

Analýza prúdenia v oblasti stupňa Gabčíkovo

Andrea Palkovičová¹

Anotácia

Tento príspevok sa zaoberá výskumom vplyvu prevádzky Vodnej elektrárne Gabčíkovo na bezpečnosť plavby v dotknutom úseku Dunaja. Prevádzka viacúčelových vodných diel s plavebnou i regulačnou energetickou prevádzkou vyžaduje optimalizáciu tak, aby nebola obmedzená plavebná bezpečnosť, prevádzkou regulačnej vodnej elektrárne. Nástrojom tohto výskumu sú simulácie na matematickom modeli.

Kľúčové slová

Vodné dielo Gabčíkovo, vodné cesty, plavebné komory, matematické modelovanie, rýchlosti prúdenia.

Annotation

The article deals with research on the operation mode of the Gabčíkovo Water Structure and its effect on the navigation safety on the Danube River. Operation mode of multipurpose water structures with regulatory energetic operation and navigation operation requires an optimization. The navigation safety cannot be limited by the operation mode of hydroelectric power plant. A tool for this research is simulation in the mathematical model of flow.

Key words

Gabčíkovo Water Structure, waterways, locks, mathematical modelling, velocity of flow.

Úvod

Pre dostatočnú plavebnú bezpečnosť a dopravnú kapacitu je optimalizácia infraštruktúry vodných ciest pomocou výskumu nevyhnutná. Prevádzka viacúčelových vodných diel s plavebnou i energetickou prevádzkou, akým je aj Vodné dielo Gabčíkovo (VDG), vyžaduje optimalizáciu tak, aby sme našli parametre prevádzky vodnej elektrárne, ktoré nenarúšajú dynamické funkcie tejto elektrárne v energetickej sústave a zároveň nebola obmedzená plavebná bezpečnosť plavidiel regulačnou prevádzkou elektrárne. Nesprávne riadená regulácia, teda rýchly nábeh alebo odstavenie elektrárne, ovplyvňuje hydraulický režim prúdenia. Zvýšením alebo znížením prietoku môže dôjsť k ohrozeniu pohybujúcich sa plavidiel (strata manévrovateľnosti) i vyviazaných plavidiel (odtrhnutie lán). Silovým pôsobením prúdiacej vody dochádza k ovplyvňovaniu trasy pohybu plavidla. Optimálny a bezpečný pohyb plavidla po prúdiacej vode ako aj jeho manévrovanie a ovládateľnosť súvisia s veľkosťou zmeny prietokového množstva vodnej elektrárni, časovým priebehom

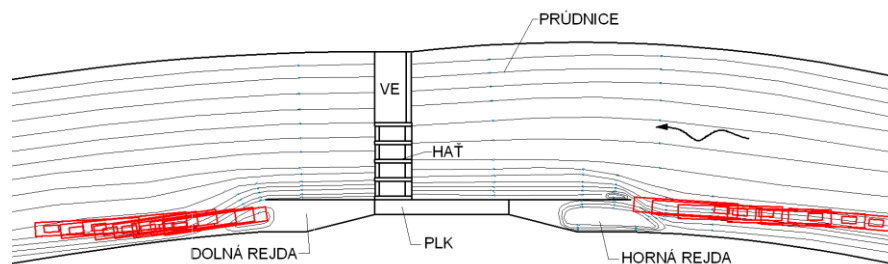
¹ Ing. Andrea Palkovičová, Katedra hydrotechniky, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, e-mail: andrea.palkovicova@stuba.sk

prevádzky, sklonom hladiny a smerom pohybujúceho sa plavidla. Dôsledkom nepriaznivého vplyvu prúdenia na plavidlo môže byť kolízia s iným plavidlom, náraz na funkčný objekt vodného diela, náraz na breh vodnej cesty, prípadne odtrhnutie vyviazaného plavidla. Zložité priestorové prúdenie v oblasti vodných diel s plavebnou prevádzkou je možné popísať len pomocou hydraulického a hydrotechnického výskumu. Nástrojmi tohto výskumu sú simulácie na vhodných matematických modeloch.

