

Vplyv šachtových vtokových objektov MVE na homogénnosť rýchlostného poľa

Lucia Bytčanková

Anotácia

Šachtové vtokové objekty sa vyznačujú svojím tvarom, ktorý je v prvej časti horizontálny a prúdenie je beztlakové a pred vtokom na turbíny prúdiaca voda prekonáva spád v “šachte” a prúdenie sa zmení na tlakové. Prúdenie v takýchto objektoch je z hľadiska rozdelenia rýchlostí prúdenia veľmi komplikované. Príspevok sa venuje problematike prúdenia v takýchto objektoch a posúdeniu homogenity rýchlostného poľa.

Annotation

Shaft intake structures are characterized by their shape, which is horizontal in the first part and the flow is pressureless and before the intake to the turbines the flowing water overcomes the slope in the “shaft” and the flow changes to pressure. The flow in such object is very complicated in terms of flow velocity distribution. The paper describes the issue of flow in these objects and the assessment of the homogeneity of the velocity field.

Kľúčové slová

Šachtový vtokový objekt, rozdelenie rýchlostí prúdenia, fyzikálne meranie.

Keywords

Shaft intake structure, flow velocity distribution, physical measurement.

Abstract

The construction of shaft intake structures in Slovakia has recently increased. The shaft intake structures overcome significant vertical height over short horizontal distance. In their front horizontal section, the water flows with free surface, then in the vertical section the flow changes its direction and character to a pressurized flow. The hydraulically suitable design of the shaft intake structure is important for achieving the required parameters of a small hydropower plant (SHPP). The shapes of the shaft intake structures of SHPP are often not properly hydraulically designed to reduce investment costs. This fact leads to operational problems of these power plants caused by problematic water flow conditions. The distribution of flow velocity of these intake structures is one of the important aspects. Uneven distribution of flow velocity causes negative effects on turbine performance, reduced efficiency or uneven mechanical loading of turbine parts, resulting in reduced service life. Therefore, the investigation of the effects of shaft intake structure design on flow velocity distribution has been realized.

On a physical model in a hydraulic laboratory, using the PIV (Particle Image Velocimetry) method, the velocity field at a shaft intake of a small hydropower plant was investigated. The PIV is one of the most modern optical methods for measuring the velocity field of liquids and gases. The PIV measurements were realized for different shaft heights and proved negative effects of the design on the flow homogeneity in the turbine intake.

1 Úvod

Vtokové objekty patria medzi najdôležitejšie časti malých vodných elektrární (MVE) a priamo súvisia s celou funkciou elektrárne. Prúdením vo vtokových objektoch sa zaoberalo mnoho autorov. Vtokové objekty odoberajú vody do elektrárne a sú napojené na nádrž alebo zdrž. Správna konštrukcia vtokového objektu zabezpečuje dostatočný prietok vody a mala by zabezpečovať minimálne tlakové straty prúdenia. Nerovnomerný prítok spôsobuje nepravidelné zaťaženie obežného kola turbíny. Správna konštrukcia vtokového objektu tiež zabraňuje tvorbe vírov v tejto oblasti.

Homogenita rýchlostného poľa na vtoku do turbíny má veľký vplyv na kvalitu prúdenia, pričom nehomogénne rozdelenie rýchlostí prúdenia má negatívny vplyv na výkon a účinnosť turbíny. Vývoj možnosti meraní umožnil vznik objektívnych kritérií, ktoré hodnotia interakciu medzi objektami vodnej elektrárne a turbínou. Metodika prúdenia MVE vychádza z východiskových bodov autorov Fishera a Frankeho.

V poslednom období narástla na Slovensku výstavba šachtových vtokových objektov. Šachtové vtokové objekty sa nazývajú podľa svojho tvaru. V prvej časti je tvar horizontálny a prúdenie tu môže byť tlakové aj beztlakové. Pred vtokom na turbínu prúdiaca voda prekonáva spád v „šachte“ a prúdenie sa zmení na tlakové. Prúdenie je preto veľmi zložitá a hydraulicky návrh takýchto objektov by mal byť podrobený hydrotechnickému výskumu. Šachtové vtokové objekty sa zvyčajne budujú pri dodatočnom využívaní hydroenergetického potenciálu (HEP) na už postavených vodných stavbách, kedy bola časť prietoku púšťaná bez energetického využitia (napr. biologické prietoky do pôvodného koryta). Len niektoré MVE so šachtovým vtokovým objektom, ktoré sa budujú v poslednom období boli podrobené výskumu. Iné boli budované len na základe projekčného návrhu. Hlavné prúdenie je pri prevádzke kanálových elektrární v smere kanála a voda je do šachtového vtokového objektu privádzaná kolmo na tento smer. Ak sú kanálové vodné elektrárne mimo prevádzky, v derivačnom kanáli sa voda nepohybuje a odber do šachtového vtokového objektu je podobný odberu zo zdrže. Rôzne podmienky prúdenia, ktoré môžu v derivačnom kanáli nastať by mali ovplyvňovať tvarovanie šachtového vtokového objektu.



