HYDROLOGICKÁ REKONSTRUKCE PŘÍVALOVÉ POVODNĚ 1714

Elleder, L., Munzar, J., Šírová, J., Krejčí, J., Ondráček, S., Dragoun Zv. a Lopaur, M.

Příspěvek přináší rekonstrukci extrémní přívalové povodně z 31. července a 1. srpna 1714 v oblasti Žďárských vrchů. Po přívalových deštích se zde protrhlo asi 70 rybníků, hladiny vody vystoupily 3 metry nad úroveň nejvýznamnějších zaznamenaných povodní a na horní Sázavě přišlo o život více než 240 osob. Pro prověření této události jsme se zpracovali rozsáhlejší studii s využitím všech dostupných archivních zdrojů a pramenů. Cílem bylo alespoň přibližně ověřit, zda je podobná událost na tomto povodí vůbec reálná. Pro Sázavu jsou totiž typické spíše zimní než letní povodně, pokud hovoříme o významných či extrémních případech. Popisy povodně jsou s ohledem na dobu před třemi stoletími relativně podrobné, mohli jsme tak využít doklady o výšce vody, času nástupu povodně, vrcholu a poklesu vodní hladiny. Pro verifikaci události jsme užily přibližné hydraulické odhady průtoků a také hydrologický modelovací systém Aqualog. Výsledky jsme se pak snažili zasadit do kontextu významných povodní na povodích o srovnatelné ploše.

KLÍČOVÉ SLOVA: 1714, přívalová povodeň, Aqualog, rekonstrukce

Flash flood in 1714-Hydrological reconstruction.

Aside from the May flood of 1872, the flash flood that occurred at the turn of July and August 1714 in the Bohemian-Moravian Highlands is probably the most important case of its kind in the Czech lands, and may likely be ranked among the most notable occurrences of extreme weather even within the larger Central European context. Within the catchment basin of the Sázava River, the headwater level rose approx. three meters above the highest floods on the hydrological record and 2-3m above the highest historical floodmark. Taking into account the time period – i.e., the beginning of the 18th century – some of the contemporaneous accounts of the flood are uncommonly detailed, containing not only a specification of the damage caused, but also high water mark figures and, at least in broad strokes, a record of the changing water levels over time. The flood caused tremendous material damage at the time, breaching e.g. about 70 fish ponds and destroying essentially all bridges; over 240 people were killed. It was revealed that the area of Žďárské vrchy (Žďár Hills) at the divide of the rivers Loučná, Chrudimka, Sázava, and Svratka which was impacted by the causative extreme precipitation may have measured 800 to 1000 square kilometers. Rough estimates of the headwater flow rate equal about four times current Q_{100} values. We therefore used the hydrological model Aqualog in order to determine whether an event of this scope was at all realistic. The goal was to assess whether it was realistically possible that precipitation may have been of such scope as to trigger a hydrological response of this intensity.

KEY WORDS: 1714, flash flood, Aqualog, reconstruction

Úvod

V kontextu posledních dvaceti let s mimořádnou frekvencí letních povodní jsou aktuálním tématem doklady o extrémních historických případech. Přívalová povodeň na přelomu července a srpna 1714 na Českomoravské vrchovině je vedle květnové povodně roku 1872 asi nejvýznamnějším případem svého druhu v českých zemích. Význam rekonstrukce podobných případů např. pro režimové údaje ukázal např. Kašpárek na případu povodně z r. 1872 na Litavce. Předložený případ se může řadit i mezi nejpozoruhodnější extrémy ve středoevropských souvislostech. Případ byl zpracován podrobně ve studii Elleder et al. (2014), kde je možné najít jak zmínky o dokumentárních zdrojích, tak další užitečné údaje a vysvětlení.

