

# Vyhodnocení experimentálních měření na vodním díle v Českém Vrbném

The evaluation of experimental measurements on the hydraulic structure in  
České Vrbné

**Ing. Petra Kopecká**

## **Anotace**

Tento příspěvek je zaměřen na vyhodnocení experimentálních měření, která probíhala na vodním díle v Českém Vrbném během roku 2012. Vodní dílo České Vrbné bylo modernizováno v rámci projektu Splavnění Horní Vltavy – I. úsek. V rámci tohoto záměru byl mimo jiné modernizován jez v Českém Vrbném, byla vystavěna plavební komora a ochranný přístav v Českém Vrbném. Vyhodnocení experimentálních měření je zaměřeno zejména na vliv výpadků MVE (malé vodní elektrárny) na průběh hladin v horní i dolní zdrži a na ověření hladinové regulace na jezu v Českém Vrbném.

## **Klíčová slova:**

experimentální výzkum, hydrotechnické stavby, jez, vodní elektrárna, výpadek, simulace, plavba, vodní hladina, plavební hloubka

## **Annotation**

This paper is focused on the evaluation of experimental measurements which were held on the hydraulic structure in České Vrbné during the year of 2012. Hydraulic structure České Vrbné was modernized within the project called Navigability of the Upper Vltava River – Section I. Within this construction project, among others, the weir in České Vrbné was modernized, the navigation lock and the harbor were built. The evaluation of experimental measurements is mainly focused on the effect of hydropower plant failures on the course of water level in both, upper and lower weir basins. Evaluation is also focused on the verification of the automatic system of water level regulation on this hydraulic structure in České Vrbné.

## **Key words:**

experimental research, hydraulic structures, weir, hydropower plant, failure, simulation, navigation, water level, navigable depth

## Vodní cesty v České republice - současnost

Vodní doprava - nákladní či rekreační - nenachází v současné době na území České republiky intenzivního využívání, jakého nachází např. v jiných evropských zemích. V dnešní době existují aktuální záměry, zejména na Labi, Vltavě a Baťově kanálu, které mají pomoci rozvoji plavby na našem území. Plány pro rozvoj a zabezpečení plavby na území ČR se týkají např. zabezpečování podjezdné výšky mostů, výstavby ochranných přístavů lodí při povodňových situacích, rozvoje přístavů, rekonstrukcí a výstavby nových plavebních komor a plavebních stupňů, úprav vodních cest aj. Jedním z takových záměrů je strategický záměr dokončení vltavské vodní cesty v úseku České Budějovice – Týn nad Vltavou. Ten byl rozdělen na tři hlavní úseky:

- I. České Budějovice – Hluboká nad Vltavou,
- II. Hluboká nad Vltavou – VD Hněvkovice,
- III. VD Hněvkovice – Týn nad Vltavou.

Cílem tohoto projektu je podpora a rozvoj zejména rekreační plavby, která má v tomto úseku vysoký potenciál. Rekreační plavba byla v ČR dosud nejvíce rozvíjena na Baťově kanálu na Moravě. Baťův kanál je významnou vodní cestou České republiky, která vznikla z iniciativy Jana Antonína Bati. Byl v provozu od podzimu 1938 až do roku 1961, kdy sloužil zejména pro dopravu různých materiálů a závlahy. K obnově rekreační a rekreačně-sportovní plavby došlo v roce 1995. Dokončením hornovltavské vodní cesty by měl vzniknout další perspektivní úsek vodní cesty pro rozvoj rekreační plavby v České republice. Vodní cesta by pak byla ideálně využívána a rozvíjena v úseku od Třebenic (Slapy) po České Budějovice. Po dokončení plavebních zařízení na VD Orlická a VD Slapy by pak vznikla souvislá vltavská vodní cesta, která by díky Labi mohla být s evropskou sítí vodních cest. Celý úsek zájmové oblasti horní Vltavy je zobrazen na Obr. 1. [1; 2]

### Hornovltavská vodní cesta

Hornovltavská vodní cesta je dle zákona 114/1995 Sb. o vnitrozemské plavbě zařazena do I. třídy vodních cest dle Mezinárodní klasifikace vodních cest. I na vodní cestu zařazené do I. třídy jsou kladeny požadavky na parametry vodní cesty. Požadovanými parametry na hornovltavskou vodní cestu, v této etapě jsou:

- plavební hloubka – 1,6 m,
- šířka plavební dráhy – 20 m,
- poloměr oblouku – 400 m,
- délka plavební komory – 45 m,
- šířka plavební komory – 6 m,
- hloubka nad záporníkem – 3 m.

[1; 3]

## I. úsek České Budějovice – Hluboká nad Vltavou

V rámci zmíněného úseku I, jež začíná pod Jiráskovým jezem v Českých Budějovicích, bylo postaveno koncové přístaviště pod Jiráskovým jezem s názvem Lannova loděnice, byl modernizován jez v Českém Vrbném, byla vystavěna plavební komora a ochranný přístav v Českém Vrbném a také byla úpravami zajištěna plavební hloubka 1,6 m ve zdrži jezu České Vrbné i Hluboká nad Vltavou. Úsek I končí bezprostředně nad jezem v Hluboké nad Vltavou, kde byla v rámci stejného projektu, však úseku II, také zbudována plavební komora.

