013 území ČR zažilo v několika vlnách povodně. Místní přívalové povodně, které zasáhly ČR na přelomu první a druhé červnové dekády (obr. 8, období b), byly způsobeny výlučně bouřkovou činností, která se během letní poloviny roku vyskytuje nad pevninou evropského kontinentu zcela běžně. Společným rysem dalších dvou povodňových situací, které zasáhly naše území na začátku (obr. 8, období a) a v posledním týdnu června 2013 (obr. 8, období d), byla přítomnost oblastí nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou jak v nižších, tak i ve vyšších vrstvách atmosféry. V oblastech nižšího tlaku vzduchu ležela frontální rozhraní, která výrazně ovlivnila srážkový režim nad územím ČR.

Když se tlakové níže dostaly do centrální části Evropy, byly blokovány okolními tlakovými útvary, zejména tlakovými výšemi nad severní a severovýchodní Evropou nebo i brázdou nízkého tlaku vzduchu nad východní Evropou (obr. 8, období v případě d). Takto rozložené tlakové útvary spolu s výraznou cyklonální potenciální vorticitou ovlivňovaly trajektorie tlakových níží ze střední Evropy a způsobovaly jejich retrográdní postup k západu až severozápadu. Přitom narážely na výběžek azorské tlakové výše, který se rozšiřoval od jihozápadu a spolu s blokujícím efektem již zmíněných tlakových útvarů způsoboval zpomalování a postupně i setravné těchto níží nad centrální částí Evropy po několik dní. Po celou dobu byly níže stále živeny chladnějším vzduchem od severozápadu až severu a přílivem relativně teplejšího a vlhčího vzduchu ve vyšších hladinách z okolních moří (Středozemní, včetně Jaderského a Černého moře).

I z mezsynoptického hlediska lze mezi oběma povodňovými situacemi najít společné rysy. Jedná se hlavně o přítomnost silné konvergence vzduchu v nižších hladinách a výrazný stříh větru mezi hladinami určujícími srážkově tvorné procesy. Při první povodňové vlně (obr. 8, období a) bylo celkové množství spadlých srážek výrazně ovlivněno i konvekčními bouřkovými procesy v atmosféře. Tyto srážky tedy byly produktem kombinace velkoprostorových srážek a srážek spojených s bouřkovou činností. Projevilo se to zejména na severu Čech. Obdobně jako při povodních na Novojičínsku v létě 2009 [7] se zde objevil tzv. řetězový efekt („train effect“). Všechny tyto faktory způsobily výrazné srážkové úhrny v úzkém pásu území a v relativně krátkém čase.

Literatura

- [1] AMBAUM, M. – HOSKINS, B. – STEPHENSON, D., 2001. Artic Oscillation or North Atlantic Oscillation? *Journal of Climate – American Meteorological Societe*. Vol. 14, Issue 16, s. 3495–3507.
- [2] BLUESTAIN, H. B., 1992. *Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes*. New York: Oxford University Press.
- [3] PAPPENBERGER, F. – WETTERHALL, F. – ALBERGEL, C. – ALFIERI, L. – BALSAMO, G. et al., 2013. Floods in Cental Europe in June 2013. *ECMWF Newsletter*, No 136 – Summer 2013, p. 9–11.
- [4] ŠERCL, P. – TYL, R. – PECHA, M., 2013. Průběh a extremita povodně v červnu 2013. *Meteorologické Zprávy*, roč. 66, č. 6, s. 197–202. ISSN 0026-1173.
- [5] VALERIÁNOVÁ, A. – HOLTANOVÁ, E. – CRHOVÁ, L., 2013. Klimatologie příčných srážek červnové povodně v České republice v roce 2013. *Meteorologické Zprávy*, roč. 66, č. 6, s. 190–196. ISSN 0026-1173.
- [6] Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002. Meteorologické příčiny katastrofální povodně v srpnu 2002 a vyhodnocení extremity příčných srážek. *Dílčí zpráva*. Odpovědný řešitel SANDEV, M. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2002. s. 7–33.
- [7] Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky. Meteorologické příčiny povodní. *Dílčí zpráva*. Odpovědný řešitel SANDEV, M. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2010.

Lektor (Reviewer): RNDr. Roman Volný

VYUŽITÍ RADAROVÝCH MĚŘENÍ PRO KVANTITATIVNÍ ODHADY A NOWCASTING SRÁŽEK V ČESKÉM HYDROMETEOROLOGICKÉM ÚSTAVU

Petr Novák, Hana Kyznarová, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, petr.novak@chmi.cz, kyznarova@chmi.cz

Use of radar measurements for quantitative precipitation estimates and nowcasts in the Czech Hydrometeorological Institute. This paper summarizes evolution of operational quantitative precipitation estimates (QPE) and nowcasts (QPN) in the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI). It discusses steps necessary to construct good radar precipitation estimates and positive influence of the utilization of exchanged radar volume data from neighboring countries on QPE. The accuracy of radar-only based QPE is not sufficient, which leads to a combination of radar precipitation estimates and point raingauge measurements. The paper shortly describes current status of QPE and QPN algorithms operationally used in the CHMI and their planned development in the near future. Finally, the paper gives an overview of applications that utilize the results of QPE and QPN in order to provide information and warnings to meteorologists and hydrologists in operation and also to the public.

KLÍČOVÁ SLOVA: detekce dálková – radiolokátor meteorologický – srážky atmosferické – nowcasting – povodeň – Česká republika

KEY WORDS: distant detection – meteorological radar – atmospheric precipitation – nowcasting – flood – Czech Republic

1. ÚVOD

Meteorologické radary jsou pokročilá technická zařízení sloužící zejména pro identifikaci srážkové oblačnosti a s ní spojených srážek. Neocenitelné jsou pro detekci konvekčních bouří, se kterými je spjato množství nebezpečných jevů, mimo jiné i intenzivní srážky, které mohou způsobit přívalové povodně.

Radarová pozorování jsou od svých začátků (v Česku před více jak 40 lety) využívána primárně kvalitativně ve formě plošné obrazové informace zobrazované na mapových podkladech. Vzhledem k tomu, že existuje úzký, nikoliv však jednoznačný, vztah mezi měřenou radiolokační odrazivostí a intenzitou srážek na zemském povrchu, jsou radarová data využívána též pro odhad plošného rozložení srážek. První odhady srážek založené na radarových měřeních byly operativně prováděny ještě za doby manuálních měření [26], hlavní rozvoj však začal až v devadesátých letech, kdy byla k dispozici digitální radarová data [17, 18, 6, 19]. V poslední době jsou tyto odhady rozšiřovány též o nowcasting (předpověď na několik nejbližších hodin) plošných srážkových úhrnů [13].

Cílem tohoto článku není detailně popisovat jednotlivé metody kvantitativních odhadů a nowcastingu srážek ani prezentovat výsledky statistického vyhodnocení kvality těchto metod. Ty již byly prezentovány v jiných statích, zde budeme uvádět pouze odkazy na tyto práce. V tomto článku bychom

rádi shrnuli vývoj operativních odhadů a nowcastingu srážek v Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ) za posledních dvacet let, kdy jsou k dispozici digitální radarová data, se zaměřením na v současnosti operativně provozované aplikace a výhled na nejbližší období.

2. RADAROVÉ ODHADY SRÁŽEK

Aby bylo možné smysluplně využívat radarová data kvantitativně, je třeba na prvním místě radar korektně nakalibrovat, tedy zajistit, že měřená hodnota radiolokační odrazivosti odpovídá dle radarové rovnice výkonu přijatého signálu a technickým parametrům radaru. Dále je třeba zajistit, aby radarové měření bylo stabilní v čase. Kontrola stability a kalibrace meteorologických radarů České radarové sítě CZRAD, tzn. radarů Brdy-Praha a Skalky [12], je prováděna během pravidelných servisních návštěv přibližně jednou měsíčně.

Dalším nezbytným krokem je kontrola kvality měřených radarových dat, zejména eliminace nemeteorologických cílů. Hlavní eliminace pozemních odrazů je u radarů Brdy i Skalky prováděna přímo v signálních procesorech pomocí tzv. Dopplerovských filtrů, kdy jsou z měřených dat filtrovány odrazy s vyhodnocenou radiální rychlostí blízkou nule. Dopplerovské filtry jsou schopny eliminovat většinu nemeteorologických cílů, neporadí si však s odrazy od pohybujících se pozemních cílů (například farmy větrných elek-

tráren) a též s falešnými cíli způsobenými detekcí signálu z vysílačů pracujících na stejné frekvenci jako radar. Během posledního desetiletí počet těchto rušení enormně narostl vlivem zařízení RLAN (radioreléové spoje) pracujících v pásmu 5 GHz a využívaných pro bezdrátové internetové připojení. Vzhledem k tomu, že Český telekomunikační úřad není schopen efektivně ochránit radarová měření od těchto rušení, musel být do zpracování objemových radarových dat začleněn softwarový filtr, který filtruje značnou část, nikoliv však veškeré RLAN rušení [28].

Pro radarové odhady srážek je třeba zvolit vhodný radarový produkt, který zobrazuje radarovou odrazivost co nejbližší zemskému povrchu, ale měření přitom není ovlivněno pozemními odrazy (zbytkovými odrazy i znehodnocenými údaji v místech vymazaných odrazů). Na základě několika provedených studií byl jako nejvhodnější pro Českou republiku vybrán produkt PseudoCAPPI 2 km, který zobrazuje radiolokační odrazivost ve výšce 2 km nad hladinou moře, a ve vzdálených oblastech, kde i nejnižší radarový paprsek je nad touto hladinou, je dosazena odrazivost z nejnižší dostupné hladiny. V teplé polovině roku je tento produkt schopen zachytit poměrně dobře srážky do cca 150–180 km. Ve větších vzdálenostech se již výrazněji projevuje podceňování srážek vlivem přílišné výšky nejnižšího radarového paprsku. Eliminovat toto podceňování je možné statistickými nebo fyzikálními korekcemi využívajícími vertikální profil odrazivosti (VPR korekce) [6, 10, 27]. Produkt CAPPI 2 km s VPR korekcí je v ČHMÚ rutinně generován a je používán pro alternativní výpočet radarových odhadů srážek. Provozně je však v současnosti využíván produkt PseudoCAPPI 2 km. Podceňování ve větších vzdálenostech od radaru je eliminováno pomocí kombinace měření z více radarů a následně online kombinací se srážkoměrnými daty.

Do roku 2012 byly odhady srážek počítány pouze z radarů Brdy a Skalky. Díky pokroku ve výměně radarových dat v rámci programu EUMETNET-OPERA došlo během roku 2012 ke zprovoznění bilaterálních výměn objemových radarových dat se Slovenskem, Polskem a Německem [15]. Tato nově získaná data jsou výrazně kvalitnější než dříve vyměňované produkty, a je možné je využívat i pro kvantitativní odhady srážek. Na jaře 2013 tak byl zprovozněn výpočet nových radarových odhadů srážek založený na rozšířené sloučené radarové informaci CZRAD-EXT. Do rozšířené domény vstupují české radary Brdy a Skalky, společně s polskými radary Pastewnik, Ramza a Bzucharnia, slovenským Malým Javorníkem a německými radary Dráždany, Neuhaus a Eisberg. Připraveno je i začlenění rakouských radarů až bude připravena dohoda o výměně objemových radarových dat. Díky výměně objemových radarových dat jsou ze všech radarů generovány jednotným způsobem produkty PseudoCAPPI 2 km a je aplikována rozšířená kontrola kvality dat, tzn. eliminace rušení RLAN, eliminace osamocených pixelů/šumu. Rozšířená sloučená informace poskytuje lepší operativní informaci o srážkách, a to zvláště v příhraničních horských oblastech republiky. Umožňuje alespoň částečně zmírňovat problémy spojené s neviditelností spodních hladin atmosféry ve velkých vzdálenostech od radaru a útlumem radarového signálu v silných srážkách. Využití objemových dat z okolních zemí umožňuje též efektivnější identifikaci nemeteorologických cílů (zbytkové pozemní odrazy, rušení) a lepší rekonstrukci odrazivosti v identifikovaných oblastech.

Pro přepočítání radiolokační odrazivosti na intenzitu srážek se používá Marshall-Palmerův vztah ve tvaru $z = 200 R^{1.6}$, kde z značí radiolokační odrazivost a R intenzitu srážek [9,

2]. Přepočítání je prováděno v rozmezí odrazivosti 7–55 dBZ, které odpovídají intenzitám srážek 0,1–99,9 mm·h⁻¹. Pro odrazivost menší než 7 dBZ je intenzita srážek ponechána nulová, což eliminuje falešné slabé srážky vyvolané vlivem tzv. clear air echa. Maximální intenzita srážek je nastavena na 99,9 mm·h⁻¹, aby bylo eliminováno přeceňování intenzity srážek vlivem přítomnosti krup.

Závěrečný výpočet radarových odhadů srážkových úhrnů je prováděn jako časová integrace radarového odhadu intenzity srážek pro zvolený časový interval. Nejčastěji jsou počítány odhady úhrnu srážek za 1 h, 3 h, 6 h a 24 h. Výpočty byly dříve aktualizovány každou hodinu, v poslední době se v některých případech přechází na aktualizaci každých 5 nebo 10 minut. Prostorové rozlišení radarových produktů, včetně odhadů srážek, je v současnosti již standardně 1 × 1 km.

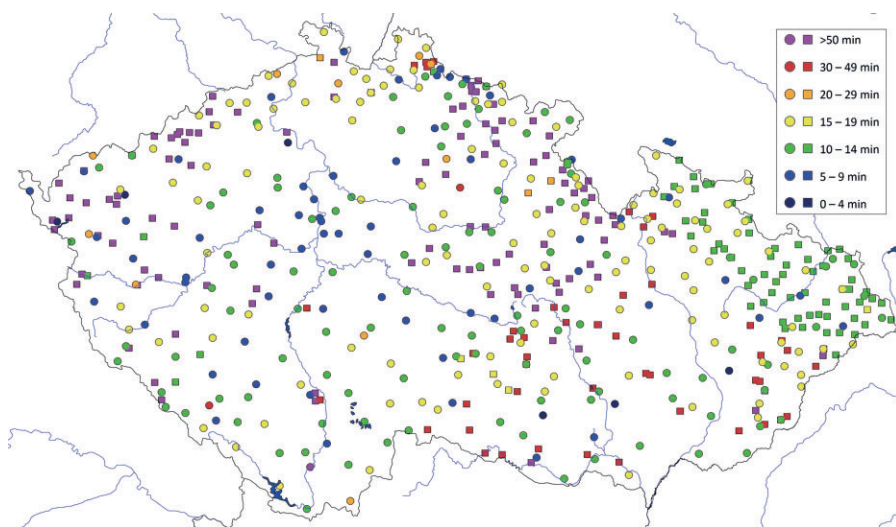
3. KOMBINOVANÉ PLOŠNÉ ODHADY SRÁŽEK Z RADARŮ A SRÁŽKOMĚRŮ

I při využití co nejkvalitnějších radarových dat a aplikaci vhodných korekcí jsou čistě radarové odhady srážek zatíženy značnou nejistotou. Nejčastěji pozorujeme podceňování srážek ve větších vzdálenostech od radaru a v horských oblastech [17, 27]. Další zkvalitňování odhadů srážek je již potřeba řešit kombinací plošných čistě radarových odhadů srážek s operativními bodovými měřeními ze sítě srážkoměrů. Čistě radarové odhady dobře zaznamenávají prostorovou proměnlivost srážek, nejsou ale již tak přesné v absolutních hodnotách. Naproti tomu jsou data ze srážkoměrů relativně přesná, i když i zde může dojít k chybě až několika desítek procent [8, 24]. Pokud ovšem není síť srážkoměrů dostatečně hustá, nemohou srážkoměrná měření podchytit velkou prostorovou variabilitu srážkového pole, zejména v případě konvekčních srážek.

Metod pro operativní kombinaci radarových a srážkoměrných dat vznikla u nás i ve světě celá řada. Jednotlivé metody obecně zlepšují odhad srážek. Lepší výsledky dávají prostorově proměnné kombinace/korekce než jednoduchá prostorově neproměnná adjustace [3, 27]. V případě prostorově proměnlivé kombinace již rozdíly mezi jednotlivými metodami nejsou tak výrazné a větší vliv má poté kvalita a množství dostupných srážkoměrných údajů. Na rozdíl od radarových dat, která jsou díky rychlým datovým linkám dostupná se zpožděním pouze několika málo minut po ukončení měření, se srážkoměrná data přenášejí mnohdy z odlehklých lokalit pomocí pomalého mobilního připojení, a jsou proto dostupná se zpožděním jednotek až několik desítek minut po termínu měření. Další zpomalení nastává při zpracování v centru a importu do databáze, odkud jsou srážkoměrná data dostupná pro následné zpracovatelské aplikace. Z tohoto důvodu po vytvoření čistě radarových odhadů srážek (v cca druhé minutě po termínu měření z českých radarů a v cca 7 minutě po termínu měření z rozšířené radarové informace) je třeba vyčkat do přibližně 20 minut po termínu měření, než je k dispozici dostatek srážkoměrných stanic pro operativní kombinaci radarových a srážkoměrných údajů. V databázi je k dispozici značné množství srážkoměrných údajů i dříve, bohužel dostupnost stanic je značně prostorově proměnlivá, viz obr. 1.

3.1 Systém MERGE

MERGE byl první systém pro operativní kombinaci radarových měření se srážkoměry provozovaný rutinně v ČHMÚ. Byl založen na adjustaci radarových odhadů pomocí průměrného adjustačního koeficientu a následně kombinací se srážkoměrnými údaji metodou Double Optimum Estimation (specifická verze metody kriging), kterou původně vyvinul D. J.



Obr. 1 Průměrný čas dostupnosti údajů ze srážkoměrných stanic po termínu měření v databázi CLIDATA (dostupnost hodinových úhrnů v období 28. 10.–12. 11. 2013). Kulaté symboly zobrazují stanice ČHMÚ a čtvercové symboly stanice externích organizací.

Fig. 1. Average availability of raingauge measurements in CLIDATA database (availability of hourly precipitation during period 28. 10.–12. 11. 2013). Circle symbols represent the CHMI raingages and square symbols represent raingages of external organizations.

Seo [22]. Systém byl uveden do provozu postupně v letech 2000–2003, nejdříve pro 24hodinové úhrny a postupně i pro kratší až hodinové úhrny. V roce 2009 byl systém modernizován, adjustace průměrným koeficientem byla nahrazena prostorově proměnnou lokální adjustací a kombinační metoda začala využívat kriging s externím driftem (KED). V této podobě je systém pro hodinové a delší sumy srážek v hodinovém kroku využíván dodnes [21].

Posledním rozšířením systému MERGE bylo zavedení výpočtů kombinovaného odhadu pro plovoucí hodinové sumy s časovým krokem 10 minut. Z důvodu vysoké časové náročnosti metody KED byla pro tyto výpočty zvolena metoda označovaná jako conditional merging (opět specifická verze metody kriging, označovaná někdy též jako kriging with radar-based error correction), která vychází z práce [25].

MERGE operativně zpracovává odhady srážek z českých radarů, údaje z české sítě srážkoměrných stanic a ze synoptických stanic z okolních zemí. Bohužel systém neumožňuje využívat rozšířenou sloučenou radarovou informaci obsahující data i z okolních radarů. Tento nedostatek by měla odstranit plánovaná revize systému MERGE, která se bude týkat způsobu výpočtu odhadů srážek a také jejího zobecnění tak, aby bylo možné ji použít na různých doménách a s různými vstupními daty. V rámci této revize se plánuje též návrat od lokální adjustace zpět k průměrnému adjustačnímu koeficientu. Pole lokálních adjustačních koeficientů se ukázalo jako méně vhodné pro adjustaci radarových předpovědí srážek metodami COTREC a CELLTRACK při jejich využití v hydrologických modelech nebo v aplikaci JSWarnView, viz následující kapitoly.

3.2 Systém INCA-CZ

Systém INCA byl vyvinut rakouskou meteorologickou službou ZAMG a následně poskytnut dalším institucím. INCA-CZ, upravená verze systému INCA pro výpočet na území České republiky, byla zprovozněna v ČHMÚ v roce 2010 v rámci střeoevropského projektu INCA-CE. Systém INCA-CZ provádí analýzu a předpověď různých meteorologických veličin, mimo jiné i srážek. Vstupem pro analýzu srážek jsou data z meteorologických radarů a srážkoměrných sta-

nic. Na rozdíl od metody MERGE zde do výpočtu vstupují kromě dat z českých radarů také data z radarů z Polska, Slovenska a Německa. Podobně u staničních dat jsou využívána i dostupná data ze srážkoměrných stanic z okolních zemí kromě Německa. Pomocí kombinace radarových a srážkoměrných měření je proveden kvantitativní odhad srážek. Srážkoměrná měření se nejprve interpolují do gridové sítě pomocí jednoduché interpolace z nejbližších 8 stanic. V původním algoritmu ZAMG je používána „klimatologická“ korekce radarových dat, kdy se radarová data korigují na základě poměru 3 měsíčních sum srážek ze srážkoměrů a radarů. Ta se v ČHMÚ nepoužívá. Probíhá pouze korekce radarových dat na základě váženého průměru poměru aktuálních radarových a srážkoměrných dat z okolních 8 stanic. Výsledná

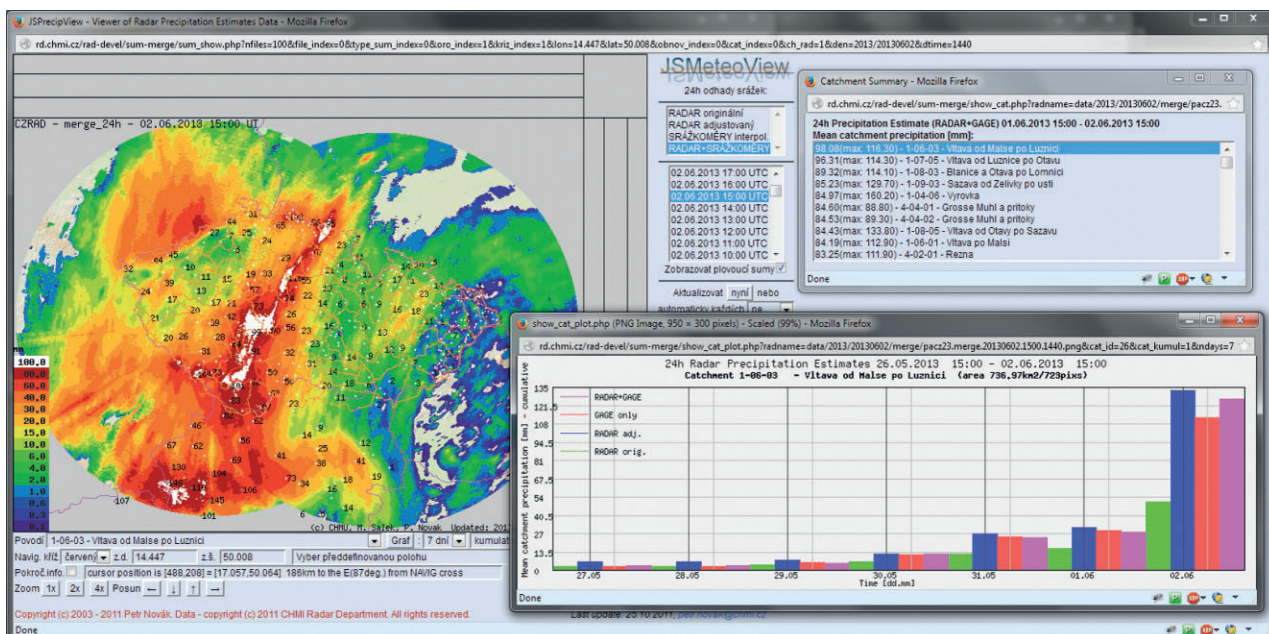
kombinace je součtem hodnot z pole interpolovaných staničních hodnot a rozdílu korigovaného radarového pole a pole interpolovaného z radarových hodnot naměřených v místech stanic. Algoritmus obsahuje také korekci srážek v závislosti na nadmořské výšce povrchu, která se ale v českých podmínkách s hodnotami převýšení řádu stovek metrů neprojevuje (nejedná se o návětrné efekty, směr a rychlost větru v algoritmu nejsou zohledněny). Algoritmus odhadů srážek je podrobně popsán v [4]. Systém INCA-CZ je v současnosti počítán operativně a v některých aplikacích je využíván jako zdroj alternativních plošných odhadů srážek.

