

JIŘÍ SKLENÁŘ, RUDOLF BRÁZDIL

VLIV VODNÍ NÁDRŽE VÍR NA MAXIMÁLNÍ ROČNÍ A POVODŇOVÉ PRŮTOKY NA HORNÍ SVRATCE

SKLENÁŘ, J., BRÁZDIL, R. (2012): The Influence of the Vír Reservoir on Maximum Annual and Flood Discharge Rates on the Upper Svatka River. Geografie, 117, No. 2, pp. 192–208. – This paper provides an analysis of maximum annual and flood discharges on the upper Svatka River during a period of systematic hydrological measurements before and after the construction of the reservoirs known as Vír I and Vír II. The water-gauge stations of Borovnice (upstream from the reservoirs) and Vír (downstream from the reservoirs) are used to analyse peak discharges (Q_k) with a return period equal to or higher than two years (Q_2), from 1925 to 2010. The flood regime is evaluated in terms of the frequency of floods, their seasonality and extremity. The article explores anthropogenic influence on maximum annual discharges and flood discharges on the upper Svatka River after construction of the two reservoirs, using numerical and statistical methods. These are evident, primarily, in the disruption of the homogeneity of observations, reductions in the frequency and extremity of floods, decreasing in the values and variability of maximum annual discharges, and delay in their culminations. The construction of the reservoir provides a unique example of modification of a natural hydrological regime that facilitates the quantification of an anthropogenic influence.

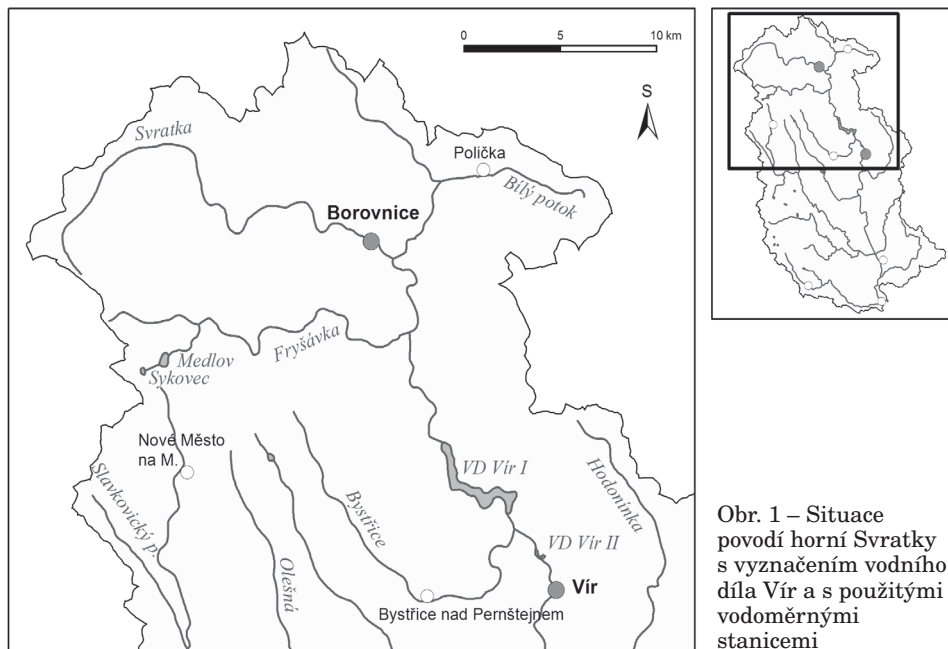
KEY WORDS: maximum annual discharge – flood – frequency – seasonality – extremity – fluctuation – homogeneity of observations – anthropogenic influence – Vír Reservoir – upper Svatka River.

Článek vznikl s finanční podporou projektu MUNI/A/0966/2009 „Projevy globální environmentální změny v krajině sféře Země“.

1. Úvod

Povodňový režim vodních toků je výsledkem spolupůsobení meteorologických, hydrologických a antropogenních faktorů. V souvislosti s rozvojem lidské společnosti a aktivitami člověka v krajině ztratily vodní toky již dávno svůj přirozený charakter. Pokud pomineme změny ve využití krajiny, pak nejvýraznějším antropogenním projevem ovlivňujícím vodní toky je jejich regulace a výstavba vodních děl, zejména pak vodních nádrží. Jejich vznik ve 20. století byl primárně spojen s ochranou před povodněmi (zadržují a transformují povodňové vlny, což průtok pod vodními díly za povodní výrazně zmenšuje), ale i se zajištěním pitné a užitkové vody pro vodárenské účely, stejně jako dostatku vody pro závlahy v zemědělství (Broža a kol. 2009).

Zájem o problematiku vodních děl zpravidla roste v období povodňových situací, kdy se na jedné straně oceňuje jejich retenční schopnost, ale na druhé straně rostou obavy z neovladatelnosti průtoků na nich, popř. přímo z jejich poškození. Ačkoliv existují četné práce hodnotící vliv vodních děl zejména na



Obr. 1 – Situace povodí horní Svatky s vyznačením vodního díla Vír a s použitými vodoměrnými stanicemi

povodně (viz např. vliv vltavské kaskády na povodně v Praze – Kašpárek, Bušek 1990; vliv velkých údolních nádrží v povodí Labe na snížení povodňových průtoků – Kašpárek a kol., eds. 2005), s výjimkou řeky Ostravice (viz Kaňok 1997; Řehánek 2000; Kříž 2003) chybí analýzy zabývající se ovlivněním hydrologického režimu pro konkrétní vodní toky v Česku.

Nejinak je tomu i v případě vodního díla Vír na horní Svatce. Jeho retenční vliv byl zmíněn zejména v souvislosti s katastrofální povodní z července 1997 (např. Dostál 1998; Matějčík 1998; Brázdil a kol. 2005), díky němuž kulminační průtok v Brně dosáhl pouze hodnoty v rozmezí Q_2 až Q_5 a nedošlo k výraznějším záplavám. Je však třeba uvést, že v tomto případě se jednalo o příznivou shodu okolností, neboť z důvodu rekonstrukce prosakující hráze a výstavby Vírského vodovodu byla v nádrži snížena úroveň hladiny vody o 10 m, takže volný retenční prostor nádrže zachytil velkou část povodňové vlny, zpomalil její průchod a snížil kulminační průtok z hodnoty $128 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v Dalečíně na neškodných $35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odtékajících z Víru (Matějčík 1998; Dostál 1998, 1999). Významný transformační účinek nádrže nastal i při jarní povodni v roce 2006. Vzhledem k vydatné sněhové pokrývce v povodí Svatky nad Vírem byla nádrž s předstihem snížena o 14 m. Maximální celkový přítok do nádrže činil $128 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (stanice Dalečín měla $106 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), přičemž z vodního díla Vír I odtékalo maximálně $53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Zpravodaj 2008).

Cílem předloženého příspěvku je časoprostorová kvantitativní analýza maximálních ročních průtoků a povodní jako extrémů hydrologického režimu na horní Svatce (od pramene pod hráz vodního díla Vír – obr. 1) v období systematických hydrologických měření před a po výstavbě vodních děl Vír I a Vír II na základě hydrologických charakteristik stanic Borovnice a Vír pod vyrovnávací nádrží (dále jako Vír p. v. n.).

2. Základní údaje o horní Svatce

Svratka jako tok IV. řádu je největším přítokem řeky Dyje a třetím nejvodnějším tokem v povodí Moravy. Pramení ve Žďárských vrších na západním svahu Krivého Javoru poblíž obce Cikháj v nadmořské výšce 760 m a ústí zleva do Dyje ve střední nádrži Nové Mlýny ve 170 m n. m. (celková délka toku je 173,9 km, plocha povodí 7 118,7 km² – Vlček a kol. 1984) a její dlouhodobý průměrný průtok v ústí do Dyje je podle údajů ČHMÚ 27,52 m³.s⁻¹ (období 1931–1980). Nad nádrží Vír přibírá Svratka z významnějších přítoků pravostrannou Fryšávku (plocha povodí 66,6 km²) a levostranný Bílý potok (100,8 km²) (Demek a kol. 1992).