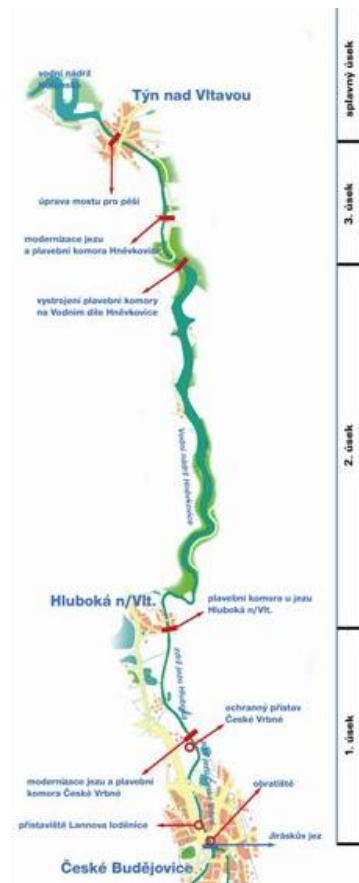
Cílem této části projektu bylo obnovit využití úseku toku Vltavy o délce přibližně 8,9 km, mezi dvěma kulturními centry Jihočeského kraje Českými Budějovicemi a Hlubokou nad Vltavou. Obr. 2 zachycuje lokalitu VD České Vrbné po dokončení prací – dokončená plavební komora, modernizovaný jez, ochranné přístaviště a sportovní kanál.

[1]

## II. úsek České Budějovice – Hluboká nad Vltavou

V rámci dalšího, druhého splavněvaného úseku byla vystavěna plavební komora v Hluboké nad Vltavou. Plavební komora se spádem 3 m byla vystavěna v místě bývalé vorové propusti. Dále došlo ve druhém úseku projektu k zajištění plavební hloubky 1,6 m ve zdrži VD Hněvkovice. Cílem druhého úseku projektu bylo připojení dalších, přibližně 11 km vodní cesty k prvnímu splavněvanému úseku.

[1]



Obr. 1 Splavněvaný úsek Vltavy [1]



Obr. 2 Letecký pohled na modernizovaný areál v Českém Vrbném [1]

### **III. úsek VD Hněvkovice – Týn nad Vltavou**

Poslední část projektu se skládala ze tří hlavních částí – vystrojení plavební komory VD Hněvkovice se spádem 15 m, zajištění plavební hloubky 1,6 m v úseku prohrábkou dna a modernizace jezu Hněvkovice, která byla spojena s výstavbou plavební komory se spádem 2 m. Dokončením třetího úseku dochází ke spojení vltavské vodní cesty od Českých Budějovic po VD Orlick. Takto vytvořená a propojená vodní cesta je bytelným základem jednak pro rozvoj rekreační plavby na celé vodní cestě, ale také pro rozvoj turistického a kulturního ruchu v oblasti. Vodní cesta propojuje kulturní centra ČR (např. České Budějovice) s významnými kulturními památkami (např. zámek Hluboká nad Vltavou, zámek Orlick) a s významnými centry rekreace a sportu (např. Orlická a Slapská nádrž). [1]

### **Experimentální výzkum na vodním díle v Českém Vrbném**

Experimentální výzkum realizovaný na fakultě stavební ČVUT v Praze byl zaměřen na úsek České Budějovice – Hluboká nad Vltavou, a to konkrétně na vodní dílo v Českém Vrbném. Výzkum na vodním díle v Českém Vrbném, který probíhal během roku 2012, byl rozdělen do více částí. Experimenty a měření byly věnovány, mimo jiné, ověřování doby plnění a prázdnění plavební komory, ověřování sklonů v plavební komoře během procesu plnění a prázdnění, ověření rychlostních poměrů na počátku užité délky plavební komory a měření rychlostních polí. Tato studie je zaměřena na další dílčí část experimentálního výzkumu na vodním díle v Českém Vrbném, konkrétně na vyhodnocení hladinového režimu v horní a dolní zdrži při výpadech MVE (malé vodní elektrárny). Vyhodnocení těchto stavů je důležité, protože náhlý pokles hladiny, z důvodu výpadku vodní elektrárny, může způsobit nedodržení, náhlé podkročení minimální plavební hloubky a plavidla přítomná ve zdrži či plavidla vyvázaná v čekacím stání mohou být tímto výpadkem ohrožena.

### **Analýza hladinového režimu v horní a dolní zdrži jezu České Vrbné**

Tato studie je zaměřena na experimenty spojené s výpadky malé vodní elektrárny, jejich vlivem na hladinový režim v horní i dolní zdrži jezu České Vrbné a na nastavení a ověření hladinové regulace na jezu. Analýza hladinového režimu je provedena na základě výstupů z měření in-situ, která probíhala v období mezi dubnem a červnem roku 2012.