4. RADAROVÝ NOWCASTING SRÁŽEK

4.1 Metoda COTREC

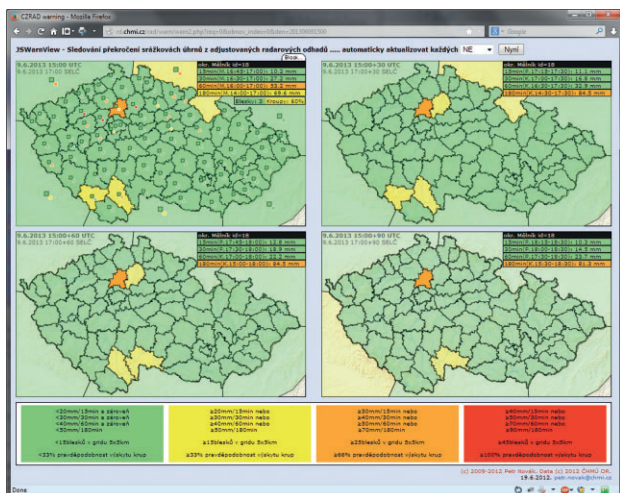
COTREC je hlavní metodou používanou v ČHMÚ pro nowcasting srážek. Jedná se o implementaci algoritmu COTREC popsaného např. v [29]. COTREC porovnává dvě časově blízká pole maximální radarové odrazivosti a v operativním provozu používá časový krok 10 minut. Aktuální pole a různě posunutá předchozí pole jsou nejprve porovnána na celé doméně, poté na šesti menších oblastech a na závěr v oblastech o rozměrech 44 km × 44 km. Z posunu pole, pro které je nalezena nejlepší podobnost polí, je určen vektor pohybu. Jako kritérium podobnosti slouží střední absolutní chyba. Po aplikaci podmínky kontinuity proudění na vektory pohybu vypočtené pro menší oblasti obdržíme výsledné pole vektorů pohybu. Pomocí získaného pohybového pole je poté metodou zpětných trajektorií prováděna extrapolace aktuálního radarového pole až na 180 minut s krokem 5 minut. Implementace algoritmu COTREC v ČHMÚ je podrobněji popsána v [11].

Obdobně jako jsou počítány odhady srážek, je možné provést přepočít extrapolovaných radarových polí na intenzitu srážek a provést integraci za požadované období. Pro kvalitativní sledování přesunu srážkových útvarů se většinou používají předpovědi na 60 až 90 minut. Porovnání předpovědí hodinových úhrnů srážek na +1 h, +2 h a +3 h metodou COTREC s předpověďmi srážek numerického modelu



Obr. 2 Ukázka vizualizace kombinovaných odhadů srážek v aplikaci JSPrecipView.

Fig. 2. Example of visualization of combined precipitation estimates in JSPrecipView.



Obr. 3 Ukázka varovné webové aplikace JSWarnView.

Fig. 3. Example of JSWarnView – warning web application.

ALADIN ukázala [13], že předpovědi COTREC dávají lepší výsledky na první a druhou hodinu a srovnatelné výsledky pro třetí hodinu. Pro účely hydrologického modelování tak jsou generovány předpovědi srážek až na tři hodiny.

Pro zkvalitnění předpovědi zejména v příhraničních oblastech a pro delší předpovědní časy byla připravena modifikovaná metoda COTREC-EXT. Tato metoda je počítána na větší doméně CZRAD-EXT. Pro první odhad pohybového pole je využíváno předpovědní pole větru v hladině 700 hPa z numerického modelu ALADIN, na území České republiky je pak pohybové pole upřesněno porovnáním dvou časově blízkých měření radarů CZRAD. Získané pohybové pole je poté použito pro extrapolaci rozšířené sloučené radarové informace CZRAD-EXT [14]. V současnosti je tato modifikovaná metoda používána jako variantní předpověď srážek v modelu HYDROG. Do budoucna je plánováno využití i v dalších aplikacích.

4.2 Metoda CELLTRACK

CELLTRACK je objektivně orientovaná metoda identifikace jader radarové odrazivosti a extrapolací předpovědi jejich polohy. Metoda identifikuje jednotlivá jádra odrazivosti (při aplikaci v ČHMÚ oblasti odrazivosti vyšší než 44 dBZ) a sleduje je na základě porovnání dvou po sobě jdoucích radarových měření. Na základě vektorů pohybu jednotlivých jader je provedena extrapolace jejich polohy. Polohu je možné extrapolovat buď pomocí pouze posledního vektoru pohybu daného jádra odrazivosti, nebo využít i starší vektory pohybu daného jádra (v současnosti jedna hodina do minulosti daného jádra odrazivosti). Potom je extrapolace provedena na základě váženého průměru těchto vektorů, kdy váha vektorů klesá směrem do minulosti. CELLTRACK není algoritmus primárně určený pro nowcasting srážek už proto, že sleduje pouze vybrané intenzivní oblasti radarového echa. Ukázalo se nicméně, že ve výrazných konvekčních situacích je vhodným doplňkovým produktem, protože v některých případech dokáže zachytit odlišnosti pohybu jednotlivých jader odrazivosti od okolního radarového echa, které není možné již z principu detekovat metodou COTREC. CELLTRACK je podrobněji popsán v [7].

4.3 Nowcasting srážek v systému INCA-CZ

Systém INCA-CZ je v ČHMÚ používán i pro nowcasting srážek. Extrapolace kvantitativního odhadu srážek probíhá na základě vektorů pohybu vypočtených pomocí kroskorelace mezi dvěma po sobě jdoucími kvantitativními analýzami srážek. Porovnávány jsou čtverce o rozměrech 100 × 100 km. Vypočtené vektory se zároveň nesmí lišit od pole větru vypočteného numerickým modelem ALADIN o více než předem stanovenou hodnotu. Mezi druhou a šestou hodinou předpovědi dochází ke kombinaci s numerickým modelem pomocí váženého průměru, kdy váha modelové předpovědi postupně roste s délkou předpovědi. Po šesté hodině se jedná již o čistě modelovou předpověď. Podobně jako kvantitativní analýza srážek je i nowcasting srážek INCA-CZ počítán operativně a v některých aplikacích ČHMÚ dostupný jako alternativa k hlavní metodě COTREC.

5. UŽIVATELSKÉ VÝSTUPY

Abyste byly výstupy z jednotlivých systémů odhadů a nowcastingu srážek skutečně operativně využitelné bylo potřeba též vytvořit patřičné nástroje na jejich vizualizaci a začlenění do následných automatických systémů.

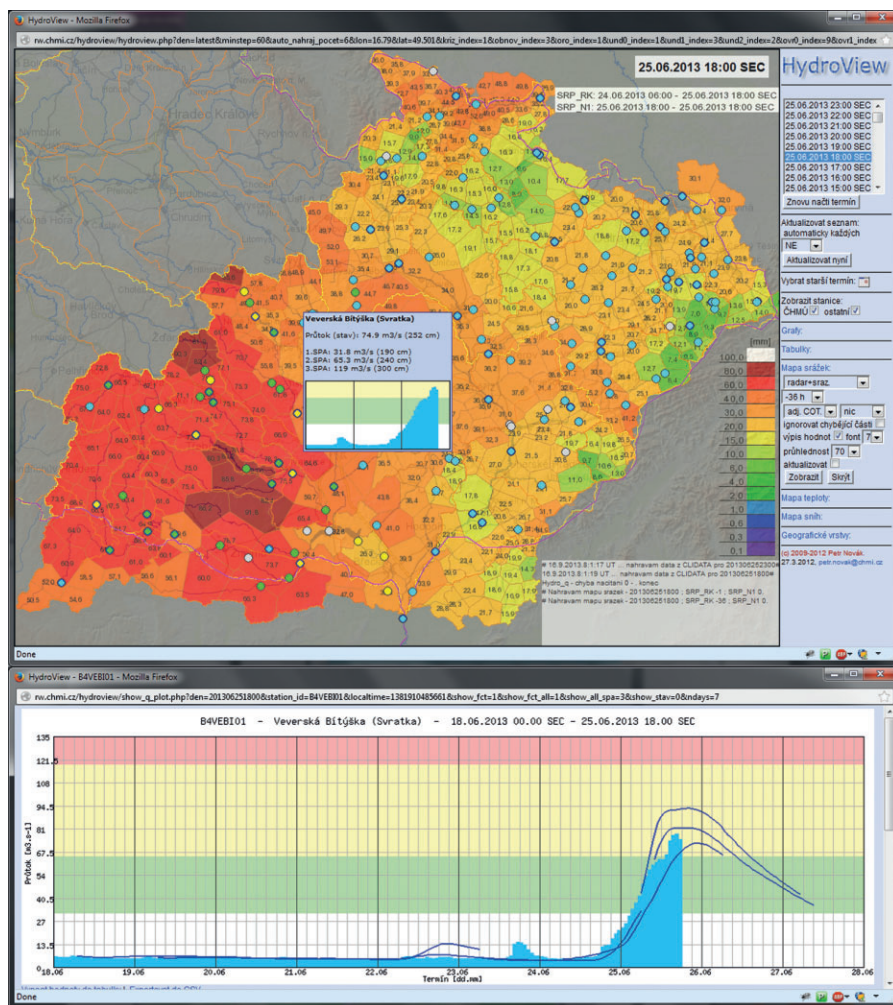
5.1 JSMeteoView/ JSPrecipView

Pro vizualizaci radarových měření vznikla v ČHMÚ webová aplikace JSMeteoView [11], která slouží jako primární nástroj pro účely předpovědních pracovišť ČHMÚ. Aplikace zobrazuje měření radarová data a předpovědi COTREC a CELLTRACK a umožňuje kombinaci s některými dalšími zdroji dat (staniční měření, data detekce blesků, družicová pozorování, vybraná pole z modelu ALADIN). V aplikaci je možné díky připraveným mapovým vrstvám a detailní geografické navigaci provádět přesnou geografickou lokalizaci sledovaných jevů. Pro zobrazování kombinovaných odhadů srážek MERGE vznikla v roce 2003 aplikace JSPrecipView, která vychází z aplikace JSMeteoView. Jedná se opět o webovou aplikaci umožňující detailní geografickou lokalizaci jevů a kombinaci více zdrojů dat. V aplikaci JSPrecipView je možné zobrazovat všechny typy předpovědi generované metodou MERGE (samostatné odhady z radarů a srážkoměrů, adjustovaný radarový odhad a kombinovaný odhad) v jednohodinovém kroku. Navíc je zde možné zobrazovat průměrné a maximální úhrny srážek na předdefinovaných povodích a zobrazovat i jejich časový vývoj, viz obr. 2.

5.2 JSWarnView

V reakci na zkušenosti získané během přívalových povodní v květnu a červnu 2009 vznikla na popud předpovědních pracovišť ČHMÚ aplikace JSWarnView [14]. Pro tuto aplikaci jsou z měřených radarových dat a výsledků extrapolace metodou COTREC počítány radarové odhady srážek pro aktuální čas t_0 a předpovědní časy t_0+30 , t_0+60 a t_0+90 minut. Pro každý z těchto časů jsou počítány odhady srážek za posledních 15, 30, 60 a 180 minut. Pro těchto 16 srážkových odhadů jsou vyhodnocovány maximální hodnoty srážek v jednotlivých okresech.

Webová aplikace JSWarnView poté porovnává dosažené maximální hodnoty s definovanými prahovými hodnotami a podle jejich překročení je příslušný okres označen odpovídající barvou (zelená/žlutá/oranžová/červená) v mapkách pro jednotlivé předpovědní časy (viz obr. 3). Po vyhodnocení dvouletého provozu byly na jaře 2013 provedeny úpravy prahových hodnot, upraven způsob výpočtu maximálních hodnot (na pole srážek je nejdříve aplikován mediánový filtr pro



Obr. 4 Ukázka webové aplikace HydroView.

Fig. 4. Example of HydroView web application.

3×3 pixely) a doplněno sledování bleskové aktivity a pravděpodobnosti výskytu krup.

Systém JSWarnView byl vyvinut jako nástroj pro včasné upozornění na potenciálně nebezpečnou srážkovou situaci, která by mohla vést ke vzniku přívalových povodní. Nejedná se o nástroj, který by se snažil o co nejpřesnější odhad a předpověď srážek. Důraz je kladen na co nejvíce aktuálnost dat a přehlednost informace, akceptována je možnost zvýšených výskytů falešných poplachů. Srážkové odhady jsou aktualizovány každých 5 minut po dostupnosti nového radarového měření. S ohledem na aktuálnost dat není vyčkáváno na dostupnost odpovídajících srážkoměrných údajů, adjustace radarových odhadů se provádí pouze pomocí adjustačního koeficientu dostupného z posledního běhu metody MERGE.

5.3 Výstupy pro hydrologické modely

První hydrologický model, který začal radarové odhady srážek operativně využívat, byl model HYDROG [16], který je používán pro povodí Odry, Moravy a Dyje. Pro tento model jsou přibližně od poloviny minulého desetiletí připravovány v hodinovém kroku odhady srážek MERGE, adjustační koeficienty a předpovědi srážek COTREC pro první, druhou a třetí hodinu. Od jara roku 2013 jsou pro model HYDROG počítány též kombinované odhady a předpovědi srážek systémem INCA-CZ využívajícím rozšířenou radarovou sloučenou informaci. Data jsou připravována ve formě průměr-

ných hodnot na předdefinovaných polygonech reprezentujících jednotlivé části povodí. Pro vizualizaci hydrologických měření a vstupních dat i výsledků modelu HYDROG slouží webová aplikace HydroView (obr. 4).

V posledních několika letech se začal v experimentálním režimu provozovat upravený model HYDROG zaměřený na předpověď přívalových povodní. Pro tento model jsou připravovány odhady srážek metodami MERGE a INCA-CZ a předpovědi srážek metodami COTREC, COTREC-EXT, CELLTRACK a INCA-CZ v kroku 5 nebo 10 minut. Model na základě jednotlivých odhadů a předpovědi srážek sestavuje variantní scénáře srážek, pro které počítá hydrologickou předpověď. Výsledná předpověď je poté pravděpodobnostní, určena na základě toho v kolika procentech variantních předpovědí bylo dosaženo patřičné limitní hodnoty [1].

Radarové odhady a předpovědi srážek jsou využívány i v dalších vyvíjených hydrologických aplikacích jako je Indikátor přívalových povodní (Flash flood guidance, FFG-CZ) [23] nebo hydrologický fuzzy model [5].

5.4 Prezentace dat pro veřejnost

Radarové odhady a předpovědi srážek jsou k dispozici i pro veřejnost prostřednictvím webových stránek ČHMÚ. Na serveru Hlásné a povodňové předpovědní služby <<http://hydro.chmi.cz/>> jsou k dispozici kombinované hodinové, 3hodinové, 6hodinové a 24hodinové odhady srážek z metody MERGE. Stejná data jsou k dispozici i v nově připravované prezentaci „CHMI NowcastingWebportal“ <<http://now.chmi.cz/>>, která umožňuje zobrazovat i další data včetně okamžitých radarových měření a extrapoláčnických předpovědi COTREC. Navíc umožňuje animaci zobrazovaných polí a detailní geografickou lokalizaci díky předpřipraveným mapovým vrstvám ve vysokém rozlišení anebo využívání mapových podkladů GoogleMaps.

6. ZÁVĚR

Kombinované odhady srážek jsou v současnosti s úspěchem využívány v operativní meteorologii a hydrologii, jsou nicméně zatíženy různými nedostatky. Pro jejich další zlepšení je třeba se v budoucnosti zaměřit na zkvalitnění a zlepšení dostupnosti radarových a srážkoměrných dat a na úpravu algoritmů pro jejich kombinaci, aby bylo možné výhod kvalitních vstupních dat využít. Jedná se zejména o revizi a zobecnění algoritmů kombinace tak, aby byly schopny pracovat i s daty z okolních státních, u srážkoměrných stanic se jedná zejména o dostupnost dat co nejdříve po termínu měření z co největšího počtu srážkoměrných stanic. Přestože kombinované odhady srážek z radarů a srážkoměrů nejsou bezchybné, představují v současnosti nejlepší dostupný plošný odhad a nowcasting srážek.

Literatura:

- [1] BŘEZKOVÁ, L. – ŠÁLEK, M. – NOVÁK, P. – KYZNAŘOVÁ, H. – JONOV, M., 2011. New methods of flash flood forecasting in the Czech Republic. In: *International Symposium on Environmental Software Systems*, Brno, 27.–29. 6. 2011.
- [2] COLLIER, CH. G., 1996. Applications of weather radar systems. A guide to uses of radar data in meteorology and hydrology. 2nd edition, John Wiley&Sohns, 390 s.
- [3] GOUDENHOOFDT, E. – DELOBBE, L., 2009. Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **13**, s. 195–203, doi:10.5194/hess-13-195-2009.
- [4] HAIDEN, T. – KANN, A. – WITTMANN, C. – PISTOTNIK, G. – BICA, B., 2011. The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) System and Its Validation over the Eastern Alpine Region, *Weather and Forecasting*, **26**, 166–183.
- [5] JANÁL, P. – STARÝ, M., 2012. Fuzzy model used for the prediction of a state of emergency for a river basin in the case of a flash flood – part 2, *J. Hydrol. Hydromech.*, **60**, s. 162–173.
- [6] KRÁČMAR, J. – JOSS, J. – NOVÁK, P. – HAVRÁNEK, P. – ŠÁLEK, M., 1999. First steps towards quantitative usage of data from Czech weather radar network. In: *Final Seminar of COST-75: “Advanced Weather Radar Systems”*, Locarno, 23.–27. 3. 1998, European Commission, Luxembourg, s. 91–101. ISBN 92-828-4907-4.
- [7] KYZNAŘOVÁ, H. – NOVÁK, P., 2009. CELLTRACK – Convective cell cracking algorithm and its use for deriving life cycle characteristics, *Atmospheric Research*, **93**, 2009, s. 317–327.
- [8] MARSALEK, J., 1981. Calibration of the tipping-bucket raingage. *Journal of Hydrology*, **53**, s. 343–354.
- [9] MARSHALL, J. S. – PALMER, W. M., 1948. The distribution of raindrops with size, *Journal of Meteorology*, **5**, s. 165–166.
- [10] NOVÁK, P., 2000. Meteorological Interpretation of Doppler Weather Radar Measurements. Doktorská disertační práce. Praha. Univerzita Karlova. Fakulta matematicko-fyzikální, 89 s.
- [11] NOVÁK, P., 2007. The Czech Hydrometeorological Institute’s Severe Storm Nowcasting System. *Atmospheric Research*, **83**, s. 450–457.
- [12] NOVÁK, P. – HAVRÁNEK, P. – KRÁČMAR, J., 2008. Česká meteorologická radarová síť CZRAD v roce 2008. *Meteorologické Zprávy*, roč. **61**, s. 129–136. ISSN 0026-1173.
- [13] NOVÁK, P. – BŘEZKOVÁ, L. – FROLÍK, P., 2009. Quantitative Precipitation Forecast using Radar Echo Extrapolation. *Atmospheric Research*, **93**, s. 328–334.
- [14] NOVÁK, P. – FROLÍK, P. – BŘEZKOVÁ, L. – JANÁL, P., 2010. Improvements of Czech Precipitation Nowcasting System. In: *6th European Conf. on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD 2010)*, Sibiu, 6.–10. 9. 2010.
- [15] NOVÁK, P. – FROLÍK, P. – BŘEZKOVÁ, L. – KYZNAŘOVÁ, H., 2012. Utilization of Exchange of Weather Radar Data in the Czech Hydrometeorological Institute. In: *7th European Conf. on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD 2012)*, Toulouse, 24.–29. 6. 2012.
- [16] STARÝ, M. – TUREČEK, B., 2000. Operative control and prediction of floods in the River Odra basin. In: *Flood Issues in Contemporary Water Management*, NATO Science Series, 2. *Environmental Security*, **71**, Kluwer Academic Publishers, s. 229–236, ISBN 0 7923-6452-X.
- [17] ŠÁLEK, M. – KRÁČMAR, J., 1997. Odhady srážek z meteorologického radiolokátoru Skalky. *Meteorologické Zprávy*, roč. **50**, s. 99–109. ISSN 0026-1173.
- [18] ŠÁLEK, M. – KRÁČMAR, J. – NOVÁK, P. – SETVÁK, M., 1997. Využití distančních metod při povodňových událostech v červenci 1997. *Meteorologické Zprávy*, roč. **50**, s. 177–178. ISSN 0026-1173.
- [19] ŠÁLEK, M. – NOVÁK, P. – KRÁČMAR, J., 2002. Využití metod dálkové detekce během povodní v České republice v srpnu roku 2002. *Meteorologické Zprávy*, roč. **55**, s. 177–179. ISSN 0026-1173.
- [20] ŠÁLEK, M. – NOVÁK, P. – SEO, D.-J., 2004. Operational application of combined radar and raingauges precipitati-

- on estimation at the CHMI. *ERAD publication series*, **2**, s. 16–20. ISBN 3-936586-29.
- [21] ŠÁLEK, M., 2011. Kombinace údajů meteorologických radiolokátorů a srážkoměrů pro odhad srážek. *Doktorská disertační práce*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny.
- [22] SEO, D.-J., 1998. Real-time estimation of rainfall fields using radar rainfall and raingage data. *J. Hydrol.*, **208**, s. 37–52.
- [23] ŠERCL, P., 2011. The robust method for an estimate of runoff caused by torrential rainfall and proposal of a warning system. In: *Early Warning for Flash Floods, Workshop proceedings*, Praha: ČHMÚ, s. 76–81. ISBN 978-80-86690-91-9.
- [24] SEVRUK, B. – LAPIN, M., 1993. Precipitation measurement and quality control. In: *Proceedings of the International Symposium on Precipitation and Evaporation*, Bratislava: SHMÚ, 207 s.
- [25] SINCLAIR, S. – PEGRAM, G., 2005. Combining radar and raingauge rainfall estimates using conditional mening. *Atmos. Sci. Let.*, **6**, s. 19–22.
- [26] STRACHOTA, J., 1985. Radiolokační měření srážek pro hydrologické účely. *Meteorologické Zprávy*, roč. **38**, s. 137–140. ISSN 0026-1173.
- [27] ZACHAROV, P. – ŠÁLEK, M. – NOVÁK, P., 2004. Porovnání různých metod využívajících radarová a srážkoměrná měření pro odhad srážek. *Meteorologické Zprávy*, roč. **55**, s. 157–167. ISSN 0026-1173.
- [28] ŽEJDLÍK, T. – NOVÁK, P., 2010. Frequency Protection of the Czech Weather Radar Network. In: *6th European Conf. on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD 2010)*, Sibiu, 6.–10. 9. 2010.
- [29] ZGONC, A. – RAKOVEC, J., 1999. Time extrapolation of radar echo patterns. In: *Final Seminar of COST-75: "Advanced Weather Radar Systems"*. Locarno, 23.–27. 3. 1998, European Commission, Luxembourg, s. 229–238, ISBN 92-828-4907-4.

Lektor (Reviewer): doc. RNDr. Dana Řezáčová, CSc.

KVANTITATIVNÍ PŘEDPOVĚĚ SRÁŽEK MODELEM ALADIN PŘI PRVNÍ VLNĚ POVODNĚ V ČERVNU 2013

Radmila Brožková, Ján Mašek, Alena Trojáková, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, radmila.brozkova@chmi.cz, jan.masek@chmi.cz, alena.trojakova@chmi.cz

Quantitative precipitation forecast by the ALADIN model during the first flood episode in June 2013. Quantitative precipitation forecast is one of the most difficult challenges of numerical weather prediction. However, with the increase in models resolution, more complex description of physical processes and better analysis of initial conditions, progress is achieved also in predicting this parameter. In the present short contribution we demonstrate current possibilities of the deterministic precipitation forecast on the extreme event case of June 2013, especially regarding forecast lead time, and including tests of forecast sensitivity to the change of some parameters.

