

Posúdenie homogenity prúdenia vo vtoku prihaťovej MVE

Lucia Bytčanková

Anotácia

Vtokové objekty sú dôležitou časťou, ktorá ovplyvňuje prúdenie vody do MVE, a následne aj chod turbín a celkový výkon elektrárne. Kvalitu prúdenia výrazne ovplyvňuje homogenita prúdenia vo vtokových objektoch, pričom nehomogénne rozdelenie rýchlostí má negatívny vplyv na chod MVE. Príspevok sa venuje problematike prúdenia vo vtokoch nízkotlakových malých vodných elektrární, pričom na posúdenie prúdenia bol použitý 2D matematický model prúdenia.

Annotation

Inlet structures are an important part, which affects the water flow, turbine operation and total power of a hydropower plant. The flow quality is significantly influenced by the flow homogeneity in the inlets, while the inhomogeneous flow velocity distribution has a negative impact to the operation of the hydropower plant. The contribution describes the flow in the inlets of low pressure small hydropower plants. For the assessment, a 2D numerical model of flow was used to verify its suitability for such a task.

Kľúčové slová

Vtokový objekt, prihaťová nízkotlaková malá vodná elektrárň, homogenita prúdenia, matematický model prúdenia.

Keywords

Intake structure, low pressure small hydropower plant, flow homogeneity, numerical model of flow

Abstract

An important part of small hydropower plants are intake structures that affect the water flow, turbine operation and thus the total power of a hydropower plant. The homogeneity of the flow in the intake to the turbines significantly affect the flow quality. The inhomogeneous flow velocity distribution has a negative effect to the operation on the turbine functionality, such as uneven mechanical load on the turbine parts, which also reduces turbine efficiency and service life. This contribution describes the assessment of flow in the intake of a low pressure small hydro power plant (the Stara Lubovna Small Hydropower Plant) with respect to the flow homogeneity. The River2D, 2D numerical modelling software, has been used for evaluation of flow in the inlets. Flow simulations for the current state of operation have been modelled. In assessing the current situation of inlet structure, scenarios were modelled. The simulations showed the negative impact of the construction solution for the flow conditions in the inlets, such as a significant uneven distribution of flow and significant deviation in flow velocities from the recommended values.

1 Úvod

Jednou z najdôležitejších stavebných častí malých vodných elektrární (MVE) sú vtokové objekty, ktoré priamo súvisia s celou funkciou elektrárne. Vtokové objekty sú napojené na vodnú nádrž alebo zdrž a odoberajú z nej vodu do elektrárne. Hydraulicky vhodný návrh vtokového objektu je spojený s dosiahnutím požadovaných parametrov vodnej elektrárne. Správne navrhnutie vtokového objektu zaisťuje dostatočný prietok vody a mal by zabezpečiť minimálne tlakové straty prúdenia.

Veľký vplyv na kvalitu prúdenia má homogenita rýchlostného poľa na vtoku do turbíny. Nehomogénne rozdelenie rýchlostí prúdenia spôsobuje negatívne účinky na výkon turbíny ako je zníženie jej účinnosti alebo nerovnomerné mechanické zaťaženie častí turbíny, čo má za následok zníženie jej životnosti. Z dôvodu zníženia nákladov na projekt, nie sú tvary vtokových objektov malých vodných elektrární s priamoprúdovými turbínami často hydraulicky správne navrhnuté. Táto skutočnosť vedie k prevádzkovým problémom takýchto MVE.

Problematiku prúdenia vtokových objektov je možné riešiť napríklad pomocou fyzikálnych modelov, 2D alebo 3D modelovaním. Rozvíjajúce sa možnosti meraní umožnili vznik objektívnych kritérií, ktoré hodnotia interakciu medzi objektami vodnej elektrárne a turbínou. Metodika prúdenia nízkotlakových MVE vychádza z východiskových bodov autorov Fishera a Frankeho. Otázky, ktoré sa týkajú prietokových podmienok väčšinou súvisia s nízkotlakovými prihaťovými elektrárnami. Táto metóda sa významne aplikuje na výsledkoch matematických modelov.

Príspevok popisuje vyhodnotenie prúdenia vo vtokovom objekte nízkotlakovej malej vodnej elektrárne. Na posúdenie prúdenia bol vytvorený 2D matematický model prúdenia, ktorý by mal pomocou nástrojov 2D modelovania preukázať vhodnosť a možné problémy vtokových objektov a ich stavebného riešenia.

2 Materiál a metódy

Predmetom analýzy vhodnosti návrhu vtokového objektu pre homogénne rozdelenie rýchlostí prúdenia bola MVE Stará Lubovňa, malá vodná elektráreň s priamoprúdovými turbínami. Malá vodná elektráreň Stará Lubovňa sa nachádza pri meste Stará Lubovňa na rieke Poprad. Hať je zložená z dvoch haťových polí, ktoré sú hradené hydraulickými klapkami. Riadiaci systém MVE a hate udržiava úroveň prevádzkovej hladiny 520,54 m n.m., na ktorú je navrhnuté hradenie. Regulácia je vykonávaná pomocou ľavého poľa hate, cez ktorý je možné pustiť prietok až $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pri prevedení väčších prietokov musia byť použité obe haťové polia.

