

Povodne varujú

A. Svoboda, P. Pekárová, P. Škoda, P. Miklánek: Floods are Warning. Život. Prostr., Vol. 44, No. 5, p. 237 – 241, 2010.

Recent floods and those of the last decade of the 20th century in the Central Europe pose a question, whether they can be somehow connected to the expected global climate change. And another one, what could be the most effective measure for protection against the related flood damages. It is indicated, that severe floods occurred incidentally also in the past, when the river catchments were not severely influenced by the human activities, their vegetation cover was that of the original and sound forests and meadows. Such were also catchments of the Central Europe. This is documented by the flood peak extremes either from the long time water level observation series (Danube, Váh Rivers), or indirectly from historical high water level marks on the ancient structures (Danube). All these indicate that the major cause of a catastrophic flood and related damages are heavy liquid precipitation events covering the vast areas (larger rivers), or heavy and intensive summer hot weather convective bursts over the small catchments. In both cases, the catchment natural retention capacity is not sufficient to retain huge water amounts causing the flood direct runoff. In such cases, structural measures are necessary to either store huge water in the catchment area, or to drain it fast away by properly constructed river network with sufficient capacity. Another non-structural measure for decrease of the flood damages is a proper flood forecasting and warning system. Such should be based upon the rainfall-runoff mathematical model. In this paper two of such models are described, which were used for synthesis of a catastrophic flood on the Váh and Danube Rivers.

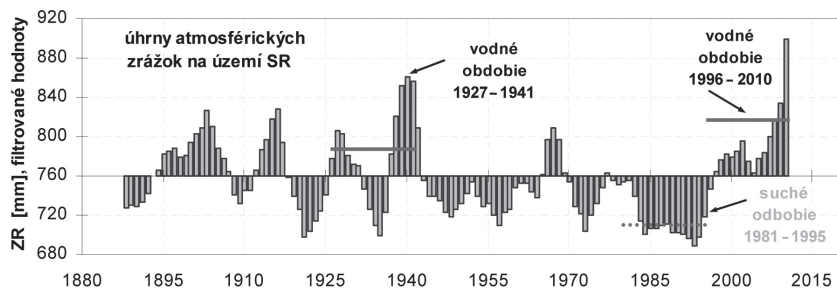
Povodne sú prírodným javom, s ktorým sa ľudstvo v priebehu svojej histórie muselo naučiť koexistovať, v niektorých častiach sveta vplyvom pravidelného cyklu zrážkovo-odtokového režimu úspešnejšie, inde s viac-menej náhodným výskytom výdatných zrážok menej úspešne. Do konca minulého storočia panovalo na Slovensku uspokojenie zo zdanlivej skutočnosti, že územie je proti povodňovým katastrofám dostatočne chránené vďaka riadenému odtoku a ďalším ochranným stavbám, ako aj skutočnosti, že mimoriadne odtokové extrémny sa v posledných dekádach 20. storočia nevyskytli. Toto uspokojenie trvalo až do leta 1997, kedy extrémne povodne zasiahli rozsiahle oblasti povodí Moravy a Odry v Českej republike, Poľsku a v Nemecku a v menšej miere aj na Slovensku. Ďalšia povodeň prišla v lete 1998 v povodiach severovýchodných Čiech a v povodí Malej Svinky, tento krát aj s obeťami na životoch. V r. 2010 povodňové udalosti zasiahli celú strednú Európu, na území Slovenska predovšetkým povodia Žitavy, hornej Nitry, Ondavy, Hornádu a ďalších tokov.

Aj keď od týchto katastrofálnych udalostí uplynulo len krátke obdobie, aktuálnymi sa stávajú analýzy, ktoré dávajú odpovede na otázky o príčinách povodní, možnostiach ako zabrániť škodám v budúcnosti, či ako často a do akej miery môžu byť obce a mestá podobnými udalosťami ohrozené.

Cieľom príspevku je predstaviť príklady simulácie hypotetickej katastrofickej povodne pre povodie horného Váhu (pre Žilinu) a Dunaja (pre Bratislavu).