Za účelem záznamu hladin byla v lokalitě vodního díla České Vrbné vytvořena 4 samostatná stanoviště, na kterých bylo osazeno měřicí zařízení. Stanoviště byla rozmístěna následovně:

- stanoviště 1 - 1000 m nad osou jezu,
- stanoviště 2 - horní čekací stání (v horní rejdě),
- stanoviště 3 - dolní čekací stání (v dolní rejdě),
- stanoviště 4 - 1000 m pod osou jezu.

Poloha měřících bodů na stanovištích 1 a 4 byla vyšetřena pomocí námořního navigačního plotteru GPS MAP720s. Na všech stanovištích probíhal záznam průběhu hladin, který byl snímán na osazeném měřicím zařízení. Záznam hladin probíhal kontinuálně pomocí

HD videokamer, a zároveň ručně v zadaných intervalech. Záznamy z videokamer byly následně ručně digitalizovány. Jednotlivé experimenty byly řízeny a koordinovány řídicí skupinou za pomoci vysílaček. Rozmístění stanovišť se záznamem průběhu hladin je na Obr. 3.



Obr. 3 Schéma rozmístění stanovišť

Za účelem vyšetření hladinového režimu ve zdržích vodního díla České Vrbné proběhly 3 oddělené experimenty, z nichž každý experiment zachytil odlišnou průtokovou situaci v řece Vltavě. Zachycené průtokové situace byly následující:

- 1. experiment: 11.4.2012 -  $Q = 53 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- 2. experiment: 24.4.2012 -  $Q = 33 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- 3. experiment: 7.6.2012 -  $Q = 12 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Průtokové situace během měření lze přibližně přirovnat k m-denním průtokům v řece Vltavě odvozených pro profil v Českých Budějovicích –  $53 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\sim Q_{30} = 57,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ),  $33 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\sim Q_{90} = 33,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ) a  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\sim Q_{270} = 13,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Při každém experimentu byly za spolupráce vlastníků vodní elektrárny na vodním díle v Českém Vrbném simulovány 2 výpadky vodní elektrárny. V průběhu těchto výpadků byly na všech 4 stanovištích zaznamenávány průběhy hladin. V horní zdrži byl zaznamenáván průběh hladin na stanovištích č. 1 a 2, v dolní zdrži byl zaznamenáván průběh hladin na stanovištích č. 3 a 4. Realizované výpadky vodní elektrárny způsobily vznik vlnění odlišného charakteru v horní a dolní zdrži. Vlna, která vznikla v horní zdrži, byla charakteristická zdvihem hladiny proti proudu. Vzniklou vlnu v horní zdrži je možné nazvat jako vlnu kladnou zpětnou neboli vlnu vzduť. Ta obvykle vzniká v situacích náhlého zmenšení průtoku na dolním konci úseku, jako je výpadek MVE. Hodnota vzestupu hladiny nad jezem, tedy výška kladné zpětné vlny je zaznamenána v Tab. 1. Vlna, která vznikla v dolní zdrži, byla charakteristická poklesem hladiny po proudu. Vlnu vzniklou v dolní zdrži nazýváme vlnou zápornou přímou, neboli vlnou prázdňení. Ta se šíří korytem při náhlém zmenšení průtoku na horním konci úseku, jakým je právě výpadek MVE. Důsledkem záporné