KLÍČOVÁ SLOVA: předpověď srážek kvantitativní – předpověď počasí numerická – předstih předpovědi

KEY WORDS: quantitative precipitation forecast – numerical weather prediction – forecast lead time

1. ÚVOD

Pro posun předstihu předpovědi povodňových jevů je co nejlepší kvantitativní předpověď srážek klíčová. Přesto, že se za uplynulá desetiletí významně zlepšila, jedná se o parametr, který je stále obtížné předpovídat. Zatímco pro veličiny jako pole hmoty atmosféry byl získáván jeden den prediktability za přibližně deset let, u kvantitativní předpovědi srážek je situace méně příznivá, můžeme spíše mluvit o jednotkách hodin než dní. I ty ale mají v kritických situacích svou cenu. Tento příspěvek je věnován stručnému pohledu na předpověď srážek modelem ALADIN v ČHMÚ a některým testům citlivosti na vybrané parametry při první vlně povodní z konce května a začátku června 2013 [11]. Druhá sekce krátce popisuje provozní konfiguraci modelu ALADIN. Třetí sekce seznamuje čtenáře s charakterem srážkové činnosti a její modelové provozní předpovědi, zatímco čtvrtá sekce představuje výsledky testů citlivosti předpovědi extrémních srážek na vybrané parametry a některé základní verifikační statistiky.

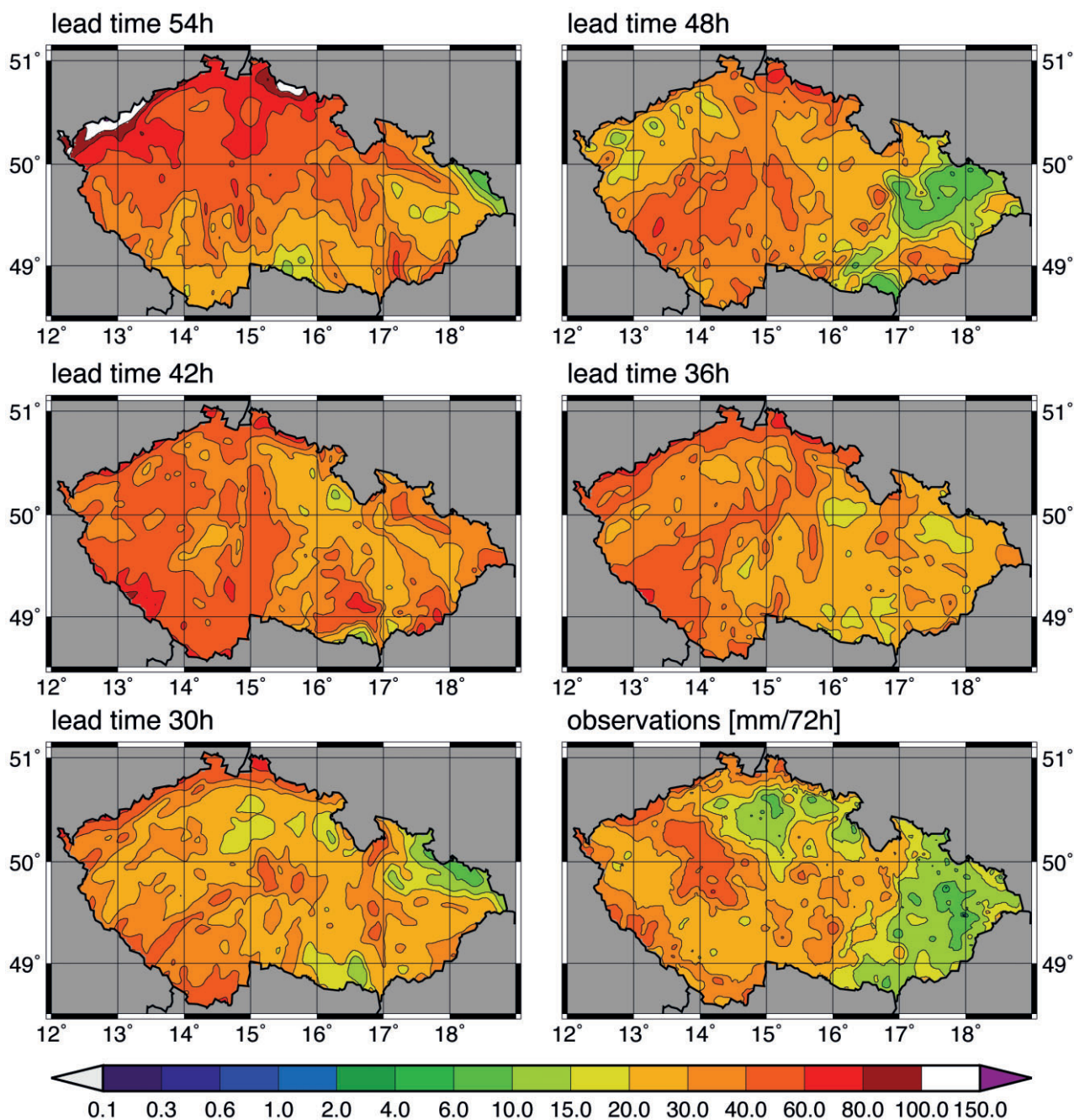
2. POPIS PROVOZNÍ VERZE MODELU ALADIN V ČERVNU 2013

Konfigurace modelu ALADIN a jeho provozních výpočtů byla v červnu 2013 následující. Horizontální rozlišení je 4,7 km na oblasti pokrývající střední Evropu a její okolí (přibližně 2 500 km × 2 000 km), počet vertikálních hladin je 87.

Dynamické jádro modelu integruje základní hydrostatické rovnice s časovým krokem 180 s. Semi-Lagrangeovské schéma advekce je též využito ve formulaci horizontální difuze modelu podle [12].

Parametrizace fyzikálních procesů jsou zcela konzistentní z hlediska použitých předpokladů termodynamiky a jejich napojení na dynamické jádro respektuje jak tuto konzistenci, tak zachování energie a hmoty, viz práce [4]. Zde je přehled hlavních parametrizací:

- Schéma radiačního přenosu v atmosféře je založeno na početně efektivním širokopásmovém modelu pro sluneční a tepelné spektrum. Interakce s oblačností je počítána v každém časovém kroku modelu, což je vhodné pro vysoká rozlišení. Hlavní referencí je práce [10];
- Schéma turbulence využívá prognostickou rovnici pro kinetickou energii turbulence, zahrnující její advekci a rovnováhu mezi jejím vznikem, zánikem a disipací. Pro jednoduchost výpočet koeficientů turbulentní výměny vychází ze stacionárního řešení, viz [7];
- Dynamické účinky nerozlišené orografie jsou stále zahrnuty, i když pro rozlišení 4,7 km již nemají zásadní příspěvek. Schéma je popsáno v práci [5];
- Srážkové procesy rozlišených i subgridových měřtek jsou ošetřeny schématem 3MT (Multi-scale, Modular,



Obr. 1 Úhrny srážek za 72 h. V případě pozorování jde o úhrn od 06:00 UTC 29. 5. do 06:00 UTC 1. 6. 2013. V případě předpovědi je to suma 24hodinových úhrnů ze tří realizací modelu vždy pro daný předstih předpovědi.

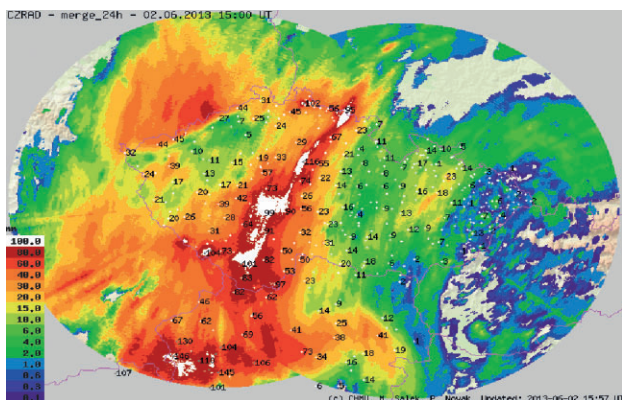
Fig. 1. 72 h precipitation amounts. Observation period starts at 06:00 UTC 29 May, and ends at 06:00 UTC 1 June 2013. Forecasted precipitation amounts correspond to the given forecast lead time, obtained as a sum of 24 h amounts from three model realizations.

Microphysics and Transport), viz [6] a [3]. Toto schéma využívá jednotnou prognostickou mikrofyziku oblačné vody a srážek pro stratiformní i konvekční případy. Hluboká konvekce je též prognostická. Její nejnovější verze parametrizuje tzv. „cold pool effect“, upravuje míru vtahování v závislosti na nasycení vzduchu vně oblaku, a spotřeba dostupné konvekční energie je modulována v závislosti na rozlišení;

- Interakce atmosféry s povrchem a biosférou, stejně jako parametrizace procesů zemského povrchu, jsou ošetřeny schématem ISBA, jehož základní popis lze nalézt například v [8].

Počáteční podmínky předpovědi jsou získány technikou spektrálního blendingu 4DVAR analýzy globálního modelu ARPEGE

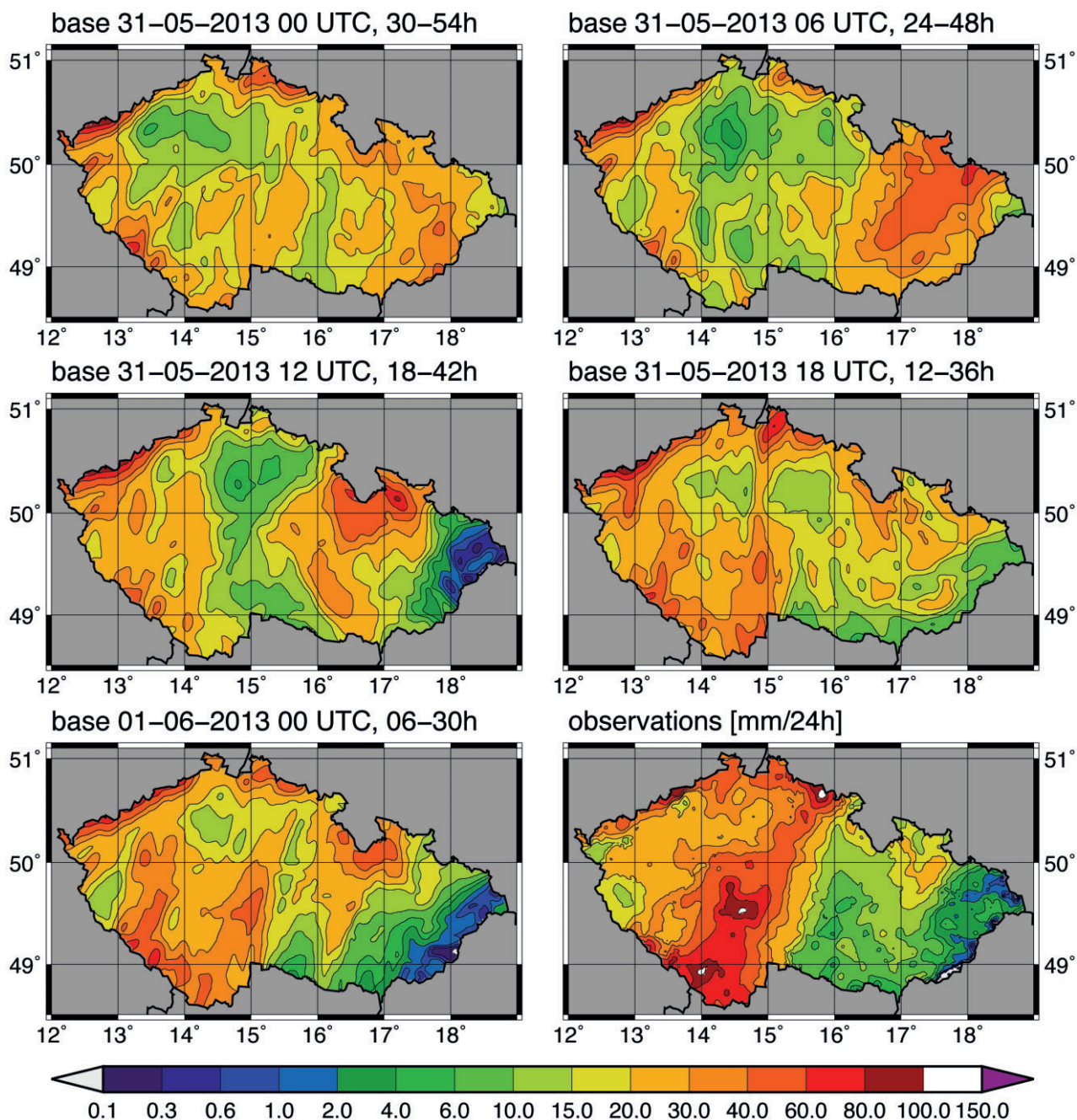
a předběžného pole ve vysokém rozlišení modelu ALADIN, která je popsána například ve [2]. Asimilace přízemních měření pak určuje počáteční podmínky pro schéma zemského povrchu ISBA. V provozní sítě modelu běží na pozadí tzv. asimilační cyklus, který provádí krok asimilace dat každých 6 hodin s maximální čekací dobou na ukončení příjmu pozorování (7 až 8 h po termínu měření). Výsledkem asimilačního cyklu je co nejlepší možný odhad stavu atmosféry. Produkční běh modelu zajišťuje předpověď a její produkty na 54 hodin dopředu. Výpočet jeho počáteční podmínky vychází z posledního předběžného odhadu asimilačního cyklu, ale čas na ukončení příjmu pozorování z důvodu požadavků na včasnou dostupnost předpovědi je kratší (například 2 h a 15 minut po termínu měření po čas sítě 00:00 UTC).



Obr. 2 Odhad množství srážek za 24:00 od 15:00 UTC 1. 6. do 15:00 UTC 2. 6. 2013 kombinací pozorování radarů a dostupných srážkoměrů.

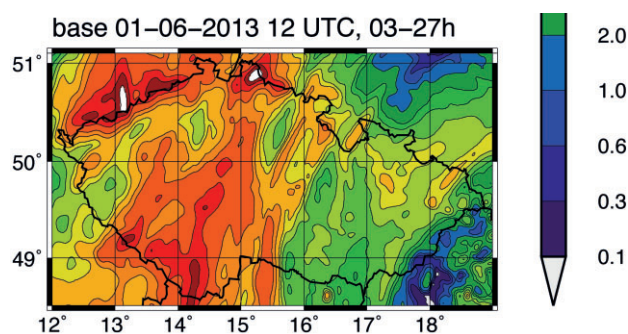
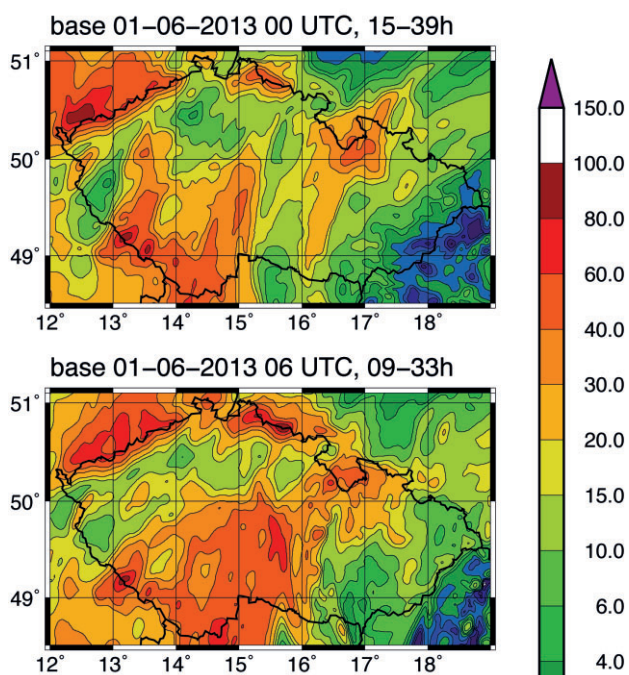
Fig. 2. 24 h precipitation amount from 15:00 UTC 1 June to 15:00 UTC 2 June 2013 estimated by the combination of radars and available rain-gauge observations.

Boční okrajové podmínky jsou přebírány z globálního modelu ARPEGE s tříhodinovou frekvencí. Párování (coupling) modelu ALADIN s globálním modelem ARPEGE je synchronní s maximálním využitím čerstvých informací. Tato volba určuje časy asimilace i produkce předpovědi, které jsou klíčové pro organizaci provozu. Produkční předpověď modelu ALADIN na 54 hodin je počítána čtyřikrát denně



Obr. 3 Pozorovaný 24hodinový úhrn srážek od 06:00 UTC 1. 6. do 06:00 UTC 2. 6. 2013 a jeho předpověď modelem ALADIN pro předstihy předpovědi od +54 h do +30 h.

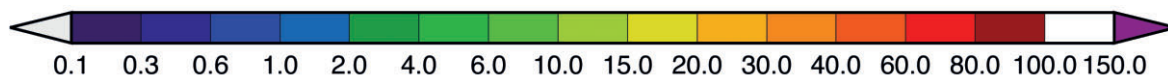
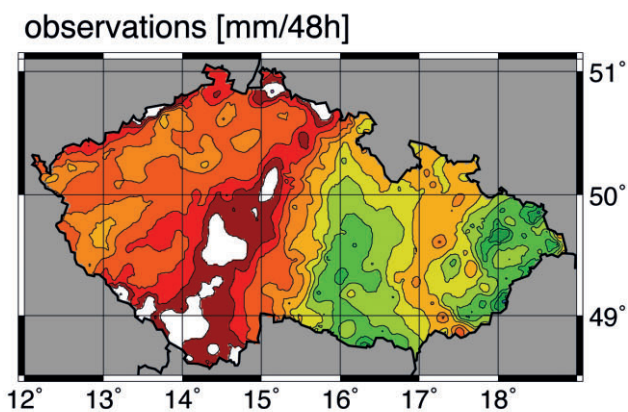
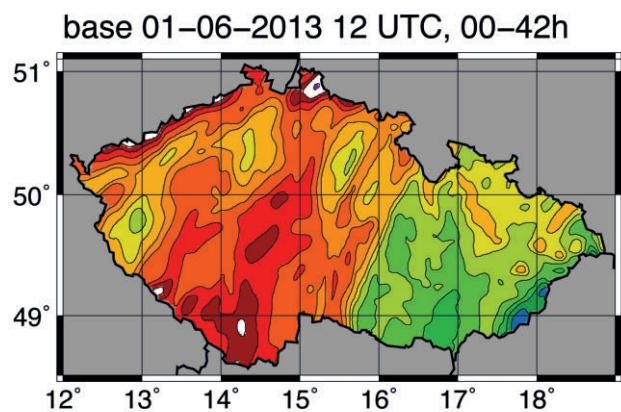
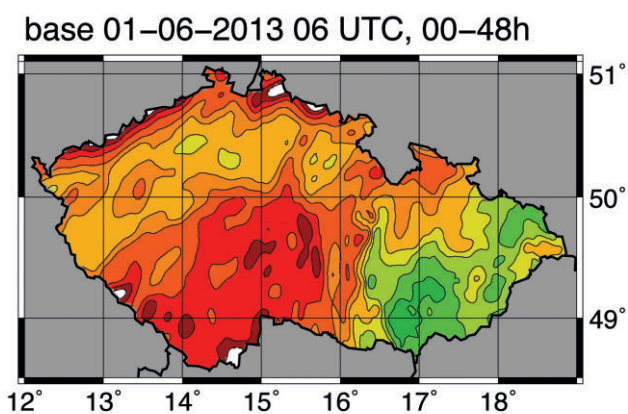
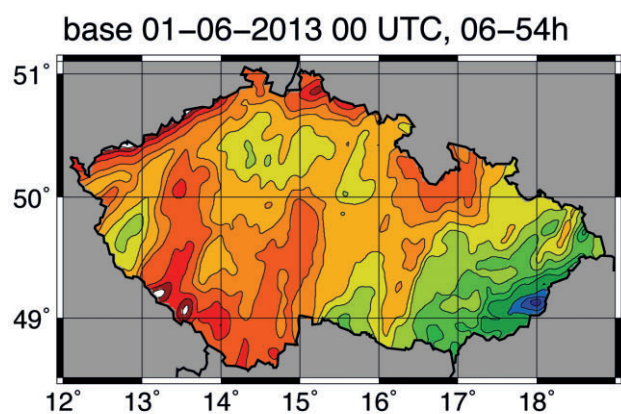
Fig. 3. 24 h precipitation amount observed from 06:00 UTC 1 June to 06:00 UTC 2 June 2013 and its forecast by the ALADIN model for lead times going from +54 h to +30 h.



Obr. 4 Předpovědi 24hodinového úhrnu srážek modelem ALADIN na období vrcholu srážkové činnosti od 15:00 UTC 1. 6. do 15:00 UTC 2. 6. 2013. Vlevo nahoře je předpověď z 00:00 UTC, vlevo dole je předpověď z 06:00 UTC, a vpravo nahoře je předpověď z 12:00 UTC; jsou to po sobě jdoucí předpovědi z 1. 6. 2013.

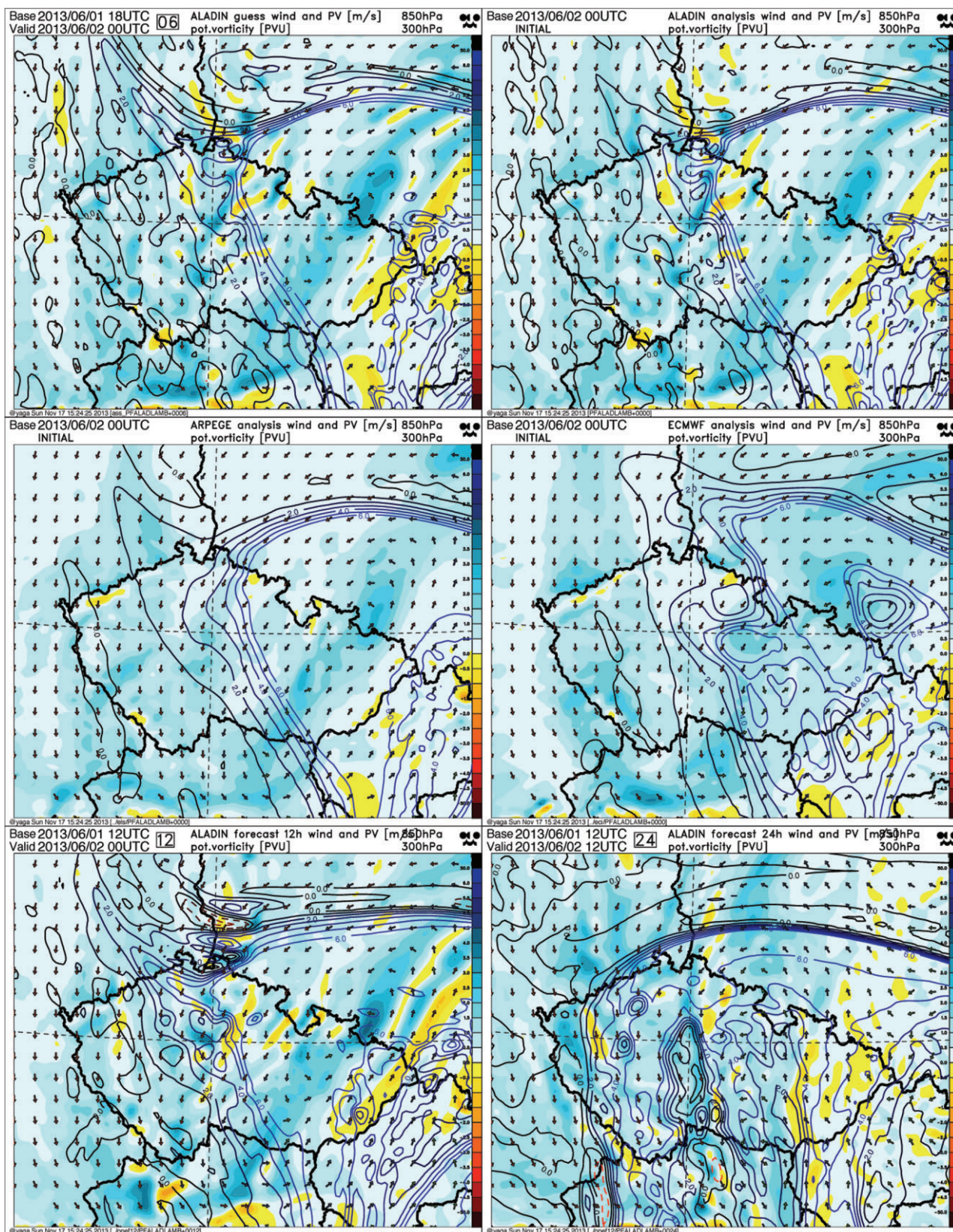
Fig. 4. 24 h precipitation amount forecast by the ALADIN model, for the period of the most intensive precipitation observed between 15:00 UTC 1 June and 15:00 UTC 2 June 2013. Top left: forecast starting at 00:00 UTC, bottom left: 06:00 UTC, top right: 12:00 UTC is at the bottom; these are consecutive forecasts from 1 June 2013.

z analýz v 00:00, 06:00, 12:00 a 18:00 UTC. Kompletní sada produktů je k dispozici přibližně v časech 04:10 UTC, 10:50 UTC, 15:40 UTC a 22:50 UTC.