Analýza zrážok a maximálnych ročných prietokov

Analýzy objemu zrážok, odtoku, ich časového priebehu a stavu zasiahnutých povodí potvrdzujú, že katastrofálne prípady povodní, ako veľkého plošného rozsahu, tak aj v malých povodiach, sú zapríčinené veľkým úhrnom zrážok vysokej intenzity na povodia dostatočne nasýtené predchádzajúcimi zrážkami. V posledných 15-tich rokoch (1996 – 2010) sú úhrny zrážok na Slovensku v územnom priemere podstatne vyššie (827 mm) ako priemer v období 1981 – 1995



Obr. 1. Viacročná variabilita priemerných ročných úhrnov zrážok (priemery na územie Slovenska) za obdobie 1881 – 2010, filtrované hodnoty filtrom $ZR_t = (4 \cdot ZR_{t-1} + 3 \cdot ZR_{t-2} + 2 \cdot ZR_{t-3} + ZR_{t-4}) / 10$. Zdroj: Šamaj a kol., 1985; Lapin, 2010

(708 mm). Neprevyšujú podstatne dlhodobý priemer 15-ročného obdobia 1892 – 1906 (791 mm) alebo 1927 – 1941 (784 mm). Tento fakt dokumentuje obr. 1, ktorý znázorňuje vývoj ročných zrážkových úhrnov – filtrované priemery na územie Slovenska v období 1881 – 2010. Retenčná kapacita povodia aj ideálne obhospodarovanej krajiny v čase extrémnych zrážok nie je porovnateľná s objemom zrážok, ktoré musia nevyhnutne odtečť cez sieť povrchových tokov. To platí tým viac pre povodia s málo priepustným geologickým podkladom a plytkým pôdnym profilom, ako sú napr. pieskovce karpatského flyšu. Skutočnosť potvrdzujú aj historické pozorovania a značky po povodniach z minulosti.

Z historických povodní na veľkých tokoch možno spomenúť napr. povodeň na Váhu z r. 1813 (Chmelár, 1984; Horváthová, 2003), kedy mal Váh v Žiline kulminovať pri $3\,300\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na obr. 2 uvádzame meraný rad maximálnych ročných prietokov Váhu v stanici Trnovec nad Váhom, kde sú maximálne ročné prietoky k dispozícii od r. 1901. Obrázok 2 znázorňuje dve historické povodne (1894 a 1813), ktorých odhadovaný prietok prevyšuje namerané kulminačné prietoky povodne za 108 rokov pozorovaní. Ako druhý príklad prezentujeme rad maximálnych ročných prietokov Dunaja v stanici Bratislava. Pozorovania vodných stavov v tejto stanici začali už v r. 1823, prietoky sa vyhodnocovali od r. 1876. Na obr. 3 sú vykreslené historické kulminačné prietoky odvodené Kresserom (1957) a merané (od r. 1876) kul-

minačné prietoky povodní v stanici Bratislava. Najstaršie značky po povodni na nemeckom a rakúskom úseku Dunaja zaznamenávajú výšku hladiny z r. 1501 (obr. 4). To znamená, že katastrofické povodne na Dunaji s kulminačným prietokom nad $11\,000\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ boli v histórii prekročené v priemere asi raz za 100 rokov. V auguste 1501 sa vyskytla dokonca povodeň s prietokom nad $14\,000\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Povodne na malých tokoch majú svoj pôvod najčastejšie v intenzívnych miestnych letných búrkach.

Príklad takejto ničivej povodne na Vydrňanke, prítoku Bielej Vody, pravostrannom prítoku Váhu z flyšových Javorníkov opísal Dub (1940 – 1943). V júni 1939 v povodí s rozlohou $10,9\text{ km}^2$ vznikla katastrofálna povodeň, ktorej kulmináciu autor podľa zanechaných stôp určil na výše $100\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Všetky spomenuté príklady (a tiež ďalšie, tu neuvádzané) sa vyskytli v období, keď hospodárenie v povodí, vegetačná pokrývka, urbanizácia, cestná sieť a ďalšie civilizačné faktory, dnes často označované za hlavných pôvodcov povodňových katastrof, boli pôvodné, nenarušené.

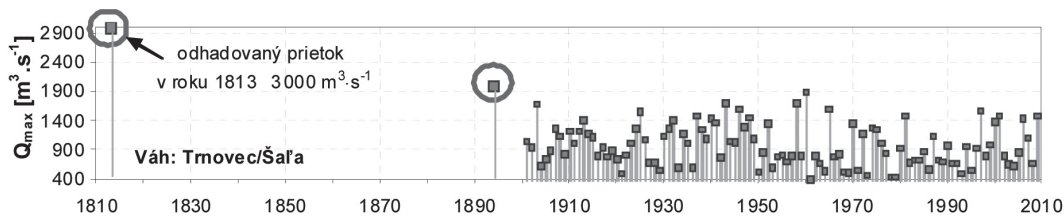
Scenáre katastrofických hypotetických povodní

