

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Matematické modelování proudění vody na sdružených objektech malých vodních nádrží
Jméno autora:	Bc. Adéla Jůzová
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta stavební (FSv)
Katedra/ústav:	Katedra hydrotechniky - K142
Oponent práce:	Ing. Petr Sklenář, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydrauliky a hydrologie -K141

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	průměrně náročné
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Autorka práce se měla seznámit s problematikou hydrauliky sdružených objektů u MVN a ověřit možnost modelovat proudění pomocí CFD. Další výstupem měla být vizualizace proudění pomocí rozšířené reality (AR). Přestože využití nástrojů CFD pro aplikaci v praktických hydraulických problémech proudění zatím stále nepatří na FSv k běžným pracovním metodám, zadání práce hodnotím jako průměrně náročné.	

Splnění zadání	splněno s většími výhradami
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Autorka naplnila zadání práce v části, kde se seznámila se způsobem použitím nástroje CFD (Fluent) a jeho aplikací pro proudění o volné hladině použitím techniky VoF. V práci poněkud postrádám úvodní rešerši na téma vhodnosti matematického 3 D modelování proudění vody pro hydraulické objekty VD. Rovněž bych uvítal, když jsou uvedeny klasické formule objektové hydrauliky, jejich porovnání s výstupy z CFD. Závěr se omezuje na sdělení poznatků o provzdušnění proudu, event. volbě velikosti a typu výpočetního prvku a že ze skupiny posuzovaných turbulentních modelů dává nejvhodnější řešení k-ε RNG, což však nelze pro všechny porovnávané varianty proudění jednoznačně tvrdit. Ukázka vizualizace pomocí použití nástrojů rozšířené reality (AR) je poněkud nepřehledná a v ničem výrazně neposouvá představu o charakteru proudění – jde zřejmě jen o ukázkou použití.	

Zvolený postup řešení	částečně vhodný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Autorka by měla volit ve snaze o generalizaci poznatků spíše než konkrétní geometrii fyzikálního modelu poměrové (bezrozměrné) ukazatele, např. relativní hloubky, relativní přepadová výška, poměrná velikost výpočetního prvku vztážená k charakteristické dimenzi sdruženého objektu apod. Po provedené verifikaci modelu se mohla autorka soustředit na simulaci hydrauliky sdruženého objektu pro různé stavy (volný a zatopený výtok ze SV, zahlcená odpadní štola, ne/dokonalý přepad,..) v celém rozsahu hloubek a zpracovat měrné křivky po vzoru citované experimentální práce (V. Táboříková, 2022).	

Odborná úroveň	C - dobře
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Studentka se seznámila se základními postupy použití nástrojů CFD, má orientační představu ve využití turbulentních modelů při CFD modelování. V teoretické části jsou uvedeny základní vztahy pro výtok malým otvorem a přepad přes korunu. Zde i jinde v práci se používají termíny z klasické hydrauliky objektů, jako ne/dokonalý, ne/zahlcený, ne/zatopený, často zde dochází k záměně nebo i splnutí termínů. Zde by autorka měla pečlivěji rozlišit, o který jev, popř. jejich kombinaci se jedná. Citovaná experimentální práce (V. Táboříková, 2022) nabízí pokus jak posuzovat sdružený objekt na MVN nástroji klasické hydrauliky. Chybí porovnání výstupů z matematického modelu právě s těmito výpočetními postupy.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

B - velmi dobře

Posudte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posudte typografickou a jazykovou stránku.

Úprava práce splňuje formální požadavky na odbornou práci obdobné úrovně. Při použití fotografií by se hodilo uvést, zda se jedná o vlastní nebo převzatý snímek (foto 6-9). U citací došlo v několika případech k nesprávnému odkazování zdroje [2] (foto experimentů). Typografická, formální a jazyková úroveň textu je dobrá a sdělení jsou srozumitelná, kromě několika málo překlepů. Výrazně by však práci pomohlo zpřehlednění grafů s výsledky testování nastavení typu turbulentního modelu a velikosti výpočetního prvku. Ve znění čar se čtenář nemá prakticky šanci vyznat. Rovněž bych uvítal v rámci obrazové přílohy přehlednější vyznačení zvolených okrajových podmínek přímo na geometrii oblasti.