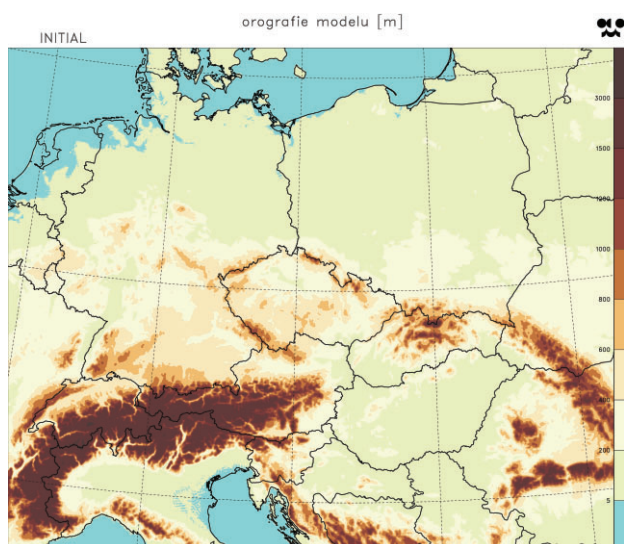
Obr. 5 Předpovědi 48hodinového úhrnu srážek modelem ALADIN na období od 06:00 UTC 1. 6. do 06:00 UTC 3. 6. 2013 a verifikační pozorování. Vlevo nahoře je předpověď z 00:00 UTC, vpravo nahoře je předpověď z 06:00 UTC, vlevo dole je předpověď z 12:00 UTC; jsou to po sobě jdoucí předpovědi z 1. 6. 2013. Pozorování jsou vpravo dole.

Fig. 5. 48 h precipitation amount forecast by the ALADIN model, for the period between 06:00 UTC 1 June and 06:00 UTC 3 June 2013 and verifying observations. Top left: forecast starting at 00:00 UTC, top right: 06:00 UTC, bottom left: 12:00 UTC; these are consecutive forecast from 1 June 2013. Observations are at the bottom on the right.



Obr. 6 Potenciální vorticity v hladinách 850 hPa (barevná škála) a 300 hPa (isolinie) v kombinaci s vektorem větru v 850 hPa. Vlevo nahoře je předběžné pole asimilačního cyklu modelu ALADIN pro termín 00:00 UTC dne 2. 6. 2013. Vpravo nahoře je výsledná analýza modelu ALADIN. Vlevo uprostřed je analýza globálního modelu ARPEGE, vpravo uprostřed je analýza globálního modelu ECMWF pro tentýž termín. Dole jsou předpovědi modelu ALADIN z 12:00 UTC 1. 6. 2013, vlevo na 12 h (stejný termín jako analýzy), vpravo na 24 h.

Fig. 6. Potential vorticity at levels 850 hPa (color shades) and 300 hPa (isolines) in combination with 850 hPa wind. Top left: ALADIN assimilation cycle first guess for 00:00 UTC 2 June 2013, top right: resulting ALADIN analysis, middle left: global model ARPEGE analysis, middle right: global model ECMWF analysis for the same validity time. Bottom: ALADIN forecast from 12:00 UTC 1 June 2013; left – 12 h forecast (at the same validity time like the analysis), right – 24 h forecast.



Obr. 7 Oblast a orografie modelu ALADIN pro experiment s rozlišením 2,2 km.

Fig. 7. Domain and orography of the ALADIN model for the experiments at 2.2 km resolution.

3. VÝSLEDKY PROVOZNÍ VERZE MODELU ALADIN

Pro vyhodnocení předpovědi srážek je důležité mít k dispozici pokud možno co nejkvalitnější pozorování. Standardně je model ALADIN verifikován proti měřením profesionálních stanic, která jsou zárukou vysoké kvality dat. Pro účely podrobnější verifikace bylo potřeba prostorově hustší sítě, a proto byla zvolena pozorování 24hodinových úhrnů srážek z ověřených meteorologických a klimatologických stanic. Pro výpočet statistik byla data předpovědí i pozorování převedena do jednotné horizontální sítě, s pravidelným krokem v zeměpisných souřadnicích $\Delta\lambda = 0,014^\circ$ a $\Delta\phi = 0,009^\circ$, odpovídající přibližně rozlišení 1 km. Dostupná hustá pozorování jsou k dispozici pouze na území ČR, takže za účelem porovnání musela být předpovědní pole srážek omezena stejnou maskou státních hranic.

Z hlediska režimu srážkové činnosti a její předpovědi můžeme studované období rozdělit zhruba na tři části. Ve dnech 29. až 31. května měl model ALADIN tendenci srážkové úhrny spíše nadhodnocovat, a to zvláště pro delší předstihy předpovědi. Nejvíce byla nadhodnocena předpověď srážek z analýzy 29. května 00:00 UTC pro severní návětrí a vrcholové partie Krušných hor a Krkonoše. Se zkracujícím se předstihem předpovědi však řešení konvergovalo jak z hlediska lokalizace, tak množství úhrnů. Na obr. 1 je znázorněna suma srážek za tyto tři dny spolu se sumou tří 24hodinových úhrnů předpovězených s daným časovým předstihem pro každý ze tří dnů. Obr. 1 není klasickým předpovědním produktem, ale slouží ke znázornění chování modelu. Vidíme tak, že řešení modelu již v hlavních charakteristikách neoscillovalo od předstihu přibližně +36 h.

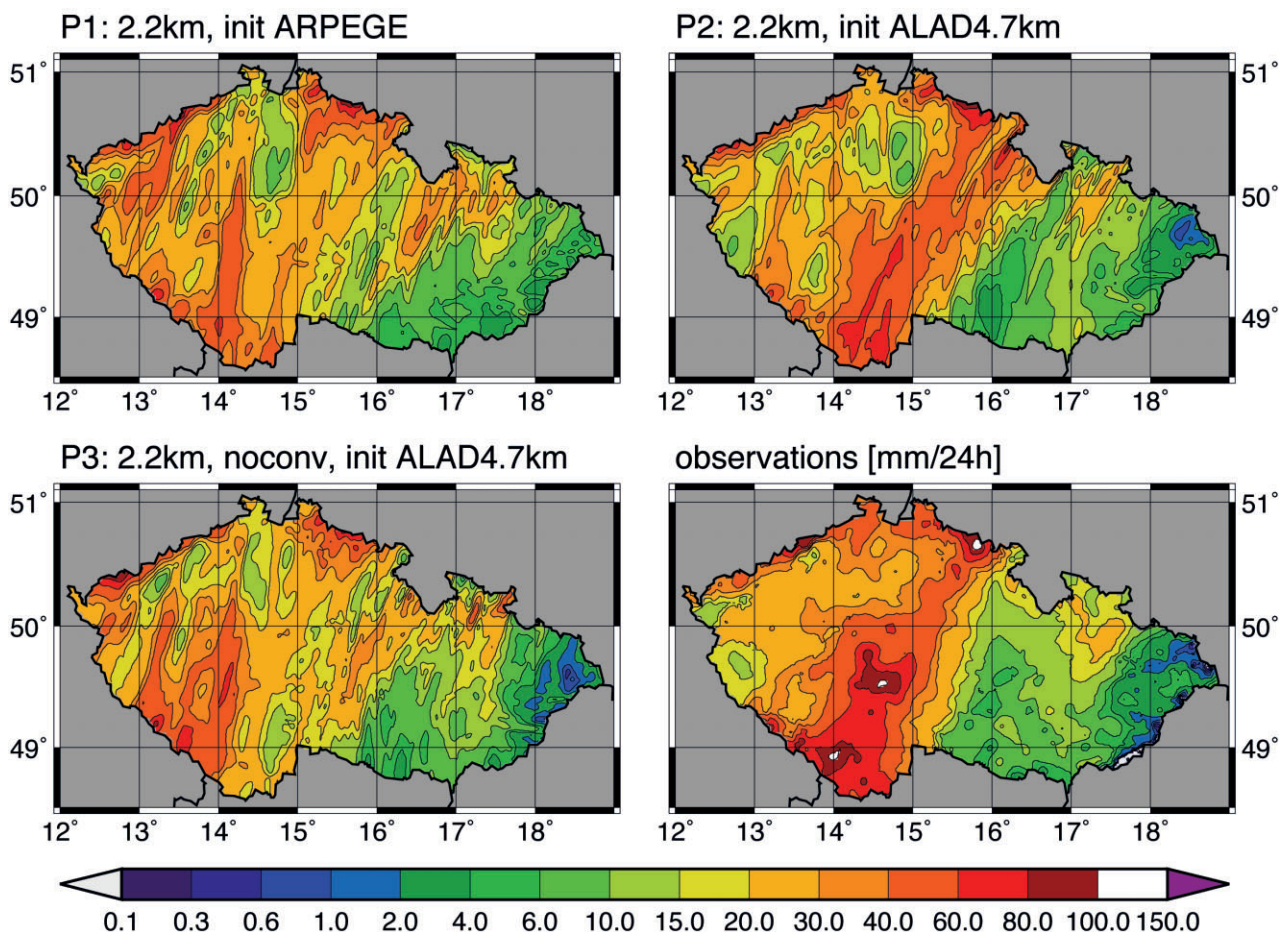
Nejvyšší dešť pak nastal během víkendu 1. a 2. června, který způsobil rychlý nástup povodně. Extrémní srážky byly zaznamenány na severních návětrích a hřebenech hor (Krušné hory, Krkonoše, severní návětrí Šumavy), ale za pozornost stojí hlavně organizovaný a relativně úzký pás extrémních srážek, táhnoucí se od Šumavy přes střední Čechy až do Krkonoše. V tomto pásu spadlo nejvíce srážek, přesahující úhrny 100 mm za 24 h, od 15:00 UTC 1. června

do 15:00 UTC 2. června. Vzhledem k odlišné hodině ohraničení od obvyklého termínu měření v 06:00 UTC máme pro znázornění této sumy srážek k dispozici jiná data. Je to odhad úhrnů srážek pozorovaných radary v kombinaci s provozně dostupnými srážkoměry (obr. 2). Z hlediska předpovědi povodně je důležitý nástup těchto extrémních srážek (verifikační období od 06:00 UTC 1. června do 06:00 UTC 2. června), jejich maximum (od 15:00 UTC 1. června do 15:00 UTC 2. června) a celkový úhrn srážek za dva dny (od 06:00 UTC 1. června do 06:00 UTC 3. června).

- nástup extrémních srážek: model ALADIN předpovídal extrémní srážky pro oblast Krušných hor již od předstihu +54 h (obr. 3). Další vyšší srážkové úhrny byly nejprve předpovídaný proti realitě více na východ, na Moravu a pak do oblasti Jeseníků. Lokalizace srážkového pásu táhnoucího se přes střední Čechy začíná být patrná až od předstihu +36 h, ale s podhodnocením maxim do 50 mm za 24 h. Od stejného předstihu pozorujeme zesílení srážek na severních návětrích a hřebenech Krkonoše a Jizerských hor (mezi 50–60 mm za 24 h) a Šumavy (70 mm za 24 h);
- vrchol extrémních srážek v pásu od Šumavy po Krkonoše byl zprvu modelem podhodnocen, ale předpovědi ze 06:00 UTC a 12:00 UTC dne 1. června toto podhodnocení začaly napravovat (obr. 4). Předpověď z 00:00 UTC byla v delších předstizích příliš optimistická, zatímco předpověď ze 06:00 UTC již navýšila úhrny na návětrí Krkonoše a také v jižních a středních Čechách. Další běh modelu z 12:00 UTC úhrny dále zesílil, až k maximum kolem 80 mm za 24 h v jižních a středních Čechách. V průběhu sobotního dne 1. června tak model ALADIN zřetelně indikoval zhoršení situace ve výhledu na příštích 24 hodin, kdy se předpovědní úhrny blížily extrémním hodnotám;
- celková suma srážek za dva dny z po sobě jdoucích předpovědí (z nichž poslední je předpověď z 1. června ve 12:00 UTC s úhrnem jenom za 42 hodin) ve srovnání s pozorováními je na obr. 5. Zde je také patrné to, jak model s postupujícími realizacemi dokázal podchytit strukturu organizovaného srážkového pásu, byť ještě o něco podhodnocenou, ale již ne výrazně.

Ve dnech 3. a 4. června již docházelo k postupnému ubývání srážek a posunu jejich těžiště na východ území, které model podchytil v předstizích předpovědi +42 h až i +54 h (pro den 4. června).

Jak z předchozího vyplývá, nejkritičtějším obdobím byl víkend 1. a 2. června, a to zejména modelování úzkého pásu extrémních srážek, které je obtížné pro všechny numerické předpovědní modely. Proto se jím budeme dále zabývat. Z pozorování hodinových úhrnů srážek v daném období dále vyplývá, že se organizace srážkového pásu začala utvářet 1. června přibližně ve 20:00 UTC večer a přetrvávala do odpoledne 14:00 UTC dalšího dne. Existence této struktury je dále patrná například v po sobě jdoucích analýzách pole potenciální vorticity (PV) v 00:00, 06:00 a 12:00 UTC z 2. června. Na obr. 6 je ilustrace pole PV na hranicích troposféry (hladina 850 hPa jako horní hranice mezí vrstvy a hladina 300 hPa) a jeho anomálií. V analýze modelu ALADIN je patrný pás cyklónální anomálie PV v hladině 850 hPa, překrývající se s propadem tropopauzy, která navíc odpovídá poloze pásu extrémních srážek. Tato struktura již byla přítomna v předběžném poli, které ALADIN vytvořil v asimilačním cyklu, a kde maxima dosahovala hodnot kolem 3 PVU (Potential Vorticity Unit – jednotka $10^{-6} \text{ m}^2 \text{ K kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$). Dále jsou zná-



Obr. 8 Předpovědi 24hodinového úhrnu srážek modelem ALADIN v rozlišení 2,2 km na období nástupu extrémní srážkové činnosti od 06:00 UTC 1. 6. do 06:00 UTC 2. 6. 2013. Vlevo nahoře je předpovědní konfigurace P1, vpravo nahoře je konfigurace P2, vlevo dole je konfigurace P3, vpravo dole jsou pozorování.

Fig. 8. 24 h precipitation amount forecast by the ALADIN model at the resolution 2.2 km for the beginning of the extreme precipitation period observed between 06:00 UTC 1 June and 06:00 UTC 2 June 2013. Top left: forecast configuration P1, top right: configuration P2, bottom left: configuration P3, bottom right: observations.

zorněny analýzy globálních modelů ARPEGE a ECMWF, kde jsou však struktury anomálií PV nevýrazné. Anomálie pole PV existují i v produkčních předpovědích modelu ALADIN (na obr. 6 jsou předpovědi na 12:00 a 24:00 z 1. června 12:00 UTC). Podchycení jejich vzniku a doby trvání je spojeno s mírou úspěchu předpovědi zmíněného pásu velmi vydatných až extrémních srážek.

Jiným parametrem, který dokládá existenci stacionárního rozhraní, může být například konvergence přízemního větru, ale ta už je důsledkem existujících výstupných pohybů sekundární ageostrofické cirkulace provázející anomálie PV. Vytvoření pásu anomálie PV na spodní hranici troposféry může souviset s interakcí proudění a orografie (Krkonoše, Jizerské hory), viz například [1]. Je oprávněné se domnívat, že došlo k interakci přízemního pásu PV anomálií se strukturou synoptických měřítek ve vyšších hladinách atmosféry (propad tropopauzy).

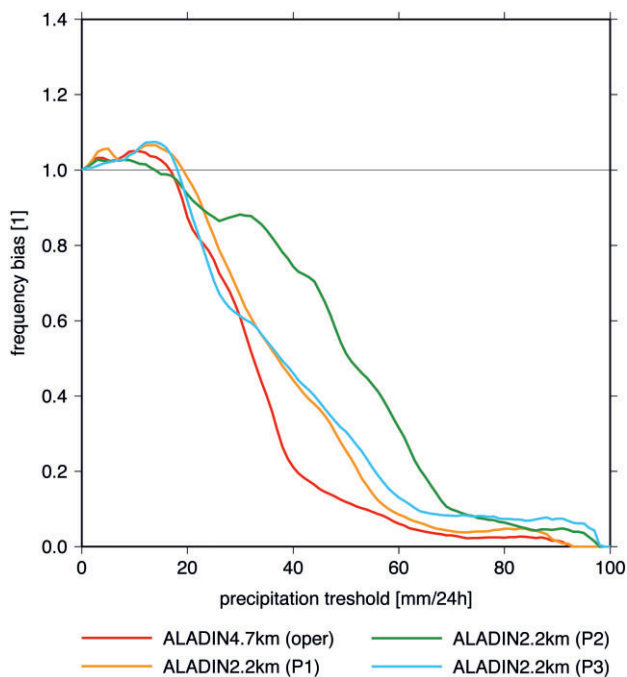
4. DODATEČNÉ TESTY PŘEDPOVĚDI EXTRÉMNIÍCH SRÁŽEK

Z hlediska podchycení výše zmíněného pásu extrémních srážek je zajímavé zjistit citlivost jeho předpovědi na některý ze základních parametrů modelu. Z obr. 6 například vyplývá, že dynamická struktura počátečního pole (anomálie PV) může mít velký vliv na kvalitu předpovědi. Dalšími vhod-

nými kandidáty na testy je efekt změny horizontálního rozlišení modelu a přítomnost parametrizace hluboké konvekce. Za tímto účelem byla připravena konfigurace modelu ALADIN na oblasti pokrývající celý alpský oblouk (obr. 7) s rozlišením 2,2 km (709 × 589 bodů). Vertikální rozlišení zůstalo stejné jako u provozního modelu, zato dynamické jádro vzhledem k tomu, že rozlišení 2,2 km již umožňuje popis vln působených vztakovými silami, přešlo na nehydrostatickou variantu. V tomto vysokém rozlišení byly provedeny celkem tři experimenty z analýz dne 1. června 2013 v 00:00 UTC a také v 06:00 UTC:

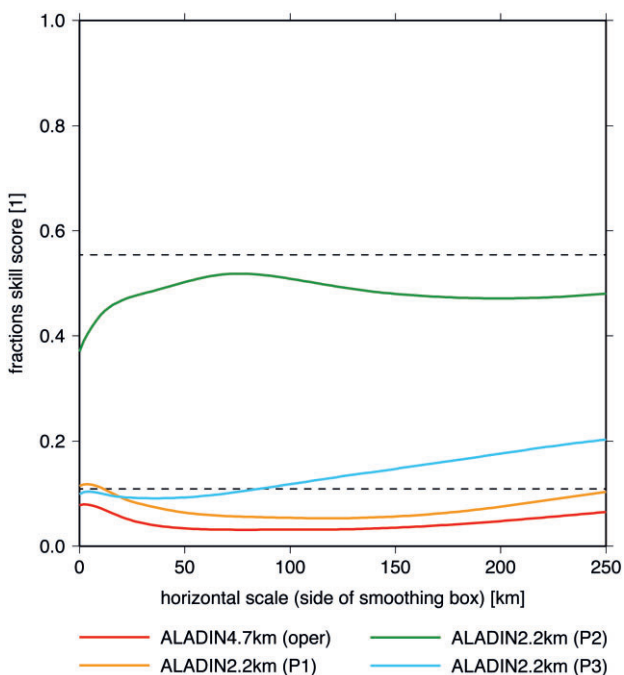
- P1: předpověď, kdy je počáteční podmínka modelu získána interpolací analýzy globálního modelu ARPEGE (v konfiguraci 2,2 km nemáme k dispozici vypracovaný vlastní asimilační cyklus, jako je tomu v případě modelu na 4,7 km);
- P2: předpověď, kdy je počáteční podmínka modelu získána interpolací analýzy provozního modelu ALADIN s rozlišením 4,7 km;
- P3: předpověď s počáteční podmínkou získanou interpolací provozního modelu ALADIN jako v předchozím případě, ale bez parametrizace hluboké konvekce.

Výsledky předpovědí z analýzy v 06:00 UTC 1. června 2013 jsou zobrazeny pro období nástupu extrémních srážek



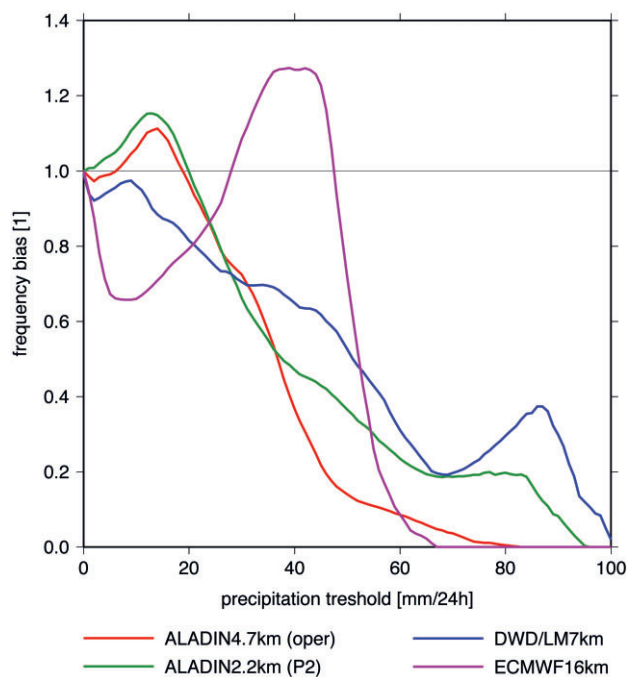
Obr. 9 Frekvenční odchylka vyhodnocená pro předpovědi 24hodinových srážkových úhrnů modelem ALADIN z 06:00 UTC 1. 6. 2013 ve čtyřech konfiguracích. Červeně: provozní konfigurace, žlutě: konfigurace P1, zeleně: konfigurace P2, modře: konfigurace P3.

Fig. 9. Frequency bias computed for 24 h precipitation amounts forecast by the ALADIN model in four different configurations, starting from 06:00 UTC 1 June 2013. Red: operational configuration, yellow: configuration P1, green: configuration P2, blue: configuration P3.



Obr. 10 Fraction skill score vyhodnocené pro prahovou hodnotu 60 mm za 24 h srážkových úhrnů a předpovědi modelu ALADIN z 06:00 UTC 1. 6. 2013 ve čtyřech konfiguracích. Červeně: provozní konfigurace, žlutě: konfigurace P1, zeleně: konfigurace P2, modře: konfigurace P3.

Fig. 10. Fraction skill score computed for the threshold 60 mm/24 h of precipitation amounts and ALADIN model forecast in four different configurations, starting from 06:00 UTC 1 June 2013. Red: operational configuration, yellow: configuration P1, green: configuration P2, blue: configuration P3.



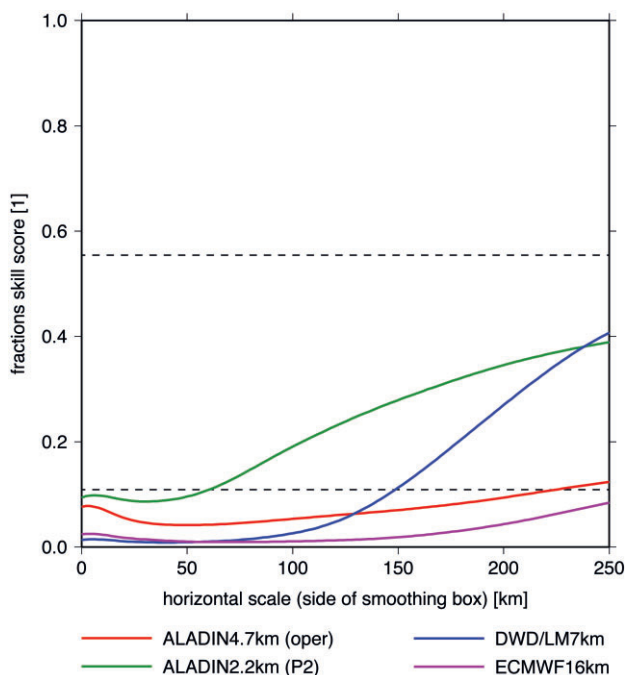
Obr. 11 Frekvenční odchylka vyhodnocená pro předpovědi 24hodinových srážkových úhrnů různými modely z 00:00 UTC 1. 6. 2013 (předstih předpovědi +6 h až +30 h). Červeně: provozní konfigurace modelu ALADIN, zeleně: konfigurace P2 modelu ALADIN na 2,2 km, tmavě modře: model DWD/LM, fialově: model ECMWF.