Materiál a metody

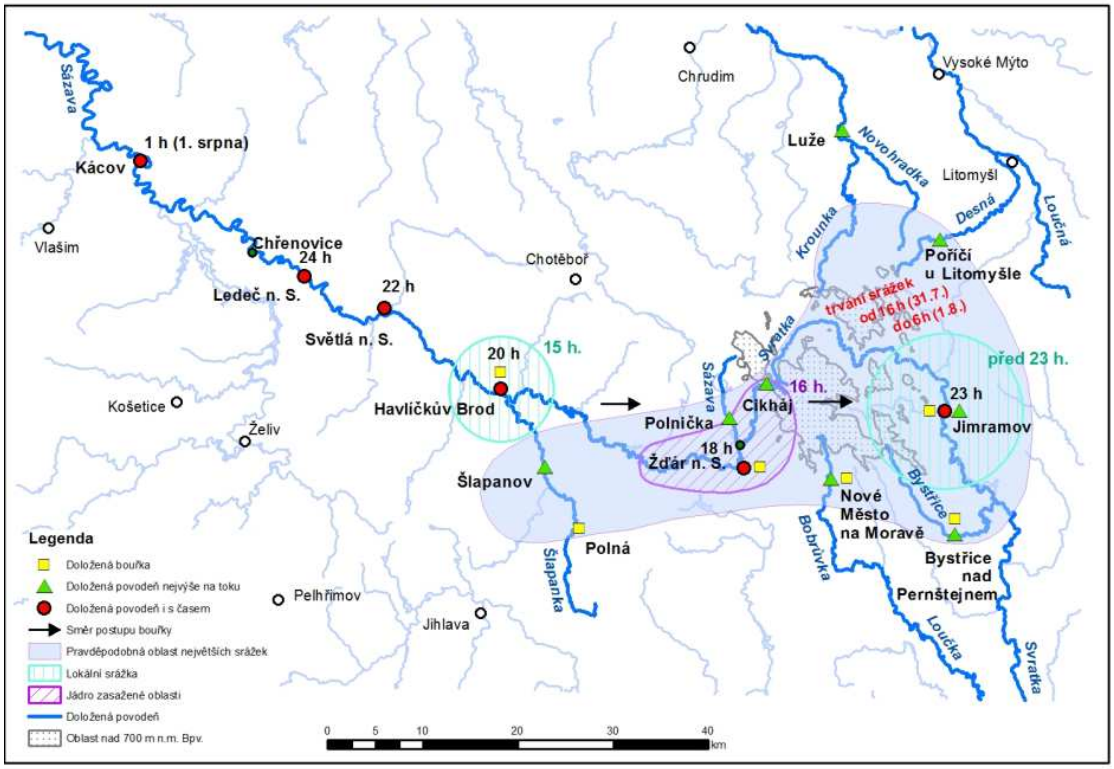
Pro rekonstrukci povodňového případu bylo potřebné získat zejména kvantitativní data (časové údaje o průběhu povodně, údaje o maximálních výškách hladiny, dosahu záplav), zároveň také kvalitativní data (doklady o škodách a dopadech povodně a o doprovodných jevech). Bylo třeba provést archivní průzkum jak v oblastech, kde je povodeň spolehlivě doložená (povodí horní Sázavy a Svratky), tak na územích, kde nutně, s ohledem na kausalitu, musela proběhnout (např. dolní tok Sázavy), nebo proběhnout mohla (povodí Chrudimky, Loučné, Oslavy nebo dokonce Tiché Orlice).

Vzhledem k relativně podrobnému časovému popisu průběhu povodně a dosahu záplav, blízkosti vodočtu (Chlístov), dostupnosti historických značek povodní (od r. 1845) se stal důležitý profil Havlíčkův Brod. V něm bylo možné provést přibližnou rekonstrukci hydrogramu. Na základě popsané výšky hladiny bylo možné stanovit průtočný profil a provést hydraulický odhad průtoku pomocí rychlostních vzorců. Byly využity nejstarší geodeticky konstruované mapové podklady, Stabilní katastr z 30. až 40. let 19. století. Důležité části měst, trasa řeky, vymezení nivy a lesa bylo v prostředí GIS promítnuto u vybraných míst do současného terénu. Takto získaný terén posloužil pro interpretaci zpráv o povodni zejména ve Žďáru n. S., Přibyslavi, Pohledu, Havlíčkově Brodě, Okrouhlici, Ledči n. S., Světlé n. S., Zruči n. S. a Kácově. Ve všech případech byly zpracovány příčné profily, aby bylo možné provést alespoň přibližnou rekonstrukci průtočného profilu a