Vplyv prevádzky VEG na plavbu

Vodná elektrárň na Dunaji je našou najväčšou kanálovou vodnou elektrárnou. Jej inštalovaný výkon 720 MW bol stanovený s ohľadom na pôvodne navrhovanú regulačnú – špičkovú prevádzku. Nedobudovanie sústavy vodných diel Gabčíkovo-Nagymaros podľa pôvodného zmluvného projektu neumožňuje pôvodne plánovanú špičkovú prevádzku VEG. V súčasnosti je prevádzka prietochná s hladinovou reguláciou. Priebežná prevádzka elektrárne predstavuje rovnomerné spracovanie prietokov, ktoré určuje Hydroenergetický dispečing Trenčín počas 24 hodín podľa prietokových prognóz. Regulačná prevádzka sa vykonáva v zmysle „Podmienok regulačnej prevádzky“ a predstavuje využívanie zásobného objemu Zdrže Hrušov a prírodného kanála pri zmenách prietokov Dunaja.

Pri regulačnej prevádzke vodnej elektrárne dochádza k ovplyvneniu prietokového, a následne hladinového režimu toku. Vplyv prúdenia na trajektóriu pohybu plavidla sa prejavuje najmä v bezprostrednej blízkosti plavebnej komory (PLK) a jej rejd. V tomto úseku sa výrazne zužuje plavebná šírka a plavidlo znižuje svoju rýchlosť, aby bolo schopné vplávať do PLK (Obr. 1). Najmä poprúdné plavidlá sú pri znižovaní rýchlosti viac ohrozené stratou manévrovateľnosti a hrozí im kolízia s iným plavidlom, náraz na breh vodnej cesty či niektorý funkčný objekt vodného diela napr. rejd PLK. V bežnej prevádzke vodnej elektrárne však nemožno vylúčiť ani nepredvídateľné okolnosti, napr. havarijný výpadok elektrárne, ktoré môžu bezpečnosť plavebnej prevádzky značne ohroziť. Zmena prietoku v dôsledku neregulovaného výpadku prietoku cez VEG viedli už v minulosti k nebezpečným udalostiam, ako bolo napríklad odtrhnutie kompy v prírodnom kanáli nad VE. Havarijný výpadok VEG je nebezpečný jav, ktorému sa nedá zabrániť, no môžu sa aspoň zmierniť jeho dôsledky. Takýto neriadený výpadok predstavuje zníženie prietoku na nulu za extrémne krátky čas, pričom sa vytvoria rázové vlny. Pre bezpečnosť plavby je potrebné vyriešiť dotáciu chýbajúcej vody do odpadného kanála. Najvhodnejším spôsobom by bolo prepúšťanie vody cez jalový obtok, prípadne hať. Tieto objekty však nie sú na VEG vybudované, a preto sa na tento účel využívajú plavebné komory. Vzhľadom k tomu, že nedokážeme havarijný výpadok predvídať, je využívanie plavebných komôr obmedzené. Môžu byť práve v prevádzke, teda v stave naplňovania, respektíve prázdnenia, čo oddiali čas ich použitia alebo jedna z nich môže byť mimo prevádzky kvôli oprave, a tým sa zmenší kapacita dotovaného prietoku. Z doterajšej prevádzky VEG vyplynula preto potreba jednoznačne kvantifikovať dopady nesprávne riadenej regulácie i neriadeného výpadku VEG na plavbu a navrhnúť reálne opatrenia na obmedzenie dôsledku takejto prevádzky.