Výstavba vodního díla Vír I začala v roce 1947 a do provozu bylo uvedeno v roce 1957. Výška hráze nade dnem činí 66,2 m, délka hráze v koruně 390 m, celkový objem nádrže je 56,193 mil. m³ a zatopená plocha 223,6 ha (Zpravodaj 2008). Vodní dílo slouží k regulování odtoku (zadržování vody v době jejího nadbytku a nadleпšování průtoků pod nádrží v období sucha), k protipovodňové ochraně a pro vodárenské účely (v údolí pod hrází byla postavena úpravná voda, vodovodní přivaděče do Bystřice nad Pernštejnem, Nového Města na Moravě a Žďáru nad Sázavou a v 90. letech 20. století byl zprovozněn Vírský oblastní vodovod do Brna a okolí) (Broža a kol. 2009). U hlavní hráze je elektrárna pro výrobu elektrické energie v době největší spotřeby.

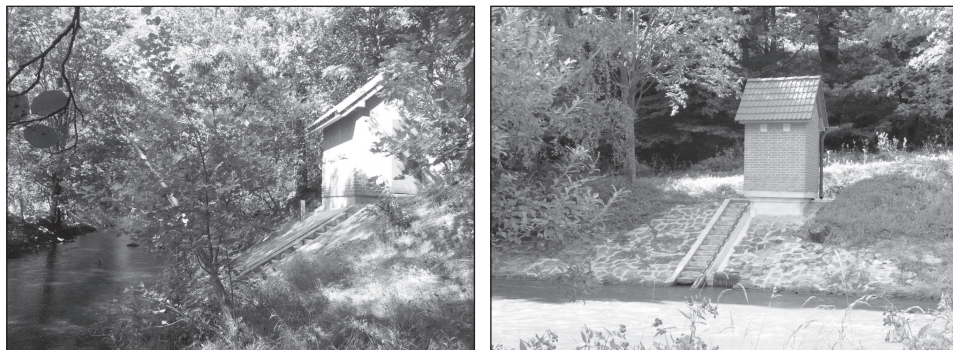
Pro vyrovnání rozkolísaných průtoků za špičkového provozu vodní elektrárny probíhalo současně s výstavbou vodního díla Vír I budování vyrovnávací nádrže Vír II asi 3,5 km po toku pod hlavní nádrží. Ta byla dokončena v roce 1954. Hráz nádrže s výškou 11 m a délkou 165 m v koruně má celkový objem 0,290 mil. m³ vody a zatopenou plochu 12,5 ha. Nádrž slouží také k výrobě elektrické energie v průtočné vodní elektrárně Vír II (Zpravodaj 2008).

3. Vodoměrné stanice

Vzhledem ke geografické poloze vůči vodnímu dílu Vír a s uvážením délky přístrojových pozorování byly pro další analýzy vybrány vodoměrné stanice Borovnice a Vír p. v. n. (obr. 2). Mimo obou uvedených stanic se nad vodním dílem Vír na toku Svratky nachází i stanice Dalečín (plocha povodí 367,06 km²), která má však vyhodnoceny průtoky teprve od 1. listopadu 1949. Zatímco údaje stanice Borovnice jsou neovlivněné v celém zpracovávaném období 1925–2010, data stanice Vír po výstavbě vodního díla Vír I a II jsou ovlivněná. Základní hydrologické údaje pro obě stanice uvádí tabulka 1.

Vodoměrná stanice Borovnice (viz Dostál a kol. 2001) uzavírá část povodí představující 7,5 % z plochy celého povodí Svratky. Stanice se nachází asi 80 m proti směru toku od domu č. 22 v obci Telecí na levém břehu, přičemž stavební úpravy na stanici proběhly v letech 1980 a 2005. Dlouhodobý průměrný průtok v profilu stanice činí 1,515 m³.s⁻¹ (období 1931–1980), přičemž absolutní maximum připadlo na povodeň ze dne 17. července 1965, která kulminovala při průtoku 60 m³.s⁻¹ (Q₂₀).

Vodoměrná stanice Vír p. v. n. (viz Dostál a kol. 2001) představuje závěrový profil studovaného území, nad nímž se nachází 28,5 % z celkové plochy povodí Svratky. Vodní stavy byly pozorovány od roku 1913 v původní stanici Vír, umístěné asi 1 km pod hrází přehrady, těsně pod soutokem s Bystřicí. Od roku



Obr. 2 – Vodoměrné stanice Borovnice (vlevo) a Vír (vpravo) – situace dne 9. září 2009, foto J. Sklenář

1941 probíhalo pozorování na stanici umístěné asi 400 m pod hrází přehrady. Odtud bylo pozorování koncem roku 1953 přemístěno na pravý břeh asi 250 m pod elektrárnu nádrže Vír II do stávající stanice Vír p. v. n. S ohledem na první zmíněnou polohu stanice lze předpokládat, že průtoky ve Víru do roku 1940 mohly být mírně nadhodnoceny díky tomu, že stanice byla pod ústím Bystřice. S ohledem na zmíněné přesuny stanice je tato dále zmiňována bez bližší specifikace jako Vír. Dlouhodobý průměrný průtok ve Víru činí $3,920 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (období 1931–1980), přičemž absolutního maxima bylo dosaženo při povodni dne 25. srpna 1938 při hodnotě $190 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Q_{100}).

Relativní rozložení průměrného ročního průtoku na obou stanicích (období 1925–2010) je téměř shodné: maximum připadá na březen (15,8 % pro Borovnici a 14,8 % pro Vír) následovaný dubnem (14,7, resp. 14,1 %), minimum na září (4,4, resp. 4,9 %) následované říjnem (4,7, resp. 5,1 %). Podle hodnot variačního koeficientu jsou průtoky na obou stanicích nejrozkolísanější v červenci, přičemž v Borovnici jsou nejméně proměnlivé v březnu a ve Víru v květnu.

Tab. 1 – Vybrané hydrologické charakteristiky pro vodoměrné stanice Borovnice a Vír p. v. n. podle údajů ČHMÚ a Dostála a kol. (2001). Charakteristiky odtoku a srážek jsou vztahy k období 1931–1980

Charakteristika	Borovnice	Vír p. v. n.
Délka toku po stanici (km)	31,8	61,3
Plocha povodí (km ²)	127,95	486,86
Průměrný dlouhodobý průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	1,515	3,920
Průměrný roční úhrn srážek na povodí (mm)	764	727
Průměrná roční odtoková výška (mm)	373	254
Specifický odtok ($\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$)	11,8	8,1
Součinitel odtoku (%)	48,8	34,9
Podélný sklon toku (‰)	7,7	6,4
Průměrný sklon povodí (%)	10,1	11,4
Nadmořská výška nuly vodočtu (m)	514,63	366,41
Průměrná nadmořská výška povodí (m)	680	637
Vodní stavy od roku	1911	1913
Průtoky od roku	1924	1924

4. Metodika práce

Pro další zpracování byly pro stanice Borovnice a Víř vybrány z databanky ČHMÚ maximální měsíční a maximální roční průtoky Q_{\max} a dále všechny případy povodní s kulminačním průtokem $Q_k \geq Q_2$, kde Q_2 je hodnota dvouletého kulminačního průtoky. Pro stanici Víř byly použity odlišné hodnoty N-letých kulminačních průtoků Q_N zvláště pro období před výstavbou (1925–1953) a po výstavbě (1954–2010) vodního díla Víř. Vlastní analýza povodní, zpracovávaných pro kalendářní roky, se týkala jejich četnosti, sezonality a extremity.

Vybrané povodně s $Q_k \geq Q_2$ byly analyzovány se zřetelem na jejich N-letost a výskyt v zimním (listopad–duben) a v letním (květen–říjen) hydrologickém půlroce. U povodňových vln se dvěma vrcholy se sledoval pokles hladiny mezi nimi. Došlo-li k poklesu pod $Q_{0,5}$, byly zaznamenány dvě povodně. V opačném případě se povodeň brala podle data výskytu hlavní kulminace. Při přesahu povodňové vlny z jednoho měsíce do druhého bylo pro přiřazení povodně k jednomu z těchto měsíců rozhodující datum výskytu kulminačního průtoky.

