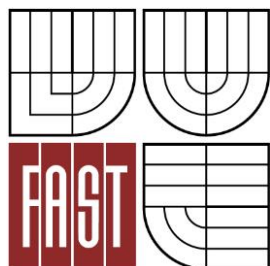




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

MODELOVÁNÍ HYDRAULICKÉ ÚČINNOSTI VÍCEKOMOROVÝCH SEPTIKŮ

HYDRAULIC EFFICIENCY OF MULTI-CHAMBER SEPTIC TANKS BASED ON MATHEMATICAL MODELLING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. IVA HRADILOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. MICHAL KRIŠKA, PH.D.

BRNO 2015

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Iva Hradilová
Název	Modelování hydraulické účinnosti vícekomorových septiků
Vedoucí diplomové práce	Ing. Michal Křiška, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014

.....
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.

Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. ČSN EN 12566-1 (ČSN 756404): Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel - Část 1: Prefabrikované septiky
2. ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel
3. <http://sciencedirect.com>
4. Dokumentace k software Comsol Multiphysics

Zásady pro vypracování

Práce bude obsahovat literární rešerši v oblasti vícekomorových septiků - se zaměřením na zahraniční zkušenosti (čerpání z databáze vědeckých článků). Následovat bude vlastní měření - od metodiky měření, přes provedení pokusů na laboratorním modelu, popisu sestavení a vytvoření matematického modelu, kalibraci matematického modelu, vyhodnocení a zpracování výsledků, diskuzi a závěr.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....

Ing. Michal Kriška, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

Abstrakt – Předkládaná diplomová práce je zaměřena na nalezení optimálního vnitřního uspořádání vícekomorového septiku za použití v práci popsané konduktivní metody. Přináší podrobný popis a výsledky měření, zahrnující testování několika variant uspořádání standardního kruhového tří komorového septiku, v rámci projektu TAČR s pracovním názvem „Anasep“, a nově vyvíjeného čtyř komorového septiku s několika inovativními prvky. Výsledky jsou následně kategorizovány dle vlastní terminologie tak, aby byla snadná aplikovatelnost do praxe. Popsaná metoda může být vhodnou alternativou pro jiné, technicky a ekonomicky hůře dostupné metody. Velice jasně přitom ukazuje, zda vnitřní prostor septiku dostatečně využívá svůj objem k rozložení rychlostního pole, což má přímo vliv na rychlosti sedimentace nerozpuštěných látek a tedy vliv na životnost navazujících filtračních zařízení.

Zpracování naměřených dat a grafických výstupů proběhlo v programu Minitab. Grafické zobrazení všech variant septiků bylo provedeno pomocí programu SketchUp. Vizualizace septiku ve 2D rovině a 3D prostoru byla řešena v prostředí COMSOL Multiphysic s uplatněním modulu CFD.

V závěru práce je, na základě dosažených výsledků, diskutována použitelnost popsané metody a představen hydraulicky nejúčinnější vícekomorový septik, který je v současné době autorsky chráněným řešením, vyvinutý řešitelským kolektivem projektu ANASEP.

Klíčová slova:

vícekomorový septik, doba zdržení, konduktivní metoda, konduktivita, numerický hydraulický model

Abstract – The submitted diploma thesis is focused on finding optimal inside arrangement of multi-chamber septic tank using the conductive method. The diploma thesis brings detailed description and measuring results, including the testing of several different arrangements of the standard circular three chamber septic tank in the project TAČR with the working title "Anasep" and newly developed four-chamber septic tank with several innovative features.

The results are then categorized according to own terminology for ease application in the practice. The described method may be a suitable alternative for other technically and economically less available methods. The method shows very clearly whether the inner space of the septic tank sufficient use its volume to the velocity field distribution

which has a direct impact on the rate of sedimentation of suspended solids and therefore affect the life of the downstream filtration equipment.

Measured data processing and graphical outputs were processed in the programme Minitab. Graphical display of all variants of septic tanks was carried out using SketchUp. Visualization of a septic tank in 2D and 3D space plane was solved in COMSOL Multiphysic with the application of CFD module.

The conclusion is based on achievements discussed the applicability of the described method and it presented hydraulically efficient multi-chamber septic tank, which is currently copyrighted solution, developed by a team of solvers in the project ANASEP.

Keywords:

multi-chamber septic tank, residence time, conductive method, conductivity, numerical hydraulic model

Bibliografická citace VŠKP

Hradilová, I. *Modelování hydraulické účinnosti vícekomorových septiků*. Brno, 2015. 92 stran, 33 stran příl., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10.1.2015

.....

podpis autora

Bc. Iva Hradilová

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

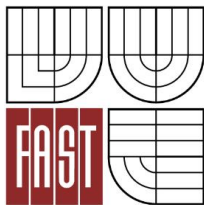
Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10.1.2015

.....

podpis autora

Bc. Iva Hradilová



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce	Ing. Michal Kriška, Ph.D.
Autor práce	Bc. Iva Hradilová
Škola	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta	Stavební
Ústav	Ústav vodního hospodářství krajiny
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Název práce	Modelování hydraulické účinnosti vícekomorových septiků
Název práce v anglickém jazyce	Hydraulic efficiency of multi-chamber septic tanks based on mathematical modelling
Typ práce	Diplomová práce
Přidělovaný titul	Ing.
Jazyk práce	Čeština
Datový formát elektronické verze	
Anotace práce	
Anotace práce v anglickém jazyce	
Klíčová slova	
Klíčová slova v anglickém jazyce	

Poděkování

Chtěla bych poděkovat především svému vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Michalu Kříškovi, Ph.D. za pomoc při seznámení s problematikou zadané práce, za cenné rady a pomoc při měření na výzkumném pozemku školy a úpravách vnitřního uspořádání obou vícekomorových septiků, dále za pomoc při zpracování a vyhodnocení naměřených dat, za konzultace a rady při psaní diplomové práce. Také bych mu tímto ráda poděkovala za seznámení s programem COMSOL Multiphysic, vysvětlení práce v programu a za pomoc při modelování septiků.

Dále mu děkuji za zapůjčení Multimetru s příslušenstvím a dvou vodivostních sond, za vysvětlení práce s tímto přístrojem a za jeho rady ohledně měření.

Také bych chtěla poděkovat výzkumnému projektu Technologické agentury České republiky ev. č. TA02021032 "Anaerobní separátor nerozpuštěných látek a nutrientů" a svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Michalu Kříškovi, Ph.D. za to, že mne do tohoto projektu zapojil.

Velice ráda bych poděkovala firmě ASIO Brno za spolupráci se Stavební fakultou VUT Brno, Ústavem vodního hospodářství krajiny a za zapůjčení tří komorového septiku pro výzkumné potřeby.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svým rodičům za psychickou i finanční podporu v průběhu všech let mého studia na Stavební fakultě i svému příteli za pomoc při studiu a podporu.

Modelování hydraulické účinnosti vícekomorových septiků

Obsah

Modelování hydraulické účinnosti vícekomorových septiků	10
1 Úvod.....	12
1.1 Současná pravidla pro návrh septiků (norma ČSN).....	13
1.2 Septiky a zkušenosti v zahraničí.....	16
2 Metodika měření.....	20
2.1 Uspořádání testovaných septiků.....	22
2.1.1 Uspořádání č. 1 – standardní řešení.....	22
2.1.2 Uspořádání č. 2 – změna prostupů.....	26
2.1.3 Uspořádání č. 3 – prodloužení potrubí.....	29
2.1.4 Čtyřkomorový septik – uspořádání č. 1.....	31
2.1.5 Čtyřkomorový septik - Uspořádání č. 2.....	34
2.1.6 Čtyřkomorový septik - Uspořádání č. 3.....	35
2.2 Příprava vody určené pro čerpání.....	38
2.3 Příprava pokusu	42
2.4 Spuštění měření	45
2.5 Popis jednotlivých měření.....	47
2.5.1 Pokus V1 – uspořádání č. 1, pomalý pokus, průtok 0,142 l/s.....	47
2.5.2 Pokus V2 – uspořádání č. 1, rychlý pokus, průtok 0,330 l/s.....	48
2.5.3 Pokus V3 – uspořádání č. 2, rychlý pokus, průtok 0,262 l/s.....	48
2.5.4 Pokus V4 – uspořádání č. 2, pomalý pokus, průtok 0,147 l/s.....	49
2.5.5 Pokus V5 – uspořádání č. 2, pomalý pokus, průtok 0,124 l/s.....	49
2.5.6 Pokus V6 – uspořádání č. 3, rychlý pokus, průtok 0,330 l/s.....	50
2.5.7 Pokus V7 – uspořádání č. 3, rychlý pokus, průtok 0,250 l/s.....	50
2.5.8 Pokus V8 – uspořádání č. 1, rychlý pokus, průtok 0,330 l/s.....	51
2.5.9 Pokus V9 – uspořádání č. 2, rychlý pokus, průtok 0,330 l/s.....	51
2.5.10 Pokus V10 – uspořádání č. 3, rychlý pokus, průtok 0,50 l/s.....	51
3 Výsledky měření	52
3.1 Vliv průtoku na mísení vody v septiku	54
3.2 Vliv uspořádání – tři komorový septik	56
3.3 Vliv uspořádání – čtyřkomorový septik.....	59
3.4 Numerické modely.....	62
3.4.1 2D Matematický model proudění dvou tekutin	62
3.4.2 3D Matematický model proudění dvou tekutin	68

3.4.3	Matematický model proudění dvou tekutin ve 3D	74
4	Vyhodnocení výsledků, diskuze	76
4.1	Zpracování kategorizace kvality septiku	76
4.1.1	<i>I. Kategorie</i> – Teoreticky nejlepší řešení.....	76
4.1.2	<i>II. Kategorie</i> – Velice kvalitní řešení.....	76
4.1.3	<i>III. Kategorie</i> – Dobré řešení.....	77
4.1.4	<i>IV. Kategorie</i> – Průměrné řešení.....	77
4.1.5	<i>V. Kategorie</i> – Přijatelné řešení	77
4.1.6	<i>VI. Kategorie</i> – Špatné řešení	78
4.1.7	<i>VII. Kategorie</i> – Nevhodné řešení	78
4.1.8	<i>VIII. Kategorie</i> – Teoreticky nejhorší řešení.....	78
4.2	Tří komorový septik	80
4.3	Čtyř komorový septik	81
5	Závěr	82
5.1	Možnost využití vícekomorových septiků v praxi	83
6	Seznam obrázků a tabulek.....	86
7	Použité anglické výrazy.....	89
8	Použitá literatura	90
9	Příloha - Tří komorový septik - Report z programu COMSOL Multiphysics.....(33 stran)	

1 Úvod

Odpadní vody jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu), jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod.^[1]

Odpadní voda splaškového charakteru je čistěna především na čistírnách odpadních vod. Ty jsou v České republice nejčastěji řešeny na základě aerobních technologií (aktivační nádrže). Nejmenší producenti odpadních vod (do počtu 50 ekvivalentních obyvatel (EO)) mají při čištění splaškových vod na výběr z několika možností.^[3] Jedou z nich je zapojení septiku + filtračního zařízení. Filtrační zařízení je velmi závislé na kvalitě předčištění odpadní vody v septiku, a proto je právě septik jednou z nejdůležitějších součástí tohoto systému.

Z hlediska legislativy je septik vodním dílem a jeho instalace podléhá souhlasu vodoprávního úřadu.^[1,1] Původní septiky budované v polovině 20. století byly definovány jako nádrž na splašky z domácností nebo odpadní vody podobné povahy, ve které dochází k částečné mineralizaci organických látek. Podle zdroje (Malá československá encyklopedie, 1986) mají septiky nízký čisticí účinek, odtéká z nich zapáchající, jen částečně vyčištěná voda.

Díky tomuto chápání a jednoduchosti výroby byly budovány své pomocí, nejčastěji jako betonové nádrže s přepážkami. Postupem času se na trhu objevily prefabrikované plastové výrobky (PE, PP, samonosné nebo s nutností betonáže). Česká republika se z pohledu počtu výrobců septiků dostala na jednu z předních příček v rámci Evropy. Vícekomorový septik je na první pohled velice jednoduché zařízení.^[3] Pokud však současný investor požaduje „zařízení pro čištění odpadní vody“, jehož součástí může septik být a očekává dlouhodobě fungující udržitelný systém bez dotace elektrické energie, musí již v prvopočátku sáhnout po kvalitním výrobku. V tom okamžiku nastává čas na otázku: co je to kvalitní výrobek – kvalitní septik?

Tato otázka inspirovala výzkumný kolektiv řešitelů projektu ANASEP k popsání metody, založené na testování hydraulické účinnosti vícekomorových septiků. V současné době je tato problematika řešena pouze v normě ČSN EN 12566-1: Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel – Část 1: Prefabrikované septiky.^[2] Celé testování je však založeno na jiném principu, tzv. konduktivní metodě, spočívající v pozorování změny elektrické konduktivity kapaliny ve vybraném pozorovacím uzlu sledovaného septiku.

Cílem práce je modelování jak fyzikální, tak matematické – se zaměřením na proudění vody v septicích, srovnání vhodnosti a náročnosti použitého řešení. Práce popisuje novou testovací metodu pro vyhodnocení vhodnosti uspořádání vícekomorových septiků a zároveň se část práce věnuje popisu definování matematického modelu v prostředí COMSOL Multiphysics ve 2D rovině i 3D prostoru.

1.1 Současná pravidla pro návrh septiků (norma ČSN)

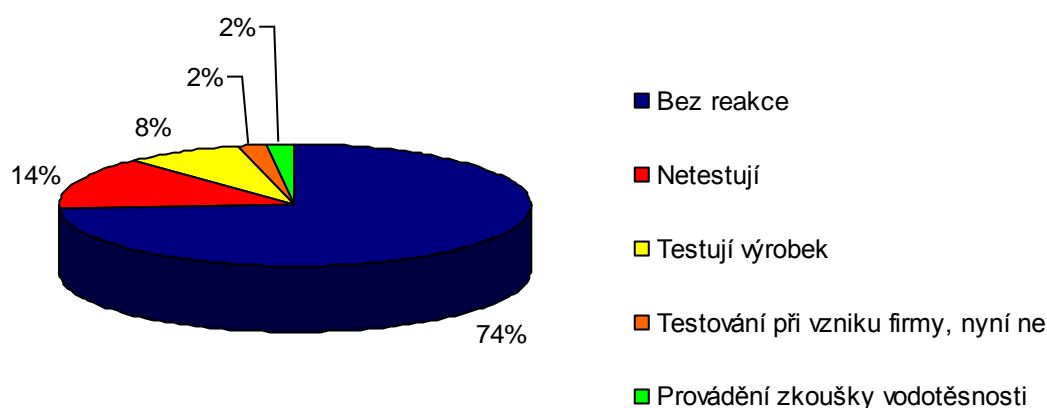
Požadavky na provádění septiků jsou velmi mírné. Dle normy ČSN EN 12566-1 „Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel“ se nejmenší jmenovitá světlost potrubí na přítoku a odtoku volí s ohledem na jmenovitou velikost septiku. Konkrétně potrubí DN 100 do objemu 6 m³ a DN 150 pro objemy větší, než 6 m³. Uspořádání přítokového a odtokového potrubí se navrhuje tak, aby při maximálním průtoku nedošlo k přetížení, ani ke vzduťi na přítoku. V normě je také popsáno použití norných stěn v kombinaci s otvory prostupů provedenými tak, aby nedošlo k jejich ucpání.^[2]

Můžeme diskutovat nad vhodností nebo nevhodností následující popsané metody. Jediný doporučený výpočet nutného objemu septiku je popsán v normě „ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel“, vychází z průměrného průtoku septikem. Předpokládá absolutně rovnoměrné průtok vody celým objemem vody. Rozhodujícím parametrem pro optimální návrh septiku je zároveň doba zdržení (doporučená doba zdržení odpadní vody v septiku je 3-5 dní).^[5] Počítá se se zaplněním celého prostoru septiku (nad sedimentovaným kalem). Pokud ale nastane extrémní hydraulická zátěž, která je právě pro udržitelnost systému klíčová, vznikají zkratové proudy a současně dochází k uvolňování sedimentovaných částic.^[3]

Existující metodika, popisující zkoušku hydraulické účinnosti, je jako příloha uvedena v normě ČSN EN 12566-1, Příloha B – Zkouška hydraulické účinnosti. Následující obrázek č. 1 schematicky zobrazuje zkušební zařízení při provádění výše zmíněné zkoušky. K simulování usaditelných látek se používají polystyrenové kuličky.^[2]

V rámci průzkumu, provedeného při zpracování diplomové práce, jsem oslovila celkem 50 výrobců s dotazem, zda posuzují hydraulickou účinnost dle uvedené normy. Získala jsem odpovědi od třinácti firem, z nichž sedm bylo záporných. Dva z dotazovaných výrobců sice odpověděli kladně, ale z přiložených protokolů o zkoušce typu výrobku je zřejmé, že při testování septiků provádí pouze zkoušku jmenovité velikosti a vodotěsnosti zařízení.

Provádění zkoušky hydraulické účinnosti



Otázkou je, proč tomu tak je? Při podrobném studiu normy, Příloha B (normativní) – Zkouška hydraulické účinnosti se dočteme, že k provedení výše zmíněné zkoušky je potřeba disponovat nejen hydraulickou soustavou s několika hradítky, regulátory průtoku, mísicím zařízením, ale zejména je potřeba pořídit polystyrenové kuličky o přesně definované velikosti + detergent s názvem TWEEN 80.
[2]

Pokusila jsem se podle postupu výše zmíněné zkoušky na trhu sehnat polystyrenové kuličky o definovaném podílu 50 ppm (mg/l) až 2000 ppm, zároveň splňující podmínku velikostní třídy 0,3 – 0,4 mm a 0,4 – 0,5 mm, hustoty 1,040. Přesto, že v normě není uvedena jednotka, pokoušela jsem se dohledat produkt o objemové hmotnosti 1,04 g/cm³.^[2] S největší pravděpodobností takto postupují i všichni výrobci septiků – bez úspěchu.

Rozhodla jsem se definovat vlastní metodu pro testování - jednodušší, efektivnější, objektivnější. Nalézt ale objektivní metodu testování hydraulické účinnosti je velice složitý úkol, protože v reálném uspořádání a řešení, je septik ovlivněn mnoha parametry. Jedním z nejdůležitějších je, hned po technickém řešení prostoru, průtok. Zajímá nás také výška akumulovaného kalu a hydraulická charakteristika kalu. Pro nastavení nejméně příznivých podmínek můžeme vycházet z nejhorší možné kombinace jednotlivých faktorů a následně ji podrobit vzájemnému srovnání různých variant.

Lze očekávat, že septik bude při minimálních průtocích obstojně zadržovat nerozpuštěné látky, plovoucí částice budou v dostatečné míře sedimentovat a septik tak bude vykazovat spolehlivý provoz odhadem během minimálně 95 % provozovaného období.

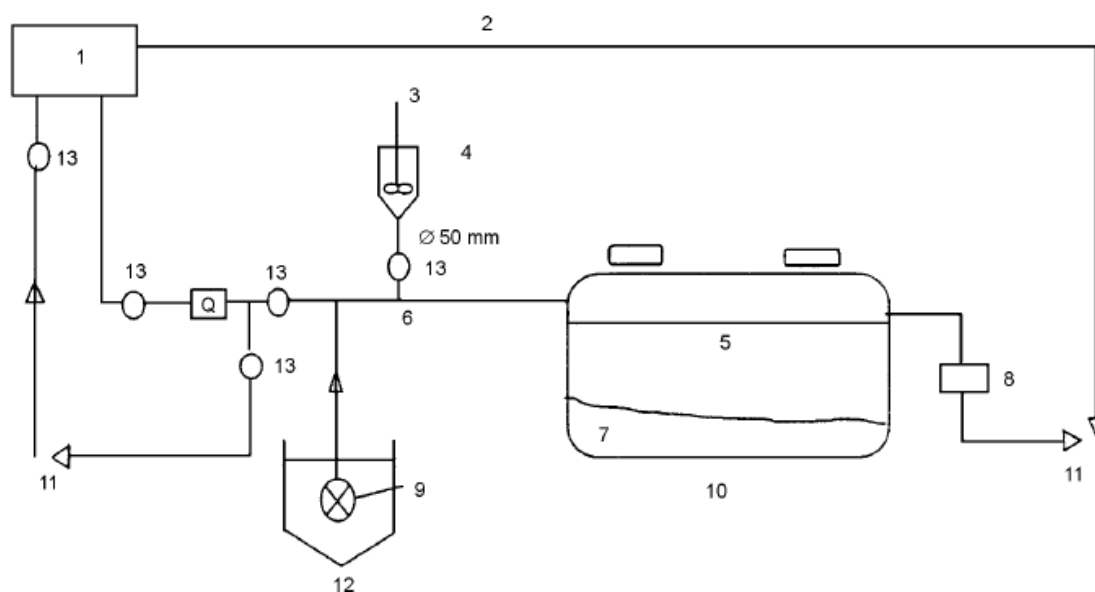
Naopak, v případě extrémního průtoku vody, který může nastat např. při současném vypouštění pračky v kombinaci se spláchnutím toalety, sprchováním a dalším zdrojem odpadní vody, může docházet k nežádoucímu rozvíření do té doby sedimentovaného kalu. Popsaná situace způsobuje uvolnění částic akumulovaného kalu, jejich následné vyplavování z prostoru septiku a pozvolnou akumulaci v dalším čisticím zařízení. Důležitým faktorem je také propojení domovního odpadu se septikem (délka a sklon potrubí).

Jako dočišťovací zařízení za septikem jsou často používány zemní filtry (pískový, štěrkový, štěrkopískový, biologický zemní filtr), ať už v podobě plastové nádrže nebo jímký izolované od podloží hydroizolační fólií.^[4] Případně a méně často, bývá za septikem řazena kořenová čistírna odpadních vod. Obě varianty jsou založeny na procesu filtrace, proto při uváděné extrémní situaci dochází k postupnému ucpávání, zanášení, kolmataci (zaplňování pórů hornin jemnými částicemi vedoucí ke zmenšování pórovitosti a propustnosti hornin) filtru (Křiška-Hyánková, 2013).

Další alternativou může být využití septiků v obcích s fungující biologickou čistírnou odpadních vod, avšak nízkou hustotou obyvatelstva. U každého domu je zabudovaný septik, kde se zachytí nerozpuštěné látky a sedimentuje kal. Maloprofilovou kanalizací se takto předčištěná odpadní voda odvádí na čistírnu gravitačně nebo se čerpá. Výhodou jsou menší profily kanalizace, malý spád a

méně hluboké výkopy. Dočištění předčištěných odpadních vod poté probíhá např. v aerobní biologické nádrži (Šálek a kolektiv, 2012).

B.1 Zkušební zařízení



Legenda:

- | | |
|---|--|
| 1 přívod vody | 8 filtr |
| 2 přeпад | 9 čerpadlo |
| 3 mísicí zařízení | 10 septik |
| 4 mísicí nádrž o objemu 10 l
pro usaditelné částice | 11 stoka |
| 5 voda | 12 mísicí nádrž pro polystyrenové kuličky + TWEEN 80 + voda
(přívod syntetického kalu ze dna) |
| 6 sklon potrubí 2 % | 13 hradítko pro nastavení průtoku |
| 7 50 % omočeného objemu
polystyrenových kuliček + TWEEN 80 | |

Obr. 1 Příloha B – Zkouška hydraulické účinnosti^[2]

Lze si představit, že pokud se v laboratorních podmínkách zatíží septik konstantním průtokem o průměrné intenzitě (Q_p), bude docházet k diametrálně odlišnému šíření proudnic v prostoru septiku, než při extrémním a nerovnoměrném průtoku vody. V laboratorních podmínkách tedy nejspíše dochází k jiným bodovým rychlostem uvnitř prostoru, tzn. k jiné sedimentaci, než v případě reálného rozkolísaného průtoku. Jak ale nastavit v laboratorních podmínkách reálný průtok? Jaký je kritický průtok (maximální možný) pro vícekomorový septik?