případně hydraulický výpočet. Přitom byly převzaty sklony hladiny z podélného profilu Sázavy z r. 1933. Je zřejmé, že se dá předpokládat jen přibližný odhad průtoku. Pro simulace byl použit srážkoodtokový model Sacramento (SAC–SMA, Sacramento Soil Moisture Accounting), který je součástí vodohospodářského modelovacího systému AquaLog (AquaLog, 2013). Bylo navrženo několik extrémních, ale reálných srážkových scénářů zasazených do konkrétních podmínek nasycenosti povodí, a to pro červencové měsíce z let 2006–2013, které by mohly vést k odtokové odezvě popsané v dokumentárních zdrojích.

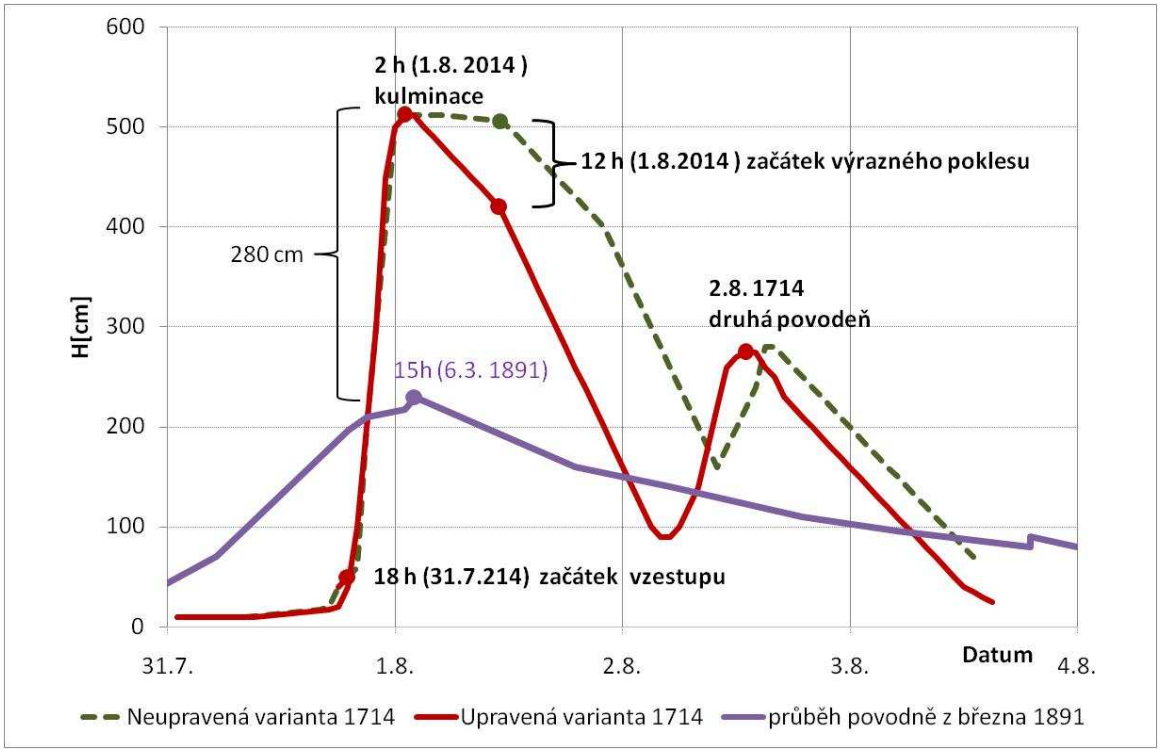
Výsledky a diskuse

Excerpce evropské literury ukázala, že od června do září 1714 se vyskytlo zejména v oblasti Střední Evropy několik přívalových povodní. Případ, který předkládáme, je mezi všemi těmito případy pravděpodobně nejvýznamnější. Příčinou povodně byla velmi silná bouře spojená s několikahodinovými intenzivními srážkami: „*…neb celá obloha pošmourným mračnem potažena byla. Množství dešťův a lijavcův vypadlo, takže lid domejšlel se býti a při(c)házeti poslední den soudný, neb vodní oblak se strhl*“. Počátek bouře u Žďáru n. S. je udáván s menšími rozdíly v intervalu mezi 16. a 17. h (Obr.1). Podle jediné zprávy o průtrži mračen u Jimramova, bouřka zde byla nejpozději ve 23. h a trvala až do ranních hodin. Jádrem mělo být podle popisů okolí Žďáru n. S., Nového Města na Moravě a Jimramova, avšak nutně i povodí horního toku Novohradky a Desné. Plocha, kde musely vypadávat intenzivní srážky (alespoň 1000 km^2),



Obr. 1. Přibližné vymezení oblasti zasažené nejvíce přívalovými srážkami (modrá plocha). Možný postup bouřky (tyrkysová, fialová šrafa, šipky), s vyznačením jádra srážkové oblasti (fialová šrafa). Vodní toky s doloženou povodní (modře), lokality s doloženou bouří (žlutý čtverec), nejvýše položené místo na příslušném toku s doloženou povodní (zelený trojúhelník), nejdůležitější škody (červený kroužek) a oblasti nad 700 m n. m. (tečkovaně).

Fig. 1. Rough outline of the area most impacted by the torrential rain (in blue). Possible route of progression of the storm (turquoise, cross-hatched purple area, arrows), indicating the core area of precipitation (cross-hatched purple). Watercourses with evidenced flooding (blue), sites with evidenced storm events (yellow square), highest flood record along the given watercourse (green triangle), sites of major damage (red circle), and areas above 700 m ASL (dotted line).

