

Posouzení funkčních objemů vodního díla Vír I na aktualizovaná vstupní data

DANIEL MARTON, MILOŠ STARÝ

Klíčová slova: funkční objem — nádrž — Vír I — zásobní funkce nádrže — ochranná funkce nádrže

SOUHRN

Cílem příspěvku je přednést výsledky studie, která měla za úkol posouzení účinnosti funkčních objemů nádrže Vír I na aktualizovaná vstupní data. Studie byla zaměřena na přepočítání zásobního objemu, zabezpečení nalepšeného odtoku vody z nádrže a na posouzení ochranného objemu nádrže. Řešení zásobního objemu nádrže bylo provedeno pomocí reálných průtokových řad maximální dostupné délky měření a umělých průtokových řad. Přepočítání ochranné funkce nádrže byl proveden pro teoretické povodňové vlny odvozené klasickou metodou a pomocí metody podmíněné pravděpodobnosti. Zadání vycházelo z požadavku aktualizace výpočtu uvedených veličin s ohledem na prodloužení délky měřených vstupních hydrologických podkladů, zejména pak s přihlédnutím na suchu z roku 2015 a extrémní povodně posledních let.

ÚVOD

Poslední roky ukazují, že problém sucha se výrazně týká i některých regionů České republiky. V minulosti se hojně řešila problematika povodní a protipovodňové ochrany. Opačný extrém byl v pozadí. Dnes je však sucho stejně vážným tématem stejně jako v minulosti povodně. Poslední roky patří mezi nejteplejší v celé historii meteorologických pozorování. Na mnoha místech ČR byly pozorovány výrazné poklesy hladiny vodních toků. Na významných tocích se opětovně objevily hladové kameny, jedny z nejstarších informátorů o suchých obdobích v českých zemích. Zásoby podzemních vod byly a stále jsou pod dlouhodobými normály. Některé vodní nádrže musely kvůli problémům s nedostatkem vody přistoupit k mimořádným manipulacím. Nezapomínejme však, že možnost povodňového nebezpečí je stále přítomná, a je jí třeba věnovat pozornost. Proto úlohy spojené s přehodnocením funkčních objemů nádrží z pohledu aktuálních hydrologických problémů jsou vysoce aktuální. Počítá s ním i vládní dokument Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR [1], který si problematiku posouzení funkčních objemů stávajících nádrží vytyčil jako jeden z mnoha cílů adaptačních opatření v boji proti změně klimatu.

Předmětem příspěvku je prezentace výsledků studie, která měla za úkol přepočítání účinností funkčních objemů nádrže Vír I. Výpočty byly zaměřeny především na výpočet nalepšeného odtoku vody z nádrže ze stávajícího zásobního objemu nádrže při zadané zabezpečení odtoku a na posouzení ochranného účinku nádrže. Zadání vychází z požadavku podniku Povodí Moravy, s. p., na aktualizaci výpočtů uvedených veličin s ohledem na prodloužení délky měřených vstupních hydrologických podkladů. Přesněji aktualizaci řady průměrných měsíčních průtoků, tak aby zahrnovala suché epizody z devadesátých let minulého století, z roku 2014 a především z roku 2015.

Dále aktualizaci hydrogramů povodní, ve kterých jsou zahrnuty nedávné extrémní povodňové události z roku 1997 a následujících let. Hydrologické podklady poskytl ČHMÚ, pobočka Brno.

METODIKA

Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže

Výpočet zásobní funkce nádrže byl proveden pomocí programu UNCERESERVOIR [2]. Základem programu je simulační model chování nádrže, který popsal Starý, viz [3]. Algoritmus softwaru vychází z upravené základní rovnice nádrže v součtovém tvaru, která je omezena podmínkou typu nerovnosti. Výpočet zabezpečení je proveden podle klasického vztahu Čegodajeva, viz [3], a normy ČSN 75 2405 [4], kdy je stanovena zabezpečení podle trvání P_T a množství nedodané vody P_D . Simulační model nádrže do výpočtů zahrnuje i ztráty vody z nádrže. Ztráty jsou uvedeny ve formě ztráty vody výparem z vodní hladiny a průsakem tělesa hráze. Ztráty jsou řešeny iterační metodou.