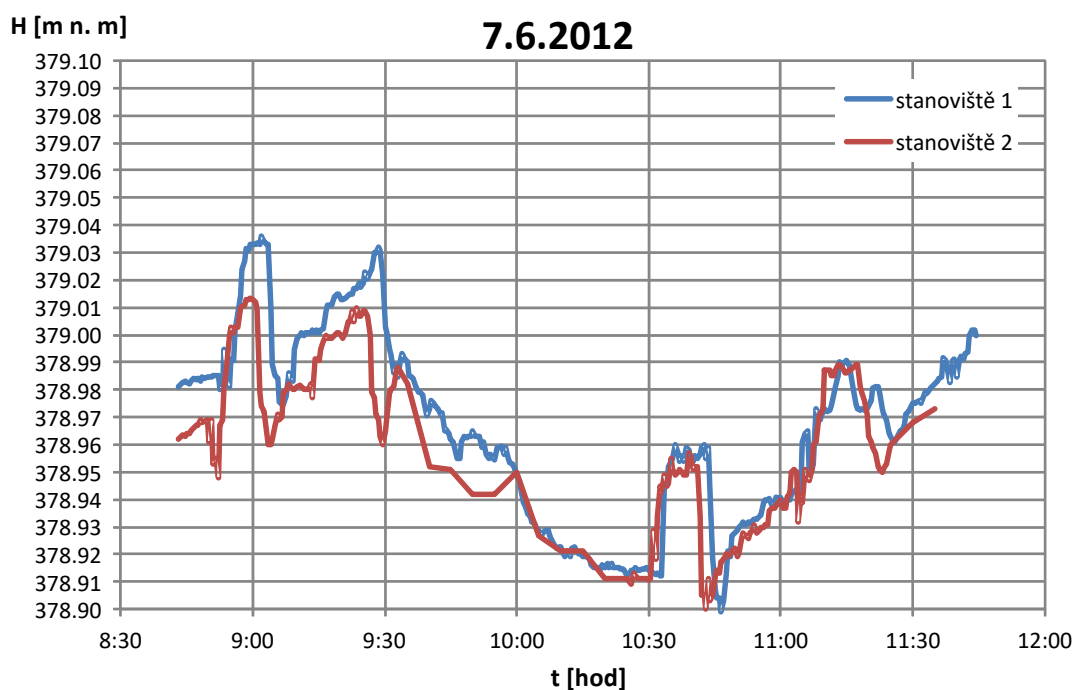
přímé vlny je prázdnění koryta v dolním úseku, což může vést k podkročení minimální plavební hloubky v daném úseku toku. Podkročením minimální plavební hloubky mohou být ohrožena plavidla přítomná v zasaženém úseku. Hodnota poklesu hladiny pod jezem, tedy výška záporné přímé vlny, je zaznamenána v Tab. 2. Záznam hladin z experimentu ze 7.6.2014 je na Obr. 4 a 5.

Tab. 1 Vzestup hladiny nad jezem při výpadku MVE

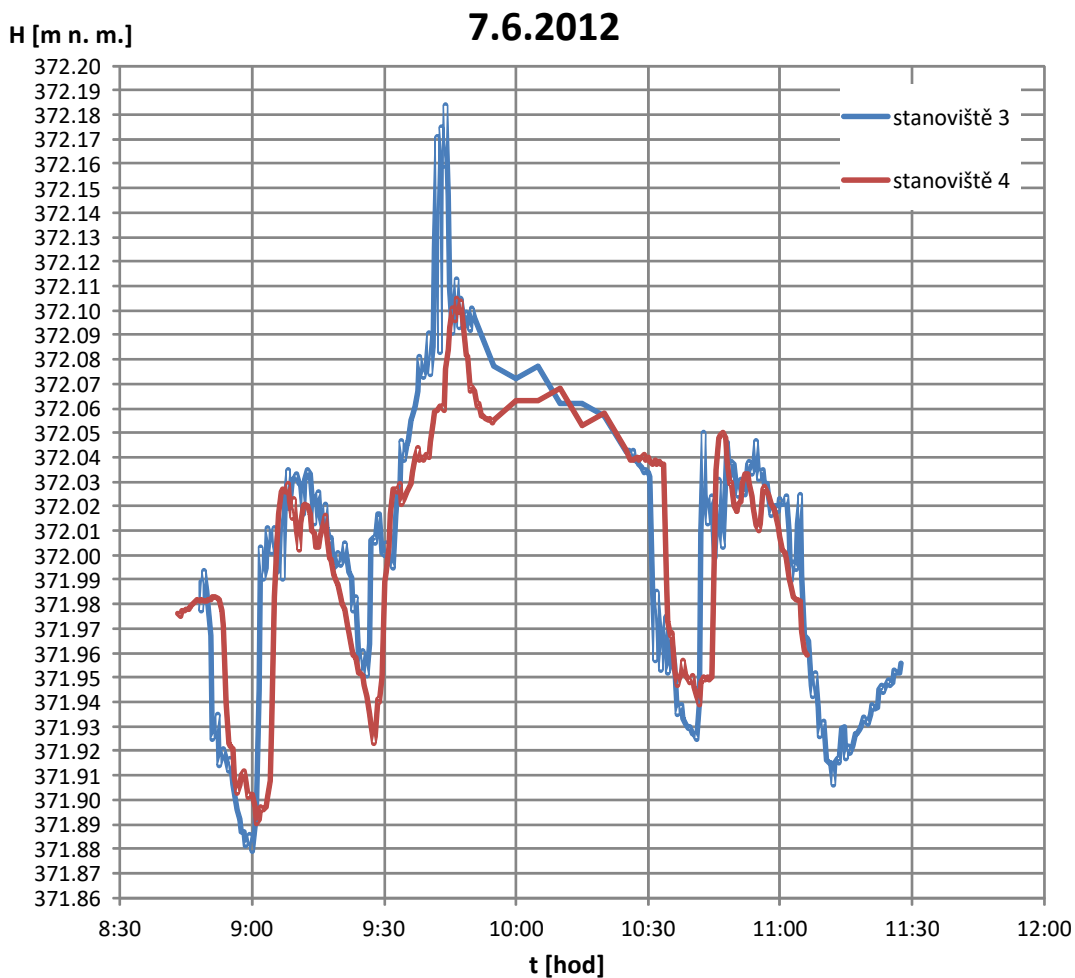
Datum výpadku		Q <sub>CELK</sub>	Q <sub>MVE</sub>	H <sub>H</sub>	H <sub>H, MAX</sub>	Vzestup
Den	Čas	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m n. m.)	(m n. m.)	(cm)
11.4.2012	10:20	53	24	378.98	379.08	10
11.4.2012	13:00	53	26	379.00	379.08	8
24.4.2012	9:40	33	26	378.95	379.06	11
24.4.2012	13:00	35	20	378.91	378.99	8
7.6.2012	8:50	12	12	378.95	379.01	6
7.6.2012	10:30	11	11	378.91	378.95	4

