

Hydraulický výzkum rekonstrukce dráhy pro vodní slalom v Ivrea, Itálie

Hydraulic investigations of the water slalom course in Ivrea, Italy

Jiří Procházka¹, Ondřej Švanda¹

Klíčová slova

Vodní stavby – hydraulika – fyzikální a matematické modelování- 3D model

Key words

Water structures – hydraulics – physical and numerical modeling – 3D model

Abstract

The recent increased interest in whitewater sport, mainly caused by the inclusion of the Canoe Slalom to the Olympic Games program leads to the higher numbers of both new and reconstruction projects in this field all over the world. The aim of this paper is to describe a new approach in water slalom course modeling. The current state course no longer suits the needs of the competitors and athletes and it was decided that should undergo a reconstruction to make it more interesting for the competitors but also use the current geometry as much as possible. The course is located in city Ivrea, Italy and the length of the course is approximately 230m. Nevertheless only the last 125m were chosen to be modified. The parameters of the course had to be changed and thus it was decided to build a physical model in scale 1:17 in a lab where all the changes could be made easily and effectively. For the best accuracy, the geometry of the course was obtained using laser scanning. This method eventually created a point cloud of more than 400 000 points including x,y,z coordinates. Also classic geodetic survey was made to extend the laser scanned area. Using 3D and meshing transformation tools the point cloud and the survey data were merged and modified into a complete 3D surface that perfectly reflected the current state of the course including all detailed geometry. That is important because every slight difference on the scaled model can create a big difference on actual course. Afterwards, the 3D surface was used to build a physical using 3D milling technique. Thanks to the precise head of the milling machine, all the details could have been preserved. At the end of the process 3 blocks were milled, together creating 7,5m long, 1,2m wide and 20cm thick model of the course. The material used for the milling were RAKU TOOL blocks that provide good surface properties compared to those in the actual course. Then the hydraulic support wooden structure including water inlet and outlet was made in order to begin with designing the new shape of the course. To alternate the existing water obstacles and geometry the best option was to use clay. After redesigning the course the velocity and depth in key points on the model were measured and those values were transferred back to the computer model. Based on those data a map with basic

water phenomenon was created along with the updated computer model. Also a slow motion video was made where the reality flow and the modeled one could be compared at the same speed. That allows to perfectly see the difference in the flow on the changed geometry. That 3D model with the map then became a foundation for reconstruction project documentation.

Anotace

Pro potřeby hydraulického výzkumu projektu rekonstrukce dráhy v italském městě Ivrea byl nově použit přístup laserového skenování terénu s následným přenesením do 3D modelu a tvorbou fyzikálního modelu v měřítku 1:17 metodou 3D frézování.

Annotation

For the purposes of hydraulic research on the reconstruction project of water slalom course in Ivrea in Italy a new approach was developed where the current state of the course was projected to the computer 3D model using laser scanning followed by creating a physical model in 1:17 scale by 3D milling.

1. Úvod

Vzhledem ke zvýšenému zájmu o umělé dráhy s divokou vodou pro kanoistiku se v posledních letech nejenom zvyšoval počet nových projektů, ale také roste počet drah, které byly postaveny již v minulosti, ale po letech používání nadešel čas pro jejich rekonstrukci. Ta umožní, aby i nadále mohly být dráhy využívány pro závody nejvyšších úrovní a dokázaly nabídnout moderní parametry překážek a především kvalitní sportovní zážitek jak pro závodníky, přírodní vodáky i diváky.

Na rozdíl od nové stavby je rekonstrukce jednodušší z pohledu směrového návrhu a rozvržení dráhy, který je již dán a většinou nemůže být příliš měněn, zároveň ale má projektant ze stejných důvodů svázané ruce a často musí přistupovat ke kompromisům, co se kreativity týče. Co mají ale nové návrhy a rekonstrukce společného je fakt, že pro obě činnosti se s výhodou používá fyzikální modelování. To je dáno hlavně tím, že složitost proudění a geometrie překážek neumožňuje popsat všechny jevy matematickými rovnicemi tak, aby bylo dosaženo jednoznačného výsledku. Nezpochybnitelnou výhodou fyzikálních modelů je fakt, že umožňují sledovat navrhované řešení v reálném čase v příznivých podmínkách laboratoře a umožňují vidět dopady provedených změn ihned po jejich návrhu. Aby fyzikální model dokázal dostatečně reflektovat realitu a efektivně přenést všechny hydraulické jevy, musí být postaven co nejpřesněji dle skutečné dráhy. V případě návrhu nové dráhy je nejdříve postaven model a pak na jeho základě se buduje dráha skutečná. Pro případy rekonstrukcí se tento postup obrací, protože je potřeba co nejpřesněji přenést skutečný stav dráhy na model tak, aby co nejlépe odpovídal skutečnosti.