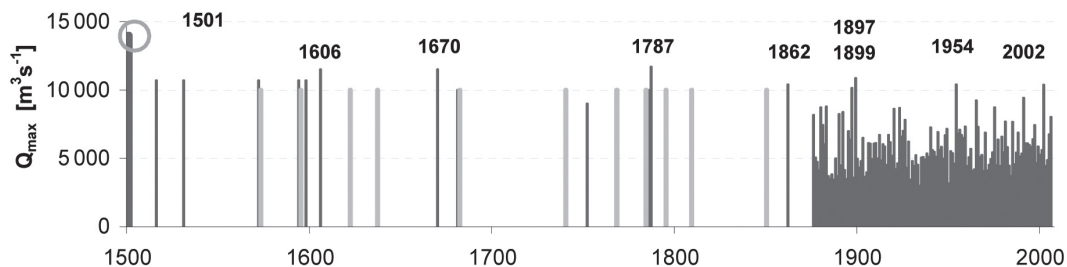
V tejto súvislosti je potrebné upozorniť, čo by bolo z hľadiska pripravenosti na katastrofy takejto mimoriadnej povahy žiaduce uskutočniť. Ide v prvom rade o súbor prác na vytvorení „katastrofických povodňových scenárov“ pre hlavné povodia slovenských tokov s vysokou koncentráciou obyvateľstva a priemyslu – pre mestá a obce.

Tvorba takýchto scenárov priamo vyžaduje Smernica č. 2007/60/ES o hodnotení manažmentu povodňových rizík, ktorá nadobudla účinnosť 26. novembra 2007. Scenáre majú byť spracované pre:

- povodne s nízkou pravdepodobnosťou prekročenia kulminačných prietokov alebo scenáre katastrofických udalostí (prekročované v priemere raz za 1 000 rokov);

Obr. 2. Maximálne ročné prietoky Váhu v stanici Trnovec nad Váhom za obdobie pozorovaní (1901 – 2008) a dve historické povodne





Obr. 3. Maximálne ročné prietoky Dunaja v stanici Bratislava za obdobie pozorování 1876 – 2008 (tmavosivé línie) a odhadnuté vrcholové prietoky katastrofálnych historických povodní od r. 1501 (svetlosivé línie)

- povodne so strednou pravdepodobnosťou prekročenia kulminácií (prekračované v priemere raz za 100 rokov);
- povodne s vysokou pravdepodobnosťou prekročenia kulminácií.

Scenár katastrofickej povodne na Váhu

Ako prvý príklad simulácie významnej povodňovej udalosti uvádzame aplikovanie matematických modelov odtoku a transformácie vody na rieke Váh, ktoré boli použité pri hodnotení bezpečnosti vodného diela Žilina. Metodiku určovania prítoku do zrážkovo-odtokového modelu podrobne opísal Svoboda (1992), preto uvádzame iba krátky opis a výsledky simulácií.

Na základe dôkladných analýz vývoja povodne v r. 1958 (Pacl, 1959) v povodí Váhu bola rekonštruovaná hypotetická katastrofická vlna pre Váh v stanici Liptovský Mikuláš nasledovne – bol použitý zrážkovo-odtokový model kalibrovaný podľa hydrometeorologických údajov povodne z r. 1958. Ako vstup do modelu sa použili zrážky z kritického obdobia júna 1958 zvýšené o 50 %, čo predstavuje rozhodujúci, na katastrofálnej letnej povodni sa podieľajúci úhrn zrážok za dva dni, cca 150 mm. Výsledkom zvýšenia zrážok o 50 % je asi 150 % zvýšenie kulmináčného prietoku povodne na Váhu v Liptovskom Mikuláši. Ak túto úvahu rozšírime aj na povodia hlavného toku a prítokov pod týmto profilom po profil Žilina, potom katastrofálnu situáciu celého povodia po Žilinu možno charakterizovať približne rovnakým zvýšením kulminácií odtoku aj z týchto povodí. O tom, že tieto úvahy nie sú až také nereálne, svedčí rozloha katastrofálnymi zrážkami zasiahnutých území v lete 1997 na Morave a v Čechách alebo v lete 2010 na Slovensku. Napokon, aj historické dokumenty o povodni na Váhu z r. 1813 dokazujú mimoriadny plošný rozsah dažďových prívalov a záplav.