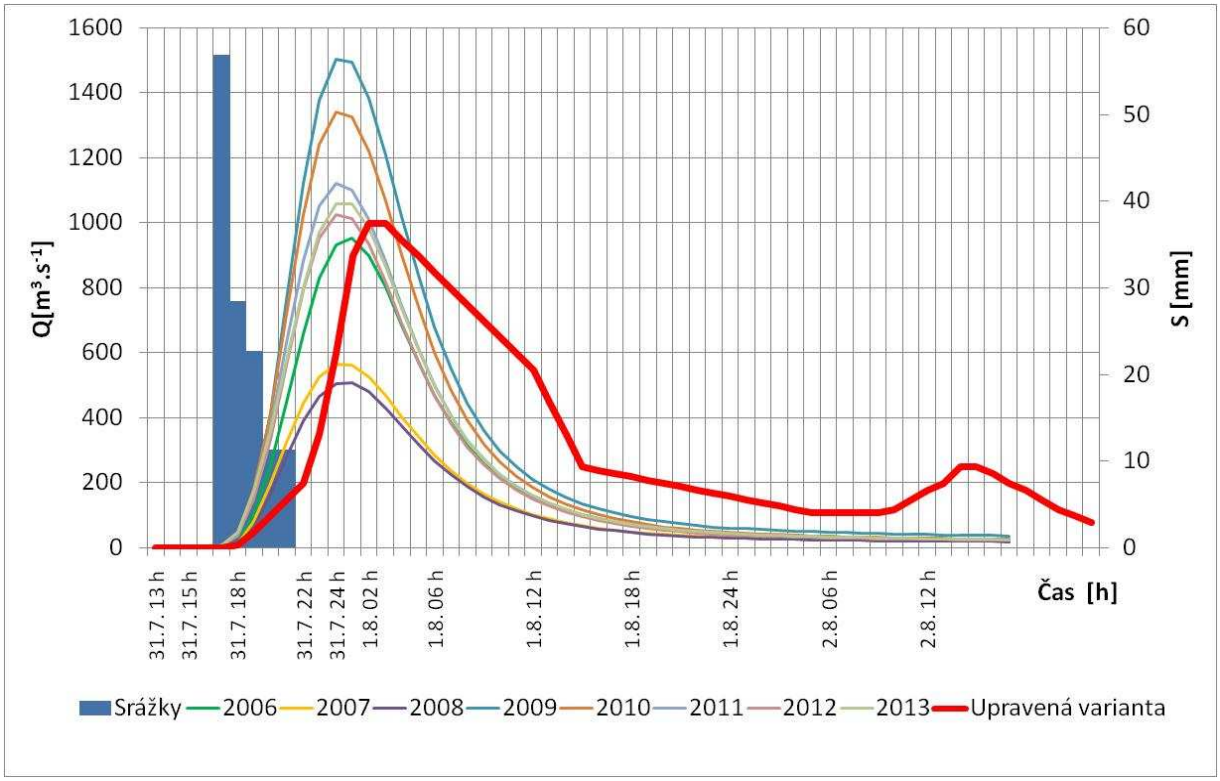


Obr. 2. Dvě možné varianty hydrogramu: neupravená (zeleně přerušovaně) a pravděpodobnější upravená (červeně) v Havlíčkově Brodě z 31. července až 3. srpna 1714. Hydrogram nejvýznamnější „novodobé“povodně v březnu r. 1891, který je z přístrojového období v povodí Sázavy k dispozici (fialově).

Fig. 2. Two conceivable alternative flood hydrographs: raw data (green) and the more likely adjusted dat(red), describing the situation in Havlíčkův Brod from 31 July through 3 August 1714. This is contrasted wit the hydrograph for the most serious flood in "modern times", which occurred in March 1891 and for whic data from the Sázava catchment basin is available from the era of instrument-based hydrology (purple).

Kromě popsané oblasti zasažené srážkou, bylo vyvolanými povodňovými průtoky postiženo celé povodí Sázavy až po soutok s Vltavou, Svratka (zřejmě až od Jimramova pod Brno) a přinejmenším horní části povodí Novohradky, Loučné a mimo studovanou oblast i povodí Mandavy. Hydrologická odezva byla zaznamenána na horním toku již po 18. h. Vlivem prudkého přítoku vody do soustavy rybníků se během několika hodin protrhla většina velkých i malých rybníků (přes 70) na horní Sázavě. Tato okolnost zhoršila s největší pravděpdobností průběh povodně zejména bezprostředně pod rybníky. Katastrofální škody v zasažených městech, zničení prakticky všech mlýnů a mostů a celkový počet velmi věrohodně doložených nejméně 240 obětí povodně (často jsou známy jménem) souvisí s patrně s prudkostí nástupu a těžko předpokládatelnou extrémní výškou vody.