Tab. 2 Pokles hladiny pod jezem při výpadku MVE

Datum výpadku		Q <sub>CELK</sub>	Q <sub>MVE</sub>	H <sub>D</sub>	H <sub>D, MIN</sub>	Pokles
Den	Čas	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m n. m.)	(m n. m.)	(cm)
11.4.2012	10:20	40	24	372.53	372.38	15
11.4.2012	13:00	41	26	372.59	372.38	21
24.4.2012	9:40	26	26	372.32	372.12	20
24.4.2012	13:00	35	20	372.39	372.17	22
7.6.2012	8:50	12	12	371.98	371.90	8
7.6.2012	10:30	11	11	372.04	371.94	10



Obr. 4 Záznam hladin ze 7.6.2012 – stanoviště 1 a 2



Obr. 5 Záznam hladin ze 7.6.2012 – stanoviště 3 a 4

Hodnoty poklesu hladiny v dolní zdrži v důsledku postupu záporné přímé vlny ze dne 11.4.2014 (13:00) a z 24.4.2014 (9:40 i 13:00) se pohybují okolo 20 cm. [4; 5]

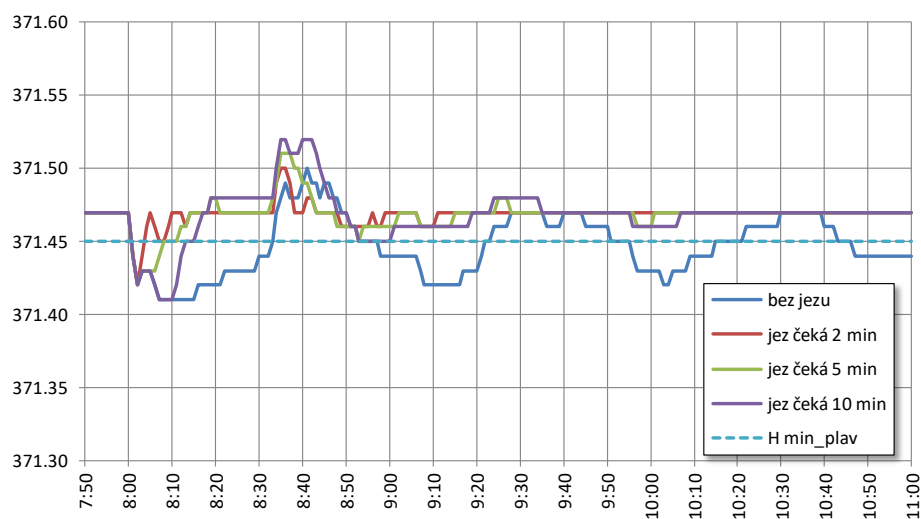
### Matematický model

Změřená a zpracovaná data sloužila jako vstup pro kalibraci matematického modelu dolní zdrže jezu České Vrbné. Pro tvorbu matematického neustáleného 1D modelu byl použit softwarový program HEC – RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System). Model byl následně využit pro simulaci poklesů hladiny v dolní zdrži jezu České Vrbné při různých výkonech vodní elektrárny. V modelu byla simulována celá řada průtokových situací, kdy byl veškerý průtok převáděn přes turbíny vodní elektrárny. Řada průtokových stavů byla zvolena následovně: 5, 10, 20, 30 a 38 m<sup>3</sup>/s. Proměnnou byla dolní okrajová podmínka modelu - hladina na jezu Hluboká nad Vltavou byla uvažována ve variantách  $H_{MIN} = 371,45$  m n. m.,  $H_{NORM} = 371,75$  m n. m. a  $H_{MAX} = 372,05$  m n. m. Jako kompenzace výpadku vodní elektrárny a tedy tvorby záporné přímé vlny byl simulován průtok jezem, který reagoval opět podle proměnných podmínek.