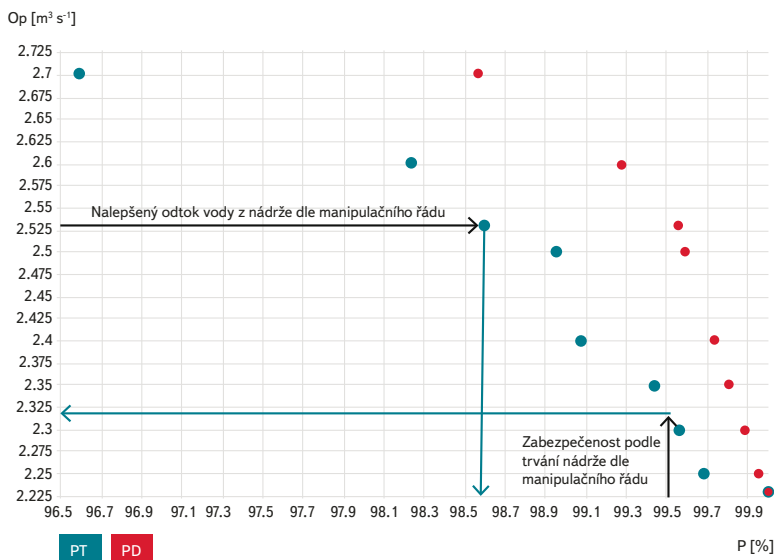
Vzhledem k významu vodního díla Vír I bylo provedeno i řešení pomocí umělých průtokových řad. K sestavení umělých průtokových řad byl použit program LRM soft [5]. Algoritmus generátoru vychází ze standardního postupu generování umělých průtokových řad, který popsal Starý, viz [6]. Řídící rovnice generátoru včetně principu jejich použití dále popsal Kos, viz [7].

Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže

Proces transformace povodňové vlny nádrží byl simulován pomocí programu HYDROG [8]. Pro transformaci povodně (řešení základní rovnice nádrže v diferenciálním tvaru) je v programu použita explicitní diferenční metoda Runge-Kutta 4. řádu. Metoda umožňuje provádět diskrétní bodovou simulaci spojitého procesu.

PRAKTICKÁ APLIKACE

Základní hydrologické údaje o povodí nad nádrží. Nádrž je vybudována v povodí řeky Svratky a řeka Svratka je také hlavním přítokem vody do nádrže. Plocha povodí nad nádrží je přibližně 410,35 km². Průměrný dlouhodobý přítok vody do nádrže je $Q_a = 3,607 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ekologický průtok tvořící hranici sucha je Q_{355} a odpovídá průtoku $0,48 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Časová řada průměrných měsíčních průtoků byla použita z měření ve vodoměrném profilu Dalečín, který se nachází bezprostředně nad nádrží. Průměrná hodnota měřeného výparu z vodní hladiny odpovídá hodnotě $E_a = 613 \text{ mm/rok}$.



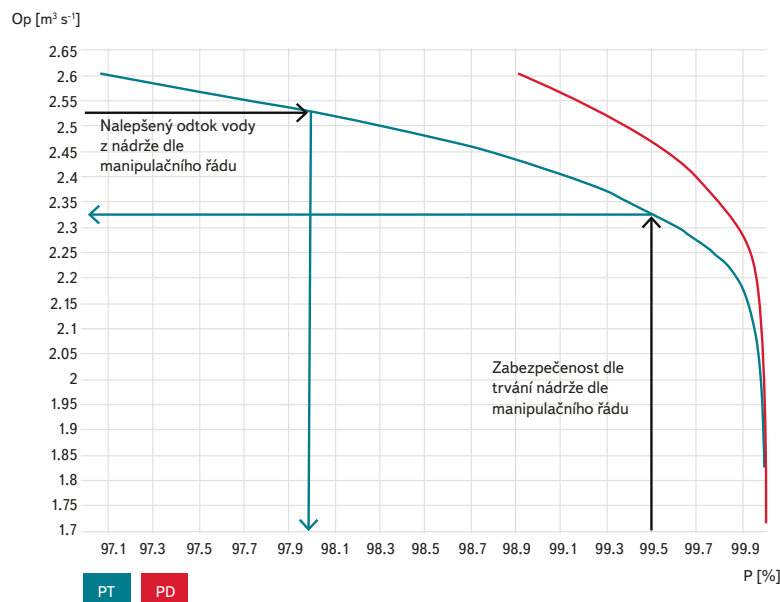
Obr. 1. Vztah mezi zabezpečeností odtoku vody z nádrže a hodnotou nalepšeného odtoku vody z nádrže – reálná průtoková řada