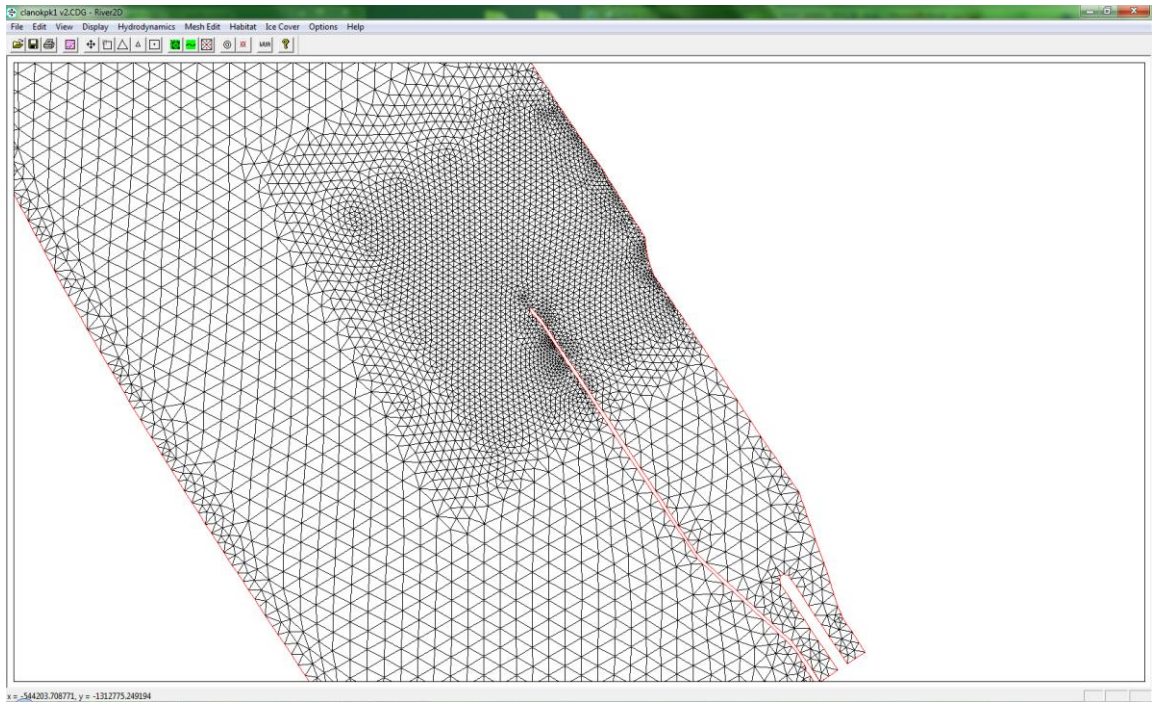
Obr. 1: Schéma plavebného stupňa s možnou trajektóriou pohybu plavidla

Analýza súčasnej prevádzky VEG v zmysle platného Manipulačného poriadku s ohľadom na bezpečnosť plavby predstavuje zostrojenie matematického modelu prúdenia v prírodnom a odpadnom kanáli Dunaja, simulácie vplyvu manipulácie VEG na časový priebeh prietokov na modeli a stanovenie kritérií na prevádzku VEG (hranice strmosti zmien prietokov na VEG)

