

## ÚČINKY MIMOŘÁDNÉ POVODNĚ V SRPNU 2002 NA VODNÍ DÍLA V POVODÍ VLTAVY

## EFFECTS OF THE EXTREME FLOOD OF AUGUST 2002 ON HYDRAULIC STRUCTURES IN THE VLTAVA RIVER BASIN

**RICHARD KUČERA,  
VOJTĚCH BROŽA**

Základní projektové kapacity manipulačních objektů VD Lipno, Římov, Orlík, Kamýk a Slapy a skutečné hodnoty dosažené při povodni v srpnu 2002 na jednotlivých nádržích. Účinky povodně na vzdouvací objekty uvedených vodních děl.

Basic design discharge parameters of the following hydraulic structures: Lipno, Římov, Orlík, Kamýk and Slapy, and real values achieved during the August flood 2002 on individual reservoirs. Flood effects on backwater structures of the above water schemes.

Povodeň v srpnu 2002, která zasáhla prakticky celé povodí Vltavy, byl s různou

Obr. 1 VD Římov na Malši, skluz od přelivu na levém údolním svahu – prohlídka stavu konstrukce

Fig. 1 Hydraulic structure Římov on the Malše River; chute from the spillway on the left valley slope – inspection of the condition of the structure



intenzitou, důkladně prověřila desítky vodních děl na tocích, ať již se jedná o přehrady, jezy, objekty vltavské plavební cesty, ochranné hráze, hráze rybníků a hospodářských nádrží atd. Je skutečností, že pro mnohé objekty, vybudované ve druhé polovině 20. století, to byla první významná povodeň v průběhu celého období jejich provozu, současně však někdy překračující představy projektanta o jejich maximálním zatížení. Zvláště intenzivně byla zasažena vodní díla vltavské kaskády, která s výjimkou VD Hněvkovice a Kořensko (u Týna nad Vltavou) byla projektována před rokem 1960, kdy se teprve postupně formulovaly normativní zásady zahrnující bezpečnost přehrad za povodní, ostatně značně vzdálené soudobým představám. Pro představu o velikosti povodně uvádíme některé údaje o průtocích v tabulce 1.

Na rozdíl od četných zpráv v mediích v době povodně, poukazujících na to, že nádrže byly plné již před nástupem povodně, ve skutečnosti na počátku srpna 2002 volné objemy většinou výrazně překračovaly hodnoty stanovené v manipulačních řádech a v průběhu povodňové situace se je díky manipulacím podařilo obnovit. Např. na VD Orlík byl volný objem 120 milionů m<sup>3</sup>, což je dvojnásobek velikosti ochranného prostoru. Ten byl do značné míry zaplněn již při průtokové vlně 8. až 9. srpna. Před nástupem druhé, podstatně větší povodňové vlny, však bylo vyprázdnění obnoveno na původní úroveň. Povodeň však, zejména v jižní a střední části povodí Vltavy, svými parametry i rychlým průběhem výrazně přesáhla dosavadní zkušenosti i historické zá-

Obr. 2 VD Římov, skluz v plné funkci za povodně, voda přetéká pravou boční svodnou stěnu

Fig. 2 Hydraulic structure Římov; fully functional chute during the flood; water spills over through the right side drainage wall

Řeka – VD	srpen 2002		projektované maximum stoleté povodně $v$ ( $m^3s^{-1}$ )
	přítok $v$ ( $m^3s^{-1}$ )	odtok $v$ ( $m^3s^{-1}$ )	
Vltava – Lipno	420	320	320
Malše – Římov	465	465	306
Vltava – Hněvkovice	1180	1180	1000
Vltava – Orlík	~4400	~3000	2200
Vltava – Praha	~5300	~5300	3700

Tab. 1 Porovnání projektových průtoků stoleté povodně a skutečného stavu v srpnu 2002 na vybraných VD na Malši a Vltavě (údaje o přítocích jsou zpětně odvozeny z funkce nádrží, nikoliv přímo měřeny)