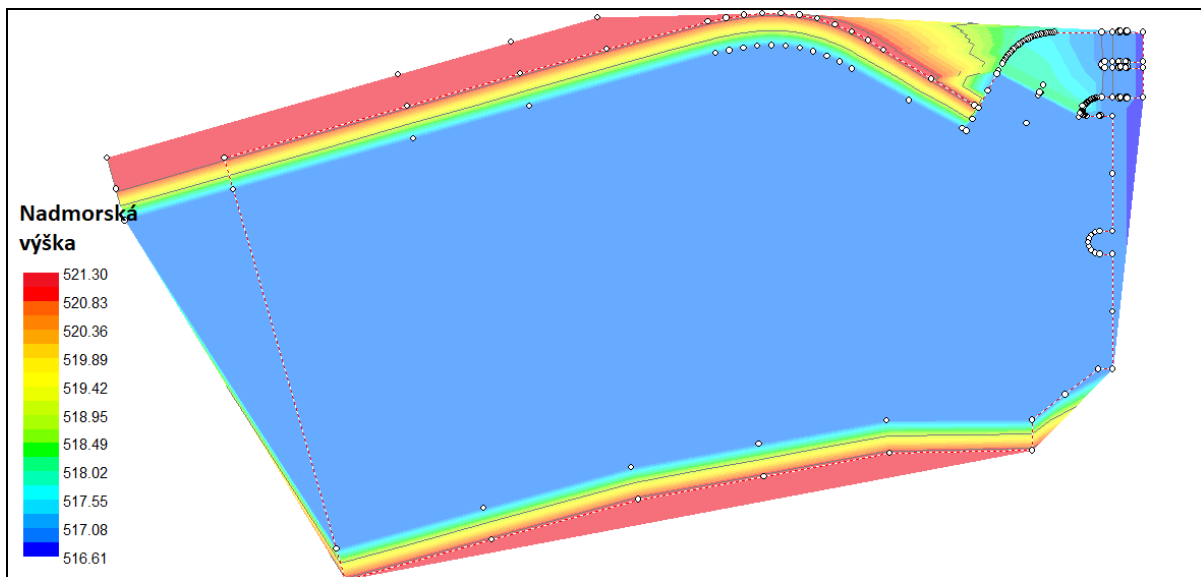
Budova MVE sa nachádza sa na ľavom brehu toku. Obsahuje dve Kaplanove turbíny, ktoré sú schopné spracovať prietok od $2,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $19,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Návrhový prietok elektrárnou je $18,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a návrhový spád je 3,16 m. Dve turbíny majú DN 1 290 mm a maximálny výkon pri prietoku $18,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je 510 kW.



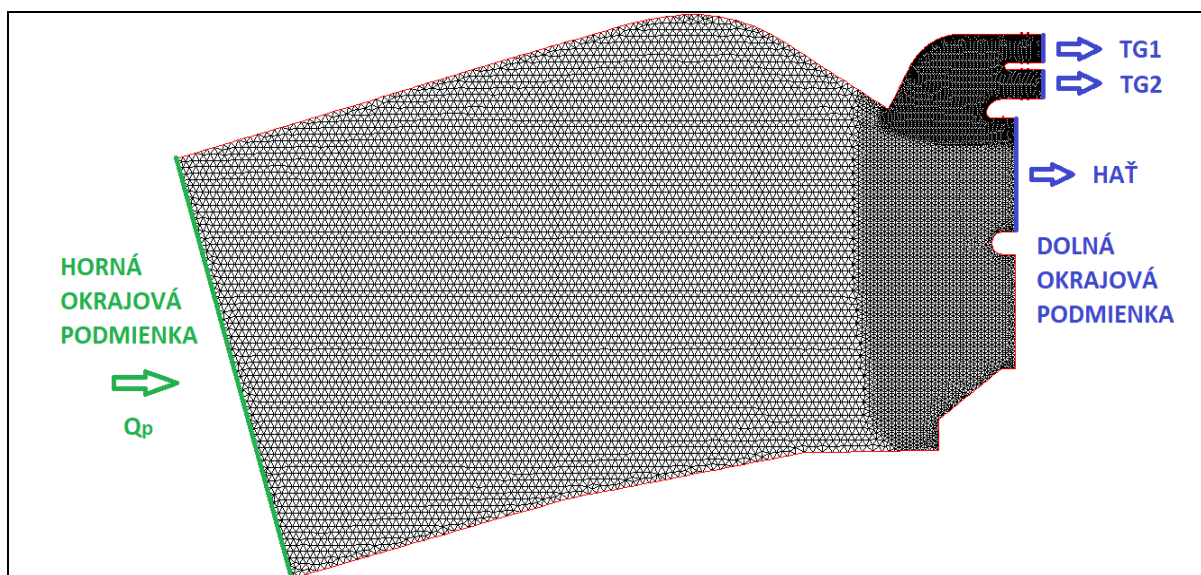
Obrázok 1: Malá vodná elektráreň Stará Lubovňa