Fig. 1. Relation between reliability of reservoir outflow and total water outflow – historical flow series

Těleso hráze nádrže Víř I je betonové tížné složené z 26 bloků. Délka hráze v koruně hráze je 390 m. Celková výška hráze je 67,3 m. Šířka hráze v koruně je 9 m. Dno údolí u hráze je 404,24 m n. m. a kóta koruny hráze je 470,45 m n. m. Výpustná a odběrná zařízení jsou tvořena 2x spodní výpustí DN 1 800 mm a jednou asanační výpustí DN 200 mm. Bezpečnostní přeliv je konstrukce korunnové nehrazené o celkové délce 60,5 m a maximální kapacitě $180,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při hladině 468,45 m n. m. Nádrž slouží také k elektrárenským účelům. Na pravé straně hráze je vybudována vodní elektrárna s dvěma turbínami o hltnosti $2 \times 12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Minimální požadovaný odtok vody z nádrže je $MQ = 0,530 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Neškodný průtok je $Q_{NE} = 55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Celkový objem nádrže je $V = 56,193 \text{ mil. m}^3$. Prostor stálého nadržení je $V_s = 3,800 \text{ mil. m}^3$. Zásobní objem nádrže je $V_z = 44,056 \text{ mil. m}^3$. Ochranný objem nádrže je $V_r = 8,337 \text{ mil. m}^3$. Celkový rovnoměrný odběr vody z nádrže Víř I je stanoven podle manipulačního řádu [9] na hodnoty nalepšeného odtoku $O_p = 2,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Nalepšený odtok je rozdělen na dílčí odběry a minimální odtok do toku MQ. Odběr z nádrže pro oblast Žďár nad Sázavou je $Q_{ZDAR} = 0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Odběr pro Vířský oblastní vodovod včetně odběru vody pro Brno a jeho okolí je $Q_{VOV} = 1,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Všechny uvedené parametry vychází z platného manipulačního řádu k vodnímu dílu [9].

Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže

Výpočet byl proveden pro vyhodnocení zabezpečení odtoku vody z nádrže P_T a P_D . Vstupní hodnoty pro výpočet zásobního objemu nádrže tvořila časová řada průměrných měsíčních průtoků měřených ve vodoměrném profilu Dalečín. Délka hydrologické řady je 65 let za období měření 1950 až 2015. Vzhledem k účelu nádrže byla ve výpočtech použita i data z generátorů umělých průtokových řad. Pro tyto účely byl vybrán a použit lineární regresní model s délkou regresní závislosti 4 a celkovou délkou generované umělé průtokové řady 10 000 let. Zásobní objem nádrže byl počítán s uvažováním ztrát vody z nádrže. Úloha byla řešena pro hodnotu zásobního objemu nádrže daného v [9]. Kdy hodnota O_p byla postupně zvyšována a pro volené O_p byly vždy dopočítávány hodnoty zabezpečení P_T a P_D . Výsledky byly porovnány ze dvou pohledů. První byla změna P_T při uvažování $O_p = 2,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ daného v [9]. Druhý pohled byl ve změně O_p při uvažování zabezpečení $P_T = 99,5 \%$ dané v [4] a [9].



Obr. 2. Vztah mezi zabezpečeností odtoku vody z nádrže a hodnotou nalepšeného odtoku vody z nádrže – umělá průtoková řada

Fig. 2. Relation between reliability of reservoir outflow and total water outflow – artificial flow series

Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže

Cílem řešení bylo posoudit, zda a jakým způsobem nádrž převede aktualizované povodňové vlny PV_{100} , návrhovou PV_{1000} a kontrolní PV_{10000} . Přitom povodňové vlny byly aktualizované ČHMÚ v roce 2008 [10]. Podklady, ze kterých byly povodňové vlny zkonstruované, zahrnovaly i extrémní historické povodně z posledních let z konce minulého století a ze začátku současného století.

