

STU

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA
V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA**

Ing. Marek Šutůš

Autoreferát dizertačnej práce

Matematické modelovanie prúdenia v odľahčovacích komorách

na získanie akademického titulu:

„philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“)

v doktorandskom študijnom programe:

vodohospodárske inžinierstvo

v študijnom odbore:

stavebníctvo

Forma štúdia:

denná

Miesto a dátum:

Bratislava, 30.05.2024.....

Dizertačná práca bola vypracovaná na:

Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva, Stavebná fakulta STU v Bratislave

Predkladateľ: Ing. Marek Šutúš

Katedra zdravotného environmentálneho inžinierstva
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Školiteľ: prof. Ing. Štefan Stanko, PhD.

Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný:.....

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa.....o.....h na
Katedre zdravotného a environmentálneho inžinierstva Stavebnej fakulty STU v Bratislave,
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

.....
Prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
Dekan stavebnej fakulty

Obsah

1.	Úvod.....	4
2.	Ciele dizertačnej práce	4
3.	Metodika práce.....	5
4.	Stoková sieť mesta Trnava.....	5
4.1	Odľahčovacie komory	5
4.2	Zaťažovací stav	6
5.	Simulácie.....	7
5.1	OK1D	7
5.1.1	Pôvodný stav	8
5.1.2	Alternatíva 1 - Modifikácia priepadovej hrany + norná stena	8
5.1.3	Alternatíva 2 - Modifikácia priepadovej hrany + hrablice	9
5.2	OK1AN	12
5.2.1	Pôvodný stav	12
5.2.2	Alternatíva 1 - Norná stena	13
5.2.3	Alternatíva 2 - Hrablice	14
6.	Celkové zhodnotenie simulácií	17
6.1	Simulácie v OK1D	17
6.2	Simulácie v OK1AN	19
7.	Záver	20
	Literatúra.....	22
	Publikácie autora.....	23

1. Úvod

Aktuálne je celosvetovým trendom rozvoj urbanizovaných oblastí, čo so sebou prináša množstvo negatívnych environmentálnych problémov. Urbanizácia má svoje špecifické výzvy spojené s transformáciou mestských priestorov, vrátane nárastu spevnených plôch, rozvoja dopravnej a technickej infraštruktúry, používania stavebných materiálov ktoré akumulujú viac tepla, manažmentu dažďovej vody a ďalších faktorov (ekonomických, sociálnych, zdravotných), ktoré ovplyvňujú kvalitu života obyvateľov [1], [2], [3], [4].

Povrchový odtok dažďovej vody je kľúčovým procesom v hydrologickom cykle, ktorý má významný vplyv na ekosystémy, mestské oblasti a poľnohospodárske krajiny. Tento proces zahŕňa pohyb vody po povrchu zeme, keď sa dažď nemôže vsiaknuť do pôdy alebo odpariť. Povrchový odtok dažďovej vody je ovplyvnený množstvom faktorov, ktoré možno rozdeliť na prirodzené a antropogénne. Medzi prirodzené faktory patria intenzita a trvanie zrážok, typ a vlastnosti pôdy, vegetačný kryt a topografia terénu. Intenzívne zrážky na nepriepustných povrchoch vedú k rýchlemu odtoku, zatiaľ čo na priepustných povrchoch s dostatočnou vegetáciou môže byť odtok výrazne znížený [5], [6].

Zvýšenie objemu povrchového odtoku v krátkom časovom intervale predstavuje riziko vzniku lokálnych povodní v mestskom prostredí. Tento jav je často sprevádzaný zvýšenou hladinou vôd v riekach, kanáloch a uliciach, čo môže viesť k poškodeniu infraštruktúry a ohrozeniu obyvateľov. Kvalita zrážkových vôd odvádzaných z urbanizovaných oblastí je priamo ovplyvnená antropogénnou činnosťou a znečisteným povrchovým odtokom. Počas dažďových udalostí sa tieto znečisťujúce látky dostávajú na povrchy a sú odplavované do kanalizačnej siete a prírodných tokov cez povrchový odtok. Povrchový odtok je identifikovaný ako hlavný prenášajúci prostriedok znečisťujúcich látok v rámci dažďových udalostí. Zahrňuje odpadové látky, ako sú oleje, chemikálie, sedimenty, hnojivá a ďalšie kontaminanty ako aj emisie z dopravy a priemyselných zdrojov, ktoré sa zhromažďujú na povrchoch mestského prostredia a následne sú odplavované do kanalizačných systémov a vodných tokov. Toto znečistenie môže mať negatívny vplyv na vodné ekosystémy a kvalitu vody v recipientoch [7], [8].

2. Ciele dizertačnej práce

Cieľom dizertačnej práce bola analýza hydraulických procesov v odľahčovacích komorách v meste Trnava. Na dlhotrvajúci problém so zápachom a odpadom z kanalizácie v recipiente Trnávka počas dažďov poukazujú aj občania. V spolupráci s Trnavskou vodárenskou spoločnosťou, a. s., ktorá poskytla technické správy a prístup do OK, a Asociáciou vodárenských spoločností bola vyvinutá snaha na riešenie problému. Na základe výsledkov simulácií matematického modelu stokovej siete boli zvolené problémové odľahčovacie komory „OK1D“ a „OK1AN“. Nakoľko nebolo možné vykonať terénne merania prietokov počas dažďov, boli použité výsledky simulácií z dizertačnej práce Ing. Wittmanovej, PhD., *Matematické modelovanie odtokového procesu v urbanizovanom území v kontexte klimatickej zmeny*, zo simulácii povrchového odtoku v softvéri MIKE URBAN.

Prvým krokom bolo vytvorenie 3D modelov odľahčovacích komôr a následná simulácia prúdenia, ktoré nastáva počas dažďov. Na vytvorenie simulácii bol použitý softvér ANSYS Fluent. V simuláciách bol porovnávaný pôvodný stav a stavebná úprava s využitím zariadení na zachytávanie plávajúcich nečistôt – nornej steny a hrablic.

Ku hlavným cieľom práce patrí:

- Analýza súčasného stavu stokovej siete a odľahčovacích komôr.
- Vytýpanie problémových miest.
- Vytvorenie 3D modelov odľahčovacích komôr.
- Simulácie rôznych alternatív odľahčovacích komôr. Zaťažovací stav bude zvolený z výsledkov matematického modelu stokovej siete.
- Vyhodnotenie výsledkov simulácií.

3. Metodika práce

Metodika spočívala v analýze dát prietokov, vytýpanie a vytvorenie 3D modelov odľahčovacích komôr a následná tvorba simulácií prúdenia v daných komorách. Meranie prietokov v odľahčovacích komorách počas dažďových udalostí nebolo možné kvôli vysokému riziku ohrozenia zdravia. Prevádzková spoločnosť nedisponuje dátami o prietokoch a nemá ani osadené prístroje na ich meranie. Ako zdroj dát prietokov bola použitá dizertačná práca Ing. Wittmanovej z roku 2021, Matematické modelovanie odtokového procesu v urbanizovanom území v kontexte klimatickej zmeny, v ktorej sa venovala vytvoreniu simulácií zrážkovo-odtokového procesu a prúdeniu dažďového prietoku v stokovej sieti v programe MIKE URBAN.

4. Stoková sieť mesta Trnava

V roku 2015 mala mestská kanalizačná sieť v Trnave celkovú dĺžku 111,236 km a celkovo je do nej napojených 36 okolitých obcí. Kanalizačná sieť v centre mesta a v starších budovách je však už zastaraná a poddimenzovaná, čo spôsobuje prevádzkové problémy. Pre zabezpečenie odtoku dažďovej vody je na kanalizačnej sieti umiestnených 22 odľahčovacích komôr. Dažďová voda z priemyselnej zóny PSA a Technopol je potom odvádzaná cez dažďovú kanalizáciu do recipientu Trnávka [9], [10]. Odľahčovacie komory v kanalizačnom systéme mesta Trnava predtým nespĺňali požiadavky uvedené v [11] § 6, pretože im chýbali konštrukcie na zachytávanie plávajúcich látok.

4.1 Odľahčovacie komory

Na základe meraní prietokov z [48] bol vypočítaný počet odľahčení a zmiešavací pomer. Vo väčšine prípadov boli prekážkou pre správne meranie znečistené odľahčovacie komory a sedimenty na dne. V problematických prípadoch sa musel prietok odhadnúť pričom merania vždy prebiehali v čase rannej špičky, resp. v dopoludňajších hodinách. V [11] § 6, ods. 5 je uvedené že ak má stoková sieť viac ako 10 odľahčovacích komôr, je potrebné odborné posúdenie zrážkových a odtokových pomerov a počet prípadov odľahčenia nemôže prekročiť 15 prípadov za rok. **V Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** sú hodnoty zmiešavacieho pomeru a počtu odľahčení.