Reálná situace se nemůže v laboratorních podmínkách nikdy napodobit. Dospěla jsem k závěru, že musíme septiky testovat konstantním průtokem. Pokud se nastaví stejný průtok pro různé typy septiků (různí výrobci) a srovnají se výsledky odtokových koncentrací zjištěné konduktivní metodou, získáme objektivní srovnání vhodnosti uspořádání septiku.

Objem septiku vychází z průměrné doby zdržení a průměrného průtoku. Doporučená doba zdržení odpadní vody v septiku je 3-5 dní, což zabezpečuje minimální účinnost až 30 % na odstranění organického znečištění.^[5] Septik primárně slouží k zachycení co možná největšího množství nerozpuštěných látek (NL). U nesprávně navrženého septiku hrozí jejich postupné uvolňování a následné zanášení a ucpávání prostoru dalšího stupně čištění (pískový/šterkový zemní filtr, kořenová čistírna aj. filtrační zařízení) (Kriška-Hyánková, 2013).

Pro správné hodnocení čistící účinnosti je potřeba znát, jak septik funguje při extrémní zátěži (popsané výše). Jak bude septik vyplavovat nerozpuštěné látky? Lze vůbec předem určit, jaká bude jeho čistící účinnost? Ne. Na základě reálné doby zdržení vody v prostoru septiku lze určit, jestli je možné očekávat dostačující odtokové parametry, viz tabulka č. 1.^[4] Pokud se v septiku voda zdrží delší dobu, s největší pravděpodobností budou bodové rychlosti v celém objemu pomalejší. Čím pomalejší rychlosti budou vznikat, tím účinněji bude septik pracovat a současně se tím oddálí problémy s kolmatací filtračních náplní navazujících zařízení.

Tab. 1 Ukazatele a emisní standardy pro odpadní vody vypouštěné z jednotlivých staveb pro bydlení a rekreaci^[6]

EO	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N-NH ₄ ⁺	NL	P _c	Escherichia coli	Enterokoky
< 10	150	40	20	40	10	-	-
10 - 50	150	40	20	40	10	50 000	40 000
> 50	130	30	20	30	8	50 000	40 000

1.2 Septiky a zkušenosti v zahraničí

Testováním hydraulické účinnosti vícekomorových septiků, se podle námi zpracované literární rešerše, v Evropě ani ve světě nikdo příliš nezabývá. Provádí se například testování vnějších vlivů na výslednou čistící účinnost. Příkladem můžou být výsledky kolektivu autorů (Luostarinen et al., 2007), kteří se zabývali vlivem teploty na výslednou čistící účinnost septiků. Studován byl vliv sezónních změn teploty v Severní Evropě a vliv nízké teploty na výkon UASB - septiků, pokud jde o odstranění nerozpuštěných látek (NL) a rozpuštěného organického materiálu.

Závěrem výzkumu je bezvýznamný vliv teploty na odstranění NL při čištění vody. Výsledky testování septiků se vzestupně protékanou vrstvou anaerobního kalu (UASB) ukázaly použitelnost těchto septiků pro splaškové vody i při teplotách nižších než 15 °C. Další výsledky, určující vliv nízké teploty, přinesli (Luostarinen a Rintala, 2007), přičemž pozorovali anaerobní čištění směsi splaškové vody a kuchyňského odpadu. Smíšená odpadní voda produkovala více metanu, než samotná splašková voda.

Podobnou tematikou se zabývali i (Jamal-Mahmoud, 2009), kteří monitorovali dva vzestupně protékané septiky během chladného období roku a představili tak efektivní technologii anaerobního předčištění odpadních vod při nízkých teplotních podmínkách v Palestině. Nízkou teplotou, konkrétně jejím vlivem na anaerobní filtraci, se zabývali i autoři (Viraraghavan a Dickenson, 1991). Výkonem vzestupně protékaného septiku (v poloprovozním měřítku) v místě decentralizovaného čištění domovního odpadu se rovněž zabýval kolektiv autorů (Moussavi, Kazembeigi a Farzadkia, 2010).

Jednou z možností zvýšení čistící účinnosti septiků, může být vystavení protékající odpadní vody elektrickému proudu. Autoři (Zaveri a Flora, 2002) se zaměřili na možnosti využití elektrického proudu, v souvislosti se zlepšením odstranění chemické spotřeby kyslíku ($CHSK_{Cr}$). Toto testování probíhalo za průchodu elektrického proudu v rozmezí 100 až 500 mA elektrodami umístěnými v septiku naplněném syntetickým materiálem. Dle podmínek studie je hlavním přínosem elektrolytické stimulace lepší odstranění CHSK. S vyššími úrovněmi procházejícího proudu byla zjištěna vyšší účinnost odstranění znečištění. Při průchodu proudu 300 mA bylo dosaženo snížení hodnoty CHSK ze 400 mg/l na 100 mg/l během jednoho dne.

Snížením odtokových koncentrací chemické spotřeby kyslíku se zabýval také Sabry (2010). Testování nízko nákladového septiku se vzestupným prouděním v první komoře ukázalo během ročního nepřetržitého provozu velmi uspokojivé výsledky odebraných vzorků - průměrné výsledky CHSK, BSK a nerozpuštěných látek při účinnosti jejich odstranění dosahovaly 84 %, 81 %, a 89 %. Druhá komora (anaerobní tlumicí reaktor) byla hlavní čistící jednotkou při odstraňování znečišťujících látek. Při poklesu z průměrných 35 °C v letním období na 22 °C v zimním období, ukázaly výsledky mírné ovlivnění poklesem teploty - snížení hodnot biologické a chemické spotřeby kyslíku o 9 %, což koresponduje s výsledky kolektivů (Jamal a Mahmoud, 2009; Viraraghavan a Dickenson, 1991).

Kromě testování vícekomorových septiků je, jak ukazují zahraniční studie, problematické i samotné rozšíření výrobků mezi veřejností. Stejně jako v České republice jsou ceny septiků přibližně srovnatelné s „balenými“ čistírnami odpadních vod, založenými na aktivačních procesech. Jelikož za septikem musí být zařazen ještě další stupeň čištění, vychází následně septik investičně méně výhodně, než balená aktivační čistírna.

Příkladem může být oblast Baltimore v USA, která se vlivem nedokonalé kanalizační infrastruktury zaměřila právě na intenzivnější využívání septiků. Problémem jsou však negativní důsledky na životní prostředí, protože septiky jsou zdrojem dusíku - hlavní znečišťující látka zálivu Chesapeake (Harrison et al., 2012). Přísunem živin do podloží z vytékajících odpadních vod se zabýval také kolektiv autorů

(Gill et al., 2009), nebo (Withers et al., 2012). Poměrně vysoké zatížení dusíkem bylo zjištěno u septiku vypouštějícího odpadní vodu do vysoce propustného podloží, které neumožňovalo denitrifikaci. Pohyb dusíku v podzemní vodě, vyplavovaného z domovního septiku, byl studován i nedaleko Perthu v západní Austrálii (Gerritse et al., 1995), kde se Whelan (1986) již o mnoho let dříve zabýval srážením fosforu z vody vytékající ze septiku.

Kolektiv autorů (Beal et al., 2006) se pro změnu zabýval zhodnocením dlouhodobého průtoku odpadní vody při průchodu sloupci půdy. Hydraulické vlastnosti půd byly měřeny buď přímo ze sloupců půdy, nebo vypočítány pomocí zavedené teorie fyziky půd. Ve všech typech půd byl pozorován vztah mezi biologickou odolností a množstvím organického zatížení.

Autoři (Perdomo, Bangueses, Fuentes, 1999) se zabývali primárním operačním vyhodnocením konvenčního systému v rybnících využívaných v Uruguay, jakož i potenciálním využitím vodních makrofyt ke zlepšení čištění vody v septiku. Účinnost odstranění BSK₅ byla 80,0 %, CHSK 58,5 %, dále 75,8 % NH₄⁺-N a 9,5 % PO₄³⁻-P, čímž dospěli k závěru, že umělé mokřady by mohly vézt k lepším účinnostem čištění odpadní vody. Můžeme se však setkat i s možným rizikem účinku septiků na eutrofizaci, jak tomu bylo u venkovských toků sledovaných týmem vědců (Withers, Jarvie, Stoate, 2011).

Problematikou nutrientů na odtoku ze septiků se zabývá spousta vědeckých skupin po celém světě, např. autoři Montangero a Belevi (2007) pro výzkum zaměřený na separování dusíku a fosforu vyvinuli jednoduché modely, založené na fyzikálních a biochemických procesech probíhajících v septicích, jímkách a latrínách. Tato metoda přispívá ke snížení zatížení životního prostředí živinami, ke snížení spotřeby energie a neobnovitelných zdrojů pro výrobu hnojiv. Výzkum proběhl v rámci sanitárního systému v Hanoi, ve Vietnamu (Montangero, Belevi, 2007). Odstraněním celkového fosforu se zabýval také kolektiv autorů (Liu Wen et al., 2011).

Bezpečným a environmentálně šetrným odstraňováním kalu ze septiků se zabýval i kolektiv autorů (Valencia et al., 2009). Spolu likvidace kalu ze septiků měla pozitivní vliv na proces stabilizace tuhého komunálního odpadu (TKO) v simulátorech bio reaktoru při skládkování. Simulátor přijímající kal ze septiků vykazoval o 200 dnů kratší lagovou fází (úvodní fáze při umělé kultivaci bakterií), ve srovnání s 350 dny vyžadovanými řídicím simulátorem pro spuštění exponenciální výroby bioplynu.

Mezi další možnosti redukce patogenů v kalu ze septiku patří vermikompostování - použití žížaly hnojní na přeměnu organického odpadu na hnojivo (Rodríguez-Canché et al., 2010).

Spolu se zájmem o čištění odpadních vod a nakládání s nimi vzrostlo i používání přídatných látek neboli stimulátorů pro septiky. Jedná se o výrobky, sloužící k urychlení zpracování usazenin, odstranění pěny u hladiny, zlepšení usazování nerozpuštěných látek prostřednictvím koagulace, nebo oživení ucpaných půdních absorpčních systémů za septikem. Otázkou je prospěšnost přípravků pro systém septiků, zejména ekonomická návratnost vynaložených investic. Výzkumná studie profesora Grosse (2002) ukázala, že k odumření bakterií v septiku může dojít v důsledku přítomnosti toxických látek, anti-bakteriálních přípravků nebo léků.

Práce kolektivu autorů (Philippi et al., 1999) pro změnu hodnotí účinnost systému složeného ze septiku a následující kořenové zóny, sloužící k čištění kapaliny vytékající ze septiku. Podle národních statistických údajů čistí odpadní vodu pomocí septiku pouze 5% lidí ve venkovských oblastech v Brazílii, což negativně ovlivňuje podzemní vodu a vodu v řekách. Pro čištění domovních odpadních vod byl v různých situacích použit kombinovaný systém septik-filtr, který prokazoval vždy vynikající výsledky.

Kolektiv autorů v České republice (Plotěný et al., 2014) vyvíjí konstrukčně nový typ septiku s optimalizovaným prouděním a maximálním využitím prostoru z hlediska účinnosti odstranění nerozpuštěných látek (NL), které ovlivňují také odtokové koncentrace nutrientů a organických látek. Cílem projektu je optimalizace doby zdržení odpadní vody ve čtyřkomorovém septiku a eliminace zkratového proudění. Provedené první testy, realizované v naší spolupráci, prokázaly možnost zvýšení účinnosti odstranění organických látek optimalizací a intenzifikací užitečných objemů, dále pomocí ohřevu a také využitím anaerobního reaktoru UASB.

Součástí co nejlepšího fungování systému septiku může spočívat v úpravě stávajících septiků pomocí nalezení optimálního polohy rozrážecí stěny, které souvisí s koncentrací uvolněného kalu do odtokového potrubí. Touto problematikou se ve své práci zabývali autoři (Kriška-Hyánková, 2013). Pomocí matematického modelu se zaměřili na odtokové koncentrace uvolněného kalu ze dna septiku, přepočteného na předpokládanou koncentraci nerozpuštěných látek. Ukázalo se, že ideální kombinací pro dané řešení (jedna komora velkoobjemového septiku o rozměrech 8,0 x 3,0 x 3,0 m) je výška vtoku v rozmezí 0,3 – 0,7 m v nad úrovni kalu v kombinaci s udržováním kalu na úrovni 0,4 – 0,8 m ode dna komory.

2 Metodika měření

Metoda, pomocí které jsem srovnávala a následně vyhodnocovala hydraulickou účinnost vícekomorových septiků, je založena na konduktivním zjišťování koncentračních rozdílů ve vybraných profilech při konstantním průtoku tekutiny septikem. Pro zjednodušení se jedná o pozorování septiku, který je naplněn pitnou vodou a zároveň je napouštěn slanou vodou, přičemž se sleduje koncentrace soli na odtoku. Předpokládá se, že vlivem mísení vody v komorách, vznikem zkratových proudů, uspořádání nosných prvků, vlivem tvaru komory, umístění norných stěn, velikosti otvorů mezi komorami aj., se docílí ve stejném čase vždy různé koncentrace slané vody v odtokovém prostoru.

Předpoklad vychází z úvahy, že čím později se začne slaná voda v odtoku projevovat, tím je lepší hydraulické uspořádání a lze očekávat i delší dobu zdržení vody v septiku. Pokud se zároveň využije gravitačního způsobu sedimentace látek a převažujícího průtoku kapaliny směrem vzhůru, bude docházet s největší pravděpodobností k výrazně lepší sedimentaci kalových částic, resp. k účinnější separaci nerozpuštěných látek (NL).

Konduktivní metoda v tomto případě spočívá ve sledování poměru mezi pitnou a vodou s přídavkem draselné soli KCl, nebo hořké soli MgSO₄. Pro rozlišení jednotlivých složek je potřeba nejprve stanovit vodivost (konduktivitu) obou tekutin zvlášť.

Pro pokus byly použity výše uvedené dva druhy solí splňující následující vlastnosti. Dobrá rozpustnost i ve studené vodě, nepoškozující životní prostředí ani lidské zdraví, snadné stanovení přítomnosti látky ve vodě, v přírodních vodách se ve vyšších koncentracích běžně nevyskytují, nemají tendenci rozpadat se, nereagují chemicky s ostatními materiály, jdou snadno analyzovat i při nízkých koncentracích.

K odhadu maximální hodnoty konduktivity slouží empirický vzorec (Juraschek, 2002)

$$K = (b \cdot M) / Q \text{ [mS/cm]}$$

K ... navýšení konduktivity (rozdíl mezi nejvyšší hodnotou konduktivity, která bude v průběhu měření dosažena a původní hodnotou kapaliny)

M ... množství dávkované soli [kg]

Q ... průtok [m³/s]

b ... konstanta

b = 10 pro rychlé promíchání

b = 20 pomalé, horší promíchání

Potřebné množství dávkované soli závisí na daném objemu a maximální hodnotě konduktivity, které je potřeba dosáhnout. Malé množství soli způsobí, že křivka bude v závěrečné fázi měření plochá. Naopak u příliš velké dávky soli dojde k rychlému nárůstu křivky vlivem velkého přírůstku konduktivity. V tomto případě může vzniknout chyba měření (Kopáč, 2007).

Celý postup měření pro účely testování hydraulické účinnosti vícekomorových septiků lze rozdělit do několika dílčích částí:

- 1) Příprava vícekomorového septiku
- 2) Příprava vody určené pro čerpání
- 3) Příprava pokusu
- 4) Spuštění pokusu a měření
- 5) Příprava čtyř komorového septiku
- 6) Příprava vody určené pro čerpání
- 7) Příprava pokusu
- 8) Spuštění pokusu a měření
- 9) Zpracování naměřených dat
- 10) Vyhodnocení naměřených dat, kategorizace

2.1 Uspořádání testovaných septiků

2.1.1 Uspořádání č. 1 – standardní řešení

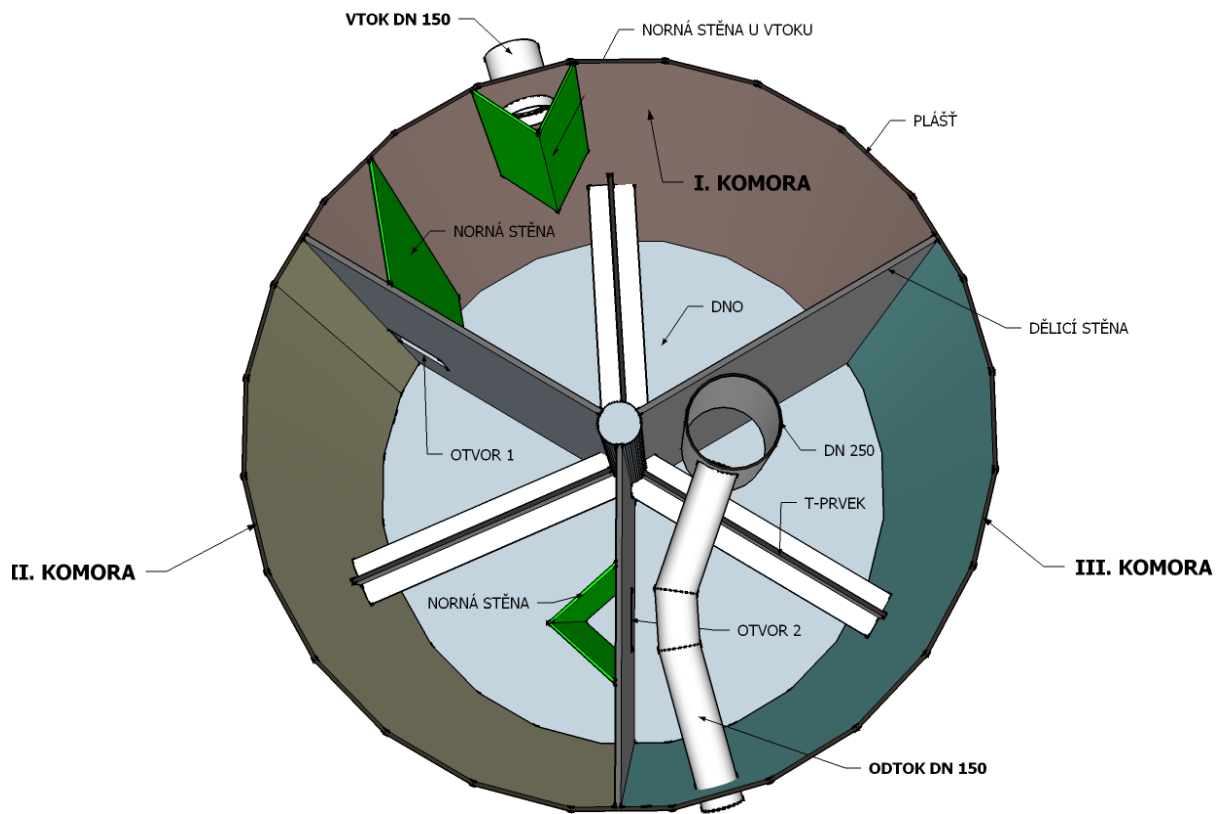
Kruhový septik je vyroben z polyetylénu (PE) o tloušťce stěny 8 mm. Má tvar válcového tělesa o vnitřním průměru 1,9 m a výšce 1,9 m. Vnitřní prostor je rovnoměrně rozdělen stěnami z PE na tři komory, pod úhlem 120°, tloušťka dělicích stěn je 15 mm.

Přítokové potrubí DN 150 je umístěno na vnější stěně válcového tělesa, ve středu první komory, 0,2 m od horního okraje stěny septiku. Potrubí zasahuje 30 mm do prostoru první komory. Ve vnitřním prostoru před přítokovým potrubím je ve výšce 1,16 m ode dna septiku umístěna norná stěna vysoká 0,75 m (vyvedena nad hladinu), sloužící k usměrnění kapaliny přitékající do standardního tří komorového septiku. Norná stěna má tvar rovnostranného pravoúhlého trojúhelníka o délkách stran 0,2 m. Vidět ji můžeme uprostřed následujícího obrázku č. 2.

Prostup do druhé komory septiku tvoří čtvercový otvor (otvor č. 1) o rozměru 0,2 x 0,2 m, který je umístěn ve výšce 0,5 m ode dna, u vnější stěny válcového tělesa. Vtok do otvoru je z první komory septiku zahrazen příčkou z PE, šířky 0,3 m, výšky 1,6 m, kterou vidíme na předchozím obrázku č. 1. Příčka, sloužící jako norná stěna, je umístěna ve vzdálenosti 0,3 m ode dna válcového tělesa a je pomocí svařovacího drátu upevněna k vnější stěně septiku a k dělicí stěně mezi oběma komorami. Uvnitř této norné stěny, tedy nad otvorem č. 1 vzniká nevyužitý prostor, ve kterém nedochází k cirkulaci proudící kapaliny.

Prostup do poslední, třetí komory, je taktéž tvořen čtvercovým otvorem (otvor č. 2) o rozměrech 0,2 m. Spodní hrana otvoru je v úrovni 0,5 m ode dna, ve vodorovné vzdálenosti 0,35 m od vnější stěny tělesa septiku. Prostup je zahrazen PE úhelníkovým rozražečem umístěným ve středu dělicí stěny mezi druhou a třetí komorou septiku. Rozražeč má stejný půdorysný tvar a rozměry, jako norná stěna na přítoku. Celková délka druhého rozražeče je 1,7 m a je umístěn 0,2 m nade dnem septiku. Uvnitř této úhelníkové norné stěny, nad otvorem č. 2 opět vzniká nevyužitý prostor, ve kterém nedochází k cirkulaci kapaliny protékající septikem. Norná stěna je připevněna k dělicí stěně rovněž pomocí svařovacího drátu.

Ve třetí komoře je horizontálně umístěno odtokové potrubí DN 250, z PVC, délky 0,5 metru. Potrubí je pomocí PE kusu připevněno k dělicí stěně mezi první a třetí komorou septiku. Spodní okraj potrubí je umístěn ve výšce 1,2 m ode dna septiku, horní okraj zasahuje do úrovně 1,7 m ode dna. Na toto potrubí je vodorovně napojeno potrubí DN 150, délky 2 x 0,4 m, spojené kolenem. Potrubí tak tvoří překlenutí třetí komory. Ohyb vodorovného potrubí je na úrovni úhelníkového rozražeče umístěného na dělicí stěně mezi oběma komorami, což je patrné z obrázku č. 3. Veškeré spoje jsou provedeny svařením.



Obr.2 Vnitřní uspořádání tří komorového septiku

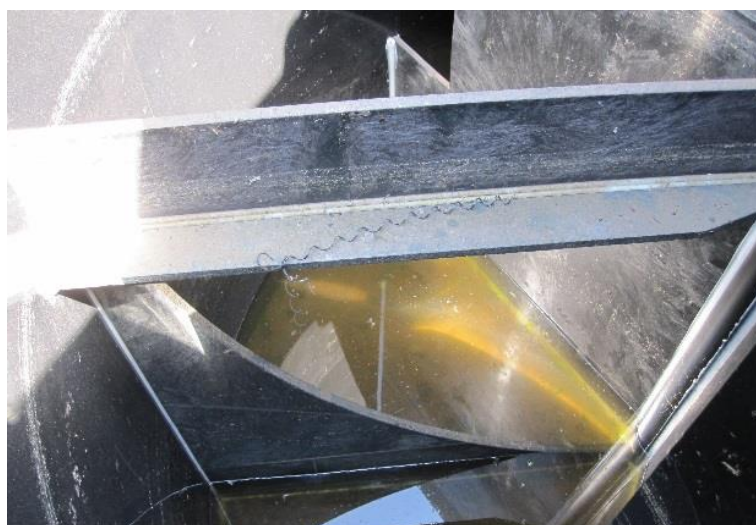


Obr. 3 Standardní tří komorový septik – uspořádání č. 1



Obr. 4 Norná stěna u přítokového potrubí a před čtvercovým otvorem v dělicí stěně septiku

Každá ze tří komor je ve svém středu vyztužena konstrukcí, kterou tvoří vodorovně umístěný T-profil a kolmo pod ním umístěný čtvercový PP plát se čtvrtkruhovým otvorem. Rozměr a provedení T-profilů je u všech komor stejné. Spojení se dnem a vnější i vnitřní stěnou septiku je provedeno pomocí PP svařovacího drátu. Výška vyztužení sahá do úrovně 0,91 m ode dna. Zakončeno je obráceným T-profilem s šířkou 0,15 m, výškou 0,13 m a tloušťkou stěny 15 mm. Stěna výztuhy je vyrobena z PE. Průtočný profil spodní části septiku tvoří čtvrtkruhový otvor vyřezaný ve stěně vyztužení. Otvor je situován rovnou stranou ke středu septiku a obloukem k jeho okraji. Detail provedení T-prvku v komoře standardního kruhového tří komorového septiku je vidět na obrázku č. 5.