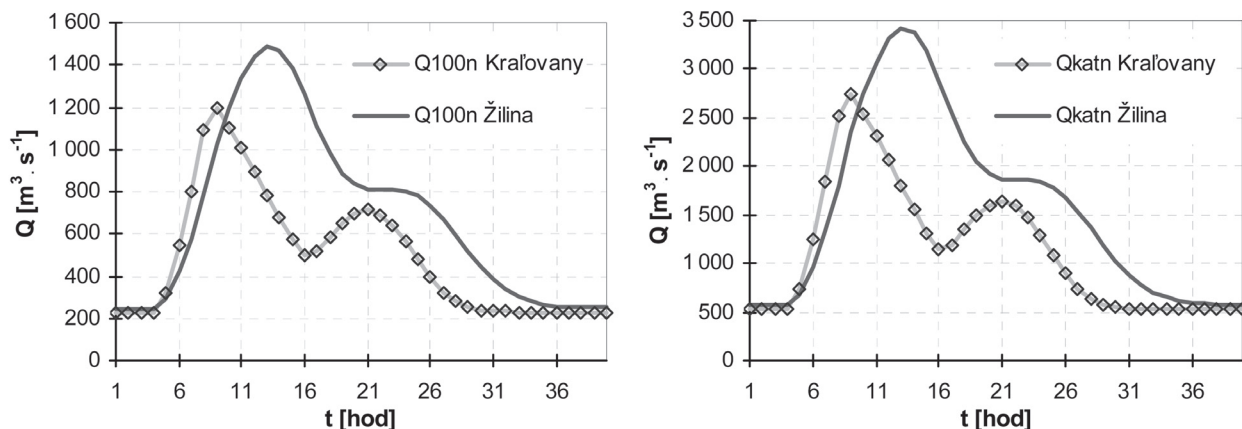
Výsledky matematickej simulácie jednak 100-ročnej povodne z r. 1958, jednak katastrofálneho prípadu pri zvýšení prírodných zrážok o 50 %, sú znázornené pre

profil Váh v stanici Kraľovany pod zaústením Oravy a pre profil Váh v stanici Žilina nad ústím Kysuce (obr. 5). Kulminácie jednotlivých prípadov a požadované retenčné objemy vodných nádrží Liptovská Mara a Orava sú v tab. 1. Hydrogramy povodní označené Q100n a Qkatn označujú simulácie 100-ročnej povodne a katastrofálnej povodne s využitím retencie nádrží, hydrogramy Q100 a Qkat sú prípady bez retencie v nádržiach.

Výsledky platia za predpokladu, že budú dodržané maximálne prepúšťané prietoky na vodných dielach, povolené manipulačnými poriadkami platnými v dobe vzniku citovanej správy. S ohľadom na vysoké objemy

Obr. 4. Povodňové značky na Dunaji, Passau (Nemecko). Foto: P. Miklánek, apríl 2010





Obr. 5. Hydrogramy storočnej povodne Q100n (vľavo) a hydrogramy katastrofickej povodne Qkatn (vpravo) pre profily Kraľovany a Žilina s využitím retencie nádrží

prítokových vln do oboch nádrží, by boli pre zníženie kulminácií odtoku potrebné výrazné zvýšenia retenčných objemov počas povodne, o cca 100 mil. m^3 na oboch vodných dielach, resp. zvýšenie povolených prepúšťaných prietokov počas povodne.

Model predstavuje vhodný nástroj na riešenie radu problémov tohto typu, umožňuje napr. rôzne modifikácie povolených prepúšťaných prietokov počas povodní a určenie ich dôsledkov na vývoj povodní v nižšie ležiacich profiloch alebo na požiadavky zvýšenia retenčných priestorov.

Scenár katastrofickej povodne na Dunaji

Na základe prác Kressera (1957) a Horváthovej (2003) sme zostavili rad historicky významných povodní na Dunaji nad Bratislavou od r. 1501. V tomto úseku je do r. 1876 známych okolo 10 letných povodní (obr. 3), z toho povodne v r. 1501, 1670, 1682, 1787 mali pravdepodobne vyšší prietok, ako povodeň v r. 1899.