Tabuľka 4.1 Charakteristika meraní na základe dát z [48]

OK	Hĺbka [mm]	Rýchlosť [m.s ⁻¹]	Zmiešavací pomer [-]	Počet odľahčení [-]	Stav
OK1 OK1B	30.00	0.4	4.10	4.1	Vyhovuje
OK2 OK2B	200	0.3	2.7	35.6	Nevyhovuje

OK3	OK3B	50	1.35	14.3	2.1	Vyhovuje
OK4	OK4B	200	0.2	10.3	10.3	Vyhovuje
OK5	OK5B	150	0.2	16.9	3.6	Vyhovuje
OK6	OK6B	400	0.05	14.8	8.5	Vyhovuje
OK7	OK7B	150	0.5	6.9	18.3	Nevyhovuje
OK8	OK8B	100	0.1	20	2.4	Vyhovuje
OK9	OK9B	30	0.4	8.3	12.8	Vyhovuje
OK10	OK10B	50	0.7	10.1	14.1	Vyhovuje
OK11	OK1G	200	1	1.2	51	Nevyhovuje
OK12	OK1D	500	0.3	2.8	63.6	Nevyhovuje
OK13	OK1II	50	0.5	11.8	39.3	Nevyhovuje
OK14	OK1I	300	0.4	4.1	39.9	Nevyhovuje
OK15	OK3A	300	0.3			Zrušená
OK16	OK2AN1	100	0.5	33.2	1.3	Vyhovuje
OK17	OK1AN	400	0.35	4.2	20.5	Nevyhovuje
OK18	OK1A2	550	0.2	6.6	5.4	Vyhovuje
OK19	OK1AM	100	0.2	31.4	14.3	Vyhovuje
OK20	OK2AI	20	0.1	11.5	35	Nevyhovuje
OK21	OK1K	50	0.2	18.6	20.8	Nevyhovuje
OK22	OK ČOV	-	-	6.1	0.8	Vyhovuje

4.2 Zaťažovací stav

Na zdroj dát o prietokoch v stokovej sieti bola použitá [12]. Wittmanová v práci posudzuje stokovú sieť na 5 zaťažovacích stavov, v ktorých sa simulovali priebehy bezdažďového prietoku, prietoky bezdažďové spoločne s blokovými dažďami rôznych periodicít a dve reálne dažďové udalosti. Ako zaťažovací stav bol vybratý stav SC4, ktorý simuluje dažďovú udalosť zo dňa 20.06.2020. Bola vybratá, pretože z hľadiska celkového množstva spadnutých zrážok za deň to bola najvýraznejšia zrážková udalosť roku 2020. Celkové trvanie bolo 9 hodín a 47 minút, celkový úhrn zrážok bol 44,35 mm a maximálny hodinový úhrn zrážok bol 6,6 mm.

Tabuľka 4.2 Prehľad zaťažovacích stavov [12]

Z.S.	Charakteristika	Špecifická spotreba vody ($l \cdot os^{-1} \cdot d^{-1}$)	Trvanie simulácie/ Trvanie dažďa (min)	Priemerná výdatnosť ($l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$)	Max. výdatnosť ($l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$)
SC1	Bezdažďový prietok	130-90	1440/0	-	-
SC2	Dažďový a bezdažďový prietok (P=0,5)	130-90	168/30	154,05	169,07
SC3	Dažďový a bezdažďový prietok (P=0,1)	130-90	228/30	226,03	241,15
SC4	Dažďový a bezdažďový prietok (20.06.2020)	130-90	2822/587	5,14	18,35
SC5	Dažďový a bezdažďový prietok (13.10.2020)	130-90	2822/795	3,06	7,53

Ako zaťažovací stav bol vybratý stav SC4, ktorý simuluje dažďovú udalosť zo dňa 20.06.2020. Bola vybratá, pretože z hľadiska celkového množstva spadnutých zrážok za deň to bola

najvýraznejšia zrážková udalosť roku 2020. Celkové trvanie bolo 9 hodín a 47 minút, celkový úhrn zrážok bol 44,35 mm a maximálny hodinový úhrn zrážok bol 6,6 mm.



Obrázok 4.1 Zrážková udalosť zo dňa 20.06.2020

Na základe výsledkov simulácie a posúdenia podľa **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**, boli zvolené odľahčovacie komory OK1D a OK1AN, ktoré vykazovali známky preťaženia

5. Simulácie

Simulácie boli realizované pomocou matematických modelov v softvéri ANSYS Fluent a sú podobnejšie zobrazené v prílohách č. 1-6. Tieto matematické modely vychádzajú z geometrie, ktorá bola vytvorená v programe Fusion 360, ktorý patrí do skupiny Autodesk.. Fusion 360 je softvér určený na vytváranie geometrie, ktorá je nevyhnutná pre definovanie okrajových podmienok. Okrajové podmienky, zahrnuté v simuláciách, zahŕňali vtok (inlet), výtok (outlet), stenu (wall). Tieto okrajové podmienky slúžili ako pomocné funkcie pre výpočetné procesy [13].

5.1 OK1D

Ako bolo spomenuté v kapitole **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**, bola simulovaná dažďová udalosť z 20.06.2020. Z výsledkov simulácii boli teda definované okrajové podmienky nasledovne:

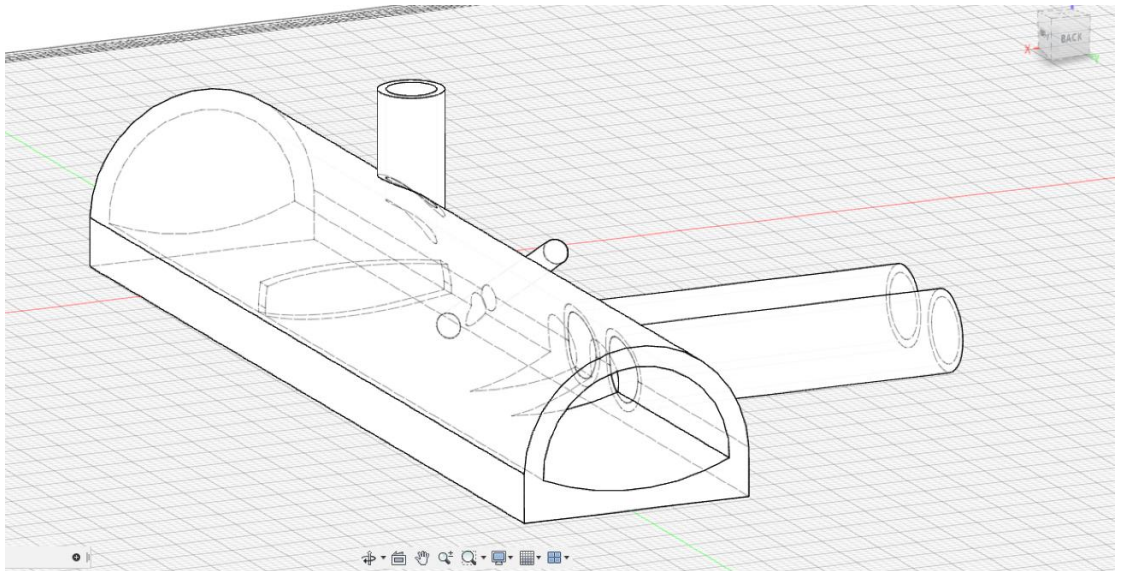
Tabuľka 5.1 Okrajové podmienky

	Typ podmienky (Boundary condition)	Hodnota
Vtok 1 (Intel main)	Velocity inlet	0,592 m.s ⁻¹
Vtok 2 (Intel 2)	Velocity inlet	0,485 m.s ⁻¹
Vtok 3 (Inlet 3)	Velocity inlet	0,485 m.s ⁻¹
Výtok 1 (Outlet prepad)	Pressure outlet	-
Výtok 2 (Outlet cov)	Pressure outlet	-
Výtok 3 (Outlet vchod)	Pressure outlet	-
Drsnosť (Roughness)	Wall	3 mm
Objem (Volume)	Solid	Water-liquid/Air
Výška priepadovej hrany		600mm

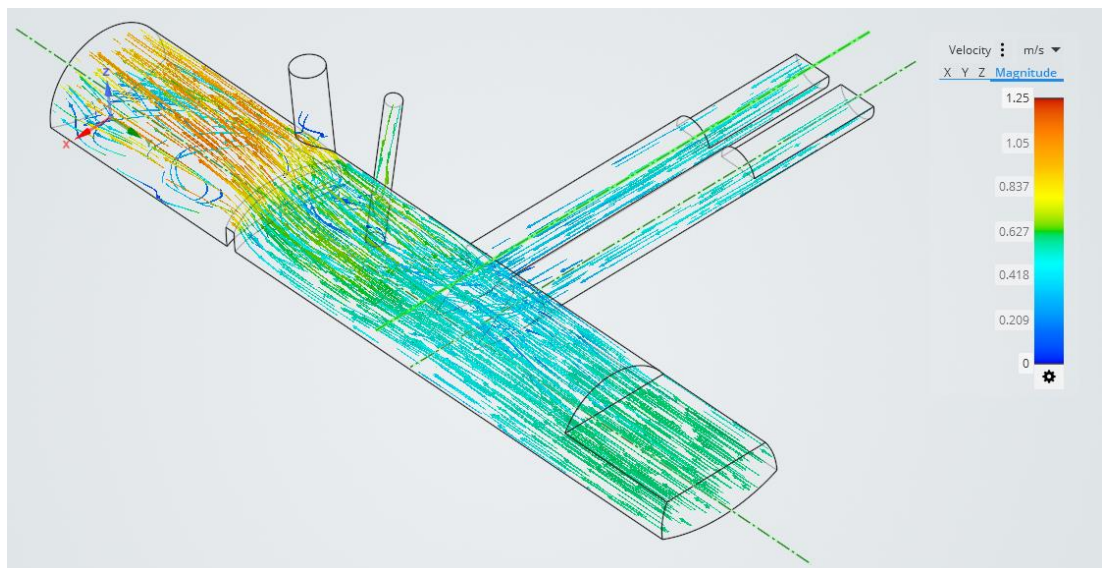
5.1.1 Pôvodný stav

Na základe výkresovej dokumentácie bol vytvorený 3D model odľahčovacej komory. Pôvodný návrh má niekoľko nedostatkov:

- uloženie škrtiacej stoky 200 mm nad úrovňou dna stoky,
- chýbajúce hrablice/norná stena.