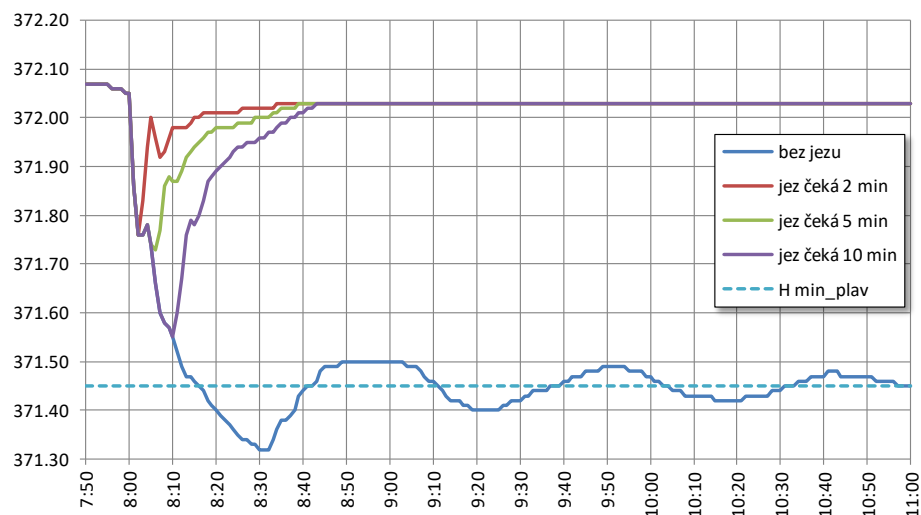
Výpadkům vodní elektrárny byl jako kompenzace simulován průtok jezem, za účelem eliminace negativní přímé vlny vznikající v dolní zdrži, která může ohrožovat přítomná plavidla. Jez reagoval během simulací podle následujících variant:

- jez po výpadku 2 minuty čeká a následně během 3 minut obnoví původní průtok,
- jez po výpadku 5 minut čeká a následně během 3 minut obnoví původní průtok,
- jez po výpadku 10 minut čeká a následně během 3 minut obnoví původní průtok,
- jez nereaguje a původní průtok vůbec neobnoví.

Vybrané průběhy hladin ze simulací jsou na Obr. 6 a 7. Obr. 6 zachycuje průtok  $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $H_{\text{MIN}}$  na jezu Hluboká nad Vltavou, Obr. 7 zachycuje průtok  $38,0 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $H_{\text{MIN}}$  na jezu Hluboká nad Vltavou.



Obr. 6 Průtok  $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $H_{\text{MIN}}$  na jezu Hluboká nad Vltavou



Obr. 7 Průtok  $38,0 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $H_{\text{MIN}}$  na jezu Hluboká nad Vltavou

[5]



## Výsledky

Průběhy hladin při simulacích při různých průtokových situacích i při měnící se okrajové podmínce a různých kompenzačních režimech nastavených na jezu vykazují, že dle simulací nedojde k podkročení minimální plavební hloubky 1,6 m při udržování normální hladiny ( $H_{\text{NORM}} = 371,75$  m n. m.) na jezu Hluboká nad Vltavou. Plavidla na vodní cestě by za  $H_{\text{NORM}}$  neměla být ohrožena podkročením minimální plavební hloubky. Z Obr. 6 a 7 je také patrné, že při absenci hladinového regulačního systému na jezu by plavidla na vodní cestě podkročením plavební hloubky ohrožována byla.

## Závěr

V současné době jsou v České republice připravovány či realizovány záměry pro podporu a rozvoj vodních cest a plavby na našem území. V zájmu je v této fázi zejména rozvoj rekreační. Jedním z takových záměrů je dokončení Splavnění Horní Vltavy. V rámci prvního úseku tohoto projektu byly provedeny stavební úpravy VD České Vrbné (modernizace jezu, výstavba plavební komory, výstavba ochranného přístavu, zajištění plavebních hloubek). V lokalitě VD České Vrbné probíhal během roku 2012 rozsáhlý experimentální výzkum, který byl také zaměřen na vyšetření hladinového režimu ve zdržích jezu při výpadech vodní elektrárny a na nastavení a ověření hladinových regulací. Za tímto účelem byly provedeny na vodním díle 3 experimenty, při kterých byly v součinnosti s majitelem provedeny vždy 2 výpadky vodní elektrárny. Průběhy hladin byly zaznamenávány na 4 stanovištích. Výsledky z měření byly použity pro kalibraci matematického modelu v HEC – RAS. Ten byl následně použit pro simulaci poklesů hladiny v dolní jezové zdrži za různých průtokových situací, a také při různých regulačních situacích nastavených na jezu. Pro rozvoj plavby, byť pouze rekreační, jsou výzkumy tohoto typu esenciální. Při výpadech vodních elektráren by mohlo při extrémních situacích dojít k podkročení požadované minimální plavební hloubky, tím by mohla být ohrožena bezpečnost plavidel na vodní cestě.

## Poděkování

Príspevek vznikl za podpory Studentské grantové soutěže ČVUT při řešení projektu č.: SGS14/129/OHK1/2T/11 s názvem „Vliv řízení objektů na vodních cestách na průtokový režim a plavbu“.