Na základe analýzy historických povodní sme sa pokúsili o rekonštrukciu hydrogramu katastrofálnej povodne podobnej tej, ktorá sa vyskytla v auguste v r. 1501. Podľa odborníkov rakúskej hydrografickej služby kulminácia tejto povodne vo Viedni dosahovala hodnotu 14 000 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Jej genéza bola údajne podobná vzniku povodne z r. 1954 s absenciou mimoriadnych extrémov na dolnorakúskych prítokoch v tomto roku. Predpokladali sme preto, že takýto katastrofálny povodňový jav by vyvolal v Bratislave vlnu blízku kulminácii 14 000 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ s tvarom podobným hydrogramu povodne z júla 1954 v Bratislave. Na obr. 6 je znázornený hydrogram tejto hypotetickej katastrofickej povodne.

Podobné scenáre extrémnych povodní by sa mali vypracovať i v menších povodiach pre potreby orgánov

miestnej správy a správy jednotlivých povodí. Skúsenosti z povodne na Vydrňanke (1939) a tiež na Malej Svinke (1998) dokazujú, že aj bystrinná úprava toku (kamenná „nahádzavka“ brehov, kamenné stupne) nevydržia extrémnu záťaž takýchto povodní. Scenáre by boli užitočné aj pri rozhodovaní o rozsahu a druhu nielen inžinierskych (cesty, mosty, priepustky, stupne, úpravy tokov a pod.), ale aj občianskych stavieb v dosahu toku a jeho potenciálnej inundácie pri katastrofálnej povodni.

S vypracovaním spomenutých scenárov súvisia práce študijnej a výskumnej povahy. Pôjde najmä o vývoj nových, prípadne adaptáciu existujúcich nástrojov riešenia zrážkovo-odtokových matematických modelov odtoku z povodia a modelov pohybu vln v riečnej sieti a následne o ich implementáciu pre záujmové povodia. A napokon, pri vlastnej práci na scenároch povodní, pôjde o spoluprácu s meteorológmi pri definovaní scenárov katastrofických zrážok, či už pre menšie povodia alebo pre plošne rozsiahlejšie celky.

Tab. 1. Kulminácie storočnej a katastrofickej povodne na Váhu s a bez využitia retencie nádrží

Stanica	Q100n	Q100	Qkatn	Qkat
	[$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]			
Kraľovany	1 365	1 720	2 740	3 940
Žilina	1 740	2 060	3 450	4 580
Retenčné objemy vodných diel	[mil. m^3]			
Liptovská Mara	15,37	-	63,5	-
Orava	0,86	-	25,0	-

Poznámka: Q100 – storočná povodeň bez využitia retencie nádrží, Qkat – katastrofická povodeň bez využitia retencie nádrží, Q100n – storočná povodeň s využitím retencie nádrží, Qkatn – katastrofická povodeň s využitím retencie nádrží

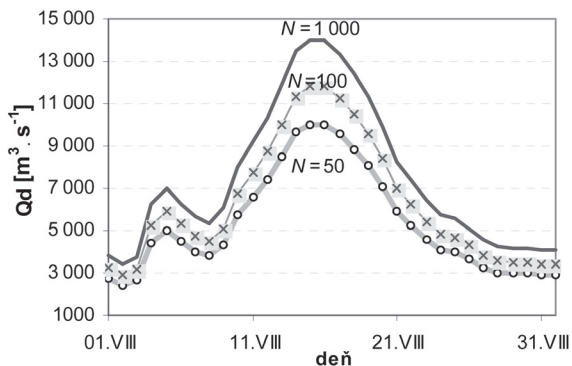
Scenáre prezentované v článku sú platné za predpokladu stacionárneho vývoja prírodných meteorologických podmienok mimoriadnych povodní. Ak pripustíme, že sa bude klíma v nasledujúcich desaťročiach postupne otepľovať, tak musíme súčasne pripustiť, že sa zvýšia aj extrémne úhrny zrážok, pretože v teplejšej atmosfére bude v stave nasýtenia o 6 % viac vodnej pary na každý 1 °C oteplenia (Lapin a kol., 2003).

Možnosť predchádzania povodňovým škodám z privalových zrážok, okrem včasných varovaní, nie je veľa. Pri nemožnosti aktívne zasiahnuť do procesov podmieňujúcich vznik, časový, miestny výskyt a úhrn privalových zrážok, sú len dve, paradoxne protichodné opatrenia. Ide o dočasné zadržanie časti privalových zrážok v povodí, alebo včasné a neškodné odvedenie nezachytených zrážok riečnou sieťou z povodia.