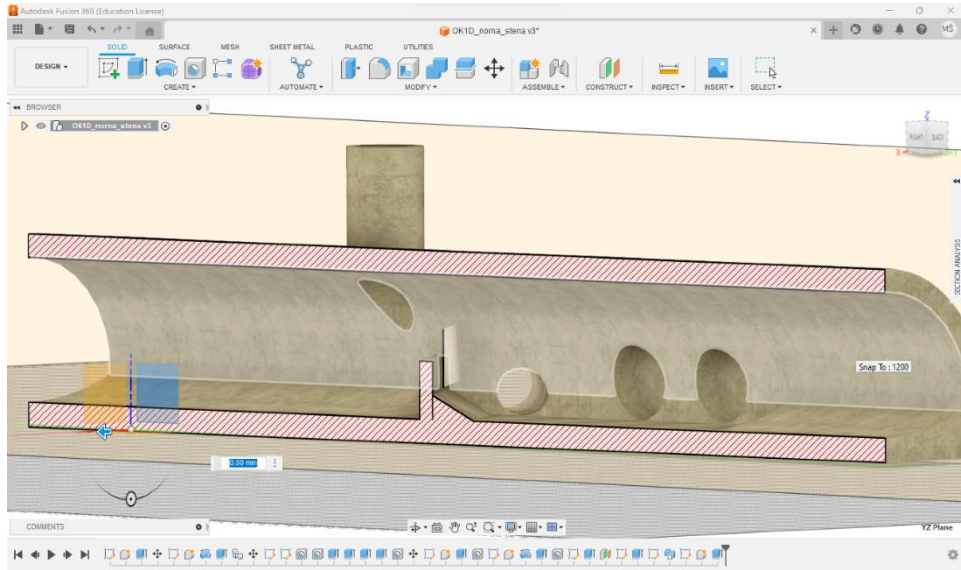
Obrázok 5.1 Model OK vytvorený v CAD softvéri (autor)



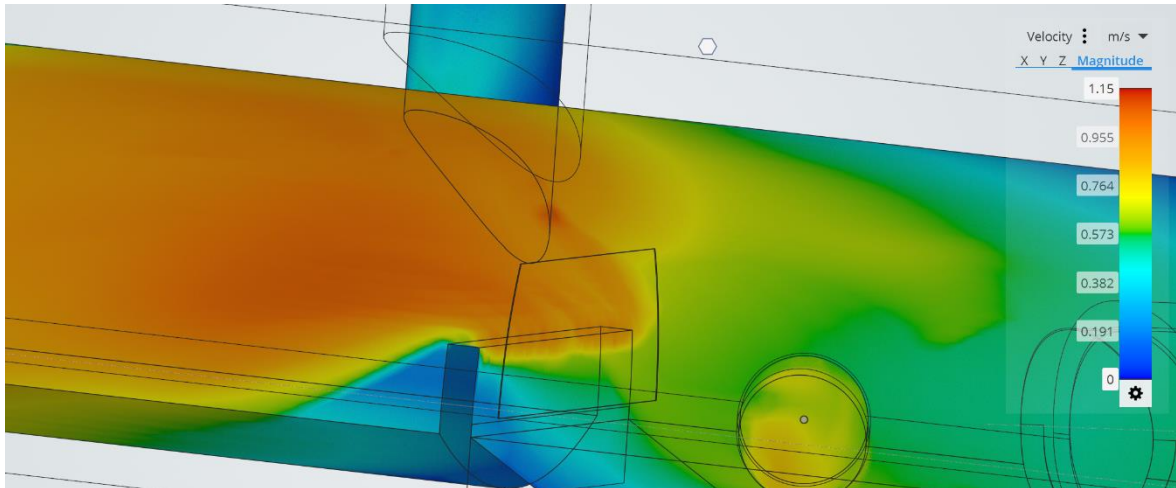
Obrázok 5.2 Simulácia 1 – Prúdnice v čase $t=600$ sek (autor)

5.1.2 Alternatíva 1 - Modifikácia priepadovej hrany + norná stena

Podľa návrhu stavebných úprav bol zmenený typ priepadovej hrany pričom výška ostala nezmenená, potrubie škrtiacej stoky bolo zväčšené na DN500 a uložené na dno stoky.



Obrázok 5.3 Modifikácia priepadovej hrany a normá stena OK1D (autor)



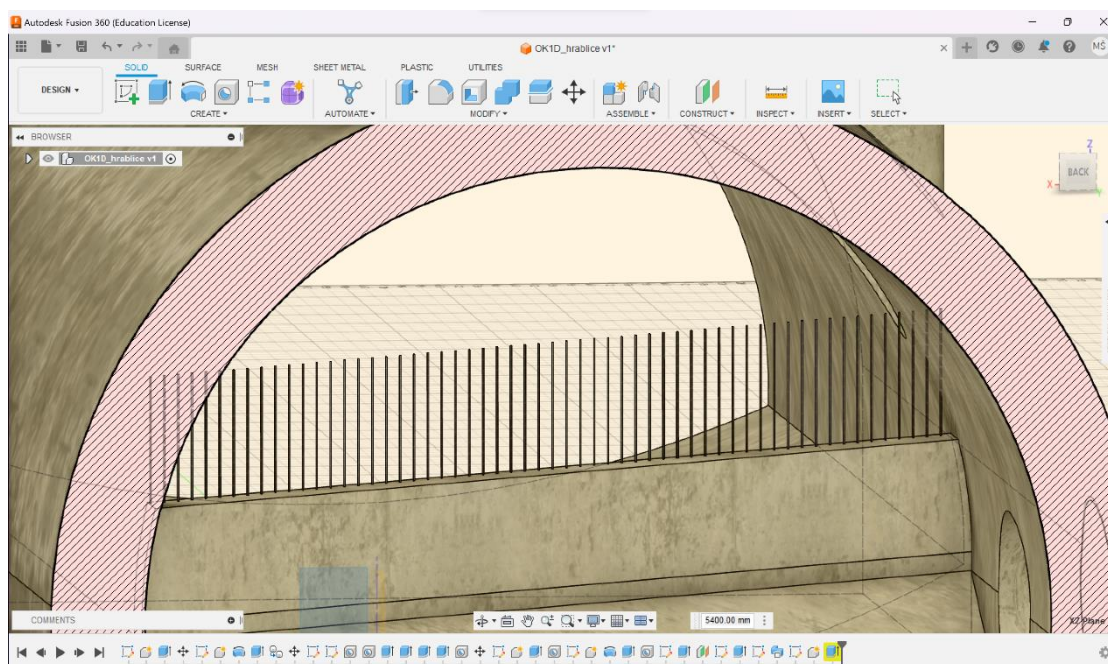
Obrázok 5.4 Simulácia 2 - Detail prúdenia v okolí prepadovej hrany v čase $t=600$ sek (autor)

5.1.3 Alternatíva 2 - Modifikácia priepadovej hrany + hrablice

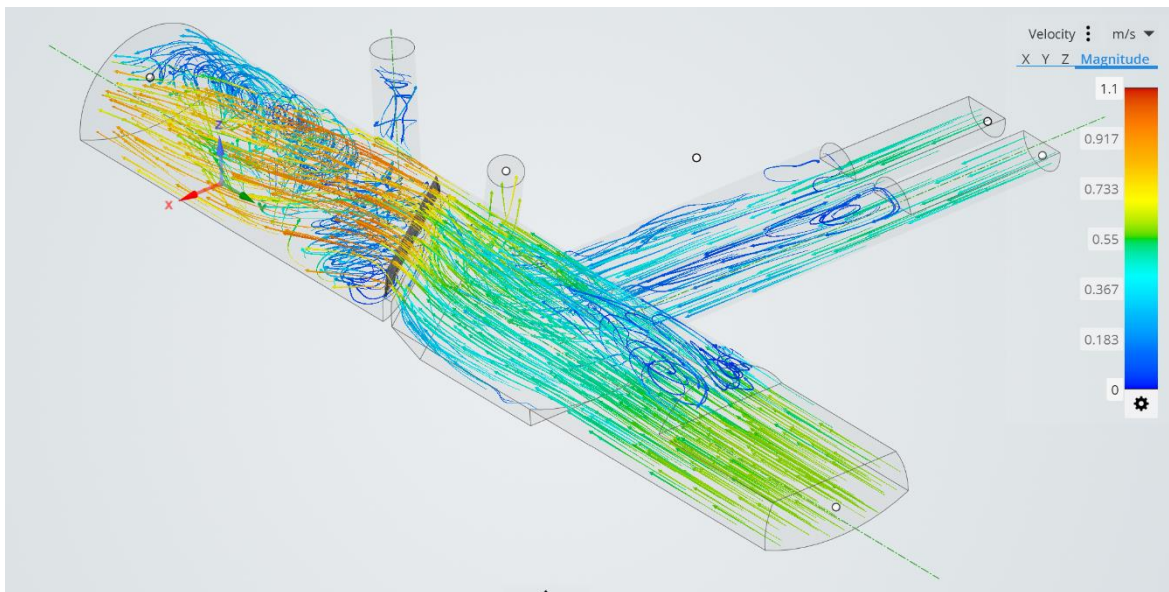
Pri obhliadke odľahčovacích komôr bolo zistené, že nebola použitá normá stena ale hrablice. Preto bola simulovaná aj táto alternatíva. Na hrablice boli použité kruhové tyče s priemerom 10 mm, s výškou 600 mm. Pre zjednodušenie výpočtu boli použité tyče so štvorcovým prierezom a hranou 10 mm.