2D matematický model prúdenia MVE Stará Ľubovňa bol vytvorený v programe River2D. River2D je voľne šíriteľný softvér na simuláciu prírodných tokov, v ktorom je možné uskutočňovať výpočty ustáleného a neustáleného prúdenia. Je to dvojrozmerný model, ktorý využíva rovnicu zákona zachovania hmotnosti a zachovávanie hybnosti.

Geometria bola vytvorená z poskytnutých údajov o nadmorských výškach v okolí stavby (Obrázok 2). Dno toku je jednotné, bez sklonu dna, vtokový objekt do elektrárne bol modelovaný na reálnu situáciu. V danej oblasti bola vytvorená výpočtová sieť. Princípom triangulácie je dosiahnutie čo najpresnejších rovnostranných trojuholníkov. V oblasti vtoku do elektrárne a haťových polí bola výpočtová sieť zahustená, aby boli výsledky čo najpresnejšie. V modeli bola použitá hodnota súčiniteľa drsnosti podľa Manninga 0,025, ktorá popisuje priame pravidelné koryto so štrkovým dnom.



Obrázok 2: Geometria záujmovej oblasti



Obrázok 3: Zahustená výpočtová sieť s okrajovými podmienkami

Okrajová podmienka na vtoku (horná okrajová podmienka) bola určená zadaním prietoku, ktorý vteká do modelovanej oblasti. Okrajová podmienka na výtoku (dolná okrajová podmienka) bola stanovená kótou nadmorskej výšky hladiny (Obrázok 3).

V simuláciách boli menené okrajové podmienky výpočtu, aby priblížili rôzne varianty fungovania prevádzky MVE. Horná okrajová podmienka je označená Q_p a vo výpočtoch boli použité prietoky $18,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dolná okrajová podmienka určuje prevádzkovú hladinu $520,54 \text{ m n.m.}$, ktorá bola menená na základe zvoleného scenára. Dolnou okrajovou podmienkou bola stanovená Kaplanova turbína TG1, Kaplanova turbína TG2 a ľavostranná klapka hate označovaná HAĎ (Tabuľka 1).

Tabuľka 1: Prehľad simulovaných scenárov s uvedenými okrajovými podmienkami

Scenár	Horná okrajová podmienka [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Dolná okrajová podmienka [m n.m.]			Vypočítaný prietok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]		
	Q_p	TG1	TG2	HAĎ	TG1	TG2	HAĎ
I.	18,2	520,54	520,54	-	10,6	7,5	-
II.	18,2	520,54	520,524	-	9,1	9,1	-
III.	9,1	520,54	-	-	9,1	-	-
IV.	100	520,54	-	520,54	13,8	-	86,2
V.	100	520,54	-	520,47	9,1	-	90,9
VI.	9,1	-	520,54	-	-	9,1	-
VII.	100	-	520,54	520,54	-	19,4	80,6
VIII.	100	-	520,54	520,392	-	9,1	90,9
IX.	100	520,54	520,54	520,54	14,7	15	70,3
X.	100	520,493	520,54	520,429	9,1	9,1	81,8

Výsledky simulácii boli vyhodnotené v profiloch vtokov do turbín (profily jemných hrablic), kde bolo vyhodnotené rozdelenie rýchlostí prúdenia prierezom prúdu. Zvislicové rýchlosti v tomto profile boli porovnané s priemernou zvislicovou rýchlosťou v profile vtoku do turbín. Porovnanie je vyjadrené percentuálnou relatívnou odchýlkou rýchlostí prúdenia od priemernej zvislicovej rýchlosti.

Simulácie prebiehali výpočtom ustáleného prúdenia. Na posúdenie boli vybrané prietoky $18,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Prietok $18,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ predstavuje návrhový prietok elektrárňou. Pri rovnomernom rozdelení tohto prietoku, by turbína mala byť schopná spracovať prietok $9,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Prietok $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ určuje prietok, ktorý je ustálený a nespôsobuje pohyb dnového materiálu. Pri zvýšení tohto prietoku sa prietok považuje za povodňový. Prevádzková hladina bola stanovená manipulačným poriadkom na kótu $520,54 \text{ m n.m.}$ V scenároch bola upravovaná dolná okrajová podmienka hladiny z dôvodu rovnomerného rozdelenia prietoku do turbín. Tolerancia prevádzkovej hladiny je $\pm 80 \text{ mm}$.