## Literatura

- [1] *Ředitelství vodních cest ČR*: [online] [www.ceskaplavba.cz](http://www.ceskaplavba.cz) [cit. 2014-10-10]
- [2] ČÁBELKA, Jaroslav. *Vodní cesty a plavba*. 2. přepracované vyd. Praha: SNTL/ALFA. 1976. 689s.
- [3] *Sbírky zákonů ČR*: [online] <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-222#f1644453> [cit. 2014-10-8]

- [4] *Jihočeský kraj – Povodňový plán Jihočeského kraje*: [online] [http://webmap.kraj-jihocesky.cz/dpp/html\\_pub/index.html?pa\\_m\\_denni\\_prutoky.htm](http://webmap.kraj-jihocesky.cz/dpp/html_pub/index.html?pa_m_denni_prutoky.htm) [cit. 2014-10-7]
- [5] *Verifikace a optimalizace provozních parametrů zdymadla Hluboká nad Vltavou ve vazbě na navazující vodní cestu – 2. etapa*. Praha: Katedra hydrotechniky, FSv ČVUT. 2002. 105s.

## Abstrakt

Během roku 2012 probíhaly na vodním díle v Českém Vrbném experimenty a měření zaměřené mimo jiné i na ověřování doby plnění a prázdnění plavební komory, ověřování sklonů v plavební komoře během procesu plnění a prázdnění, ověření rychlostních poměrů na počátku užité délky plavební komory a měření rychlostních polí. Tato studie se blíže věnuje další dílčí části experimentálního výzkumu na vodním díle v Českém Vrbném, vyhodnocení experimentů zaměřených na hladinový režim v horní a dolní zdrži při výpadech MVE (malé vodní elektrárny). Vyhodnocení těchto stavů je důležité, protože náhlý pokles hladiny z důvodu výpadku vodní elektrárny může způsobit nedodržení, náhlé podkročení minimální plavební hloubky a přítomná plavidla ve zdrži či plavidla vyvázaná v čekacím stání mohou být ohrožena.

Pozornost při výzkumu a ověřování nastavených funkcí je věnována vodnímu dílu v Českém Vrbném z důvodu jeho nedávné modernizace. Modernizace a výstavba probíhala na tomto vodním díle v rámci projektu Splavnění Horní Vltavy – Úsek I. První zájmový úsek začíná pod Jiráskovým jezem v Českých Budějovicích a končí nad jezem v Hluboké nad Vltavou, kde byla také v rámci záměru dokončení vltavské vodní cesty (Úsek II.) zbudována nová plavební komora. V rámci zmíněného úseku I. bylo postaveno koncové přístaviště pod Jiráskovým jezem Lannova loděnice, byl modernizován jez v Českém Vrbném, byla vystavěna plavební komora a ochranný přístav v Českém Vrbném a také byla úpravami zajištěna plavební hloubka 1,6 m ve zdrži jezu České Vrbné i Hluboká nad Vltavou. Cílem této části projektu je obnovit využití úseku toku Vltavy o délce přibližně 8,9 km, mezi dvěma kulturními centry Jihočeského kraje Českými Budějovicemi a Hlubokou nad Vltavou, pro zejména rekreační plavbu.

Tato studie je zaměřena na vyhodnocení měření týkajících se výpadků malé vodní elektrárny na hladinový režim v horní i dolní zdrži jezu České Vrbné a na nastavení a ověření hladinové regulace na jezu. Podkladem pro takové vyhodnocení jsou výstupy z měření in-situ, která probíhala v období duben až červen 2012. Za účelem záznamu hladin v lokalitě byla vytvořena 4 samostatná stanoviště, na kterých bylo osazeno měřicí zařízení. Stanoviště byla rozmístěna následovně: 1000 m nad osou jezu České Vrbné, horní rejda plavební komory, dolní rejda plavební komory a 1000 m pod osou jezu České Vrbné. Záznam hladin probíhal kontinuálně pomocí HD videokamer, a zároveň ručně v zadaných intervalech. Záznamy z videokamer byly následně ručně digitalizovány. Jednotlivé experimenty byly řízeny a koordinovány řídicí skupinou za pomoci vysílaček.

Za účelem vyšetření hladinového režimu v horní i dolní zdrži jezu České Vrbné proběhly celkem 3 experimenty, každý experiment zachytil odlišnou průtokovou situaci ve Vltavě. Průtokové situace během měření byly následovné – 53 m<sup>3</sup>/s (~ Q<sub>30</sub> = 57,8 m<sup>3</sup>/s), 33 m<sup>3</sup>/s (~ Q<sub>90</sub> = 33,3 m<sup>3</sup>/s) a 12 m<sup>3</sup>/s (~ Q<sub>270</sub> = 13,1 m<sup>3</sup>/s). Během každého z pokusů proběhly v součinnosti s vlastníkem 2 výpadky malé vodní elektrárny. V obou zdržích při výpadech vodní elektrárny vznikly vlny, odlišné svým charakterem. V horní zdrži jezu vznikla vlna kladná zpětná, kterou můžeme také nazvat jako vlnu vzduť. V dolní zdrži vznikla naopak vlna záporná přímá, jež může být nazvána jako vlna prázdnění.