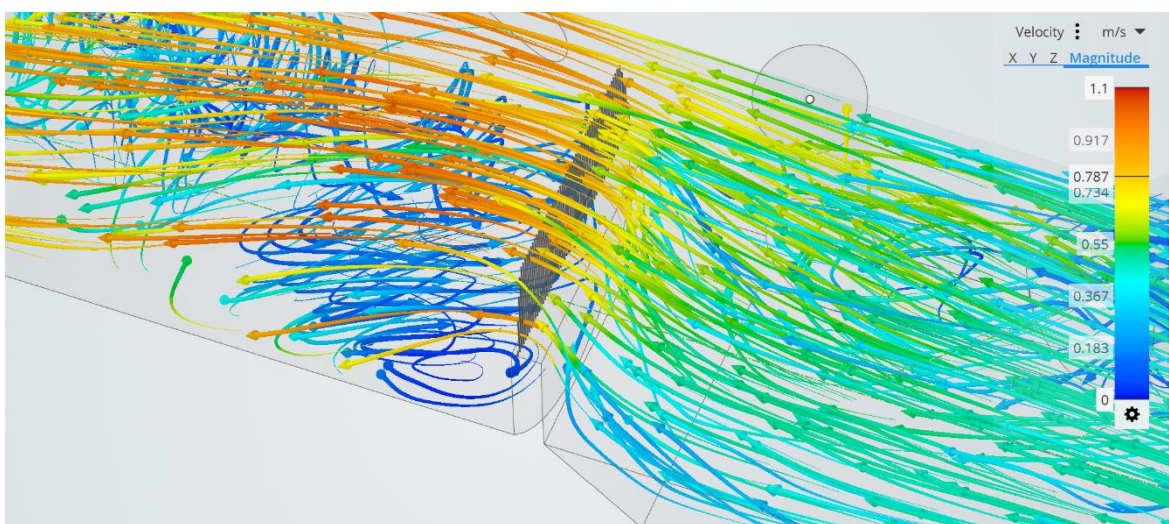
Obrázok 5.5 Priepadová hrana v OK1D (autor)



Obrázok 5.6 Modifikácia priepadovej hrany a hrablice OK1D (autor)



Obrázok 5.7 Simulácia 3 – Prúdnice v čase $t=600$ sek (autor)



Obrázok 5.8 Simulácia 3 – Detail prúdenia v okolí prepadovej hrany v čase $t=600$ sek (autor)

5.2 OK1AN

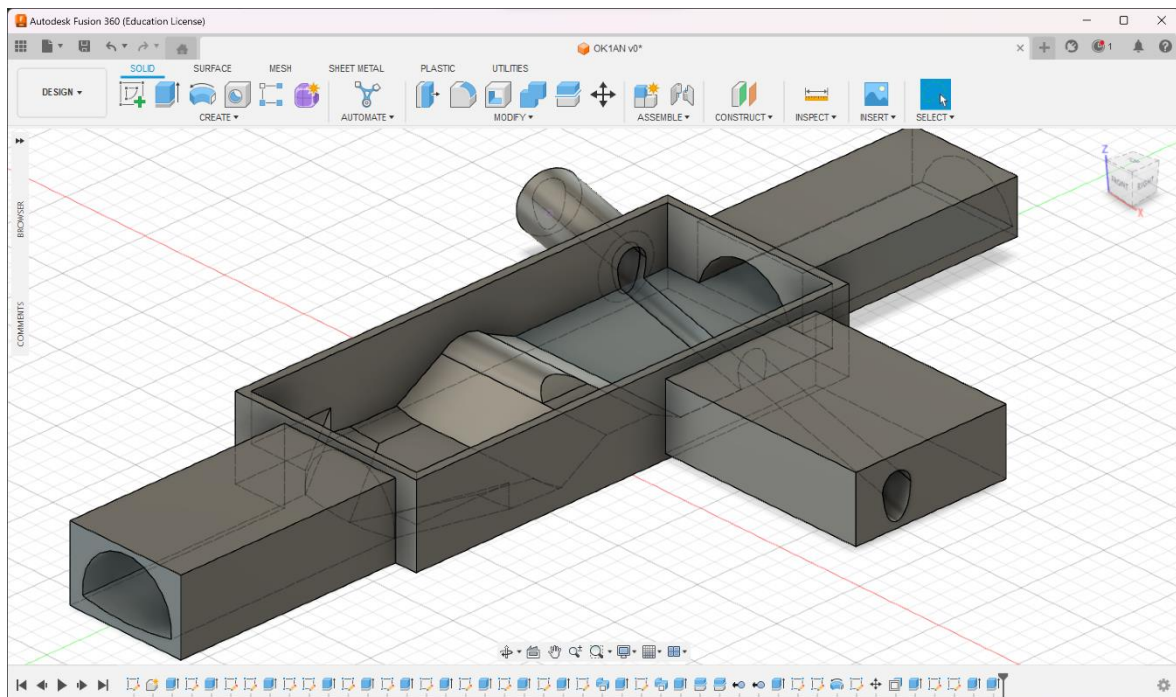
Z výsledkov simulácii dažďovej udalosti boli teda definované okrajové podmienky nasledovne:

Tabuľka 5.2 Okrajové podmienky

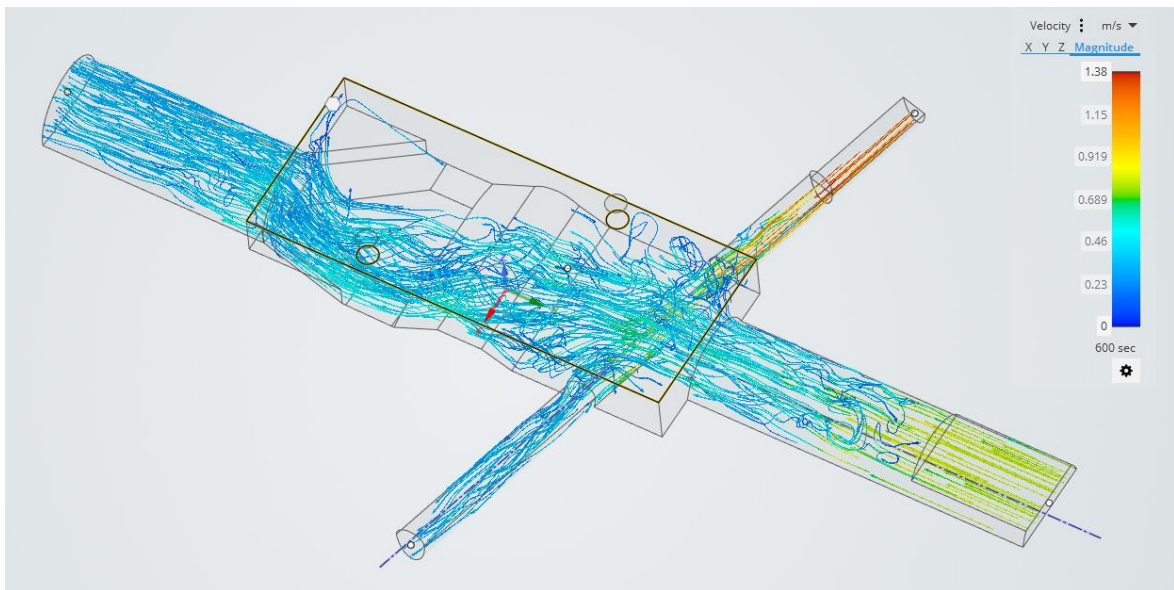
	Typ podmienky (Boundary condition)	Hodnota
Vtok 1 (Intel main) Stoka AN	Velocity inlet	0,800 m.s ⁻¹
Vtok 2 (Intel 2) Zberač A	Velocity inlet	1,352 m.s ⁻¹
Výtok 1 (Outlet prepad)	Pressure outlet	-
Výtok 2 (Outlet cov)	Pressure outlet	-
Výtok 3 (Outlet vchod)	Pressure outlet	-
Drsnosť (Roughness)	Wall	3 mm
Objem (Volume)	Solid	Water-liquid/Air
Výška priepadovej hrany		350-600 mm

5.2.1 Pôvodný stav

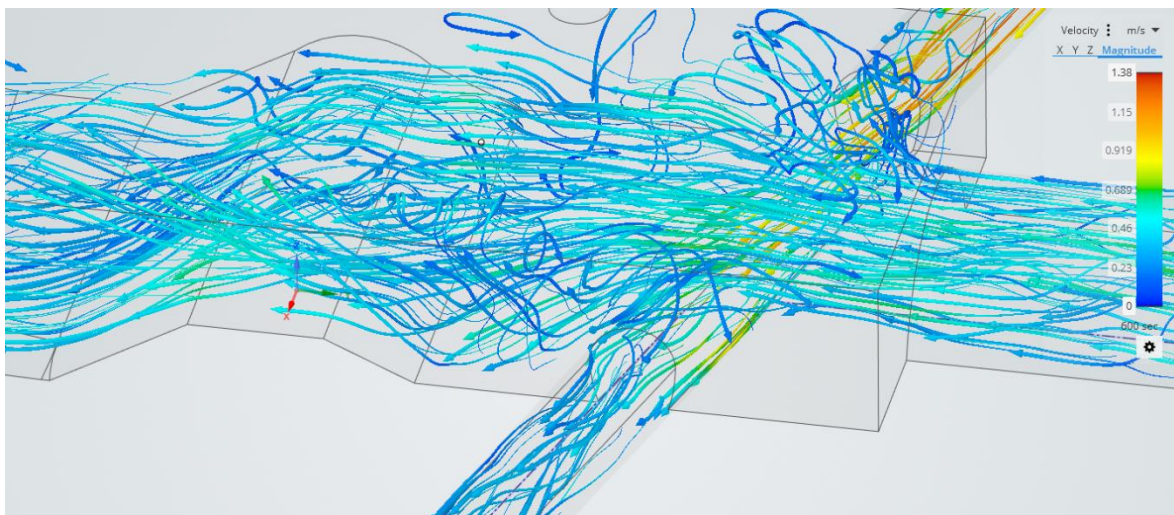
Na základe výkresovej dokumentácie bol vytvorený 3D model odľahčovacej komory. Táto komora je výrazne väčšia ako predchádzajúca. Za nedostatok sa považuje chýbajúce zariadenie na zachytávanie plávajúcich látok.