3 Výsledky a diskusia

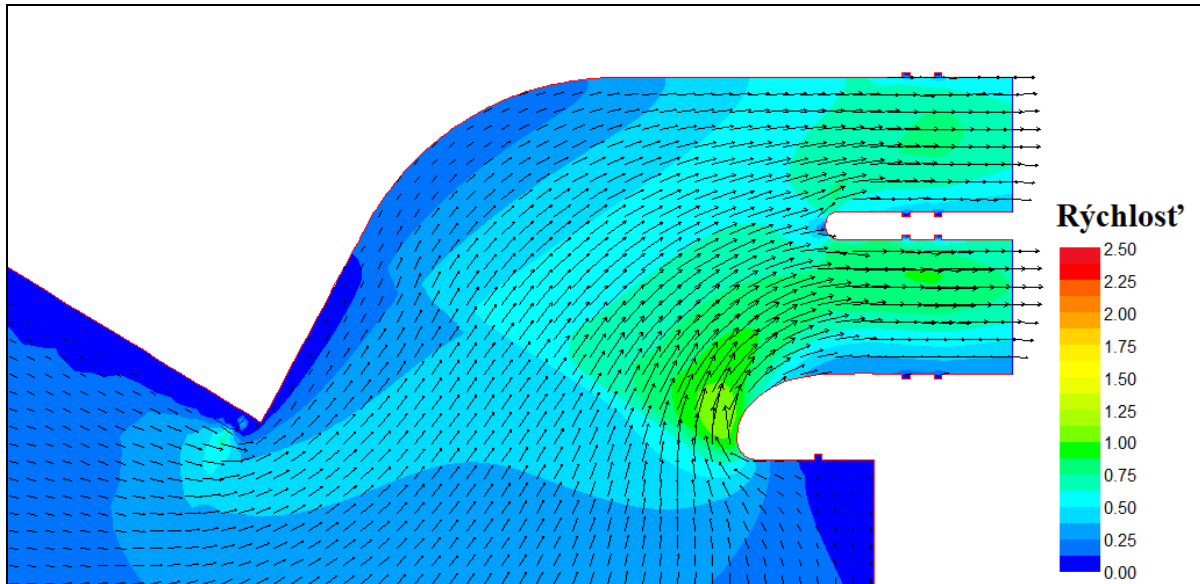
Simulovaných bolo 10 scenárov. V scenároch I., III., IV., VI., VII, IX. prebiehali prvotné výpočty modelu. Na základe prerozdelenia prietokov boli upravované hladiny, až kým prerozdelenie prietokov nebolo rovnomerné pre turbíny s maximálnou hĺtkosťou $9,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Výsledné prerozdelené vypočítané prietoky sú uvedené v Tabuľke 1.

Scenáre II.,V.,VIII., X. simulujú súčasný stav prevádzky vo vtokoch do turbín s rôznymi okrajovými podmienkami. Scenáre boli vybrané na hodnotenie rozdelenia rýchlostí prúdenia vo vtokoch do turbín. Výsledné rozdelenia rýchlostí prúdenia sú znázornené na obrázkoch 4, 6, 8, 10. Z výsledkov sú zrejme nerovnomerné rozdelenia rýchlostí prúdenia vo vtokovom objekte. Tvar vtokového objektu výrazne ovplyvňuje prúdenie, nakoľko v určitých miestach vtokového objektu sa vyskytuje prúdenie s opačným smerom. Táto deformácia prietokového poľa ovplyvňuje rozdelenie rýchlostí vo vstupe do turbín (profily jemných hrablic), kde sa v priereze vyskytujú významné odchýlky rýchlostí prúdenia (Obrázok 5, 7, 9, 11).

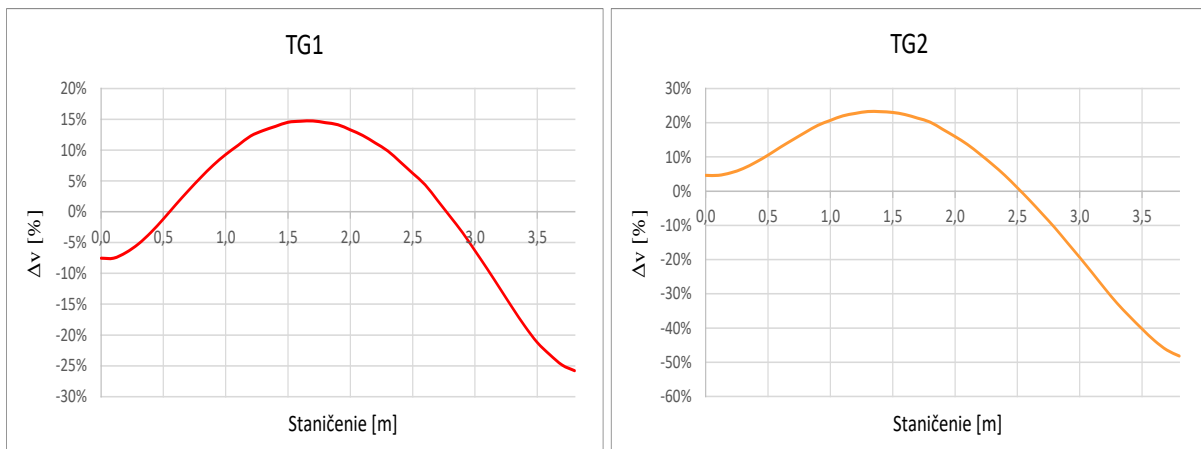
Scenár II.

