

Využitie počítačového modelovania na posúdenie odľahčovacej komory

Ing. Marek Šutúš, Ing. Jaroslav Hrudka, Ph.D

Abstract

This work deals with the creation of a hydrodynamic model of the combined sewerage overflow chamber in Banská Bystrica in the program Ansys Workbench 19.2 - Fluid Flow (Fluent). The basis of the work was the creation of a 3D graphic model that serves as a base flow in the relief chamber. The goal of my work is to compare the inflow velocity of the inflow and the flow rakes for hydrodynamic modeling. The core of the work are simulations that point to a real fluid.

Keywords: 3D model, combined sewerage overflow chamber, hydrodynamic model

1 Úvod

CFD (Computational Fluid Dynamics) je skratka pre modernú výpočtovú metódu. Táto metóda nám pomocou softvéru ponúka rôzne spôsoby modelovania a výpočtov, ktoré si násldene vie užívateľ vybrať podľa problematiky, ktorú rieši v danom projekte. Preto táto výpočtová technika nenašla uplatnenie len vo vodohospodárskom, ale aj v strojárskom, automobilovom a leteckom priemysle. V programe Ansys Fluent vieme modelovať 2D aj 3D prúdenie tekutín, t.j. kvapalín aj plynov. Tento program má z hľadiska hydraulického, vodohospodárskeho a výskumného obrovské využitie.

Oproti fyzikálnym modelom má obrovskú výhodu z hľadiska finančného aj časového. Na vytvorenie fyzikálneho modelu je potreba tím pracovníkov, ktorý musia vytvoriť model v presnej mierke. Stavba takého modelu môže trvať aj niekoľko týždňov. Oproti tomu, pomocou CFD modelovania vie jeden človek vytvoriť model vzhľadom na náročnosť v rámci hodín až dní. Zároveň vieme CFD model jednoducho upravovať a tým doceliť optimálny stav. Nevýhodou CFD modelovania je nutnosť podrobného poznania problematiky.

Ako objekt na stokovej sieti som si vybral odľahčovaciu komoru, pretože jej správna funkčnosť priamo ovplyvňuje kvalitu životného prostredia v recipiente. Na predlohu svojho modelu som použil OK, ktorá sa nachádza v Banskej Bystrici, v mestskej časti Rudlová. Výkresovú dokumentáciu poskytla Stredoslovenská vodárenská spoločnosť a. s.

2 Odl'ahčovacia komora

Na stokovej sieti na nachádzajú dažďové oddeľovacie objekty, ktoré počas dažda odvádzajú časť dažďových vôd do recipientu. Pokiaľ sa takýto objek nachádza na jednotnej stokovej sústave nazývame ho odl'ahčovacia komora (OK). „OK umožňujú navrhovať úseky stôk odvádzajúcich odpadové vody ďalej do ČOV s menšími prierezmi, znižujú nerovnomerné zaťažovanie čistiarenských objektov dažďovými vodami.“ [1] Minimálna účinnosť čistenia zmiešaných odpadových vôd v ČOV sa nemá znížiť. Nemajú sa zhoršiť ani podmienky v recipiente pre zachovanie biologického života pri krátkodobom a dlhodobom zaťažení.

„Oddeľovacie objekty spájajú stokovú sieť s recipientom. Tieto objekty sa musia preto navrhovať s ohľadom na nezávadnú funkciu sietokovej siete aj počas prietoku veľkých vôd v recipiente v dôsledku možného vzdutia.“ [1]

Činnosťou a prevádzkou odl'ahčovacích komôr sú ovplyvňované:

- kvalita vody v recipientoch, najmä málo vodnatých tokov a recipientov so stojacimi vodami, resp. pomaly tečúcimi vodami,
- hodnoty ukazovateľov znečistenia na vstupe do ČOV v súvislosti so zväčšeným prítokom dažďových vôd a čistením zmiešaných odpadových vôd,
- investičné náklady na výstavbu zberačov jednotnej stokovej sústavy a objektov ČOV.