Fig. 11. Frequency bias computed for 24 h precipitation amounts forecast by various models starting from 00:00 UTC 1 June 2013 (forecast lead time +6 h to +30 h). Red: ALADIN model operational configuration, green: ALADIN model configuration P2 at 2.2 km, dark blue: DWD/LM model, violet: ECMWF model.

(prvních 24 h předpovědi, obr. 8), pro které můžeme spočítat některé verifikační statistiky proti pozorováním.

Srovnání předpovědi P1 a P2 jasně ukazuje na roli počáteční podmínky předpovědi. Zatímco P1 umísťuje pás významných srážek příliš na západ (pozn. podobný posun se dal pozorovat také v předpovědích jiných modelů – jako ECMWF a DWD), umístění extrémních srážek v P2 je velmi blízko realitě. Úhrny uprostřed pásu v jižní části dosahují maxim 75 mm za 24 h, v Krkonoších téměř 100 mm za 24 h. Naproti tomu v předpovědi P3 bez parametrizace hluboké konvekce není struktura srážkového pásu zřetelně vybudována a maxima srážek se nacházejí více na západ proti realitě. Můžeme usuzovat, že v rozlišení 2,2 km je stále potřebné parametrizovat nerozlišené výstupné a sestupné pohyby, abychom popsali realističtěji dynamiku konvekčních systémů. Tento test základní citlivosti ukazuje na to, že úspěch nebo neúspěch předpovědi není většinou dílem jedné záležitosti, ale závisí na úspěšné kombinaci více faktorů – zde vidíme důležitost vyššího rozlišení, mezo-měřítkové informace v počáteční podmínce a realistických parametrizacích fyzikálních procesů.

Předpověď P2, která nám poskytla zatím nejlepší výsledky, můžeme porovnat s provozní předpovědí modelu ALADIN nejen vizuálně, ale také pomocí některých statistik aplikovaných na pravidelné jednokilometrové síti. Použijeme zde dvě charakteristiky. První z nich je tzv. frekvenční odchylka, která ukazuje, jak častý byl výskyt předpovězených srážkových úhrnů překračujících zvolenou prahovou množství proti pozorovaným úhrnům. Zvolili jsme stejnou škálu prahových



Obr. 12 Fraction skill score vyhodnocené pro prahovou hodnotu 60 mm za 24hodinových srážkových úhrnů a předpovědi různých modelů z 00:00 UTC 1. 6. 2013 (předstih předpovědi +6 h až +30 h). Červeně: provozní konfigurace modelu ALADIN, zeleně: konfigurace P2 modelu ALADIN na 2,2 km, tmavě modře: model DWD/LM, fialově: model ECMWF.

Fig. 12. Fraction skill score computed for the threshold 60 mm/24 h of precipitation amounts and forecast by various models starting from 00:00 UTC 1 June 2013 (forecast lead time +6 h to +30 h). Red: ALADIN model operational configuration, green: ALADIN model configuration P2 at 2.2 km, dark blue: DWD/LM model, violet: ECMWF model.

hodnot, jakou používáme při znázornění srážkových úhrnů na mapách. Na obr. 9 je znázorněna frekvenční odchylka pro čtyři realizace modelu ALADIN z analýzy v 06:00 UTC 1. června 2013. Je to provozní konfigurace modelu s rozlišením 4,7 km a předpovědi P1, P2 a P3 v rozlišení 2,2 km. Čím blíže je frekvenční odchylka hodnotě jedna, tím je předpověď lepší, ale zároveň je potřeba mít na paměti, že tento ukazatel nevypovídá nic o lokalizaci. Graf ukazuje, že všechny realizace velmi mírně nadhodnocují výskyt úhrnů do 20 mm za 24 h, ale pro vyšší úhrny je jejich výskyt podhodnocen. Výrazné zlepšení představuje již zmíněná úspěšná předpověď P2.

Druhou charakteristikou je tzv. fraction skill score (FSS) podle [9]. Toto skóre ukazuje úspěšnost předpovědi v závislosti na velikosti plochy, pro kterou se záchyt srážek uvažuje. Dá se opět vyčíslit pro různé prahové hodnoty úhrnů. Na obr. 10 vidíme skóre FSS pro úhrn od 60 mm za 24 h opět pro čtyři realizace modelu ALADIN; jedná se tedy o již velmi obtížnou kategorii předpovědi srážek. Zde je zřejmé, že pouze předpověď P2 na rozlišení 2,2 km má užitnou hodnotu pro prostorová měřítka blízká typické velikosti současných definovaných výstupů pro povodí (čtverce o straně 50 až 70 km).

Konečně je zajímavé tyto statistiky porovnat s jinými modely, v našem případě máme materiály z globálního modelu ECMWF a z regionálního modelu DWD (s rozlišením 7 km). Tyto modely nejsou k dispozici z analýzy v 06:00 UTC, takže statistické srovnání můžeme provést pouze pro integrace z analýzy v 00:00 UTC 1. června 2013, pro předpovězené úhrny mezi předstihy +6 h až +30 h. Frekvenční odchylka na obr. 11 ukazuje, že model ECMWF výrazně nadhodno-

til úhrny od 40 mm za 24 hodin (tyto úhrny předpověděl pro velkou plochu západní poloviny Čech), zatímco předpověď vyšších úhrnů prakticky chyběla. Naproti tomu model DWD předpověděl nejčastější výskyt velmi vysokých úhrnů, ale ze skóre FSS na obr. 12 jasně vyplývá, že jejich lokalizace je velmi špatná, kdy se předpověď zlepšuje až pro dost velké uvažované území (model DWD předpověděl nejvyšší úhrny pro Karlovarsko a Chebsko).

5. ZÁVĚR

Kvantitativní předpověď srážek vždy byla a je jednou z nejobtížnějších záležitostí, a to zvláště v případě extrémních situací. V tomto příspěvku jsme ukázali, že předpověď 24hodinových srážkových úhrnů v situaci z konce května a začátku června 2013 vykazovala užitečný předstih předpovědi v rozmezí +36 h až +42 h. Pro extrémní srážky v relativně úzkém pásmu od Šumavy přes střední Čechy po Krkonoše o víkendu 1. a 2. června byly však předstihy, indikující možnou extremitu, kratší – až integrace modelu z analýz v 06:00 UTC a 12:00 UTC dne 1. června indikovaly v předstizích +33 h a +27 h zhoršování situace s ohledem na množství srážek a možnost dosažení jejich extrémních hodnot v zasažených lokalitách. Byť jsme provedli hodnocení předpovědi jednoho případu, některé závěry, které z této studie vyplývají, mají obecnou platnost. Vybrané testy citlivosti řešení modelu demonstrovaly známou pravdu – zlepšení předpovědi závisí na správné kombinaci více faktorů. Jsou jimi vyšší rozlišení, počáteční podmínka s informací v mezo-měřítka a realismus parametrizovaných fyzikálních procesů. Co se týče kvantitativní předpovědi srážek, schopnosti modelu ALADIN na současné úrovni numerické předpovědi počasí se potvrdily ve srovnání s dalšími dostupnými modely, jak také ukázaly objektivní statistiky. Podle statistiky FSS má model ALADIN potenciál lepší lokalizace silných srážek. Zaznamenali jsme též vazbu předpovědi zmíněného srážkového pásu na předpověď anomálií pole PV. Pokud chceme do budoucna zlepšovat předpověď jevů tohoto typu, je zvýšení rozlišení modelu nutnou podmínkou, samozřejmě spolu se zajištěním kvality analýzy a modelu jako takového.

Poděkování

Naše poděkování patří dr. Anně Valeriánové za pomoc při přípravě pozorování srážek na pravidelné síti pro verifikaci. K současné provozní variantě modelu ALADIN též pomohl výzkum a vývoj podporovaný GA ČR, prostřednictvím projektu P209/11/2405 „Vývoj regionálního klimatického modelu pro velmi vysoké rozlišení“ a také podpora projektu COST ES0905 „Basic Concepts for Convection Parameterization in Weather Forecast and Climate Models“.

Literatura

- [1] AEBISCHER, U. – SCHÄR, C., 1997. Low-Level Potential Vorticity and Cyclogenesis to the Lee of the Alps. *J. Atmos. Sci.*, roč. **55**, s. 186–207. ISSN 0022-4928.
- [2] BROŽKOVÁ, R. – DERKOVA, M. – BELLUŠ, M. – FARDA, A., 2006. Atmospheric Forcing by ALADIN/MFSTEP and MFSTEP oriented Atmospheric tuning. *Ocean Sci.*, roč. **2**, s. 113–121. ISSN 1812-0784.
- [3] BROŽKOVÁ, R., 2013. Parametrizace srážkových procesů v modelu ALADIN. *Meteorologické Zprávy*, roč. **66**, s. 33–41. ISSN 0026-1173.
- [4] CATRY, B. – GELEYN, J.-F. – TUDOR, M. – BÉNARD, P. – TROJÁKOVÁ, A., 2007. Flux conservative thermodynamic equations in a mass weighted framework. *Tellus*, roč. **59A**, s. 71–79. ISSN 1600-0870.

- [5] CATRY, B. – GELEYN, J.-F. – BOUYSSSEL, F. – CEDILNIK, J. – BROŽKOVÁ, R. et al., 2008. A new sub-grid scale lift formulation in a mountain drag parameterisation scheme. *Meteorologische Zeitschrift*, roč. 17, s. 193–208. ISSN 0941-2948.
- [6] GERARD, L. – PIRIOU, J.-M. – BROŽKOVÁ, R. – GELEYN, J.-F. – BANCIU, D., 2009. Cloud and precipitation parameterization in a meso-gamma scale operational weather prediction model. *Mon. Wea. Rev.*, roč. 137, s. 3960–3977. ISSN 0027-0644.
- [7] GELEYN, J.-F. – VÁŇA, F. – CEDILNIK, J. – TUDOR, M. – CATRY, B., 2006. An intermediate solution between diagnostic exchange coefficients and prognostic TKE methods for vertical turbulence transport. *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling (WGNE Blue Book)*, roč. 36, Section 4, s. 11–12. WMO/TD – No. 1347.
- [8] NOILHAN, J. – MAHFOUF, J.-F., 1996. The ISBA land surface parameterisation scheme. *Global and Planetary Change*, roč. 13, s. 145–159. ISSN 0921-8181.
- [9] ROBERTS, N. M. – LEAN, H. W., 2008. Scale-selective verification of rainfall accumulations from high-resolution forecasts of convective events. *Mon. Wea. Rev.*, roč. 136, s. 78–97. ISSN 0027-0644.
- [10] RITTER, B. – GELEYN, J.-F., 1992. A comprehensive radiation scheme for Numerical Weather Prediction models with potential applications in climate simulations. *Mon. Wea. Rev.*, roč. 120, s. 303–325. ISSN 0027-0644.
- [11] 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.
- [12] VÁŇA, F. – BÉNARD, P. – GELEYN, J.-F. – SIMON, A. – SEITY, Y., 2008. Semi-Lagrangian advection scheme with controlled damping: An alternative to nonlinear horizontal diffusion in a numerical weather prediction model. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, roč. 134, s. 523–537. ISSN 1477-870X.

Lektor (Reviewer): RNDr. Martin Janoušek

KLIMATOLOGIE PŘÍČINNÝCH SRÁŽEK ČERVNOVÉ POVODNĚ V ČESKÉ REPUBLICE V ROCE 2013

Anna Valeriánová, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, anna.valerianova@chmi.cz
 Eva Holtanová, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 205/17, 143 06 Praha 4-Komořany; Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8, holtanova@chmi.cz
 Lenka Crhová, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, lenka.crhova@chmi.cz

Climatology of the precipitation that caused the June 2013 floods. Recently, several flood events have been recorded in the territory of the Czech Republic. To minimize future damage it is necessary to evaluate the precipitation amounts that caused the floods. In present study we describe spatial and temporal distribution of precipitation leading to flood events during May and June 2013. Furthermore, the extremity of observed precipitation amounts is evaluated.

KLÍČOVÁ SLOVA: srážky atmosférické – extremita srážkových úhrnů
KEY WORDS: precipitation – extremity of precipitation amount

1. ÚVOD

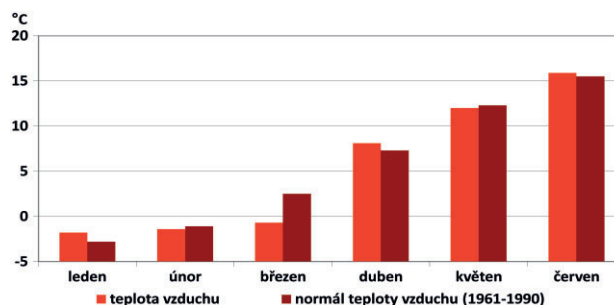
V posledních dvou desetiletích bylo na území České republiky zaznamenáno několik povodňových událostí, jejichž příčinou byly extrémní srážky v letním půlroce nebo prudké oteplení s táním sněhu, popř. spojené s dešťovými srážkami v zimní polovině roku. Pro přijímání opatření vedoucích ke snížení povodňových škod nebo pro vyhodnocení předpovědních modelů je důležitá znalost množství spadlých srážek, které byly příčinou povodňových stavů, tzv. příčinných srážek. Cílem článku je vyhodnotit časové a prostorové rozložení a extremitu úhrnů srážek vedoucích k povodním na přelomu května a června 2013 a následujícím povodňovým vlnám v průběhu června 2013. Problematice porovnání množství a plochy rozsahu srážek se srážkovými úhrny z července 1997, srpna 2002, května a srpna 2010, kdy byly rovněž zaznamenány významné povodně, bude věnován samostatný článek.

2. DATA A METODY

Pro hodnocení příčinných srážek byla využita data denních úhrnů srážek¹ ze 720 klimatologických stanic sítě ČHMÚ a data z 58 stanic ležících v příhraničním pásu na území

Polska. Data ze stanic měřících na území ČR prošla formální a plošnou kontrolou. Pro prostorovou interpolaci staničních dat a výpočet plošných úhrnů srážek byla využita metoda používaná pro interpolaci srážkových úhrnů na ČHMÚ, která uplatňuje závislost srážkových úhrnů na nadmořské výšce [6]. Interpolace byla provedena v prostředí GIS v síti 1 km.

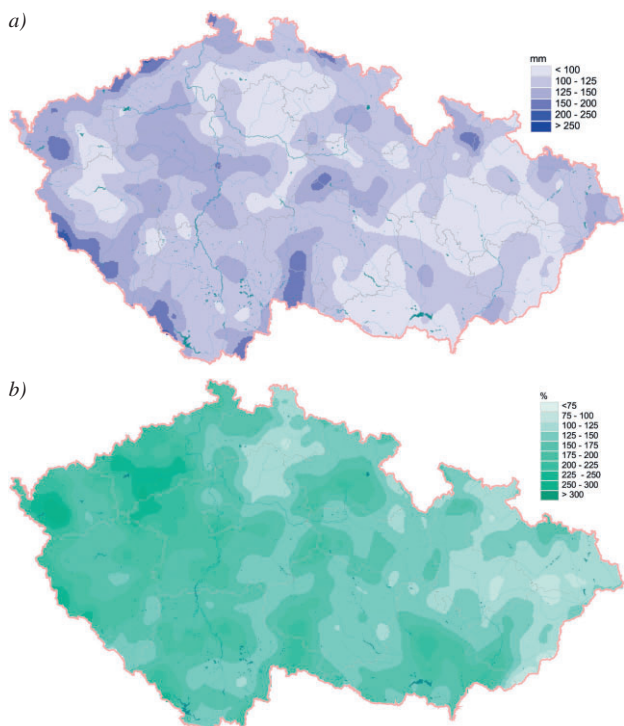
K vyhodnocení extremity srážkových úhrnů bylo ročními maximy jedno až sedmidenních srážkových úhrnů proloženo



Obr. 1 Průměrná měsíční teplota vzduchu v první polovině roku 2013 a dlouhodobý průměr průměrné měsíční teploty vzduchu v období 1961–1990 na území ČR.

Fig. 1. Monthly mean air temperature in the Czech Republic during the first half of the year 2013 and longterm mean of monthly mean air temperature in the period 1961–1990.

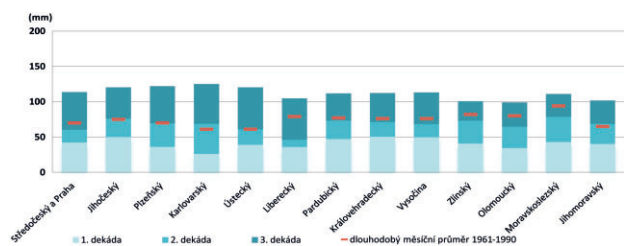
¹⁾ Denní úhrn srážek znamená úhrn srážek za pevně stanovené období 24 h od 7 h ráno SEČ uvažovaného dne do 7 h ráno SEČ dne následujícího.



Obr. 2 Měsíční srážkový úhrn v květnu 2013 na území ČR vyjádřený v mm (a) a v % dlouhodobého průměru za období 1961–1990 (b).

Fig. 2. Monthly precipitation amount in May 2013 in the territory of the Czech Republic in mm (a) and in % of longterm mean in the period of 1961–1990 (b).

tříparametrické Generalized Extreme Value (GEV) rozdělení [2]. Toto rozdělení bylo vyhodnoceno jako vhodný model srážkových extrémů ve většině regionů ČR [5]. Parametry GEV rozdělení (umístění ξ , měřítko β a tvar k) byly odhad-



Obr. 3 Plošné srážkové úhrny pro květen 2013.

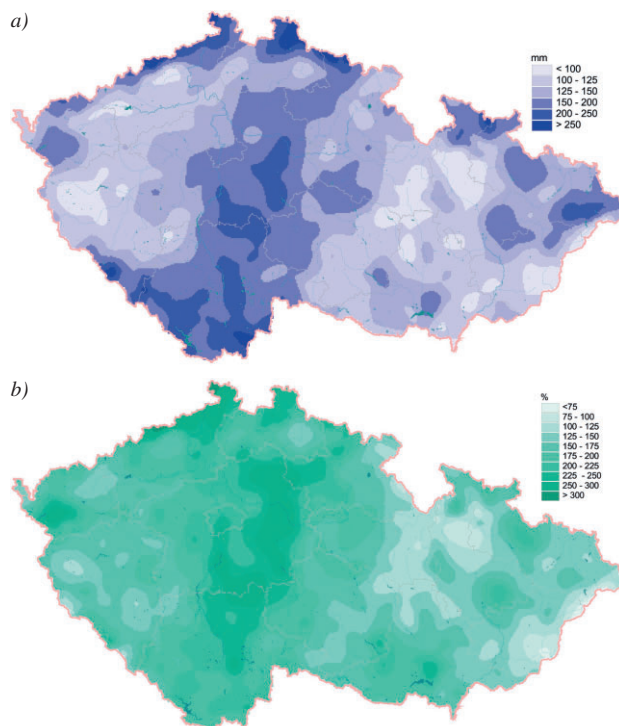
Fig. 3. Areal precipitation amount in May 2013.

Tab. 1 Nejvyšší naměřené měsíční úhrny srážek v květnu 2013 na území ČR.

Table 1. The highest monthly precipitation amount in May 2013 in the Czech Republic.

Stanice	Povodí	Okres	Nadm. výška [m n. m.]	Úhrn srážek [mm]	Dlouhodobý srážkový úhrn v květnu [mm] (1961–1990)
Kynžvart	Ohře	Cheb	826	202,6	*
Český Jiřetín	Labe	Most	740	202,0	89,3
Nemanice	Dunaj	Domažlice	532	199,3	80
Špičák	Úhlava	Klatovy	947	184,9	99,6
Bělá pod Pradědem	Kladská Nisa	Jeseník	670	184,1	94
Jelení	Vltava	Prachatice	810	181,9	*

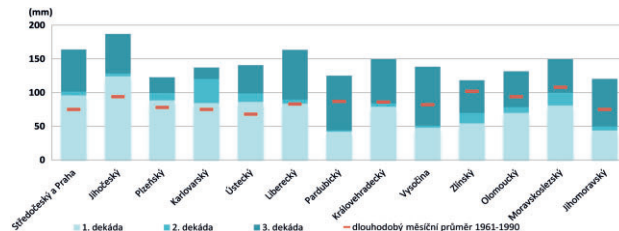
* Stanice nemá v období 1961–1990 dostatečně dlouhou řadu pozorování pro výpočet dlouhodobého průměru.



Obr. 4 Měsíční srážkový úhrn v červnu 2013 na území ČR vyjádřený v mm (a) a v % dlouhodobého průměru za období 1961–1990 (b).

Fig. 4. Monthly precipitation amount in June 2013 in the territory of the Czech Republic in mm (a) and in % of longterm mean in the period of 1961–1990 (b).

nuty pomocí metody L -momentů [3] za použití metody ROI (region-of-influence), kdy k odhadu rozdělení výskytu



Obr. 5 Plošné srážkové úhrny pro červen 2013.

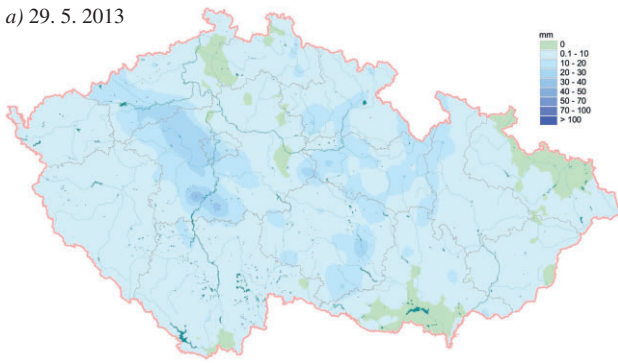
Fig. 5. Areal precipitation amount in June 2013.

Tab. 2 Nejvyšší naměřené měsíční úhrny srážek v červnu 2013 na území ČR.

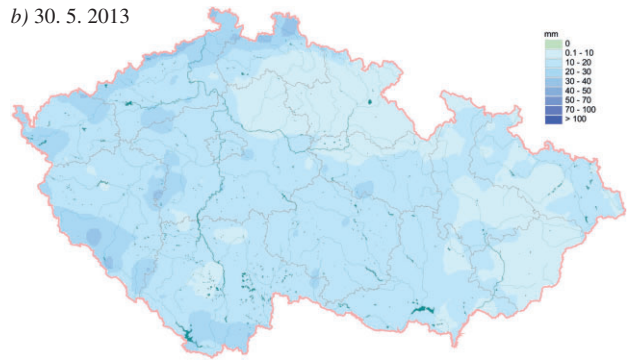
Table 2. The highest monthly precipitation amount in June 2013 in the Czech Republic.