Obrázok 5.9 Model OK vytvorený v CAD softvéri (autor)



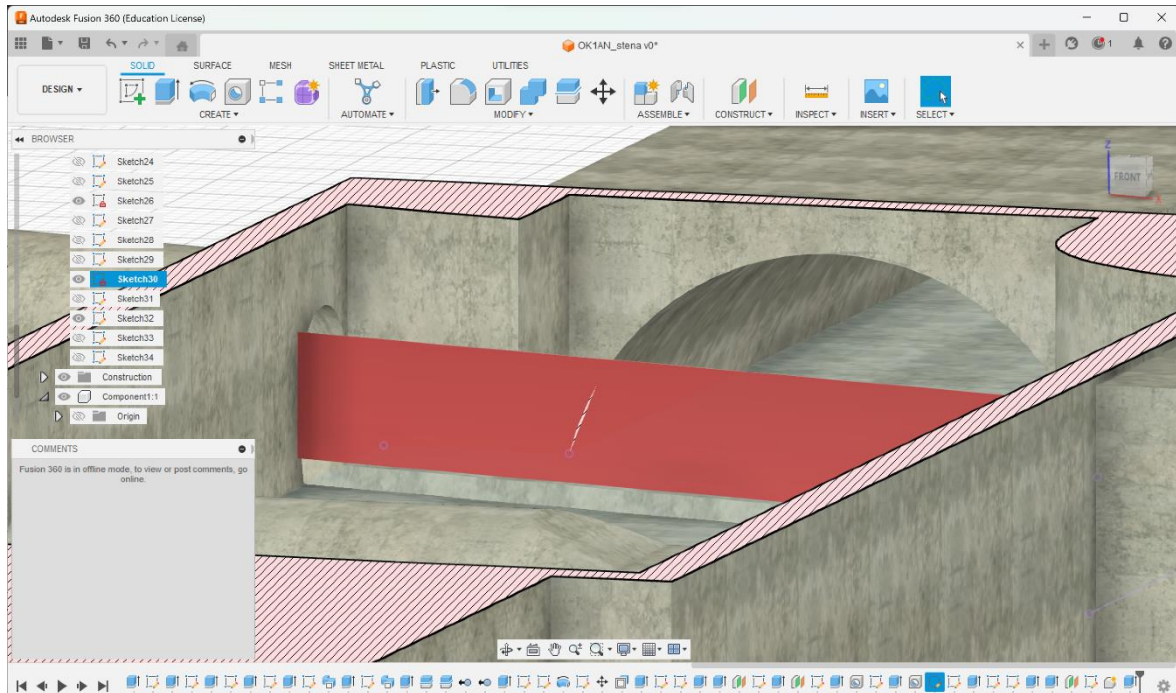
Obrázok 5.10 Simulácia 4 – prúdnice v čase t=600 sek (autor)



Obrázok 5.11 Simulácia 4 – Detail prúdenia v okolí prepadovej hrany v čase t=600 sek (autor)

5.2.2 Alternatíva 1 - Norná stena

Podľa návrhu stavebných úprav boli v komore urobené drobné úpravy na zlepšenie nátoky zo zberača AN a osadenie nornej steny.



Obrázok 5.12 Modifikácia prepadovej hrany a normá stena OK1AN (autor)



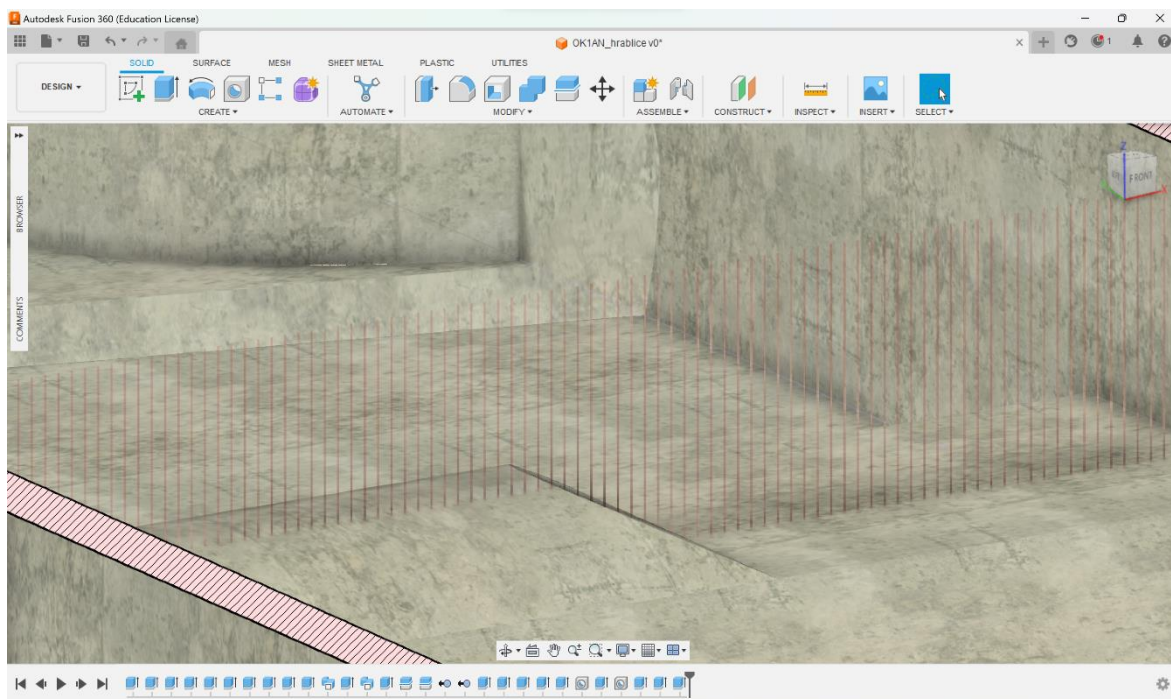
Obrázok 5.133 Simulácia 5 – Detail prúdenia v okolí prepadovej hrany v čase $t=600$ sek (autor)

5.2.3 Alternatíva 2 - Hrablice

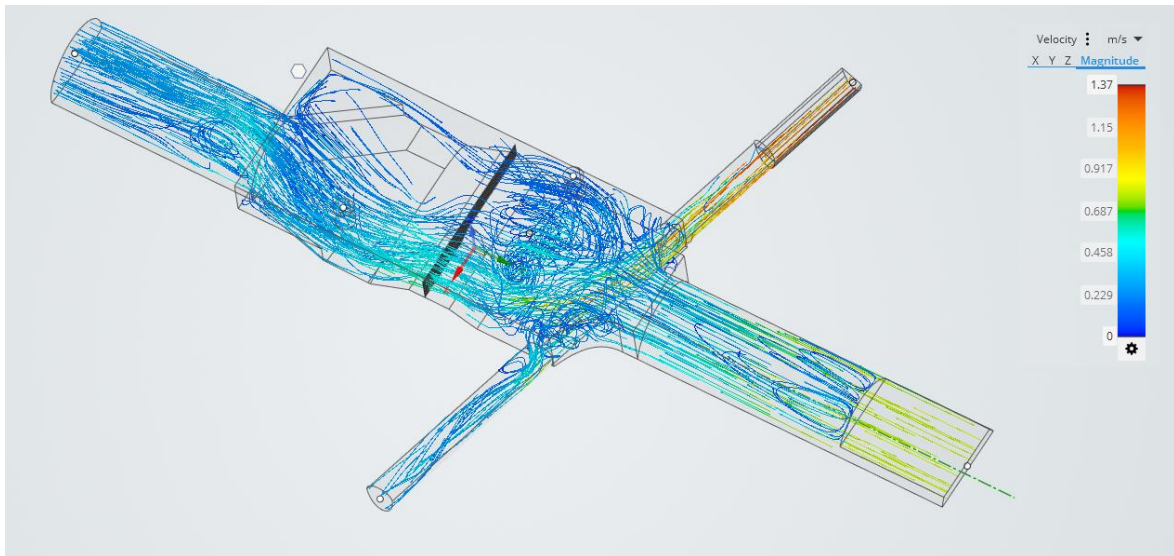
Pri obhliadke odľahčovacích komôr bolo zistené že nebola použitá normá stena ale hrablice. Hrablice boli osadené na vrchole prepadovej hrany po celej šírke, preto bola simulovaná aj táto alternatíva. Na hrablice boli použité kruhové tyče s priemerom 10 mm, s výškou 650-900 mm. Pre zjednodušenie výpočtu boli použité tyče so štvorcovým prierezom a hranou 10 mm.