Pracoviště ČVUT Fakulty stavební má dlouhodobé zkušenosti s návrhy drah pro vodní slalom a je díky tomu často oslovováno i v rámci mezinárodních projektů jako partner pro výzkum (fyzikální i matematické modelování). V nedávné době byl například na fakultě realizován velký projekt „Matematické a fyzikální modelování Whitewater Canoe Course – Rio de Janeiro 2016“ jehož cílem bylo posouzení a návrh tratě pro nadcházející olympijské hry v Riu 2016, nebo projekt fyzikálního a matematického modelování pro Vodafone Events Centre – WERO Whitewater Canoe Course, Auckland na Novém Zélandu.

Nejenom díky výše uvedeným úspěšným projektům byla pracovišti ČVUT Fakulty stavební nabídnuta spolupráce na mezinárodním projektu rekonstrukce dráhy pro vodní slalom v italské Ivrei. Tento mezinárodní projekt je spoluprací mezi Whitewater Parks International, LLC, USA, inženýrsko/architektonickým ateliérem Cundall, UK, Fakultou stavební ČVUT v Praze a italským městem Ivrea.

Cílem projektu bylo optimalizovat současnou dráhu a překážky tak, aby lépe odpovídaly požadavkům závodníků a současně co nejvíce využily stávající geometrii dráhy. V současnosti je dráha tvořena několika velmi podobnými kaskádovými bazény, které na sebe přímo navazují, a

proto dráha na závodníky působí stereotypně. Za tímto účelem bylo provedeno měření a postaven fyzikální model, na kterém byl výzkum proveden.



Obr. 1 Dráha pro vodní slalom, Ivrea

2. Současný stav

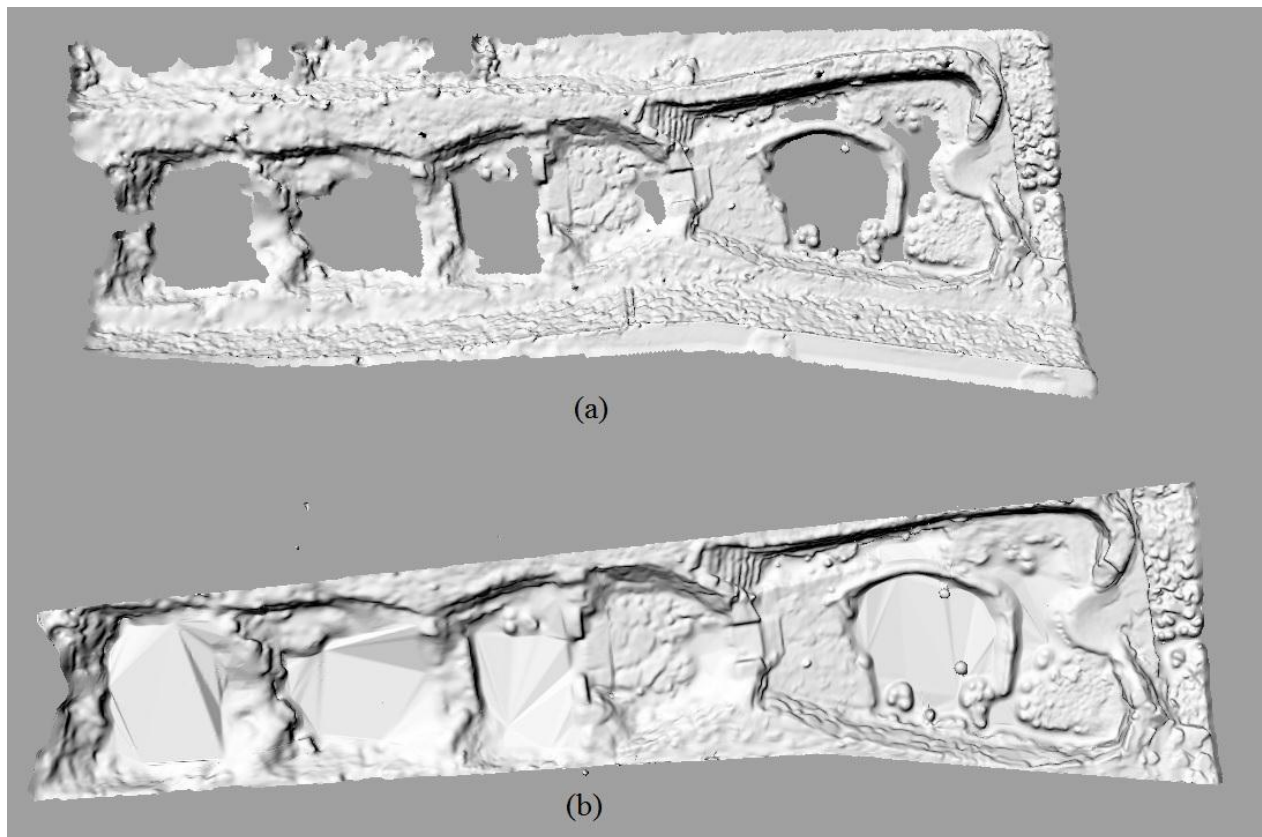
Pro potřeby hydraulického výzkumu bylo nejprve potřeba postavit fyzikální model, který ideálně popisuje současnou dráhu. Dráha v italské Ivrei měří na délku přibližně 230 m. Nicméně pro potřeby rekonstrukce byl zvolen jako dostačující spodní úsek o celkové délce 125 m. Tradiční přístup v tvorbě fyzikálních modelů spočívá v zaměření důležitých bodů současné dráhy a poté na jejich základě následné vybudování modelu pomocí kombinace dřeva a plechu, nebo plastu. Vzhledem k velké heterogenitě povrchu dráhy a složitým geometrickým poměrům byl zvolen přístup pomocí laserového skenování. Díky tomu vznikl „point cloud“ s více než 400 000 body