V Havlíčkově Brodě (obr.2) začala hladina stoupat v úterý 31. července večer (snad po 18. h). Hlavní nápor nastal asi kolem 20 h, ve 24 h byla již zcela zaplněna údolní niva. Kolem 01 h (1. srpna) nastal další prudký vzestup a Sázava kulminovala ve 2 h. Ve 3 h. (tedy hodinu po kulminaci) nesla ještě množství materiálu, teprve po poledni (tedy 10 h po kulminaci) začala voda zvolna opadávat. Pokles trval údajně po celý den, ještě 2. srpna (tedy ve čtvrtek) byl zaznamenán nový vzestup hladin.
Podle dříve odvozených postupových dob vodních stavů lze mezi Havlíčkovým Brodem a Kácovem (vzdálenost 66 km) očekávat odstup alespoň 10 hodin (v Kácově po 8 h), ale podle dobového svědectví šlo jen odstup 3h (obr. 1). Na soutoku s Vltavou, pokud budou brány v potaz teoretické hodnoty, by bylo možné očekávat nástup povodně večer 2. srpna, tedy asi po 24 h a celkové odeznění povodně na Sázavě až 4. srpna.
Možnost odhadovat průtoky poskytuje relativně značný počet popisů maximálních výšek vody v dokumentárních zdrojích. Jde o profily: papírna pod Ždárským klášterem (výška vody cca 540 cm), Přibyslav (výška vody cca 450 cm), Havlíčkův Brod (výška vody cca 250 cm nad povodeň 1862), Světlé n. S (výška vody až 825 cm), v Ledči n. S. (výška vody cca 320 cm nad úroveň z r. 1862), v Kácově nad Sázavou (výška vody 540 cm). Podle podrobnějšího rozboru situace v Havlíčkově Brodě, bylo možné odhadovat průtočnou plochu na cca 600- 800 m^2 a vypočetnou průřezovou rychlost na ca 1,2 až 1,4 $m.s^{-1}$. Porovnáním průtočné plochy, rychlosti a také dříve vyhodnocených historických povodní v letech 1862, 1891, 1909 a 2006, může se předpokládat průtok 750 až kolem 1100 $m^3.s^{-1}$. Podobný výsledek získáme i v dalších profilech. Nemáme