Obr. 5 Detail T-prvku v komoře septiku



Obr. 6 Provedení odtokového potrubí DN 150



Obr. 7 Původní řešení uspořádání septiku – čtvercový otvor v dělicí stěně

Z důvodu vysokého procenta složky slané vody ve sladké bylo přistoupeno k úpravě původního řešení standardního tří komorového septiku. Dalo se očekávat, že v původním uspořádání č. 1 došlo při průtoku tekutiny septikem ke vzniku zkratových proudů, ovlivňujících dobu zdržení. Vypočítaná doba zdržení kapaliny v septiku při prvním uspořádání byla 3 dny. Změna vnitřního uspořádání komor by měla vést především k prodloužení dráhy částic protékajících standardním tří komorovým septikem a tím pádem i k prodloužení doby zdržení.

2.1.2 Uspořádání č. 2 – změna prostupů

V první komoře byla odstraněna příčka z PE, výšky 1,5 m, která sloužila k zahrazení vtoku kapaliny do čtvercového otvoru č. 1. Ve druhé komoře byl odstraněn trojúhelníkový rozražeč tvaru rovnostranného pravoúhlého trojúhelníka o délkách stran 0,2 m, délce třetí (imaginární) stěny 0,27 m a středové výšce 0,16 m, sloužící jako norná stěna.

Oba otvory o rozměrech 20 x 20 cm ve stěnách komor, byly zaslepeny výřezem stejného rozměru z polypropylenu (PP), pomocí PP svařovacího drátu vloženého do svařovací pistole za teploty 350°C. Uvedené změny lze vidět na obrázku č. 8.



Obr. 8 Odstranění rozražeče a zaslepení otvoru ve druhé komoře

Ve stěnách mezi první a druhou i druhou a třetí komorou byly vyvrtány otvory DN 110 pro umístění potrubí. Otvory jsou situovány 20 cm od vnější stěny septiku a 20 cm pod úroveň hladiny vody v septiku, tedy 0,42 m od horního okraje dělicí stěny septiku. Na přítoku vody z první komory do potrubí je toto PP-H potrubí řešeno kolenem a kolmým prostupem skrz dělicí stěnu do druhé komory septiku. Délka vodorovné části potrubí je 0,35 m. Koleno odtokového potrubí je umístěno 8 cm pod úroveň hladiny vody po napuštění první komory.

Ve druhé komoře je napojení obou potrubí řešeno T-prvkem ze stejného materiálu. Horní část potrubí délky 0,35 m sahá nad úroveň hladiny, pro možnost kontroly v případě ucpání potrubí. Dolní část o délce 1,0 m je vyvedena do úrovně 0,47 m ode dna, jak vidíme na obrázku č. 9. Jednotlivé kusy potrubí jsou spolu spojeny pomocí PP svařovacího drátu za použití tavicí pistole. Svařeno je také okolí prostupu potrubí DN 110 dělicí stěnou septiku.



Obr. 9 Detail provedení potrubí DN 110

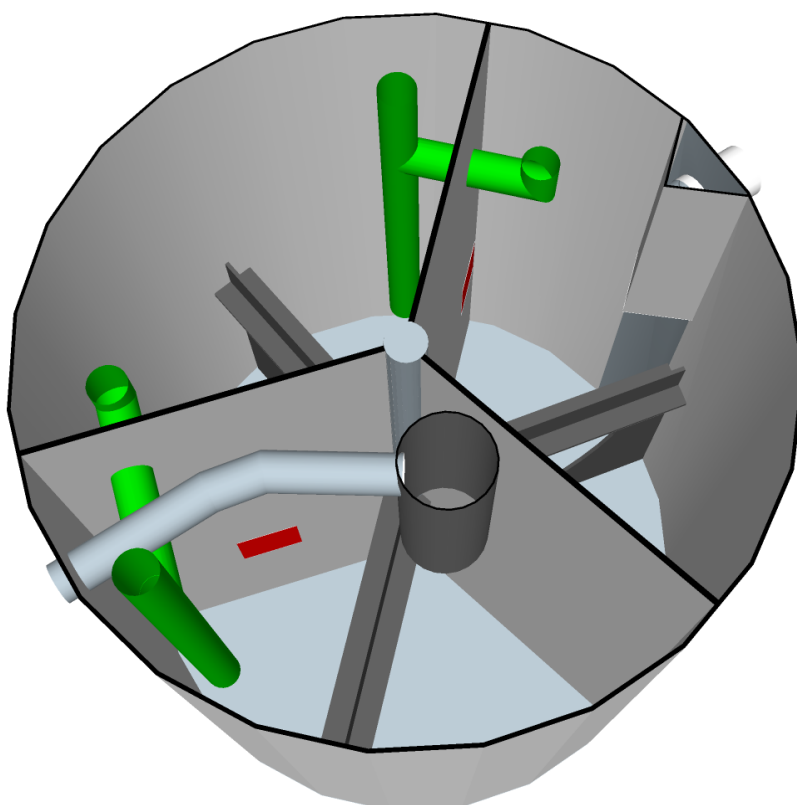
Prostup PP-H potrubí z druhé do třetí komory septiku je řešen stejně jako v předešlém případě pomocí T-prvku s napojeným potrubím, pouze je jeho vodorovná část PP-H potrubí protažena o 0,15 m z důvodu křížení vodorovného odtokového potrubí DN 150 překlenujícího třetí komoru. To můžeme vidět na následujícím obrázku č. 10. Odtokové potrubí DN 250 bylo zachováno ve stejném provedení, jako v původním řešení standardního kruhového tří komorového septiku.



Obr. 10 Detail křížení potrubí DN 110 s odtokovým potrubím DN 150



Obr. 11 Uspořádání č. 2 – propojení komor



Obr. 12 Pohled na standardní tří komorový septik při druhém uspořádání

Tímto zásahem do původního provedení se mělo docílit lepšího promíchání přitékající slané vody ve sladké, kterou byl naplněn celý objem standardního tří komorového septiku. Voda se tedy uměle dovedla z hladiny předchozí komory do středu komory následující. Protékající voda tak musela urazit

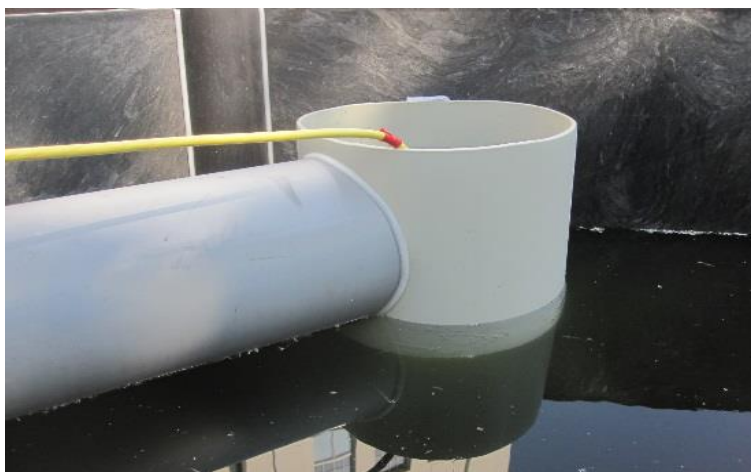
delší vzdálenost a, jak jsme očekávali, došlo k jejímu lepšímu promíchání. Proběhly stejné pokusy, jako v předchozím případě, aby bylo možné porovnat získané výsledky s předchozím měřením.

Vzhledem ke skutečnosti, že rezerva při vyhodnocení procentuálního naplnění standardního tří komorového septiku čerpanou vodou byla značná, přistoupilo se k jeho další úpravě, aby se docílilo ještě lepších výsledků měření.

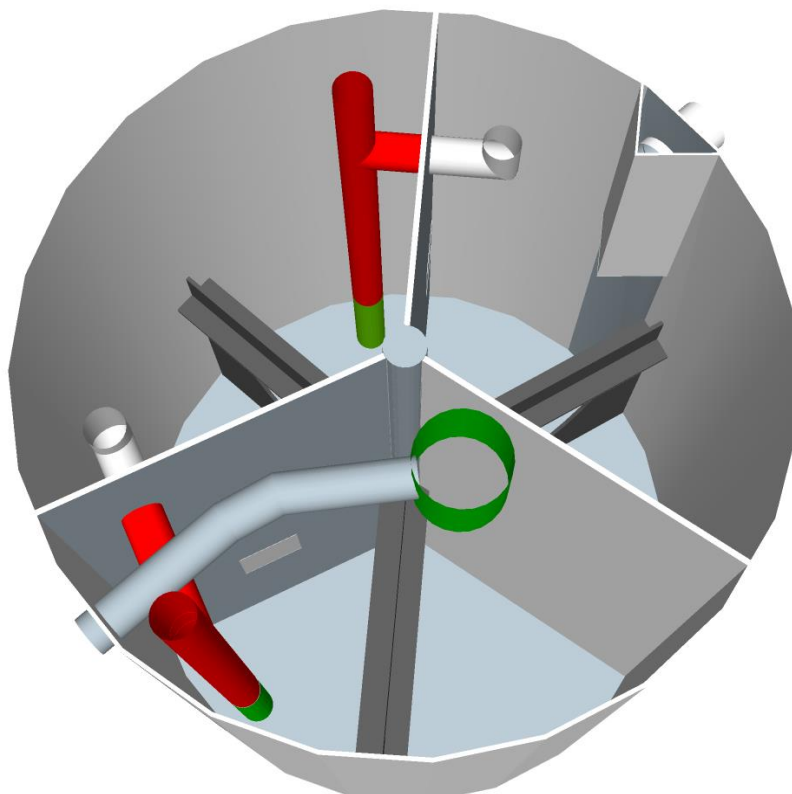
2.1.3 Uspořádání č. 3 – prodloužení potrubí

Ve stávajícím uspořádání tří komorového septiku bylo prodlouženo svislé PP-H potrubí DN 110 o 47 cm, tedy do úrovně 5 cm ode dna septiku. Tato úprava se týkala obou komor. Tím jsme zajistili, že tekutina protékající celým objemem septiku urazí nejdélší možnou vzdálenost od přítoku po odtok z poslední komory. Předpokladem bylo důkladné promíchání sladké a přitékající slané vody.

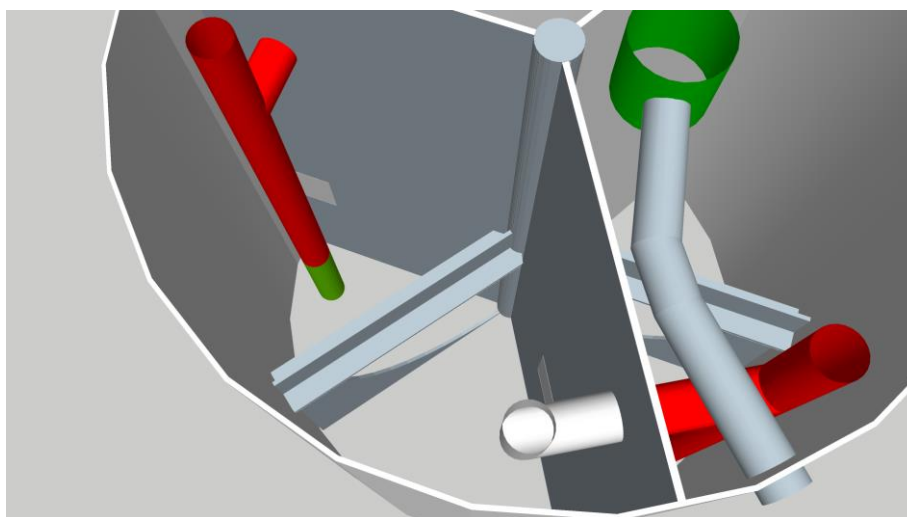
Propojení jednotlivých komor pomocí potrubí DN 110 zůstalo zachováno. Současně bylo zkráceno horizontálně umístěné odtokové potrubí DN 250 o 0,4 m tak, že jeho spodní okraj je nyní v úrovni 5 cm pod úrovní hladiny, jak je vidět na obrázku č. 13.



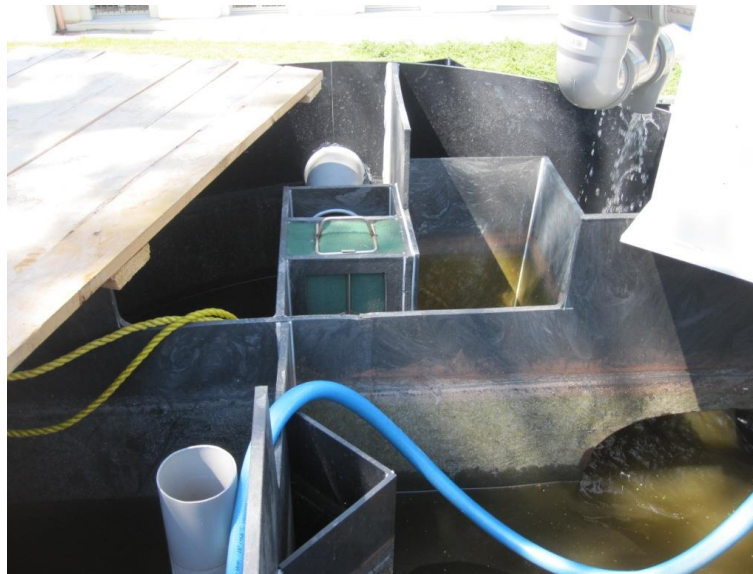
Obr. 13 Zkrácení odtokového potrubí DN 250



Obr. 14 Pohled na standardní tří komorový septik při třetím uspořádání



Obr. 15 Detail křížení potrubí ve třetí komoře septiku



Obr. 17 Provedení vnitřního uspořádání čtyř komorového septiku

Úhelníková norná stěna začíná v úrovni 1,2 m ode dna a sahá po horní hranu dělicí stěny mezi komorami. Ve druhé komoře je potrubí tvořeno T-kusem, jehož horní díl je vyveden nad úroveň hladiny, z důvodu možnosti kontroly průchodnosti potrubí. Spodní díl je tvořen PE potrubím délky 1,0 m a je vyveden do úrovně 0,4 m ode dna komory.

Propojení komor I a Ia je provedeno pomocí výřezu v dělicí stěně. Výřez je u dna septiku široký 0,6 m a směrem vzhůru se z vnitřní strany septiku zužuje na 0,3 m.

Propojení druhé a třetí komory je provedeno pomocí vodorovně umístěného PE potrubí délky 1,2 m procházejícího skrz dělicí stěnu septiku v úrovni 1,5 m ode dna. Ve druhé komoře je toto potrubí opatřeno kolenem. Ve třetí komoře je propojení provedeno pomocí T-kusu, stejně jako u předchozího T-kusu. U dna třetí komory je vyřezán kruhový otvor tvořící propojení se čtvrtou komorou. Prostor před tímto otvorem je ohraničen obdélníkovým plátem o poloměru 0,4 m z důvodu vytvoření norné stěny u dna třetí komory septiku. Současně je zde vytvořen odtokový žlábek se zabudovaným filtrem, na který navazuje odtokové potrubí DN 150.

Čtvrtá komora je vytvořena pomocí norné stěny tvaru komolého jehlanu, jehož dvě sousedící stěny jsou tvořeny dělicími stěnami ve středu septiku. Zbývající dvě sousedící stěny volně zasahují do prostoru komory Ia. Rozměry horní části komolého jehlanu jsou 0,7 m x 0,7 m. Propojení čtvrté komory septiku (komolého jehlanu) je řešeno přepadem. Ten je proveden vyříznutím čtvercového otvoru o rozměrech 20 x 20 cm v dělicí stěně mezi komorami IV a Ia.

Odtok ze septiku je umístěn ve třetí komoře v úrovni 1,7 m ode dna. Je tvořen stěnami z PE tloušťky 15 mm, výšky 0,3 m a délky 0,55 m. Tvoří tak těleso půdorysného rozměru obdélníka a uvnitř je umístěn filtr o rozměrech 0,2 m x 0,3 m. Odtokové potrubí z PVC DN 150 umístěné za filtrem prochází pláštěm septiku.

Na septiku je umístěna polypropylenová (PP) šachta tvaru krychle o rozměrech 0,47 m. Uvnitř šachty se nachází dva přepady vyrobené z vodorovně umístěného PE potrubí s odřezanou horní částí. Toto potrubí slouží jako přepadová hrana a přebytečná voda teče zpět do septiku, popř. lze na potrubí napojit bílou PP hadici pro odvedení vody do vzdáleného tří komorového septiku, jak je vidět na obrázku č. 19. Dno PP šachty je bílou PP hadicí DN 50 propojeno s konstrukcí tvořenou horizontálně umístěným PP-H potrubím DN 100. Toto potrubí je shora navařeno na PP destičku, pro možnost nastavení výšky a tím pro regulaci průtoku. Poloha potrubí se dá nastavit pomocí kovové tyčky se závitem spojující PP destičku se spodní hranou šachty. Dolní část horizontálně umístěného potrubí tvoří přechodový kus na potrubí DN 50.



Obr. 18 Přepad přebytečné vody ze šachty



Obr. 19 Horizontálně umístěné potrubí pro regulaci průtoku (vlevo)

Odtok z horizontálně umístěného potrubí DN 100 je tvořen přechodem na koncovku DN 50, na kterou je napojeno propojovací potrubí délky 20 m vedoucí k pomocnému tří komorovému septiku. Výškový rozdíl obou septiků, umístěných na výzkumném pozemku, je cca 5 m.

V průběhu jednotlivých pokusů byly v hodinových intervalech odebírány vzorky z nově vyvíjeného čtyřkomorového septiku pro pozdější kontrolu. Odběr probíhal na odtoku vody z PP-H potrubí DN 100 umístěného na přepadu z šachty.



Obr. 20 Pohled na nově vyvíjený čtyř komorový septik

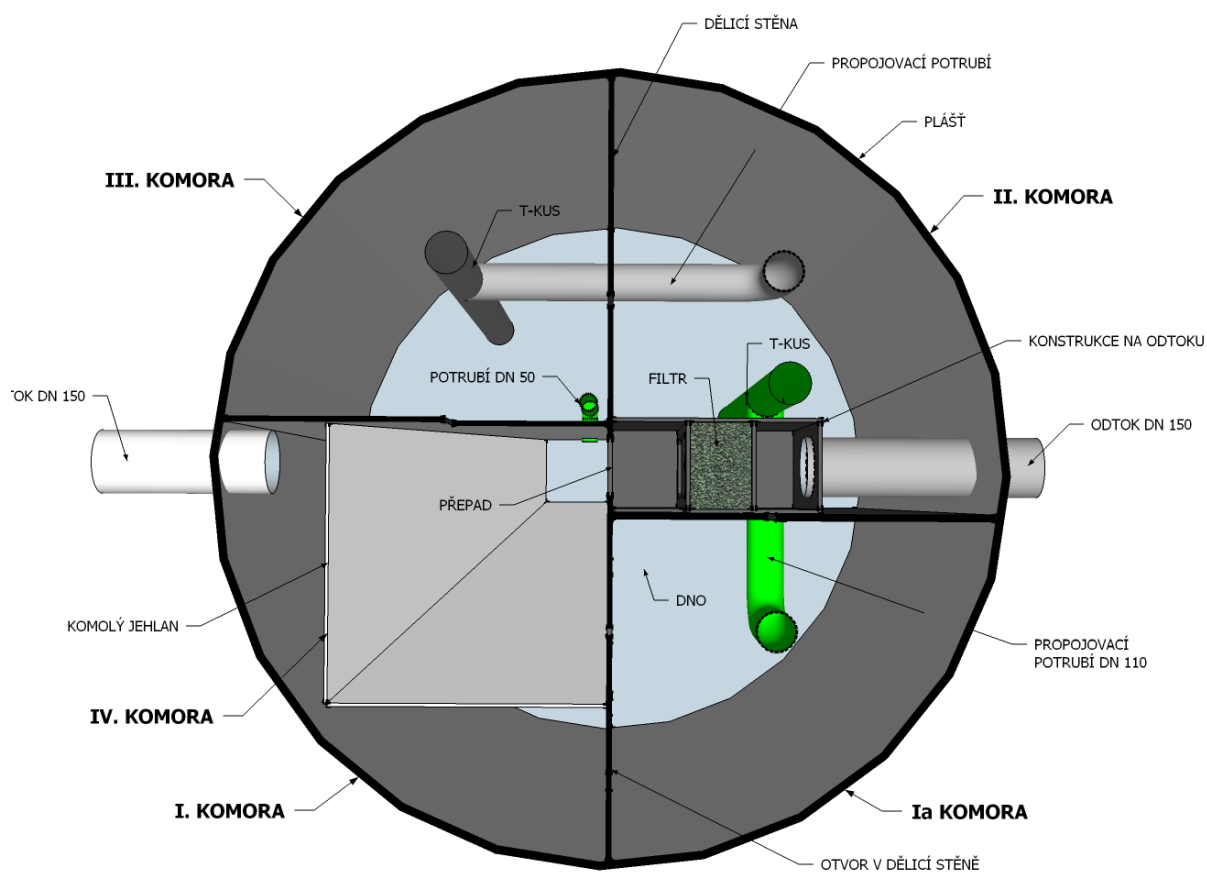
Vzhledem ke skutečnosti, že rezerva při vyhodnocení procentuálního naplnění nově vyvíjeného kruhového čtyřkomorového septiku čerpanou vodou byla značná, přistoupilo se k úpravě vnitřního uspořádání, aby se docílilo lepších výsledků měření.

2.1.5 Čtyřkomorový septik - Uspořádání č. 2

Ve stávajícím uspořádání čtyř komorového septiku bylo prodlouženo svislé PP-H potrubí DN 110 do úrovně 5 cm ode dna septiku. Tato úprava se týkala druhé a třetí komory. Tím jsme zajistili, že tekutina protékající celým objemem septiku urazí nejdelší možnou vzdálenost od přítoku po odtok z poslední komory. Předpokladem bylo důkladné promíchání sladké a přitékající slané vody. Propojení jednotlivých komor pomocí potrubí DN 110 zůstalo zachováno. Směr proudění vody byl zachován stejně, jako v předešlém uspořádání. Proběhl stejný pokus, s obdobným rozmístěním měřicích sond, jako v předchozím případě, aby bylo možné porovnat získané výsledky.

Procentuální podíl složky slané vody ve sladké u uspořádání č. 2 byl velice podobný předchozímu pokusu č. 1. Vnitřní uspořádání septiku opět nebylo vyhovující a vykazovalo velké rezervy ve využití celého prostoru septiku. Došlo k rychlému průtoku vody septikem, tedy k nedokonalému promíchání obou složek. Proto bylo přistoupeno k další úpravě vnitřního uspořádání komor septiku.

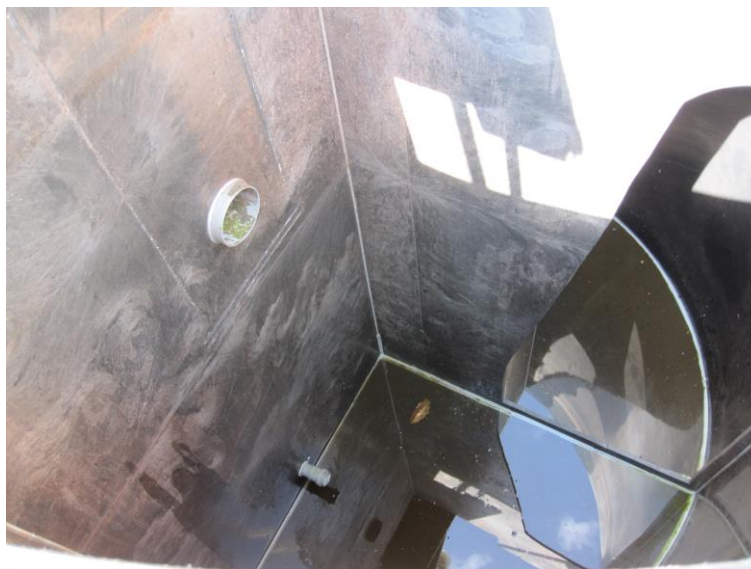
2.1.6 Čtyřkomorový septik - Uspořádání č. 3



Obr. 21 Vnitřní uspořádání nově vyvíjeného čtyř komorového septiku

Směr proudění vody mezi jednotlivými komorami byl změněn úpravou vnitřního uspořádání. Pro následující pokus probíhalo proudění proti směru hodinových ručiček od vstupu.