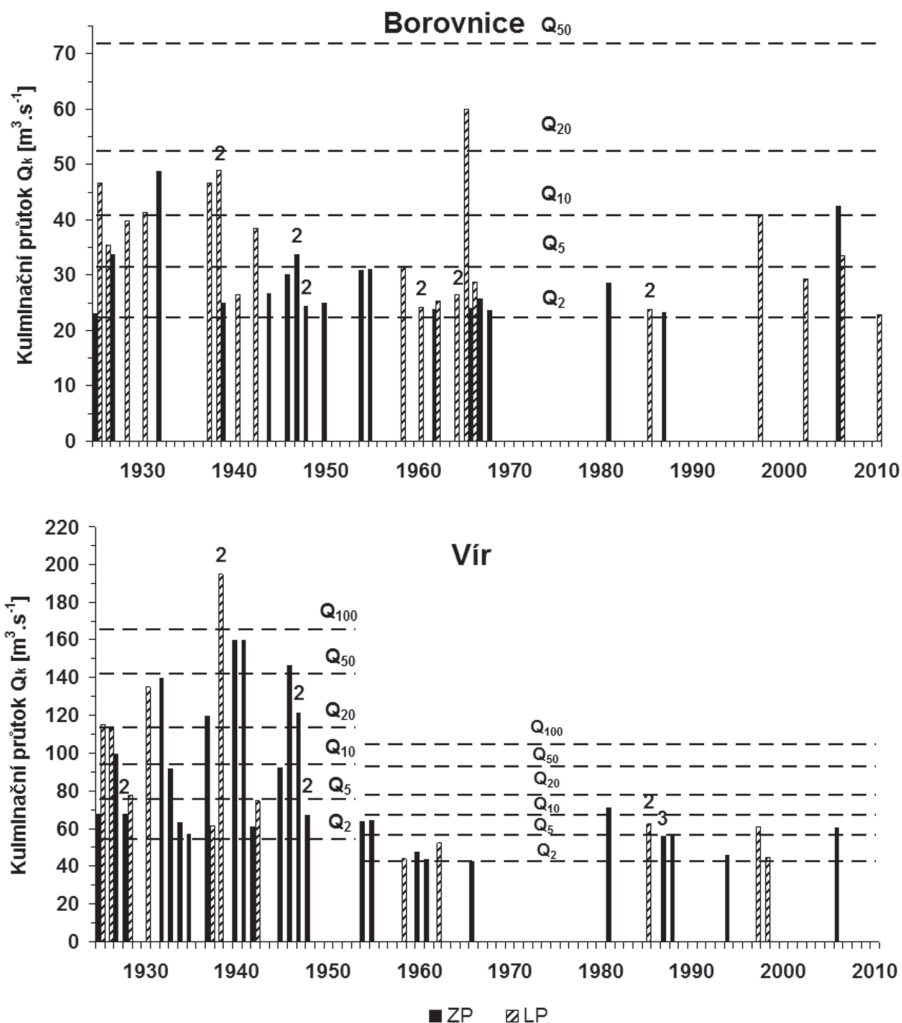
Pro studium vlivu vodního díla Víř na povodňový režim horní Svatky byla zkoumána homogenita maximálních ročních průtoků pomocí metody dvojné součtové čáry (Kohler 1949). Následně bylo období pozorování rozděleno na neovlivněné (1925–1953) a ovlivněné (1954–2010) a byla testována statistická významnost rozdílů mezi rozptyly (F-test) a průměry (t-test) obou období. Závislost maximálních ročních průtoků mezi stanicemi Borovnice a Víř se hodnotila pomocí korelačních koeficientů v uvedených obdobích. Pro jednotlivé roky byly také počítány rozdíly ve velikosti kulminačních průtoků ΔQ na obou stanicích a časové diference Δt mezi dobou jejich výskytu.

5. Povodně na horní Svatce v období 1925–2010

Kolísání četnosti povodní na stanicích Borovnice a Víř v období 1925–2010 dokumentuje obrázek 3, podle jednotlivých dekád s ohledem na jejich sezonní výskyt pak obrázek 4 a se zřetelem na jejich N-letost obrázek 5. Ve studovaném období bylo na stanici Borovnice zaznamenáno celkem 43 povodní a ve Vířu 44. Výrazně vyšší četnost výskytu povodní na obou stanicích připadla na první polovinu studovaného období (1925–1968), kdy se v Borovnici vyskytlo 79 % všech povodní na této stanici a ve Vířu 75 %. Obě stanice zaznamenaly nejvíce devět povodní za dekádu, a to Borovnice v letech 1961–1970 (ale v letech 1960–1968 celkem 11 povodní) a Víř v dekádách 1931–1940 a 1941–1950. Ve Vířu připadá výrazněji zvýšená četnost výskytu povodní na celé období před výstavbou vodního díla. Ve druhé polovině studovaného období (1969–2010) se vyskytovala delší období bez povodní v letech 1969–1980 a 1988–1996 v Borovnici a v období 1967–1980 ve Vířu, přičemž v dekádě 1971–1980 nebyla na obou stanicích zaznamenána žádná povodeň.

Z celkových 86 let přístrojových pozorování byl výskyt povodní v Borovnici i ve Vířu zjištěn v 33 kalendářních rocích (38,4 %). Dvě povodně v průběhu roku byly v Borovnici zaznamenány v deseti letech a ve Vířu v sedmi letech. Tři povodně za rok se ve Vířu vyskytly v letech 1928 a 1987.

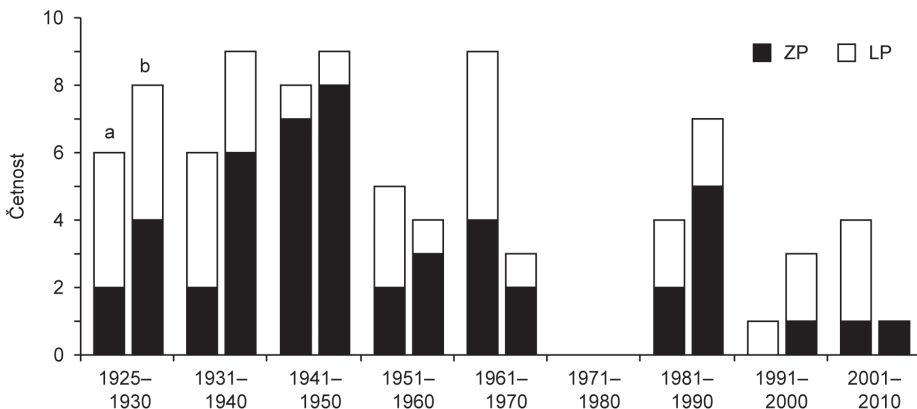
S ohledem na výskyt povodní v zimním a letním hydrologickém půlroce (obr. 4), v Borovnici mírně převažují letní povodně (53,5 % všech případů) nad



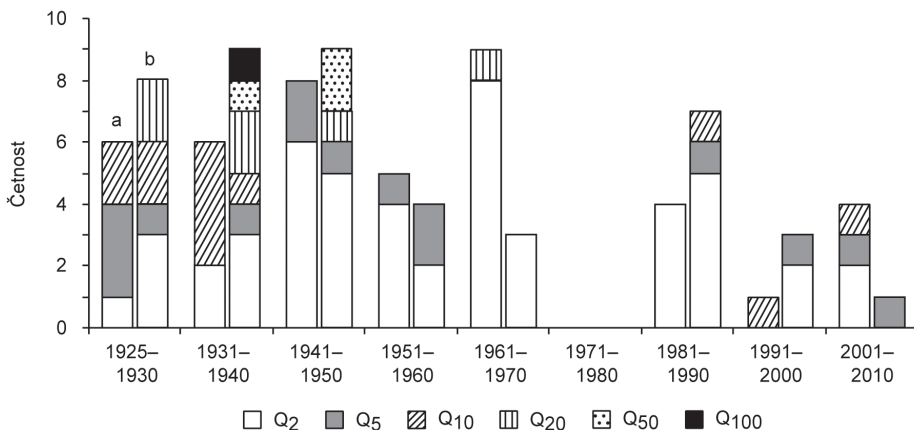
Obr. 3 – Chronologie povodní s kulminačním průtokem $Q_k \geq Q_2$ na stanicích Borovnice a Vír na horní Svatce v období 1925–2010 (kalendářní roky) se zřetelem na jejich N-letost (Q_N) a výskyt v zimním (ZP: listopad–duben) a letním (LP: květen–říjen) hydrologickém půlroce (čísla značí počet povodní v daném půlroce, pokud jich bylo více než jedna)

povodněmi zimními (Sklenář 2009). Tato převaha je patrná i v jednotlivých dekádách s výjimkou let 1941–1950 a vyrovnaných četností obou typů povodní v letech 1981–1990. Naproti tomu ve Víru připadá 68,2 % povodní na zimní půlrok a jen 31,8 % na letní. Pouze v letech 1991–2000 zde byl počet letních povodní vyšší a v letech 1925–1930 vyrovnaný se zimními.