Výběr zdrojů, korektnost citací

B - velmi dobře

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posudte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Autorka používá dostatečné množství literatury, na kterou se správně odkazuje v souladu s citační normou. Protože chybí rešerše k aplikaci CFD pro proudění s volnou hladinou na hydrotechnických objektech, není citovaná ani žádná relevantní literatura, resp. doporučená literatura nebyla využita pro zamýšlený rešeršní účel. V obr. 11 je citována literatura [11], což ale pro vysvětlení konceptu metod modelování turbulence nelze považovat za primární zdroj.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

V grafech 3 a 4 je nesmyslně zakreslena hladina na vtoku do odpadní štoly, která vystupuje nad strop štoly -zřejmě se jedná o chybu při zpracování v Matlabu. V diplomové práci postrádám kritické zhodnocení dosažených výsledků a poznatků a z textu kromě obecných proklamací, že neexistuje vhodný analytický postup pro stanovení maximální kapacity, není příliš zjevné, co přesně je nebo má být výsledkem ověření možnosti modelovat hydrauliku sdružených objektů pomocí výpočetní dynamiky tekutin. Závěr se omezuje pouze na sdělení poznatků o provzdušnění proudu, event. volbě velikosti a typu výpočetního prvku. Nicméně není zde zobecnění vzhledem ke skutečné velikosti objektu, tj. typicky cca 10 x větší, než byl fyzikální model použitý pro verifikaci. Při snaze o generalizaci poznatků se častěji využívá bezrozměrné geometrie (vzájemné poměrové veličiny) než přímo veličin z prototypu.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Doplňující otázky:

- 1) Jaké další výhody CFD modelování lze uvést při srovnání s fyzikálním hydraulickým modelováním kromě Vámi zmíněných menších prostorových nároků a ekonomického ukazatele?
- 2) Čím nejvíce podle Vás může zkušený uživatel nástrojů CFD zajistit přijatelnou správnost výsledků v porovnání s fyzikálním modelováním?
- 3) Bylo by možné dle Vašich zkušeností zavést podmínku symetrie pro úsporu výpočetních nároků bez významnějšího dopadu na výsledek? Lze podmínku symetrie zavést u všech metod matematického modelování turbulence (viz obr. 10)?

- 4) U fyzikálních experimentů sdruženého objektu se jednalo víceméně o přepad přes ostrou (úzkou) přelivnou hranu (stěna cca tl.=10 mm) - chybí informace o zohlednění tohoto údaje při přípravě výpočetní geometrie modelu. Přelivná hrana na reálném objektu je zaoblená (viz obr.7). Jak a v čem to podle Vás poznamená hydrauliku proudění v celém objektu?
- 5) Výslednou polohu hladiny definujete pro různé podmínky proudění jako rozhraní s různým procentuálním objemovým podílem fází ve výpočetních prvcích. Je hraniční hodnota podílu fází pro správnou identifikaci fázového rozhraní nějak závislá na turbulentních charakteristikách (turbulentní kinetická energie k , míra turbulentní disipace ϵ)?
- 6) Pomohla by k přesnějšímu stanovení fázového rozhraní cílenější strukturace výpočetní sítě? Nebylo by vhodné po prvotním výpočtu, např. i laminárním modelem, provést zahuštění výpočetní sítě v oblasti očekávaného fázového rozhraní a naopak mimo rozhraní síť zředit? Nezvažovala jste použít např. techniku adaptivní sítě a pro které typy proudění má tato technika zejména uplatnění?
- 7) Jako výstupní okrajová podmínka z výpočetní oblasti byla převzata hladina z fyzikálního modelu? Pokud nikoliv, lze považovat délku odpadní štoly za dostatečně dlouhou z důvodu neovlivnění proudění ve spadišti standardně nastavenou okrajovou podmínkou typu tlak na výtoku do volna?
- 8) Maximální kapacita sdruženého objektu – co tím rozumíte a čím je definováno její dosažení?
- 9) Pokuste se na průběhu konzumpční křivky sdruženého objektu vyznačit hydraulické stavy, kterých bude dosaženo.
- 10) Máte vysvětlení pro CFD simulací stanovený tvar hladiny v grafu 9.

Po uspokojivém zodpovězení otázek hodnotím předloženou závěrečnou práci klasifikačním stupněm **C - dobře**.

Datum: 2.2.2023

Podpis: Ing. Petr Sklenář, Ph.D.