Tato data sloužila jako vstup pro kalibraci matematického modelu dolní zdrže jezu České Vrbné. Model byl následně využit pro simulaci poklesů hladiny v dolní zdrži při různých výkonech vodní elektrárny. Pro tvorbu matematického modelu byl použit program HEC – RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System). V modelu byly simulovány různé průtokové situace pomocí neustáleného proudění. Řada průtokových stavů byla zvolena následovně: 5, 10, 20, 30 a 38 m<sup>3</sup>/s. Proměnná byla také dolní okrajová podmínka modelu - hladina na jezu Hluboká nad Vltavou byla uvažována ve variantách H<sub>MIN</sub> = 371,45 m n. m., H<sub>NORM</sub> = 371,75 m n. m. a H<sub>MAX</sub> = 372,05 m n. m. Jako kompenzace výpadku vodní elektrárny, a tedy tvorby záporné přímé vlny byl simulován průtok jezem, který reagoval opět podle proměnných podmínek.

## **Abstract**

During 2012, on the hydraulic structure in České Vrbné, there were experiments and measurements aimed at the verification of the time of filling and emptying of the navigation lock, verification of the longitudinal slopes in the navigation lock during the filling and emptying process, verification of the velocity at the beginning of the usable length of navigation lock and measurements of velocity fields. This study is focused on the next part of the experimental research on the hydraulic structure in České Vrbné, it is focused on the evaluation of the water level course in the upper and lower weir basin during hydropower plant failure. The evaluation of such conditions is important, because a sudden drop in water level due to the failure of hydropower plant can cause a sudden breach of the minimal navigable depth.

Attention in the research and in the function set checking is paid to the hydraulic structure in České Vrbné because of its recent modernization. The modernization and the development were carried out within the project called Navigability of the Upper Vltava River – Section I. This first section begins next to the Jiráskův weir in České Budějovice and it ends in front of the weir in Hluboká nad Vltavou where has been also built a new navigation lock within the project of completion of the Vltava waterway (Section 2). Within the Section I. of the project a new harbor next to the Jiráskův weir has been built, the weir in České Vrbné has been modernized, a new navigation lock and a new harbor in České Vrbné has been built and by the channel improvement a minimal navigation depth in weir basins in České Vrbné and Hluboká nad Vltavou has been ensured. The aim of the project is to restore the use of this part of the Vltava river with a length of 8.9 km, part located between two cultural centers

of the South Bohemian region České Budějovice and Hluboká nad Vltavou, especially for recreational navigation.

This study is focused on the evaluation of measurements related to failures of hydropower plant and its influence on the water level course in the upper and lower weir basin in České Vrbné. It is also aimed at setting and verification of the water level regime system on the weir in České Vrbné. The basis for such evaluation are the outputs from in-situ measurements which were held from april 2012 to june 2012. In order to record water level course, there were created 4 independent measuring stations where the measuring devices were installed. The measuring stations were situated as follows: the first one was located 1000 m upstream of the axis of the weir in České Vrbné, the second station was situated in the upper weir basin, the third measuring station was situated in the lower weir basin and the last measuring station was located 1000 m downstream of the axis of the weir in České Vrbné. The record of water level course was carried out continuously by using HD videocameras and also manually in specified intervals. Then the videocameras records were manually digitized. Each experiment was managed and coordinated by the controll group with transmitting device.

For the purpose of detection of the water level regime in the upper and lower basin weir in České Vrbné 3 separate experiments were carried out. Each experiment captured different flow situation in the Vltava river. Flow situations during the experiments were these -  $53 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\sim Q_{30} = 57,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ),  $33 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\sim Q_{90} = 33,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ) and  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\sim Q_{270} = 13,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ). During each experiment 2 failures of hydropower plant were held in cooperation with the owner of hydropower plant. In both weir basins, upper and lower, the failure results in formation of waves which differs in their characteristics and which travel through the river channel both ways, upstream and donwstream. In the upper weir basin a positive backward wave was formed. In the lower weir basin a negative direct wave was formed.

This data was used for the calibration of a mathematical model of the lower weir basin in České Vrbné. Afterwards, the model was used for simulation of water level decrease in the lower weir basin at a different hydropower plant dicharges. For creation of the mathematical model was used software named HEC – RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System). A range of unsteady flow conditions – 5, 10, 20, 30 and  $38 \text{ m}^3/\text{s}$  was simulated by the mathematical model. Variable was also a downstream boundary condition – water level at weir in Hluboká nad Vltavou was considered in 3 alternatives  $H_{\text{MIN}} = 371,45 \text{ m amsl}$ ,  $H_{\text{NORM}} = 371,75 \text{ m amsl}$  a  $H_{\text{MAX}} = 372,05 \text{ m amsl}$ . As a compensation of hydropower plant failure and therefore creation of direct negative wave, a flow through weir was simulated. Where the weir reacted to the failure according to the set conditions.