Odstraněna byla konstrukce komolého jehlanu z PE, dále norná stěna trojúhelníkového tvaru a PE deska umístěná pod touto nornou stěnou (na dělicí stěně vlevo od přítokového potrubí). Půlkruhová konstrukce u dna původní 3. komory kruhového septiku byla také odstraněna.



Obr. 22 Odstranění norné stěny a PE desky (vlevo)

Otvor u dna 3. komory byl zaslepen destičkou z polypropylenu (PP). V první komoře byla nově vyrobena konstrukce z PP desek ve tvaru komolého jehlanu. Její výškové umístění odpovídá původnímu umístění destičky pod nornou stěnou. V dělicí stěně, vlevo od přítokového potrubí, byl vyvrtán otvor pro potrubí DN 50 spojující prostor komolého jehlanu se sousední komorou. Toto propojovací potrubí bylo opatřeno kolenem a nastaveno potrubím stejného průměru, jehož jeden konec byl vyveden směrem k hladině. Původní potrubí DN 110 v dělicí stěně bylo zaslepeno.



Obr. 23 Zaslepení otvoru u dna třetí komory



Obr. 24 Instalace kolmého jehlanu na místo norné stěny v první komoře, zaslepení původního potrubí DN 110, propojení potrubím DN 50

Dále byl v původní 3. komoře provrtán otvor pro potrubí DN110 propojující tuto komoru s komorou Ia. Toto potrubí bylo opatřeno T-kusem, aby jedna jeho část mohla vystoupit nad hladinu a druhá část byla zavedena na dno obou komor. Všechna ostatní potrubí DN 110 v komorách byla napojena opačným směrem, než v původním uspořádání čtyř komorového septiku, aby došlo k otočení směru proudění. Výsledkem tohoto kroku je protékání vody septikem proti směru hodinových ručiček.

Přepad přivádějící původně vodu z kolmého jehlanu byl zaslepen a místo něj vyřezán ve stěně otvor rozměru 20 x 20 cm (přímo naproti přítokového potrubí), jako nátok vody před filtr. Tímto zásahem do původního provedení jsme chtěli docílit lepšího promíchání slané vody ve sladké. Proběhl proto stejný pokus, jako v předchozím případě, aby bylo možné porovnat získané výsledky.



Obr. 25 Pohled na provedení napojení potrubí

2.2 Příprava vody určené pro čerpání

Výzkumný pozemek, na němž probíhalo měření, je rozdělen na dvě části. Ve spodní části pozemku je umístěn standardní kruhový tří komorový septik, v horní části nově vyvíjený a testovaný čtyřkomorový kruhový septik. Samotné testování probíhalo vždy na jednom septiku, druhý zároveň sloužil jako akumulací nádrž na přípravu vody pro čerpání.

Jak bylo popsáno výše, testování se zaměřilo na pozorování postupného ředění sladké vody, akumulované ve vícekomorovém septiku, upravenou pitnou vodou se zvýšenou elektrickou konduktivitou. Pitná voda byla pro výzkumné účely upravena pomocí draselné soli (KCl) rozmíchané v celém objemu pomocné nádrže. K tomuto řešení bylo přistoupeno z důvodu výše zmíněných vlastností látky a především kvůli zvýšení sledované hodnoty vodivosti - konduktivity. Výhodou použití draselné soli byla také možnost sledování barevné odlišnosti upravené vody (oranžové zbarvení), jak můžeme vidět na obrázku č. 26. Konduktivita naměřená ve vodě s přídavkem draselné soli byla zhruba 8 až 10 x vyšší, než v pitné vodě. Vodivost sladké pitné vody se pohybovala v rozmezí 0,5 mS/cm až 1,0 mS/cm. Obě kapaliny měly při průběhu jednotlivých pokusů stejnou teplotu a nedocházelo k rozdílnému promíchání či oddělení kapalin vlivem rozdílné hustoty. Hustota vody nebyla po přidání soli změněna.



Obr. 26 Zbarvení pitné vody po přidavku draselné soli (NaCl)

Pro zajištění dostatečně velkého rozdílu salinity obou vod byly použity 4 sáčky (4 x 3 kg) draselné soli, což odpovídá naměřené vodivosti 7,3 mS/cm. Vodivost sladké vody se pohybovala okolo 0,55 mS/cm. Draselná sůl byla do septiku vpravena přes polypropylenovou (PP) šachtu s přepadem, umístěnou nad úroveň tělesa septiku, viz obr. 27. Důkladné promíchání draselné soli v 4,4 m³ pitné vodě zajistila cirkulace vody čerpadlem v rámci vnitřního prostoru pomocné nádrže.



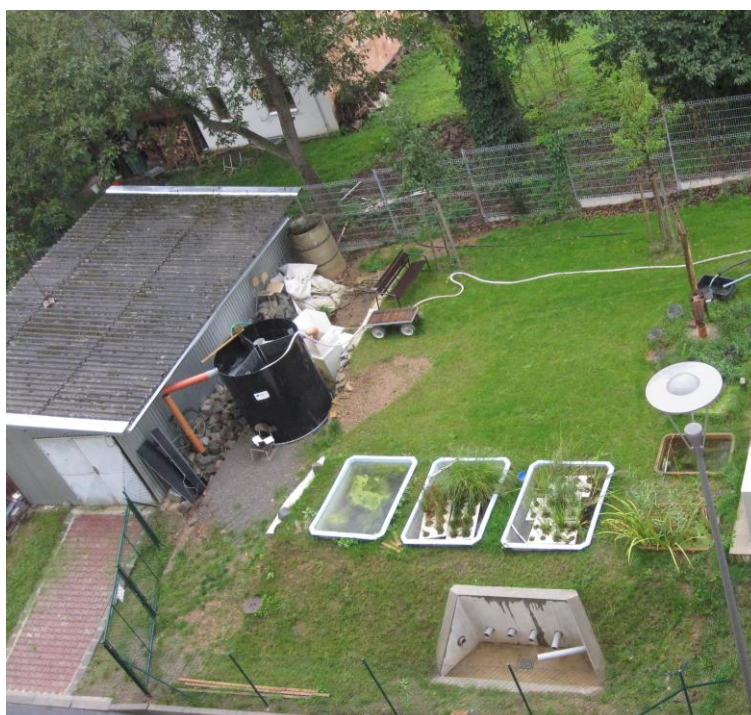
Obr. 27 Pohled na regulační přeliv umístěný nad pomocnou nádrží

Pro pokus číslo 5 a další pokusy byla použita hořká sůl (MgSO₄), která byla do septiku vpravena přes polypropylenovou (PP) šachtu s přepadem, umístěnou nad úroveň tělesa čtyřkomorového kruhového septiku. Rozmícháním dvou 5-ti kg sáčků soli v celém objemu septiku se docílilo vodivosti 6,4 mS/cm. Promíchání slané vody v septiku probíhalo stejně, jako v předchozích případech. Hustota upravené vody se nelišila od hustoty vody pitné, nedocházelo tedy k rozdílnému promíchání obou kapalin, či jejich vzájemnému oddělení.



Obr. 28 Regulační přeliv umístěný nad pomocnou nádrží

Voda napuštěná ve zkoumaném septiku i čerpaná upravená voda měly stejnou teplotu. Ta se pohybovala v rozmezí 17° až 26°C, dle venkovní teploty. Měření na standardním tří komorovém kruhovém septiku probíhalo v měsíci červnu a červenci, viz poznámky z provádění jednotlivých pokusů na výzkumném pozemku Fakulty Stavební.



Obr. 29 Výzkumný pozemek Ústavu vodního hospodářství krajiny

Pro pokusy na nově vyvíjeném čtyřkomorovém septiku byla pitná voda upravena pomocí hořké soli (MgSO_4) rozmíchané v celém objemu standardního tří komorového septiku. Důkladné promíchání dávkované soli v septiku probíhalo za pomoci čerpadla, umístěného v šachtě vedle septiku. Na pokus se využila voda z předešlého měření, takže nebylo nutné přidat celou dávku hořké soli. Stačilo použít jeden sáček, tedy 5 kg soli. Naměřená vodivost takto upravené vody odpovídala 7,0 mS/cm.

Hustota upravené vody se nelišila od hustoty vody pitné (měřeno hustoměrem s rozsahem 980 – 1010 kg/m^3), totožné byly i teploty obou kapalin (původní i čerpané), nedocházelo tedy k rozdílnému promíchání, či jejich vzájemnému oddělení vlivem různých hydrofyzikálních charakteristik. Teplota vody u testovaných septiků se pohybovala v rozmezí 12° až 20°C, dle venkovní teploty. Měření probíhalo s delšími časovými rozestupy od srpna do října, viz poznámky z provádění jednotlivých pokusů na výzkumném pozemku Ústavu vodního hospodářství krajiny.



Obr. 30 Výzkumný pozemek Ústavu vodního hospodářství krajiny (Žižkova 17, Brno)

2.3 Příprava pokusu

Zahájení jednotlivých pokusů předcházelo napuštění septiku čistou pitnou vodou do úrovně 1,68 m ode dna, tedy po úroveň odtokového potrubí DN 150. Celkový objem vody napuštěné do septiku byl 4,4 m³.

Voda odtékající ze zkoumaného septiku byla PVC potrubím DN 150 odvedena do akumulární kruhové nádrže umístěné v blízkosti testovaného septiku. Použitá voda zde byla ponechána pro další navazující pokusy. Tato voda nemohla být vypouštěna přímo do kanalizace bez schválení příslušného vodoprávního úřadu či správce kanalizace, kvůli vysokému obsahu přidávaných solí. Jedná se o zvýšenou koncentraci chloridu sodného (NaCl) nebo hořké soli (MgSO₄).

Pro záznam dat byla využita soustava dvou vodivostních sond výrobce Hach-Lange, označena jako INTELLICAL Digitální venkovní sonda konduktivity s délkou přívodního kabelu 5,0 m.

Parametry měřicích sond jsou dle výrobce následující:

Délka sondy:	250 mm
Délka kabelu:	5,0 m
Konektor:	HQD specific
Materiál těla sondy:	Noryl s nerezovou ocelí
Parametr:	Conductivity

Přesnost:

Konduktivita:	± 0,5%
Rozsahu RL:	± 0,5% ± 1 číslice
Salinita:	± 0,1 ± 1 číslice

Rozlišení:

Elektrická konduktivita:	0,01 μS/cm (5 číslic, maximálně)
RL:	0,001; 0,01
Salinita:	0,01 ppt

Rozsah měření:

Konduktivita:	0,01 μS/cm až 200 mS/cm
RL:	0 – 50000 mg/l jako NaCl
Salinita:	0 – 42 g/kg nebo ‰
Rezistivita:	2,5 Ωcm – 49 MΩcm

Teplotní rozsah: -10 °C až 110 °C

Typ elektrody: Robustní venkovní

Typ senzoru: 4-pólový grafitový, k = 0,40 cm⁻¹

Pro záznam dat byl, kromě zařízení umožňujícího kontinuální záznam (Hach-Lange HQ40D), dále použit napájecí kabel a flash-disk pro průběžné ukládání naměřených dat. Každá sonda byla opatřena vlastním výrobním číslem. Sondy od sebe byly barevně odlišeny pomocí červené lepicí pásky na jedné z nich, kvůli vizuální kontrole umístění sondy v septiku.

Rozmístění měřicích sond v prostoru komor zůstalo po celou dobu průběhu jednotlivých pokusů stejné, aby bylo možné jednoznačně porovnat získané hodnoty. Stejně jako u předešlých pokusů byly veškeré údaje, v průběhu měření na výzkumném pozemku, zaznamenávány v papírové podobě a dopočítána velikost jednotlivých průtoků Q .



Obr. 31 Napouštění standardního septiku vodou z vodovodu



Obr. 32 Sběrná šachta vody odtékající ze septiku



Obr. 33 Čerpadlo s plovákem umístěné v šachtě na odtoku z tří komorového septiku

Každý pokus byl označen číslem (V1 – V10) a do paměti multimetru zapsán jeho kód. Multimetr byl po celou dobu záznamu dat připojen ke zdroji napájení a data se nahrávala jak do paměti přístroje, tak i na flash-disk pro pozdější vyhodnocení.

Před každým měřením bylo důležité provést ruční nastavení multimetru prostřednictvím uživatelského menu. Toto nastavení se týkalo následujících položek:

- volba uživatele
- označení pokusu (např. SEP_3K_V1, tj. zkratka pro tří komorový septik, výzkum č. 1.)
- volba délky záznamu dat (1h, 24 h, 48h)
- časový krok (1min, 5min, 10 min)
- volba měření – ruční sepnutí, nebo automatický záznam dat se zvoleným časovým krokem a předvolenou délkou záznamu

Ruční sepnutí multimetru se využívalo ke kontrole vodivosti před započítáním samotných pokusů, pro ověření, zda je vodivost ve všech komorách stejná a tudíž je dávkovaná sůl dostatečně promíchána. Kontrola vodivosti kapaliny v septiku byla prováděna na osmi místech, ve dvou výškových úrovních pro případ, že by došlo k usazování částic. Tato místa byla v průběhu kontroly zanzamenávána do formuláře. Dále se ručního sepnutí přístroje využívalo pro kontrolu vodivosti v průběhu pokusů, při odběru vzorků vody z odtokového potrubí v hodinových intervalech. Na následujícím obrázku č. 34 lze vidět měřicí přístroj při záznamu dat v průběhu pokusu, s připojením obou vodivostních sond, napájecího kabelu a flash-disku.



Obr. 34 Měřicí přístroj multimetr

Veškeré záznamy byly v průběhu měření na výzkumném pozemku zaznamenávány v papírové podobě. Součástí záznamu bylo datum, označení pokusu, rychlost proudění vody v septiku při čerpání slané vody, náčrt umístění obou vodivostních sond v prostoru pozorovaného septiku, vyznačení směru proudění komorami septiku a výpočet průtoku. Průtok kapaliny vícekomorovým septikem byl vypočten z rychlosti naplnění odměrného válce o objemu 2l, do kterého se odebírala voda z odtokového potrubí.

2.4 Spuštění měření

Spuštění pokusů nastalo okamžikem zapnutí čerpadla ve vzdáleném čtyřkomorovém septiku a přítokem slané vody do přítokového potrubí DN 150 zkoumaného tří komorového septiku. Záznam probíhal v intervalu měření 24 hodin se zápisem dat po jedné minutě. Naměřené hodnoty se automaticky zapisovaly do paměti měřicího přístroje multimetru a současně se nahrávaly na flash-disk.

Součástí záznamu byla kromě hodnot konduktivity - vodivosti také teplota vody, označení výrobního čísla sondy, datum, čas měření a kód příslušného pokusu. Konkrétní doby trvání jednotlivých pokusů jsou uvedeny v kapitole 2.3 Příprava pokusů. Doba trvání závisela na průtoku, vypnutí plovákového čerpadla a těsnosti propojovacího potrubí.

Zapísování měřených dat do multimetru probíhalo nepřetržitě po celou dobu trvání jednotlivých pokusů. Ukončeno bylo ve chvíli vyčerpání veškeré slané vody z pomocného septiku o objemu 4,4 m³ v němž byla akumulována čerpaná voda před zahájením pokusu.

Součástí jednotlivých výše uvedených pokusů byl také odběr vzorků z přepadu ze šachty umístěné nad úrovní čtyřkomorového septiku, pro pozdější kontrolu salinity čerpané vody.



Obr. 35 Odtokové potrubí na regulačním přelivu



Obr. 36 Odběr vzorku z potrubí přepadu ze šachty

2.5 Popis jednotlivých měření

Všechny níže uvedené pokusy probíhaly stejně, jako u předchozích testování standardního tří komorového septiku. Spuštění nastalo u všech pokusů okamžikem zapnutí čerpadla ve tří komorovém septiku a přítokem slané vody do přítokového potrubí DN 150 nově vyvíjeného čtyř komorového septiku. Voda do přítokového potrubí přitékala z přepadu šachty, umístěné nad horní hranou septiku. Přebytečná voda se vracela zpět do tří komorového septiku bílou hadicí DN 40. Záznam probíhal v intervalu měření 24 hodin se záznamem dat po jedné minutě. Naměřené hodnoty se automaticky zapisovaly do měřicího přístroje – multimetru. V průběhu pokusu byla pořízena fotodokumentace.

Součástí záznamu byla kromě hodnot vodivosti také teplota vody, označení výrobního čísla sondy, datum, čas měření a kód pokusu. Konkrétní doby trvání jednotlivých pokusů jsou uvedeny v kapitole 2.7 Příprava pokusu. Doba trvání pokusu závisela na vypnutí čerpadla s plovákovým spínačem, těsnosti propojovacího potrubí a především na výškovém nastavení přítoku vody z šachty nad septikem, což značně ovlivnilo průtok.

Měření probíhalo nepřetržitě po celou dobu trvání jednotlivých pokusů. Ukončeno bylo ve chvíli vyčerpání veškeré slané vody ze standardního tří komorového septiku.

2.5.1 Pokus V1 – uspořádání č. 1, pomalý pokus, průtok 0,142 l/s

První sonda (žlutá) byla umístěna za nornou PE stěnou, na odtoku z první komory, 0,5 m ode dna septiku. Druhá (červená) sonda byla umístěna v pravouhlém rozražeči, na odtoku z druhé komory ve výšce 0,5 m ode dna.

V průběhu měření, konkrétně po 6 - ti hodinách, byla první sonda přesunuta do prostoru odtokového potrubí DN 250, do úrovně 1,2 m ode dna. Záznam probíhal po dobu 8 hodin v minutových intervalech záznamu měřených dat.



Obr. 37 Detail norné stěny na přechodu z druhé do třetí komory septiku

2.5.2 Pokus V2 – uspořádání č. 1, rychlý pokus, průtok 0,330 l/s

První sonda (žlutá) i druhá sonda (červená) byly umístěny stejně, jako v předchozím pokusu. Po hodině měření byla první sonda přesunuta do prostoru odtokového potrubí DN 250, do úrovně 1,2 m ode dna. Záznam probíhal po dobu 4 hodin v minutových intervalech záznamu měřených dat.

2.5.3 Pokus V3 – uspořádání č. 2, rychlý pokus, průtok 0,262 l/s

První sonda (červená) byla, po úpravě vnitřního uspořádání komor septiku, umístěna do kolene DN 110 na začátek potrubí procházejícího dělicí stěnou v prostoru první komory. Okraj potrubí byl 7 cm pod hladinou vody v septiku. Druhá (žlutá) sonda byla umístěna do kolene PP-H potrubí ve druhé komoře.

Obě vodivostní sondy tak zaznamenávaly salinitu vody přitékající do potrubí propojujícího komory septiku. Záznam probíhal po dobu 5-ti hodin v minutových intervalech záznamu měřených dat. Umístění sond se po celou dobu trvání pokusu nezměnilo a nedošlo ani k přerušení záznamu dat multimetrem.



Obr. 38 Detail kolene potrubí DN 110 ve druhé komoře septiku



Obr. 39 Detail umístění měřicí sondy do kolene potrubí DN 110

2.5.4 Pokus V4 – uspořádání č. 2, pomalý pokus, průtok 0,147 l/s

Obě sondy byly ve stejném pořadí umístěny na stejné místo, jako v předchozím měření. Záznam probíhal po dobu 9,5 hodiny v minutových intervalech záznamu měřených dat. Hodinu před ukončením pokusu byla první (červená) sonda přemístěna do svislého odtokového potrubí DN 250 ve třetí komoře do úrovně 1,2 m ode dna.



Obr. 40 Původní umístění červené sondy do kolene potrubí DN 110 v první komoře

2.5.5 Pokus V5 – uspořádání č. 2, pomalý pokus, průtok 0,124 l/s

První sonda (žlutá) byla umístěna do kolene na začátek potrubí procházejícího druhou dělicí stěnou v prostoru druhé komory. Okraj potrubí byl 8 cm pod hladinou vody v septiku. Druhá (červená) sonda

byla umístěna do odtokového potrubí DN 250 ve třetí komoře septiku v úrovni 1,2 m ode dna. Záznam probíhal po dobu 9,5 hodiny v minutových intervalech záznamu měřených dat.

2.5.6 Pokus V6 – uspořádání č. 3, rychlý pokus, průtok 0,330 l/s

První sonda (žlutá) byla umístěna stejně, jako v předchozím měření. Okraj potrubí byl 6 cm pod hladinou vody. Druhá (červená) sonda byla umístěna do zkráceného odtokového potrubí DN 250 ve třetí komoře septiku v úrovni 1,7 m ode dna, tedy 8 cm pod hladinu vody v septiku. Záznam probíhal po dobu 5-ti hodin v minutových intervalech záznamu měřených dat.



Obr. 41 Umístění měřicí sondy do odtokového potrubí DN 250

2.5.7 Pokus V7 – uspořádání č. 3, rychlý pokus, průtok 0,250 l/s

Obě sondy byly ve stejném pořadí umístěny na stejné místo, jako v předchozím měření. Okraj propojovacího potrubí DN 110 byl stejně jako v předchozím pokusu 6 cm pod hladinou vody. Záznam probíhal po dobu 5,5 hodiny v minutových intervalech záznamu měřených dat. Rozmístění sond se po celý průběh měření nezměnilo.

Při pozorování upravené komory septiku, tedy druhého uspořádání při pokusu V4 bylo velmi zřetelně vidět rozdílné zbarvení vody v komorách. V prvních dvou komorách se projevilo oranžové zbarvení přitékající slané vody, zatímco voda ve třetí komoře byla stále průhledná, nezabarvená.

Z následujícího obrázku č. 42 je patrné, že došlo ke zpomalení průtoku kapaliny komorami septiku a přitékající voda se za uplynulou dobu (6 hodin a 45 minut) ještě nestačila dostat do třetí komory.

To je známkou dobrého fungování hydrauliky uvnitř septiku, zpomalení průtoku, řádného promíchání přitékající kapaliny, sedimentace částic a proniknutí částic do celého objemu komor septiku.



Obr. 42 Průtok kapaliny septikem – zabarvení vody v prvních dvou komorách

2.5.8 Pokus V8 – uspořádání č. 1, rychlý pokus, průtok 0,330 l/s

První sonda (červená) byla umístěna do kolene PP-H potrubí DN 110, propojujícího druhou a třetí komoru septiku. Výškově toto koleno odpovídá úrovni 1,3 m ode dna čtyř komorového. Druhá (žlutá) sonda byla umístěna do prostoru těsně za filtrem, na odtok ze septiku. Byla zde upevněna pomocí omotání kabelu kolem kovové konstrukce šachty nad úroveň horní hrany septiku, aby se její poloha v průběhu pokusu nezměnila. Záznam probíhal po dobu 4, 25 hodiny v minutových intervalech záznamu měřených dat.

2.5.9 Pokus V9 – uspořádání č. 2, rychlý pokus, průtok 0,330 l/s

První sonda (červená) i druhá sonda (žlutá) byly umístěny stejně, jako v předchozím pokusu. Sonda za filtrem byla opět upevněna, aby nedošlo k samovolnému pohybu vlivem prodění tekutiny septikem. Záznam probíhal po dobu 4, 25 hodiny v minutových intervalech záznamu měřených dat.