Stanice	Povodí	Okres	Nadm. výška [m n. m.]	Úhrn srážek [mm]	Dlouhodobý srážkový úhrn v červnu [mm] (1961–1990)
Luční bouda	Labe	Trutnov	1413	372,2	*
Špičák	Úhlava	Klatovy	947	321,2	125,7
Pomezní boudy	Úpa	Trutnov	1050	318,1	*
Bedřichov	Lužická Nisa	Jablonec nad Nisou	777	315,9	122,8
Zlaté Hory	Odra	Jeseník	407	313,3	*
Labská bouda	Labe	Trutnov	1315	303,0	128,5
Staré Hutě	Malše	České Budějovice	792	288,4	*

a) 29. 5. 2013



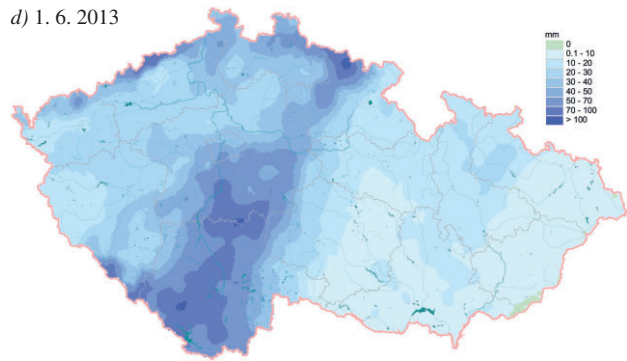
b) 30. 5. 2013



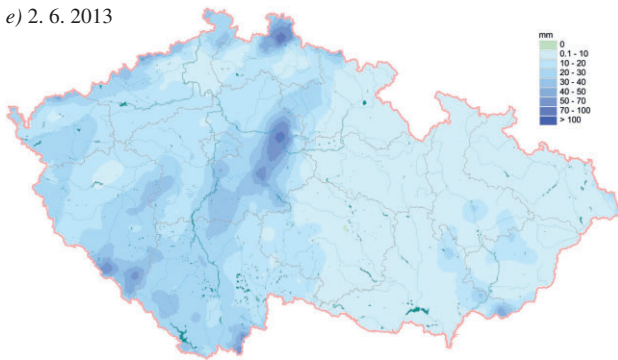
c) 31. 5. 2013



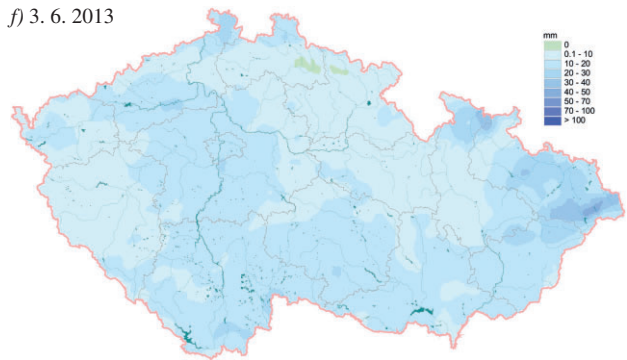
d) 1. 6. 2013



e) 2. 6. 2013



f) 3. 6. 2013



Obr. 6 Denní úhrn srážek [mm] v období od 29. 5. do 3. 6. 2013 na území ČR.

Fig. 6. Daily precipitation amount [mm] from 29th May to 3rd June 2013.

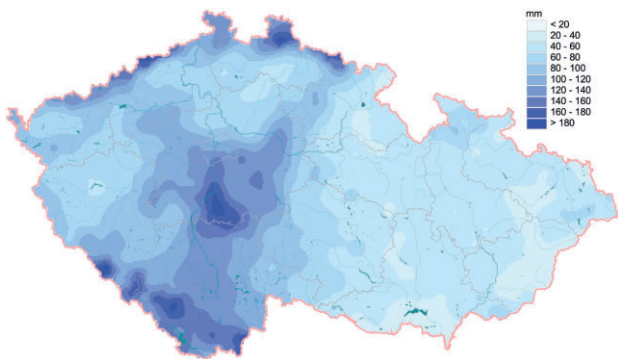
extrémních jevů na dané stanici byla použita nejen data z této stanice, ale i data z okolních stanic [1, 4]. Parametry rozdělení byly odhadnuty v rámci projektu GA ČR na ÚFA AV ČR Ladislavem Gaňalem a Janem Kyselým pro stanice, které mají pro období 1961–2010 dostupnou časovou řadu měření alespoň 25 let [4].

Klouzavé 24hodinové úhrny srážek byly vypočteny z jednodinových úhrnů na stanicích vybavených automatickým srážkoměrem. Jejich extremita byla vyhodnocena na základě map n -letých srážkových úhrnů, vytvořených v oddělení všeobecné klimatologie Vitém Květoněm.

3. TEPLOTNÍ A SRÁŽKOVÉ POMĚRY PRVNÍHO POLOLETÍ ROKU 2013 NA ÚZEMÍ ČR, SRÁŽKOVÉ ÚHRNY V KVĚTNU A ČERVNU 2013

Průměrná měsíční teplota vzduchu na území ČR v první polovině roku 2013 kolísala kolem hodnot dlouhodobého průměru 1961–1990 (obr. 1). Velmi chladný byl březen, kdy průměrná měsíční teplota $-0,7$ °C byla o $3,2$ °C nižší než dlouhodobý průměr. Rozložení měsíčních srážkových úhrnů bylo nerovnoměrné, zatímco leden a únor byly srážkově nadnormální, srážky dosáhly 145 % a 134 % dlouhodobého průměru, březen byl srážkově normální a duben podnormální. Plošný srážkový úhrn na území ČR v dubnu dosáhl pouze 56 % dlouhodobého průměru 1961–1990.

Květen 2013 byl na území ČR srážkově nadnormální, průměrný měsíční úhrn 113 mm představuje 152 % dlouhodobé-



Obr. 7 Úhrn srážek [mm] za období od 29. 5. do 3. 6. 2013.

Fig. 7. Precipitation amount [mm] of the period from 29th May to 3rd June.

Tab. 3 Extremita denních úhrnů srážek 80 mm a více 1. a 2. 6. 2013 na vybraných klimatologických stanicích ČHMÚ.

Table 3. Extremity of daily precipitation amounts ≥ 80 mm on 1st and 2nd June 2013 at selected climatological stations of CHMI.

Jméno stanice	Nadm. výška [m n. m.]	Okres	Povodí	Datum	Úhrn srážek [mm]	N-letost
Filipova Huť	1110	Klatovy	Vltava	1. 6. 13	80,3	10
Frantoly	726	Prachatice	Blanice	1. 6. 13	101	40
Churáňov	1117,8	Prachatice	Otava	1. 6. 13	86,7	20
Kvilda	1059	Prachatice	Vltava	1. 6. 13	82	10
Zbytiny	790	Prachatice	Otava	1. 6. 13	108,3	70
Bechyně	409	Tábor	Lužnice	1. 6. 13	83,5	50
Hlasivo	547	Tábor	Lužnice	1. 6. 13	99,8	> 100
Jistebnice	581	Tábor	Lužnice	1. 6. 13	95,6	90
Kovářov	529	Písek	Vltava	1. 6. 13	85,1	50
Křemže, Mříc	524	Český Krumlov	Vltava	1. 6. 13	84,3	30
Nadějkov, Větrov	616	Tábor	Lužnice	1. 6. 13	81	40
Horní Maršov	565	Trutnov	Úpa	1. 6. 13	130,3	> 100
Pec pod Sněžkou	816,3	Trutnov	Úpa	1. 6. 13	89,4	10
Železná Ruda, Špičák	947	Klatovy	Úhlava	1. 6. 13	84,6	10
Střeziměř	588	Benešov	Vltava	1. 6. 13	107	> 100
Český Jiřetín	740	Most	Labe	1. 6. 13	83,8	10
Poděbrady	189	Nymburk	Labe	2. 6. 13	87,9	100

ho průměru za období 1961–1990. Srážkově bohatý byl květen zejména na západě Čech (obr. 2). Nejvyšší měsíční úhrn byl naměřen na stanicích Kynžvart a Český Jiřetín (202,6 a 202 mm, tab. 1). Průměrný měsíční úhrn srážek za květen 2013 na území ČR je pátým nejvyšším úhrnem pro tento měsíc od roku 1961, přičemž nejvlhčí květen s měsíčním úhrnem 141 mm byl zaznamenán v roce 1965. Uvážíme-li pouze území Čech, průměrný měsíční úhrn srážek za květen 2013 činí 117 mm a je to třetí nejvyšší květnový úhrn pro toto území. Graf na obr. 3 ukazuje, že srážkově relativně bohatý byl ve většině krajů celý měsíc květen a srážky byly časově poměrně rovnoměrně rozloženy. Na většině území již v průběhu prvních dvou dekád spadlo množství srážek, které odpovídá dlouhodobému průměru. Ve třetí dekádě byly zaznamenány vysoké srážkové úhrny především v západní části ČR, zejména v Karlovarském, Ústeckém a Libereckém kraji.

Červen 2013 byl na území ČR srážkově silně nadnormální, republikový plošný průměr 146 mm představuje 174 % dlouhodobého průměru (1961–1990). Jedná se o nejvyšší červenový a o šestý nejvyšší měsíční úhrn srážek ve srovnání s měsíčními úhrny srážek všech měsíců roku od roku 1961. Vyšší srážkové úhrny byly v minulých letech zaznamenány pouze v měsících červenec a srpen, přičemž nejvyšší plošný měsíční úhrn srážek pro ČR je 204 mm z července 1997.

Nejvyšší úhrny srážek byly pozorovány v pásu táhnoucímu se od Šumavy a Novohradských hor přes Středočeskou pahorkatinu a Polabí ke Krkonošům a Jizerským horám, a dále ve Frýdlantském a Šluknovském výběžku (obr. 4). Nejvíce srážek spadlo v horských oblastech (tab. 2), na Luční boudě dosáhl měsíční srážkový úhrn 372,2 mm.

Průměrný červenový úhrn srážek na území Čech 154 mm je nejvyšší srážkový úhrn pro červen zaznamenaný od roku 1961. Nejvyšší plošné úhrny ve srovnání s dlouhodobým průměrem byly dosaženy ve Středočeském (163 mm, což je 217 % dlouhodobého průměru), Libereckém (175 mm, 211 % dlouhodobého průměru) a Ústeckém (141 mm, 207 % dlouhodobého průměru) kraji. Z grafu na obr. 5 je patrné, že v západní části území ČR byl již v první dekádě měsíce dosažen nebo překro-

čen dlouhodobý průměr měsíčního úhrnu srážek. Druhá dekáda byla ve většině krajů srážkově velmi chudá, výjimku tvoří pouze Karlovarský kraj. V poslední červenové dekádě srážkový úhrn opět narostl, ale vyšších hodnot než v první dekádě dosáhl pouze v krajích Vysočina, Pardubickém a Jihomoravském (obr. 5). Ve východní části území (Morava, Vysočina, Pardubický a Královéhradecký kraj) bylo dlouhodobého měsíčního průměru dosaženo až v průběhu třetí dekády června.

4. ČASOVÉ A PROSTOROVÉ ROZLOŽENÍ SRÁŽEK VE DNECH 29. 5.–3. 6. 2013

Prostorové rozložení denních srážkových úhrnů v období od 29. května do 3. června 2013 na území ČR je zobrazeno na mapách na obr. 6, úhrn srážek za období těchto 6 dní na obr. 7. Dne 29. května nepřekonal nejvyšší srážkový úhrn 30 mm, 30. května dosáhly na některých stanicích 40 mm. Dne 31. května byly srážky výrazně nižší, na většině stanic byl denní úhrn do 15 mm, s výjimkou několika stanic na západě Čech. Nejvyšší srážkové úhrny v západní a střední části našeho území byly pozorovány 1. a 2. června.

Dne 1. června byly místy na Šumavě, v Krkonoších a ve středních Čechách naměřeny srážkové úhrny od 80 až přes 100 mm, na stanici Horní Maršov to bylo dokonce 130,3 mm. Nejvyšší denní úhrn 2. června 87,9 mm byl zaznamenán v Poděbradech, v horských oblastech místy úhrny překonaly 70 mm, v Jizerských horách (stanice Bedřichov 76 mm) a na Šumavě (stanice Železná Ruda, Špičák 72,8 mm). Během 3. června srážky v Čechách ustávaly, vyšší srážkové úhrny byly pozorovány na Moravě (obr. 6). V Moravskoslezském kraji byla místy překonána hodnota 30 mm, nejvyšší denní úhrn 49 mm byl naměřen na stanici Morávka, Úspolka, druhý nejvyšší pak na Lysé hoře (47,3 mm).

V tab. 3 jsou uvedeny denní srážkové úhrny s hodnotou alespoň 80 mm a jejich periodicitu (metoda odhadu extremity je popsána v kapitole 2 tohoto článku). Jednodenní úhrny srážek překročily 100letou hodnotu 1. června pouze na třech stanicích, na stanici Horní Maršov dosáhl úhrn srážek 1,4násobku 100letého úhrnu srážek, na stanici Hlasivo a Střeziměř

Tab. 4 Extremita 6denních úhrnů srážek 150 mm a více v období 29. 5.–3. 6. 2013 na vybraných klimatologických stanicích ČHMÚ.

Table 4. Extremity of six-day precipitation amounts ≥ 150 mm in the period from 29th May to 3rd June 2013 at selected climatological stations.

Jméno stanice	Nadm. výška [m n. m.]	Okres	Povodí	29. 5.	30. 5.	31. 5.	1. 6.	2. 6.	3. 6.	SUMA	N-letost
Střeziměř	588	Benešov	Vltava	13,2	12,7	4,4	107,0	29,3	15,8	182,4	> 100
Votice	500	Benešov	Sázava	15,3	16,7	3,4	73,5	33,1	17,6	159,6	50
Červený Dvůr, Chvalšiny	588	Český Krumlov	Vltava	4,7	30,0	10,2	75,0	34,8	16,0	170,7	50
Pohorská Ves, Terčí Dvůr	807	Český Krumlov	Malše	0,1	25,3	13,7	65,6	41,8	14,2	160,7	10
Frymburk, Svatý Tomáš	972	Český Krumlov	Vltava	2,9	25,8	8,3	70,2	37,5	15,8	160,5	20
Benešov nad Černou	665	Český Krumlov	Malše	0,1	24,0	11,9	70,1	31,6	19,7	157,4	20
Přídolí	653	Český Krumlov	Vltava	2,0	26,1	11,6	78,4	19,1	17,8	155,0	30
Malonty	694	Český Krumlov	Malše	0	24,6	15,4	69,4	27	17,7	154,1	20
Soběnov	526	Český Krumlov	Malše	0	22,3	11,3	68,0	29,6	19,9	151,1	20
Netřebice	616	Český Krumlov	Malše	0,7	21,2	11,3	72,4	21,2	24,1	150,9	30
Bedřichov	777	Jablonec nad Nisou	Lužická Nisa	2,1	23,0	8,4	62,7	76	11,4	183,6	10
Železná Ruda, Špičák	947	Klatovy	Úhlava	3,2	31,6	10,8	84,6	72,8	16,4	219,4	20
Železná Ruda, Hojsova Stráž	867	Klatovy	Úhlava	1,4	33,2	11,9	71,0	46,1	15,5	179,1	10
Filipova Huť	1 110	Klatovy	Vltava	5,4	24,4	10,2	80,3	47,3	11,0	178,6	10
Kašperské Hory	741	Klatovy	Otava	5,0	28,3	6,2	50,7	57,5	13,7	161,4	20
Hejnice	396	Liberec	Smědá	0	39,1	7,5	45,3	60,6	18,0	170,5	10
Nové Město pod Smrkem	473	Liberec	Smědá	3,3	30,7	5,6	41,5	51	18,8	150,9	10
Český Jiřetín	740	Most	Labe	1,8	33,8	5,8	83,8	44	12,2	181,4	20
Poděbrady	189	Nymburk	Labe	0,6	10,6	4,2	41,6	87,9	7,8	152,7	> 100
Kovářov	529	Písek	Vltava	8,5	14,6	6,2	85,1	26,3	16,8	157,5	60
Praha, Libuš	302,04	Praha 4	Vltava	24,6	15,1	6,4	59,0	26,1	19,1	150,3	70
Říčany	385	Praha-východ	Vltava	16,2	22,7	6,3	63,0	26,7	15,4	150,3	40
Zbytiny	790	Prachatice	Otava	1,7	20,0	13,0	108,3	34,5	13,8	191,3	40
Churáňov	1 117,8	Prachatice	Otava	7,9	21,9	11,1	86,7	36,3	11,6	175,5	20
Frantoly	726	Prachatice	Blanice	4,1	13,7	8,2	101,0	25	9,6	161,6	30
Kvilda	1 059	Prachatice	Vltava	6,9	19,6	9,4	82,0	26,8	8,2	152,9	10
Prachatice	607	Prachatice	Otava	1,9	17,0	9,8	77,7	31,8	14,3	152,5	20
Jistebnice	581	Tábor	Lužnice	9,6	9,9	6,0	95,6	32,5	12,5	166,1	70
Nadějkov, Větrov	616	Tábor	Lužnice	8,5	12,2	4,9	81,0	31,7	15,5	153,8	40
Horní Maršov	565	Trutnov	Úpa	4,6	8,0	5,1	130,3	17,7	1,6	167,3	20
Labská bouda, Špindlerův Mlýn	1 315	Trutnov	Labe	2,0	29,6	10,6	74,4	32,2	15,4	164,2	10
Petrovice, Krásný Les	631	Ústí nad Labem	Labe	3,9	34,5	8,8	55,7	36,8	12,7	152,4	20

1,1násobku 100letého úhrnu srážek. Úhrn srážek na stanici Poděbrady dosáhl 2. června 100leté hodnoty. V případě šestidenních srážkových úhrnů byla překročena stoletá hodnota pouze na dvou stanicích (Střeziměř a Poděbrady), na řadě stanic v jižních Čechách byla překročena 50letá hodnota (tab. 4).

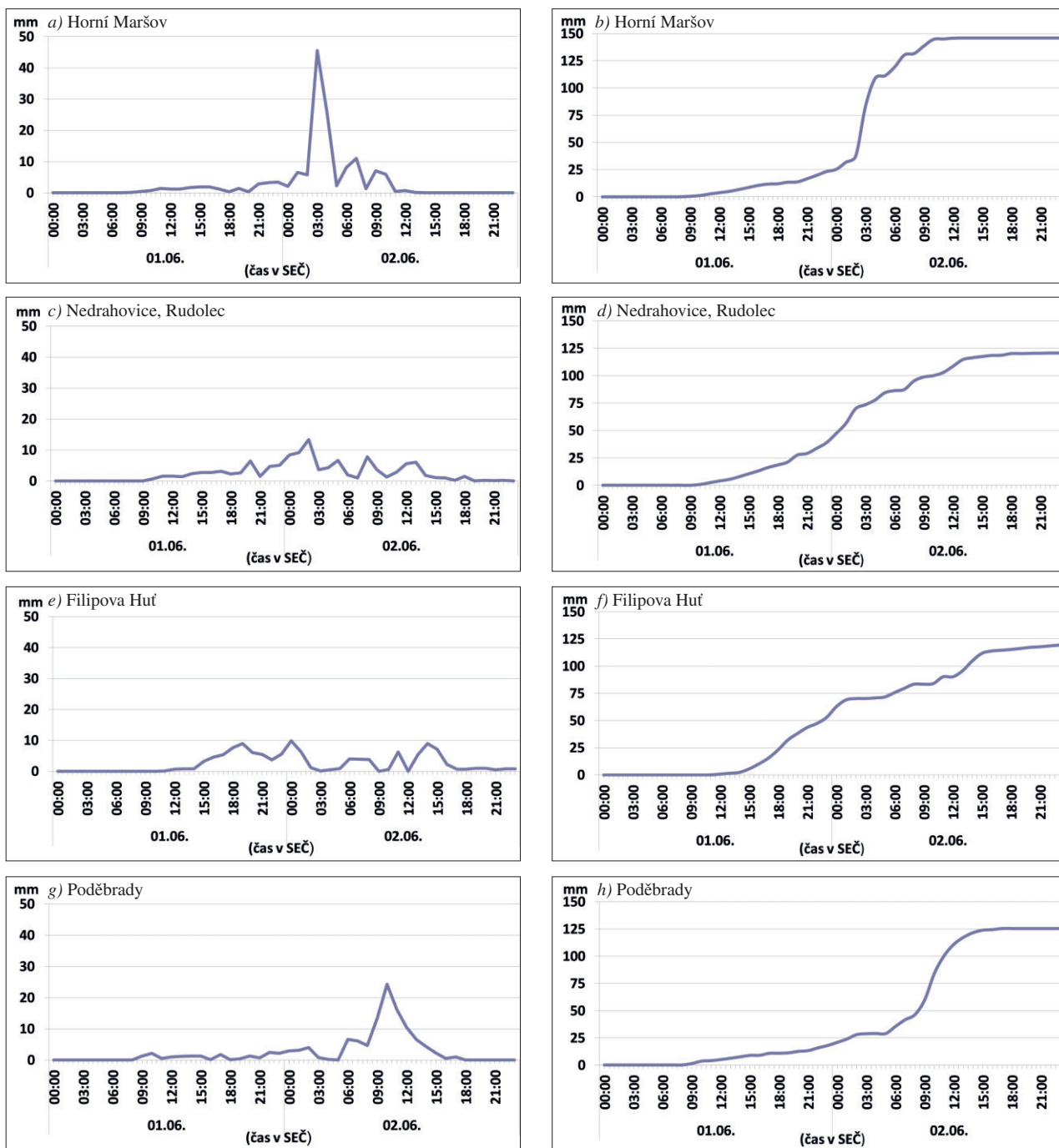
4.1 Časový průběh hodinových úhrnů srážek

Jak dokumentují grafy na obr. 8, srážky začaly vypadávat 1. června v dopoledních hodinách na severu Čech, postupně se srážkové pole posouvalo přes západní Čechy na jih a dále na východ. Zatímco v severozápadních a západních Čechách v nočních hodinách z 1. na 2. června srážková činnost zeslábla nebo úplně ustala, ve východních a středních Čechách byly srážky nejintenzivnější. Významná srážková činnost pokračovala také v průběhu dne 2. června. Vzhledem k tomu, že denní srážkové úhrny jsou měřeny v pevně stanovených termínech

a vydatné srážky vypadávaly i po 7. hodině ranní, byly spočteny klouzavé 24hodinové sumy srážek z hodinových úhrnů srážek a vyhodnocena jejich extremita. S ohledem na omezený rozsah článku jsou v tab. 5 uvedeny pouze stanice, na kterých 24hodinový úhrn srážek překročil 100 mm.

5. SRÁŽKY 9. A 10. 6. 2013

Ve dnech 9. a 10. června se na celém území republiky místy vyskytovaly přívalové srážky spojené s bouřkovou činností. Dne 9. června byl nejvyšší srážkový úhrn naměřen na stanici Mladá Boleslav 78,4 mm a dosáhl úrovně 50leté hodnoty. Stejně hodnoty dosáhl i srážkový úhrn na stanici Horšovský Týn 62 mm, 10letá hodnota byla překročena na stanici Lobedava 69,2 mm. Vysoké srážkové úhrny se po oba dny vyskytovaly na Moravě. Stanice Branná naměřila 9. června 62,7 mm, 10. června 58,6 mm. Oba úhrny dosáhly hodnoty



Obr. 8 Průběh hodinových úhrnů srážek na vybraných stanicích (vlevo), průběh kumulativních úhrnů srážek na vybraných stanicích (vpravo) 1. a 2. června 2013.
 Fig. 8. Course of hourly precipitation amount at selected stations (left), course of cumulative hourly precipitation amount (right) on 1st and 2nd June 2013.

pro 5letou dobu opakování, v sumě za uvedené dva dny byla dosažena 30letá hodnota.

6. ČASOVÉ A PROSTOROVÉ ROZLOŽENÍ SRÁŽEK 24. A 25. 6. 2013

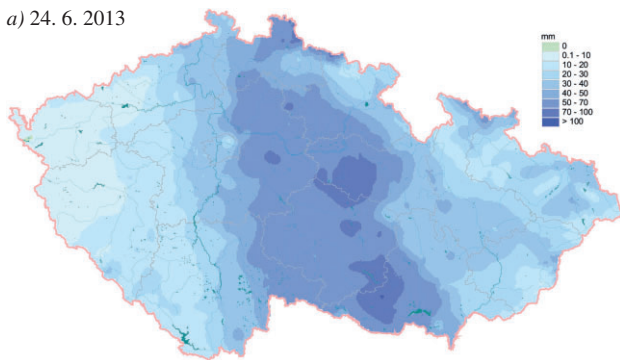
Prostorové rozložení denních srážkových úhrnů ve dnech 24. a 25. června je zobrazeno na mapách na obr. 9. Dne 24. června se vyskytovaly na velké části území ČR vydatné srážky, jejichž úhrny místy překročily 50 mm. Nejvíce napršelo na jižní Moravě a na Vysočině, nejvyšší denní úhrn srážek zaznamenaly moravské stanice Džbánice (103) mm a Moravský Krumlov (85,5) mm. V Krkonoších a Jizerských horách se místy denní úhrn srážek pohyboval okolo 80 mm.

Pás vydatných srážek zasáhl také část Libereckého kraje, Královéhradecký a Pardubický kraj a východní část Středočeského kraje. O den později, 25. června, byly významnější srážky zaznamenány v oblasti Krkonoš, Jizerských a Krušných hor. Nejvyšší srážkové úhrny v Jizerských horách přesáhly 50 mm. V tab. 6 jsou vyhodnoceny dvoudenní úhrny srážek, které překročily 100 mm. Doba opakování 100 let byla překročena jen na stanici Džbánice, kde srážkový úhrn dosáhl 1,2násobku 100leté hodnoty. Srážkové úhrny s periodicitou větší než 10 let byly naměřeny zejména na Vysočině.