Okrajové podmienky:

- $Q_P = 18,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (prítok)
- TG1 = 520,54 m n.m., $9,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (nadmorská výška, odtok)
- TG2 = 520,524 m n.m., $9,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (nadmorská výška, odtok)



Obrázok 4: Rozdelenie rýchlostí prúdenia s vektormi prúdenia

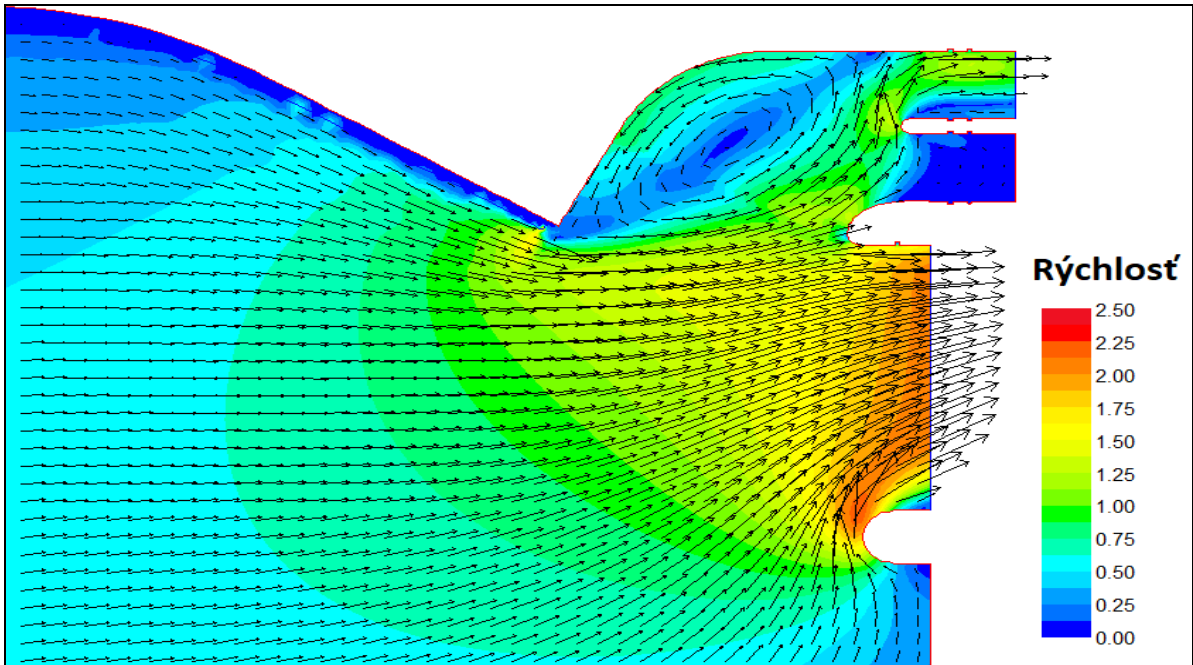


Obrázok 5: Relatívna odchýlka rýchlostí prúdenia od priemernej zvislicovej rýchlosti v profile jemných hrabíc