Obrázok 1: MVE Dolné Kočkovce

Nepripravenosť pôvodných objektov vodných diel na energetické využitie tejto časti HEP spôsobila, že MVE sú budované na vzdušných stranách zemných sypaných hrádz príľahlých vodných diel. K turbínam je voda privádzaná odberným objektom, ktorý je budovaný naprieč hrádzou. Jednoduchá konštrukcia a nízke finančné náklady sú častokrát pri projekcii takýchto MVE

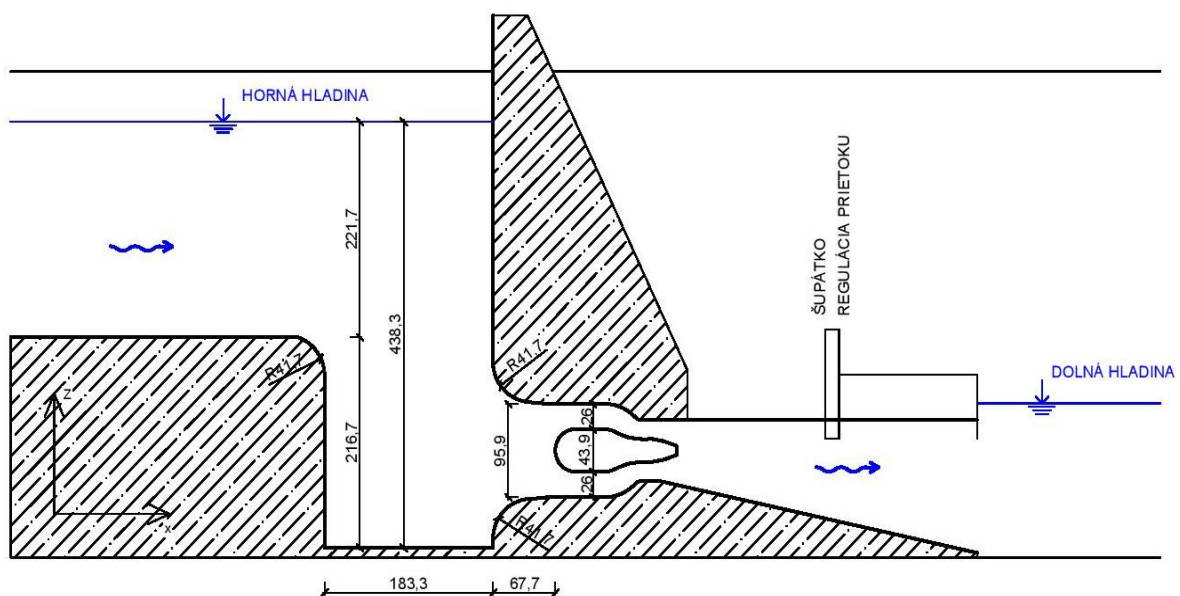
uprednostňované pred hydraulicky vhodnými tvarmi. Odborné objekty bývajú najčastejšie budované počas odstávky alebo revízie vodného diela a to spôsobuje krátkosť času na výstavbu. Niektoré konštrukčné časti MVE je teda potrebné dokončiť ešte pred opätovným uvedením vodného diela do prevádzky. Pri návrhu a realizácii vtokových objektov sa tieto skutočnosti odzrkadľujú.



Obrázok 2: MVE Trenčianske Biskupice

2 Materiál a metódy

Šachtové vtokové objekty sa na Slovensku začali budovať po roku 1990. Aj napriek ich budovaniu, väčšina z nich je postavená bez výskumu, len na základe projekčného návrhu. Tvary šachtových vtokových objektov obsahujú kolmé zmeny smerov a ostré hrany. Takáto konštrukcia je síce jednoduchá a stavebne lacná, ale pri takýchto tvaroch a náhlých zmenách smeru prúdenia dochádza k hydraulickým stratám a taktiež k narušeniu homogenity rýchlostného poľa pri vtoku na turbínu. Z tohto dôvodu je potrebné venovať sa skúmaniu takýchto objektov a preskúmať rýchlostné pole vo vtoku do turbíny. Predpokladom bolo využitie fyzikálneho modelu, ktorý slúžil na skúmanie hydraulických javov na zmenšenom modeli. V sklopnom žľabe hydrotechnického laboratória bol vytvorený fyzikálny model šachtového vtokového objektu MVE Dobrohošť (Obrázok 3) a na ňom prebiehali nasledujúce merania. Vhodná mierka fyzikálneho modelu je $M 1:30$. V takomto modeli je možné dobre sledovať vznik vírov a strhávanie vzduchu.



Obrázok 3: Fyzikálny model MVE Dobrohošť

Tabuľka 1: Výpočet mierok šachty v žľabe

Mierka dĺžok	M_l	1: 30
Mierka plôch	M_S	1: 900,000
Mierka rýchlostí	M_v	1: 5,477
Mierka prietokov	M_Q	1: 4 929,503
Mierka špecifických prietokov	M_q	1: 164,317

Tabuľka 2: Výpočet parametrov šachty v žľabe

		Skutočnosť	Model	
h	m	6,65	0,222	hĺbka vody na vtoku do vyrovnávacej komory
b	m	6	0,200	šírka kanála na vtoku do vyrovnávacej komory
S	m ²	39,9	0,044	prietočná plocha, $S = b \cdot h$
Q	m ³ ·s ⁻¹	25	0,005	prietok cez MVE
q	m ² ·s ⁻¹	4,167	0,025	špecifický prietok na vtoku do vyrovnávacej komory. $Q = Q/b$
v	m·s ⁻¹	0,627	0,114	stredná prierezová rýchlosť na vtoku do komory, $v = Q/S$