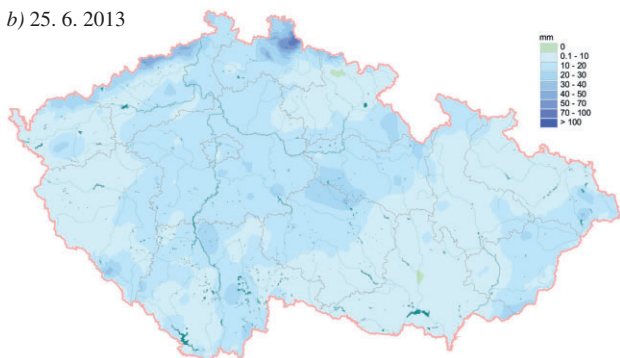
7. ZÁVĚR

Povodně na přelomu května a června a v průběhu června

a) 24. 6. 2013



b) 25. 6. 2013



Obr. 9 Denní úhrn srážek [mm] 24. a 25. 6. 2013 na území ČR.

Fig. 9. Daily precipitation amount [mm] on 24th and 25th June 2013.

Tab. 5 24hodinové klouzavé úhrny srážek (alespoň 100mm) na klimatologických a srážkoměrných stanicích a nejnižší dosažená periodičita těchto úhrnů.

Table 5. 24hours running precipitation amounts (≥ 100 mm) at climatological and precipitation stations and their lowest return period.

Jméno stanice	Nadm. výška [m n. m.]	Okres	Povodí	Datum	Hodina začátku deště (SEČ)	Suma srážek [mm]	N-letost
Horní Maršov	565	Trutnov	Úpa	1. 6. 13	11:00	143,4	>100
Poděbrady	189	Nymburk	Labe	1. 6. 13	17:00	115,5	>100
Pomezní boudy	1050	Trutnov	Úpa	1. 6. 13	13:00	109,3	5
Nedrahovice	348	Příbram	Vltava	1. 6. 13	14:00	109,2	100
Luční bouda	1413	Trutnov	Labe	1. 6. 13	14:00	108,5	5
Filipova Huť	1110	Klatovy	Vltava	1. 6. 13	16:00	106,1	~25
Churáňov	1117,8	Prachatice	Otava	1. 6. 13	16:00	103,8	~50
Ktiš	758	Prachatice	Vltava	1. 6. 13	17:00	100,7	>100

2013 na území ČR byly spojeny se dvěma významnými obdobími srážek [7]. Během šestidenního období od 29. května do 3. června byly místy zaznamenány jednodenní úhrny srážek s dobou návratu 100 let, 100letá hodnota byla překonána i u šestidenních srážkových úhrnů. Ve východních Čechách se v tomto období vedle velkoplošných srážek vyskytl i orograficky podmíněné přivalové deště, které vedly k lokálním povodním. Podružná vlna povodní 9. a 10. června byla spojena s lokálními přivalovými dešti, kdy srážkové úhrny místy dosáhly 50letých hodnot.

Druhé období výrazných srážek nastalo 24. a 25. června, tedy se 14denní odstupem od podružné vlny první srážkové epizody a s centrem nejvyšších srážkových úhrnů posunutým

Tab. 6 Extremita dvoudenních úhrnů srážek za 24. a 25. června alespoň 100mm a více na vybraných klimatologických stanicích ČHMÚ.

Table 6. Extremity of two-day precipitation amounts ≥ 100 mm on 24th and 25th June 2013 at selected climatological stations of CHMI.

Jméno stanice	Nadm. výška [m n. m.]	Okres	Povodí	24. 6.	25. 6.	SUMA	N-letost
Krucemburk	559	Havlíčkův Brod	Labe	79,5	33,5	113	40
Běstvina, Pařížov	333	Chrudim	Labe	83,0	26,1	109,1	40
Hamry	605	Chrudim	Chrudimka	82,9	24,8	107,7	30
Křižanovice	432	Chrudim	Chrudimka	81,9	25,0	106,9	40
Svratouch	734	Chrudim	Chrudimka	83,4	22,8	106,2	20
Josefův Důl	590	Jablonec nad Nisou	Jizera	52,1	50,2	102,3	< 5
Bedřichov	777	Jablonec nad Nisou	Lužická Nisa	65,7	55,0	120,7	10
Nové Město pod Smrkem	473	Liberec	Smědá	64,9	35,5	100,4	< 5
Labská bouda, Špindlerův Mlýn	1315	Trutnov	Labe	72,7	32,5	105,2	< 5
Džbánice	337	Znojmo	Jevišovka	104,0	1,8	105,8	> 100

na východ do oblasti Vysočiny a jižní Moravy. Stoletá hodnota dvoudenních srážkových úhrnů byla překročena pouze na stanici Džbánice. Srážkové úhrny s periodicitou větší než 10 let byly naměřeny zejména na Vysočině.

Poděkování

Tento článek vznikl s podporou GA ČR, projekt P209/11/1990 „Povětrnostní extrémy v České republice a jejich vztah k mezoalfa strukturám v polích meteorologických veličin“.

Literatura

- [1] BURN, D. H., 1990. Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach. *Water Resources Research* 26, s. 2257–2265.
- [2] COLES, S., 2001. An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. London: Springer. ISBN 1-85233-459-2.
- [3] HOSKING, J. R. M. – WALLIS, J. R., 1997. Regional frequency analysis: an approach based on L-moments. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-43045-6.
- [4] GAÁL, L. – KYSELÝ, J., 2009. Comparison of region-of-influence methods for estimating high quantiles of precipitation in a dense dataset in the Czech Republic. *Hydrology and Earth System Sciences* 13, s. 2203–2219, doi:10.5194/hess-13-2203-2009.
- [5] KYSELÝ, J. – PICEK, J., 2007. Regional growth curves and improved design value estimates of extreme precipitation events in the Czech Republic. *Climate Research* 33, s. 243–255.
- [6] ŠERCL, P., 2008. Hodnocení metod odhadu plošných srážek, *Meteorologické Zprávy*, roč. 61, č. 2. s. 33–43. ISSN 0026–1173.
- [7] 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.

Lektoři (Reviewers): Ing. Pavel Lipina, RNDr. Radim Tolasz, Ph.D.

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 doby 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 předcházely 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 mapka 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 60denní 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.

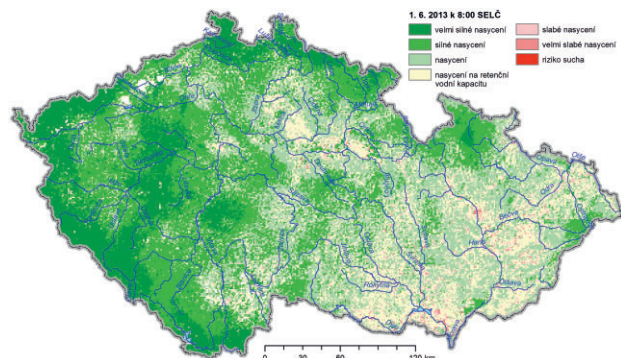
3. ROZLOŽENÍ A CHARAKTER PŘÍČINNÝCH SRÁŽEK A ODTOKOVÁ ODEZVA

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.

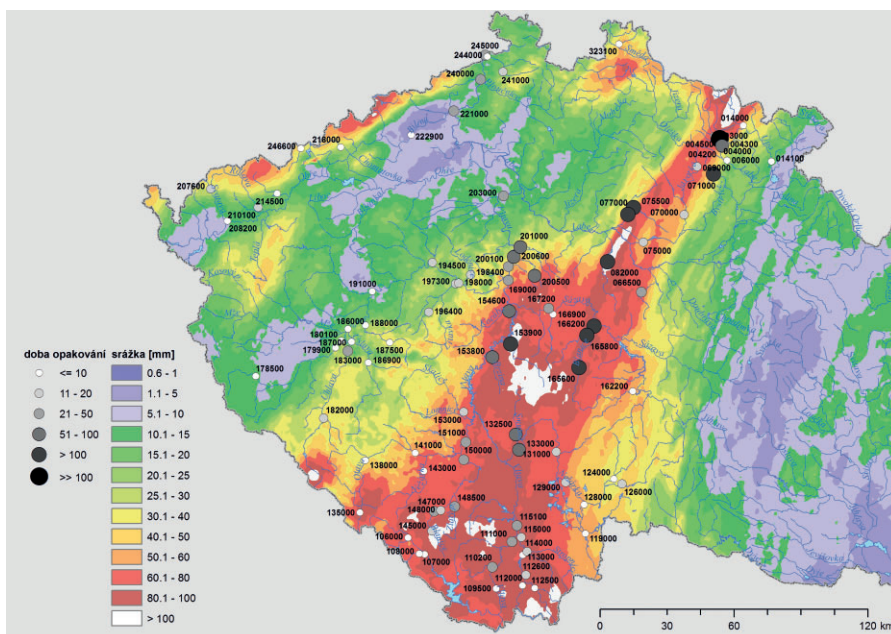
Významnější vzestupy hladin začaly nejdříve na přítocích Berounky (Klabava, Úslava), a to již během 31. května v důsledku srážek z 30. a 31. května (cca 20–45 mm).

Příčinné srážky první epizody povodní započaly nad územím Čech 1. června v ranních a dopoledních hodinách. Déšť 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 přšlo 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 Cidliny 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

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 Cidliny (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 Orлік (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 stoupaní 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).

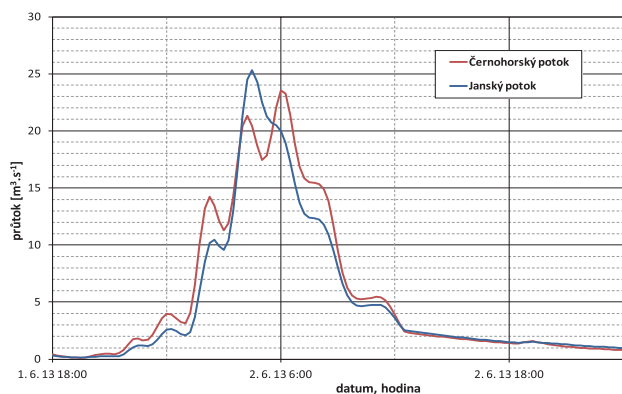


Fig. 3. and Fig. 4. Fluvial erosion (picture left) and landslide in the neighbourhood of Horní Maršov (photo – authors).

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

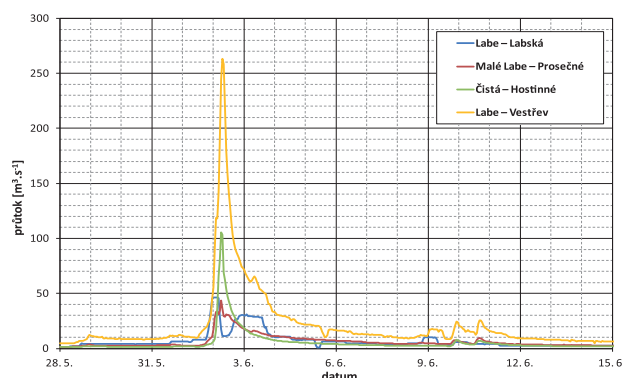
Odtoková odezva byla vzhledem k předchozímu nasycení velmi rychlá. Naprosto výjimečná situace nastala na povodích přítoků Úpy a Labe v podhůří Krkonoš, kde velmi intenzivní srážky (místy až $45 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$), kromě přívalových povodní a lokálního zatopení, způsobily velmi výrazné erozní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

Mezi nejvíce postižená povodí patřila povodí Čistě, která se vlévá do 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



Obr. 5 Průběh povodně na Černohorském a Janském potoce (přítoky 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.

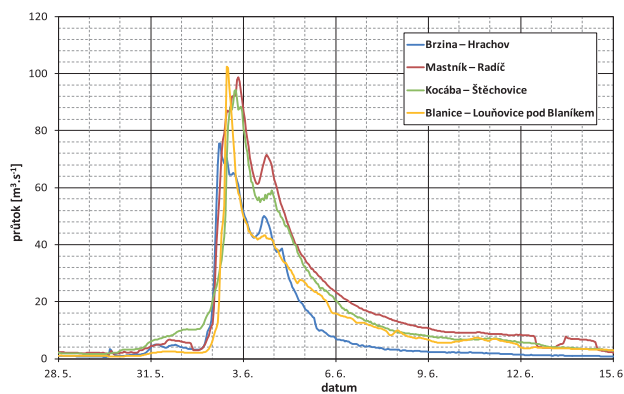
Fig. 6. Flood hydrographs at selected gauging stations in the upper Labe basin.

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 Orlík 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.

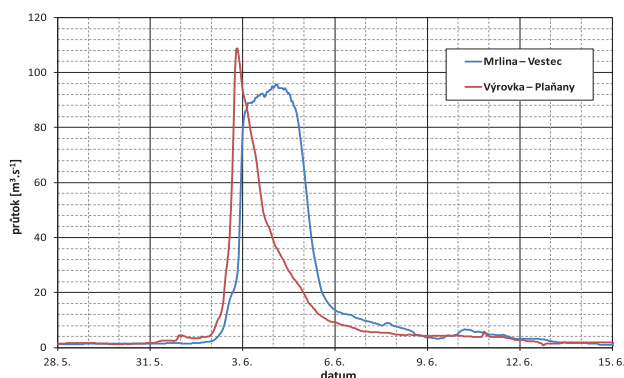
Velmi intenzivní (více než 20 mm·h⁻¹) a vydatné srážky (30–70 mm za 6 hodin) zasáhly povodí Mrliny, povodí Vrchlice a především povodí Výrovky, kde způsobily rozsáhlé záplavy. Průběh povodně na Mrlině a Výrovce je zachycen na obr. 8. Dramatická situace vznikla v povodí Mrliny, kde vydatné srážky způsobily protržení hráze Komárovského rybníka na Štítarském potoce nad měrným profilem Svidnice. 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 Orlík. 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.



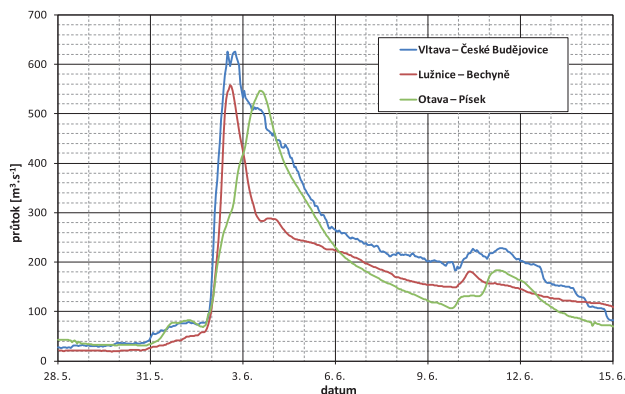
Obr. 8 Průběh povodňových vln na Mrlině ve Vestci a Výrovce v Plaňanech.

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

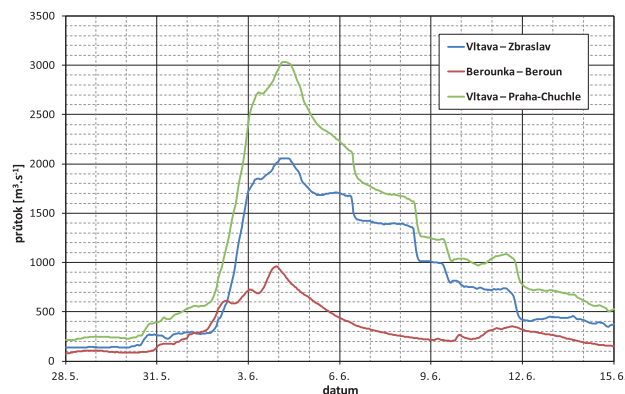
kulminační průtoky v červnu 2013 menší ve všech uvedeních profilech. Nejmenší rozdíl v kulminačních průtocích obou povodní byl zaznamenán v Bechyni na Lužnici, ale vzhledem k tomu, že srážky zasáhly přítoky Lužnice zejména na jejím dolním toku, transformační účinek rybníční soustavy se nemohl projevit, a Lužnice kulminovala oproti srpnu 2002 dříve než Vltava v Českých Budějovicích a Otava v Písku. Porovnáni 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. Déletrvající srážky 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 nekomplikovaly, pouze zpomalily nebo na čas zastavily pokles povodňových vln.

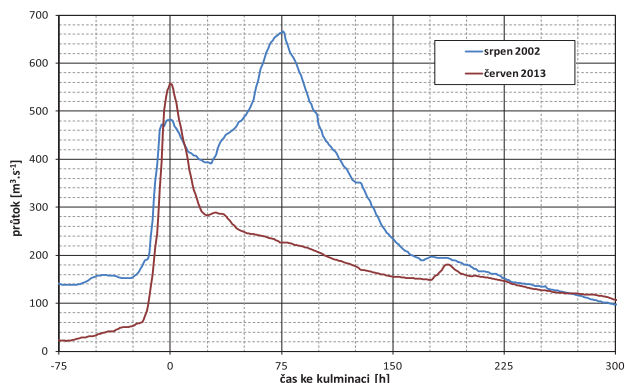
Průběh povodně na Berounce v Berouně a na Vltavě v Praze-Zbraslavi a Praze-Chuchli je znázorněn na obr. 11. Z grafu je patrné, že výraznější zvětšování průtoků v Praze nastalo v sobotu 1. června v pozdních odpoledních hodinách, což je zcela v souladu s nástupem povodňové vlny na Berounce v Berouně a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



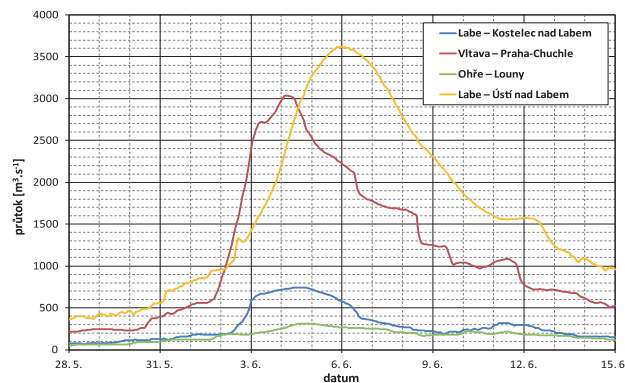
Obr. 9 Průběh povodňových vln na hlavních tocích nad nádrží Orlik.
Fig. 9. Flood hydrographs at gauging stations situated on main tributaries to Orlik reservoir.



Obr. 11 Průběh povodňových vln na Vltavě a Berounce.
Fig. 11. Flood hydrographs at gauging stations situated on Vltava and Berounka rivers.



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.



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).

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 vyběžení vody z koryta v důsledku vzduť hladiny poté, co byla uzavřena protipovodňová vrata a čerpadla nestačila odčerpávat do Vltavy přitékající vodu z Rokytky. Zpětným vzduť 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 vzduť 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-

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	průtok	doba opak.
					SELČ	[cm]	[m ³ .s ⁻¹]	[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	Březí	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	Ličov	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	Římov	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	Blaničský Mlýn	85,51	2. 6.	8:30	249	60	10–20
147000	Blanice	Podědvory	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	průtok	doba opak.
					SELČ	[cm]	[m ³ .s ⁻¹]	[roky]
153000	Skalice	Varvažov	368,53	2. 6.	16:00	258	75	10–20
153800	Bržina	Hrachov	133,24	2. 6.	6:00	259	79,6	100
153900	Mastník	Radič	268,62	2. 6.	20:50	282	103	> 100
154600	Kocába	Štěchovice	308,59	2. 6.	16:50	248	101	100
162200	Trnávka	Červená Rečice	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	Slověnice	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	Tasovice	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	Úhlava	Klatovy	338,81	3. 6.	8:10	313	68,5	10–20
183000	Úhlava	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	Brađava	Žákava	102,65	1. 6.	22:40	177	27,4	10
187000	Úslava	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 Huť	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	Dobřeňovický 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	Rokytky	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	Frýdlant 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 a 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 (Lubeneč).

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 Úhřeticích, 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 Nespěkách 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 Nespěkách, 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. – KYZVAROVÁ, 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 Vizina

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

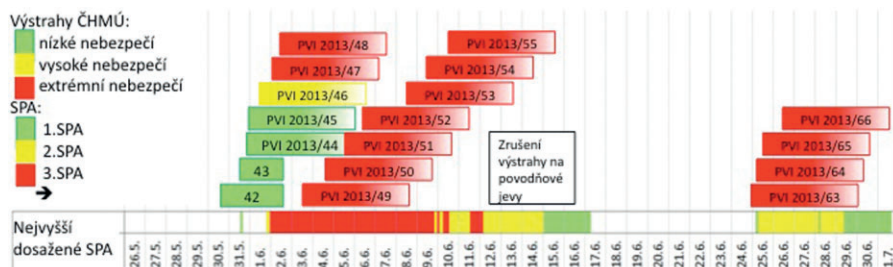
1. ÚVOD

Aktivita jednotlivých účastníků systému ochrany před povodněmi v České republice v rámci hlásné 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 hlásné 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.



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.

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.

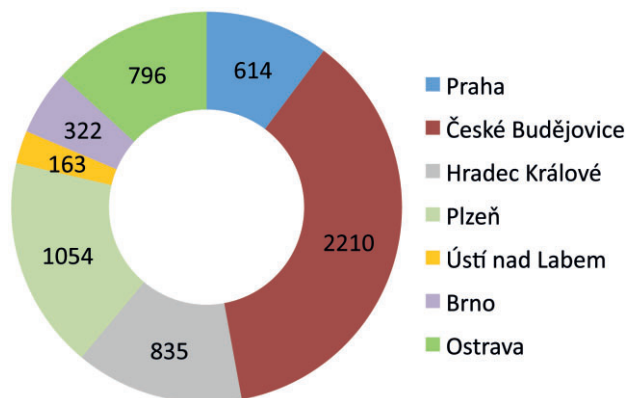
PVI ze středy 29. 5. 2013 v 09:51 UTC týkající se povodňových jevů, která varovala před nebezpečím vzniku povodně s vysokým stupněm nebezpečí – 2. stupeň povodňové aktivity (dále jen SPA), pro Liberecký a Ústecký kraj a nízkým stupněm nebezpečí (1. SPA) pro kraje Karlovarský a Plzeňský, lze považovat 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 stupně 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

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

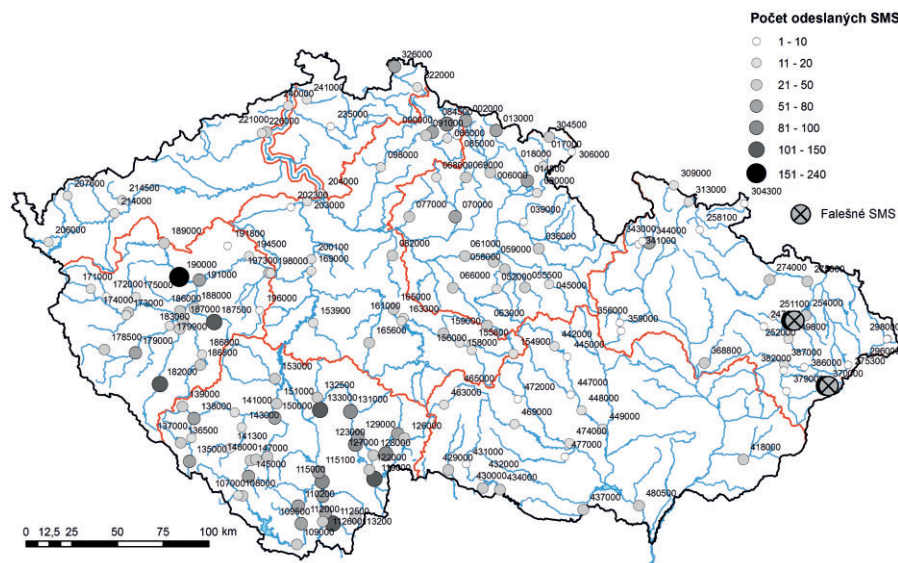


Obr. 2 Počet odeslaných varovných SMS z vodoměrných stanic z územní působnosti jednotlivých poboček ČHMÚ během povodní v červnu 2013.

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.

pčet, 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 uživatělem: 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.