Povodně byly odvozeny jednak klasickým způsobem a jednak pomocí podmíněných pravděpodobností s 30% podmíněnou pravděpodobností překročení objemu povodňové vlny, v tabulkách uvedeno pod zkratkou PP. Za simulovaného průchodu povodně byl sledován transformační účinek nádrže a byl odečten vždy kulminační odtok vody z nádrže O_{max} , který byl porovnán s hodnotou neškodného odtoku vody z nádrže $O_{NE} = 55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dále byla odečtena kóta maximální hladiny v nádrži H_{max} , která byla následně porovnána s mezní bezpečnou hladinou MBH stanovenou pro nádrž Víř I na kótě 470,45 m n. m. Při výpočtech byly testovány dva vybrané způsoby řízení odtoku vody z nádrže. První způsob neumožňuje provést před nástupem povodně povyprázdňení zásobního objemu nádrže, doporučení podle [11]. Uvedená varianta je v dalším textu a obrázcích označena jako varianta bez předpouštění. Druhý způsob se liší od prvního způsobu řízení tím, že umožňuje operativně povyprázdňení zásobního objemu nádrže před nástupem povodně, tzv. varianta s předpouštěním. Pro jednoduchost je z nádrže hned vypouštěn odtok roven neškodnému odtoku. Jedná se tedy o agresivní způsob řízení odtoku vody z nádrže ve vztahu ke korytu toku pod nádrží. Oba způsoby řízení jsou pro posouzení mezní a určují interval, ve kterém je možno hledat i jiné způsoby řízení odtoku vody z nádrže za průchodu návrhové povodňové vlny.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže

Obrázek 1 a 2 ukazují výsledky výpočtů zabezpečení P_T a P_D . Opakovaně byla měněna hodnota nalepšeného odtoku a stanovena zabezpečení až byly sestaveny závislosti O_p na P_T a P_D . Obrázek 1 popisuje závislost odtoku vody z nádrže a zabezpečení stanovenou v reálné průtokové řadě. Obrázek 2 pak popisuje stejnou závislost, ale vstupem do výpočtu je umělá průtoková řada. Odečty v grafech ukazují výsledky porovnání s hodnotami uvedenými v manipulačním řádu k vodnímu dílu Vír I [9].

Jak bylo uvedeno výše. Podle manipulačního řádu zásobního objemu nádrže 44 056 000 m³ odpovídá nalepšený odtok $O_p = 2,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při zabezpečení podle trvání $P_T = 99,5 \%$.

Při zachování nalepšeného odtoku $O_p = 2,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a zásobního objemu 44 056 000 m³ je zabezpečení v reálné průtokové řadě $P_T = 98,59 \%$. Zabezpečení nevyhoví a rozdíl činí 0,91 %. V umělé řadě je zabezpečení $P_T = 97,99 \%$. Zabezpečení opět nevyhoví a rozdíl činí 1,51 %.

Při zachování zabezpečení $P_T = 99,5 \%$ a zásobního objemu 44 056 000 m³ je nalepšený odtok vody z nádrže $O_p = 2,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v reálné průtokové řadě. Nalepšení odtoku vody z nádrže nevyhoví a rozdíl činí 0,21 m³·s⁻¹. V umělé průtokové řadě vychází nalepšení odtoku vody z nádrže $O_p = 2,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a rozdíl opět činí 0,21 m³·s⁻¹.

Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže

Souhrnné zhodnocení dosažených efektů pro oba mezní způsoby řízení odtoku vody z nádrže za průchodu povodní PV_{100} , PV_{1000} a PV_{10000} jsou uvedeny v tabulce 1 a tabulce 2.

Z uvedených tabulek plyne, že ve variantě bez předpuštění vody z nádrže byl pro všechny hydrogramy povodní neškodný odtok v korytě pod nádrží vždy překročen. Pozitivní skutečností je, že maximální bezpečnostní hladina nebyla pro žádnou N-letost dosažena.