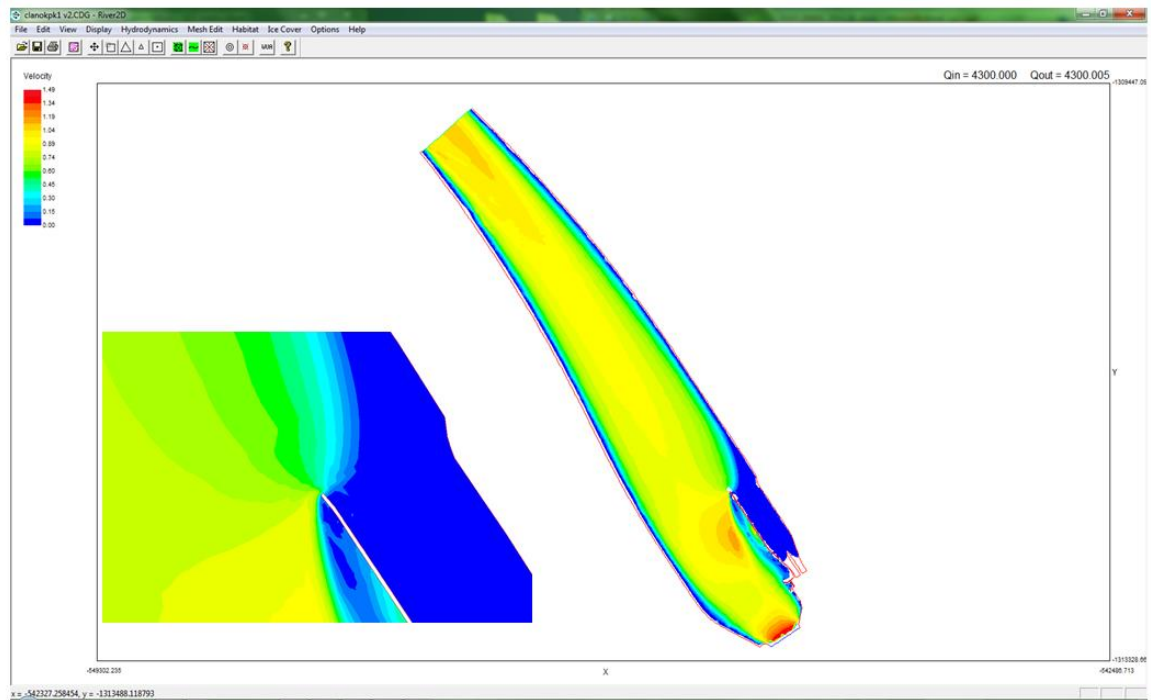
Aplikácie 2D matematického modelu

Prúdenie vody cez VEG je simulované prostredníctvom softvéru River2D, ktorý bol vyvinutý na Univerzite v Alberte v roku 2002 a používa metódu konečných prvkov. Je to dvojdimenzionálny modelovací systém pre modelovanie prúdenia vody s voľnou hladinou a umožňuje podrobne riešiť ustálené a neustálené dvojrozmerné turbulentné prúdenia vody v oblastiach so zložitou geometriou. Teoretický základ poskytujú tri rovnice, ktoré vychádzajú z fyzikálnych zákonov - zákon zachovania hmotnosti a zákon zachovania hybnosti a sú vyjadrené vo forme parciálnych diferenciálnych rovníc plytkej vody.