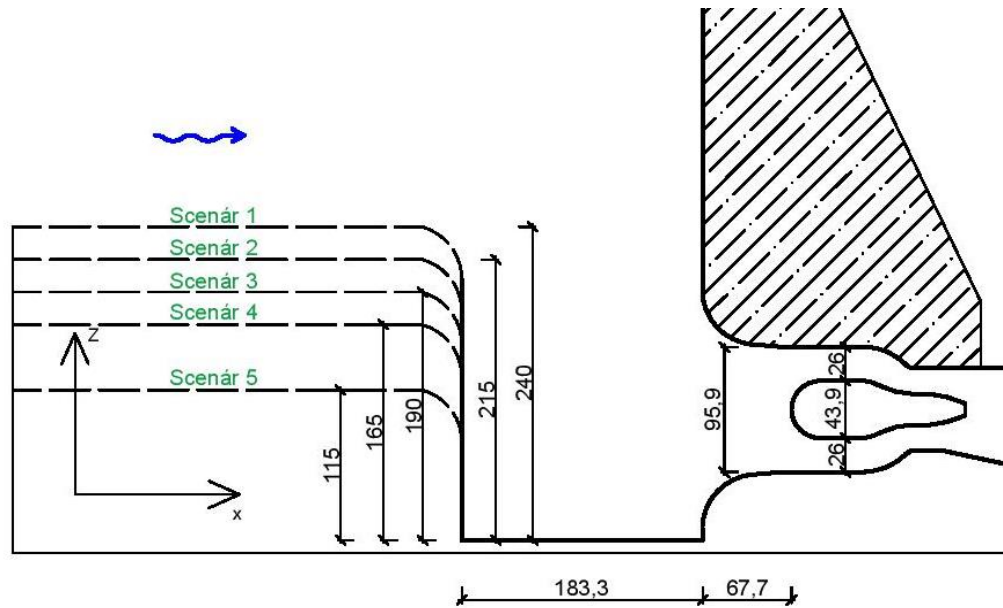
Tabuľka 3: Výpočet prietoku v žľabe

B	m	0,409	Šírka žľabu
B_m	m	0,380	šírka modelu komory (šachty)
Q_z	m ³ ·s ⁻¹	0,00964	Prietok v žľabe, $Q_z = q_M \cdot B_M$
Q_z	l·s ⁻¹	9,6	

Na meranie rýchlostného poľa sú v súčasnej dobe používané rôzne metódy. V minulosti boli používané predovšetkým mechanické zariadenia a nebolo s nimi možné merať rýchlosť dostatočne lokálne. Dnešné moderné zariadenia ako sú napríklad UVP (Ultrasound Velocity Profile), PIV (Particle Image Velocimetry), LDA (Laser Doppler Anemometry) sú schopné merať rýchlosť ako aj lokálne, tak aj plošne.

Metóda PIV je vhodnou metódou na meranie fyzikálneho modelu v laboratóriu. Je to optická metóda, ktorá umožňuje zamerať okamžité hodnoty veľkostí a smer vektorov rýchlostí v danom priereze toku. Do kvapaliny sú zavedené tzv. reflexné častice, ktoré odrážajú laserový lúč. Úzky svetelný zväzok je z laseru vedený priamo. Je upravený valcovou šošovkou do tvaru svetelného noža, pomocou ktorého je osvetlená vybraná rovina meracieho priestoru. Osvetlená plocha je ohraničená zorným polom kamery a sú v nej zaznamenané odrazy od reflexných častíc. Systém PIV zaznamenáva obrázky po dvoch pulzoch. Laser pošle prvý lúč, ktorý ožiari časticu. Častice sa v čase medzi vysielaním druhého laserového pulzu posunú, ale neopustia obrazový element. Nová poloha je tiež zachytená kamerou. Na spracovanie sa používa CCD kamera alebo CMOS kamera, ktorá je napojená cez digitálnu kartu k počítaču. Vyhodnocujú sa informácie o zmene polohy a čase, následne je vypočítaná rýchlosť.

Na pozorovanie rýchlostného poľa v šachtovom vtokovom objekte bolo navrhnutých 5 scenárov, ktoré pozostávali zo zmien hĺbky šachty. Prvotne bol vytvorený fyzikálny model MVE Dobrohošť, na základe ktorého boli scenáre vytvorené (Obrázok 4).