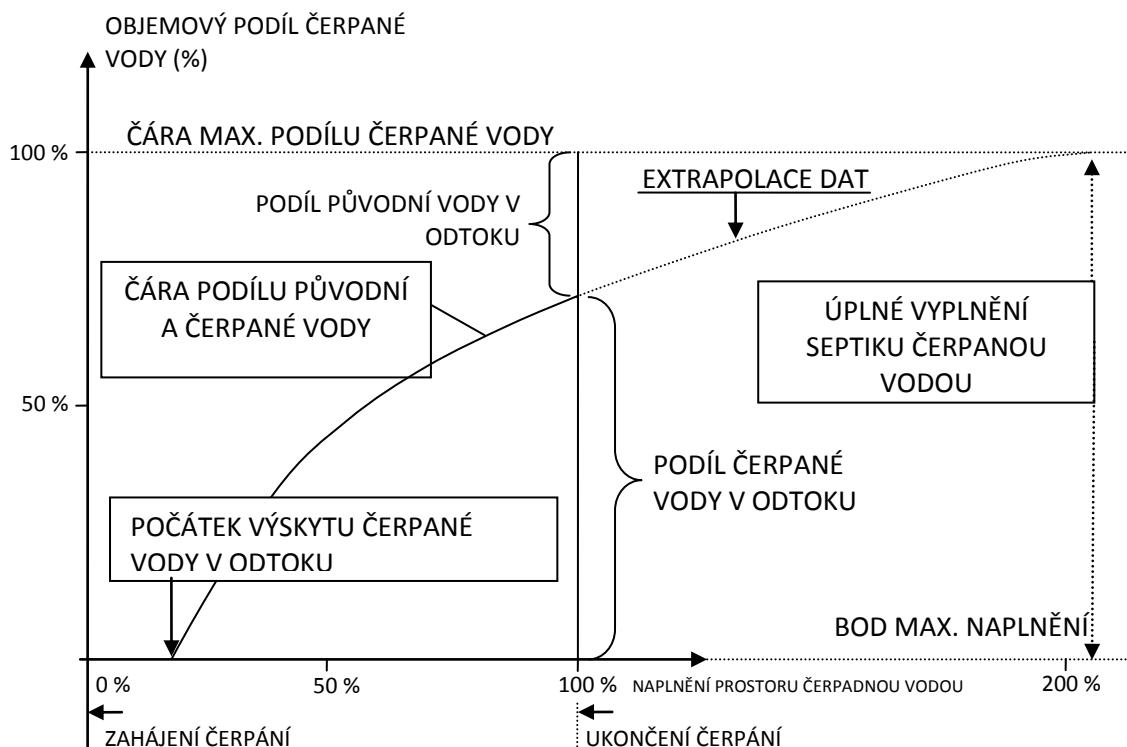
2.5.10 Pokus V10 – uspořádání č. 3, rychlý pokus, průtok 0,50 l/s

Obě sondy byly umístěny stejně, jako v předchozím pokusu a jejich pozice se po celou dobu měření nezměnila. Záznam probíhal po dobu 3 hodin v minutových intervalech záznamu měřených dat.

3 Výsledky měření

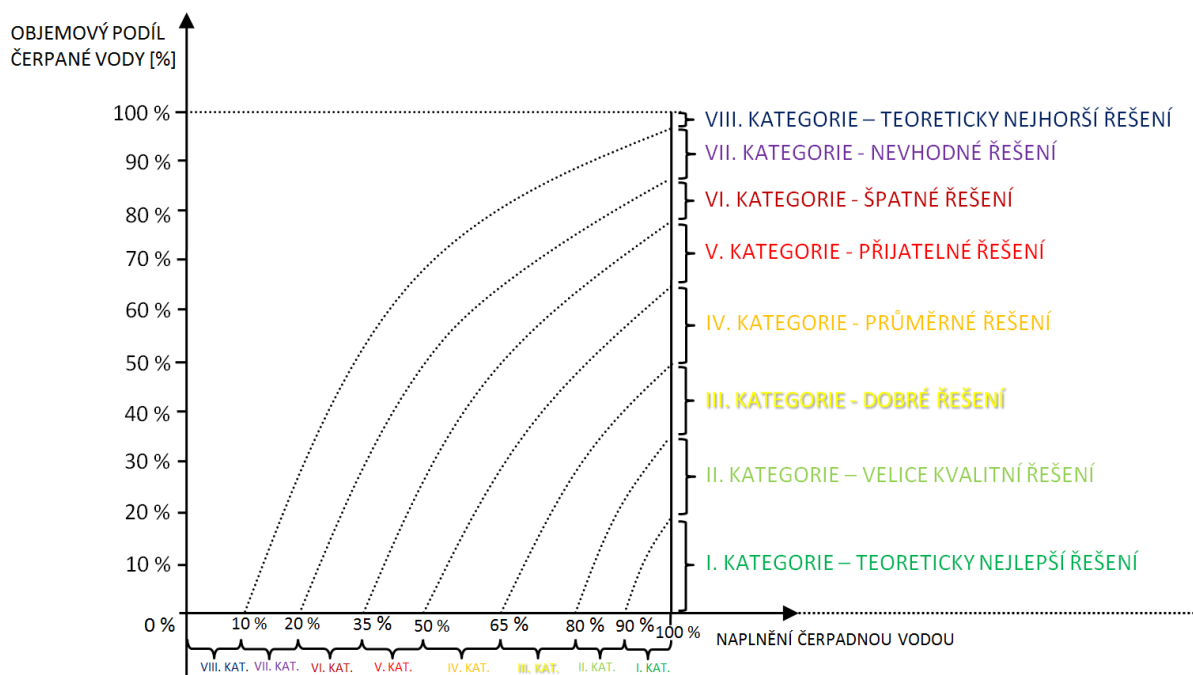
Vyhodnocení celého pokusu spočívá ve vykreslení ČÁRY PODÍLU PŮVODNÍ A ČERPANÉ VODY, zobrazené na obr. 43 níže. V grafu je zobrazeno pro přehlednost několik úprav a nahrazení:

- 1) Osa X nepředstavuje časovou osu, ale úpravou přes rovnici $Q = V/t$, resp. $V = Q \cdot t$ a dosažením daného času za známého průtoku vyjádří objem vody do pozorovaného septiku načerpané. Poté je tento objem vztažen k celkovému objemu septiku, resp. maximálnímu množství vody, které vnitřní prostor septiku pojme. V případě popisovaných septiků vyjadřuje např. hodnota 100 % na ose X objem přečerpané vody $V = 4,40 \text{ m}^3$, hodnota 50 % $\sim 2,2 \text{ m}^3$ přečerpané vody atd.
- 2) Osa Y není vyjádřena jako hodnota elektrické konduktivity, ale jedná se o vyjádření objemového podílu čerpané a původní vody (%). Její hodnoty tedy znamenají, že v případě 50 % je na sondě naměřena vodivost odpovídající naředění obou kapalin v poměru 1:1, tedy 50 % původní vody a 50 % čerpané vody. Hodnota zároveň vychází z dvou hodnot vodivosti – původní voda má c_{\min} a čerpaná voda c_{\max} , odečtem aktuální hodnoty z multimetru a vztažením k maximální a minimální hodnotě je zjištěna hodnota na ose Y .



Obr. 43 Zobrazení vyhodnocení měření pomocí čáry podílu původní a čerpané vody

Následně bylo na základě hodnot získaných měření rozděleno celé spektrum variability výsledků do osmi kategorií, popsaných podrobně v další kapitole. Rozhodujícím pro zatřídění je „starovací hodnota“ na ose X, resp. hodnota počátku výskytu čerpané vody v odtoku ze septiku.



Obr. 44 Graf rozdělení řešení do kategorií

Postup zpracování výsledků pro standardní tříkomorový i nově vyvíjený čtyřkomorový septik byl u jednotlivých pokusů vždy stejný, proto bude podrobně rozepsán pouze u prvního pokusu, resp. vychází z metodiky měření popsané v předchozí kapitole.

Data zaznamenaná na flash-disk byla přepokopována do stolního počítače a následně zpracována v programu Minitab. Naměřené hodnoty zapsané pro obě sondy v jednom společném sloupci byly seřazeny do dvou samostatných sloupců podle čísla sondy a následně s nimi bylo podle tohoto rozdělení pracováno. Nejprve byl odečten rozdíl měření vodivosti v obou sledovaných septicích, aby samotné pokusy začínaly vždy na stejné hodnotě, konkrétně na hodnotách blízkých nule. Dále byla měření rozdělena podle případného posunu sondy v rámci sledovaného septiku v průběhu pořizování záznamu dat. Takto získané hodnoty vodivosti byly převedeny na procentuální podíl obsahu slané složky v závislosti na čase, jak je vidět na obrázku č. 44.

Voda, kterou byl napuštěn septik před zahájením pokusu, měla nízkou elektrickou vodivost a pro účely vyhodnocení popsanou metodou jí byla přiřazena hodnota rovna 0,0 (neboli 0,00 %). Naopak, hodnota elektrické vodivosti čerpané vody, která byla upravena přidavkem soli na hodnotu v rozmezí 5 – 10 mS/cm, byla nahrazena procentuálním vyjádřením hodnotou 1,00 (neboli 100 %).

Sledovalo se procento podílu slané vody ve sladké a promíchání vody v jednotlivých komorách sledovaného septiku.

	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
	sonda	Vodivost	Teplota	Čas T	Vodivost	Teplota	Vodivost	Teplota	oprava	oprava	1	2	%	1 -> %	2 -> %
1	1	0.314	15.3	1	0.314	15.3	0.310	13.6	0.003	0.012	0.000632	0.002519	0.397	0.0632	0.2519
2	2	0.310	13.6	2	0.311	15.5	0.310	13.6	0.000	0.012	0.000000	0.002519	0.794	0.0000	0.2519
3	1	0.311	15.5	3	0.311	15.5	0.307	13.7	0.000	0.009	0.000000	0.001890	1.190	0.0000	0.1890
4	2	0.310	13.6	4	0.311	15.5	0.305	14.5	0.000	0.007	0.000000	0.001470	1.587	0.0000	0.1470
5	1	0.311	15.5	5	0.311	15.5	0.303	14.8	0.000	0.005	0.000000	0.001050	1.984	0.0000	0.1050
6	2	0.307	13.7	6	0.311	15.5	0.303	15.0	0.000	0.005	0.000000	0.001050	2.381	0.0000	0.1050
7	1	0.311	15.5	7	0.311	15.5	0.303	15.0	0.000	0.005	0.000000	0.001050	2.778	0.0000	0.1050
8	2	0.305	14.5	8	0.311	15.5	0.302	15.1	0.000	0.004	0.000000	0.000840	3.175	0.0000	0.0840
9	1	0.311	15.5	9	0.311	15.5	0.302	15.2	0.000	0.004	0.000000	0.000840	3.571	0.0000	0.0840
10	2	0.303	14.8	10	0.311	15.4	0.301	15.2	0.000	0.003	0.000000	0.000630	3.968	0.0000	0.0630
11	1	0.311	15.5	11	0.311	15.4	0.300	15.3	0.000	0.002	0.000000	0.000420	4.365	0.0000	0.0420
12	2	0.303	15.0	12	0.311	15.4	0.300	15.3	0.000	0.002	0.000000	0.000420	4.762	0.0000	0.0420
13	1	0.311	15.5	13	0.311	15.4	0.300	15.3	0.000	0.002	0.000000	0.000420	5.159	0.0000	0.0420
14	2	0.303	15.0	14	0.311	15.4	0.299	15.4	0.000	0.001	0.000000	0.000210	5.556	0.0000	0.0210
15	1	0.311	15.5	15	0.312	15.4	0.300	15.4	0.001	0.002	0.000211	0.000420	5.952	0.0211	0.0420

Obr. 45 Zpracování naměřených dat v programu Minitab

Při zpracovávání a vyhodnocování jsem měření soustředila na několik vyhodnocení:

- 1) Pozorování vlivu rovnoměrného průtoku na výsledný průběh podílové křivky
- 2) Vliv uspořádání septiku na výsledný průběh podílové křivky

3.1 Vliv průtoku na mísení vody v septiku

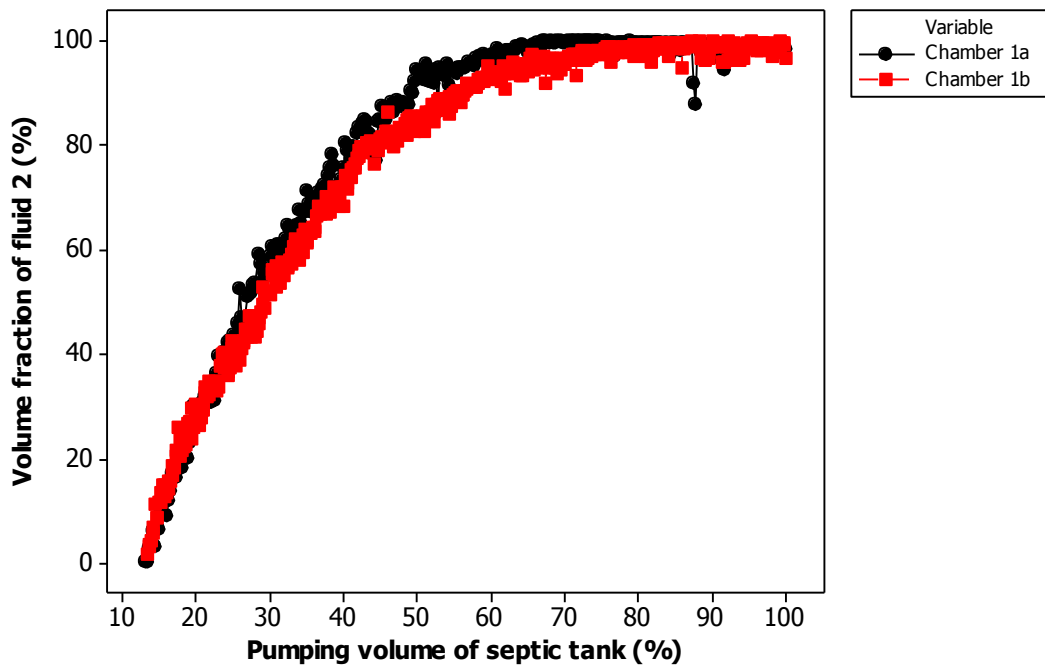
Na základě zaznamenaných hodnot měření salinity ve vybraných pozorovacích profilech jsme se nejprve soustředili na pozorování vlivu rychlosti proudění na výslednou naměřenou hodnotu. Pro tento účel jsme vybrali dva reprezentativní průtoky, které mohou teoreticky při provozování septiku nastat. Jedná se o hodnotu $Q_a = 0,14$ l/s a $Q_b = 0,33$ l/s.

Vyhodnocení závislosti průtoku na výsledném rozkolísání salinity zobrazujeme na obr. 46 v odtokovém profilu z první komory, resp. na obr. 47 v odtokovém profilu ze septiku. Statistické vyhodnocení ukazuje, že při pomalém průtoku (Q_a) vychází průměrná hodnota ve stejném rozsahu plnění septiku na odtoku z první komory (79,93 +/- 27,31) %, resp. hodnota (77,75 +/- 26,32) % při průtoku Q_b . Rozdíl mezi průměrnými hodnotami je tedy 2,18 % podílu obou kapalin.

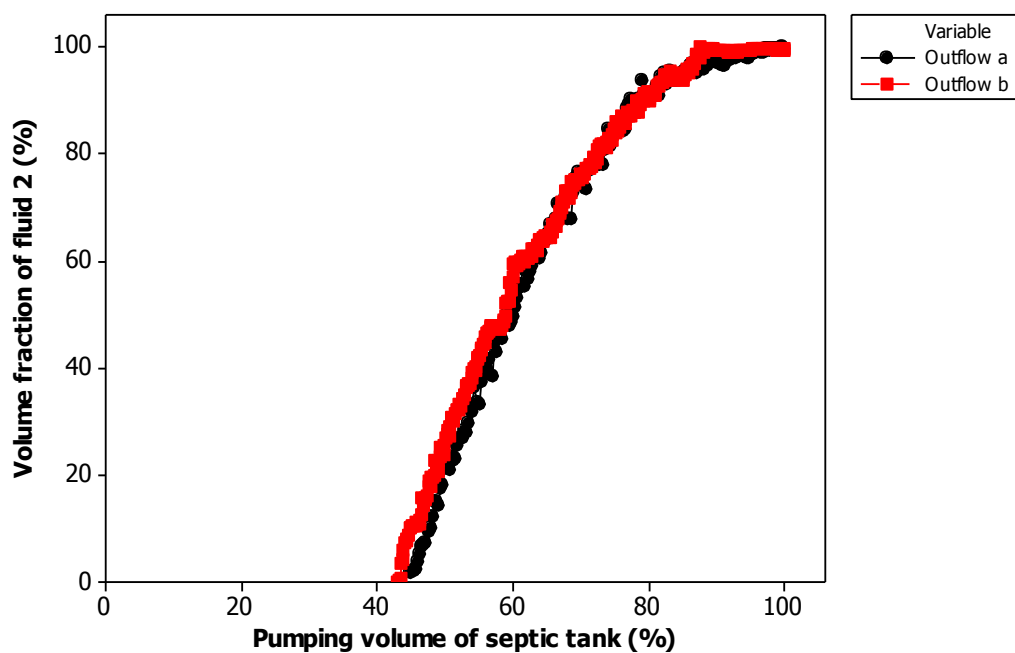
Pokud srovnáme vliv průtoku na celkový odtok ze septiku, potom při Q_a vychází hodnota 64,35 +/- 33,78) %, resp. Při $Q_b = (69,91 +/- 29,06)$ %. Rozdíl je částečně vyšší – jedná se o hodnotu 5,56 % podílu obou kapalin.

Tab. 2 Vyhodnocení naměřených množství čerpané vody (%) ve vybraných profilech

Variable	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Chamber 1a	79.93	27.31	0.32	67.38	95.04	99.25	100
Chamber 1b	77.75	26.32	1.77	62.9	90.72	97.99	100
Outflow a	64.35	33.78	1.09	37.39	75.61	95.22	100
Outflow b	69.91	29.06	0.86	47.92	78.34	95.77	100



Obr. 46 Srovnání množství čerpané vody na odtoku z první komory při různých průtocích

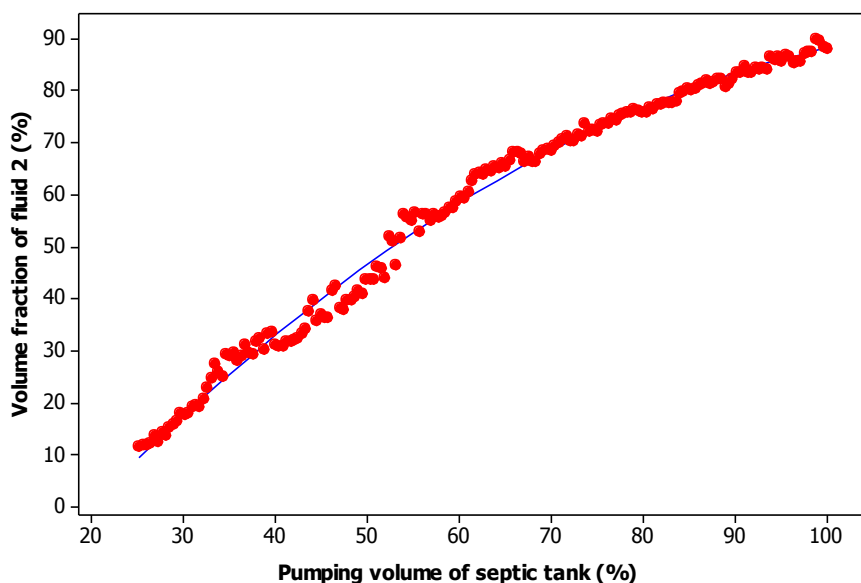


Obr. 47 Srovnání množství čerpané vody na odtoku ze septiku při různých průtocích

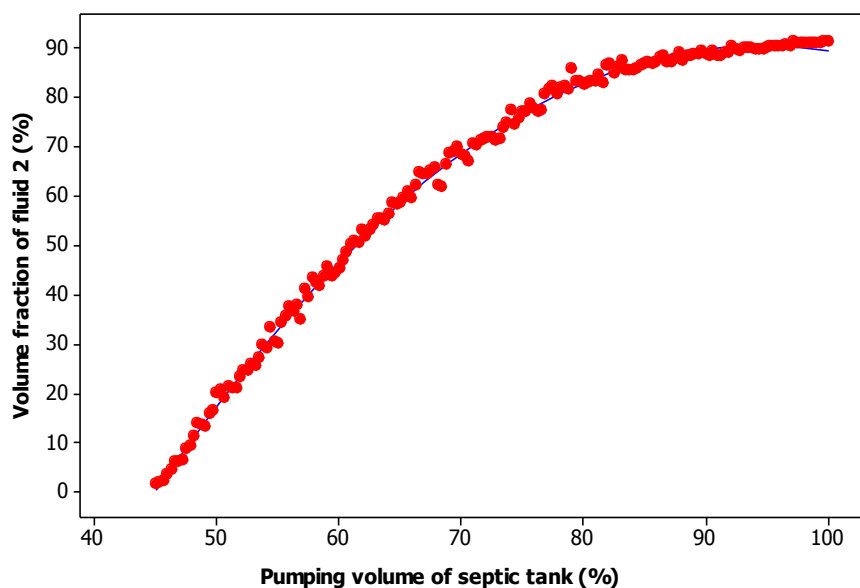
3.2 Vliv uspořádání – tří komorový septik

Pro účely pozorování vlivu uspořádání na tří komorovém septiku byly provedeny tři varianty řešení, popsané v kapitole metodika výzkumu 2.1.1 až 2.1.3, přičemž první varianta je původní řešení septiku do dnešního dne prodávaného, druhá varianta upravuje řešení prostupů mezi jednotlivými komorami a třetí varianta zahrnuje prodloužení vertikálních potrubí v každé komoře ode dna až téměř po hladinu – což v praxi nemůže být realizováno vlivem u hladiny přítomného plovoucího kalu (nereálné řešení).

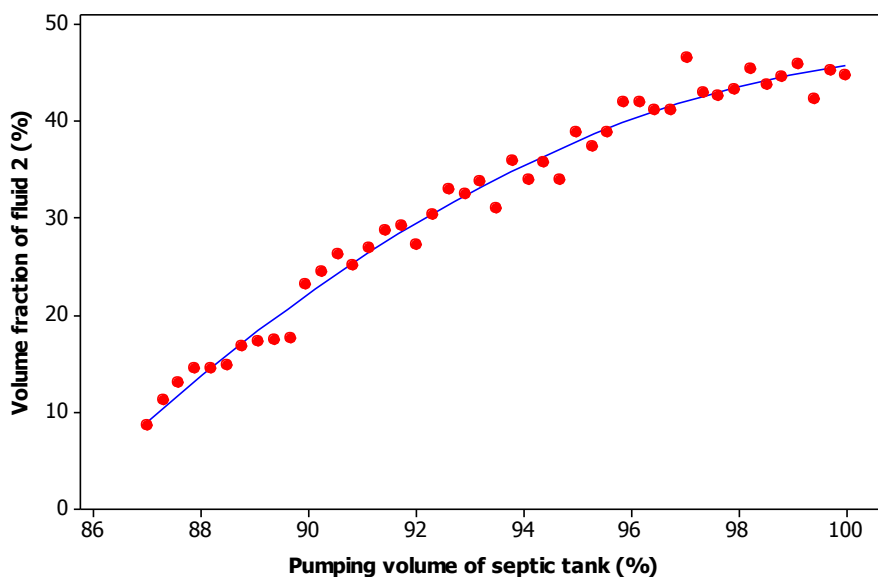
Nalezení počátku výskytu čerpané vody v tří komorovém septiku tedy vychází z měření uvedených v následujících třech obrázcích.