Pokud jde o extrému povodňových průtoků vyjádřených N-letostí kulminačních průtoků (obr. 5), byly na obou stanicích nejčastější dvouleté povodně (Borovnice 62,8 %, Vír 52,3 %). Největší průtoky v Borovnici dosáhly pouze hodnot Q_{10} a Q_{20} (v letech 1925–1940 celkem šest povodní s kulminačním průtokem dosahujícím hodnoty desetileté vody, poté dvacetiletá voda v červenci



Obr. 4 – Dekádové četnosti výskytu povodní na stanicích Borovnice (a) a Víř (b) na horní Svatce v období 1925–2010 (kalendářní roky) se zřetelem na jejich výskyt v zimním (ZP: listopad–duben) a letním (LP: květen–říjen) hydrologickém půlroce



Obr. 5 – Dekádové četnosti výskytu povodní na stanicích Borovnice (a) a Víř (b) na horní Svatce v období 1925–2010 (kalendářní roky) se zřetelem na jejich N-letost

1965 a desetileté vody v červenci 1997 a v březnu 2006 – viz Sklenář 2010). Extremita povodní ve Vířu byla výrazně větší než v Borovnici, a to zejména v období před výstavbou vodního díla Víř. V období 1925–1950 se vyskytly všechny povodně s dobou opakování kulminačního průtoku překračující 20 let (dokonce jedna povodeň stoletá, tři padesátileté a pět dvacetiletých). V následujících letech dosáhl nejvyšší povodňový kulminační průtok pouze hodnoty Q_{10} . Zatímco v Borovnici většina povodní s vysokou extremitou kulminačního průtoku nastala v letním půlroce (z devíti povodní přesahujících Q_{10} pouze dvě zimní), ve Vířu v zimním půlroce (z devíti povodní s přesahem Q_{20} byly pouze tři letní) s výjimkou povodně s Q_{100} , která se vyskytla v srpnu 1938.

Výraznější zastoupení letních povodní v Borovnici podmiňuje zjevné rozdíly v sezonalitě povodní mezi oběma analyzovanými stanicemi. Zatímco v Borovnici připadá maximum povodní na srpen (16,3 %), který je následován lednem

(11,6 %), březnem (11,6 %) a květnem (11,6 %), vykazuje stanice Vír hlavní maximum v únoru (20,5 %), následovaném březnem (15,9 %) a dubnem (11,4 %).

6. Vliv vodního díla Vír na hydrologický režim a povodně na horní Svatce

V souvislosti s následujícími porovnáními neovlivněné (nad vodním dílem) a ovlivněné (pod vodním dílem) části toku horní Svatky (období 1925–1953, resp. 1954–2010) je třeba zmínit roli manipulačního řádu a konkrétních manipulací na vodním díle Vír, což je stěžejní postižitelné v tak dlouhém zpracovávaném období. Jak konstatuje např. Čekal a kol. (2011), manipulace mohou být navíc upravovány podle vývoje hydrometeorologické situace a vydané hydrologické předpovědi a jsou ovlivněny rozhodováním obsluhy na vodním díle (tzv. lidský faktor). Tyto skutečnosti je třeba mít na paměti i při následujících analýzách a závěrech z nich vyplývajících.

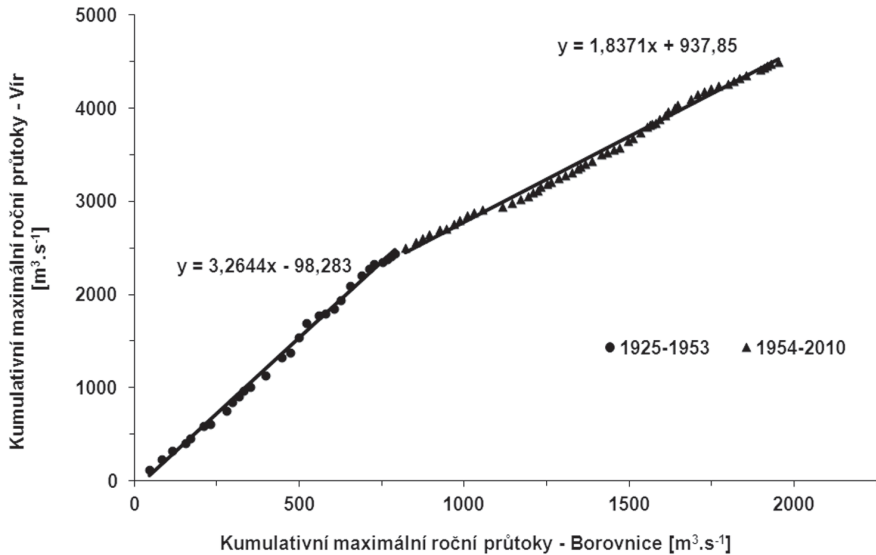
6.1. Maximální roční průtoky

Hodnocení povodní na obou stanicích v letech 1925–2010 je nepochybně ovlivněné změnou výpočtových N-letostí od roku 1954 po výstavbě vodního díla Vír. Rok 1954 byl použit v praxi ČHMÚ pro výpočet nové řady N-letých průtoků. Otázkou je, do jaké míry lze potvrdit oprávněnost použití roku 1954 jako roku změny pro jednotlivé měřené charakteristiky hydrologického režimu horní Svatky.

Pro řadu maximálních ročních průtoků Q_{\max} byla aplikována metoda dvojně součtové čáry, hojně používaná v hydrologii (např. Kaňok 1997; Kříž, Schneider 1981; Blažek, Kříž, Schneider 1981; Červený a kol. 1984). Pro testování řady stanice Vír byla jako referenční zvolena stanice Borovnice s tím, že regresní přímky byly proloženy s ohledem na předchozí konstatování (obr. 6). Při použití některých standardních testů relativní homogenity obvykle aplikovaných na klimatologické řady vychází jako statisticky významný (hladina významnosti $\alpha = 0,05$) rok změny již 1949 (podle testu Maronna-Yohai – viz Potter 1981) nebo 1950 (Standard Normal Homogeneity Test – Alexandersson 1986). To signalizuje ovlivnění homogenity maximálních ročních průtoků již v době výstavby vodního díla. Aplikace Alexanderssonova testu pro více zlomů (Alexandersson 1995) pak ukazuje na další statisticky významné zlomy v řadě začátkem 40. let (odpovídá přesunu stanice – viz výše) a dále kolem roků 1965–1966.

S ohledem na výše uvedené poznatky se dále prováděná analýza hydrologického režimu horní Svatky zaměřila na období před výstavbou vodního díla (1925–1953) a po jeho výstavbě (1954–2010).

Z porovnání průběhu řad maximálních ročních průtoků Q_{\max} obou stanic (obr. 7) je zřejmá jejich vysoká rozkolísanost na vodoměrné stanici Vír zhruba do roku 1950 neovlivněném vodním dílem Vír oproti období po jeho výstavbě, ve kterém se zmíněná proměnlivost průtoků výrazně snížila. To potvrzují i výsledky F-testu hodnotícího statistickou významnost rozdílu mezi výběrovými rozptyly. Zatímco v Borovnici testovaný rozdíl mezi rozptyly obou období není statisticky významný na hladině významnosti $\alpha = 0,05$, pro stanici Vír byl mezi rozptyly zkoumaných období statisticky významný rozdíl prokázán.