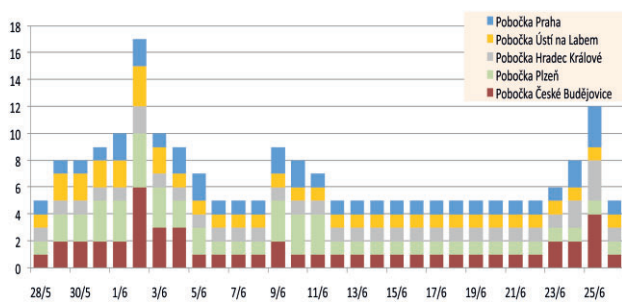
Varovné SMS jsou důležitou informací zejména u povodní s rychlým nástupem pro aktivizaci povodňových orgánů. Během měsíce června 2013 bylo automatickými stanicemi ČHMÚ vygenerováno a odesláno téměř 6 000 varovných SMS. Z tohoto čísla největší část připadá na vodoměrné stanice v územní působnosti poboček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

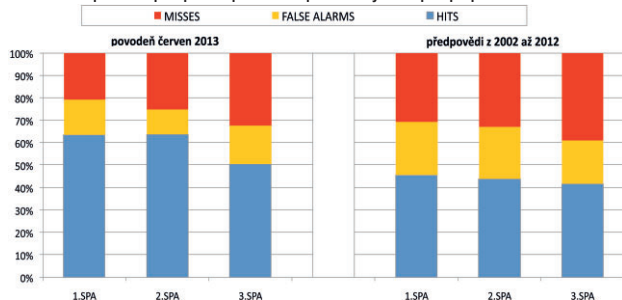
4.2 Souhrnné vyhodnocení hydrologických modelových předpovědí

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 předpovědaného jevu, viz kontingenční tabulka.

Jev pozorován → Jev předpovídán ↓	Ano	Ne
Ano	HIT	FALSE ALARM
Ne	MISS	–

Předpovědaným 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

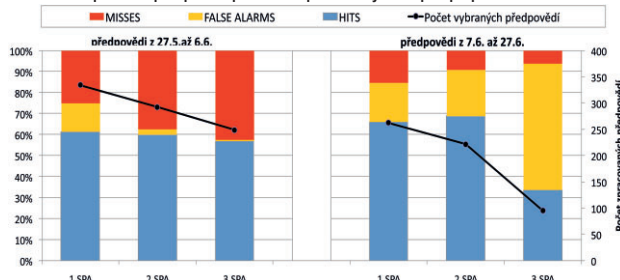
Srovnání úspěšnosti předpovědí překročení povodňových stupňů při povodni v červnu 2013



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.

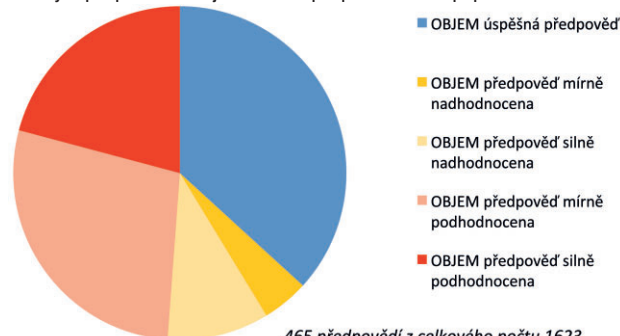
Fig. 6. Categorical evaluation of the success rate of hydrological forecasts during the June 2013 floods.

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).

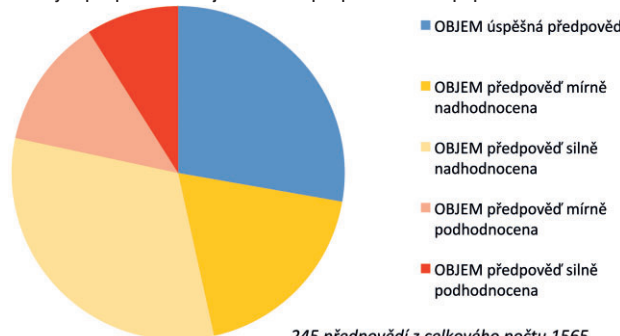
Podíl falešných varování (FALSE ALARM) a chybějících varování (MISS) je výrazně odlišný u první, hlavní vlny povodně ze začátku června a dalších podružných vln, které následovaly v druhé a třetí červnové dekádě. Z výrazné převahy četnosti předpovědí v kategorii MISS nad FALSE ALARM (obr. 6) vyplývá,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

Odchylna předpovědaného objemu odtoku u předpovědí na vzestupu povodně z 28. 5.–6. 6.



465 předpovědí z celkového počtu 1623

Odchylna předpovědaného objemu odtoku u předpovědí na vzestupu povodně z 7. 6.–27. 6.



245 předpovědí z celkového počtu 1565

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.

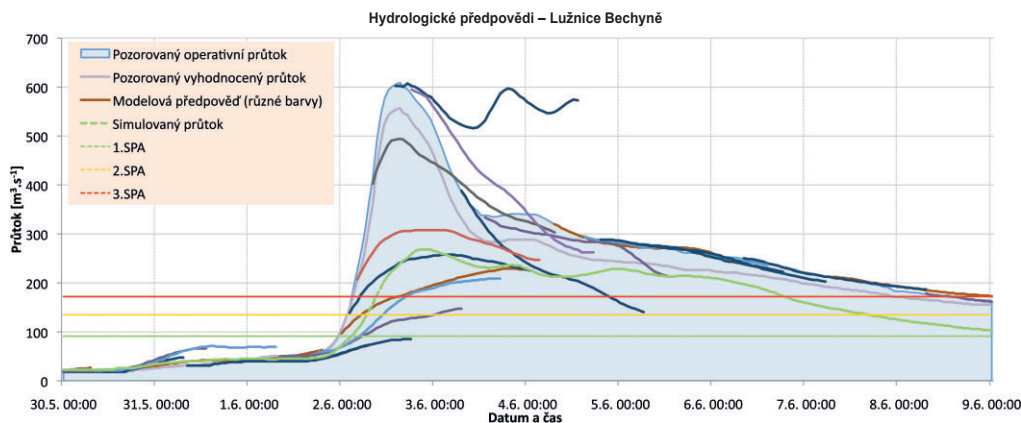
těji podhodnocovaly skutečný průtok. Hydrologické předpovědi ve druhé a třetí červnové dekádě naopak častěji varovaly před povodňovými stavy, které nakonec nebyly dosaženy (obr. 6).

Další použitou metodou hodnocení bylo porovnání předpovědního 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.

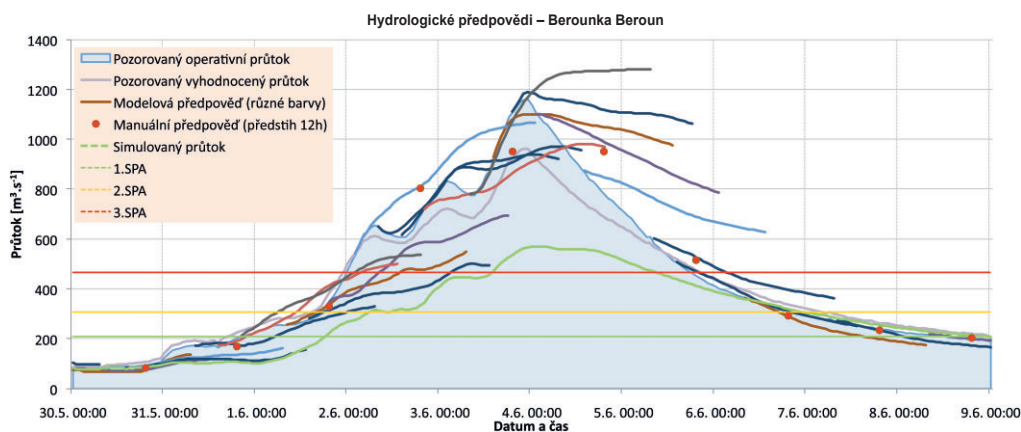
V době vzestupu hlavní povodňové vlny ze začátku června byla 1/3 objemových předpovědí úspěšných a téměř polovina měla předpovídaný objem vody mírně nebo silně pod-

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-



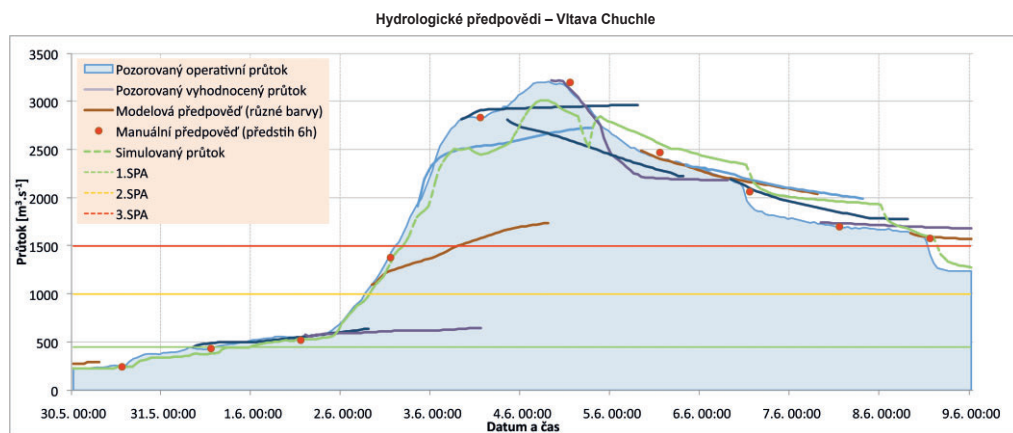
Obr. 8 Hydrologické předpovědi a zpětné simulace průtoku modelem podle skutečných srážek.

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 podložím, 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 situací 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 předpovědi 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 Berouňkou 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 kulminálního průtoků byla vyhodnocena na 20 až 50 let [3]) vytvářen z jedné třetiny přítokem z Berounky a ze dvou třetin odtokem z kaskády, byla úspěšnost předpovědi 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 podceňena.

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 předpovědi při epizodách z druhé a třetí červnové dekády, v tomto případě šlo ovšem o opačný efekt – nadhodnocení předpovědi.

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/23sacma.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. – DAŇHELKA, 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

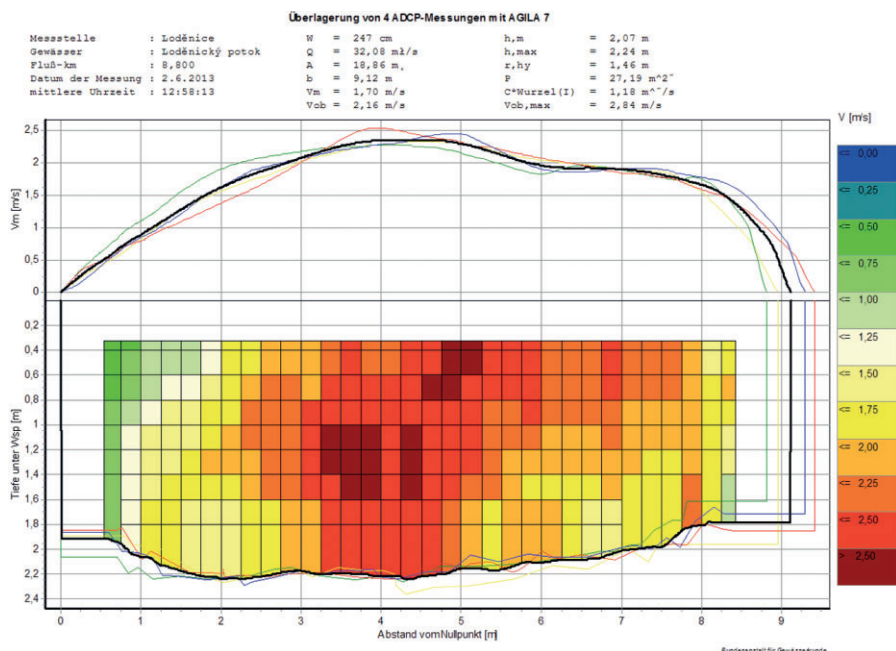
Hlavní pracovní náplní hydrologů ve skupině povrchových vod na pobočkách Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) je zajišťování monitoringu množství protékající vody v pozorovaných měrných profilech na vodních tocích. Ani dnešní technika hydrologům zatím neumožňuje kontinuálně automaticky měřit průtok. 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 %.

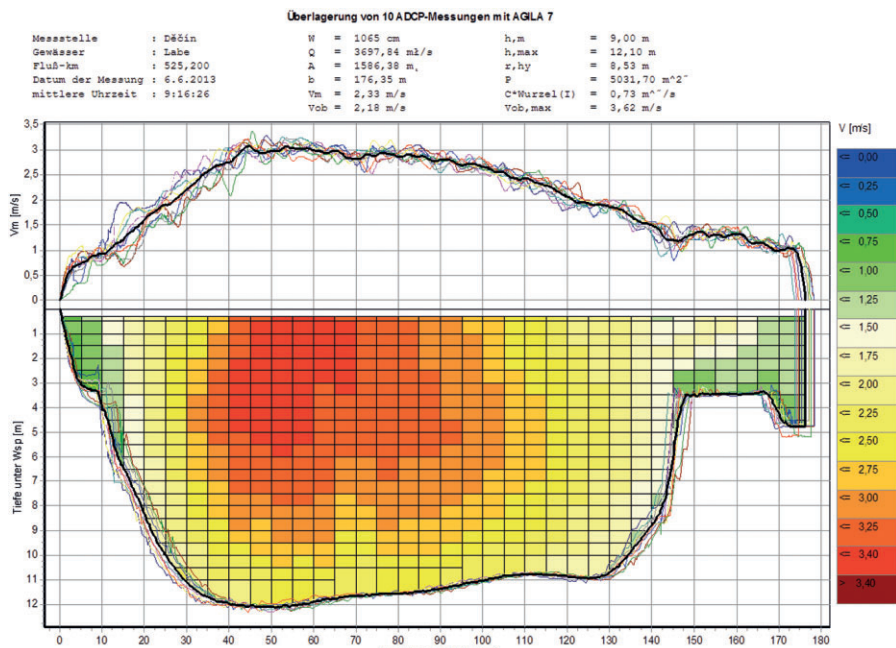
2. MĚŘENÍ ZA POVODNĚ 2013

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 Lodnice (most Hostín), Lodnický 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: CHMI Lodnice (the Hostin bridge), the Lodnický 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, $Q_{\text{měř}} = 3700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{\text{kulm}} = 3740 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

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, $Q_{\text{measured}} = 3,700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{\text{peak}} = 3,740 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

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 přívalem deště. Hydrologové proto měřili 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 vzestupy hladin v tocích. Aktuální ranní situace v neděli 2. 6. 2013 potvrdila již velmi hroznou předpověď ze sobotního večera. Na většině menších vodních toků, které patří do působnosti ČHMÚ, pobočky Praha, již byly dosaženy 3. SPA. Radarové mapy [3] ukázaly úhrny srážek za posledních 24 hodin někde i více než 100mm. 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 přemisťuje 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 rychlosti 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 přepočítání průtoků. Pro zpřesnění výsledků se měření několikrát opakuje. Tato měření se následně 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 Orlíkem a Labe bez většiny přítoků od Nymburka po státní hranici.

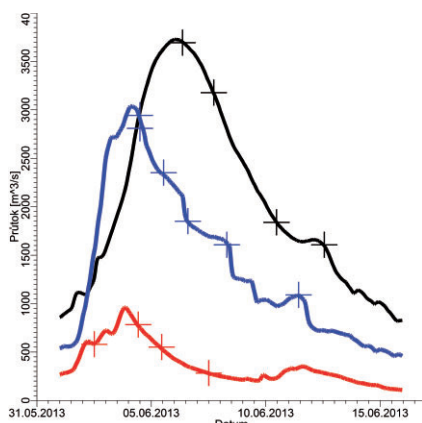
nalezen žádný vhodný profil, ve kterém by bylo možné průtok bezpečně a úspěšně změřit. Další lokality však byly použitelné. Kulminace proběhla v Hředlích na Stropnickém potoce a v Berouně na Litavce. Další měření se povedlo uskutečnit na Berounce v Berouně z lávky pro pěší, spojující centrum města s 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-letostí 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 silnici v zálivu vodní nádrže Slapy. Za normální situace zde má voda již nulovou rychlost způsobenou vzduším přehradou. Tentokrát se však voda z Brziny valila propustkem pod silnici 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 – Berounka (červená), Praha–Chuchle – Vltava (modrá), Děčín – Labe (černá). Křížky znázorňují provedená měření průtoků přístrojem ADCP.

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

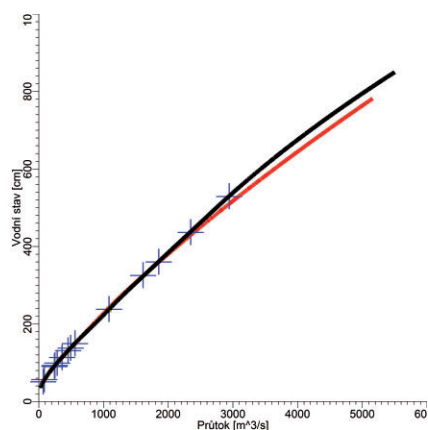
ci, podobně jako v neděli, měřidlo ADCP – Rio Grande, a zaměřila se tedy na měření vysokých průtoků blízko kulminací. Druhá skupina měřila s menším člunem ADCP – Stream Pro. Tento člun není příliš vhodný pro rychle tekoucí vodní toky; maximální možná měřitelná rychlost je cca $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 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 průtoků, 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 (Rokytky, Výrovka, Kocába). V úterý bylo po kulminacích 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-letostí 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 objíždných 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 průtoků v měrných profilech na stanicích ČHMÚ postupně opakovala, aby měrné křivky průtoků mohly být dále upřesněny. Tam, kde to již plavební podmínky umožnily, byl postupně k přetahování měřícího člunu ADCP využíván i nafukovací motorový člun; např. v Chuchli, v Mělníku, v Ústí nad Labem nebo ve Hřensku.



Obr. 4 Měrná křivka průtoků (MKP) pro stanici Praha–Chuchle. Křížky znázorňují provedená měření průtoků 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 – Brzina, 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-Brzina 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 povodňová 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, $Q_{měř} = 41,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{kulm} = 103 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, přemístování 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

Přes velké množství měření průtoků, které bylo provedeno ve stanicích během povodně, bude ještě třeba některé profily (Výrovka – Plaňany, Botič – přítok do Hostivařské přehrady, Rokyta – 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 proteklého 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 rovinnatého a rybníčního charakteru.

4. ZÁVĚR

Oproti roku 2002, kdy ve významné části staniční sítě 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	Svídnice	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	Heřmaň	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 vzduší způsobené tlivem 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] KOČMAN, T. a skupina OHPT, 2007. Metodický pokyn NH 3/2007 Měření a vyhodnocování průtoků systémy ADCP.
- [3] NOVÁK, P. – KYZVAROVÁ, 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 [mm]	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
Radíč	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.	Konopištský 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
Svídnice	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



ÚPRAVA CITACÍ V METEOROLOGICKÝCH ZPRÁVÁCH

Citování v textu

Jméno tvůrce a rok vydání citovaného zdroje jsou uvedeny v textu ve formě jméno, rok v kulatých závorkách. Pokud se jméno tvůrce vyskytuje přirozeně v textu, následuje pouze rok v kulatých závorkách. Pokud mají dva nebo více zdrojů stejného tvůrce i rok vydání, odlišují se malými písmeny abecedy přiřazenými k roku vydání. V takovém případě se písmena uvádí i v závěrečném soupisu bibliografických citací. Pokud je nutné uvést dva či více zdrojů, uvádějí se v jedné kulaté závorkách a oddělují se středníkem. V případě tří a více autorů se píše do závorky pouze první a doplňuje se zkratkou et al. V případě chybějícího autora se použije jméno vydavatele (řadí se chronologicky podle roku vydání).

Příklad citování:

Úhrny jsou nižší zejména v zimním období (Vavruška 2011), což potvrzuje i Coufal (1973) a lze ověřit na portále ČHMÚ (ČHMÚ 2013). Více podrobností je uvedeno v první části hodnocení meteorologických prvků na výzkumné ploše Jizerka (Balcar et al. 2012) a dalších studiích (Balcar, Slodičák 2005; Vacek 2003).

Příklady citačního stylu:

Monografie

KRŠKA, K., ŠAMAJ, F., 2001. Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. Praha: Nakladatelství Karolinum. ISBN 80-7184-951-0.

Seriálová publikace

KŘIVANCOVÁ, S., VAVRUŠKA, F., 1997. Základní meteorologické prvky v jednotlivých povětrnostních situacích na území České republiky v období 1961–1990. *Národní klimatický program České republiky*, sv. 27. Praha: ČHMÚ. ISBN 80-85813-52-1, ISSN 1210-7565.

Seriálová publikace – časopis

RACKO, S., SIMON, A., SOKOL, A., 2002. Niektoré z príčin búrok v zimnom období. *Meteorologické Zprávy*, roč. 55, č. 3, s. 69–81. ISSN 0026-1173.

Seriálová publikace – sborník

VAVRUŠKA, F., 1999. Porovnání měření teploty vzduchu na klasických a automatických meteorologických stanicích. In: *Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu*, sv. 47, Praha: ČHMÚ, s. 53–56. ISBN 80-85813-65-3, ISSN 0232-0401.

Elektronická citace

APPEL, K. W., GILLIAM, R. C., 2008. Overview of the Atmospheric Model Evaluation Tool (AMET). 7th Annual CMAS Conference, Chapel Hill, NC, 6.–8. October 2008. [online]. [cit. 14. 2. 2011]. Dostupné z WWW: http://www.cmascenter.org/conference/2008/slides/appel_amet_cmas08.ppt.

ČHMÚ, 2002. Hlásné profily povodňové služby [online]. [cit. 10. 10. 2002]. Dostupné z WWW: <http://hydro.chmi.cz/inetps/main.php>

Více podrobností na http://casz.chmi.cz/Pokyny_pro_autory.pdf



NABÍDKA PUBLIKACE ČHMÚ

**HYDROLOGICKÁ ROČENKA
ČESKÉ REPUBLIKY 2012**

**HYDROLOGICAL YEARBOOK
OF THE CZECH REPUBLIC 2012**

Praha: ČHMÚ 2013. 154 stran, z toho 43 barevných stran map, grafů či obrázků.
Tištěná publikace s vloženým CD ROM. Cena 685,- Kč.

ISBN 978-80-87577-25-7.

Ročenka přináší komplexní informace o pozorování hydrologických prvků, přičemž stěžejním obsahem jsou výsledky hydrologické bilance množství vody a jakosti vody. Zpracování hydrologické bilance je provedeno podle platné legislativy (zákon o vodách č. 254/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů, vyhláška MZe č. 431/2001 Sb.), která je v souladu s požadavky a směrnicemi Evropského společenství. Cílem je v opakující se textové, tabelární a grafické formě umožnit průběžné sledování prostorových a časových změn vodního režimu. Prezentovány jsou rovněž aktuální úkoly hydrologie a významné regionální události. Přehled o pozorovacích objektech a profilech lze získat jak z připraveného mapového projektu, tak z přehledných seznamů.

Z obsahu:

- HYDROLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ROKU 2012
- HYDROLOGICKÁ BILANCE MNOŽSTVÍ VODY (hodnocení po jednotlivých dílčích povodích)
- HYDROLOGICKÁ BILANCE JAKOSTI VODY (hodnocení celkové a po jednotlivých dílčích povodích)
- ZPRACOVÁNÍ DAT A JEJICH POSKYTOVÁNÍ VEŘEJNOSTI
- AKTUÁLNÍ A REGIONÁLNÍ PROBLÉMY A ÚKOLY HYDROLOGIE
- PŘEHLED PUBLIKOVANÝCH PRACÍ V ROCE 2012
- PŘEHLED HYDROLOGICKÝCH POZOROVÁNÍ V ROCE 2012
- PŘEHLED HYDROLOGICKÝCH PRACOVIŠŤ ČHMÚ

Kompletní publikace je dostupná na internetové adrese <http://voda.chmi.cz/roc/>.
Ročenka je vydávána v českém jazyce. V anglickém jazyce je uvedeno summary v úvodu ročenky i u jednotlivých kapitol a názvy všech grafických příloh.

Publikaci lze objednat na adrese:
Český hydrometeorologický ústav, SIS,
Iva Sieglarová, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany
Tel.: 244 032 721, e-mail: iva.sieglarova@chmi.cz

Na objednávce uvádějte svoje IČO