Tab. 1 Comparison of design discharges of the one-hundred flood and the real situation in August 2002 on selected hydraulic structures on the Malše and Vltava (inflow data have been deduced from the function of the reservoirs, not directly measured)

Obr. 3 VD Orlik, pohled na vzdušná lica a budovu elektrárny v době kulminace povodně

Fig. 3 Hydraulic structure Orlik; view of the downstream face and the structure of the power plant at the time of the culmination of the flood

namy a na řadě vodních děl způsobila mimořádně vážné problémy, které bylo nutno operativně zvládnout. Mnoho objektů bylo zničeno popř. vážně poškozeno nebo dočasně vyřazeno z provozu. K nejzávažnějším poruchám došlo na hrázi Nových řek, s bezprostředním ohrožením hráze rybníka Rožmberka, kde bylo nutno v průběhu povodně realizovat stabilizační opatření, na vzdouvacím objektu elektrárny na Černé, na ochranné hrázi Lužnice u jezu Pilař, kde řeka po jistou dobu protékala vytěženou lagunou pískovny, na hrázi plavebního kanálu v Praze–Podbabě atd. Díky zaplavení byly dlouhodobě vyřazeny z provozu některé vodní elektrárny. K protržení hrází rybníků došlo nejen v hojně citovaných Metlách, kde šlo o havárii celé kaskády, ale např. i na Plzeňsku, Jindřichohradecku a Třeboňsku.

Povodeň poznamenala také některé významné přehrady na Vltavě popř. jejich přítocích, nejvíce naši největší betonovou přehradu Orlik o výšce 91 m. Správci povodí, státnímu podniku Povodí Vltavy, vznikly přímé škody na spravovaném majetku přesahující dvě miliardy Kč.

V další části příspěvku jsou uvedeny vybrané údaje, z nichž je možno si vytvořit obraz, jak betonové objekty vodních děl vzdorovaly mimořádným účinkům povodně v srpnu 2002.

#### VD LIPNO

Díky příznivým morfologickým podmínkám se výstavbou relativně nízké hráze dosáhlo velkého akumulacího objemu této nejvýše položené nádrže vltavské kaskády. Na levém boku na zemní vzdouvací stavbu navazuje betonová část, zahrnující přeliv, spodní výpusti, odběr vody a malou vodní elektrárnu – o celkové kapacitě  $320 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Podzemní elektrárna při plném výkonu převádí dalších  $92 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  s odpadem do vyrovnávací nádrže ve Vyšším Brodě.

Díky velké transformační schopnosti nádrže se, i při snaze napomoci situaci v Českém Krumlově, podařilo maximum povodně vcelku výrazně snížit, aniž by došlo k většímu překročení max. hladiny (jen



Obr. 4 VD Orlik, voda vytéká větracími otvory zaplaveného skladu umístěného pod korunu přehrady

Fig. 4 Hydraulic structure Orlik; water flows out through the ventilation openings of the flooded storehouse situated below the crown of the dam

o 70 mm). Svodná betonová plocha pod přelivem odolala zatížení proudící vodou bez výraznějších poškození. Snížení max. povodňového průtoku se příznivě projevilo i na VD Lipno II, kde byly povodňové průtoky převáděny kromě přelivných polí též šterkovou propustí a přes vodní elektrárnu.

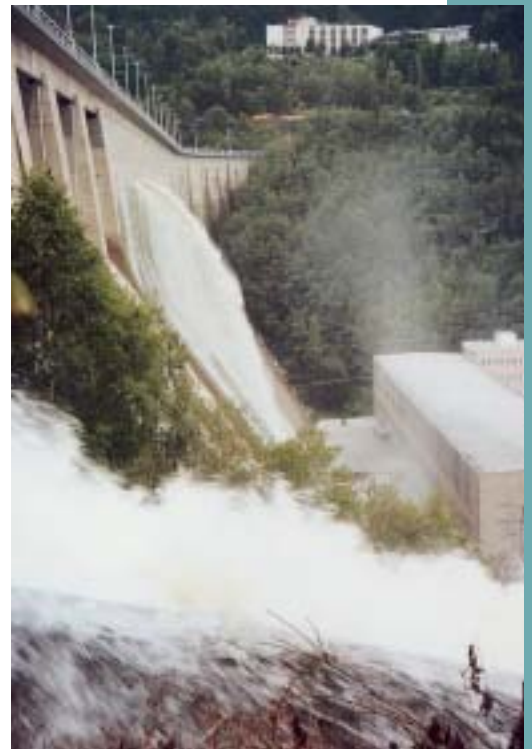
Jako zajímavost je možno uvést, že od zahájení provozu v roce 1959 až do srpna 2002 lipenská nádrž zachytila všechny vyskytnuvší se povodně a jejich voda postupně prošla turbinami vodní elektrárny.