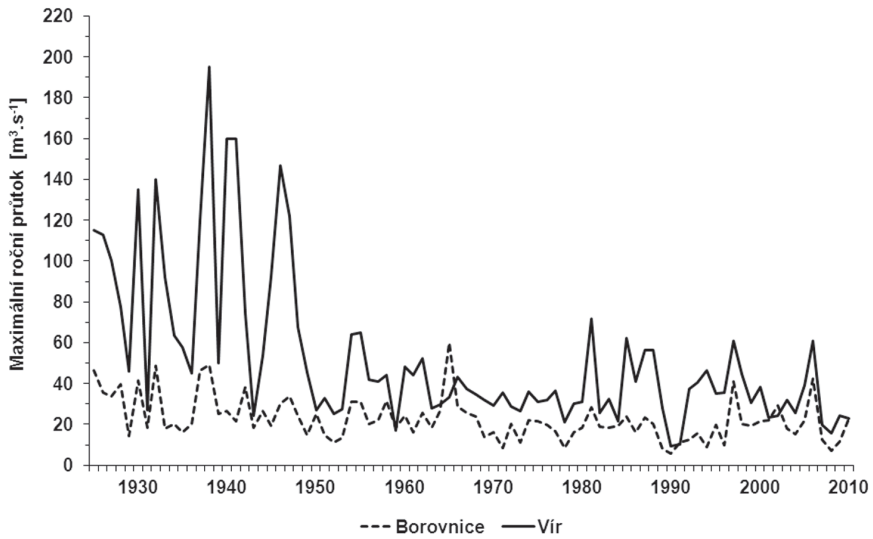
Obr. 6 – Dvojná součtová čára sestavená pro řady maximálních ročních průtoků Q_{\max} na stanicích Borovnice a Víř na horní Svatce v období 1925–2010

Pro obě stanice byl proveden také t-test pro testování rozdílu hodnot výběrových průměrů obou analyzovaných období. V tomto případě vykazaly Borovnice i Víř souhlasně statisticky významný rozdíl mezi průměry obou částí řad pro $\alpha = 0,05$ (průměr Q_{\max} klesl v Borovnici z $27,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v letech 1925–1953 na $20,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v období 1954–2010, ve Vířu pak z $84 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na $36,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

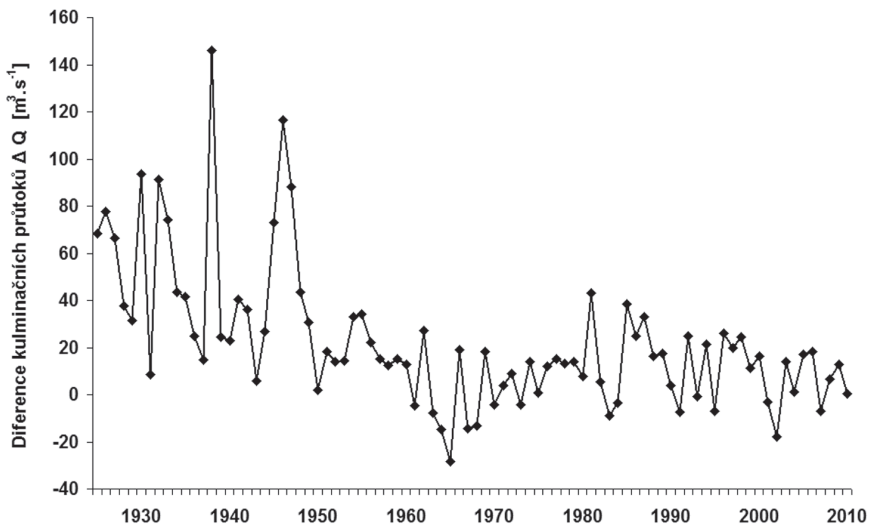
V neovlivněném období 1925–1953 vykazaly řady maximálních ročních průtoků Q_{\max} v Borovnici a ve Vířu těsnější a statisticky významnou korelační závislost (korelační koeficient 0,69) než v období po výstavbě vodního díla (0,50). Podle směrnice regresních přímek vyjadřujících lineární závislost mezi oběma stanicemi je po roce 1954 evidentní pomalejší nárůst Q_{\max} ve Vířu s ohledem na Borovnici než do roku 1953, což dokládá schopnost nádrže Víř snižovat Q_{\max} . Pro malé Q_{\max} v Borovnici (cca do $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) však není změna ve velikostech Q_{\max} ve Vířu při porovnání obou období prakticky žádná.

Z hodnot maximálních ročních průtoků Q_{\max} na stanicích Víř a Borovnice byly vypočteny jejich rozdíly ΔQ (ve Vířu se ve více než polovině případů v období 1954–2010 jednalo jen o odpovídající kulminační průtoky). Kladné hodnoty ΔQ reprezentují neovlivněný režim průtoků (období 1925–1953), ale i většinu roků po výstavbě vodního díla, kdy na dolní stanici (Víř) byl zjištěn vyšší kulminační průtok než na horní stanici (Borovnice). V období 1925–1953 je patrná velká rozkolísanost odpovídajících si diferencí (obr. 8). Nižší a záporné hodnoty ΔQ vyskytující se v období 1954–2010 svědčí o ovlivnění hydrologického režimu Vířem, kdy dochází k manipulacím ve vodní nádrži, tj. k zadržení vod a zpoždění kulminace nebo k jejich předpuštění. Záporné hodnoty ΔQ jsou zastoupeny v 16 případech (28,1 %) v období 1954–2010. Jak je vidět z obrázku 8, vodní dílo Víř snižuje kolísání řady diferencí ΔQ .

Pro maximální roční kulminace na stanicích Víř a Borovnice (obr. 9) byly vypočteny také jejich časové rozdíly Δt . Když se zjevně nejednalo o stejné

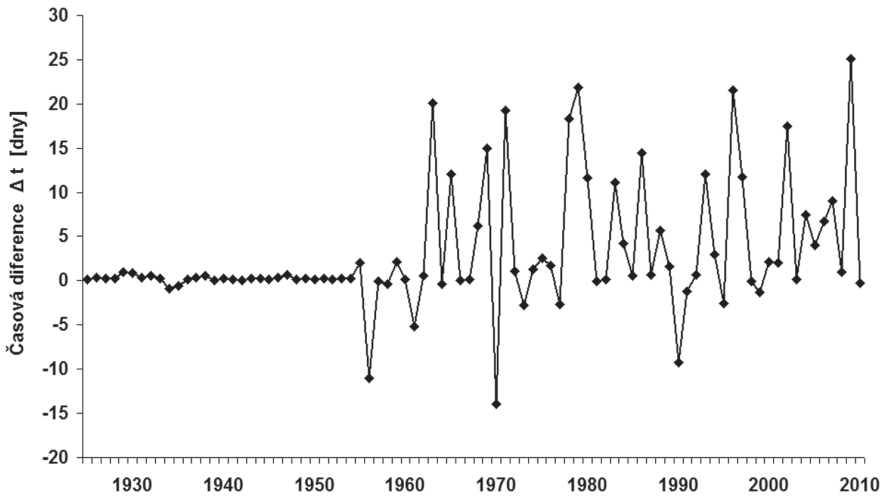


Obr. 7 – Maximální roční průtoky Q_{\max} na stanicích Borovnice a Vír na horní Svatce v období 1925–2010



Obr. 8 – Diference maximálních ročních průtoků stanice Borovnice a časově nejbližších kulminací na stanici Vír v období 1925–2010 (ΔQ je bráno jako Q ve Víru mínus Q v Borovnici)

kulminace na obou stanicích, braly se v úvahu i maximální měsíční průtoky ve Víru pro dohledání odpovídající kulminace z Borovnice. Protože pro některé Q_{\max} byly údaje o času výskytu kulminace (v rámci kalendářního dne) nedostupné nebo neúplné, byl pro tyto případy proveden odhad průměrné časové difference mezi kulminacemi v Borovnici a ve Víru (devět případů z neovlivněné řady, dva z ovlivněné řady).