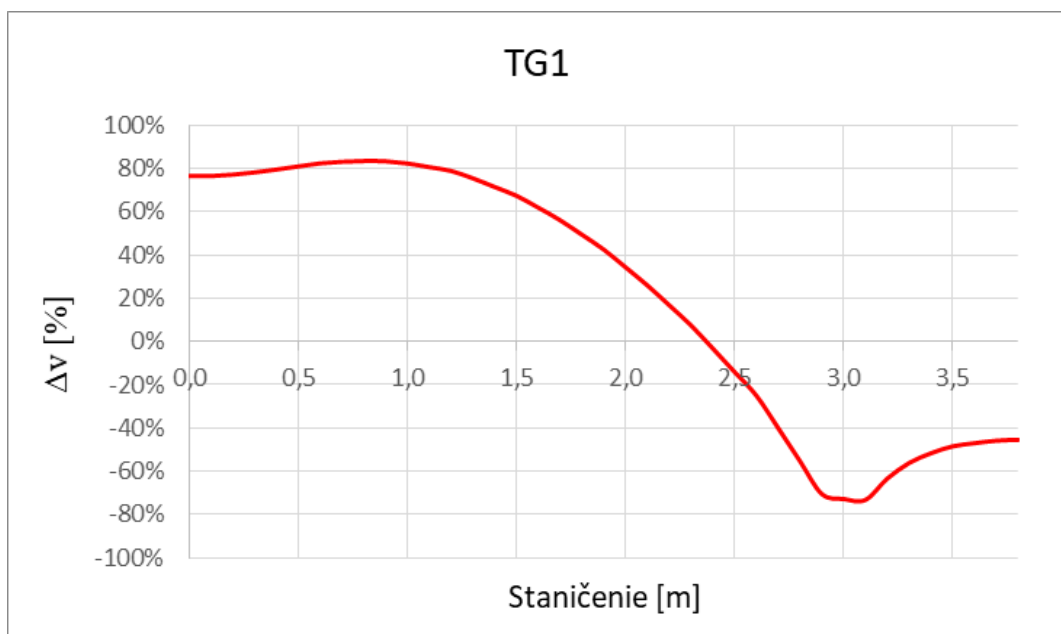
Scenár V.

Okrajové podmienky:

- $Q_P = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (prítok)
- $TG1 = 520,54 \text{ m n.m.}$, $9,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (nadmorská výška, odtok)
- $HA\check{T} = 520,47 \text{ m n.m.}$, $90,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (nadmorská výška, odtok)



Obrázok 6: Rozdelenie rýchlostí prúdenia s vektormi prúdenia

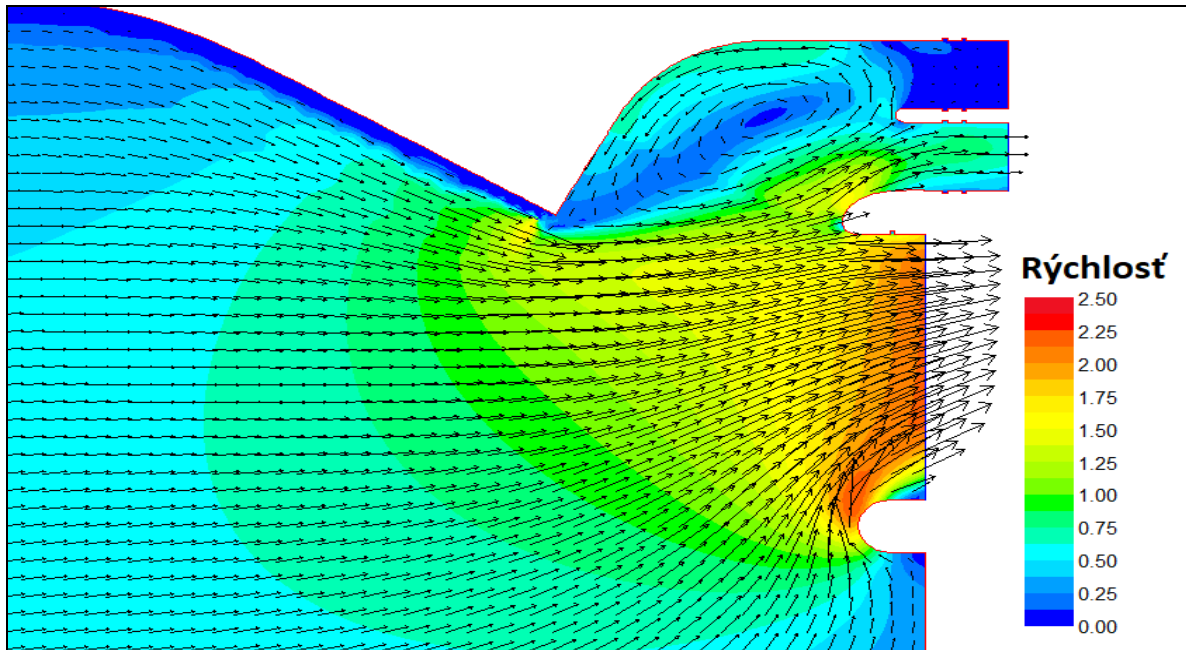


Obrázok 7: Relatívna odchýlka rýchlostí prúdenia od priemernej zvislicovej rýchlosti v profile jemných hrabíc