žádné doklady o rozvodnění dalších přítoků Sázavy, ale chybí také doklad o rozvodnění dalších přítoků Vltavy. Rozvodnění Vltavy se ovšem i dobově dávalo do souvislsoti pouze s rozvodněním Sázavy. Protože utrpěly sklady dřeva a soli muselo jít významné a nenadálé rozvodnění Vltavy, nejméně na úrovni Q_5 . Předpokládáme tedy vodní stav nad 250 cm a průtok nejméně 2000 $m^3.s^{-1}$, což je další údaj omezující odhad průtoku Sázavy.
Aby bylo možné zjistit, jaká příčinná srážka způsobila extrémní průtok, byl realizován obrácený výpočtový postup, a to kalibrací příčinné srážky podle odhadnutého průběhu vodního stavu a průtoku v Havlíčkově Brodě. Bylo proto zvažováno několik variant možného průběhu srážek a počáteční nasycenosti povodí, které by mohly způsobit odpovídající hydrologickou reakci. Pro scénář srážek (obr. 3), byly zpracovány varianty simulací, které se lišily pouze různými počátečními podmínkami, které byly odvozeny z kontinuální simulace odtokového procesu pro období let 2003–2013. Odhady srážek vycházely z objemu navrženého hydrogramu, který je cca 20 až 40 mil m^3. Scénář srážek má s průměrnou intenzitou (na celou plochu) až cca 50 mm/h, resp. cca 100 mm/3 h. Do předpokládaného rozmezí padly nejlépe varianty výpočtů s počátečním nasycením odpovídající stavu z let 2006, 2011, 2012 a 2013. Nejvyšší hodnoty byly získány pro varianty 2009 (období přívalových povodní) a 2010.



Obr. 3. Porovnání možného průběhů povodně s výpočty podle scénářů nasycenosti z let 2006 až 2013.

Fig. 3. Comparison of the possible course of events during the flood with calculations based on the saturation scenarios from 2006 through 2013.

Výsledky naznačují, že dosažení tak velkého kulminačního průtoku je reálné při tříhodinové výšce srážek v průměru cca 100 mm na celou plochu 800 km^2. Při nejvyšší hodinové intenzitě cca 50 mm/h by postačily k dosažení enormního průtoku cca 1000 $m^3.s^{-1}$.

Pro Havlíčkův Brod byl odhadnut průtok 750–1100 $m^3.s^{-1}$, což při ploše povodí 795 km^2 odpovídá specifickému průtoku 1 až 1,4 $m^3.s^{-1}. km^{-2}$ a čtyřnásobku stávající hodnoty Q_{100} (Q_{100} = 255 $m^3.s^{-1}$).
Nabízí se srovnání předložených výsledků pro Havlíčkův Brod s kulminací Litavky v květnu r. 1872. Při ještě menší ploše povodí (P = 620 km^2), byl odhadnut průtok Litávky v Berouně na 1000 $m^3.s^{-1}$ (Kašpárek, 1984).
Poprvé jsme využili pro naše území u historické povodně hydrologický model pro odhad příčinných srážek. Podobný postup je u historických případů užíván častěji ve Španělsku. Příkladem je rekonstrukce přívalových povodní na přítocích řeky Segre 23. září 1874, které přinesly nejen průtoková maxim ale i odhady příčinných srážek (Ballasch at al., 2010). Je vůbec možné, aby v našich podmínkách byla plocha cca 700 až 800 km^2 zasažena průměrnou srážkou 50 mm/ h, resp. 75 mm/2 h, nebo 100 mm/3h ?