2.1 Princíp odl'ahčovacej komory

Úlohou OK je rozdelenie pritekajúcich zmiešaných odpadových vôd Q_v na prípustný prítok zmiešaných odpadových vôd Q_ε do ČOV a na odl'ahčovaný prítok Q_p do recipientu. Najbežnejšie sú navrhované OK s čelnou alebo bočnou priepadovou hranou. Pokiaľ hladina prítoku zmiešaných plôch v OK nadosahuje úroveň prepadovej hrany, celý prítok zmiešaných vôd smeruje na ČOV. Ak hladina prítoku prekročí úroveň prepadovej hrany, prítok sa rozdelí – časť odteká na ČOV a časť odteká odl'ahčovacím výustom do recipientu. Čím vyššia je hladina v prítokovej stoke, tým sa zväčšuje odtok zmiešaných vôd do recipientu ale zvyšuje sa aj odtok do ČOV ako následok narastania prepadovej výšky.

3 Ansys Fluent - CFD

Rýchla a presná simulácia prúdenia tekutín a šírenia tepla pomáha predvídať a pochopiť správanie výrobku, optimalizovať konštrukčný návrh a overiť jeho správanie pred uvedením do výroby. Flexibilné porovnanie alternatívnych návrhov šetrí náklady potrebné na fyzické testovanie a urýchľuje inováciu produktu. Umožňuje efektívne simulovať stlačiteľné aj nestlačiteľné prúdenie, jedno a viac fázové prúdenie, spaľovanie, tok častíc, tvorbu námrazy na lietadle, lopatkové stroje a mnohé ďalšie analýzy.

ANSYS CFD obsahuje riešič ANSYS Fluent, ktorý poskytuje reálne simulácie 2D aj 3D prúdenia kvapalín a plynov. Materiály sú dostupné v rozsiahlej materiálnej knižnici alebo je možné vytvoriť vlastný materiál a zadať jeho špecifické vlastnosti. Generátor siete ponúka automatickú tvorbu siete na základe zvolenej simulácie s možnosťou detailne nastaviť parametre sieťovania a zjemnenia. Umožňuje riešiť sofistikované fyzikálne javy

s maximálnou presnosťou. Výsledky zobrazujú priebeh prúdenia, tlakov a teplôt s možnosťou ich animácie, zobrazenia maximálnej a minimálnej hodnoty, zobrazenia v špecifickom reze, zobrazenia prúdnic.

ANSYS CFD je integrovaný do prostredia ANSYS Workbench - platforma určená pre efektívny a flexibilný pracovný postupy. Disponuje CAD asociativitou a výkonnými funkciami pre modelovanie geometrie a tvorby siete. Integrovaný správca parametrov umožňuje jednoducho vykonať parametrickú analýzu. ANSYS Workbench workflow umožňuje jednoducho prepojiť analýzy a riešiť združené úlohy.

ANSYS CFD simulácie a analýzy

- Simulácia prúdenia kvapalín – stlačiteľne, nestlačiteľné Newtonovské a ne-Newtonovské tekutiny,
- Simulácia vonkajšieho prúdenia (aerodynamika, obtekanie budov) a vnútorného prúdenia (prúdenie v potrubí) kvapalín a plynov,
- Simulácia ustáleného a tranzientného prúdenia,
- Simulácia fázových zmien a viacfázového prúdenia,
- Simulácia flutter analýzy lopatkových strojov,
- Modelovanie turbulencie,
- Simulácia sedimentácie častíc,
- FSI analýza - interakciu prúdenia a konštrukcií.