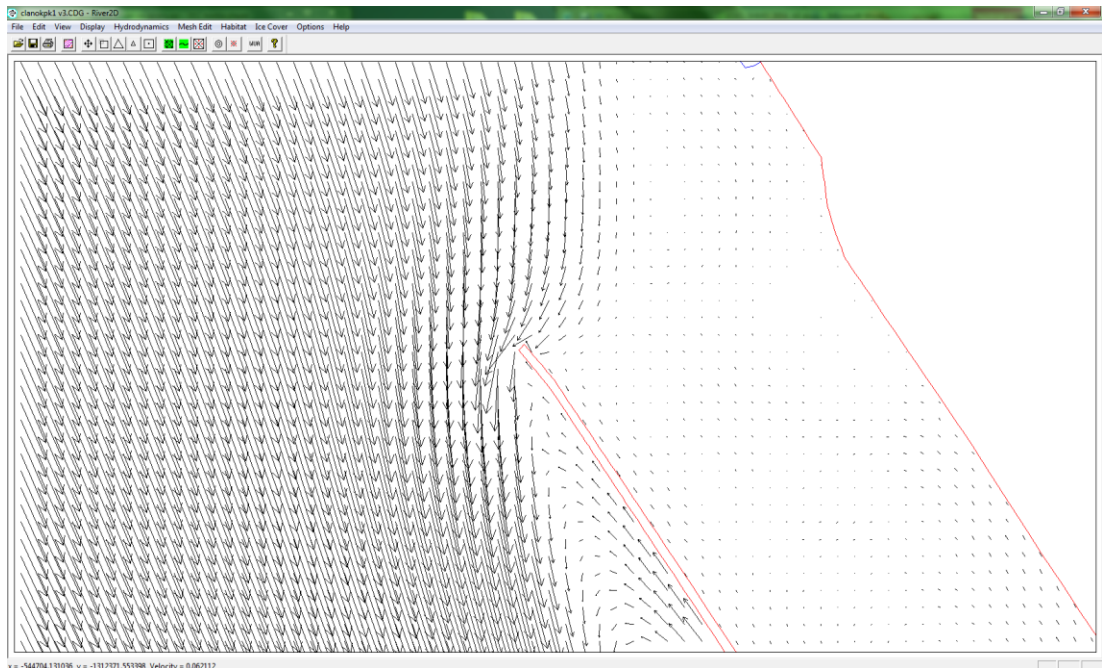
Prostredníctvom tohto 2D matematického modelu sú simulované rôzne spôsoby prepúšťania prietoku ($760 - 4300 \text{ m}^3/\text{s}$) cez VEG z hľadiska plavebnej bezpečnosti. Simulovanie regulačnej prevádzky VEG je riešené postupným znižovaním prietoku s bezenergetickou prevádzkou. Pri havarijnom výpadku sa musí pre bezpečnosť plavebnej prevádzky zabezpečiť prepúšťanie vody cez plavebné komory. Pomocou jednej plavebnej komory sa môže prepúšťať plniacim systémom najviac $760 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, keď sa použije haťová prevádzka na plavebných komorách, môže jedna komora prepúšťať približne $1200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Hydraulický výpočet sa v programe uskutočňuje v jednotlivých uzloch výpočtovej siete. Preto, čím je sieť hustejšia, tým sú vypočítané hodnoty presnejšie a priebeh hydraulických veličín je v grafickom výstupe plynulejší. Sieť je zahustená v posudzovanej oblasti, a teda v okolí rejd plavebnej komory (Obr.2). Pre bezpečnosť plavby majú rozhodujúci vplyv priečne zložky prúdenia vznikajúce obtekaním záhlavia rejd, ktoré pôsobia priečne na smer pohybu plavidla, čím ho vytlačujú z plavebnej dráhy. Keďže program priamo nepočíta hodnoty priečnej zložky rýchlosti prúdenia, majú v tomto prípade výpovednú hodnotu merné prietoky v smere y a hĺbky, z ktorých sa tieto rýchlosti dajú vypočítať. Výsledkom simulácií sú grafické výstupy vyjadrujúce priebeh rôznych hydraulických veličín. Pre posúdenie bezpečnosti plavby v oblasti vjazdu do hornej a dolnej rejd plavebnej komory je užitočný priebeh rýchlostí v celom modeli ako aj detail obtekania múru rejd spolu s vykreslením vektorov rýchlostí, vyjadrujúcich smer prúdenia vody. Rýchlostné pole prúdenia modelovanej oblasti nad VEG pri prietoku $4300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ predstavuje obrázok 3 a 4.



Obr. 2: Výpočtová sieť v koryte nad VEG



Obr. 3: Rýchlosté pole prúdenia nad VEG zobrazené farebnou škálou



Obr. 4: Rýchlosté vektorové pole prúdenia nad VEG, vtok do hornej rejdy

Záver

Pri regulačnej či havarijnej prevádzke vodných elektrární dochádza k ovplyvneniu prietokového režimu toku. Zvýšenie alebo zníženie prietoku súvisí so smerom, orientáciou a veľkosťou vektorov rýchlostí prúdenia, sklonom hladiny a časovým priebehom týchto parametrov. Vplyv prúdenia na trajektóriu pohybu plavidla sa prejavuje najmä v bezprostrednej blízkosti plavebnej komory a jej rejd. Aby nedošlo k takému zhoršeniu parametrov plavebnej dráhy, ktoré by mohlo ohroziť bezpečnosť plavidiel, je potrebné prostredníctvom simulácie na modeloch prúdenia a meraniami v teréne preukázať, ktoré prevádzkové režimy vodných elektrární nie sú z hľadiska plavby bezpečné.

Literatúra

BLACKBURN, J., STEFFLER, P.: River2D, Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics and Fish Habitat, River2D Tutorial – The Basics, University of Alberta, 2002.

KUTIŠ, V.: Základy modelovania a simulácií. Katedra mechaniky, STU v Bratislave FEI, 2006.

Dočasný manipulačný poriadok pre SVD G-N na území SR. Bratislava, 2010, aktualizácia VIII.

MOŽIEŠIK, Ľ.: Interakcia prevádzky vodných diel a plavby, edícia vedeckých prác, zošit č.14, STU v Bratislave SvF, Bratislava, 2003.

