

5 Závěry

V první fázi projektu byla provedena:

1. Konfigurace modelu Vltavské kaskády v prostředí **AquaLog**
2. Simulace průběhu povodně v srpnu 2002 kaskádou při respektování skutečných výchozích hladin a manipulací – ve 3 variantách přítoku:
 - a. simulace všech přítoků **AquaLogem** podle skutečných srážek
 - b. hydrogramy měřených přítoků podle vyhodnocení ČHMÚ a simulace zbytku povodí podle **AquaLogu**
 - c. hydrogram přítoku do nádrže Orlík podle bilančního přítoku Povodí Vltavy

v druhé fázi projektu byla provedena

3. Variantní simulace průběhu povodně v srpnu 2002
 - a. při jiných výchozích podmínkách,
 - b. při neexistenci Vltavské kaskády.
4. Propojení zjednodušené verze modelu Vltavské kaskády s modelem horní a dolní Vltavy.

Model Vltavské kaskády zahrnuje všechny VD, tj. VD Orlík, VD Kamýk, VD Slapy, VD Štěchovice a VD Vrané. Každá nádrž je reprezentovaná modelovací technikou nádrže, která umožňuje výpočet průtoků objekty přehrady na základě měrných křivek nastavení objektů apod. Model umožňuje různé alternativy výpočtu s ohledem na dostupnost dat.

Ad. 1.)

Každá nádrž Vltavské kaskády byla variantně posuzována z hlediska zachování bilance:

VD Orlík - byly extrapolovány křivky přelivů a výpustí do kóty 356 m.n.m a to jak pro volný přeliv a otevřené výpusti, tak pro jednotlivé polohy uzávěrů. Model prokázal dobrou shodu mezi odvozenými a simulovanými průtoky.

VD Kamýk - byly extrapolovány křivky přelivů do kóty 287 m.n.m a to jak pro volný přeliv, tak pro jednotlivé polohy uzávěrů. Model prokázal dobrou shodu mezi měřenými a simulovanými průtoky. Na základě tohoto zjištění lze konstatovat, že z pohledu výsledků pro VD Kamýk odpovídá odvozený odtok z VD Orlík reálnému odtoku během povodně.

VD Slapy - byly extrapolovány křivky přelivů do kóty 271 m.n.m a to jak pro volný přeliv a otevřené výpusti, tak pro jednotlivé polohy uzávěrů příslušných objektů. Model prokázal shodu mezi měřenými a simulovanými průtoky. Odtok z VD Slapy v období mezi 10. a 11. srpnem byl na základě výpočtu opraven. Chyba mezi simulovaným a odvozeným přítokem byla menší než 1%. V tomto rozsahu se pohybovala i chyba pro odtok. Při posouzení shody mezi simulovanou a měřenou hladinou bylo zjištěno, že průměrná chyba mezi měřeným a simulovaným průtokem je $17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pro zkoumané období.

VD Štěchovice - byly extrapolovány křivky přelivů do kóty 221 m.n.m a to jak pro volný přeliv a otevřené výpusti, tak pro jednotlivé polohy uzávěrů příslušných objektů. Model prokázal shodu mezi měřenými a simulovanými průtoky. Při simulaci s použitím informace o nastavení objektů bylo dosaženo dobré shody s kulminační hladinou v nádrži.

VD Vrané - byly extrapolovány křivky přelivů do kóty 202 m.n.m pro volný přeliv. V obou výpočtových variantách byla dosažena vyšší hladina v nádrži, než byla naměřená. V případě objemu vlny a maximálního průtoku bylo dosaženo dobré shody. Pro objem vlny je chyba menší než 1% a pro maximální průtok byl rozdíl v desítkách m^3 .