Obr. 48 První uspořádání, odtok, průtok $Q = 0,33$ l/s, $x = 19,7$ %



Obr. 49 Druhé uspořádání, odtok, průtok $Q = 0,33$ l/s, $x = 43,5$ %

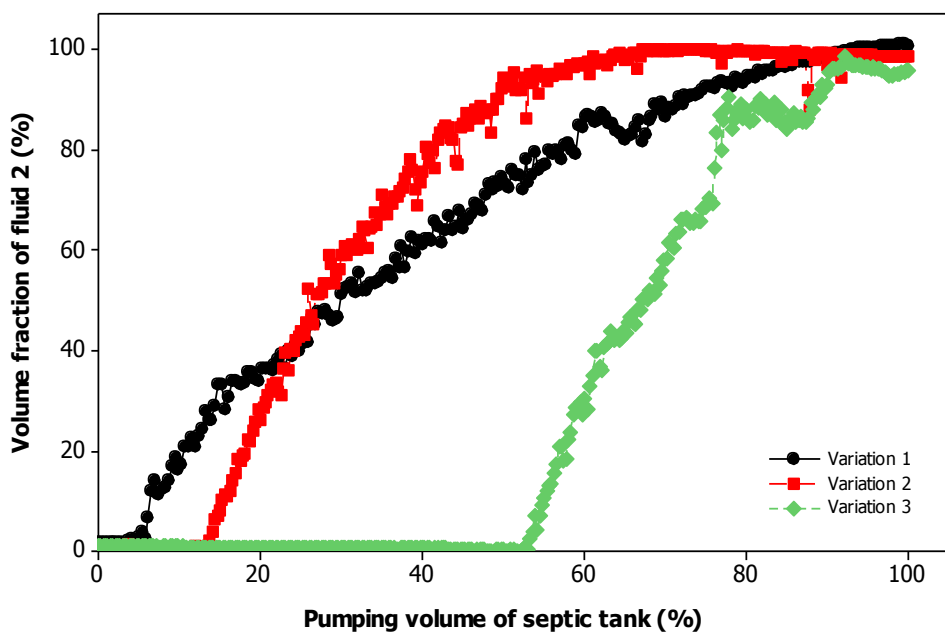


Obr. 50 Třetí uspořádání, odtok, průtok $Q = 0,33 \text{ l/s}$, $x = 85,3 \%$

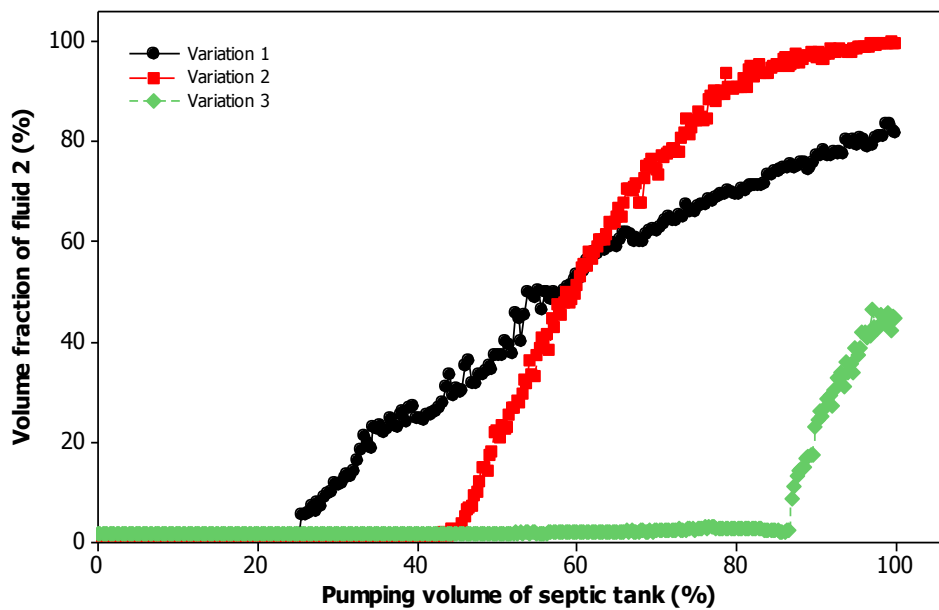
Použité regresní rovnice:

- První uspořádání tří komorového septiku $y = 38.7 + 2.143 \cdot x - 0.008739 \cdot x^2$
- Druhé uspořádání tří komorového septiku $y = -239.4 + 6.992 \cdot x - 0.03703 \cdot x^2$
- Třetí uspořádání tří komorového septiku $y = -1620 + 32.56 \cdot x - 0.1591 \cdot x^2$

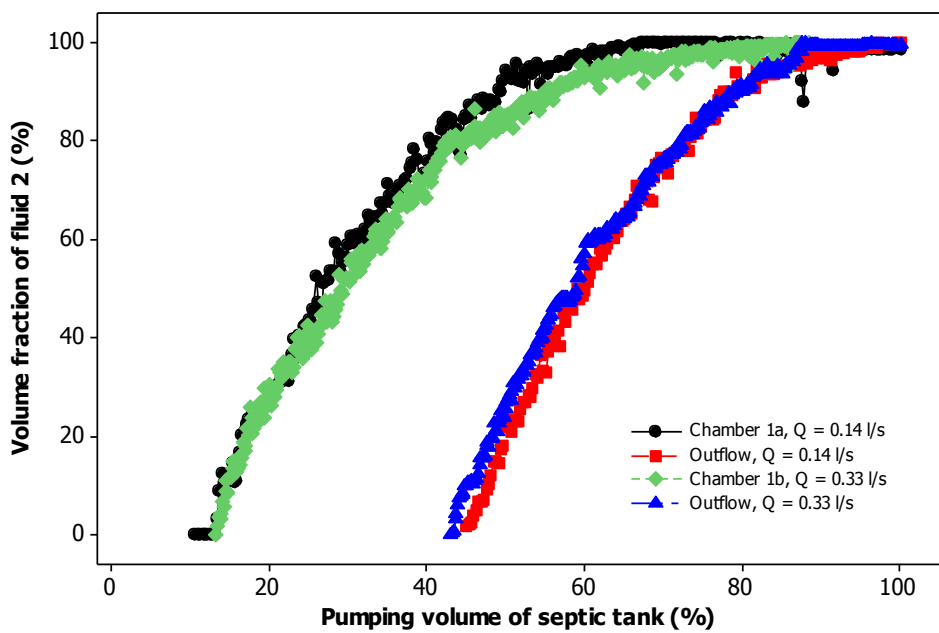
Pro nulové hodnoty na ose Y tedy vychází pro první uspořádání 19,7 %, druhé 43,5 % a třetí 85,3 %, což odpovídá třem výše uvedeným grafům na obrázcích č. 48, 49 a 50.



Obr. 51 Porovnání průtoku na odtoku z 2. komory, $Q=0.33 \text{ l/s}$ při 1., 2. a 3. uspořádání



Obr. 52 Porovnání průtoku na odtoku ze septiku, $Q = 0.33$ l/s při 1., 2. a 3. uspořádání



Obr. 53 Srovnání výsledků při dvou průtocích na odtoku z 2. komory a na odtoku ze septiku, při 1. a 2. uspořádání

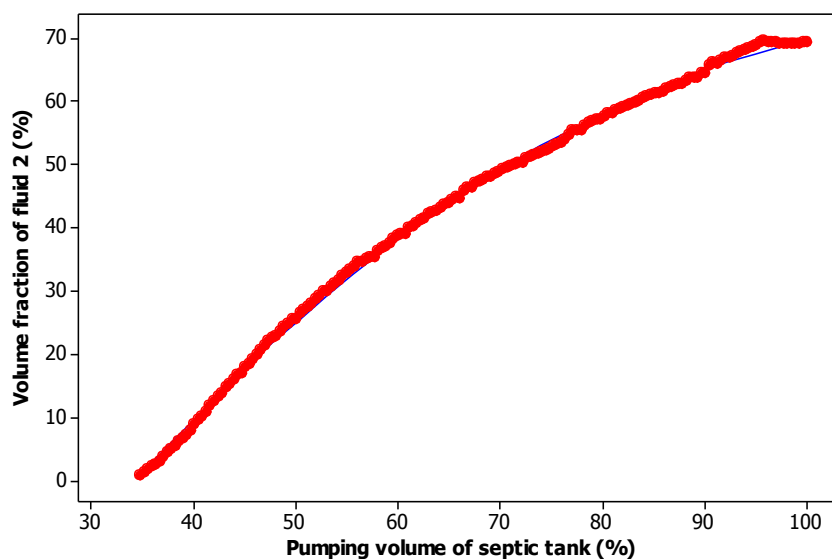
3.3 Vliv uspořádání – čtyřkomorový septik

Čtyřkomorový septik byl vyvíjen ve spolupráci s firmou Asio, první uspořádání čtyřkomorového septiku představuje také první variantu řešení (popsána v kapitole 2.1.4.) podle předpokladů chování směsi vody a kalu ve vnitřním prostoru. Na základě poznatků ze zkušeností po testování tří komorových variant byla upravena druhá varianta (popsána v kapitole 2.1.5) a podle řešení popsaném v dokumentu užitečný vzor č. 27142 (oproti předchozím dvěma variantám změna umístění jehlanové komory z odtokového prostoru do přítokového).

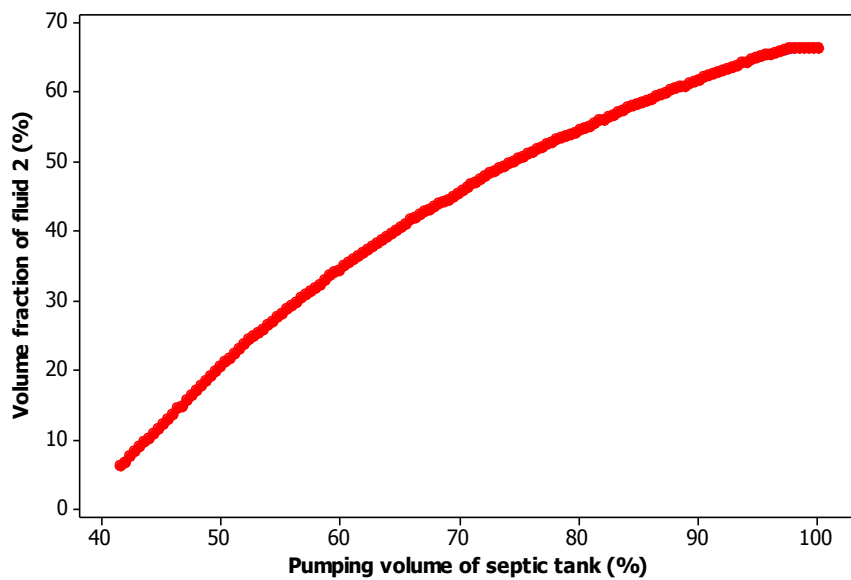
Pro vyhodnocení jsem obdobně jako v případě tří komorového septiku použila regresní rovnice:

- První uspořádání čtyř komorového septiku $y = -72.65 + 2.484 \cdot x - 0.01061 \cdot x^2$
- Druhé uspořádání čtyř komorového septiku $y = -84.33 + 2.672 \cdot x - 0.01163 \cdot x^2$
- Třetí uspořádání čtyř komorového septiku $y = -252.4 + 5.142 \cdot x - 0.01792 \cdot x^2$

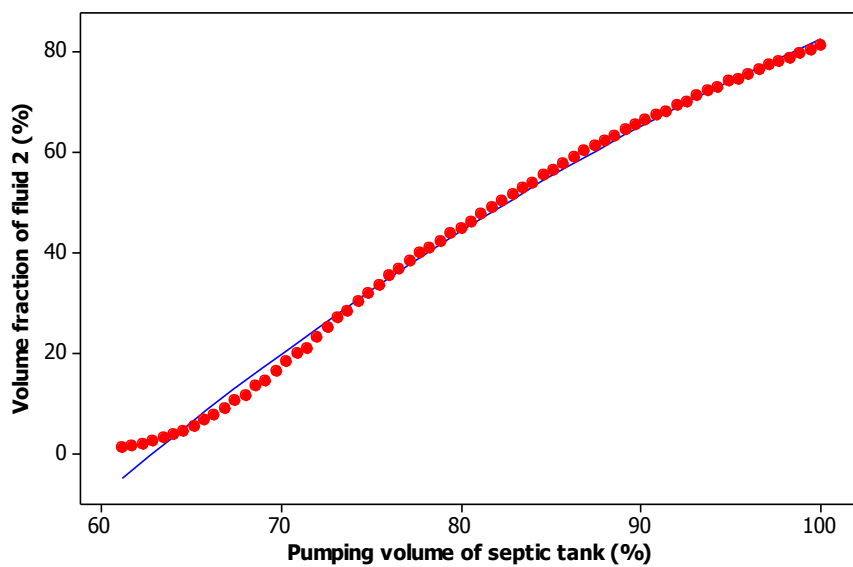
Pomocí uvedených regresních rovnic byla zjištěna přesná hodnota procenta naplnění septiku čerpanou vodou a spolehlivě došlo k zařazení jednotlivých měření do výše uvedených kategorií, dle grafů na následujících obrázcích. Pro nulové hodnoty na ose Y tedy vychází pro první uspořádání 34,3 %, druhé 37,8 % a třetí 62,9 %.



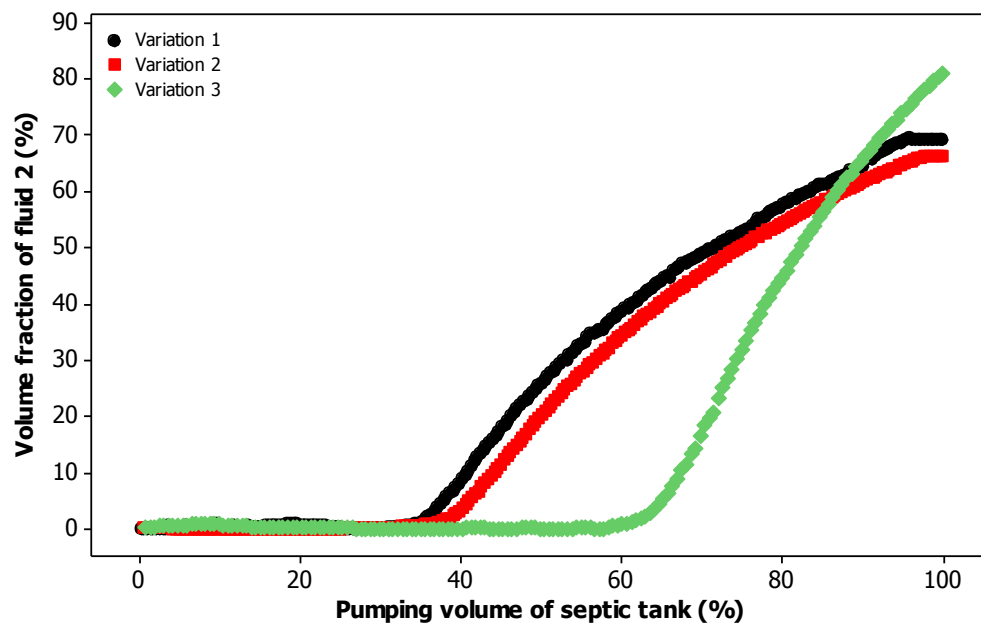
Obr. 54 První uspořádání, odtok, průtok $Q = 0,33 \text{ l/s}$, $x = 34,3 \%$



Obr. 55 Druhé uspořádání, odtok, průtok $Q = 0,33$ l/s, $x = 37,8$ %



Obr. 56 Třetí uspořádání, odtok, průtok $Q = 0,33$ l/s, $x = 62,9$ %



Obr. 57 Porovnání odtoků ze septiku, $Q = 0.33$ l/s při 1., 2. a 3. uspořádání čtyř komorového septiku

3.4 Numerické modely

Pro potvrzení výsledků jsem přistoupila k definování numerického modelu, který je zpracován v prostředí programu COMSOL Multiphysics. Nejprve je nahrazen prostor septiku 2D modelem, zahrnujícím popis proudění dvou kapalin ve svislé rovině XZ , následuje testování a vyhodnocení zjednodušeného 3D modelu tří komorového septiku.

3.4.1 2D Matematický model proudění dvou tekutin

Jak bylo uvedeno výše, matematický model byl zpracován v prostředí COMSOL Multiphysics. Vymodelování uspořádání č. 2 u tří komorového septiku bylo velmi problematické, jelikož pro urychlení výpočtu bylo potřeba nahrazení všech oblouků rovnými hranami – čímž se výrazně sníží počet konečných prvků, ve kterých probíhá výpočet. Pokud se ponechá kruhové potrubí, prostupující z jedné komory do druhé v reálném uspořádání jako válec, je zároveň potřeba vytvořit vnitřní válec vlivem tloušťky stěny potrubí. V okolí takto vznikající trubky se vytvoří desítky tisíc konečných prvků, proto je vhodné nahrazení např. 12-ti nebo 16-ti hranem. Při definování geometrie je tedy časově velice náročné samotná definice, nicméně výpočet proudění dvou tekutin potom probíhá podstatně rychleji.

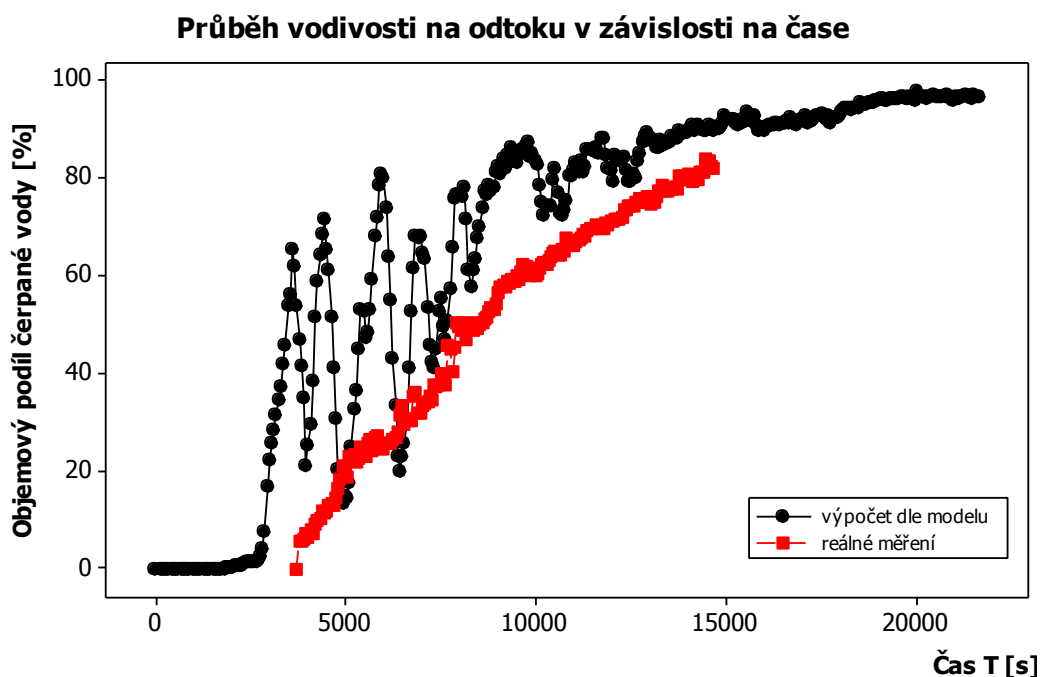
Postup při testování matematického modelu spočívá ovšem nejdříve v nahrazení 3D prostoru rovinou 2D a pokud bude model korespondovat s měřením, je možné v dalších úvahách počítat s rychlejší variantou, tj. 2D proudění.

Přistoupili jsme proto k dvourozměrnému modelování proudění dvou tekutin, geometrie vychází s prostého řezu při pohledu shora (na rovinu XY). Šířka komor ve 2D provedení odpovídá reálné vzdálenosti prostupů v plášti a dělicích stěnách septiku. Na barevných obrázcích je možné vidět řez celým objemem standardního tří komorového septiku při průběhu jednotlivých pokusů v různých časech. Jedná se o uspořádání první, druhé a třetí, pro tří komorový septik, jdoucí za sebou v tomto pořadí. Bílé šipky znázorňují směr proudění kapaliny v septiku, od přítoku pod nornou stěnou po odtokové potrubí DN 250 a barevné spektrum vyjadřuje poměrné množství čerpané a původní vody. Modré zbarvení představuje původní sladkou (vodovodní) vodu o konduktivitě cca 0,5 mS/cm, tmavě červené zbarvení značí přitékající slanou složku s konduktivitou (vodivostí) cca 8 mS/cm.

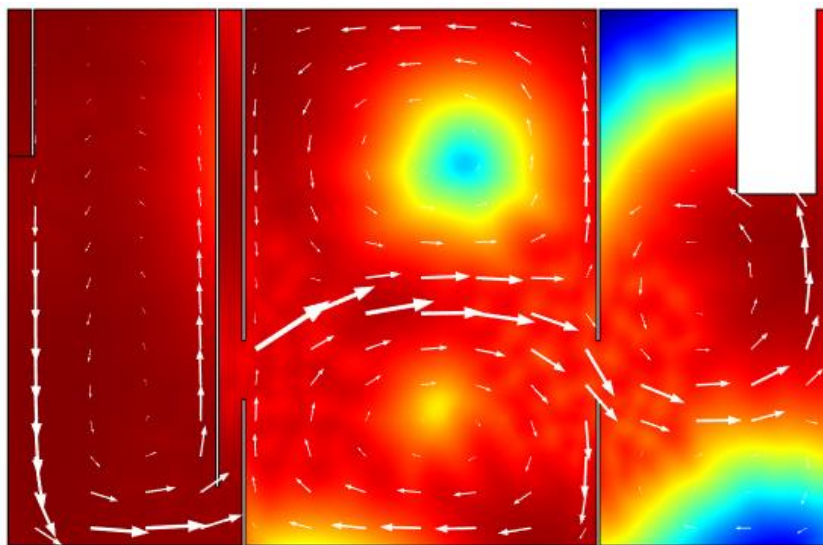
Na obrázcích zobrazujících množství vody, pod grafem č. 60, je barevné spektrum pozměněno. Modrá barva tady zvýrazňuje přitékající složku, která se mísí s vodou sladkou napuštěnou v septiku. Ta má tmavě červené zbarvení.

Výpočtem v programu COMSOL Multiphysics jsme získali mnohonásobně větší množství výstupních dat, oproti reálnému měření vodivostní sondou umístěnou v konkrétním místě ve zkoumaném septiku. Výpočet hodnot v programu COMSOL probíhá v sekundových intervalech, oproti multimetru, který zaznamenává měřené hodnoty v minutovém intervalu.

Na grafech č. 58, 60 a 66 je pro jednotlivá uspořádání č. 1, 2 a 3 vykreslen průběh vodivosti na odtoku ze standardního tří komorového septiku v závislosti na čase. Data, tvořící grafy, vznikla z hodnot vypočítaných programem COMSOL Multiphysics a reálných hodnot naměřených přístrojem Multimetr v průběhu provádění pokusů na výzkumném pozemku (popsáno výše v kapitole č. 3 Výsledky měření).