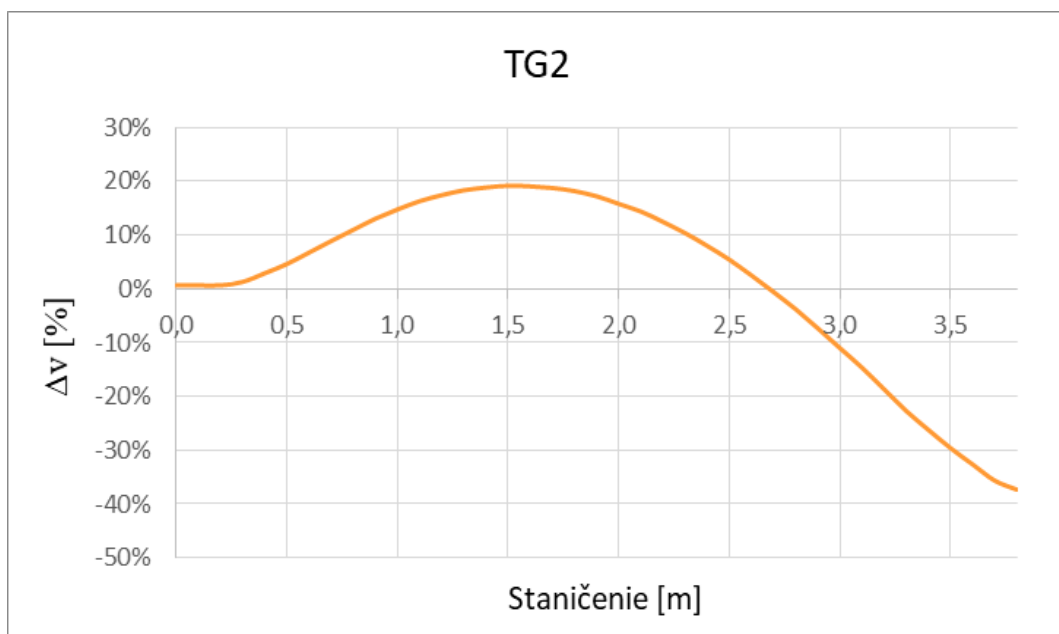
Scenár VIII.

Okrajové podmienky:

- $Q_p = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (prítok)
- TG2 = 520,54 m n.m., $9,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (nadmorská výška, odtok)
- HAĽ = 520,393 m n.m., $90,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (nadmorská výška, odtok)



Obrázok 8: Rozdelenie rýchlostí prúdenia s vektormi prúdenia

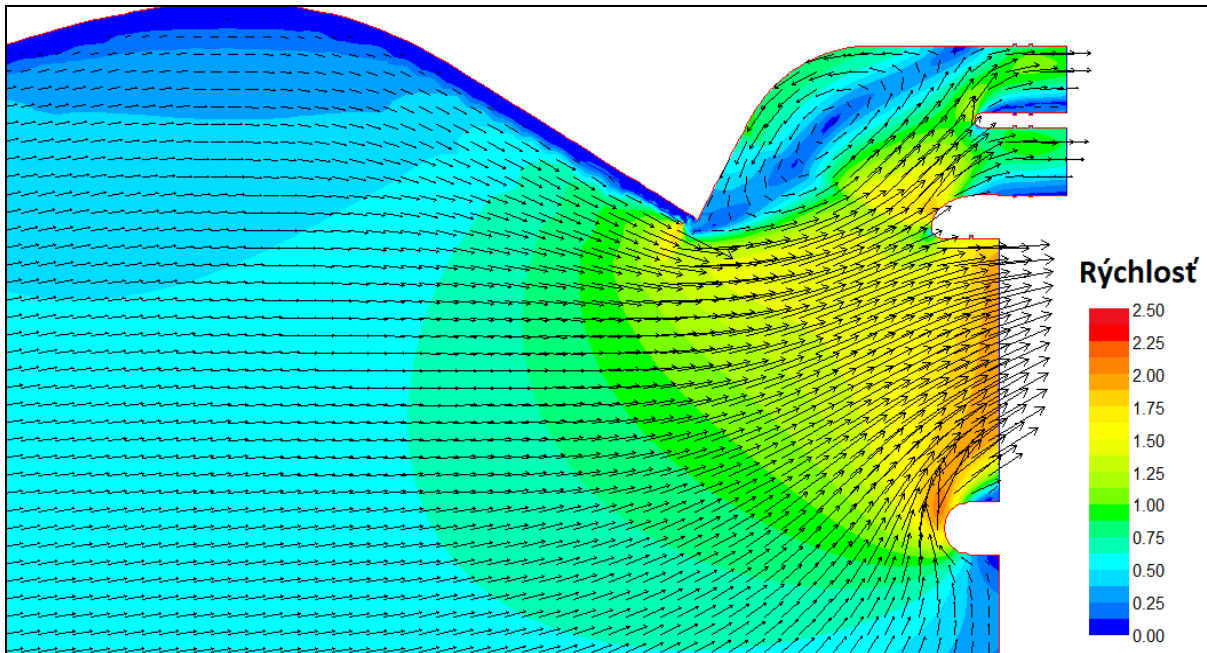


Obrázok 9: Relatívna odchýlka rýchlostí prúdenia od priemernej zvislicovej rýchlosti v profile jemných hrabíc