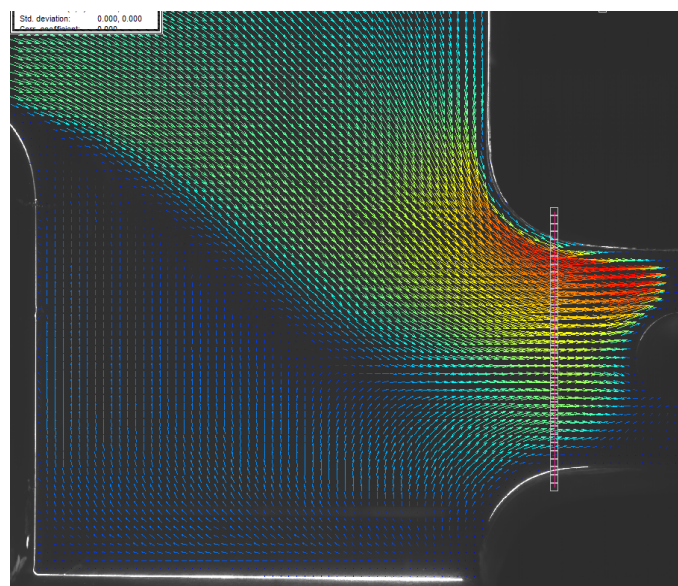


Obrázok 4: Fyzikálny model so zvolenými scenármi

3 Výsledky a diskusia

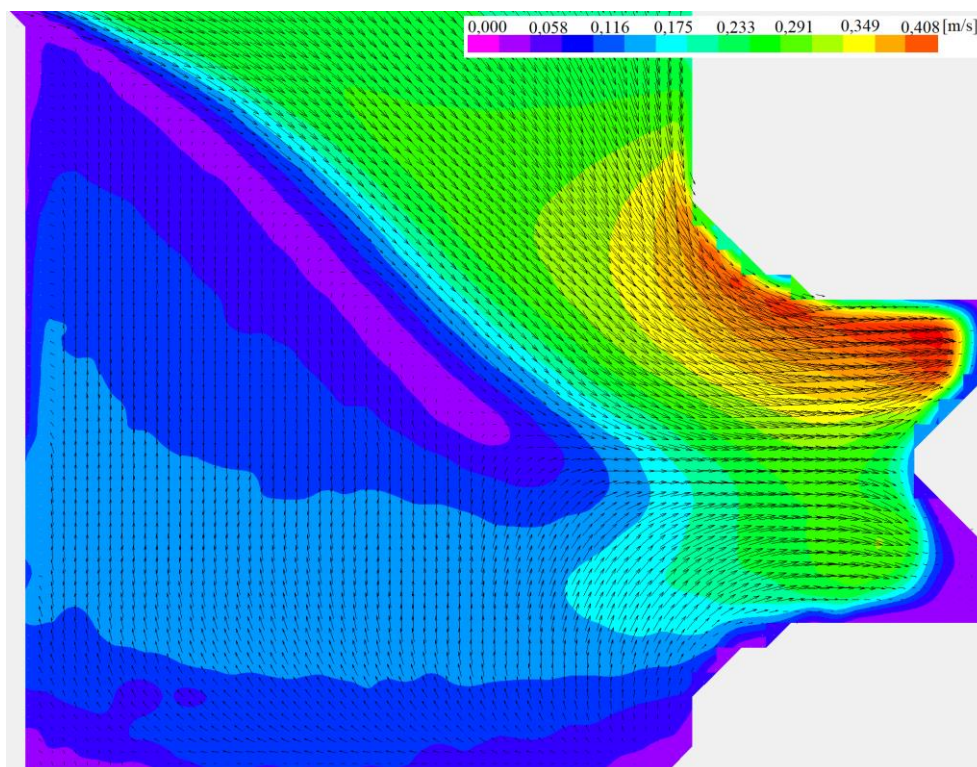
Väčšina malých vodných elektrární bola vybudovaná len na základe projekčného návrhu, výskum nebol podrobený. Tvar šachtového vtokového objektu by mal byť prispôsobený rôznym podmienkam prúdenia, ktoré môžu nastať. Z tohto dôvodu je potrebné venovať sa skúmaniu takýchto objektov a preskúmať rýchlostné pole vo vtoku do turbíny.

Fyzikálny model slúži na skúmanie hydraulických javov na zmenšenom modeli. Je zostavený ako šachtový vtokový objekt, na ktorom prebiehali nasledovné merania. Šachtový vtokový objekt bol skúmaný na základe rozloženia rýchlostí a bola pozorovaná závislosť medzi rôznymi hĺbkami šachty. Vytvorených bolo 5 scenárov. Na *Obrázku 5* je vyznačený profil, v ktorom bolo pozorované rozdelenie rýchlostí prúdenia pre každý scenár. Zvolený profil sa nachádza pred vstupom do turbín, kde je dôležité symetrické rozloženie prietoku.