4 Vytvorenie 3D modelu

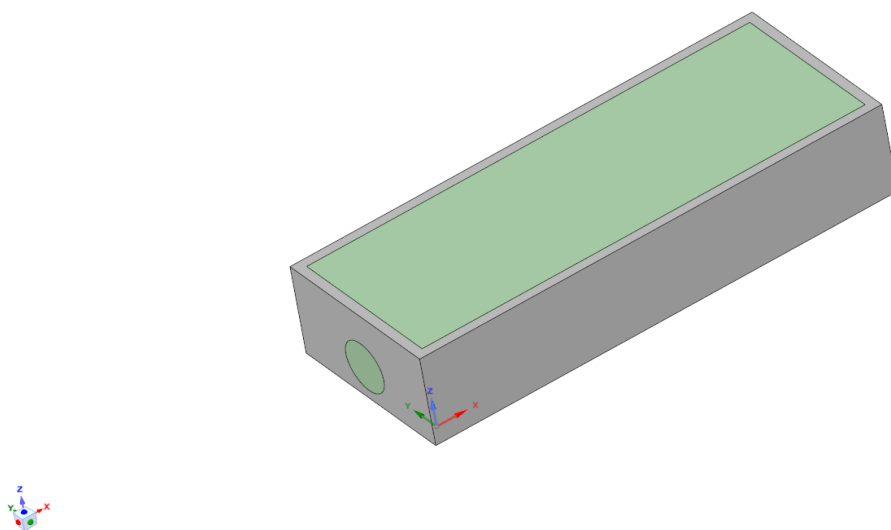
ANSYS Workbench obsahuje balík programov, ktorého súčasťou je aj CAD softvér SpaceClaim. V tomto programe som podľa výkresovej dokumentácie namodeloval existujúcu OK.

Pomocou príkazov som namodeloval OK s rozmermi (š x v x d) 5450 mm, 2660 mm a 14150 mm. Prítoková stoka má priemer DN 1600, odl'ahčovacia stoka má priemer DN 1600 a obtok na ČOV má priemer DN 600.

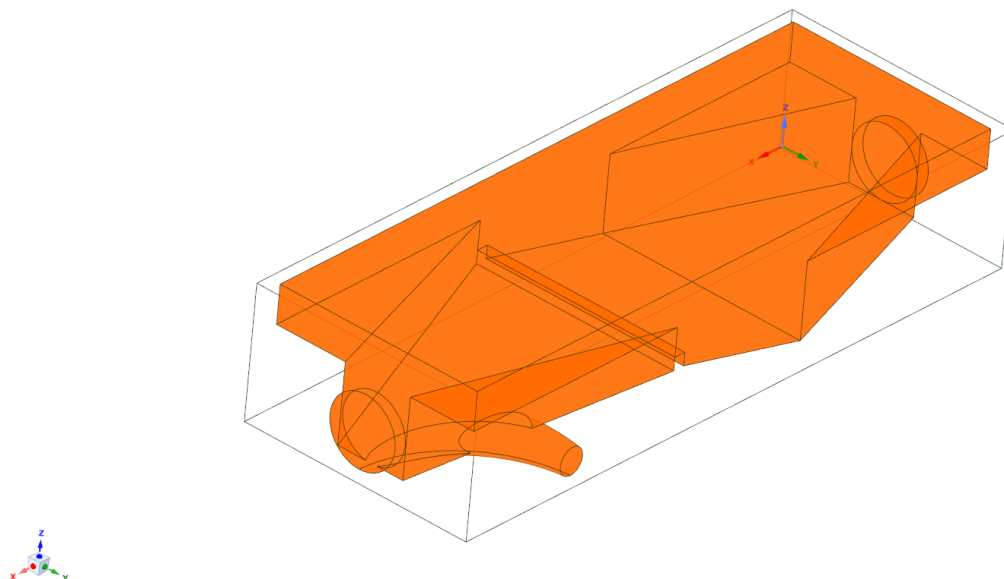


Obr.1 Model odľahčovacej komory

Ďalším krokom bolo vytvorenie modelu objemu vody, v ktorom sa bude modelovať prúdenie kvapaliny. Tento objem som vytvoril prekrytím modelu OK a objektom kvádra a ich násleným rozdielom.