Ve variantě s předpuštěním vody z nádrže pro hydrogram PV_{100} a pro hydrogram $PP_{PV_{100}}$ navržený pomocí podmíněných pravděpodobností byl neškodný odtok v korytě pod nádrží kulminačním odtokem dosažen. Pro všechny ostatní hydrogramy povodní s N-letostí 1 000 a 10 000 roků byl neškodný odtok v korytě pod nádrží kulminačním odtokem vždy překročen. Pozitivní skutečností opět je, že maximální bezpečnostní hladina nebyla pro žádnou N-letost dosažena.

Tabulka 1. Dosažené efekty při transformaci – varianta bez předpuštění

Table 1. Resulting transformation effects – alternative without emptying

	O_{\max} [m ³ /s]	Menší nebo rovno O_{NE} ?	H_{\max} [m n. m.]	Menší než MBH?
PV_{100}	81,7	Ne	468,38	Ano
$PP_{PV_{100}}$	125,0	Ne	468,05	Ano
PV_{1000}	235,4	Ne	468,52	Ano
$PP_{PV_{1000}}$	272,5	Ne	468,66	Ano
PV_{10000}	369,0	Ne	469,03	Ano
$PP_{PV_{10000}}$	409,0	Ne	469,16	Ano

ZÁVĚR

Podle provedených výpočtů je zřejmé, že nádrž Vír I, která je zařazena do třídy významnosti A ($P_T \geq 99,5 \%$), má vzhledem k aktualizovaným datům téměř o 1 % menší hodnoty zabezpečení podle trvání. Nižší je i nalepšený odtok vody z nádrže. Z výpočtů je zřejmý pokles nalepšeného odtoku o přibližně 0,21 m³·s⁻¹. Toto snížení pokrývá například odběr vody pro Žďársko. Je tedy zřejmé, že kapacita zdroje vody pro zásobené oblasti Žďársko, Bystřicka, Brna a okolí je v současnosti negativně nadhodnocena. Vzhledem k probíhajícím změnám klimatu je však možné očekávat další budoucí pokles přítoku vody do nádrže. Toto tvrzení je však nutné prokázat důkladnou analýzou vlivu změny klimatu na zásobní objem nádrže. Přitom upřednostnění odběrů vody z nádrže před odtokem vody do toku může mít při dlouhodobém držení průtoku vody v řece Svratce pod nádrží Vír I na nízkých hodnotách fatální důsledky. Mohou nastat problémy spojené s jakostí vody a biologickou rovnováhou v toku. Je tedy zřejmé, že při výpadku zásobení Brna vodou z prameniště Březová, nemá Brno ekvivalentní náhradní zdroj.

Jak ukazují průběžné výsledky provedené analýzy, řešením je navýšení zásobního objemu v nádrži Vír. Protože to však není možné, logicky se nabízí hledat příslušný zásobní objem výše po toku, kde se nabízí vybudování nádrže v dlouhodobě hájeném profilu Borovnice.

Ochranná funkce nádrže byla přepočítána z pohledu průchodu aktualizovaných povodňových vln. Dosažené výsledky uvedené v tabulkách ukazují, že i v této oblasti je její transformační schopnost nadhodnocena. Nádrž není schopna bez předpuštění udržet kulminační odtoky pod hodnotou neškodného odtoku. Předpuštění je však u nádrže Vír I možné, protože má trvalou obsluhu a je navázána na vodohospodářský dispečink. Ten získává operativní předpovědi přítoků z ČHMÚ, který je poskytuje. Navíc má i dostatečné technické vybavení. Spodní výpusti disponují dostatečnou kapacitou pro uvedené činnosti.

Uvedený způsob předpuštění je hodně agresivní a v některých případech testovaných kontrolních povodní vede při dlouhých náběžích vzestupných větví povodní ke značnému vyprázdnění zásobního objemu nádrže. Zpracovatelé jej považují pouze jako mezní řešení. Způsoby řízení odtoku je třeba podrobně analyzovat a zjištěné skutečnosti promítnout do manipulačního řádu, který je třeba s ohledem na zjištěné skutečnosti neprodleně aktualizovat.