Obr. 9 – Časové difference Δt mezi maximálními ročními průtoky v Borovnici a časově nejbližšími kulminacemi na stanici Víř v období 1925–2010 (Δt je bráno jako t ve Vířu mínus t v Borovnici)

V období přirozeného hydrologického režimu Svatky se pohybovaly časové rozdíly maximálních ročních průtoků na stanicích Borovnice a Víř v rozmezí od 2 do 16 hodin a při zahrnutí odhadů do 23 hodin (tj. kulminace ve Vířu nastala později než v Borovnici). Pouze ve dvou případech se jedná o záporné hodnoty Δt , které byly odhadnuty z časových diferencí mezi odpovídajícími si kulminacemi (tj. vlivem přítoků Svatky nastává kulminace ve Vířu dříve než v Borovnici). Průměrná kladná difference Δt v období 1925–1953 činí 6,3 hodiny (se zahrnutím odhadů časových rozdílů 7,4 hodiny). V období ovlivněného hydrologického režimu vírskou nádrží se pohybují difference Δt v oblasti kladných hodnot v intervalu 3 hodin až 25 dnů (průměr 7,1 dne, tj. 170,7 hodiny), v oblasti záporných hodnot v intervalu 1 hodiny až 13,9 dne (průměr 3,4 dne, tj. 81,8 hodiny). Kladné hodnoty Δt ukazují na zachycení vod a zpoždění jejich kulminace vodním dílem, zatímco záporné hodnoty odpovídají situaci, kdy v očekávání povodňové vlny docházelo k předčasnému upouštění vody z vodního díla Víř. I když i v ovlivněném období výrazněji převažují případy pozdější doby kulminace ve Vířu než v Borovnici, podíl těchto případů oproti předchozímu období klesl z 93,1 % na 73,7%, což dokladuje nárůst antropogenního ovlivnění po roce 1954.

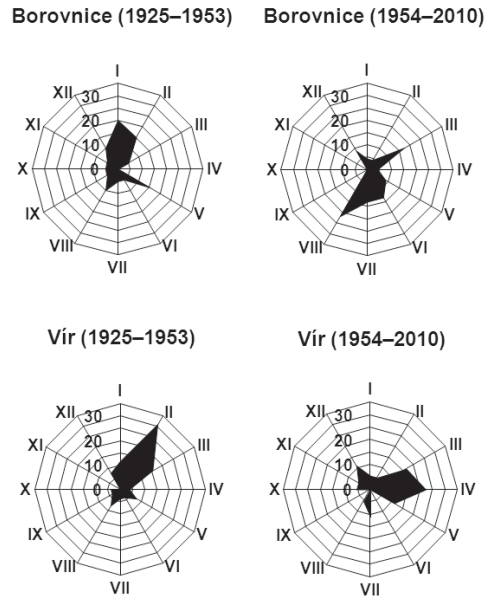
6.2. Povodně

K významným změnám došlo na horní Svatce po výstavbě vodního díla Víř v režimu povodní. Zatímco v neovlivněném období 1925–1953 bylo v Borovnici zaznamenáno méně povodní (20, z toho 11 zimních a 9 letních) než ve Vířu (26, z toho 18 zimních a 8 letních), v období po výstavbě nádrže (1954–2010) připadlo více zjištěných povodní na Borovnici (23, z toho 9 zimních a 14 letních) než na stanici Víř (18, z toho 12 zimních a 6 letních). To bylo způsobeno zejména snížením počtu letních povodní s Q_2 o šest případů. Počet povodní s Q_5 vzrostl

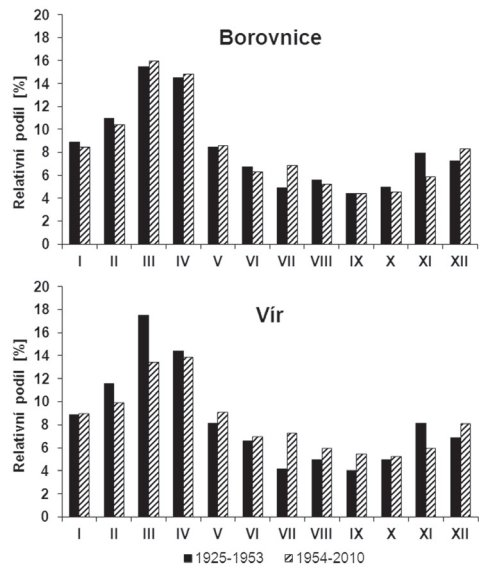
ve Víru o tři zimní případy. Povodně s kulminačním průtokem nad Q_{10} nebyly oproti Borovnici ve Víru zaznamenány vůbec. Došlo tedy ke snížení velikosti jejich kulminačních průtoků.

Z hlediska sezonality povodní je možné konstatovat, že v ovlivněném období 1954–2010 ubylo ve Víru výrazně letních povodní (podíl 33,3 %) oproti Borovnici. Jelikož podíl letních povodní vzrostl v Borovnici z 45 % (1925–1953) na 60,9 % (1954–2010), je zřejmé, že vodní dílo Víru způsobuje pokles kulminací u letních povodní, které se přes možnou vysokou extremitu Q_N vyznačují zpravidla menším objemem než povodně zimní. Pokud jde o dekadové četnosti povodní, byl největší pokles počtu povodní ve Víru v porovnání s Borovnicí zaznamenán v dekadách 1961–1970 (o šest výskytů, z toho čtyři letní případy) a 2001–2010 (o tři letní povodně).

V případě rozložení relativních četností povodní v průběhu roku (obr. 10) vykazovaly obě stanice v neovlivněném období 1925–1953 výrazná maxima v zimních měsících (Borovnice – leden 20,0 %, únor a květen po 15,0 %; Víru – únor 30,8 %, březen 15,4 %). Naopak žádné povodně se nevyskytly v dubnu (Borovnice) a v listopadu (Víru). Po výstavbě vodního díla byly v období 1954–2010 povodně na stanici Víru nejfrekventovanější v dubnu (22,2 %) následovaném březnem (16,7 %), zatímco v Borovnici to bylo v srpnu (21,7 %) následovaném rovněž březnem (17,4 %). Nejvýraznější pokles počtu povodní po roce 1954 je patrný právě v srpnu (pět povodní v Borovnici a pouze jedna ve Víru). Povodně se nevyskytly na obou stanicích v září, v Borovnici ještě v listopadu a ve Víru v červnu (Borovnice vykázala v červnu tři případy).



Obr. 10 – Rozložení relativních četností (%) výskytu povodní s $Q_k \geq Q_2$ na stanicích Borovnice a Víru na horní Svatce v průběhu roku v obdobích 1925–1953 a 1954–2010



Obr. 11 – Relativní podíly (%) průměrných měsíčních průtoků na jejich ročním chodu na stanicích Borovnice a Víru na horní Svatce před výstavbou vodního díla Víru (1925–1953) a po jeho výstavbě (1954–2010)

6.3. Roční režim průtoků

Vliv výstavby vodního díla Vír je patrný nejen v hodnotách maximálních ročních průtoků a povodní, ale k zásadním změnám došlo i v rozložení průměrného ročního chodu průtoků (obr. 11). Z něho jsou na stanici Vír patrné vodohospodářské zásahy projevující se zadržováním vody v nádrži od února do dubna (nejvíce v březnu – pokles ze 17,5% podílu v období 1925–1953 na 13,4% v období 1954–2010) a nadlepšením průtoků v celém letním půlroce od května do října (nejvíce červenec z 4,1 % na 7,3 %). Naproti tomu, na stanici Borovnice s přirozeným režimem průtoků se hodnoty relativních podílů měsíčních průtoků na jejich ročním chodu v obou obdobích mezi sebou významně neliší, s výjimkou července (vzestup ze 4,9 % na 6,9 %) a listopadu (pokles z 8,0 % na 5,9 %). Souhlasný trend změn července, listopadu a prosince na obou stanicích ukazuje na menší vliv manipulací a větší vliv změn srážkového režimu v těchto měsících.