Obr. 2 Prekrytie OK ďalším objektom

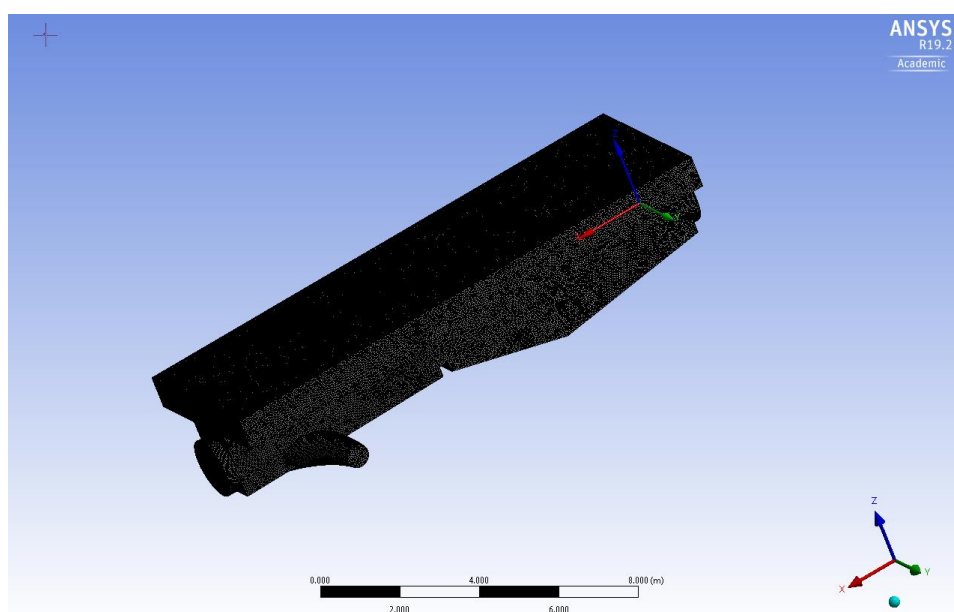


Obr. 3 Objem simulovaného média v OK

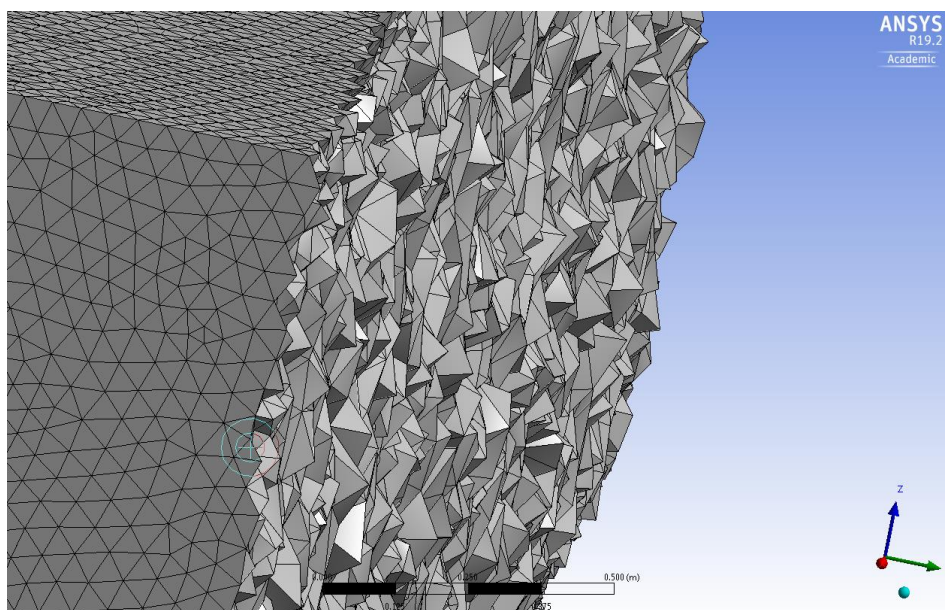
4.1 Mesh modelu

Po zadefinovaní geometrie je vytvorenie meshu ďalším krokom. Mesh je polygómová výpočtová sieť, ktorá sa aplikuje na model. Táto sieť je tvorená zokupením vrchlov, okrajov a plôch a definuje vlastnosti 3D modelu. Tieto elementy majú tvar ihlanov.

Po zadefinovaní parametrov siete ako napr. minimálna a maximálna veľkosť elementu, zahusenie siete alebo krivosť polygónov, program generuje sieť.



Obr. 4 Vygenerovaná výpočtová sieť



Obr. 5 Ihlanové elementy vygenerovanej siete

4.2 Okrajové podmienky simulácie

Pri simulácii som použil metódu SIMPLE a model $k - \epsilon$. Simulácia odpovedá odhadovanému prúdeniu v OK. Pre detailné meranie je potrebné získanie kalibračných parametrov vstupujúcich do výpočtov. Tieto parametre by bolo možné získať terénnym meraním pri odľahčovaní vôd. Pri simulácii som uvažoval s modelovým stavom extrémnej prevádzky s prítokovou rýchlosťou $v = 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a pri bežnej prevádzky s prítokovou rýchlosťou $v = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Okrajové podmienky sú zadefinované nasledovne:

Tab. 1 Okrajové podmienky

Boundary condition	Okrajová podmienka	Definícia
Velocity Inlet	Vtok	$0,5 / 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Wall	Stena	0,013 mm
Wall0	Hladina	0 mm
Outflow	Odtok	-
Solid	Objem	H ₂ O

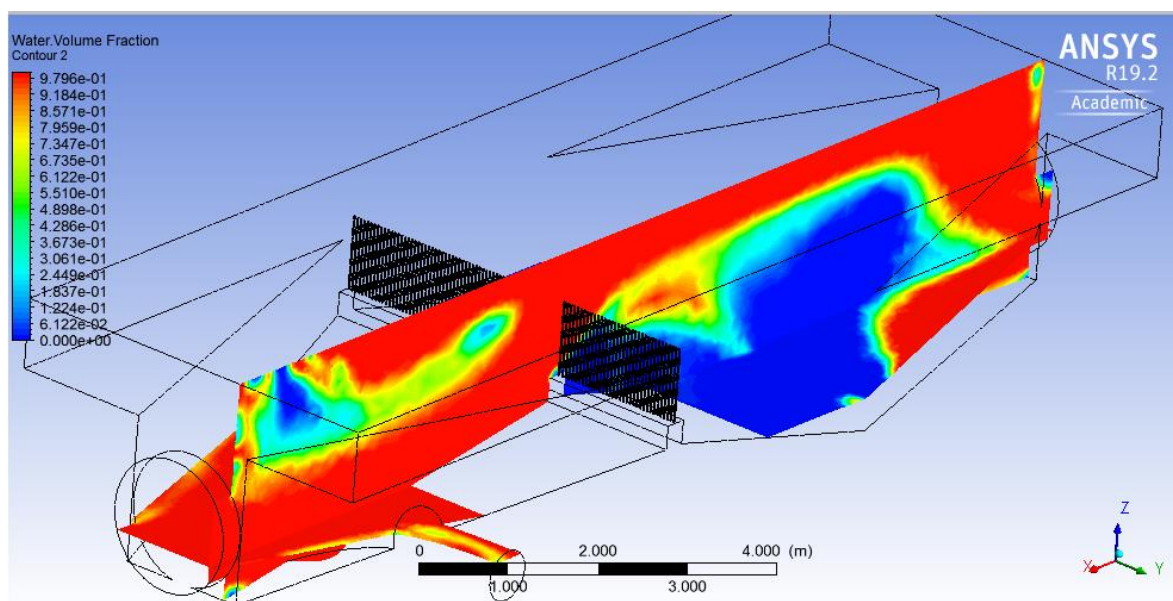
5 Simulácie

Kvôli zjednodušeniu tvorby meshu a výpočtov som namodeloval hrablice so štvorcovým prierezom. Hrablice majú hranu s dĺžkou 14 mm a výšku 900 mm.

5.1 Simulácia č. 1

Tab. 2 Okrajové podmienky – simulácia č. 1

Boundary condition	Okrajová podmienka	Definícia
Velocity Inlet	Vtok	2 m.s^{-1}
Wall	Stena	0,013 mm
Wall0	Hladina	0 mm
Outflow	Odtok	-
Solid	Objem	H ₂ O



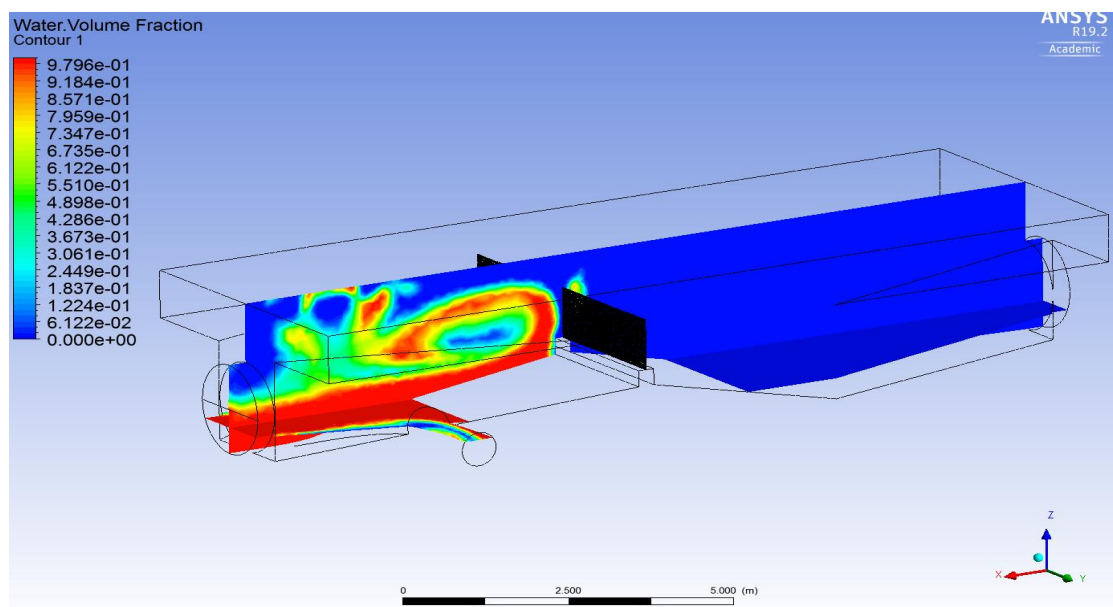
Obr. 6 Simulácia č. 1 v čase $t = 50 \text{ sek}$

V čase $t = 50 \text{ sek}$. voda prúdi v stropnej časti OK a následne odtoká. Takéto prúdenie je v OK neprípustné.

5.2 Simulácia č. 2

Tab. 3 Okrajové podmienky – simulácia č. 2

Boundary condition	Okrajová podmienka	Definícia
Velocity Inlet	Vtok	0,5 m.s ⁻¹
Wall	Stena	0,013 mm
Wall0	Hladina	0 mm
Outflow	Odtok	-
Solid	Objem	H ₂ O

Obr. 7 Simulácia č. 2 v čase $t = 50$ sek

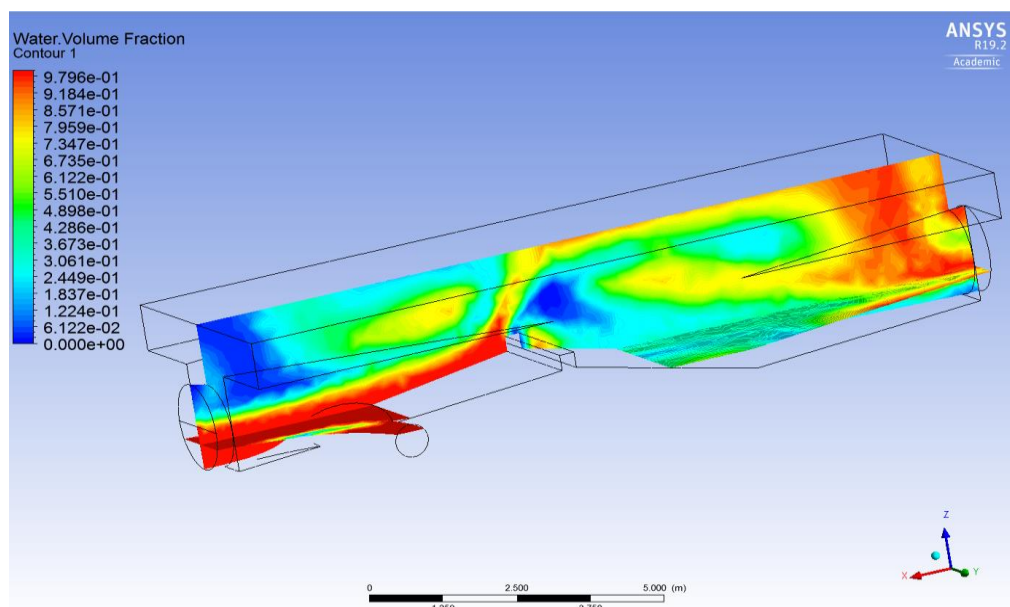
V čase $t = 50$ sek. voda plynule plní OK a začína prepadať.