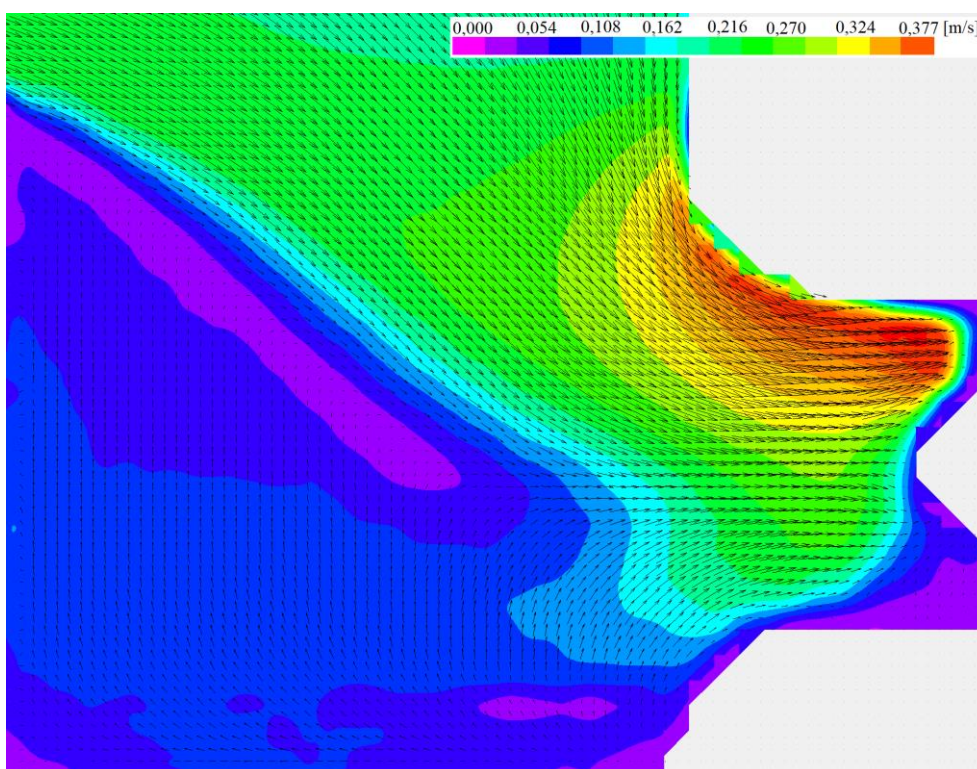
Obrázok 5: Vektorové rýchlostné pole s meraným profilom

- Scenár 1 – hĺbka šachty 240 mm



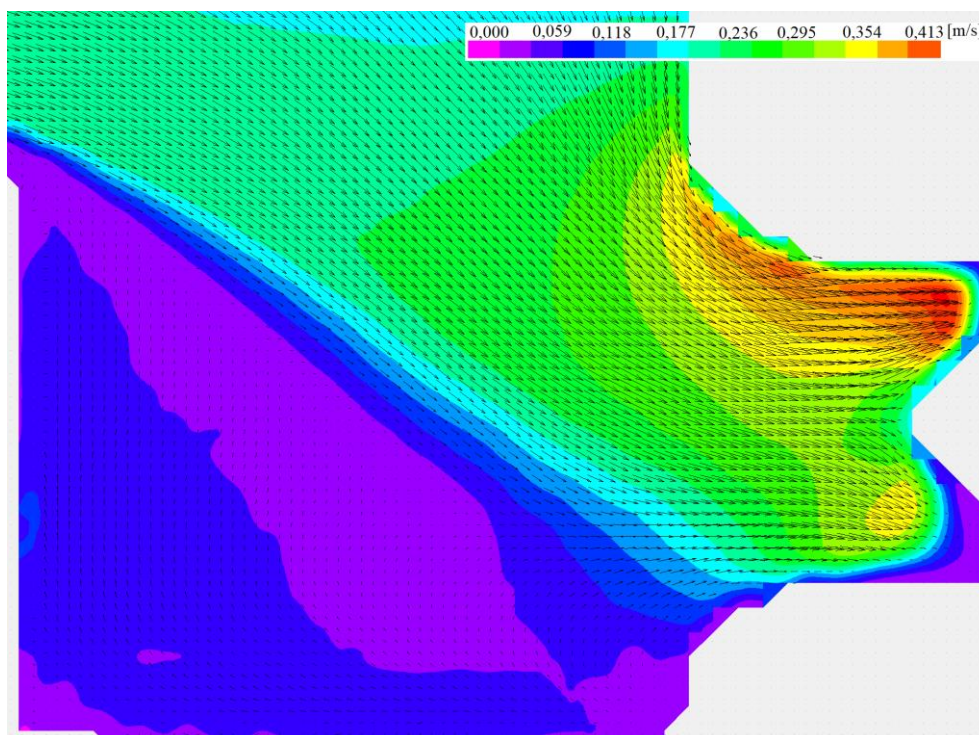
Obrázok 6 : Skalárna mapa rýchlostí s vektormi prúdenia

- Scenár 2 – hĺbka šachty 215 mm



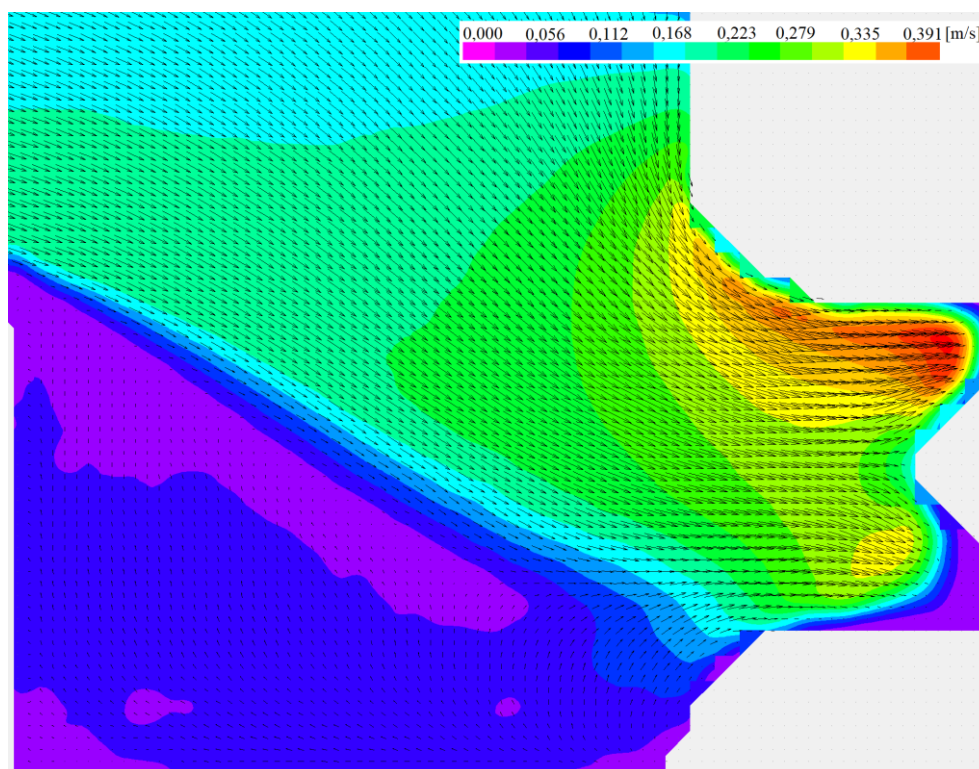
Obrázok 7 : Skalárna mapa rýchlostí s vektormi prúdenia