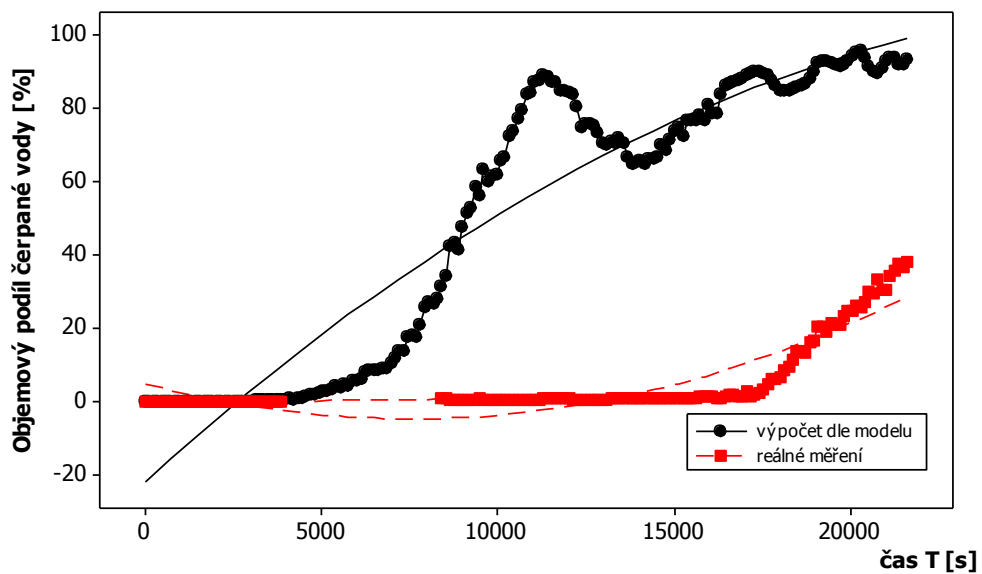


Obr. 58 Uspořádání č. 1 – standardní tří komorový septik bez úprav

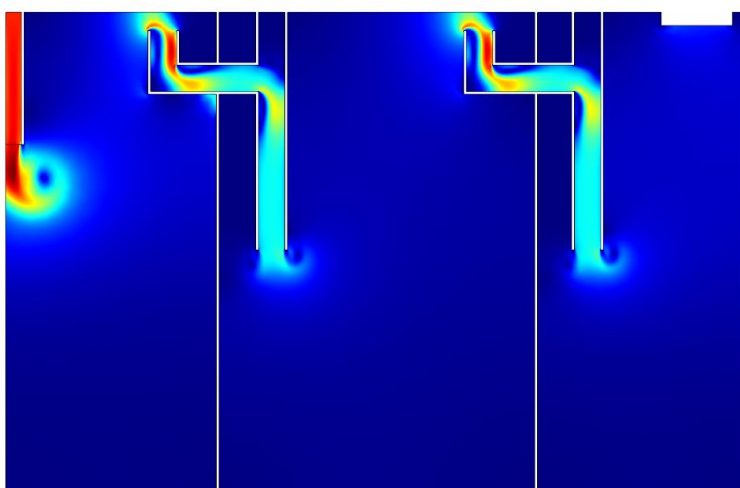


Obr. 59 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 3000 s

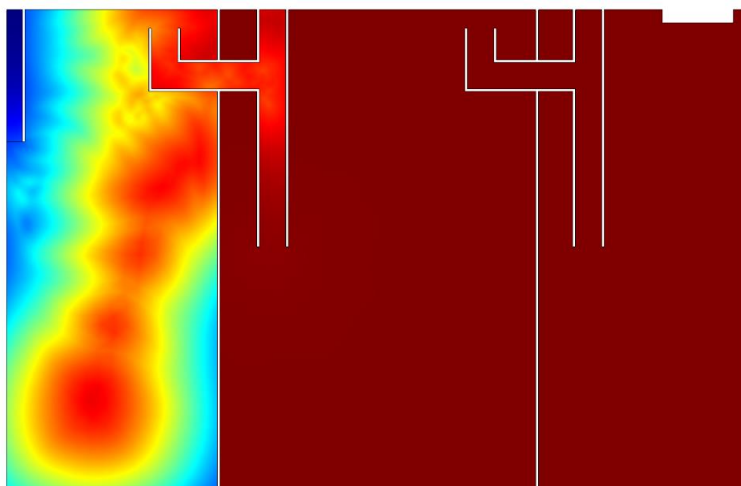
Průběh vodivosti na odtoku z druhé komory v závislosti na čase



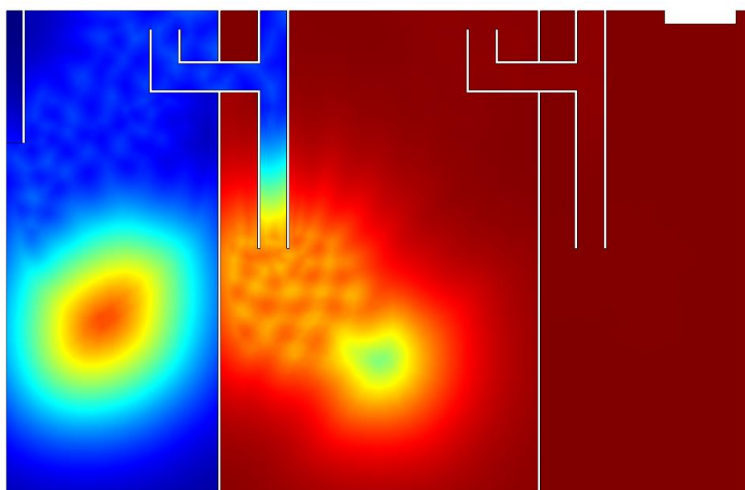
Obr. 60 Uspořádání č. 2 - potrubí do poloviny komory



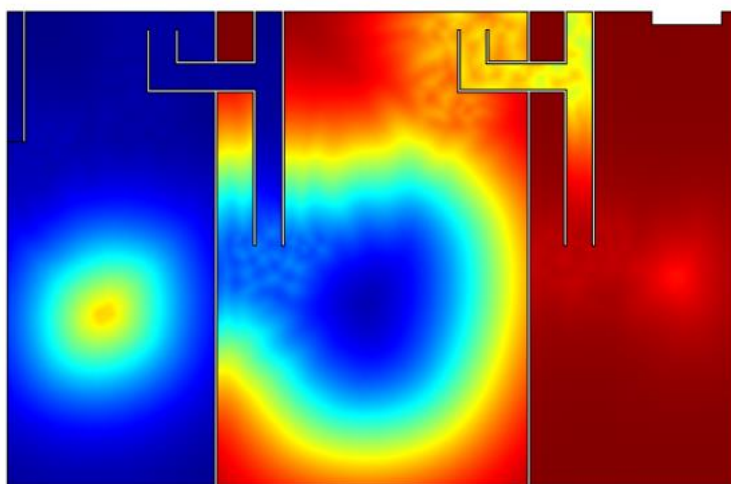
Obr. 61 Rychlost proudění vody v 2D prostoru tříkomorového septiku



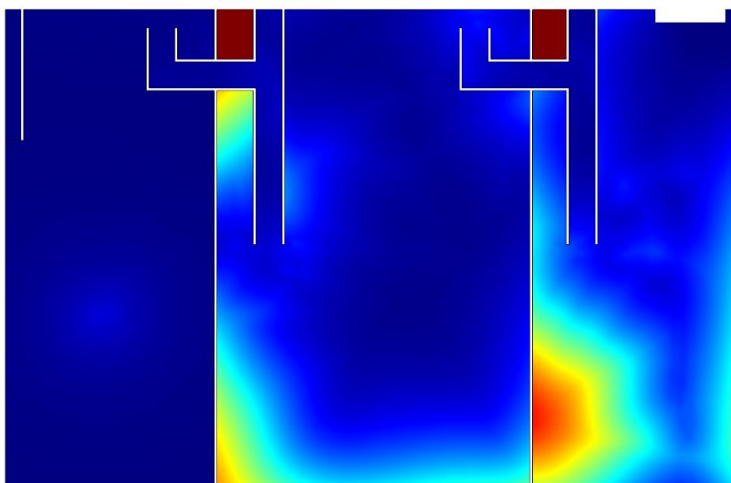
Obr. 62 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 1200 s



Obr. 63 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 3000 s

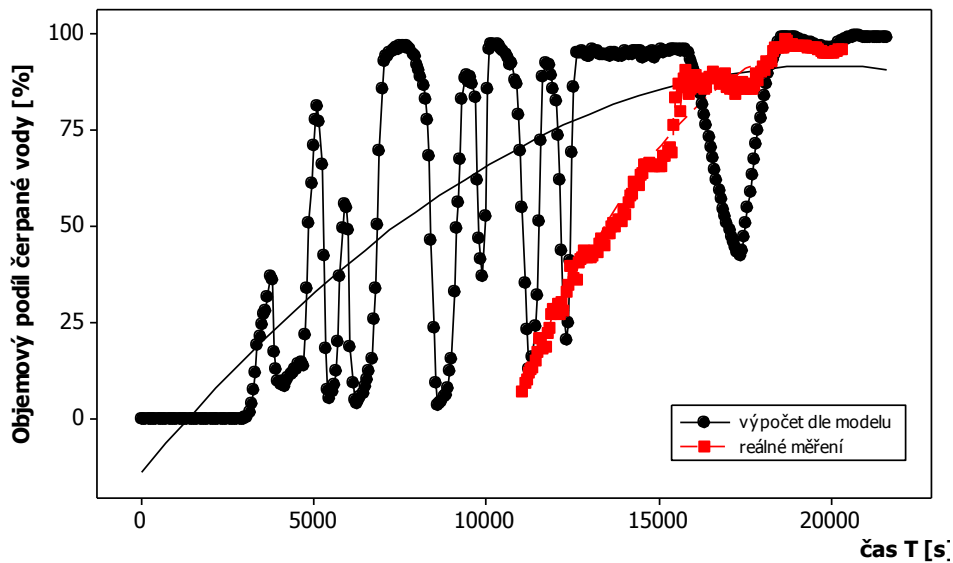


Obr. 64 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 6000 s

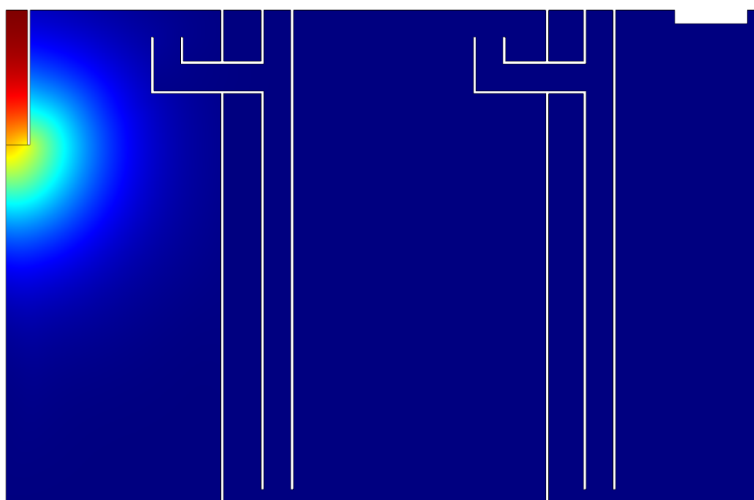


Obr. 65 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 18000 s

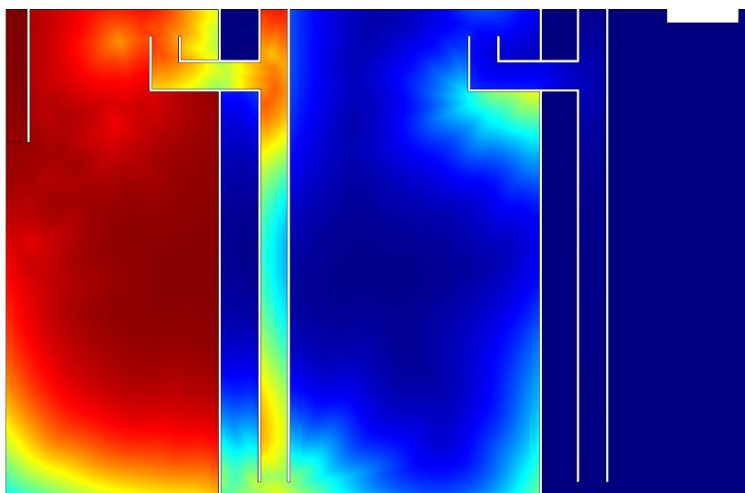
Průběh vodivosti na odtoku z druhé komory v závislosti na čase



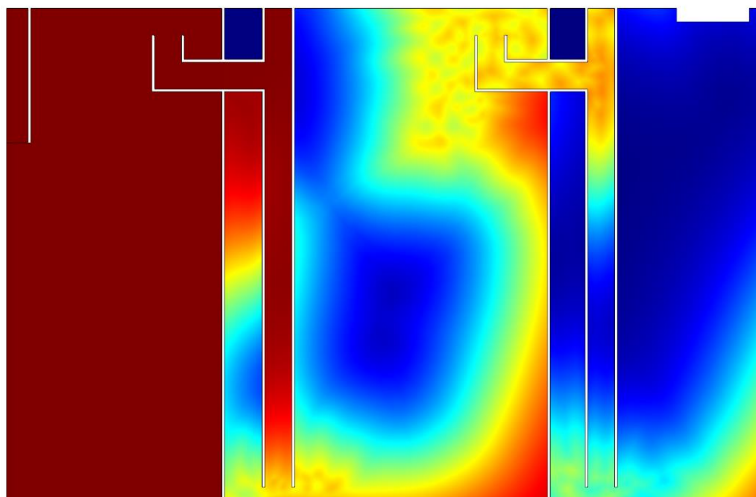
Obr. 66 Uspořádání č. 3 - potrubí zavedené ke dnu komory



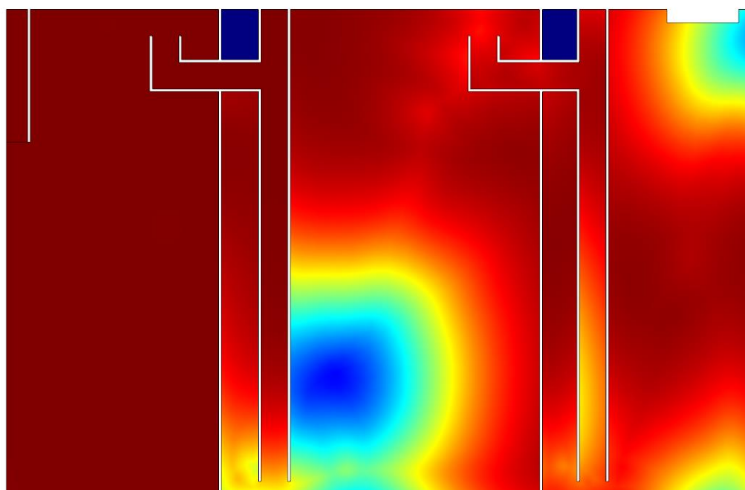
Obr. 67 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 120 s



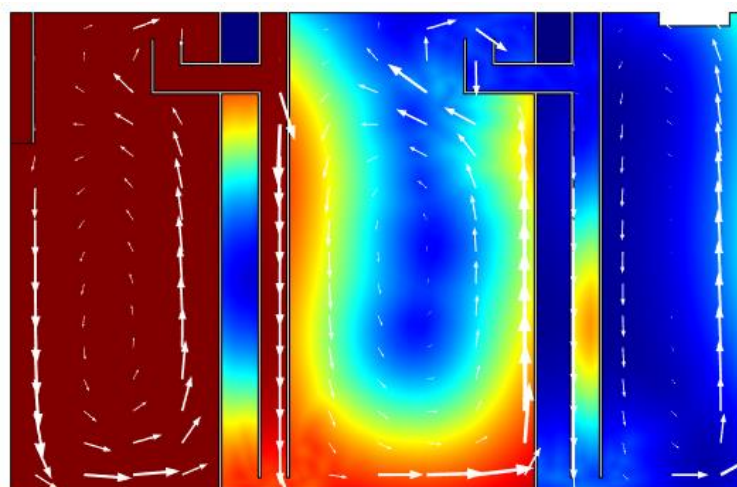
Obr. 68 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 3000 s



Obr. 69 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 6000 s



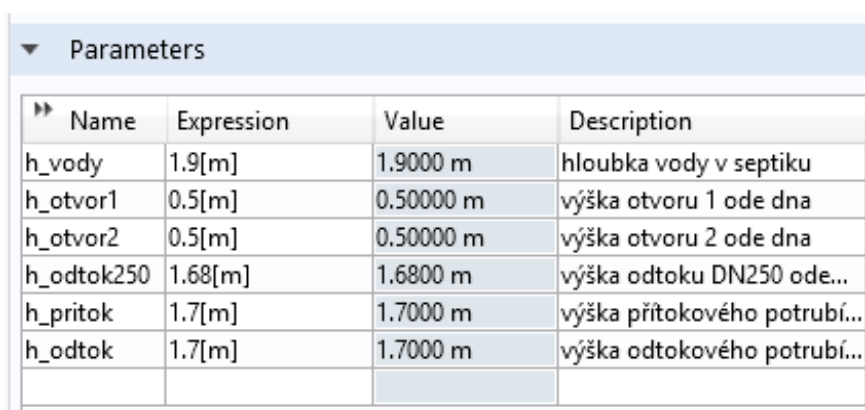
Obr. 70 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 18000 s



Obr. 71 Vyznačení směru proudění vody v tří komorovém septiku

3.4.2 3D Matematický model proudění dvou tekutin

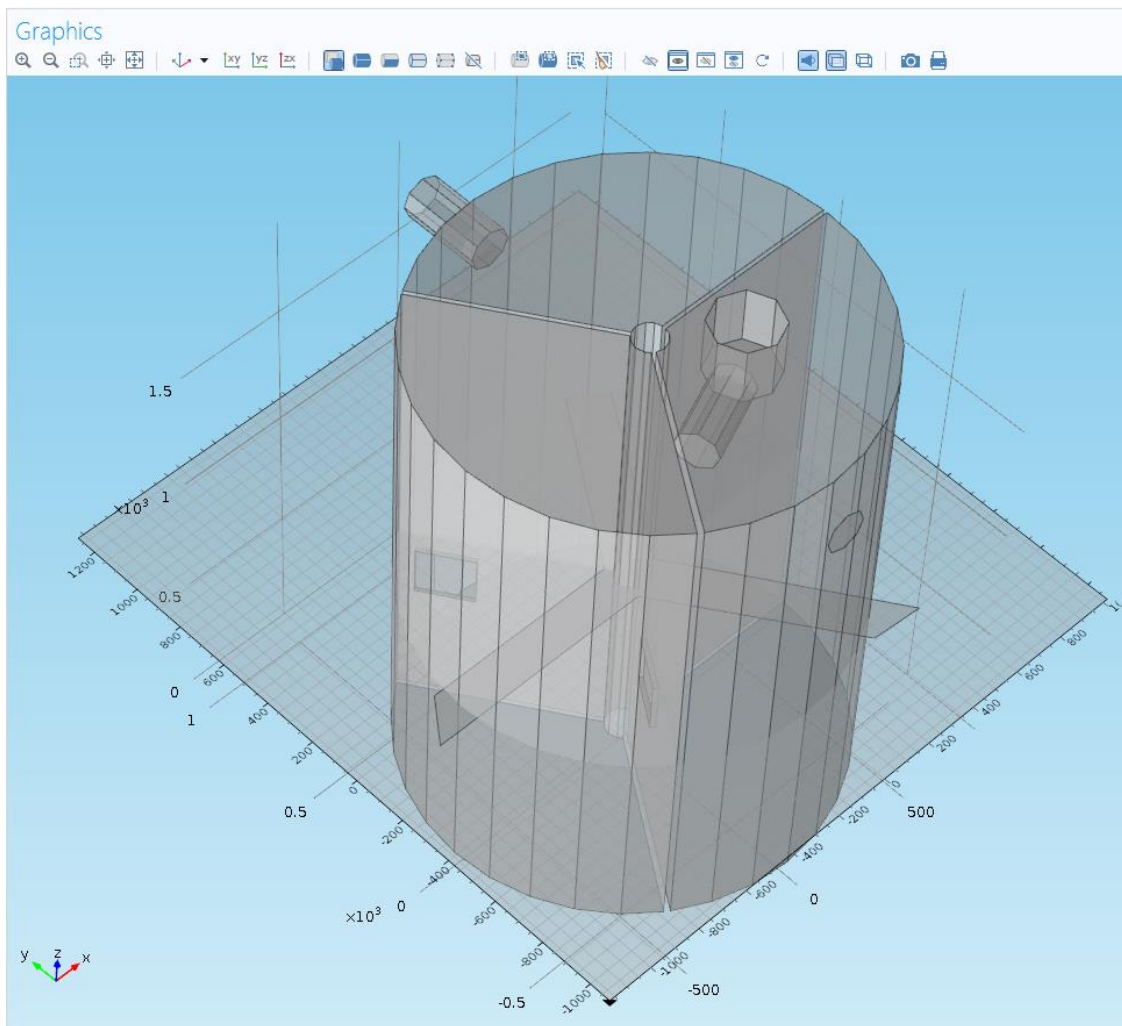
Nejprve jsme v programu COMSOL Multiphysics vymodelovali trojrozměrné uspořádání standardního septiku. Na pracovní ploše programu COMSOL se definují parametry, se kterými program následně počítá. Výhodou tvorby parametrů je snadná orientace v programu a možnost změny rozměrů jak ve vertikálním, tak v horizontálním směru (např. výška vtoku, výška odtoku, výška a umístění norné stěny, umístění rozrážeče apod.)



Name	Expression	Value	Description
h_vody	1.9[m]	1.9000 m	hloubka vody v septiku
h_otvor1	0.5[m]	0.50000 m	výška otvoru 1 ode dna
h_otvor2	0.5[m]	0.50000 m	výška otvoru 2 ode dna
h_odtok250	1.68[m]	1.6800 m	výška odtoku DN250 ode...
h_pritok	1.7[m]	1.7000 m	výška přítokového potrubí...
h_odtok	1.7[m]	1.7000 m	výška odtokového potrubí...

Obr. 72 Tabulka parametrů

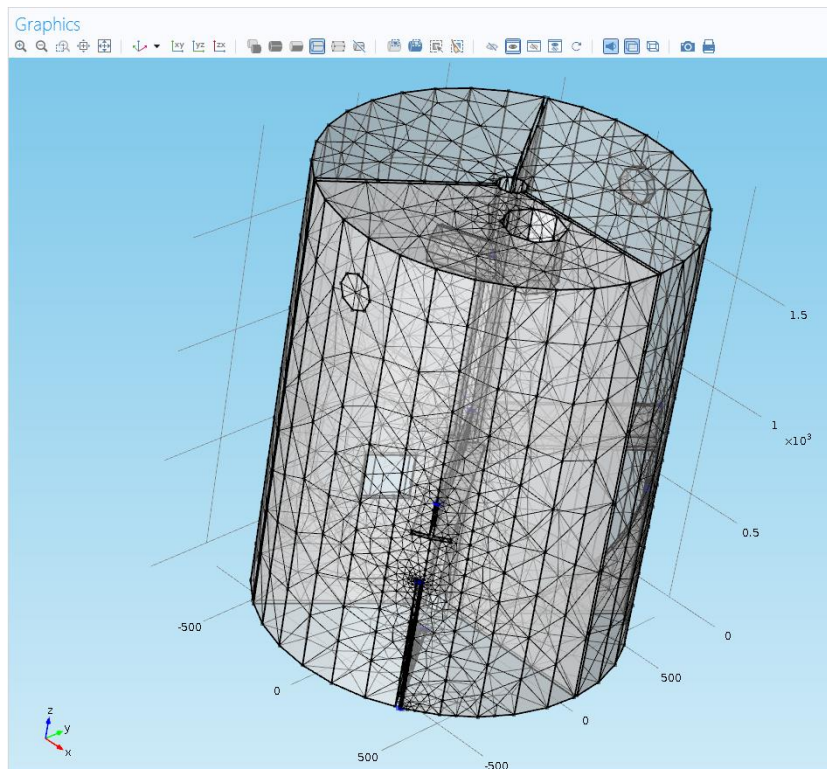
V záložce „Geometry“ se nahrají souřadnice z programu CAD, ve formátu hodnot x , y oddělených desetinnou tečkou. Tím se definuje půdorys objektu. Pomocí funkce „Extrude“ se objekt vytáhne do prostoru. V požadované výšce popř. vzdálenosti na ose x se vytvoří rovina, do které se přes zadané souřadnice z programu CAD zakreslí obrys prvku. Tento krok je patrný z následujícího obrázku č. 73. Postupným přidáváním jednotlivých prvků do půdorysu, popř. do vytvořené roviny (vtok, otvor, norná stěna, T-prvek) a zadáváním jejich tloušťky pomocí příslušné funkce „Extrude“ se vymodeluje výsledný tvar požadovaného tělesa.