5.3 Simulácia č. 3

Tab. 4 Okrajové podmienky – simulácia č. 3

Boundary condition	Okrajová podmienka	Definícia
Velocity Inlet	Vtok	2 m.s^{-1}
Wall	Stena	0,013 mm
Wall0	Hladina	0 mm
Outflow	Odtok	-
Solid	Objem	H ₂ O

V tejto simulácii neuvažujeme s hrablicami.



Obr. 8 Simulácia č. 3 v čase $t = 50 \text{ sek}$

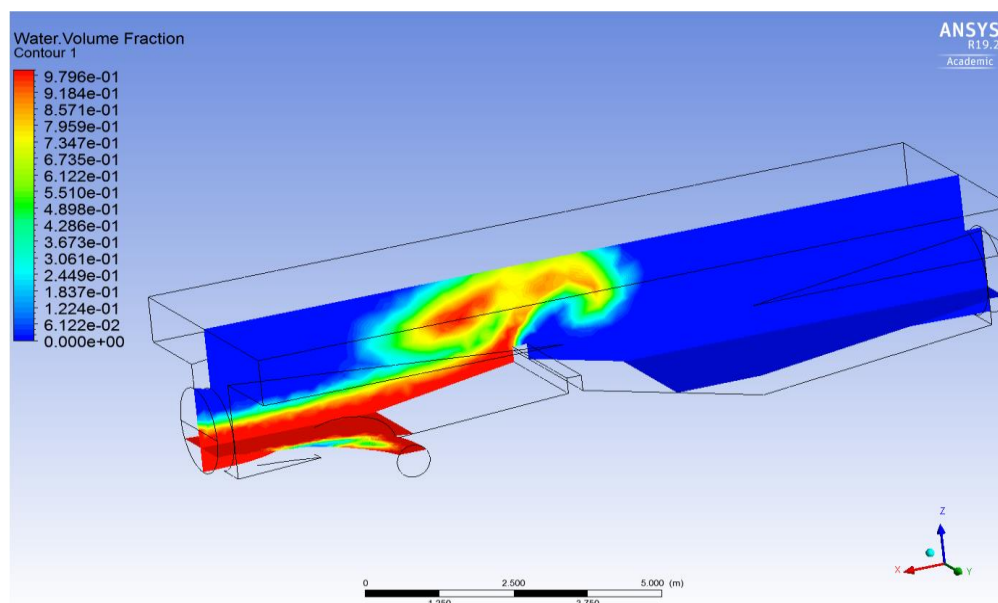
OK plní, malá časť vody bola vymrštená cez priepadovú hranu. V čase $t = 50 \text{ sek}$. sa voda začína odľahčovať.

5.4 Simulácia č. 4

Tab. 5 Okrajové podmienky – simulácia č. 4

Boundary condition	Okrajová podmienka	Definícia
Velocity Inlet	Vtok	2 m.s^{-1}
Wall	Stena	0,013 mm
Wall0	Hladina	0 mm
Outflow	Odtok	-
Solid	Objem	H ₂ O

V tejto simulácii neuvažujeme s hrablicami.



Obr. 9 Simulácia č. 4 v čase $t = 50 \text{ sek}$

Voda pomaly plní OK a plynule prúdi na ČOV. Voda sa začína odľahčovať. V čase $t = 50 \text{ sek}$. voda začína prepadať cez priepadovú hranu.