#### VD ŘÍMOV

Významná vodárenská nádrž – zdroj pitné vody pro Českobudějovicko i širší okolí – je vytvořena kamenitou přehradou, do níž je zakomponován hrazený bezpečnostní přeliv, od něhož je voda odváděna beto-

Obr. 5 VD Orlik, neplánovaný odtok vody žlaby lodních zdvihadel v době kulminace povodně

Fig. 5 Hydraulic structure Orlik; unplanned water outflow through flumes of ship-lifts at the time of the flood culmination



novým skluzem (obr. 1), který z hlediska návrhového průtoku je nejvýznamnější v ČR. K manipulaci se dále využívají dvě spodní výpusti.

Za srpnové povodně v roce 2002 bylo vodní dílo v průběhu jednoho týdne zatíženo dvěma průtokovými vlnami o prakticky stejném maximu, přes  $470 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Uvážíme-li, že v obou případech se jedná o průtok, který činil 170 % maxima teoretické stoleté povodně, kterému se až dosud žádná pozorovaná povodeň na Malši nepřiblížila, jde zřejmě o jev zcela mimořádný (obr. 2).

Již od doby výstavby díla existovaly jisté pochybnosti o stabilitě skluzu, založeném na skalním podloží na levém údolním svahu. V průběhu let byly uskutečněny různé průzkumné práce a zvýšila se četnost měření; ty však vždy vyzněly příznivě pro hodnocení bezpečnosti díla. V rámci programu oprav byly v době před povodní započaty práce na sanaci povrchových vrstev betonu: odstranění porušených popř. nekvalitních zón mechanickými nástroji a očištění tlakovou vodou.

Po průchodu povodně bylo možno konstatovat, že skluz velmi dobře odolal opakovanému extrémnímu namáhání. Nepro-

jevily se ani kavitační popř. abrazivní jevy, lokálně opracovaná místa v rámci opravy nebyla nijak dotčena, takže plánovanou sanaci bylo možno provést v původně stanoveném rozsahu beze změny technologického postupu.

Ve vývaru pod skluzem došlo za povodně ke zničení betonových rozražečů, zřejmě v důsledku extrémního zatížení vodou a proplavenými předměty (hlavně vyvrácenými stromy). K destrukci mohly přispět i technologické nedostatky při výstavbě (úprava základové spáry, nedostatečné zakotvení).

V průběhu povodně byly na vodním díle velké obavy z množství připlavených materiálů, které se nakupily na hladině nádrže při hrázi. Byly připraveny mechanismy, které měly zajistit odstraňování materiálů vzpříčených v přelivných polích, aby nedošlo k ucpaní průchodu vody. Naštěstí účinkem větru proudícího v příznivém směru bylo splávi odkloněno od přelivného objektu. Opatnost tu byla plně na místě, protože max. kapacity pojistných zařízení byly v době kulminací povodňových vln téměř plně využity (přeliv  $3 \times 140 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , výpusti  $2 \times 41,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).