ve formátu x, y, z, který svojí přesností zaručuje výbornou kvalitu při tvorbě fyzikálního modelu. Ve zvoleném úseku pro modelování byla nátoková část ($l = 42$ m) zaměřena klasickou metodou pomocí totální stanice. Úsek souží pouze k vývoji proudových poměrů pro hlavní testované úseky. Přesnost v tomto úseku sice není dostatečná pro hydraulický výzkum, nicméně pro podmínky simulace nátokových poměrů naprosto vyhovuje.

Ze zaměřených bodů laserovým skenerem v následných úsecích určených pro rekonstrukci byla vytvořena v softwaru pro reverzní inženýrství síť, která reprezentuje přesný povrch dráhy. Tento povrch je souborem hrubých dat, který obsahuje kromě samotné dráhy i blízké okolí, stromy, lidi a další nežádoucí objekty. Tato data byla následně „vyčištěna“ pomocí freeware softwaru Mesh Lab, kde byly všechny přebytečné objekty odstraněny a byly záplatovány případné díry v síti způsobené například zbytkem vody v povrchových nerovnostech. Výstup dat laserového skenu před a po úpravě je vidět na Obr. 1.

Po vyčištění byla data ze skenu spojena s daty ze zaměření horní části kanálu a byl vytvořen počítačový 3D model, který se stal základem pro tvorbu modelu fyzikálního.

Výhodou metody je velká přesnost a schopnost zachytit i velmi malé nerovnosti, které by jinak nebylo možné zaměřit s dostatečnou přesností. Aplikace laserového měření je vhodná pro projekty většího rozsahu, která dokáže výrazně ušetřit čas potřebný k mapování terénu. Nevýhodou metody je nutnost drahého softwarového vybavení a znalostí práce v prostředí vyhodnocovacích programů, které jsou nezbytné pro správné zpracování dat.



Obr. 2 Hrubá data laserového skenu před (a) a po vyčištění (b)

3. Stavba fyzikálního modelu a měření

Při volbě měřítka pro stavbu fyzikálního modelu vodáckých drah s divokou vodou platí pravidlo, že čím je větší, tím jsou výsledky věrohodnější a přesněji popisují hydraulické jevy, které lze očekávat ve skutečnosti. Z dlouhodobých zkušeností vyplývá, že nejmenší použitelné měřítko pro fyzikální modelování by mělo být větší, než 1:20. Při menších se již nelze spolehnout na podobnost jevů na modelu a ve skutečnosti, což je dáno především různými hodnotami ztrátových odporů [1]. Pro model kanálu Ivrea bylo zvoleno měřítko 1:17 z důvodu prostorových možností laboratoře Vodohospodářského experimentálního centra – VEC, Stavební fakulty ČVUT v Praze a dále také reálnými možnostmi souvisejících s technologií výroby modelu, která bude popsána dále. Po zvolení největšího možného měřítka dle předchozích požadavků je třeba ještě ověřit, že hodnoty Reynoldsova čísla budou v modelu dostatečně vysoké.