Ad 2.a)

Byl sestaven model nádrží a přítoků celé Vltavské kaskády od VD Orlick po VD Vrané. Tento model umožňuje posoudit různé okrajové podmínky, způsob manipulace a pod. Model byl použit pro vyhodnocení průtoku celou kaskádou se zaměřením na VD Orlick a především k posouzení bilančního přítoku do VD Orlick a odvozeného odtoku. Jedním z bodů výpočtového modelu je odtok z VD Vrané, kde došlo k celkovému posouzení:

- Bilanční přítok do VD Orlick transformovaný celou kaskádou je téměř identický s měřeným odtokem z VD Vrané jak z hlediska objemu, tak maximálního průtoku.
- Odvozený přítok na pracovišti ČHMÚ do VD Orlick transformovaný celou kaskádou je podobný jako odvozený odtok ve Zbraslavi (ČHMÚ), především z hlediska objemu.
- Přítok do VD Orlick na základě srážko-odtokových modelů transformovaný celou kaskádou poskytl nejmenší objem povodňové vlny i nejnižší maximální průtok. Jak je patrné např. z Obr. 2—5, tato chyba vznikla především při první povodňové vlně, která byla srážko-odtokovými modely podceňena.
- Rozptyl objemů povodňové vlny je v rozsahu 10 %, stejný rozsah platí pro maximální průtoky.

Ad 2.b)

Byly porovnány čtyři časové řady průtoků pod VD Vrané. Hlavním cílem těchto simulací bylo nepřímé ověření přítoku do VD Orlick odvozeného v rámci ČHMÚ. Přítok do VD Orlick byl ověřován při výpočtu Vltavské kaskády v každém bodě výpočtu, kde dochází k měření, tj. VD Orlick, VD Slapy, VD Štěchovice, VD Vrané, nebo průtok byl pro daný bod výpočtu bilančně odvozen tj. Zbraslav (ČHMÚ). Z Tab. 2-4 vyplývá, že došlo ke shodě průtoků pod VD Vrané s chybou objemu povodňové vlny v rozsahu 6.5 %, a rozdíl maximálních průtoků je v rozsahu 8.4 %. Při těchto výpočtech byl odtok z neměřených mezipovodí odhadnut na základě podobnosti se sousedními povodími.

Ad 2.c)

Byly porovnány tři časové řady průtoků pod VD Vrané. Hlavním cílem těchto simulací bylo nepřímé ověření bilančního přítoku VD Orlick (Broža,2003). Přítok do VD Orlick lze ověřit při výpočtu Vltavské kaskády v každém bodě tohoto výpočtu, kde dochází k měření, tj. VD Orlick, VD Slapy, VD Štěchovice, VD Vrané, nebo průtok byl bilančně odvozen např. průtok pro Zbraslav (ČHMÚ). Z Tab. 2-6 vyplývá, že došlo ke shodě průtoků pod VD Vrané s chybou objemu povodňové vlny v rozsahu 3.5% a rozdíl maximálních průtoků je v rozsahu 5 %. Při těchto výpočtech byl odtok z neměřených mezipovodí odhadnut na základě podobnosti se sousedními povodími.

Ad 3)

Pro variantní simulace průběhu povodně v srpnu 2002 při jiných výchozích podmínkách, včetně odhadu průběhu povodně při neexistenci Vltavské kaskády bylo třeba využít dvou odlišných výpočetních metod:

- (a) původního modelu MAN ze systému **AquaLog**, založený na řešení nádrží kinematickou metodou zachování vodní bilance s navazujícími modely hydrotechnických ovládacích objektů a
- (b) hydrodynamický model neustáleného proudění v korytě 1D, který řeší účinek nádrží v časoprostorové oblasti.

Ad 3a)

Na základě první metodiky byly provedeny simulace pěti základních variant výpočtu. Varianty se lišily

- počátečními podmínkami plnění nádrže
- velikostí neškodného průtoku v Praze v kombinaci s rozdílnými počátečními podmínkami plnění nádrže
- způsobem manipulace mezi oběma vlnami
- výpadkem nebo chodem elektrárny bez přerušení

Varianty byly vyhodnoceny jak ke vztahu odtoku z VD Orlick, tak s ohledem na průběh průtoku v profilu Chuchle. Varianty simulací byly sestaveny tak, aby mohly být dosažené výsledky (průtoky, hladiny, kulminace, časování) posouzeny jak ve vztahu k skutečnému průběhu povodně (byla překročena maximální hladina v nádrži), tak k simulovaným průběhům, kdy nedošlo k překročení maximální hladiny v nádrži.