#### VD ORLÍK

Za povodně došlo na vodním díle k dramatickému vývoji situace. Již v první fázi povodně (8. a 9. srpna), přes využití volného objemu ( $120 \text{ milionů m}^3$ ), bylo nutno z nádrže vypouštět přes  $1100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , což byl v daném okamžiku největší zaznamenaný odtok za celou dobu provozu díla (od roku 1963). V dalších dnech (11. až 14. srpna) došlo ke strmému nárůstu přítoku do nádrže s kulminací  $\sim 4400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (odvozeno z funkce nádrže), což lze hodnotit jako pěti– až desetitisíciletou povodeň (obr. 3).

V důsledku vyřazení vodní elektrárny z funkce po zaplavení z dolní vody (výpadek odtoku  $600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) hladina v nádrži samovolně vystoupila až o  $1,57 \text{ m}$  nad maximální projektovou hladinu a zaplavila vodní elektrárnu tentokrát shora. Celkový odtok se přiblížil  $3000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Přetížení vzdouvací stavby ( $\sim 0,3 \%$ ) bylo nevýznamné, účinek zvýšení stavu vody v nádrži se projevil tím, že se voda přelévala do některých prostorů v přehradním tělese (obr. 4), přepadala do betonových žlabů šikmých lodních zdvihadel (obr. 5) a ohrožovala i provozní centrum obsluhy, provozně ochráněné hrázkou z pytlů naplněných pískem.

Za podmínek uvažovaných v projektu je přeliv schopen převést  $2180 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , vypusti  $360 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  a vodní elektrárna až  $600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

Za povodně došlo k lokálnímu porušení betonu ve spodní části přelivné plochy nad rozražeči, zřejmě slabých míst od doby výstavby, protože již v minulosti tu byla realizována sanační opatření. Dále byly porušeny všechny rozražeče na konci odrazných můstků, a to shodně na bočních stěnách, kde v horní části byla porušena povrchová vrstva betonu a obnažena výztuž (obr. 6). Hlavní příčinou tu zřejmě byly účinky rychle proudící vody, vznik podmínek pro rozvoj kavitačních jevů a dlouhá doba působení.

Došlo též k závažným poruchám ve vývaru pod přelivy resp. výpustmi a také v celém prostoru pod přehradou – vesměs erozivní činností vody. Naopak založení objektů plavby, kde voda vymlela vše až na skálu, se ukázalo jako velmi kvalitní.

#### VD KAMÝK

Pro převedení vody jsou určeny čtyři přelivy hrazené segmentovými uzávěry s kapacitou  $4 \times 500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , případně i VE se čtyřmi turbinami typu Kaplan o hltnosti  $4 \times 90 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

Max. průtok převáděný přes vodní dílo v srpnu roku 2002 byl dán odtokem z VD Orlík a činil  $3000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (obr. 7).

Již dva dny před kulminací povodně (průtok  $\sim 1000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) byly pozorovány nepravidelnosti v hydraulickém režimu ve vývaru. Po průchodu povodně a krátkodobé odstavce vodního díla bylo zjištěno vyvalení velkého bloku betonu za prahem vývaru (obr. 8) a potápěčským průzkumem odpovídající porucha dna ve vývaru. Uvolněný blok je rozměrů cca  $15 \times 3 \times 2 \text{ m}$ . Celý blok je v celku.

V dokumentaci stavby se uvádí, že dno vývaru tvořené rostlou skálou zůstává neopěvněné, pouze byl vybetonován masivní práh vývaru. Ze zjištěné poruchy vyplývá, že v části dna byla pravděpodobně zhotovena betonová plomba, částečně se jedná o část prahu vývaru. Ze skutečnosti, že téměř celý blok betonu zůstal v celku a že na původně spodní části je dosud přibetonována část kamenů ze skalního podloží vyplývá, že použitý beton byl bezesporu kvalitní.

#### VD SLAPY

Pro převedení vody jsou určena čtyři přelivná pole se segmentovými uzávěry



Obr. 6 Porušení rozražečů na konci přelivné plochy po povodni; a) celkový pohled, b) detail

Fig. 6 Damaged baffle-blocks at the end of the overflow surface after flood; a) general view, b) detail



Obr. 7 VD Kamýk, přeliv ve funkci v době srpnové povodně (2002)

Fig. 7 Hydraulic structure Kamýk; functional overflow during flood

(kapacita  $4 \times 750 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), 2 spodní výpusť (2  $\times 180 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) a dále je k dispozici vodní elektrárna (tři turbíny typu Kaplan o hltnosti  $3 \times 100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).