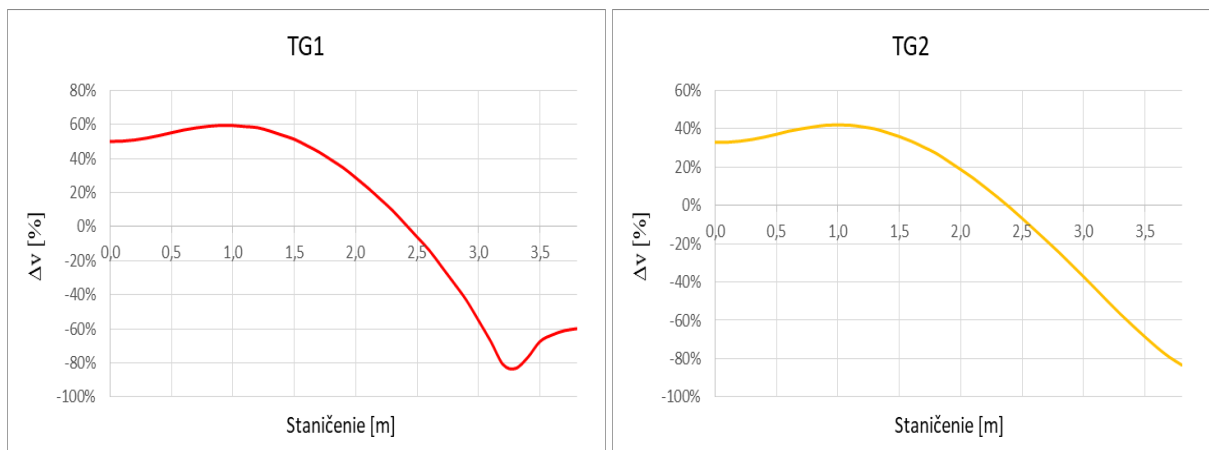
Scenár X

Okrajové podmienky:

- $Q_p = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (prítok)
- TG1 = 520,493 m n.m., $9,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (nadmorská výška, odtok)
- TG2 = 520,54 m n.m., $9,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (nadmorská výška, odtok)
- HAĽ = 520,429 m n.m., $81,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (nadmorská výška, odtok)



Obrázok 10: Rozdelenie rýchlostí prúdenia s vektormi prúdenia



Obrázok 11: Relatívna odchýlka rýchlostí prúdenia od priemernej zvislicovej rýchlosti v profile jemných hrabíc

4 Záver

Príspevok popisuje problematiku prúdenia a vhodnosť návrhu vtokových objektov nízkotlakových malých vodných elektrární s priamoprúdovými turbínami pomocou 2D matematického modelu.

Aplikácia tejto metódy na MVE Stará Ľubovňa dokázala, že vo vtokoch do turbín je výrazné nerovnomerné rozdelenie rýchlostí prúdenia. Obrázky 5, 7, 9 a 11 znázorňujú relatívne odchýlky rýchlostí prúdenia od priemernej zvislicovej rýchlosti v profile jemných hrablíc. Relatívne odchýlky rýchlostí prúdenia sa pohybujú v rozmedzí od + 60% do – 90%, čo dokazuje veľkú nehomogenitu prúdenia, ktorej je táto oblasť vystavená. Realizované simulácie dokázali, že nielen podmienky prúdenia, ale aj tvary vtokového objektu negatívne ovplyvňujú prúdenie, čo má za následok nerovnomerné rozdelenie rýchlostí prúdenia do turbín.

Dodatočné stavebné úpravy alebo rekonštrukcia stavby by mali napomôcť k zlepšeniu parametrov prúdenia.

PodĎakovanie

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.

Tento článok vznikol aj na základe finančnej podpory projektu grantovej agentúry VEGA 1/0361/17.

5 Literatúra

Lahký, J. *Manipulačný poriadok pre trvalú prevádzku vodnej stavby Malá vodná elektrárň Stará Ľubovňa na rieke Poprad*, 2014

ASB.sk, MVE Hronská Dúbrava a Stará Ľubovňa [online, prístupné dňa 30.11.2012, <https://www.asb.sk/inzinierske-stavby/vodohospodarske-stavby/mve-hronska-dubrava-a-stara-lubovna>

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

Steffler, P., Blackburn, J. *River2D Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics and Fish Habitat*, 2002

Bytčanková, L.: *Posúdenie prúdenia vo vtokovom objekte MVE Stará Ľubovňa*. 2018

Fisher, F. K. Jr., Franke, G. F.: *The Impact of Inlet Flow Characteristics on Low Head Hydro Projects*, International conference on hydropower, Portland, Oregon 1987

Zhao, Y. P., Liao, W. L., Feng, H. D., Ruan, H., Luo, X. Q.: *Experimental and numerical study on inlet and outlet conditions of a bulb turbine with considering free surface*. 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems. Beijing, China, 2012