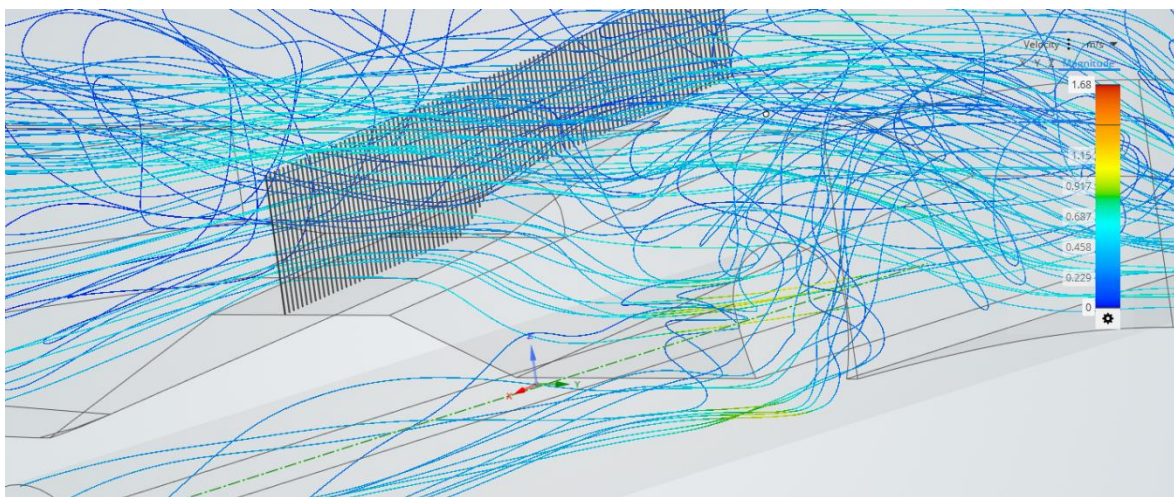
Obrázok 5.14 Pripadová hrana v OK1AN – znížená hrana (autor)



Obrázok 5.15 Modifikácia pripadovej hrany a hrablice OK1AN (autor)



Obrázok 5.16 Simulácia 6 - prúdnice v čase $t=600$ sek (autor)



Obrázok 5.17 Simulácia 6 Detail prúdenia v okolí prepadovej hrany $t=600$ sek (autor)

6. Celkové zhodnotenie simulácií

6.1 Simulácie v OK1D

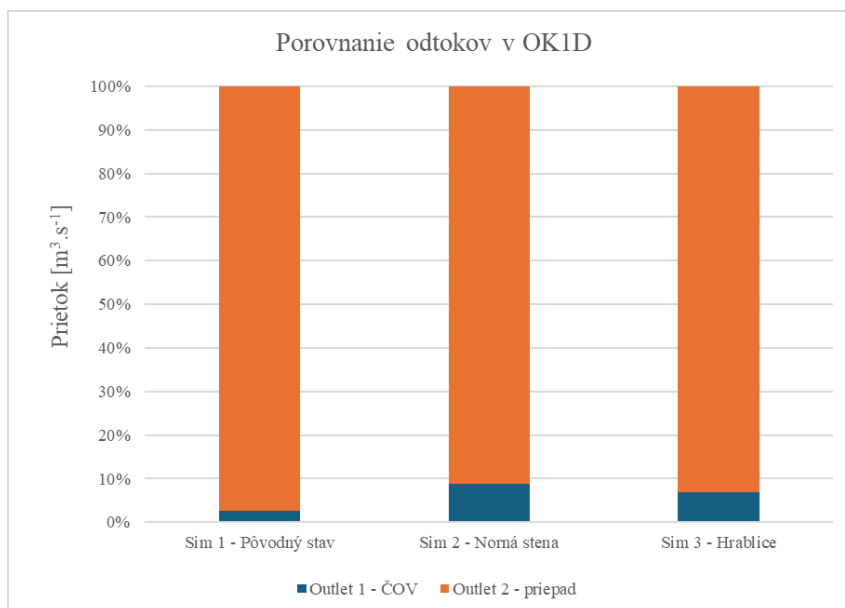
V práci boli porovnané pôvodný stav, alternatíva 1 (norná stena) a alternatíva 2 (hrablice). Pri porovnaní prúdenia v okolí škrtiacej stoky môžeme vidieť zlepšenie prúdenia a skorého odtekania odpadových vôd. Najvýraznejší efekt malo zníženie potrubia škrtiacej stoky na dno stoky Zberača I. Tento fakt by mal zlepšiť aj problémy s usádzaním sedimentov na dne počas bezdažďového prietoku. V Tabuľka 6. môžeme vidieť prehľad prietokov.

Tabuľka 6.1 Prehľad prietokov OK1D

	Sim 1	Sim 2	Sim 3
	Q [m ³ .s ⁻¹]		
Inlet 1	1.1	1.1	1.1
Inlet 2	0.13	0.13	0.13
Inlet 3	0.13	0.13	0.13
Outlet 1 - ČOV	0.035	0.12	0.096
Outlet 2 - priepad	1.36	1.27	1.3

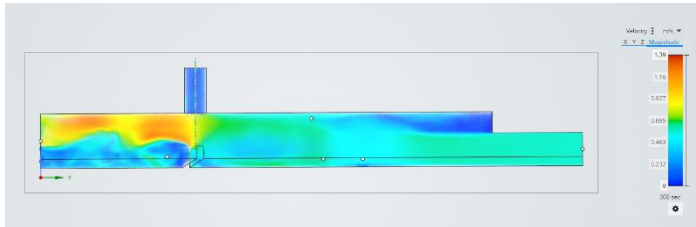
Na

Graf 1 sú vyjadrené odtoky cez škrtiacu stoku a cez priepadovú hranu. Po zväčšení a zmene uloženia škrtiaceho potrubia je evidentné zväčšenie prietokov 3 až 4 násobne.

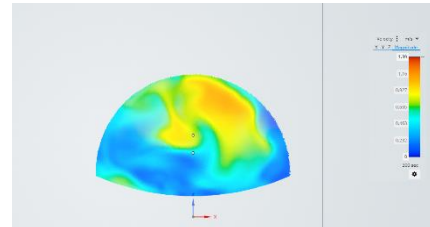


Graf 1 Porovnanie odtokov v OK1D

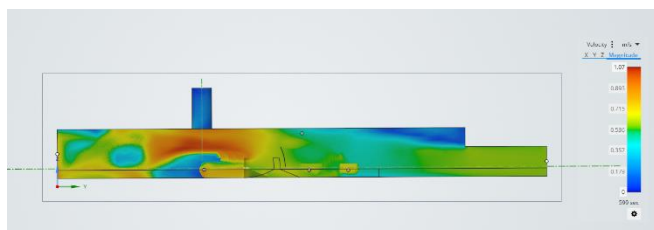
Pokiaľ porovnávame prúdenie pri alternatívach medzi nornou stenou a hrablicami na môžeme vidieť že prúdenie je plynulejšie pri použití hrablic. Rýchlosť prúdenia na prepadovej hrane pri použití nornej steny bola približne $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a pri použití hrablic približne $0,7-0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Odtok cez priepadovú hranu sa znížil o približne 7-8%.



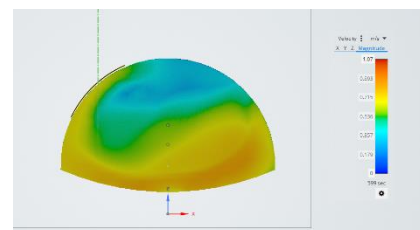
Obrázok 6.1 Simulácia 1 OK1D Pozdĺžny rez t=600 sek (autor)



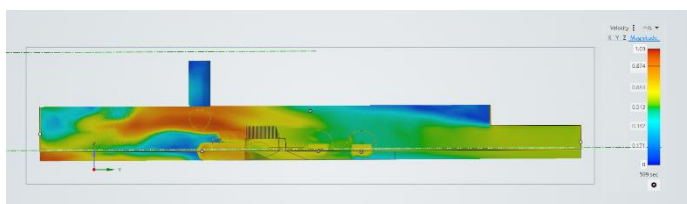
Obrázok 6.2 Simulácia 1 OK1D Odtok do recipientu t= 600 sek (autor)



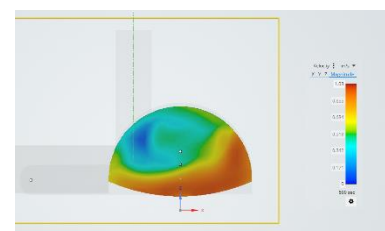
Obrázok 6.3 Simulácia 2 OK1D Pozdĺžny rez t=600 sek (autor)



Obrázok 6.4 Simulácia 2 OK1D Odtok do recipientu t= 600 sek (autor)



Obrázok 6.5 Simulácia 3 OK1D Pozdĺžny rez t=600 sek (autor)



Obrázok 6.6 Simulácia 2 OK1D Odtok do recipientu t= 600 sek (autor)

Pri porovnaní prúdenia v pozdĺžnych rezoch a na odtoku do recipientu na Obrázok až Obrázok 6 môžeme pozorovať zlepšenie prúdenia za priepadovou hranou. Pri pôvodnom stave bola voda vymrštená na priepadovej hrane ku stropu (Obrázok) a dopadala až za hranicu modelovaného priestoru. Po úprave priepadovej hrany je vidno na Obrázok a Obrázok , že prepadový lúč približne 1,5-2,0 m za priepadovou hranou.

Pri porovnaní priečného rezu výtoku do recipientu 6 metrov za prepadovou hranou, na 6.1, 6.3 a 6.5, môžeme vidieť že prepadový lúč dopadá výrazne skôr. Po stavebnej úprave pozorujeme že voda viac prúdi ľavou stranou odľahčovacej stoky v smere prúdenia. To bude pravdepodobne spôsobené upravenou šikmou priepadovou hranou.

STU

Pri nornej stene by stálo za porovnanie rôznych vzdialeností od priepadovej hrany a tým možné zlepšenie plynulosti prúdenia. Nevýhoda hrablic sa môže prejaviť pri nedostatočnej údržbe ako na Obrázok 5.5 a k následnému upchatiu priestoru medzi jednotlivými hrablicami. Prílišné zanesenie hrablic by mohlo mať za následok výrazné zmenšenie prietokového profilu na priepadovej hrane, neodľahčovania prietoku a ku spätnému vzdutiu v kanalizácii.