Tým zpracovatelů studie přistupoval k přehodnocení ochranné funkce nádrže s nadějí, že bude v dané oblasti její kapacita mírně předimenzovaná, že bude možno snížit retenční objem nádrže ve prospěch zásobní funkce a posílit její možnosti v oblasti zásobení vodou. Dosažené výsledky však ukázaly,

Tabulka 2. Dosažené efekty při transformaci – varianta s předpuštěním

Table 2. Resulting transformation effects – alternative with emptying

	O_{\max} [m ³ /s]	Menší nebo rovno O_{NE} ?	H_{\max} [m n. m.]	Menší než MBH?
PV_{100}	55,0	Ano	467,50	Ano
$PP_{PV_{100}}$	55,0	Ano	456,40	Ano
PV_{1000}	195,0	Ne	468,30	Ano
$PP_{PV_{1000}}$	166,7	Ne	468,23	Ano
PV_{10000}	369,0	Ne	469,10	Ano
$PP_{PV_{10000}}$	410,0	Ne	469,16	Ano

že tato cesta není možná. Jako možné řešení se opět nabízí hledat další ochranný prostor výše po toku, využít hájený profil Svratka/Borovnice pro výstavbu nové nádrže. Důvod je velmi závažný. Nádrž Vír I je z pohledu zásobní i ochranné funkce vzhledem k aktuálním hydrologickým podkladům poddimenzovaná.

Poděkování

Tento příspěvek je výsledkem specifického výzkumu FAST-J-17-4214 Nové pojetí ekonomického návrhu nádrže v podmínkách hlubokých nejistot s použitím multikriteriální optimalizace.

Příspěvek byl publikován ve sborníku konference Vodní nádrže 2017, ISBN 978-80-905368-5-2.

Literatura

- [1] *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR*. Ministerstvo životního prostředí [online]. 2015 [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: <http://www.mzp.cz>
- [2] MARTON, D., STARÝ, M. a MENŠÍK, P. *UNCERESERVOIR – Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže*. Dostupné z: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>
- [3] STARÝ, M. *Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 01)*. Brno: VUT v Brně – Fakulta stavební, 2006.
- [4] Česká technická norma ČSN 75 2405 *Vodohospodářské řešení vodních nádrží*, ICS 93.160; 13.060.10, Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [5] MARTON, D. a STARÝ, M. *LRMsoft – generátor umělých měsíčních průtoků*. Dostupné z: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>
- [6] STARÝ, M. *Hydrologie (MODUL 01)*. Brno: VUT v Brně – Fakulta stavební, 2005.
- [7] KOS, Z. *Lineární regresní model a jeho aplikace v hydrologii*. Vodní toky v Praze. Praha, 1969.
- [8] STARÝ, M. *HYDROG – Software pro simulaci a operativní řízení odtoku vody z povodí*, 1991–2017, Brno.
- [9] *Manipulační řád pro vodní dílo Vír I na řece Svratce*. Brno: Povodí Moravy, s. p., 2011.
- [10] JURÁNEK, L. *Hydrologická studie pro VD VÍR I, Odvození teoretických povodňových vln různými statistickými metodami*. Brno: ČHMÚ, 2008.
- [11] Česká technická norma ČSN 75 2935 *Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních*, ICS 13.200; 93.160. Praha: Český normalizační institut, 2014.

Autoři

Ing. Daniel Marton, Ph.D.

✉ marton.d@fce.vutbr.cz

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.

✉ stary.m@fce.vutbr.cz

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,
Ústav vodního hospodářství krajiny

Příspěvek prošel lektorským řízením.

STORAGE CAPACITY ASSESSMENT OF WATER RESERVOIR ON CURRENT HYDROLOGIC DATA

MARTON, D.; STARY, M.

Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering,
Institute of Landscape Water Management

Keywords: reservoir volume – reservoir – Vír I –
storage capacity – flood capacity

The aim of this paper is to present results of study, which was aimed to evaluate the efficiency of reservoir capacities for updated input data. The study has focused on review of storage capacity, reliability of total reservoir outflow and analysis of flood protection capacity. Storage capacity was made using historical flow time series of maximum length of historical measurements as well as using artificial flow time series. The review of the flood protection capacity was made for the theoretical flood hydrographs derived by the classical method as well as the Method of Conditional Probability. The given objectives is based on the requirement to update the calculations of above mentioned quantities with point of view to extending of length of measured input hydrological data, especially taking into account the 2015 drought and the extreme flood in recent years.