PALKOVIČOVÁ, A.: Vplyv havarijného odstavenia Vodnej elektrárne Gabčíkovo na hladinový a prietokový režim Dunaja s ohľadom na plavbu, diplomová práca, STU v Bratislave SvF, 2012.

PALKOVIČOVÁ, A.: Výskum v programe rozvoja vodných ciest na Slovensku, 12. Konferencia mladých vodohospodárov, SHMU Bratislava, 2012.

PALKOVIČOVÁ, A., KVĚTON, R., MOŽIEŠIK, Ľ.: Mathematical Modelling of Extreme Changes in Flow Mode to the Waterwork Gabčíkovo, 13th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Bratislava Slovakia 2013.

MOŽIEŠIK, Ľ.: Vodohospodársky model prevádzky VD Gabčíkovo. Bratislava, STU v Bratislave SvF, 2008.

MOŽIEŠIK, Ľ., ČEPCOVÁ, Z.: Konfliktné situácie pri prevádzke na vodných dielach. Projekt ESF hydroinformatika, Bratislava 2009.

MOŽIEŠIK, Ľ.: Monografia 1. STU v Bratislave SvF, 2008.

MOŽIEŠIK, Ľ.: Limity zmien prietokov cez stupeň Gabčíkovo s ohľadom na bezpečnosť plavby po Dunaji. Medzinárodná odborná konferencia o bezpečnosti vodných stavieb, Bratislava 2010.

PAVLÍKOVÁ, A.: Hydraulické a stabilitné aspekty plevebného stupňa Selice na Váhu, diplomová práca, STU v Bratislave SvF, 2015.

MOŽIEŠIK, Ľ., VALENTA, P., ŠULEK, P., SLABÁ, V.: Modelovanie prúdenia vody a pohybu plavidiel v oblasti vodných stavieb. Zborník Plavebné dni, Piešťany 2002.

Tento článok vznikol na základe finančnej podpory projektov grantovej agentúry VEGA 1/0660/12.

Andrea Palkovičová: Analysis of flow in the Gabčíkovo Water Structure.

Abstract

For a sufficient navigation safety and transport capacity is important optimize of waterways infrastructure by a research. Hydroelectric power plant Gabčíkovo (HPPG) on the Danube is our largest channel powerplant. The HPPG was designed to be the regulation power plant and HPP Nagymaros was designed to be the run-of-the-river plant. For the Nagymaros power plant was not constructed at all the HPPG works as the run-of-the-river plant with water level regulation. Improper management of regulation - fast run-up or shutdown of power plants influence the water flow regime. In ordinary operation of the HPPG we have not to eliminate unforeseeable situations (for example emergency outage of the HPPG). Such an uncontrolled flow shutdown represents a reduction of flow to zero for an extremely short time while creating a shock waves. For the safety of navigation must be addressed subsidy missing water into the waste channel. The most appropriate way is layoffs water through the locks. The flow influence caused by the operation of these objects and the influence of routing of vessels by the forces of the flowing water. Optimal a safety movement of the vessels on the flowing water, as well as the navigation and controllability relates with the size of flow amount change at the operations of hydroelectric power plant, the time course of this operation mode, slope level of water surface and direction of a moving vessel in the channel. The result of the adverse impact of the flow mode on vessels can be the collision with another vessel, the impact on the functional object of the water structure or the impact on the banks of waterway. Complex spatial flow in water projects with the lock operation can be described only by means of hydraulic research. Mathematical modelling of changes in flow

provides appropriate tools for solutions this research. River 2D is a two-dimensional modelling system for modelling the water flow mode with free surface and allows solve exactly the steady and unsteady two-dimensional turbulent flow of water in areas with a complex geometry. The most important output of the mathematical model simulating of spatial flow close the water structures with navigation mode is the flow velocity field. When water is flowing in the study area the complex current circumstances appears, that are being measured with a lot of difficulties on the physical moths - the direction of the velocity vector can be only estimated. By the examination of the effects on the vessels we can set the threshold parameters of the operation mode HPPG - the run-up and the shutdown of power plant.