Pro podporu tohto výsledku můžeme poukázat na zpracování povodně z 12. srpna r. 1925. (Kocourek et al, 1926) uvádějí při přívalové povodni souvislou plochu přes 1000 km^2 zasaženou srážkou cca 80 mm, přitom celá situace se odehrála v průběhu jedné hodiny.
Závěrem bychom s ohledem na místo konání konference, tedy Bratislavu, rádi upozornili na to, že k povodni v r. 1714 došlo podle ústního sdělení (RNDr. Marian Melo Ph.D, KAFZM FMFI UK) i v povodí Váhu u Piešťan (obec Banka). Není známo zatím podrobněji datum a ani není jasné, zda šlo lokální rozvodnění nebo povodeň na Váhu. Tato událost může souviset s popisovanou červencovou povodní a možná dokonce s významnou červencovou povodní na Moravě v Postoupkách a Miňůvkách u Kroměříže (83 km na SZ od Piešťan). Můžeme ji dát i do souvislsoti s rozvodněním Juhyně a Veličky v Bělotíně (od Piešťan 110 km severně) ze 9. září 1714.
Zpracování této události bylo inspirováno výročím 300 let od povodně, ale také užitečností takových rekonstrukcí např. pro zpřesnění hydrologických návrhových veličin. Inspirací byla práce Kašpárek (1984) věnovaná rekonstrukci povodně 1872 na Litavce a vlivu rekonstruvaných maximálních průtoků na režimové charakteristiky Q_{100}. Takto získané hodnoty z r. 1714 prozatím ani zkušebně využity nebyly.

Závěr

Z poměrně podrobných popisů výšky vody byly získány hrubé odhady průtočných množství, která na horní Sázavě představovala cca 3 až 4násobek hodnot Q_{100}. Z hlediska historického porovnání nacházíme analogie v případě Litavky za povodně 25. května 1872. Nejzajímavějším výsledkem jsou získané pravděpodobné scénáře získané využitím modelu Aqualog. Ty totiž ukazují událost v mnohem pravděpodobnějším světle. Pro dosažení tak významného průtoku by mohly stačit srážkové úhrny, které by po dobu cca dvou až tří hodin a na ploše cca 800 km^2 dosáhly celkového úhrnu 100 mm. K takové situaci lze najít, pokud jde o srážky, historickou analogii např. u přívalových povodní v r. 1925.
Studie ukázala povodeň 1714 na Sázavě jako reálnou událost, která si zaslouží další podrobnější studium. Výsledek je o to zajímavější, že velké povodně na Sázavě byly téměř bezvýhradně zimního typu (1655, 1784, 1845, 1862, 1891, 1909 a 2006), nejvýznamnější případ se tomuto schématu poměrně ostře vymyká.

Poděkování

Poděkování patří především panu PhDr. Mackovi, řediteli SOkA v Havlíčkově Brodě. Za pomoc děkujeme mnohým dalším pracovníkům oblastních archivů a muzeí a kolegům, kteří se věnují historické hydrologii z Německa, Švýcarska, Maďaraska a Slovenska. Za upozornění na povodeň u Piešťan děkuji RNDr. Marianu Melovi Ph.D. z Bratislavi.

.

Literatura

Balasch, J. C., Ruiz-Bellet, J. L., Tuste, J. De Oliva, M. J. (2010): Reconstruction of the 1874 Santa Tecla's rainstorm in Western Catalonia (NE Spain) from flood marks and historical accounts, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, s. 2317–2325.

Elleder, L.; Munzar, J.; Širová, J.; Ondráček, S.; Krejčí, J.; Lopaur, M.; Dragoun, Z. (2014): Přívalová povodeň v létě 1714 na Českomoravské vrchovině – rekonstrukce katastrofy po 300 letech (Flash flood in 1714 in the Bohemian-Moravian Highlands – Reconstructing a Catastrophe after 300 Years), Meteorologické zprávy roč. 67-2014, č. 6, s. 161-173.

Kašpárek, L., (1984): O povodních z let 1872 a 1981 na Litavce a jejich významu pro odhad
N–letých průtoků. In: Práce a studie ČHMÚ, sv. 7, Praha: ČHMÚ. 56 s.