- Scenár 3 – hĺbka šachty 190 mm



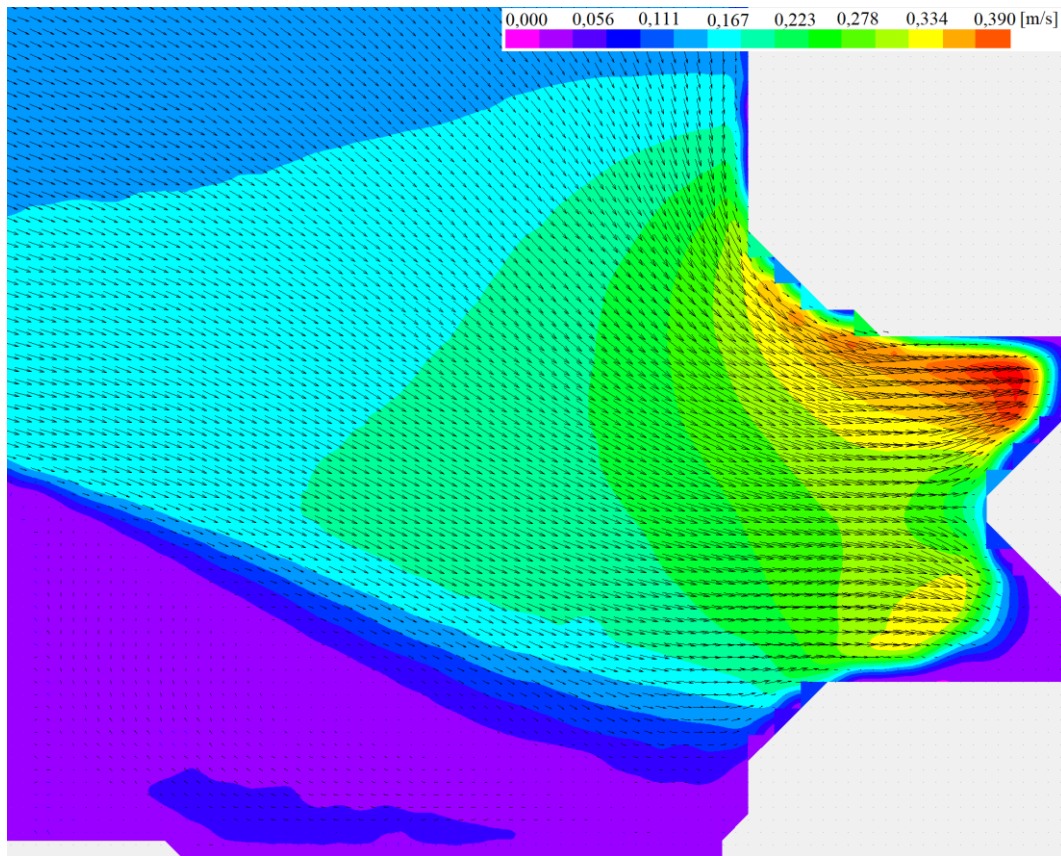
Obrázok 8 : Skalárna mapa rýchlostí s vektormi prúdenia