7. Závěr

Antropogenní zásahy, zejména výstavba vodních děl, představují významné přímé ovlivnění přirozeného hydrologického režimu vodních toků a pojednává o nich četná odborná literatura. Tématu antropogenního ovlivnění vodních toků se v rámci činnosti EU v oblasti vodní politiky věnuje např. Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady (2001). Hlavní závěry, které vyplynuly z analýzy tohoto vlivu na řady maximálních ročních průtoků a povodní na příkladu horní Svatky v souvislosti s výstavbou nádrží Vír I a Vír II lze na základě porovnání vodoměrných stanic Borovnice (neovlivněná) a Vír (ovlivněná) shrnout následovně:

- a) antropogenní ovlivnění se odehrává na pozadí přirozené variability hydrologického a povodňového režimu horní Svatky, podmíněného trendy rozhodujících meteorologických faktorů (např. množství srážek, výška sněhové pokrývky, teplota vzduchu) ve studovaném období a přinášejícího poznatky, které jsou v souladu s výsledky studií analogické problematiky v Česku (např. Brázdil a kol. 2005; Brázdil, Kirchner, eds. 2007; Brázdil, Valášek, Soukalová, eds. 2010)
- b) výstavba vodního díla Vír se projevila díky jeho retenční kapacitě a manipulacím na něm významným snížením extremity kulminačních povodňových průtoků a četnosti výskytu povodní oproti neovlivněné části toku i oproti období před výstavbou vodního díla (snížení extremity a četnosti povodní je také v souladu s obecným přirozeně podmíněným trendem)
- c) výstavba vodního díla Vír znamená narušení homogenity hydrologických pozorování, které je v případě maximálních ročních průtoků patrné již v době výstavby díla, nikoliv až po jeho uvedení do provozu
- d) vodní dílo Vír statisticky významně snižuje rozkolísanost maximálních ročních průtoků s poklesem korelační závislosti průtoků v období po výstavbě vodního díla vůči období 1925–1953 mezi neovlivněnou a ovlivněnou částí toku
- e) vodní dílo Vír způsobuje pokles frekvence a kulminací letních povodní, které se přes možnou vysokou extremitu Q_N vyznačují zpravidla menším objemem než povodně zimní

- f) vodní dílo Víř snižuje zachycením vody úroveň maximálních ročních průtoků a opožďuje dobu kulminace, která však může být ovlivněna i vypouštěním vody z nádrže před příchodem očekávané povodňové vlny
- g) manipulace na vodním díle Víř se promítají v relativním ročním chodu průtoků do jejich snížení od února do dubna a v jejich zvýšení (nadlepšení průtoků) od května do října.

Skutečnost, že výše uvedené poznatky týkající se antropogenního ovlivnění průtoků bylo možné podrobně analyzovat a kvantifikovat na příkladu horní Svratky s vodním dílem Víř I a Víř II, lze považovat za hlavní přínos této práce, neboť získané výsledky mohou být využity i v řešení problematiky protipovodňové ochrany na dotčeném vodním toku. Analýza maximálních ročních a povodňových průtoků v povodí horní Svratky v období 1925–2010 je zároveň i příspěvkem k poznání časové a prostorové variability povodní na území Česka.

Literatura:

- ALEXANDERSSON, H. (1986): A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6, č. 6, s. 661–675.
- ALEXANDERSSON, H. (1995): Homogeneity testing, multiple breaks and trends. In: *Proceedings of the 6th International Meeting on Statistical Climatology*, Galway, Ireland, s. 439–441.
- BLAŽEK, Z., KRÍŽ, V., SCHNEIDER, B. (1981): Využití metody dvojné součtové čáry v hydrologii a meteorologii. *Vodohospodářský časopis*, 29, č. 1, s. 100–107.
- BŘÁZDIL, R., DOBROVOLNÝ, P., ELLEDER, L., KAKOS, V., KOTYZA, O., KVĚTOŇ, V., MACKOVÁ, J., MÜLLER, M., ŠTEKL J., TOLASZ, R., VALÁŠEK, H. (2005): Historické a současné povodně v České republice. Masarykova univerzita, Český hydrometeorologický ústav, Brno, Praha, 369 s.
- BŘÁZDIL, R., KIRCHNER, K., eds. (2007): Vybrané přírodní extrémy a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku. Masarykova univerzita, Český hydrometeorologický ústav, Ústav geoniky Akademie věd České republiky, v. v. i., Brno, Praha, Ostrava, 431 s.
- BŘÁZDIL, R., VALÁŠEK, H., SOUKALOVÁ, E., eds. (2010): Povodně v Brně. Historie povodní, jejich příčiny a dopady. *Archiv města Brno*, Brno, 468 s.
- BROŽA, V., SATRAPA, L., SAKAŘ, K., BLÁHA, J., BÁČA, V., VÍT, P., MANÍČEK, J., BÍZA, P., JÍLEK, M., KOPŘIVOVÁ, J., VINKLÁT, P. D. (2009): Přehrady Čech, Moravy a Slezska. Vydalo nakladatelství Knihy 555. Vydání druhé. Liberec, 251 s.
- ČEKAL, R., DAŇHELKA, J., ŠERCL, P., ŠTĚRBOVÁ, K., VLASÁK, T. (2011): Průvodce informacemi pro povodňové orgány. Nakladatelství Český hydrometeorologický ústav, Praha, 31 s.
- ČERVENÝ, J., BÖHM, B., BUBENÍČKOVÁ, L., BUCHTELE, J., ČULÍK, J., DAŇKOVÁ, H., FRIGA, J., HLADNÝ, J., KRÍŽ, V., KURPELOVÁ, M., NEDELKA, M., ŠEBEK, O., ŠKULEC, Š., VANÍČEK, K., VITOSLAVSKÝ, J., ZÁVODSKÝ, D. (1984): Podnebí a vodní režim ČSSR. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 416 s.
- DEMEK, J., NOVÁK, V., JURÁNEK, L., KVĚT, R., PEK, I., QUITT, E., TOLASZ, R., VLČEK, V., VYSOUDIL, M., ZAPLETAL, J., ZIMÁK, J. (1992): *Vlastivěda moravská, země a lid. Neživá příroda. Muzejní a vlastivědná společnost*, Brno, 242 s.
- DOSTÁL, I. (1998): Hydrologické zpracování povodně 1997 (Morava – část, Svratka, Svitava). *Veronica – příloha*, 12, č. 12, 6 s.
- DOSTÁL, I. (1999): V publikaci Povodeň v povodí Moravy v roce 1997 (J. Matějček, Povodí Moravy, 1998) je nutné si opravit tyto nepřesnosti. *Příloha Veroniky* č. 4, Brno, s. 29 + 2 s. přílohy.
- DOSTÁL, I., BÍLEK, B., KOVÁŘ, K., KUPSA, P., MAŠEK, V., SVOBODA, J. (2001): Vodoměrné stanice ČHMÚ pobočky Brno (dokumentační studie s fotografiemi). Interní publikace. ČHMÚ, Brno, nestr.

- KAŽOK, J. (1997): Antropogenní ovlivnění velikosti průtoků řek povodí Odry po profil Kozle. Spisy Přírodovědecké fakulty Ostravské univerzity, 103. Ostravská univerzita, Ostrava, 188 s.
- KAŠPÁREK, L., BUŠEK, M. (1990): Vliv vltavské kaskády na povodňový režim Vltavy v Praze. Vodní hospodářství, 40, č. 7, s. 280–286.
- KAŠPÁREK, L., NOVICKÝ, O., JENÍČEK, M., BUCHTELA, Š., eds. (2005): Vliv velkých údolních nádrží v povodí Labe na snížení povodňových průtoků. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, 43 s.
- KOHLER, M. A. (1949): Double-mas analysis for testing the consistency of records and for making adjustments. Bulletin of the American Meteorological Society, 30, s. 188–189.
- KRÍŽ, V. (2003): Změny a zvláštnosti vodního režimu řeky Ostravice. Geografie, 108, č. 1, s. 36–48.
- KRÍŽ, V., SCHNEIDER, B. (1981): K problematice homogenizace průtokových řad a odvození neovlivněných průměrných měsíčních průtoků. Sborník prací ČHMÚ, 26. ČHMÚ, Praha, 40 s.
- MATEJÍČEK, J. (1998): Povodeň v povodí Moravy v roce 1997. Povodí Moravy, Brno, 112 s.
- POTTER, K. W. (1981): Illustration of a new test for detecting a shift in mean in precipitation series. Monthly Weather Review, 109, č. 9, s. 2040–2045.
- ŘEHÁNEK, T. (2000): Hydrologické důsledky antropogenních aktivit na povodí horní Ostravice. Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu, 49. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 62 s.
- SKLENÁŘ, J. (2009): Povodně jako součást přírodních extrémů – povodňový režim v povodí horní Svratky. Země a cesty č. 115, příloha Spisy Zeměpisného sdružení, 8, č. 2 (22), 4 s.
- SKLENÁŘ, J. (2010): Floods and Droughts in the Czech Republic – Analysis of Extreme Discharges in the Upper Svratka-River Catchment. In: Proceedings from the International Training Workshop on Desertification Combating. CD. Gansu Desert Control Research Institute Wuwei, Lanzhou and Beijing Forestry University, Wuwei, Gansu, 6 s.
- SMĚRNICE 2000/60/ES EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY Z 23. ŘÍJNA 2000 USTAVUJÍCÍ RÁMEC PRO ČINNOST SPOLEČENSTVÍ V OBLASTI VODNÍ POLITIKY (2001). In: Aproximace komunitární legislativy v oblasti VODA. Pracovní překlad. Ministerstvo životního prostředí, odbor ochrany vod, Praha, 96 s.
- VLČEK, V., KESTRÁNEK, J., KRÍŽ, H., NOVOTNÝ, S., PÍŠE, J. (1984): Vodní toky a nádrže. Academia, Praha, 316 s.
- ZPRAVODAJ (2008): 22. března 2008 – Světový den vody. Vodní dílo Víř. Mimořádné číslo. Povodí Moravy, s. p., Brno, 23 s.