Podobnost je obvykle zvolena v závislosti na typu dominantních sil, které působí na zkoumané jevy. V případě otevřeného kanálu jsou těmito silami síly gravitační. Proto byla pro výpočty zvolena podobnost na základě Froudova čísla [2].

$$Fr = \frac{v^2}{g \cdot L} = idem$$

$$\frac{Fr_{model}}{Fr_{skutečnost}} = 1$$

Samotný fyzikální model byl vytvořen na základě počítačového 3D modelu, který byl popsán v části 2. Ten se stal základem pro přípravu dat vhodných pro metodu 3D frézování. 3D frézování je obdobou dnes populární metody 3D tisku. Na rozdíl od ní ale materiál není přidáván, ale naopak obráběn z homogenního bloku. Jako ideální materiál pro 3D frézování se ukázal RAKU-TOOL SB-0080.

Vlastnosti materiálu RAKU-TOOL SB-0080:

- Jemná povrchová struktura
- Dobře opracovatelný, málo prašný
- Teplotní tvarová stálost
- Hustota 0,08 g/cm³
- Rozměry základní desky 2500 x 1200 x 200 mm

Celková délka fyzikálního modelu v měřítku 1:17 byla 7,5 m na délku, 1,2 m na šířku a 0,2 m na výšku. Toho bylo dosaženo použitím 3 bloků RAKU-TOOL a jejich následným vyfrézováním. Takto vyfrézované desky byly sestaveny a slepeny dohromady a vloženy do připraveného podstavce, který zároveň poskytl napojení přívodu i odvod vody.



Existují tři základní principy jak připravit hydraulické jevy pro umělé dráhy [3]:

1. Trvalé překážky, které způsobí hlavní usměrňování proudu (“meandrování”).
2. Přemístitelné překážky různého typu, které dotváří hydraulické jevy, a které je také možné příležitostně přemístit na jinou pozici, a tím změnit významnost jednotlivých hydraulických jevů v místě.
3. Změnou příčných profilů koryta, či změnou sklonu dna.

V případě modelu pro Ivreu bylo cílem upravit dráhu tak, aby při návrhovém průtoku bylo dosaženo větší rozmanitosti proudění a hydraulických jevů po celé délce tratě a zároveň byla všude zaručena minimální hloubka 0,6 m zajišťující dostatečnou bezpečnost. Na modelu byly navržené části dráhy pro rekonstrukci odřezány a postupně doplněny o překážky pomocí modelíny, která je snadno tvarovatelná a tím výrazně urychluje provedení všech navrhovaných změn a úprav během návrhu.

Srovnání základních parametrů modelu a skutečnosti je vidět v Tab. 1.

Tabulka 1 – Srovnání základních parametrů modelu se skutečností

	Skutečnost	Model
Rozměry (délka x šířka)	125 x 20 m	7,5 x 1,2 m
Průtok (střední hodnota)	12,5 m ³ /sec	10,49 l/sec
Rychlost vody (střed koryta)	2 m/s	0,49 m/s

Po nalezení finální podoby a polohy překážek a úprav slalomové dráhy byly pomocí mikro-hydrometrické vrtulky změřeny rychlosti ve vybraných profilech a hloubky. Všechny provedené geometrické změny byly zaneseny zpět do počítačového modelu a byla vytvořena mapa hydraulických jevů spolu s rychlostmi a hloubkami. Tento 3D model byl potom předán v elektronické podobě pro zpracování projektové dokumentace.



Obr. 3 Fyzikální model po úpravách s průtokem 10 l/sec



Obr. 4 Výřez finální „mapy“ tratě s navrhovanými změnami v 3D modelu

4. Závěr

Použitím technologie laserového skenování a následného 3D frézování bylo možné přenést současný stav dráhy pro vodní slalom v italském městě Ivrea do hydraulické laboratoře a fyzikálního modelu ve velmi krátkém časovém horizontu s velkou přesností. Vzhledem k velikosti modelovaného úseku dráhy metoda proti klasickému zaměření vzorových příčných profilů přináší nesrovnatelně větší možnost zachycení detailů. V kombinaci s vytvořením 3D modelu a následným frézováním tak vznikne velmi podrobný model, který přesně odpovídá skutečnému korytu. Postup se ukázal jako velmi vhodný pro projekty rekonstrukcí, kdy je fyzikální model postaven na základě již vybudované konstrukce.

Literatura

1. ČÁBELKA, Jaroslav a Pavel GABRIEL. Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice. 1. vyd. Praha: Academia, 1987, 303 s.
2. BÉMOVÁ I., POLLERT, J. Návrhové charakteristiky umělých drah pro vodní slalom. Stavební obzor, roč.5, č.1, str. 18-21, ISSN 1210-4027, Praha 1996

**Ing. Jiří Procházka¹,
Ing. Ondřej Švanda¹**

**České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra zdravotního a ekologického inženýrství
Thákurova 7
166 29 Praha 6**