V tejto súvislosti treba upozorniť na mnohé mýty pretrvávajúce vo vedomí (nielen) laickej verejnosti o schopnosti prirodzeného povodia zadržať privalové zrážky, a dokonca ich neskôr využívať v obdobiach dlhotrvajúceho sucha. Ani zdravá, dobre vyvinutá „vodohospodársky účinná“ vegetačná pokrývka, nie je schopná zadržať viac ako niekoľko mm (do 10 mm) vody. Podobne je to aj s poľnohospodársky využívanou vegetačnou pokrývkou. Aj vysušený pôdny profil primeranej hĺbky (najmä horských povodí), na flyšovom geologickom podklade, má obmedzenú pórovitosť, málokedy nad 150 mm. Pritom rýchlosť vsakovania do vysušenej prirodzenej lesnej, lúčnej pôdy dosahuje (v závislosti od jej pôdnych vlastností) len zlomok intenzity krátkodobých privalových zrážok a exponenciálne klesá s časom. Prebytok vody je zdrojom priameho odtoku, ktorý nespôsobí škody, iba ak je zachytený vo vhodne umiestnených umelo vytvorených priestoroch, alebo neškodne odvedený vhodnou a dostatočne dimenzovanou riečnou sieťou.

* * *

Prezentované výsledky budú s ohľadom na uvádzané kulmináčnej prietoky pre mnohých zarážajúce. Je však potrebné uviesť si, že katastrofické javy sa vyskytujú s veľmi malou pravdepodobnosťou. Napriek tomu je historicky doložený ich výskyt, a to v povodí Váhu aj Dunaja, v povodiach iných riek na území Slovenska i v susedných štátoch. Výskytovali sa v období, kedy neboli zaznamenané výrazné zásahy človeka do prírodného prostredia, v období stabilne nízkeho výskytu skleníkových plynov v atmosfére. Vegetačnou pokrývkou povodí boli pôvodné, zdravé lesné porasty. Prvotnou príčinou katastrofálnych povodní boli extrémne intenzívne a plošne rozsiahle privaly zrážok. Súčasne povodne nám dôrazne pripomenuli, že by sme mali byť na takéto prípady pripravení.



Obr. 6. Hydrogram hypotetickej 50-, 100-, a 1 000-ročnej povodne pre Dunaj v Bratislave

Táto publikácia bola vytvorená realizáciou projektu *Centrum excelentnosti integrovanej protipovodňovej ochrany územia, ITMS 26240120004, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.*

Literatúra

- Dub, O.: Režim veľkých vôd na malých tokoch. Bratislava : Štátny hydrologický ústav v Bratislave, rok neznámy (1940 – 1943), s. 3 – 25.
- Horváthová, B.: Povodeň to nie je len veľká voda. Bratislava : VEDA, vydavateľstvo SAV, 2003, 232 s.
- Chmelár, V.: Vážska povodeň z r. 1813. Žilina : Váhostav, 1984.
- Kresser, W.: Die Hochwässer der Donau. Wien : Springer Verlag, 1957, 95 p.
- Lapin, M.: Dlhodobý režim úhrnov atmosférických zrážok na Slovensku. 2010 www.dmc.fmph.uniba.sk/public_html/climate/RHurbanovo.htm
- Lapin, M., Hlavčová, K., Petrovič, P.: Vplyv klimatickej zmeny na hydrologické procesy – extrémne povodňové situácie. *Acta Hydrologica Slovaca*, 4, 2003, 2, s. 211 – 220.
- Pacl, J.: Katastrofálna povodeň v oblasti Tatier v júni 1958. In: Sborník prác o Tatranskom národnom parku zv. 3, Bratislava : Osveta, 1959, s. 17 – 56.
- Svoboda, A.: Posúdenie storočnej povodne rieky Váh pre profil vodného diela Žilina. Správa pre EIA VD Žilina. Bratislava : ÚH SAV, 1992, 17 s.
- Šamaj, F., Valovič, Š., Brázdil, R.: Denné úhrny zrážok s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901 – 1980. Zborník prác SHMÚ, 24, Bratislava : Alfa, 1985, s. 9 – 113.

Ing. Aleš Svoboda, CSc., ales.svoboda@marta.sk
RNDr. Pavla Pekárová, DrSc., pekarova@uh.savba.sk
RNDr. Pavol Miklánek, CSc., miklanek@uh.savba.sk
 Ústav hydrológie Slovenskej akadémie vied, Račianska 75, 831 02 Bratislava
RNDr. Peter Škoda, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeseniova 17, 833 15 Bratislava, peter.skoda@shmu.sk