Summary

THE INFLUENCE OF THE VÍR RESERVOIR ON MAXIMUM ANNUAL AND FLOOD DISCHARGE RATES ON THE UPPER SVRATKA RIVER

In terms of the natural hydrological regimes of watercourses, anthropogenic activity, in particular the construction of reservoirs, has a significant and direct influence. Nevertheless, the topic remains largely unnoticed in published hydrological research. The primary aim of this paper is to analyse and quantify this influence, using maximum annual discharges and floods (flood events with peak discharge $Q_k \geq Q_N$ were considered, where $N = 2, 5, 10, 20, 50, 100$ as recurrence intervals of flood) on the upper Svratka River (Fig. 1) as an example, due to the construction of the Víř I Reservoir (in operation since 1957) and the Víř II Reservoir (1954). Data derived from the water-gauge stations of Borovnice (upstream, unaffected) and Víř (downstream, affected; Table 1, Fig. 2) were used to analyse the period from 1925 to 2010. Subsequently, the period from 1925 to 1953 (before Víř II came into operation) was selected and compared with the affected 1954–2010 period.

The anthropogenic influence of the peak discharges in question can be seen against a background of natural variability in the hydrological and flood regimes of the upper Svratka River catchment, affected by trends in crucial meteorological triggers (e.g., precipitation totals, snow cover depth and air temperature). The results of flood regime analysis for 1925 to 2010, in terms of the frequency, seasonality and extremity of flooding (Figs. 3–5), correspond

well with the results of studies addressing analogous topics in Czechia, exhibiting a notable decrease in the frequency of floods during the 20th century as well as a reduction in their extremity, in terms of Q_N values.

The creation of the Vír reservoirs, increasing sheer retention capacity and potential for water management manipulation, led to a significant reduction in the extremity of peak flood discharges and flood frequency as compared both to the unaffected part of the watercourse and the period before reservoir construction. This decrease in the extremity and frequency of flooding also corresponds with the fore-mentioned natural tendencies.

The reservoir construction also led to considerable disruption in the homogeneity of hydrological observations at stations downstream. This is reflected in the Czech Hydrometeorological Institute's practice of deriving new Q_N values for a given station (in the case of the Vír station, beginning in 1954 – Fig. 6). As is evident from applied tests of relative homogeneity, the influence on maximum annual discharges on the upper Svatka River was already apparent at the time of reservoir construction, and not only after the reservoir began to operate.

Construction of the Vír reservoir on the upper Svatka led to considerable reduction in the variability of maximum annual discharges on the part of the watercourse affected (Figs. 7–8). The statistically significant correlation coefficients between peak discharges at unaffected (Borovnice) and affected (Vír) stations show a decrease from 0.69 over the 1925–1953 period to 0.50 in the period after reservoir completion.

Water retention in reservoirs contributes to a reduction in maximum annual discharges (Figs. 7–8) and to delay in their culmination time (Fig. 9), which may also be affected by draining water from the reservoir before an anticipated flood wave, i.e. by accelerating culmination discharge. The reservoir makes it possible, in particular, to decrease frequency and culminations of summer floods (Fig. 10) which, despite the high possible extremity of Q_N , are usually characterized by a smaller flood wave volume than that of winter floods.

Manipulation of the Vír reservoir retention volume is accomplished through the holding of incoming water, in its early drainage or in a combination thereof. In terms of annual variation in relative mean discharges (Fig. 11), if the period from 1925 to 1953 is compared with 1954 to 2010, the storage function of the reservoir is evident from February to April, whereas an increase in discharge, due to water drained from the reservoir occurs primarily from May to October.

The primary contribution of this paper is its detailed analysis and quantification of the anthropogenic influence of peak discharges using the example of the upper Svatka River after construction of the Vír I and Vír II Reservoirs. The results obtained may also be used in addressing flood control on the watercourse studied. The analyses of maximum annual and flood discharges in the upper Svatka catchment in the 1925–2010 period also contribute to a better understanding of the temporal and spatial variability of floods in Czechia.

Fig. 1 – Situation of the upper Svatka River with the position of the Vír Reservoirs and the water-gauge stations used for the study.

Fig. 2 – Water-gauge stations at Borovnice (left) and Vír (right) – situation on 9 September 2009, photo J. Sklenář.

Fig. 3 – Chronology of floods with peak discharge $Q_k \geq Q_2$ at the Borovnice and Vír stations on the upper Svatka in the 1925–2010 period (calendar years) with respect to their N-year return period (Q_N) and occurrence during the winter (ZP: November–April) and summer (LP: May–October) hydrological half-years (figures indicate the numbers of flood events if the flood frequency in the given half-year exceeds one).

Fig. 4 – Decadal frequencies of flooding at the Borovnice (a) and Vír (b) stations on the upper Svatka in the 1925–2010 period (calendar years) with respect to their occurrence during the winter (ZP: November–April) and summer (LP: May–October) hydrological half-years.

Fig. 5 – Decadal frequencies of flooding at the Borovnice (a) and Vír (b) stations on the upper Svatka in the 1925–2010 period (calendar years) with respect to their N-year return period.

Fig. 6 – Double-mass curve compiled for series of maximum annual discharges Q_{max} at the Borovnice and Vír stations on the upper Svatka in the 1925–2010 period.

- Fig. 7 – Maximum annual discharges Q_{\max} at the Borovnice and Víř stations on the upper Svratka in the 1925–2010 period.
- Fig. 8 – Differences ΔQ between maximum annual discharges at the Borovnice station and next peak discharges at the Víř station in the 1925–2010 period (ΔQ is expressed as Q at Víř minus Q at Borovnice).
- Fig. 9 – Time differences Δt between maximum annual discharges at Borovnice and next peak discharges at the Víř station in the 1925–2010 period (Δt is expressed as t at Víř minus t at Borovnice).
- Fig. 10 – Distribution of the relative frequencies (%) of floods with $Q_k \geq Q_2$ at the Borovnice and Víř stations on the upper Svratka during the course of each year in the 1925–1953 and 1954–2010 periods.
- Fig. 11 – Relative proportions (%) of mean monthly discharges in annual variation at the Borovnice and Víř stations on the upper Svratka before construction of the Víř reservoir (1925–1953) and afterwards (1954–2010).

Pracoviště autorů: J. Sklenář: Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno a Český hydrometeorologický ústav Praha, pracoviště Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno, e-mail: jiri.sklenar@chmi.cz. R. Brázdil: Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno a Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Bělidla 956/4a, 603 00 Brno, brazdil@sci.muni.cz.

Do redakce došlo 1. 9. 2011; do tisku bylo přijato 31. 3. 2012.

Citační vzor:

SKLENÁŘ, J., BRÁZDIL, R. (2012): Vliv vodní nádrže Víř na maximální roční a povodňové průtoky na horní Svratce. *Geografie*, 117, č. 2, s. 192–208.