- Scenár 4 – hĺbka šachty 165 mm



Obrázok 9 : Skalárna mapa rýchlostí s vektormi prúdenia

- Scenár 5 – hĺbka šachty 115 mm

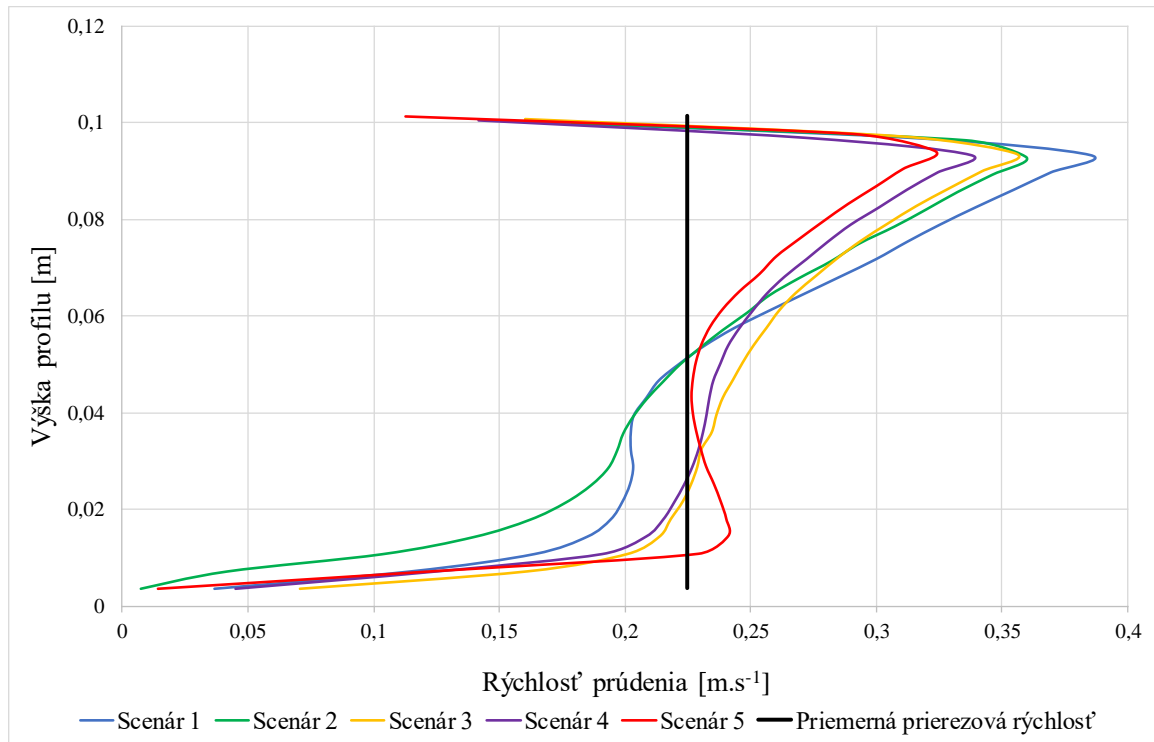


Obrázok 10 : Skalárna mapa rýchlostí – scenár 5

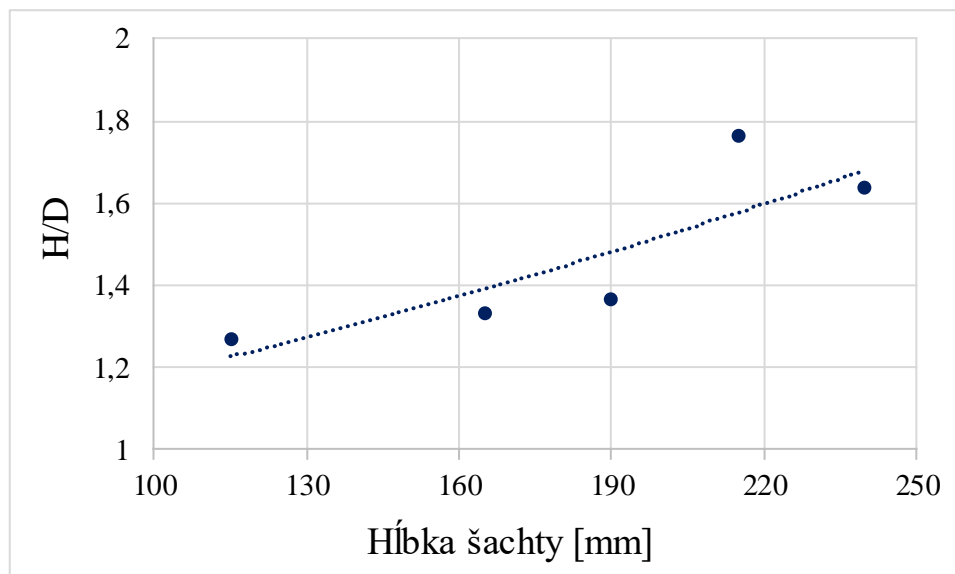
Meraných a pozorovaných bolo 5 scenárov šachtového vtokového objektu. Zvolené scenáre pozostávali zo zmien hĺbky šachty. Scenár 1 predstavoval hĺbku šachty 240 mm, pre scenár 2 bola zvolená hĺbka šachty 215 mm, hĺbka šachty v scenári 3 bola 190 mm, v scenári 4 - 165 mm a pre scenár 5 bola zvolená hĺbka šachty 115 mm. PIV systém bol nainštalovaný na fyzikálny model šachtového vtokového objektu. Následne prebehli základné nastavenia PIV systému : nastavenie kamery, nastavenie výkonu pulzov lasera, frekvencie zábleskov lasera a základná kalibrácia systému. Čas fotenia pre pozorované merania bol nastavený 6000 mikrosekúnd, impulzy 3 Hz a počet meraní (snímok) bol nastavený na hodnotu 500. Výsledky PIV meraní boli spracované v softvéri DynamicStudio. Na *Obrázkoch 6 – 10* sú znázornené skalárne mapy rýchlostí s vektormi prúdenia pre všetky scenáre. Skalárne mapy zobrazujú miesta, kde je rýchlosť prúdenia najvyššia a taktiež je tam sústredené prúdenie. Na dne šachtového vtokového objektu je možné pozorovať minimálne rýchlosti prúdenia a vznik vírov. Taktiež z posúdenia vyplýva nerovnomerné rozdelenie prietoku medzi turbíny. Takáto prevádzka spôsobuje negatívne účinky na výkon turbíny ako je zníženie jej účinnosti alebo nerovnomerné mechanické zaťaženie častí turbíny, čo má za následok zníženie jej životnosti.