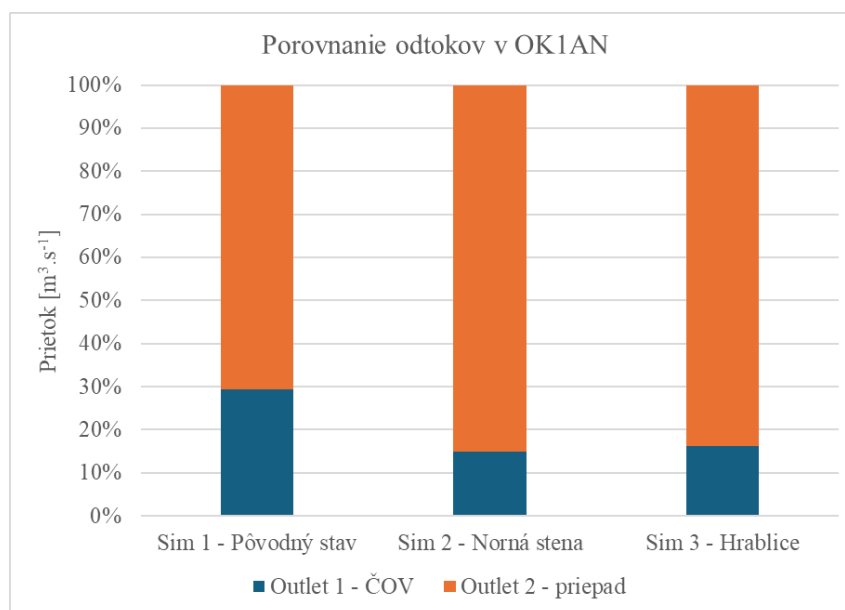
6.2 Simulácie v OK1AN

V práci boli porovnané pôvodný stav, alternatíva 1 (norná stena) a alternatíva 2 (hrablice). Stavebná úprava v podobe vybudovania výtokových krídel zo Zberača AN, mala za následok zníženie odtoku do ČOV. V Tabuľka môžeme vidieť prehľad prietokov v OK1AN. Z Graf 2 Porovnanie odtokov v OK1AN Graf 2 môžeme vidieť že odtok do ČOV sa znížil v priemere o približne $0,165 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (cca 52%). Odtok cez priepadovú hranu sa zvýšil o približne 15%.

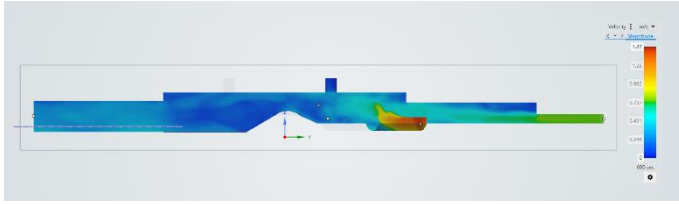
Tabuľka 6.2 Prehľad prietokov OK1AN

	Sim 1	Sim 2	Sim 3
	Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]		
Inlet 1	0.7	0.7	0.7
Inlet 2	0.51	0.51	0.51
Outlet 1 - ČOV	0.35	0.17	0.193
Outlet 2 - priepad	0.833	1.02	0.996

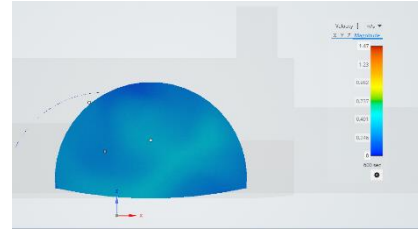
Pokiaľ porovnáваме prúdenie pri alternatívach medzi nornou stenou a hrablicami, vzhľadom na výrazne väčšie rozmery ako pri OK1D simulácie neukazujú drastický rozdiel v rýchlostiach prúdenia. môžeme vidieť že rýchlosti prúdenia odtoku do ČOV sa pohybujú v rýchlostiach $0,45\text{-}0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



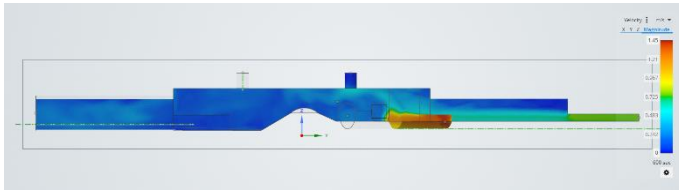
Graf 2 Porovnanie odtokov v OK1AN



Obrázok 6.1 Simulácia 4 OK1AN Pozdĺžny rez t=600 sek (autor)



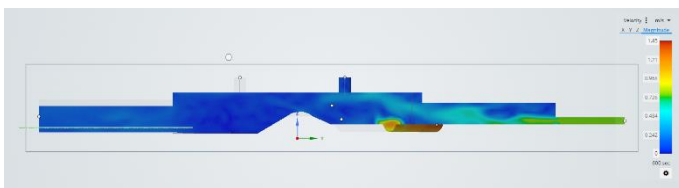
Obrázok 6.2 Simulácia 4 OK1AN Odtok do recipientu t= 600 sek (autor)



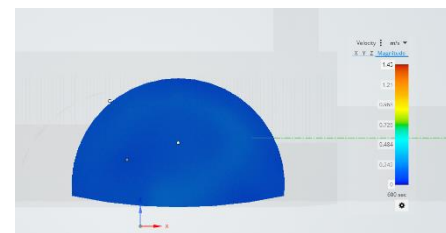
Obrázok 6.3 Simulácia 5 OK1AN Pozdĺžny rez t=600 sek (autor)



Obrázok 6.4 Simulácia 5 OK1AN Odtok do recipientu t= 600 sek (autor)



Obrázok 6.5 Simulácia 6 OK1AN Pozdĺžny rez t=600 sek (autor)



Obrázok 6.6 Simulácia 6 OK1AN Odtok do recipientu t= 600 sek (autor)

Pri porovnaní prúdenia v pozdĺžnych rezoch na Obrázok , 6.3 a 6.5 môžeme pozorovať, že sa rýchlosť prúdenia pri súťoku vôd zo Stoky AN (Inlet1) a Zberača A (Inlet2) znížila. To je pravdepodobne spôsobené pridaným výtokových krídel na zaústení Stoky AN a pri alternatíve 1 aj samotnou normou stenou.

Pri porovnaní priečného rezu výťoku do recipientu 15 metrov za prepádovou hranou, na Obrázok , 6.4 a 6.6 je taktiež vidieť zníženie rýchlosti. Rýchlosť sa znížila z $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pri pôvodnom variante na $0,26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na variante s normou stenou, resp. $0,22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pri variante s hrablicami.

Pri nornej stene by stálo za porovnanie rôznych vzdialeností od priepadovej hrany a tým možné zlepšenie plynulosti prúdenia. Nevýhoda hrablic sa môže prejavíť pri nedostatočnej údržbe ako na **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**14.

7. Záver

Dizertačná práca sa zameriava na podrobné simulácie dynamiky tekutín (Computational Fluid Dynamics, CFD) a analýzu prúdenia v odľahčovacích komorách s čelným prepádom. Práca skúma a porovnáva charakteristiky prúdenia vo vnútri týchto komôr pred realizáciou stavebných úprav

STU

a po nich. Špecificky sa hodnotia varianty, kde boli inštalované normé steny a hrablice. Cieľom tejto štúdie je poskytnúť hlbšie pochopenie, ako tieto stavebné úpravy ovplyvňujú hydrodynamické vlastnosti prúdenia, a navrhnúť optimálne riešenia pre zvýšenie účinnosti a funkčnosti odľahčovacích komôr. Pri využití CFD simulácií je možné vytypovať miesta kde môže prichádzať ku nadmernému zaťaženiu a predchádzať tak poruchám. CFD simulácie umožňujú detailne analyzovať prúdenie kvapalín, turbulencie, distribúciu tlakov a rýchlostných polí, čo je nevyhnutné pre efektívne navrhovanie a optimalizáciu týchto vodohospodárskych štruktúr.

Odľahčovacie komory sa nachádzajú na stokovej sieti v meste Trnava. Na stokovej sieti sa celkovo nachádza 22 odľahčovacích komôr. Po dôkladnom posúdení počtu odľahčení a zmiešavacieho pomeru vo všetkých OK bolo zistené, že 9 komôr nespĺňa stanovené kritériá a sú považované za nevyhovujúce. Na základe týchto výsledkov boli pre ďalšiu analýzu a optimalizáciu vybrané dve konkrétne komory, označené ako OK1D a OK1AN. Tieto komory boli predmetom podrobnejších štúdií s cieľom identifikovať a implementovať potrebné úpravy, ktoré zlepšia ich výkon a efektívnosť v kontexte odľahčovania a miešania prúdov.

Po vykonaní posúdenia na počet odľahčení a zmiešavací pomer, bolo 9 komôr nevyhovujúcich. Na základe týchto výsledkov z posúdenia boli zvolené 2 komory – OK1D a OK1AN.

Vstupné hodnoty dažďových prietokov a prietokových rýchlostí nebolo možné získať terénnymi meraniami. Preto boli použité vstupné hodnoty z dizertačnej práce Ing. Wittmanovej, kde sa venuje zrážkovo-odtokovým procesom a simuláciám prietokov počas dažďov v kanalizácii v programe Mike Urban. Bola simulovaná reálna zrážková udalosť zo dňa 20.06.2020

Simulácie prebehli vo výpočtovom softvéri Fluent od spoločnosti Ansys. Boli vytvorené digitálne 3D modeli každej komory a varianty. Ďalším krokom bolo vytvorenie výpočtovej siete, zadanie okrajových podmienok, voľba výpočtového modelu. Následne prebehli simulácie a analýza.

Po hodnotení simulácii sa dá konštatovať:

- Komora OK1D:
 - Vykazuje zlepšenie prúdenia vďaka stavebnej úprave pri ktorej bola upravená prepádová hrana tak, aby voda lepšie prúdila do škrtiacej stoky. Priemer škrtiacej stoky bol zväčšený z DN 300 na DN500 a znížila sa jej poloha na dno prítokovej stoky. To malo za následok zväčšenie odtoku na ČOV a zníženie prepádového množstva.
 - Rozdiel na odtokom množstve medzi variantami s normou stenou a hrablicami je relatívne malý, avšak je predpoklad že hrablice sa budú zanášať a pri nedostatočnej údržbe by mohlo prísť k zníženiu prietoku, resp. k upchatiu priepádovej plochy.
- Komora OK1AN:
 - Stavebná úprava mala za následok výrazné zníženie odtoku do ČOV o približne 50% a mierne zvýšenie odtoku cez prepádovú hranu.