Maximální průtok, kterému bylo dílo vystaveno od výstavby až do povodně v roce 2002, byl při povodni v roce 1954, kdy ještě nedokončená a tudíž poloprázdná nádrž snížila přítok v hodnotě  $1960 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  na odtok z nádrže  $1345 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

V průběhu léta 2002 před nástupem povodně byla v souladu s požadavky rekreace na vodním díle udržována ustálená hladina, obdobně jako v jiných letech v letním období.

Po celou dobu převádění povodňových průtoků ( $\sim 3100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) se dařilo, i když s velkým vypětím sil, udržet elektrárnu v provozu a tím zajistit plnou manipulační kapacitu vodního díla. Docházelo však ke značným průsakům z přelivných ploch do prostorů elektrárny, neboť svod vody od přelivů, který zároveň tvoří střechu nad objektem vodní elektrárny a vnitřními rozvodnami, je zdrojem problémů po celé období provozu. Během výstavby se nepodařilo dosáhnout potřebné vodotěsnosti dilatačních spár. Proto byly v různých obdobích prováděny poměrně nákladné opravy, jejichž účinnost a hlavně trvanlivost byla nízká (s využitím plastbetonů, v posledních letech speciálními technologiemi na bázi maltových směsí). K možným příčinám neúspěchu oprav patří i extrémní teplotní namáhání povrchových vrstev betonu, kdy osluněné plochy „lyžařských můstků“ mají v létě teploty i značně nad  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Navíc konstrukční systém, vyznačující se rozdílným přetvářením konstrukčních prvků o různé hmotnosti, zřejmě přispívá k postupnému rozvoji poruch povrchu i v již opravených partiích.

Za srpnové povodně 2002 bylo zjištěno značné rozšíření poruchových zón na povrchu přelivných ploch, je však třeba vzít v úvahu, že se jedná o atypický případ porušení betonu.

#### ZÁVĚR

Po srpnové povodni roku 2002 se na řadě vodních děl rychle obnovil běžný provozní režim. Byly prováděny opravy narušených objektů vzniklé hlavně erozí vody pod přehradami atd. Nebylo to však možné na



vodním díle Orlik, částečně na Kamýku a také ve Štěchovicích, kde jsou dlouhodobě vyřazeny z funkce středotlaková i přečerpávací vodní elektrárna. V důsledku vysokých průtoků na Vltavě v podzemním období bylo v nádržním prostoru VD Orlik postupně zachyceno několik povodní (za cenu velkých pohybů hladiny v nádrži), aby se zajistily lepší podmínky pro realizaci stavebních prací podél toku zaměřených na likvidaci následků srpnové povodně. S ohledem na vyřazení elektrárny z provozu bylo dlouhodobě nutno převádět vodu přes přeliv, takže betonové svodné plochy byly neplánovaně po týdny vystaveny účinkům rychle proudící vody. Za trvale zvýšených průtoků také nebylo možno přistoupit k opravám poruch zjištěných ve vývarech vodních děl – což je pro jejich správce vodních děl vždy důvodem zneklidnění. Z hlediska technického stavu

Obr. 8 VD Kamýk, porucha vývaru (blok betonu vytržený ze dna vývaru a porušený práh)

Fig. 8 Hydraulic structure Kamýk; damaged water cushion (concrete block pulled out from the bottom of the water cushion and, and a damaged sill)

a bezpečnosti však takto vynucené oddálení oprav vodních děl není nijak závažné.

Fotografie – archiv autora

Ing. Richard Kučera  
Povodí Vltavy, s. p.  
Holečkova 8, 150 00 Praha 5  
Prof. Ing. Vojtěch Broža, DrSc.  
Katedra hydrotechniky,  
Fakulta stavební ČVUT v Praze  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6