6 Porovnanie rýchlostí

V simuláciách boli porovnávané rýchlosti prúdenia. Merania sa robili na výtoku na ČOV, hrabliciah (prepadovej hrane) a výtoku. V každej simulácii sa meralo v bodoch s rovnakými súradnicami.

Tab. 6 Porovnanie rýchlostí

	Simulácia č. 1			Simulácia č. 2			Simulácia č. 3			Simulácia č. 4		
	Rýchlosť [m.s ⁻¹]											
	2 m.s ⁻¹			0.5 m.s ⁻¹			2 m.s ⁻¹			0.5 m.s ⁻¹		
t [s]	ČOV	Hrablice	Výtok	ČOV	Hrablice	Výtok	ČOV	Hrablice	Výtok	ČOV	Hrablice	Výtok
5	0.95	-	-	0.31	-	-	0.04	-	-	-	-	-
15	1.00	1.56	-	0.04	-	-	0.45	0.86	-	0.05	-	-
35	1.03	1.55	2.33	0.20	0.02	-	0.47	0.87	0.85	0.08	0.04	-
50	1.03	1.55	2.30	0.20	0.08	-	0.47	0.85	0.83	0.09	0.05	-

7 Záver

V tejto práci som sa zaoberal matematickým modelom a 3D modelovaním reálnej odľahčovacej komory v Banskej Bystrici. Jadrom práce sú hydrodynamické simulácie prúdenia v programe Ansys Fluent. Najskôr som sa venoval vytvoreniu 3D modelu na základe výkresovej dokumentácie v softvéri Space Claim, potom vytvoreniu polygónovej výpočtovej siete a zadania okrajových podmienok matematického modelovania aby mohol prebehnúť výpočet.

Vybral som si dva zaťažujúce stavy ktoré odpovedajú extrémnemu zaťaženiu s prítokovou rýchlosťou $v = 2 \text{ m.s}^{-1}$ a bežnej prevádzke s prítokovou rýchlosťou $v = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$. V nasledujúcej časti je popísaná každá simulácia samostatne v čase $t = 50 \text{ sek}$, spolu s okrajovými podmienkami. V simuláciách som porovnával vplyv vtokovej rýchlosti a použitia hrablic.

Z výsledkov je zrejmé, že model nie je presný nakoľko sa nezhodujú rýchlosti na ČOV. Tie by sa mali zhodovať, nakoľko niesú ovplyvnené hrablicami a turbulenciami. Pre kalibráciu modelu je potrebné získať vstupné hodnoty terénnym meraním, pri ktorých sa osadia meracie zariadenia do OK.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-18-0203“ pod názvom SMART nakladanie s extrémnymi dažďovými vodami v urbanizovanom území a na základe podpory Vedeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ SR a SAV s označením 1/0574/19.

8 Literatúra

- [1] Urcikán P., Rusnák D.: Stokovanie a čistenie odpadových vôd, Stokovanie II, Vydavateľstvo STU Bratislava, 2008
- [2] Molnár, Vojtech: Počítačová mechanika tekutín: Interdisciplinárny prístup s aplikáciami CFD, Nakladateľstvo STU Bratislava, 2011
- [3] ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide. Canonsburg : ANSYS Inc. . (2009)
- [4] WILCOX D.C. Turbulence modeling for CFD, DCW Industries, Inc., La Canada, California, 1998.
- [5] KOZÚBKOVÁ, M.. Modelování proudění tekutin FLUENT, CFX. Ostrava : VSB – technická univerzita Ostrava. (2008)
- [6] HLAVÍNEK P., MIČÍN J., PRAX P., HLUŠTÍK P., MIFEK R., Stokování a čistení odpadních vod, modul 2, Čistení odpadních vod. Brno University of Technology, Brno, 2006
- [7] BOJKO M. 3D Proudění - ANSYS Fluent. Ostrava: VSB Ostrava (2010)
- [8] MOLNÁR, V. Počítačová dynamika tekutín: interdisciplinárny prístup s aplikáciami CFD. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, ISBN 9788081060489 (2011)