Na *Obrázku 11* sú zobrazené rozdelenia rýchlostí prúdenia v pozorovanom profile pre každý zvolený scenár a sú porovnané s priemernou prierezovou rýchlosťou. Priemerná prierezová rýchlosť bola vypočítaná na hodnotu $0,225 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V scenári 1 sú najvýraznejšie odchýlky od priemernej prierezovej rýchlosti, naopak v scenári 5 sú tieto odchýlky najmenšie. Znižovaním hĺbky šachty sa odchýlky rýchlostí prúdenia znižujú. Taktiež je možné na grafe pozorovať rozdelenie prietoku medzi turbíny, kde je väčšina sústredená v hornej polovici pozorovaného profilu.

Obrázok 12 predstavuje závislosť hĺbky šachty k pomeru rozloženia prietoku do turbín. Zväčšovaním hĺbky šachty sa zvyšuje aj nerovnomernosť rozloženia prietoku.



Obrázok 11: Rozdelenie rýchlostí prúdenia v pozorovanom profile



Obrázok 12 : Závislosť hĺbky šachty k pomeru rozloženia prietoku do turbín

4 Záver

Pri starších vodných dielach na Slovensku sa vyskytuje aj časť nevyužitého HEP, na ktorého využitie sa budujú MVE. V poslednom období sa začalo realizovať viacero MVE so šachtovým vtokovým objektom a väčšina z nich bola vybudovaná len na základe projekčného výskumu.

Fyzikálne modelovanie sa na skúmanie hydraulických javov využíva viac ako 100 rokov. Má síce zložitejšiu kompozíciu, ale je vhodná na výskum tvorby vírov a strhávanie vzduchu. Fyzikálny model bol vytvorený v sklopnom žľabe v hydrotechnickom laboratóriu a cieľom fyzikálneho modelovania

bolo posúdiť ťaachtový vtokový objekt na základe hĺbky ťaachty, pozorovať rýchlostné pole vo vtoku na turbíny a rozloženie prietoku medzi turbíny. Metóda PIV je najvhodnejšou metódou na meranie fyzikálneho modelu v laboratóriu.

Výskum preukázuje identifikáciu problémov a nástroje na posudzovanie homogenity rýchlostného poľa a jeho vplyv na chod turbín. V pozorovaných ťaachtových vtokových objektoch boli preukázané nerovnomerné rozloženia rýchlostí prúdenia. Realizované merania dokázali, že nielen podmienky prúdenia, ale aj tvary vtokového objektu negatívne ovplyvňujú prúdenie, čo má za následok nerovnomerné rozdelenie prietoku do turbín. Dodatočné stavebné úpravy by mohli napomôcť k zlepšeniu parametrov prúdenia.

Pod'akovanie

Tento článok vznikol s podporou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky v rámci Agentúry na podporu výskumu a vývoja, projekt č. APVV-18-0472.

5 Literatúra

Shawky, Y. M., Ezzat, M. B., Abdellatif, M. M.: *Power plant intakes performance in low flow water bodies*, Water Science, Vol. 29, No. 1, 2015, pp. 54–67

Hodák, T.: *Využitie vodnej energie*. STU v Bratislave, 1984

Fošumpaur, P., Čihák, F.: *Design and optimization of a turbine intake structure*, Acta Polytechnica, Vol. 45, No. 3, 2005, pp. 87–91

Lichtneger, P.: *Intake flow problems at low-head hydropower*, Wasserbaukolloquium 2009: Wasserkraft im Zeichen des Klimawandels, Dresden, Germany, 12-13 March 2009, pp. 259–266

Taştan, K., Yıldırım, N.: *Effect of intake geometry on the occurrence of a free-surface vortex*, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 144, No. 4, 2018, Paper No. 04018009

Sun, H., Liu, Y.: *Theoretical and experimental study on the vortex at hydraulic intakes*, Journal of Hydraulic Research, Vol. 53, No. 6, 2015, pp. 787–796

Angulo, M., Liscia, S., Lopez, A., Lucino, C. *Experimental validation of a low-head turbine intake designed by CFD following Fisher and Franke guidelines*, 27th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, Montreal, Canada, 22-26 September 2014, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Hydraulic Systems, Volume 22, 2014, Paper No. 042014

Fisher, R. K. Jr., Franke, G. F. *The impact of inlet flow characteristics on low head hydro projects*, International conference on hydropower, Portland, Oregon, 19-21 August 1987, pp. 1673-1680

Dušíčka, M., Rumann, J., Dušíčka, P., *Šachtové vtokové objekty MVE*, Hydroturbo 2016, Znojmo, Czech republic, 25. – 27. October 2016

Seika corporation. *Principle of PIV*. 2008

Skalička, J., *Výzkum proudění s vtokovými víry na zmenšených fyzikálních modelech*. Vodní hospodářství, řada A, 1982, č.12

Dantec Dynamics. *Particle image velocimetry (PIV) measuring device – Dantec Dynamics A/S*. 2011