Ze simulací vyplývají především následující závěry. K nejvýraznějšímu poklesu průtoku (10.6 %) v profilu Chuchle došlo u ryze teoretické varianty **3a-c** s předpouštěním nádrže od 5.8. 2002 od 7 hodin a udržení neškodného průtoku při současné optimalizaci manipulace i na VD Slapy. K poklesu průtoku (7.6 %) v profilu Chuchle došlo rovněž u varianty **1d**, kdy byla snížena počáteční hladina v nádrži. Při této variantě došlo k překročení maximální hladiny v nádrži. V ostatních variantách došlo k minimálnímu rozdílu průtoků.

V případě, že by nebyla odstavena elektrárna na VD Orlick (varianta **5a**), došlo by k nárůstu průtoku v profilu Chuchle o 7.5 %.

Ad 3b)

Druhá metodika řešení, využívající hydrodynamických principů, směřovala k hlavnímu cíli: vytvořit nástroj pro dynamickou simulaci a následnou analýzu dopadu výstavby nádrží na původně neovlivněný průtok v toku, stav z let 1902-1911. Úloha spočívala v řešení tří základních variant či jejich skupin. V první variantě byl nakalibrován hydraulický model ustáleného stavu na zaměřený podélný profil historické povodně 1989. Tento model byl v druhé skupině variant doplněn zjednodušenými algoritmy řízení na vodních dílech. Výpočty vycházely z počátečního naplnění všech nádrží (VD Hněvkovice, Orlick, Kamýk, Slapy a Štěchovice) po úroveň pevných přelivů. Ve třetí variantě byla soustava zkrácena o VD Hněvkovice a pro přítok do Orlicka byl využit jediný hydrogram odvozený ČHMÚ. Z hlediska hydraulického řešení byla tím způsobena nepřesnost díky volbě jediného vstupního profilu, zastupujícího všech pět ostatních (Var. 2). Její výhodou je sjednocení vstupních podmínek pro obě metody – **AquaLog-MAN** a hydrodynamický model HEC-RAS.

Klíčovým výsledkem studie je prokázání, že Vltavská kaskáda dokázala v uzávěrovém profilu Chuchle při manipulaci v srpnu 2002 významně snížit kulminaci neovlivněného průtoku z 5834 na 5160 m³.s⁻¹, (Tab. 3-15) tedy o 674 m³.s⁻¹. Fázový posun byl zanedbatelný, přirozený odtok je o cca 2 hodiny rychlejší. Podrobná informace průtokového a hladinového režimu ve všech výpočtových bodech modelu včetně ověřování vodní bilance na soutocích je uvedena ve výsledcích hydraulického modelu, které jsou k dispozici v elektronické formě.

Z výpočtu Var. 3a vyplývá, že kaskáda snížila kulminaci v neřízeném režimu o cca 600 m³.s⁻¹ a prodloužila postup vrcholu vlny v úseku Orlick-hráz – Chuchle o 7 hodin. Důležitá je skutečnost, že modelovaný režim manipulací umožnil snížení pouze první (nižší) vlny 8. srpna 2002, účinek na katastrofální vlnu 14. srpna je zanedbatelný. Z toho lze usoudit, že kapacita vltavské kaskády neumožňuje při současném manipulačním režimu podstatné snížení kulminačních přítoků katastrofických povodňových vln.

Ad 4)

Byl sestaven model nádrží Vltavské kaskády a propojen s HPS používaným v rámci předpovědní služby ČHMÚ. K dispozici jsou dvě základní varianty výpočtu. Používá jako okrajové vstupy spočítané průtoky z povodí odvodněných do Vltavské kaskády. Počítá pouze přítoky z mezipovodí, která nejsou běžně operativně provozována. Druhá varianta má jako okrajové vstupy především srážko-odtokové modely povodí ležících na přítocích Vltavské kaskády.

Propojení zjednodušené verze modelu Vltavské kaskády s modelem horní a dolní Vltavy