- Rozdiel na odtokoch medzi alternatívami s normou stenou a hrablicami je relatívne malý ako aj v prípade komory OK1D.

Malé rozdiely medzi variantami s normou stenou a hrablicami sú pravdepodobne spôsobené predpokladom, že hrablice nie sú zanesené nečistotami. Ako možno vidieť na obrázkoch Obrázok 5.5, **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** a Obrázok 5., je zanesenie značné a bolo by vhodné simulovať variantu so zanesenými hrablicami. Tento variant by pravdepodobne vykazoval známky spätného vzdutia v prívodnej stoke.

Literatúra

- [1] D. Niyogi, M. Lei, C. Kishtawal, P. Schmid, and M. Shepherd, “Urbanization Impacts on the Summer Heavy Rainfall Climatology over the Eastern United States,” *Earth Interact*, vol. 21, no. 5, pp. 1–17, Jun. 2017, doi: 10.1175/EI-D-15-0045.1.
- [2] T. R. Oke, “The energetic basis of the urban heat island,” *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 108, no. 455, pp. 1–24, Jan. 1982, doi: 10.1002/QJ.49710845502.
- [3] M. Santamouris, “Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions,” *Science of The Total Environment*, vol. 512–513, pp. 582–598, Apr. 2015, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2015.01.060.
- [4] M. Santamouris *et al.*, “On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings,” *Solar Energy*, vol. 70, no. 3, pp. 201–216, Jan. 2001, doi: 10.1016/S0038-092X(00)00095-5.
- [5] D. A. Ward and W. S. Trimble, *Environmental Hydrology*, Second. CRC Press, 2004.
- [6] J. R. Masoner *et al.*, “Urban Stormwater: An Overlooked Pathway of Extensive Mixed Contaminants to Surface and Groundwaters in the United States,” *Environ Sci Technol*, vol. 53, no. 17, pp. 10070–10081, May 2019, doi: 10.1021/ACS.EST.9B02867.
- [7] Q. Cao, D. Yu, M. Georgescu, J. Wu, and W. Wang, “Impacts of future urban expansion on summer climate and heat-related human health in eastern China,” *Environ Int*, vol. 112, pp. 134–146, Mar. 2018, doi: 10.1016/J.ENVINT.2017.12.027.
- [8] *Microplastics in drinking-water*. Geneva: World Health Organization, 2019.
- [9] “Technická infraštruktúra | Trnava.” Accessed: Jun. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.trnava.sk/sk/clanok/technicka-infrastruktura>
- [10] “EKOPOLIS-Ateliér architektúry, urbanizmu a územného plánovania,” 2010.
- [11] “269/2010 Z. z. - Nariadenie vlády Slovenskej republiky ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd.”
- [12] R. Wittmanová, “Matematické modelovanie odtokového procesu v urbanizovanom území v kontexte klimatickej zmeny,” Dizertačná práca, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Bratislava, 2021.
- [13] V. Molnár, “Počítačová dynamika tekutín,” 2010.

Publikácie autora

ŠUTÚŠ, Marek - HRUDKA, Jaroslav - RÓZSA, Gergely - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Computer modeling of flow on the object of the sewer network. In *Young Scientist 2020 [elektronický zdroj] : proceedings of the 12th International Scientific Conference of Civil and Environmental Engineering for PhD. Students and Young Scientists. 15-16 October 2020, High Tatras, Slovakia*. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2020, online, [4] s., art. no. 012041. ISSN 1757-899X. V databáze: DOI: 10.1088/1757-899X/867/1/012041 ; SCOPUS: 2-s2.0-85093937821. Kategória publikácie do 2021: AFD

ŠUTÚŠ, Marek - HRUDKA, Jaroslav - CSÓKA, Marek - STANKO, Štefan. CFD as a tool for design optimalization of sewer system. In *Abstract book for the 16th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium [elektronický zdroj] : Architectural, Engineering and Information Sciences. Hungary, Pécs, 26-27 October 2020*. Pécs : Pollack Press, 2020, online, [1] s., paper no. 93. ISBN 978-963-429-578-5. Kategória publikácie do 2021: AFG

ŠUTÚŠ, Marek. Počítačové modelovanie prúdenia v odľahčovacej komore. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 30th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 14th 2020, Bratislava, Slovakia*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2020, CD-ROM, s. 632-637. ISBN 978-80-227-5052-3. Kategória publikácie do 2021: AFD

ŠUTÚŠ, Marek - HRUDKA, Jaroslav - CSÓKA, Marek - STANKO, Štefan. Počítačové modelovanie prúdenia na odľahčovacej komore. In *Proceedings from 9th Conference of Young Researchers - KOMVY 2020 [elektronický zdroj] : virtuálny priestor, Bratislava, SR, 27. 11. 2020*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2020, CD-ROM, s. 79-84. ISBN 978-80-227-5057-8. Kategória publikácie do 2021: AFD

Marek - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona - MARKO, Ivana - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - STANKO, Štefan. CFD Simulations of the Sewer Network. In *Abstract book for the 17th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium [elektronický zdroj] : Architectural, Engineering and Information Sciences. Online, 25-26 October 2021*. Pécs : Pollack Press, 2021, online, [1] s., paper no. 71. ISBN 978-963-429-811-3. Kategória publikácie do 2021: AFG

ŠUTÚŠ, Marek - RÓZSA, Gergely - STANKO, Štefan. Analýza stokovej siete v meste Trnava. In *Juniorstav 2022 [elektronický zdroj] : sborník příspěvků. 24. odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí. Brno, ČR, 27. 1. 2022 = Juniorstav 2022, proceedings of the 24th International Conference of doctoral Students. 1. vyd. Brno : ECON publishing, 2022, online, s. 431-435. ISBN 978-80-86433-76-9. V databáze: DOI: 10.13164/juniorstav.2022.431. Typ výstupu: příspěvek z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC*

ŠUTÚŠ, Marek - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - RÓZSA, Gergely - STANKO, Štefan. Assesment of the combined sewer overflow in the city of Trnava using CFD modeling. In *SGEM 2021. 21th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Volume 21. Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems : proceedings. Vienna, Austria, 7-10 December 2021. 1. vyd. Viedeň : SGEM World Science, 2021, S. 69-74. ISSN 1314-2704. ISBN 978-1-7138-5236-0. V databáze: DOI: 10.5593/sgem2021V/3.2/s12.11 ; SCOPUS: 2-s2.0-85131908981. Typ výstupu: příspěvek z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC*

ŠUTÚŠ, Marek - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea,] - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - STANKO, Štefan. Bezvýkopové metódy a ich použitie. In *Proceedings from 11th Conference of Young Researchers - KOMVY 2022 [elektronický zdroj] : Osrblie, SR, 2. - 6. 5. 2022. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2022, CD-ROM, s. 69-74. ISBN 978-80-227-5209-1. Typ výstupu: příspěvek z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD*

ŠUTÚŠ, Marek - HRUDKA, Jaroslav - STANKO, Štefan. Moderné trendy pri pokládke rúrových systémov. In *Městské vody 2022 = Urban water 2022 [elektronický zdroj] : sborník přednášek konference s mezinárodní účastí. Velké Bílovice, 6. - 7. října 2022. 1. vyd. Brno : ARDEC, 2022, online, s. 175-179. ISBN 978-80-86020-94-5. Typ výstupu: příspěvek z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC*

ŠUTÚŠ, Marek - RÓZSA, Gergely - HRUDKA, Jaroslav - STANKO, Štefan. Hydrodynamické modelovanie dažďového eventu na objekte trnavskej stokovej siete - odľahčovacia komora. In *Odpadové vody 2022 [elektronický zdroj] : zborník prednášok a posterov 12. bienálnej konferencie s medzinárodnou účasťou. Štrbské Pleso, 19.-21. október 2022. 1. vyd. Bratislava : Asociácia čistiarenských expertov Slovenskej republiky, 2022, USB kľúč, s. 324-327. ISBN 978-80-973196-3-2. Typ výstupu: příspěvek z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD*

ŠUTÚŠ, Marek - HRUDKA, Jaroslav - RÓZSA, Gergely - STANKO, Štefan. Trenchless methods for laying piping systems and their use. In *Young Scientist 2022 (YS22) : proceedings of the 14th Conference of Civil and Environmental Engineering for PhD Students and Young Scientists. Slovak Paradise, Slovakia, 27-29 June 2022. 1. vyd. Melville, NY : AIP Publishing, 2023, online, [6] s., art. no. 020053. ISSN 0094-243X. ISBN 978-0-7354-4600-7. V databáze: DOI:10.1063/5.0159204. Typ výstupu: příspěvek z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD*

ŠUTÚŠ, Marek - HRUDKA, Jaroslav - RÓZSA, Gergely - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona - STANKO, Štefan. Hydrodynamic assessment of combined sewerage overflow chamber in Banská Bystrica. In *Pollack Periodica*. Vol. 16, no. 2 (2021), s. 50-55. ISSN 1788-1994 (2021: 0.260 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85109992660 ; DOI: 10.1556/606.2020.00171. Kategória publikácie do 2021: ADM

ŠUTÚŠ, Marek - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona - MARKO, Ivana - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - STANKO, Štefan. CFD modeling of a rain event on combined sewer overflow. In *Pollack Periodica*. Vol. 18, no. 1 (2023), s. 84-88. ISSN 1788-1994 (2022: 0.298 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.1556/606.2022.00575 ; SCOPUS: 2-s2.0-85164499969.

Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADM