

METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

Meteorological Bulletin

ROČNÍK 56 (2003)

V PRAZE DNE 31. ŘÍJNA 2003

ČÍSLO 5

Miloslav Müller – Vilibald Kakos (Ústav fyziky atmosféry AV ČR)

HYDROMETEOROLOGICKÉ SROVNÁNÍ POVODNÍ V SRPNU 2002 S VYBRANÝMI HISTORICKÝMI PŘÍPADY DEŠŤOVÝCH POVODNÍ NA VLTAVĚ V PRAZE

Hydrometeorological comparison between the floods in August 2002 and selected historical rain floods on the Vltava river. The large floods from August 2002 were compared with two similar historical events: from 1890 and 1897. There was studied the synoptical situation, the saturation of the Vltava basin before all these events, the causal precipitation and the hydrological consequence. It was documented that many factors impacted the development of the flood situation in August 2002 more negatively than during both historical events. It was also made a rough comparison between this one and the flood from year 1432 which was the biggest known flood on Vltava until 2002.

KLÍČOVÁ SLOVA: povodeň dešťová – povodeň historická – Vltava – nasycenost povodí – srážky příčinné

1. ÚVOD

Povodně na území Čech v srpnu 2002 byly svou velikostí i rozsahem největší za posledních zhruba 150 let od začátků hydrologických měření a pravděpodobně i v historické době. Vytvořit podrobnou analýzu této události má za cíl projekt „Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002“, který zadalo MŽP ČR a na jehož řešení v současnosti pracuje řada institucí. Jako součást tohoto projektu bylo provedeno důkladné porovnání hydrometeorologických podmínek v létě 2002 a během obdobných historických událostí. Některé výsledky této práce zahrnuje výzkumná zpráva [10], vypracovaná kolektivem pracovníků ÚFA AV ČR. Jak ukazují např. práce [11] a [3], má tento způsob zkoumání aktuálních extrémních povodní v naší odborné literatuře dlouhou tradici.

Hlavním motivem tohoto článku je snaha přispět k odhalení charakteristických rysů, které se vyskytují v případech největších dešťových povodní bez vlivu tání sněhové pokrývky v povodí Vltavy. Zároveň byly hledány takové znaky, jimiž se povodňová událost ze srpna 2002 odlišovala od starších, co do velikosti povodně na Vltavě v Praze méně výrazných případů. Vzhledem k tomu, že se srpnové povodně r. 2002 na Vltavě vyskytly ve dvou epizodách v rozmezí necelého týdne, provádíme v této práci porovnání jen s druhou z nich, která bezesporu dosahovala větší extremity jak z hlediska srážek, tak i následných povodní.

Těžištěm článku je porovnání povodňové situace v druhé dekádě srpna 2002 se dvěma historickými událostmi v září 1890 a na přelomu července a srpna 1897, které již na první pohled vykazují určité podobné rysy s případem z roku 2002.

Po úvodní kapitole, v níž je zdůvodněn výběr událostí a uvedeny použité prameny, následují další kapitoly, věnované synoptické situaci během událostí, předchozím srážkám, příčinným srážkám a jejich hydrologické odezvě. K této hlavní části je připojeno srovnání s největšími dešťovými povodněmi na Vltavě v Praze během historické doby s využitím záznamů o jejich kulminačních stavech pozorovaných u historického vodočtu „Bradáče“. Byl kladen hlavní důraz na porovnání s největší z nich, o níž byly k dispozici písemné záznamy, a to z roku 1432.

2. POROVNÁNÍ POVODNÍ Z LET 2002, 1890 A 1897

2.1 Výběr porovnávaných událostí – datová základna

Období, ze kterého můžeme vybírat povodňové události k důkladnějšímu hydrometeorologickému porovnání s největšími případy povodní v Čechách, začíná koncem 70. let 19. století, kdy zde byla vybudována poměrně velmi hustá síť srážkoměrných stanic. V rámci tohoto období byly vybrány dva případy dešťových povodní na Vltavě v Praze, které vykazují podobné znaky jako událost r. 2002. První z těchto událostí je povodeň počátkem září 1890, která až do srpna 2002 představovala největší letní povodeň na Vltavě v Praze od roku 1824 [8] a podle údajů v [6] od roku 1432. Druhou vybranou historickou povodní je událost z přelomu července a srpna 1897. Tehdejší kulminační průtok Vltavy sice zdaleka nedosahoval velikosti z let 2002 i 1890, avšak úhrn příčinných srážek v povodí Vltavy byl dokonce vyšší než v obou těchto srážkových epizodách (tab.1). Pro snadnější porovnání případů byly časové údaje vztaženy ke dnům kulminace Vltava-

vy v Praze, které jsou označeny jako den D; dny předcházející D-1 atd. Uvedené tři události byly porovnány z řady hledisek, která ovlivnila množství srážek i následných povodní.

Synoptická situace při povodních v roce 1890 je dosti podrobně popsána v [1], nověji v [5]. Událost z roku 1897 je z tohoto hlediska poprvé zkoumána v [11], dále např. v [3] a [13]. Srpnovou událost 2002 ze synoptického hlediska důkladně analyzují např. práce [14] a [9].

Předchozí a příčinné srážky byly charakterizovány na základě denních úhrnů srážek, jejichž hodnoty pro historické případy byly převzaty z tehdejších ročenek [2] a [17]. V ročence [17] jsou uvedeny denní úhrny srážek v roce 1890 jen z několika srážkoměrných stanic v každém dílčím povodí českého Labe (celkem 71, z toho 34 v povodí Vltavy), i když hustota staniční síť byla tehdy již prakticky stejná jako dnes. Z uvedeného důvodu byla doplněna data z dochovaných originálních výkazů srážkoměrných a klimatologických stanic, které jsou uloženy v archivu ČHMÚ v Brozanech nad Ohří. Výsledkem bylo zvýšení počtu stanic, pro něž máme k dispozici data o srážkách v r. 1890, na celkem 127 stanic v Čechách, z toho 60 v povodí Vltavy.

Pro událost z roku 1897 je k dispozici mnohem více dat. V ročence [2] jsou zaznamenány údaje z více než 330 českých stanic, z toho 149 v povodí Vltavy, na základě kterých bylo možno zkoumat předchozí srážky. Kromě toho jsou v práci [11] uvedeny denní úhrny příčných srážek z dalších ca 230 českých stanic. V obou publikacích se vyskytuje nemalé množství chyb, způsobených nejčastěji posunem úhrnů do následujícího dne, kdy byla hodnota úhrnu za předchozí den naměřena. Chyby tohoto druhu byly odstraňovány srovnáním s hodnotami ze sousedních stanic, v některých případech i s originálním výkazem příslušné stanice. Několik stanic, jejichž hodnoty zůstaly sporné, bylo vypuštěno. Celkový počet stanic, jejichž měření byla využita pro analýzu příčných srážek v červenci 1897, tak činí 563 na území Čech, z toho 281 v povodí Vltavy.

Data o srážkách v roce 2002 poskytl ČHMÚ. Tvoří je soubor denních úhrnů srážek z ca 800 stanic na území ČR, z toho 278 v povodí Vltavy. Srážkám v srpnu 2002 se podrobněji věnuje např. [14] a [7]. Z ČHMÚ rovněž pocházejí hodnoty

úhrnů předchozích srážek API30 k 11. 8. 2002 (viz kap. 2.3) i jejich normalů za období 1961–90, které umožnily vzájemné porovnání zkoumaných povodní z hlediska předchozí nasycenosti povodí.

Vlastní průběh povodní v roce 1890 je popsán již v [1], dále pak např. v [5]. Povodní v roce 1897 se podrobně zabývá především dobová monografie [11], v poslední době pak např. [3]. Práce [11] si všímá i události z r. 1890 za účelem jejího porovnání s případem z r. 1897. Průběhu povodní v roce 2002 je věnována celá řada prací, např. [12]. Zpřesněné hodnoty kulminačních průtoků a dob kulminací jednotlivých toků jsou nejnověji uvedeny v [15].

2.2 Synoptické podmínky

Přehled synoptických podmínek, při nichž může na našem území dojít k silným srážkám trvalého charakteru a následnému vzniku povodní, byl již učiněn v řadě prací, např. [13], konkrétně pro Vltavu v Praze v [4]. Na tomto místě se proto omezíme pouze na shrnutí nejvýraznějších shodných rysů synoptické situace během zkoumaných povodní, přičemž poukážeme i na určité odlišnosti.

V případě události r. 2002 a 1897 postupovala několik dní před dnem kulminace Vltavy v Praze zvolna přes střední Evropu k východu až severu tlaková níže, vzhledem k ročnímu období poměrně hluboká. V její týlové části byl značný horizontální tlakový gradient, takže v povodí Vltavy se vyskytoval čerstvý až silný vítr převážně ze severního kvadrantu. Silné srážky, které zde vypadávaly v oblasti s podnormálními teplotami, byly vlivem tohoto proudění výrazně zesilovány na návětrí horských překážek, a to především Novohradských hor, Šumavy a Brd (obr. 5a,c).

Poněkud problematické je zhodnocení synoptické situace v roce 1890. Během srážkové epizody 1.–4. 9. se nad Čechami vyskytoval výrazný horizontální tlakový gradient [1]. Vlivem převládajícího přízemního proudění ze severního kvadrantu se i v tomto případě projevil vliv návětrí zejména Novohradských hor na zesílení srážek (obr. 5b). Přejít do blízkosti našeho území však nelze z velmi zjednodušených přízemních map s malou hustotou staniční sítě doložit [5]. Lze z nich vysledovat pouze pomalý postup mělké tlakové níže přes Uhry k severovýchodu. Přejít do blízkosti našeho území však lze předpokládat ve vyšších hladinách, čemuž podle [1, 5] nasvědčují i záznamy o směru větru z horských stanic.

Událost z konce července 1897 se od srpnového případu r. 2002 lišila zejména vývojem v závěru srážkové epizody. Zatímco v r. 2002 se cyklona rychle odsunula ze střední Evropy k východu na Ukrajinu, v r. 1897 došlo k retrogradnímu postupu cyklony zpět k jihozápadu do Čech, což způsobilo značné rozdíly časoprostorového rozložení příčných srážek (tab. 1 a obr. 4c až 4e). Jde zatím o jediný případ takového postupu tlakové níže přes naše území [13].

2.3 Předchozí nasycenost povodí

Značnou odlišnost mezi porovnávanými událostmi najdeme při srovnání nasycenosti území Čech předchozími srážkami. Zkoumané případy byly z tohoto hlediska charakterizovány pomocí tzv. úhrnu předchozích srážek (API) za

Tab. 1 Souhrnné porovnání podmínek při povodních v letech 2002, 1890 a 1897. Charakteristiky nejvíce nebezpečné z hlediska velikosti povodně jsou označeny tučně, nejméně nebezpečné kurzívou.

Table 1. The comparison of the conditions between the floods in 2002 and 1890, 1897. The most dangerous characteristics are bold, the less dangerous in italics.

	2002	1890	1897
Průměr API30 [mm] v povodí Vltavy k danému dni	11.8. 80,2	1.9. 58,5	27.7. 22,7
Trvání příčných srážek (počet dnů)	11.-13.8. 3	1.-4.9. 4	27.-31.7. 5
Celkový úhrn srážek [mm] v povodí Vltavy	110,7	108,7	127,4
Převažující pohyb pole srážek mezi D-3 a D-1	JZ-SV	JZ-SV	V-Z
Průměrný úhrn srážek za den D-3 [mm] v povodí Vltavy	11.8. 36,0	1.9. 29,5	28.7. 9,5
Průměrný úhrn srážek za den D-2 [mm] v povodí Vltavy	12.8. 66,6	2.9. 39,6	29.7. 56,5
Nejvyšší naměřený denní úhrn srážek [mm] v povodí Vltavy	11.8. 157,4	2.9. 97,6	29.7. 128,0
Průtok Vltavy v Praze v patě vlny [m ³ .s ⁻¹]	11.8. >1000	2.9. cca 250	29.7. cca 70
Maximální průtok Vltavy v Praze [m ³ .s ⁻¹]	14.8. 5160	4.9. 3980	31.7. 2090

30 dní před začátkem příčných srážek, vypočteného pomocí vzorce

$$API30 = \sum_{n=1}^{30} S \cdot 0,93^n,$$

kde S značí denní úhrn srážek v mm na příslušné stanici a n pořadí dne směrem nazpátek od prvního dne příčných srážek. Poslední den, který do tohoto úhrnu spadá v našem případě, je tedy 10. 8. 2002, resp. 31. 8. 1890 a 26. 7. 1897.

Průměrné hodnoty API30 pro povodí Vltavy, vypočtené jako aritmetický průměr hodnot gridů o velikosti 6 x 4 km, jsou uvedeny v tab. 1. Srovnání je sice ztíženo odlišným počtem stanic, pro něž máme k dispozici vstupní data z jednotlivých let (viz kap. 2.1), rozdíly mezi hodnotami API30 pro jednotlivé události jsou však dostatečně signifikantní. Přehled o rozložení předchozí nasycenosti českých povodí v těchto dnech nabízí obr. 1, na němž jsou do mapek vykresleny přebytky, resp. deficity předchozích srážek na území Čech, a to opět k prvnímu dni každé ze srážkových epizod. Jde o rozdíly hodnot API30 a normálů API30 za období 1961–90 (podklady ČHMÚ). Analogický obrázek, vytvořený na základě menšího počtu stanic, je uveden v názornějším barevném provedení již v [10],

Dne 11. 8. 2002 vykazovalo prakticky celé povodí Vltavy značně nadnormální nasycenost, a to především následkem první srpnové srážkové epizody 6.–7. 8. Vzhledem k tomu, že silné deště tehdy postihly především jižní Čechy, vyskytoval se zde i největší přebytek předchozích srážek vůči normálu. V některých částech povodí Malše byly hodnoty API30 dokonce o více než 150 mm vyšší než dlouhodobý průměr (obr. 1a).

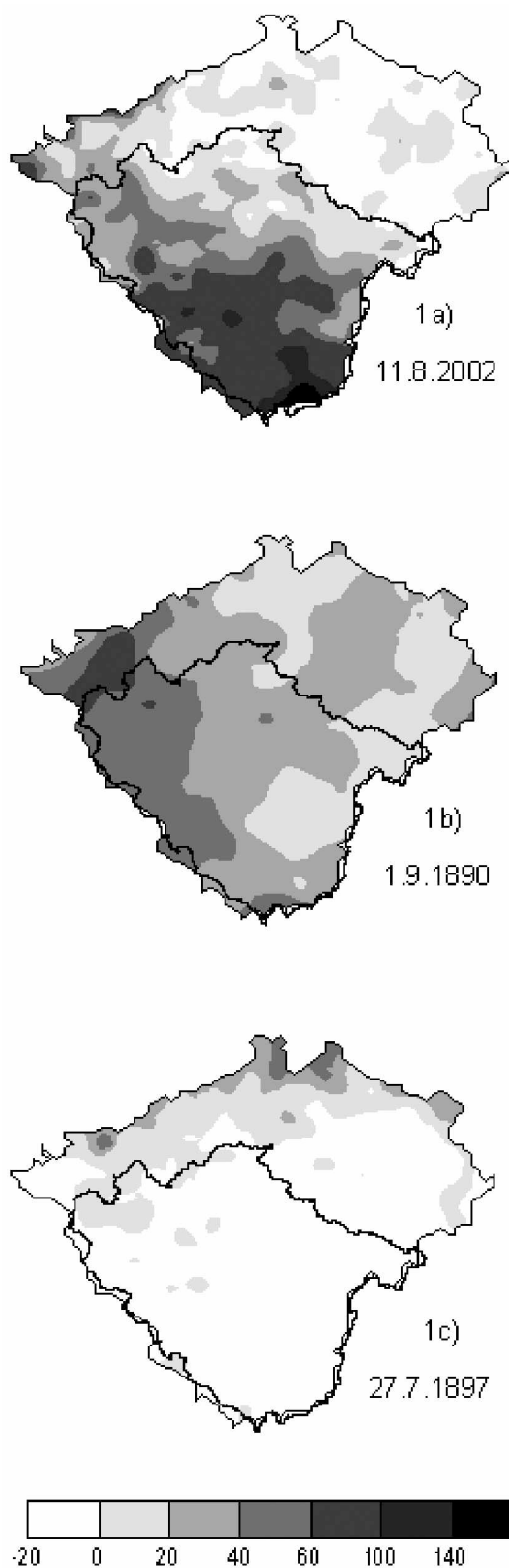
Dne 1. 9. 1890 bylo povodí Vltavy rovněž nadnormálně nasyceno předchozími srážkami, přičemž hlavní roli hrály deště ve dnech 24.–26. 8. 1890 [17]. Tehdejší srážkové úhrny se však zdaleka nepřiblížily hodnotám, dosaženým během první srážkové epizody v srpnu 2002, takže i předchozí nasycenost byla oproti roku 2002 výrazně menší (tab.1). Její nejvyšší hodnoty se počátkem září 1890 vyskytovaly v povodí Mže (obr. 1b).

Zcela jinak vypadalo rozložení nasycenosti povodí v Čechách 27. 7. 1897, kdy srážkově chudé předcházející období způsobilo deficit předchozích srážek. Významnější přebytky se tehdy vyskytly pouze mimo povodí Vltavy při severní hranici dnešní ČR (obr. 1c).

Předchozí nasycenost povodí Vltavy zásadně ovlivnila velikost průtoků před nástupem jednotlivých povodní i v jejich průběhu. Velikosti průtoku Vltavy v Praze v patě průtokové vlny povodně, jsou uvedeny v tab.1. Hodnota pro 11. 8. 2002 je převzata z [12], pro 29. 7. 1897 z [11], pro 2. 9. 1890 byla přepočtena z údaje o naměřeném vodním stavu, uvedeného v [1], a to pomocí číselné měrné křivky v [8]. Z tohoto důvodu jde pouze o přibližné hodnoty. Z porovnání je zřejmé, že průtok Vltavy v Praze 11. 8. 2002 výrazně převyšoval průtok před začátkem obou zkoumaných historických povodní, a to i bez vlivu „předvypouštění“ vltavské kaskády, které poněkud zvýšilo průtok v patě vlny. Z hlediska rozdílu mezi průtokem Vltavy v patě a ve vrcholu průtokové vlny povodně se událost ze srpna 2002 od obou zbývajících neodlišuje již tak výrazně jako z hlediska velikosti kulminačního průtoku.

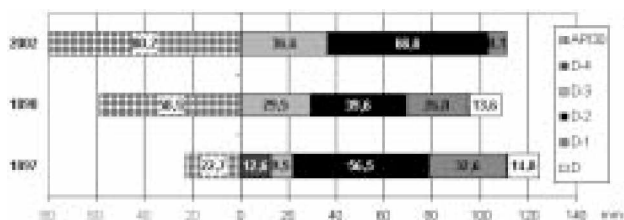
2.4 Časoprostorové rozložení příčných srážek

Průměrné úhrny příčných srážek v povodí Vltavy jsou uvedeny na obr. 2 (jednotlivé denní úhrny) a v tab.1 (celkový



Obr. 1 Předchozí nasycenost českých povodí před povodněmi v letech 2002, 1890 a 1897 – rozdíl API30 a normálu API30 za období 1961–90 pro první den příčných srážek [mm]. V mapce je též vyznačena hranice povodí Vltavy.

Fig. 1. The saturation of Czech basins (with marked Vltava basin area) before the floods in 2002, 1890 and 1897 – the difference between API30 and the API30 standard from years 1961–90 for the first day of the causal rain [mm].



Obr. 2 Průměrná předchozí nasycenost povodí (API30) a průměrné denní úhrny srážek [mm] v povodí Vltavy při srážkových epizodách v letech 2002, 1890 a 1897. Den D představuje den kulminace Vltavy v Praze.

Fig. 2. The average API30 and diurnal precipitation amounts [mm] in Vltava basin during the events of 2002, 1890 and 1897. The day of Vltava culmination in Prague is marked with „D“.

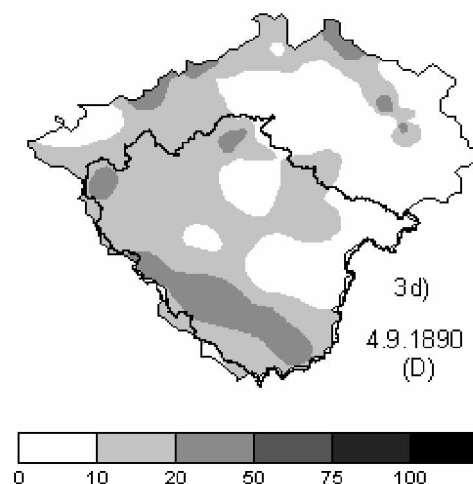
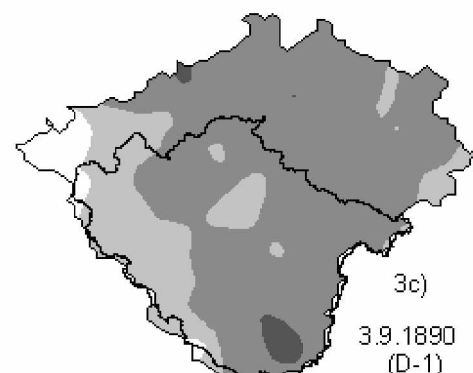
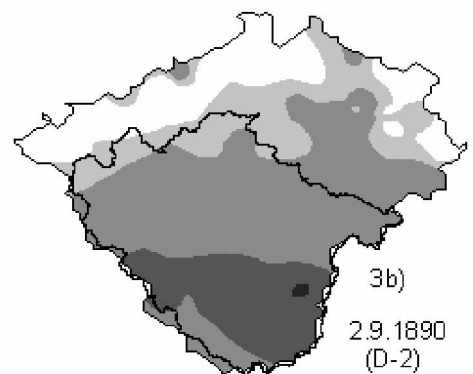
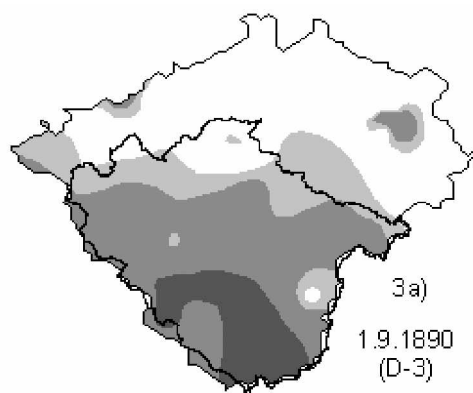
úhrn). Pro událost r. 1890 byly převzaty údaje z [11], neboť nepochybně vycházejí z většího množství stanic, než kolik jich máme k dispozici v současnosti. Hodnoty z července 1897 byly vypočteny stejnou metodou jako úhrn předchozích srážek (viz kap. 2.3), díky čemuž byly opraveny nepřesné údaje z [11], které byly způsobeny výše uvedenými chybami ve vstupních datech. Vypočtené hodnoty se však od [11] neliší o více než 3 mm. Pro událost r. 2002 jsou příslušné hodnoty převzaty z [14]. Jako dny příčných srážek byly uvažovány 11.–13. srpen 2002, 1.–4. září 1890 a 27.–31. červenec 1897.

Na obr. 3 a 4 je možné sledovat směr pohybu pole srážek v rámci historických srážkových epizod. Událost z roku 2002 je takto dokumentována v [7]. Představu o plošném rozložení celkových úhrnů příčných srážek poskytuje obr. 5. Je pouze třeba si uvědomit, že obr. 3 a 5b, týkající se události r. 1890, vycházejí z menšího počtu stanic, což způsobuje zdánlivou větší plošnou rovnoměrnost srážek. Počet stanic je nicméně vyšší než v případě obdobných obrázků v [10].

Mezi porovnávanými událostmi lze z hlediska rozložení srážek nalézt celou řadu shodných rysů, zároveň však i výrazné odlišnosti. Jak již bylo uvedeno, byl nejvyšší úhrn příčných srážek v povodí Vltavy zaznamenán v roce 1897. V srpnu 2002 byl srážkový úhrn v tomtéž povodí prakticky shodný jako v září 1890 (tab. 1). Obě posledně jmenované události vykazují i řadu dalších podobných rysů: pole srážek se během obou srážkových epizod posunovalo od jihozápadu k severovýchodu (obr. 3) a [7]. Největší úhrn srážek byl zaznamenán dva dny před kulminací Vltavy v Praze, přičemž značné množství srážek vypadávalo již předchozí den (obr. 2). Největší srážkové úhrny v povodí Vltavy byly zaznamenány na jejím horním toku (obr. 5).

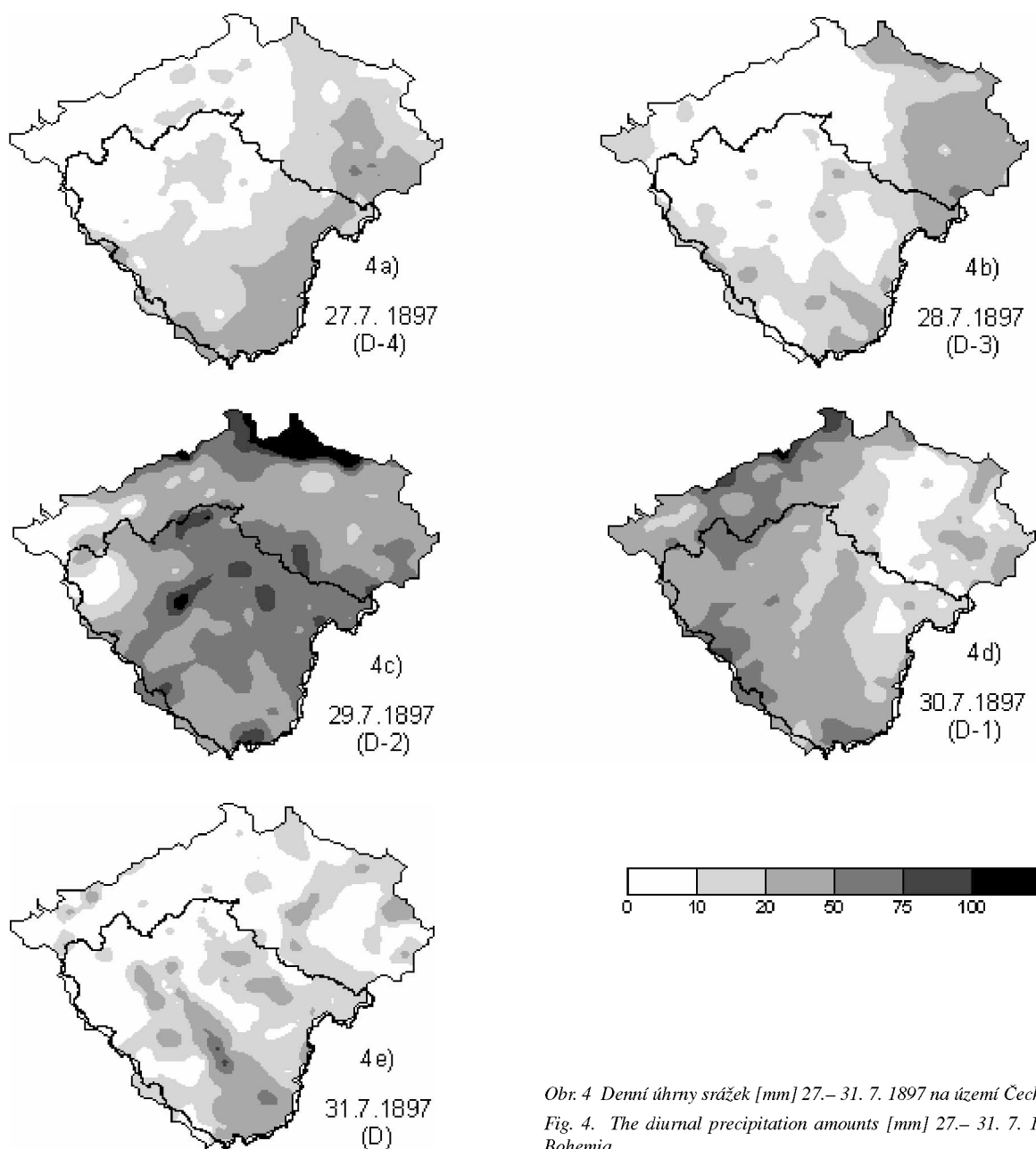
Nejdůležitější rozdíl v rozložení srážek počátkem září 1890 oproti události 2002 představuje větší rovnoměrnost jejich časového rozložení do většího počtu dní (obr. 2). Zatímco v roce 2002 vypadávaly srážky v povodí Vltavy pouze tři dny, přičemž 13. 8. byl jejich úhrn právě v povodí Vltavy již velmi malý, byly srážky v roce 1890 rozděleny do čtyř dní, s výjimkou posledního z nich vcelku rovnoměrně. S tím také souvisí fakt, že podle [17] činil nejvyšší naměřený denní úhrn srážek v září 1890 pouze 97,6 mm, a to 2. 9. na stanici Kopce poblíž Jindřichova Hradce (tab.1). Nejvyšší denní úhrn srážek v povodí Vltavy během druhé srážkové epizody v srpnu 2002 byl naměřen 11. 8. 2002 na stanici Slavkov v okrese Český Krumlov (157,4 mm).

Prostorové rozložení příčných srážek v povodí Vltavy v roce 1897 se značně podobá situaci z roku 2002 (obr. 5a,c). Největší množství srážek vypadávalo i v tomto případě v povodí horní Vltavy a Malše [10]. Hojně srážky se vyskyt-



Obr. 3 Denní úhrny srážek [mm] 1.–4. 9. 1890 na území Čech.

Fig. 3. The diurnal precipitation amounts [mm] 1.–4. 9. 1890 in Bohemia.



Obr. 4 Denní úhrny srážek [mm] 27.–31. 7. 1897 na území Čech.

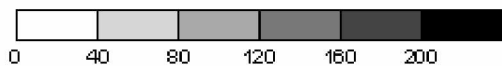
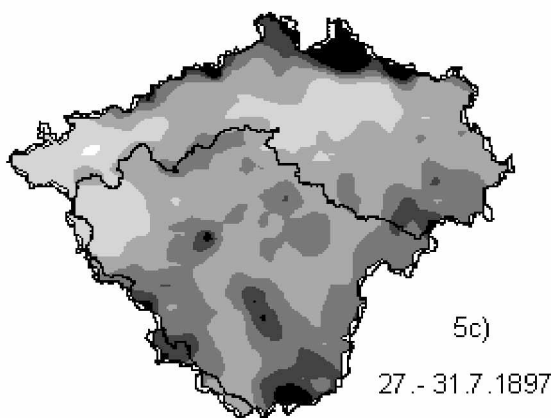
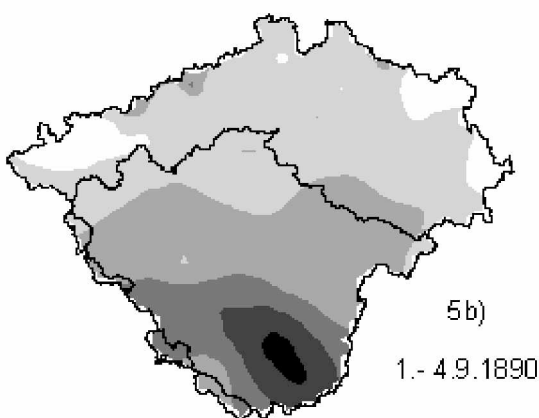
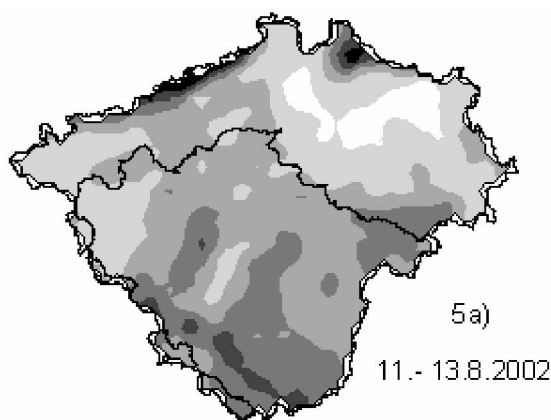
Fig. 4. The diurnal precipitation amounts [mm] 27.–31. 7. 1897 in Bohemia.

ly i ve středozápadních Čechách. Nejvyšší denní úhrn srážek dokonce nebyl naměřen v jižních Čechách, ale na stanici Sv. Jan v Brdech, ca 1 km jihovýchodně od vrchu Praha, a to 29. 7. 1897 (128 mm).

Značně odlišná je však událost r. 1897 z hlediska časového průběhu příčných srážek. Významný rozdíl představuje trvání srážkové epizody celých pět dní, přičemž největší srážky vypadávaly opět dva dny před kulminací Vltavy v Praze, tedy 29. 7. (D-2). Důležité je dále to, že co do velikosti srážkového úhrnu byl v roce 1897 druhým nejvýznamnějším nikoliv předchozí, nýbrž následující den 30. 7., D-1, (obr. 2), což je z hlediska velikosti povodně méně nebezpečné. V této době se navíc oblast nejvyšších úhrnů srážek posunula k jihozápadu, tedy proti proudu většiny přítoků Vltavy (obr. 4c,d), což zřejmě přispělo ke snížení kulminačního průtoku na dolním toku Vltavy.

2.5 Hydrologická odezva

Znaky porovnávaných událostí, uvedené v předchozích kapitolách, zásadně ovlivnily průběh a velikost následných povodní na Vltavě, které můžeme zkoumat na základě srovnání průtokových křivek, uvedených v pracích [1, 11 a 15]. Zatímco celkový objem povodně byl způsoben především velikostí příčných srážek a předchozí nasyceností povodí, na velikost kulminačního průtoku Vltavy v Praze měla dále značný vliv i časová souhra postupových dob povodňových vln na horním toku Vltavy a na jejich přítocích. Vzájemný posun doby kulminace těchto přítoků vůči kulminaci Vltavy v Praze je pro každou z porovnávaných povodní vyjádřen v tab. 2, přičemž jako doby kulminací Vltavy v Praze byly brány termíny 14. 8. 2002 v 11.00, 4. 9. 1890 ve 20.00 a 31. 7. 1897 ve 24.00. Údaje o době kulminace toků pocházejí z [15], resp. [11]. Velikosti kulminačních průtoků Vltavy v Praze, uvedené v tab.1, jsou převzaty z [15], resp. [8].



Obr. 5 Celkové úhrny příčných srážek [mm] na území Čech v letech 2002, 1890 a 1897.

Fig. 5. The total causal precipitation amounts [mm] on the Czech territory in 2002, 1890 and 1897.

Tab. 2 Časový posun doby kulminace přítoků Vltavy vůči pražské kulminaci (v hodinách). Kulminace, které předcházely pražskou kulminaci, jsou označeny tučně, ty, které následovaly až po kulminaci v Praze, kurzívou.

Table 2. The time difference between the culminations of Vltava tributaries and culmination of Vltava in Prague (in hours). The prior tributary culminations are bold, the later ones in italics.

Tok	stanice	2002	1890	1897
horní Vltava	České Budějovice	-21	-28	6
Lužnice	Bechyně	45	50	60
Otava	Písek	-24	-14	-8
Sázava	Nespeky (Poříčí nad Sázavou*)	22	<i>10 *</i>	<i>-18 *</i>
Berounka	Plzeň	-18	-26	0

Tvar průtokové křivky povodní z r. 2002 a 1890 je do značné míry podobný, událost z r. 1897 se z tohoto hlediska výrazně liší, což je způsobeno především časovým posunem kulminací jednotlivých přítoků Vltavy (tab. 2). V případě povodní z let 2002 i 1890 kulminovala Vltava v Českých Budějovicích, Otava v Písku i Berounka v Plzni s předstihem před kulminací Vltavy v Praze, naopak kulminace Lužnice a Sázavy proběhla později. Ve srovnání s případem 1890 došlo v r. 2002 téměř ke stejnému urychlení postupových dob vzhledem k Praze, a sice z Českých Budějovic na Vltavě o 7 h a z Plzně na Berounce o 8 h (tab. 2). Velice složitá problematika vlivu vltavské kaskády však nebyla v této souvislosti posuzována. Další pozoruhodný souhlas spočívá též v tom, že v roce 1890 kulminace Berounky v Plzni (3. 9. 18 h) se časově opozdila od kulminace Vltavy v Českých Budějovicích (3. 9. 16 h) o 2 h a v r. 2002 o 3 h (13. 8., 17 h a 14 h) Z tab. 2 je také patrné, že postupové doby povodňových vln na Berounce a Vltavě byly z obou uvedených míst v r. 2002 kratší o 7 až 8 h než v r. 1890, naopak z Otavy v Písku delší o 10 h. V roce 1890 se na kulminaci v Praze podílela hlavně Berounka, neboť povodňová vlna z jižních Čech na Vltavě se dosti opozdila [5].

Průtoková křivka povodně v roce 1897 má naproti tomu mnohem protáhlejší tvar v podobě nevýrazné dvojvlny. Kulminační průtok Vltavy v Praze byl proto poměrně malý i vůči objemu uvedené povodně. Lužnice tehdy kulminovala opět nejpozději, naopak Sázava na svém dolním toku kulminovala dříve než Vltava v Praze, kde byla první kulminace na sklonku 31. 7. [11] způsobena převážně srážkami na území středních Čech z 29. 7. (obr. 4c). V téže době kulminovala i Berounka v Plzni (tab. 2). Povodňová vlna z horní Berounky pak v Praze způsobila druhou kulminaci 1. 8., kdy po nepatrném poklesu stoupla hladina Vltavy u Staroměstských mlýnů ještě o 1 cm výše.

3. NEJVĚTŠÍ HISTORICKÉ DEŠŤOVÉ POVODNĚ OD ROKU 1432

Přehled historických povodní na Vltavě v Praze (i na Labi v Děčíně) poskytuje práce [6], kde jsou uvedeny v pořadí podle velikosti jejich kulminační stavy. K největším známým dešťovým povodním došlo na Vltavě v Praze v červenci 1432, v srpnu 1501, v srpnu 1598 a v červnu 1675 (zcela přesná data kulminací nejsou známa) a 4. září 1890. Vzhledem k tomu, že do roku 1584 byl v Čechách používán juliánský kalendář, je třeba pro vzájemné srovnání posunout události z let 1432 a 1501 o 10 dní dopředu. Příklad z r. 1432 tak podle gregoriánského kalendáře spadá až na začátek srpna, případ 1501 do třetí srpnové dekády.

Ve všech těchto případech úroveň hladiny vždy značně

přesáhla výšku pleše Bradáče. Bradáč je kamenná figura v podobě mužské hlavy, osazená na nábrežní zdi pod Křížovnickým náměstím u Karlova mostu (obr. 6). V r. 1432 však nebyla tato vůbec největší historická povodeň [6, 16] s Bradáčem ještě poměřována anebo se písemný záznam o tom nedochoval. Podle výpisů z kronik v [6], byly všechny uvedené povodně způsobeny alespoň dva dny trvajících dešti. Tyto případy jsou přehledně znázorněny na grafu v [16] na str. 23. Pro protipovodňovou ochranu zejména Prahy má význam zjištění, že vůbec největší povodně v letním hydrologickém pololetí se vyskytly od druhé poloviny června do začátku září, přičemž čtyři ze šesti případů (!) se vyskytly v měsíci srpnu (v letech 1432, 1501, 1598 a 2002).

Vpravo od Bradáče je od r. 1998 instalována vodočetná lať, kde nad rýskou označující celé metry je vždy namísto nuly uvedena nadmořská výška v metrech. Přitom reliéf Bradáče je umístěn ve výšce mezi 188 a 189 m n. m., což odpovídá na obr. 6 přibližně výškám 3 a 4 m. V [16] je také uveden seznam největších povodní na Vltavě v Praze za období 1432–2000 ve vztahu k Bradáčovi se schematickým popisem meteorologických příčin jejich ročního chodu. Z citovaného grafu je patrné, že čtyři povodně v letním pololetí (1501, 1598, 1675, 1890) kulminovaly ve výšce asi 1 až 2 m nad ústí Bradáče, které podle [8] mají kótu 188,44 m n. m. Přitom případ povodně z r. 1432 snad jako jediný přesáhl výšku 2 m nad jeho ústí.

Kulminační hladina povodně v r. 2002, nyní vyznačená na instalované lať modrou plechovou rýskou – na uvedené černobílé fotografii zdůrazněna viditelnou bílou úsečkou – dosáhla však výšky téměř 3 m (!) nad ústí Bradáče. To je zatím s největší pravděpodobností maximální výška dosažená v tomto místě za posledních 570 let, což dobře koresponduje se stanovenou dobou opakování kulminačního průtoku $N=500$ roků [15].

K největší známé historické dešťové povodni došlo tedy v roce 1432 na sklonku husitských válek. Zprávy, které o ní přináší několik tehdejších kronik, umožňují alespoň velmi hrubé srovnání s událostí ze srpna 2002 po stránce předchozí nasycenosti povodí Vltavy, příčinných srážek i průběhu a velikosti vlastní povodně.

Podle kronikářských zpráv, citovaných v [6], byl počátek léta v roce 1432 neobyčejně suchý. Je proto zřejmé, že předchozí nasycenost povodí Vltavy musela být velmi malá a průtok Vltavy v patě průtokové vlny povodně podnormální.

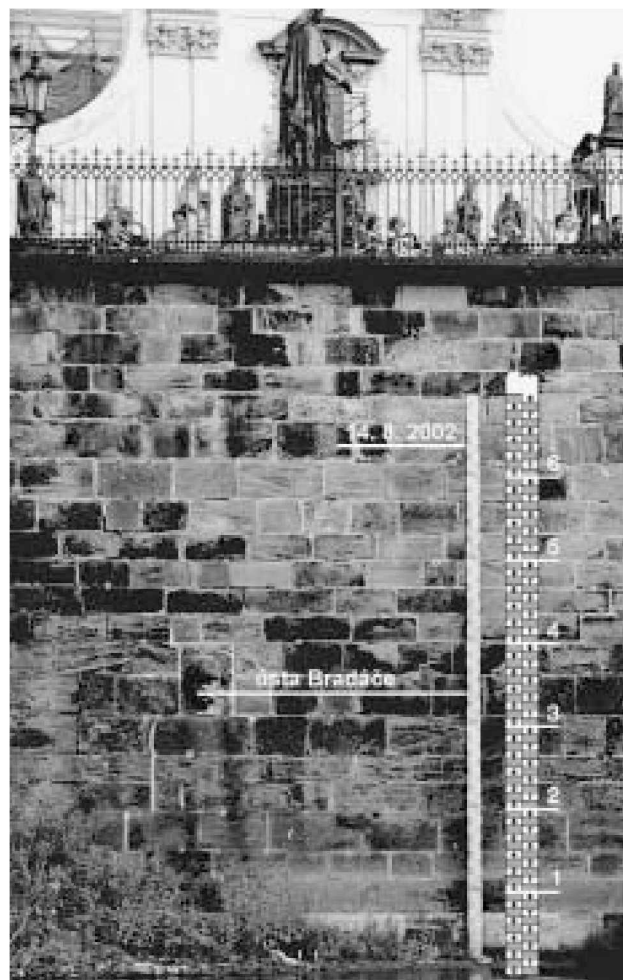
Prostorové rozložení příčinných srážek samozřejmě neznáme, víme však, že následné povodně řádily také v Písku a v Berouně. Vzhledem k tomu, že nejpodrobnější popis srážek pochází z Třeboňské kroniky [6], můžeme předpokládat jejich přítomnost i v povodí Lužnice. Silné srážky tedy zasáhly prakticky celé povodí Vltavy.

Příčinné srážky začaly v roce 1432 vypadávat 19. 7. večer (podle juliánského kalendáře). Pršelo pak celý následující den a noc a srážky se podle jedné z kronik vyskytly i ve dvou dalších dnech. Z toho lze soudit, že nejvyšší denní úhrny srážek se vyskytly s největší pravděpodobností 20. 7., dva dny před kulminací Vltavy v Praze, k níž došlo nejspíše 22. 7. ráno. Povodně jsou dále uváděny i na Moravě, v Sasku, Rakousku a Uhrách.

Velikost kulminačního průtoku Vltavy při povodni v roce 1432 můžeme pouze odhadovat na základě dochovaných zpráv o rozsahu povodně v Praze. Vzhledem k tomu, že všechny záznamy o zátopě v roce 1432 pocházejí ze Starého Města, které nebylo v roce 2002 díky protipovodňovým opatřením zaplaveno, lze uvedené dvě povodně porovnávat pouze

prostřednictvím dalších historických povodní. Z tohoto srovnání podle [6] vyplývá, že výška hladiny při povodni v roce 1432 byla vyšší než v únoru 1784 při největší povodni na Vltavě do roku 2002, pro niž je výška hladiny v Praze již doložena značkou velké vody [5]. V místě uvedené značky však v srpnu 2002 hladina Vltavy dosahovala ještě o 55 cm výše [15]. Porovnání pro dolní Labe umožňují značky velkých vod na skále v Děčíně [18], kde voda při povodni v srpnu 2002 vystoupila o 58 cm výš než roku 1432 [15]. Proto i na Vltavě v Praze loňská povodeň s velkou pravděpodobností poněkud převýšila událost z roku 1432.

Při porovnání s povodňovými událostmi, které byly hodnoceny v předchozí části článku, lze vytušit určité shodné rysy. Předchozí nasycenost povodí se v roce 1432 zřejmě značně podobala situaci před povodní v létě 1897. Plošný rozsah příčinných srážek byl tehdy spíše podobný událostem z let 1890 a 2002, přičemž jejich časové rozložení do více dní spíše připomíná první z nich. Přestože byla předchozí nasycenost povodí v roce 1432 výrazně nižší než v roce 2002 i než v roce 1890, převyšoval tehdejší kulminační průtok Vltavy v Praze jeho hodnotu v roce 1890. Lze proto předpokládat, že průměrný úhrn příčinných srážek před povodní roku 1432 v povodí Vltavy značně převýšil úhrn při obou pozdějších událostech.



Obr. 6 Bradáč s vodočetnou lať na nábrežní zdi Křížovnického náměstí v Praze u Karlovo mostu s vyznačením kulminační hladiny v srpnu 2002. Foto V. Kakos.

Fig. 6. Relief of "Bradáč" with a staff gage on the quayside of the Křížovnické square in Prague near Charles bridge with the highest flood level marking in August 2002.

Je zároveň možné, že průměrný denní úhm srážek v povodí Vltavy byl 20. 7. 1432 dokonce vyšší než 12. 8. 2002.

4. ZÁVĚR

Porovnáním srpnové události roku 2002 se dvěma významnými dešťovými povodněmi z let 1890 a 1897 se ukázalo, že se v roce 2002 uplatnila celá řada faktorů, jež nepříznivě ovlivnily povodňovou situaci v povodí Vltavy, a to ve výrazně větší míře než při obou zmíněných historických událostech. Mimořádnou velikost povodně v roce 2002 ovlivnila největší předchozí nasycenost povodí Vltavy ze všech tří případů, největší průtok Vltavy v patě průtokové vlny povodně, nejkratší doba trvání příčných srážek a pohyb pole srážek po směru toku většiny řek v povodí Vltavy. Svou roli sehrála i největší koncentrace srážek do doby dva až tři dny před kulminací Vltavy v Praze.

Případ z r. 1890, který se události ze srpna 2002 nejvíce podobá hodnotou kulminačního průtoku Vltavy v Praze, vykazuje i celou řadu dalších shodných znaků. Naopak v roce 1897 došlo ke značnému zeslabení účinků příčných srážek, jejichž úhrn v povodí Vltavy byl sice větší než v srpnu 2002, avšak způsobil povodeň, při níž kulminační průtok v Praze představoval pouze dvě pětiny kulminačního průtoku v srpnu 2002. Je tedy zřejmé, že při posuzování nebezpečnosti určité povětrnostní situace z hlediska povodňové hrozby musí být přihlíženo ke všem studovaným faktorům. V tom také spočívá prognostický přínos tohoto článku. Bylo dále zjištěno, že největší historické dešťové povodně na Vltavě v Praze, porovnané s výškou Bradáče, se vyskytly výlučně v období od poloviny června do poloviny září, přičemž čtyři ze šesti případů spadají do srpna. Přibližné srovnání s dosud největší známou historickou povodní na Vltavě v Praze z roku 1432 pak naznačuje, že denní i vícedenní plošné úhrny srážek, dosažené při srpnových událostech v roce 2002, mohou být i v budoucnu překonány.

Poděkování:

Rádi bychom tímto poděkovali našim kolegům z ÚFA AV ČR, kteří se podíleli na výzkumu loňských povodní, především RNDr. P. Pešicemu, PhD., RNDr. D. Řezáčové, CSc. a RNDr. Z. Sokolovi, CSc., za pomoc při zpracování našeho tématu. Zároveň děkujeme RNDr. V. Květoňovi, CSc. z ČHMÚ za poskytnutí dat, týkajících se srážek v roce 2002 a normálů API30.

Literatura

- [1] AUGUSTIN, F. J., 1891. Povodeň v Čechách roku 1890. Praha. 35 s.
- [2] 1899: Jahrbuch des K.k. hydrographischen Central-Bureaus. V. Jahrgang 1897. X. Das Elbe-Gebiet. Wien: Hydrographischer Dienst in Österreich. 270 s.
- [3] KAKOS, V., 1997. Hydrometeorologická analýza historické povodně v roce 1897 ve vztahu ke katastrofálním zápla-

vám v Čechách na začátku září 1890 a na Moravě v červenci 1997. *Meteorologické Zprávy*, roč. 50, č. 6, s. 191–196.

- [4] KAKOS, V., 1983. Hydrometeorologický rozbor povodní na Vltavě v Praze za období 1873 až 1982. *Meteorologické Zprávy*, roč. 36, č. 6, s. 171–181.
- [5] KAKOS, V., – KULASOVÁ, B., 1990. Povodeň v září 1890 na Vltavě v Praze. *Vodní hospodářství*, roč. 40, č. 7, s. 267–273.
- [6] KOTYZA, O. – CVRK, F. – PAŽOUREK, V., 1995. Historické povodně na dolním Labi a Vltavě. Děčín: Okresní muzeum v Děčíně. 169 s.
- [7] KVĚTOŇ, V. – TOLASZ, R. – ZAHRADNÍČEK, J. – STRŽÍŽ, M., 2002. Rozložení srážek při povodni v srpnu 2002 v České republice. *Meteorologické Zprávy*, roč. 55, č. 6, s. 180–187.
- [8] NOVOTNÝ, J. 1963. Dvě stoleté hydrologické řady průtokové na českých řekách. In: Sborník prací Hydrometeorologického ústavu ČSSR. Praha: HMÚ, sv. 2, 116 s.
- [9] PAVLÍK, J. – FEREBAUEROVÁ, M. – SANDEV, M. – HAVELKA, J. 2002. Synoptické hodnocení povětrnostních situací v průběhu povodní v srpnu 2002 v České republice. *Meteorologické Zprávy*, roč. 55, č. 6, s. 167–176.
- [10] Posouzení hydrometeorologických podmínek vzniku významných letních povodní na území ČR na základě porovnání situace ze srpna 2002 s vybranými srážkovými epizodami a extrémními podmínkami. 2003. Výzkumná zpráva. Praha: ÚFA AV ČR. 79 s.
- [11] Povodeň 1897 v Rakousku. 1898. In: Příspěvky ku hydrografii Rakouska. IV. Povodí Labe. Wien: C.k. ústřední kancelář hydrografická, 2. seš., 36 s.
- [12] ŠERCL, P. – LETT, P. – SOUKALOVÁ, E., 2002. Odtočková situace v srpnu 2002 v České republice. *Meteorologické Zprávy*, roč. 55, č. 6, s. 188–192.
- [13] ŠTEKL, J. a kol., 2001. Extrémní denní srážky na území České republiky v období 1879–2000 a jejich synoptické příčiny. In: Národní klimatický program ČR. Praha: ČHMÚ, sv. 31, 128 s.
- [14] Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002. 1. etapa projektu. Meteorologické příčiny katastrofální povodně v srpnu a vyhodnocení extremity příčných srážek. 2003. Praha: ČHMÚ. 160 s.
- [15] Výroční zpráva Českého hydrometeorologického ústavu 2002. 2003. Praha: ČHMÚ. 67 s.
- [16] Výroční zpráva Českého hydrometeorologického ústavu 2001. 2002. Praha: ČHMÚ. 54 s.
- [17] Výsledky dešťoměrného pozorování v Čechách v roce 1890. 1891. Praha: Hydrografické oddělení technické kanceláře rady zemědělské pro království České. 142 s.
- [18] Značky velkých vod na Labi v úseku od státní hranice u Hřenska po ústí Vltavy. 1966. Praha: Ředitelství vodních toků. 49 s.

Článek odevzdán v srpnu 2003, lektor RNDr. V. Strachota.