Kocourek, F., Novotný, J., Dejmek, J., 1926. Katastrofální déšť a povodně dne 11. srpna 1925. Sborník prací a studií hydrologických, č. 2. Praha. 25 s.

Internet:
Aqualog(2013): Modelovací nástroje, [online], poslední úpravy 2012 [cit. 2014–09–01].
URL:< HTTP://AQUALOGIC.CZ/EN/SUBMIT–AN–ARTICLE/60–MODELOVACI–NASTROJE/57–AQUALOG>.

Flash flood in 1714-hydrological reconstruction

The flash flood that occurred at the turn of July and August 1714 in the Bohemian-Moravian Highlands (550-750 m.a.s. l.) on Sázava, Svratka, Loučná and Novohradka rivers (fig.1) is probably the most important case of its kind in the Czech lands, and may likely be ranked among the most notable occurrences of extreme weather even within the larger Central European context.
The affected area by torrential rain may have measured 800 to 1000 square kilometers. Affected rivers and catchments: Sázava, Svratka, Novohradka, Loučná (fig. 1). The flood caused tremendous material damage at the time, breaching e.g. about 70 fish ponds and destroying essentially all bridges, over 240 people death.
The water levels in some profiles (Žďár nad Sázavou, Havlíčkův Brod, Světlá n. S., Ledeč n. S. and Kácov) exceeded all water levels recorded earlier or later of 2 or 3 meters. This caused a question, it some event really plausiblle?
Aim of this study was to verify the flood event regarding the parameters recorded by documentary sources.
Method:
1. Reconstruction of flood plain and cross-sections profiles using historical maps and recent topography
2. Reconstruction of hydrograph (fig.2) and estimation of peak discharges –hydraulic approach
3. Reconstruction of possible hyetgraph using hydrological system Aqualogic (fig.3)
4. Comparison of estimated discharges in context of envelope curve for Czech lands
5. Comparison of calculated hydrographs with hydrograph based on interpretation of documentary sources
6. Comparison estimated hyetograph in context of analogical historical flash floods

The used maximum water levels were determited by documentary sources in Havlíčkův brod (Elleder et al. 2014). We used Manning equation for profiles in Havlíčkův Brod (cca 790 km^2), Světlá n. S. (1142 km^2), Ledeč n. S. and Kácov (2813 km^2). For simulation process we used rainfall-runoff model Sacramento, which is part of water management system AquaLog. The model based on parametrization of characteristics of soil moisture (Burnash, 1995). The soil profile represents a upper zone (short- term storage capacity) and a lower zone (bulk of the soil moisture and longer groundwater storage). This model could be characterized as a quasi-distributed. Each variant of simulation differ only by initial condition based on deficiency of upper and lower zones from July 31, 2006 to 2013 years (fig. 3). The 1714 flood is comparbale with the Mai 1872 in Berounka and Litavka catchment flash flood in May 25, 1872. Comparing the estimated precipitation for 1714 flood (ca 100 mm/ 3 hours on 800 km^2) with other historical events, the flash flood in Western Bohemia from August 12, 1925 could be appointed (80 mm/ 1 hour for ca1000 km^2).

Informace o autorech:

Libor Elleder, Ing., Ph.D.
Oddělení hydrologického výzkumu, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 00 Praha 4
elleder@chmi.cz

Jolana Šírová, Ing.
Oddělení hydrofondu a bilancí, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 00 Praha 4
sirovaj@chmi.cz

Jakub Krejčí, Ing. Ph.D.
firma Aqualogic Consulting, Roklinka 224, 252 44 Psáry–Dolní Jirčany
j.krejci@aqualogic.cz

Jan Munzar, RNDr., CSc.
Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., oddělení environmentální geografie, Drobného 28, 602 00 Brno
munzar@geonika.cz

Stanislav Ondráček, RNDr.
Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., oddělení environmentální geografie, Drobného 28, 602 00 Brno
ondracek@geonika.cz

Miloslav Lopaur, Mgr.
Regionální muzeum Žďár nad Sázavou, Tvrz 8, 591 01, Žďár nad Sázavou
miloslav.lopaur@zdarns.cz

Zvonimír Dragoun, Milady Horákové 7, Praha 7