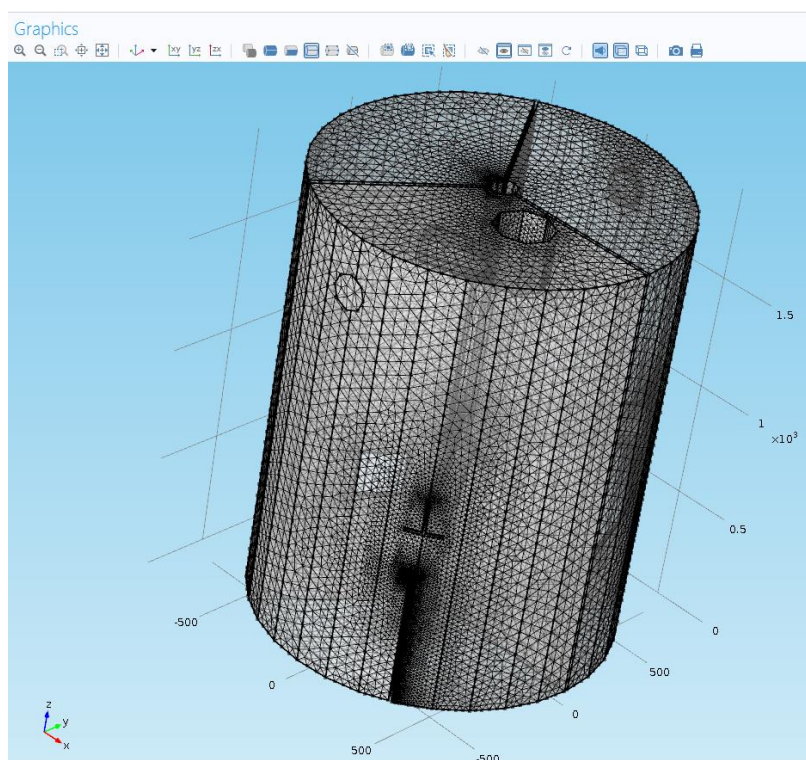
Obr. 73 Vytvoření prvků pomocí funkce Extrude

Funkcí „Different“ se vyloučí prvky a prostor, které do výpočtu nechceme zahrnout (dělicí stěny, plášť potrubí, norné stěny), tedy ty části, kterými kapalina neproudí. Oproti tomu pomocí funkcí „Union“ se sjednotí prostory, kudy kapalina bude protékat (přítok, otvor ve stěně, profil kruhového potrubí, odtok). Následně se definují jednotlivé materiály z nabídky, kterým program sám přiřadí jejich vlastnosti. Materiálů lze zvolit více a výběrem plochy se přiřadí daná charakteristika na potřebnou pozici. Lze kombinovat dvě kapaliny, v našem případě sladkou a slanou vodu. Dále se v programu definuje typ proudění – laminární / turbulentní.

Po zadání potřebných parametrů se použije tlačítko „MASH“ pro vytvoření sítě „trojúhelníků“ – konečných prvků. Zde lze nastavit libovolnou hustotu řešení bodů – dle kvality požadovaného výstupu a přesnosti výpočtu. Na výběr je z devíti možností pro vykreslení od nejhustší po nejjemnější síť. Od hustoty této sítě se odvíjí délka trvání výpočtu. Obrázky č. 74 a 75 znázorňují rozdíl v hustotě sítě vykreslovaných prvků.



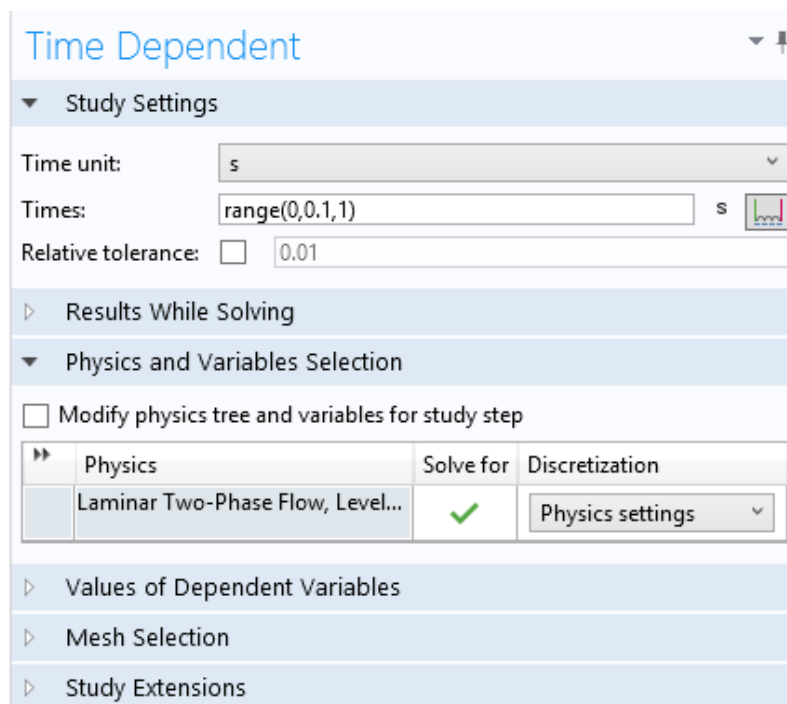
Obr. 74 Velikost elementu (prvku) – velmi hrubý (Extremely coarse)



Obr. 75 Velikost elementu (prvku) – jemnější (Finer)

V záložce „Study“ se provede výpočet nadefinovaného příkladu, může se zvolit jak časový krok zobrazujících se výsledků, tak opakování s různými variantami definovaných parametrů (viz výše). Na výběr je ze třinácti časových údajů, přičemž pro nás je neoptimálnější možnost sekunda, minuta,

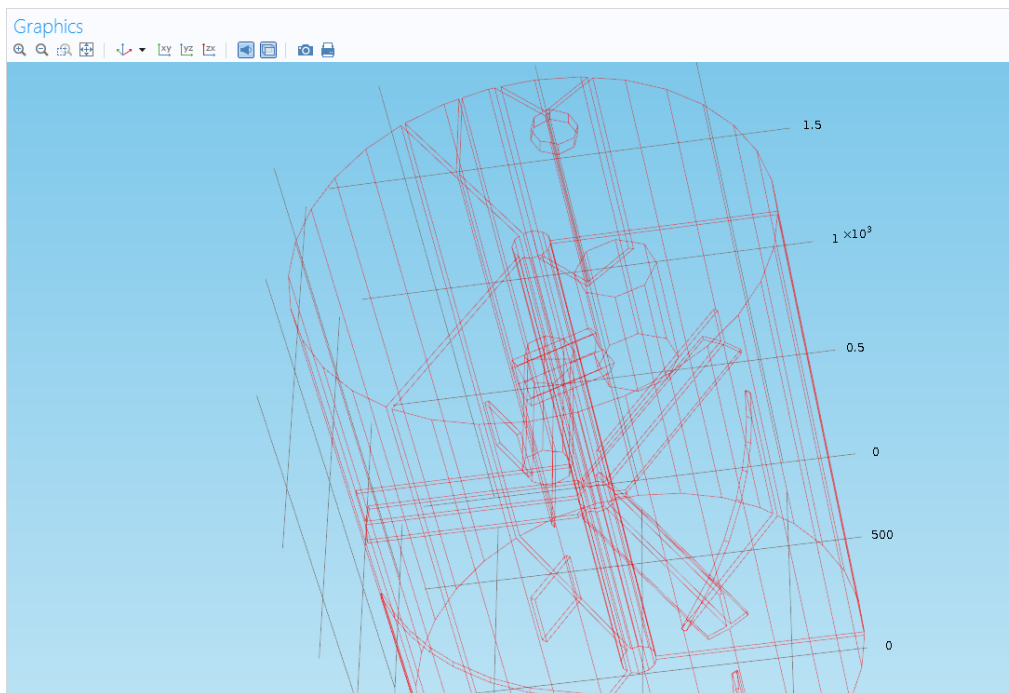
hodina či den. Tato volba se provede v rámečku s označením „Times“. Časový krok se zapisuje ve formě „začátek, krok, konec“. Tento zápis je patrný z obrázku č. 76. Dále můžeme zadat více variant rychlostí, nebo libovolně v prostoru zvolit pozorovací bod (čáru, řez, rovinu nebo celý prostor), ve kterém lze pozorovat výsledky (rychlosti, tlaky, podíl čerpané a původní vody, hustoty apod.).



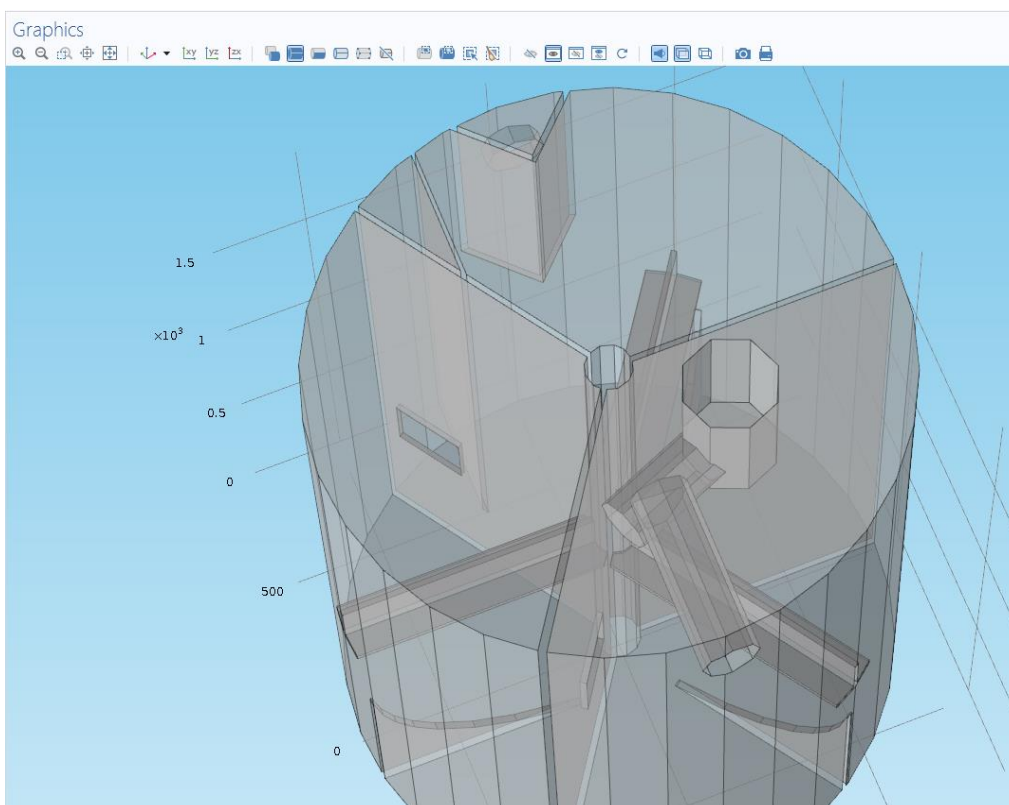
Obr. 76 Nastavení časového kroku

Délka trvání výpočtu se odvíjí od složitosti příkladu a přesnosti řešení. V průběhu výpočtu jsou zablokovány ostatní akce a nemůže se s příkladem dále pracovat. Lze zobrazit grafické zpracování, kde se v jednotlivých časových krocích pozoruje pohyb kapaliny, nebo průběh výpočtu.

Po dokončení výpočtu se v záložce „Results“ objeví výstupy – barevně rozlišené průběhy rychlostí, isolinie nebo grafické průběhy rychlostí s vyznačením směru proudění. S těmito výsledky lze dále pracovat přímo v programu COMSOL. Můžeme volit barevné spektrum zobrazované oblasti, intenzitu zbarvení, umístění legendy, velikost šipky určující směr proudění a jiné. Z této složky lze exportovat výstupní číselné hodnoty vybrané fyzikální veličiny do programu Minitab. Upravené výsledky se poté zobrazí v záložce „Export“, kde lze nastavit rozlišení obrázku a exportovat tak grafické výstupy do určené složky. Součástí exportovaných obrázků je osa proměnných x , y a z , popis příslušných os, legenda a název.

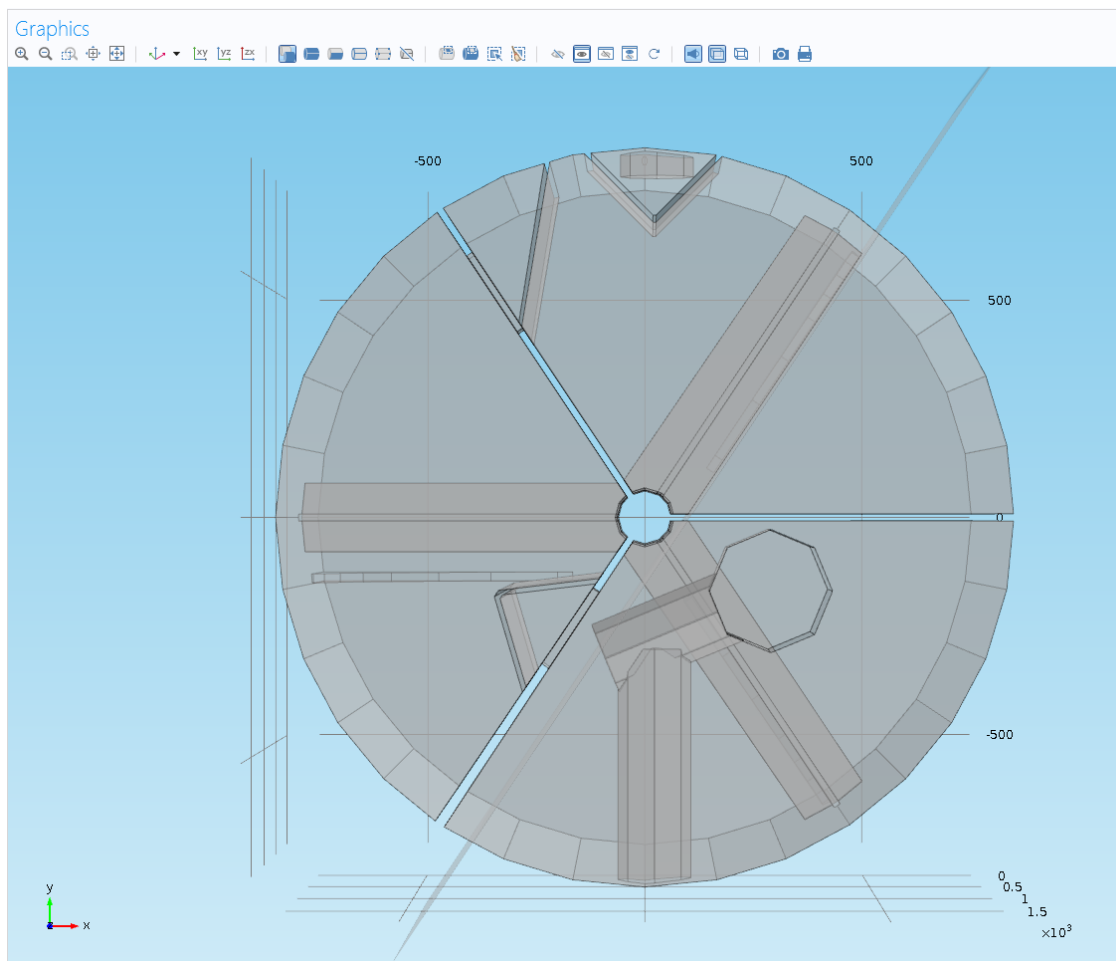


Obr. 77 Barevné zobrazení obrysu vymodelovaného septiku



Obr. 78 Provedení vnitřního uspořádání tří komorového septiku

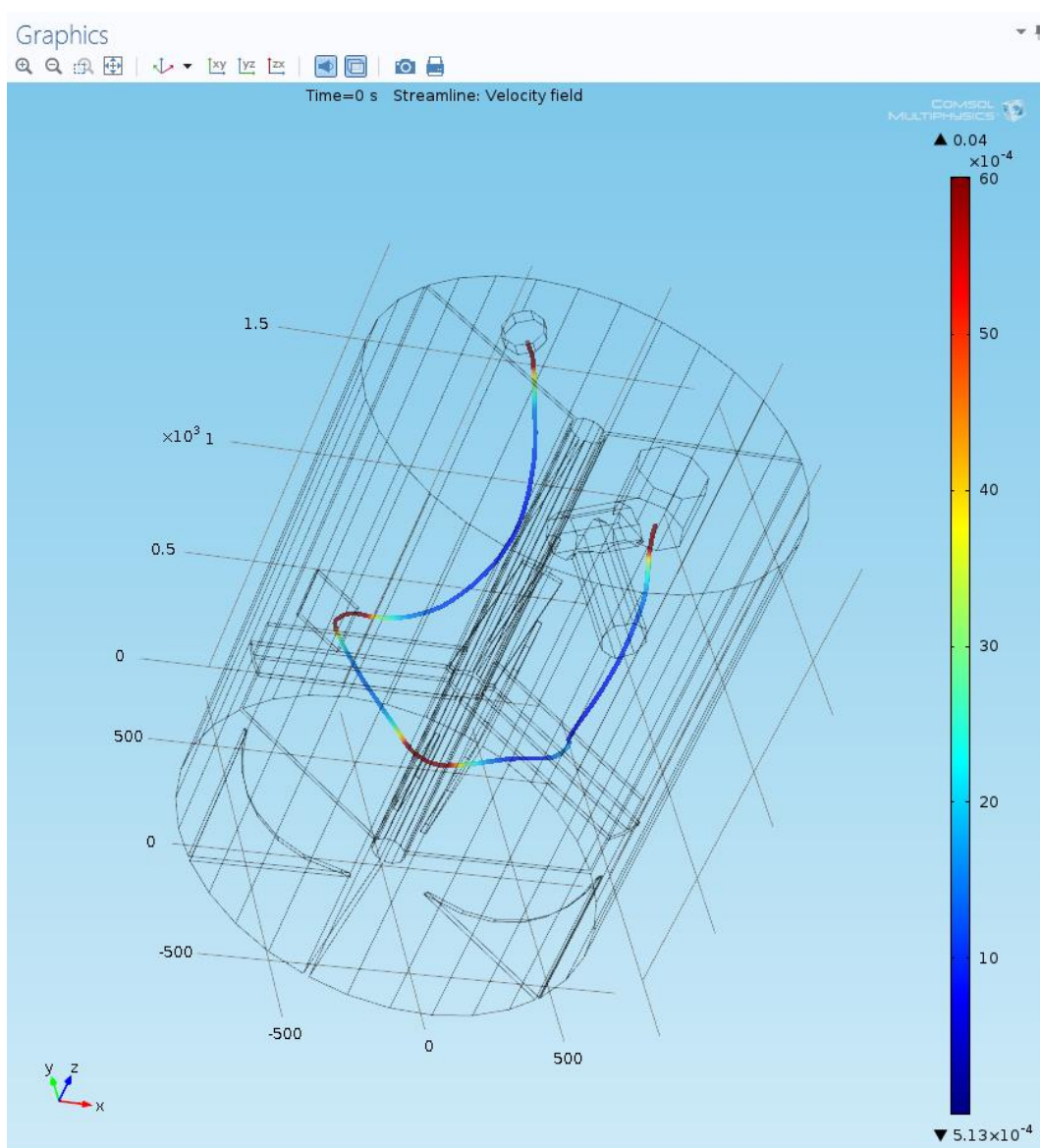
Obrázek č. 79 znázorňuje půdorys tří komorového septiku s přítokem DN 110, dělicími stěnami se čtvercovými prostupy normými stěnami, vertikálně umístěné potrubí DN 250 a na něj napojené odtokové potrubí DN 110. Patrné jsou i tři T-prvky u dna septiku, sloužící jako vyztužení celého tělesa tří komorového septiku.



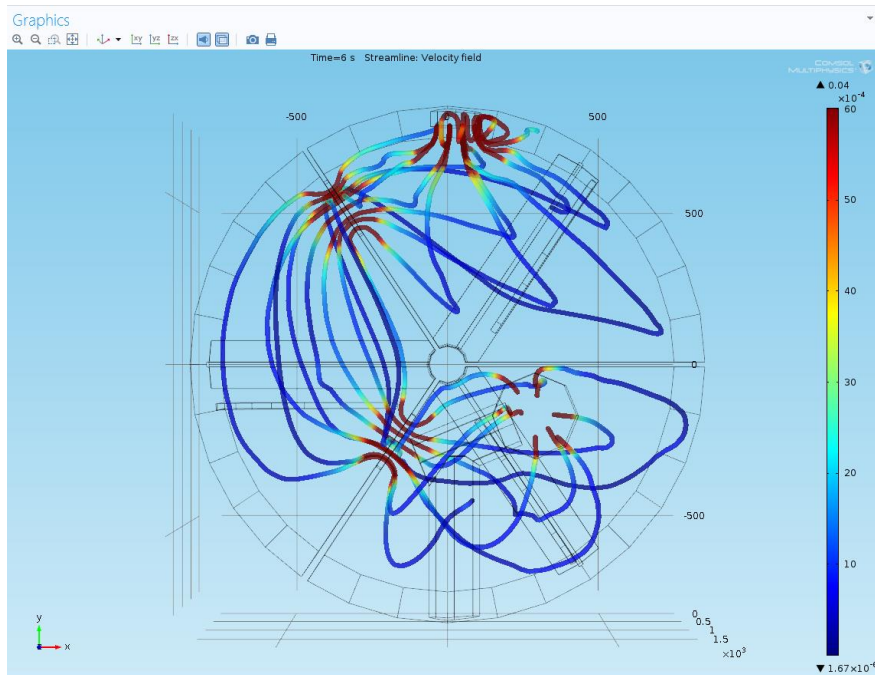
Obr. 79 Půdorys tří komorového septiku s normými stěnami

3.4.3 Matematický model proudění dvou tekutin ve 3D

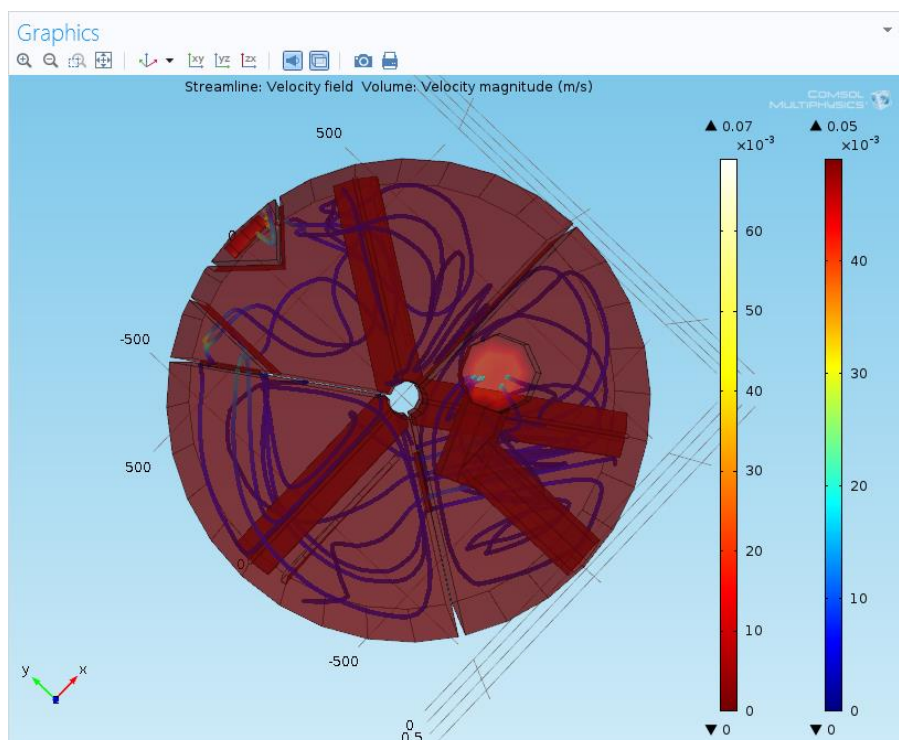
Na obrázku č. 80 je vidět trajektorie částice protékající prvním uspořádáním septiku. Můžeme si všimnout vzniklých zkratových proudů. Částice se od vtoku po odtok ze septiku dostala ve velmi krátkém čase a využití objemu septiku bylo velmi malé. Nedošlo k dostatečnému promíchání vody čerpané do objemu pitné vody napuštěné v septiku, což je současně známkou krátké doby zdržení tekutiny v septiku. Následující obrázek č. 81 vyobrazuje trajektorie pro dvanáct libovolných částic v septiku. Rozdělení proudu je patrné, i tak ale dochází ke vzniku zkratového proudu a každá trajektorie má jinou dráhu a tím i jinou dobu zdržení v septiku.



Obr. 80 Vizualizace průtoku částice tělesem – trajektorie od vtoku po odtok ze septiku



Obr. 81 Trajektorie částic protékajících septikem



Obr. 82 Vizualizace trajektorie částic protékajících septikem s normými stěнами

4 Vyhodnocení výsledků, diskuze

4.1 Zpracování kategorizace kvality septiku

Naměřená a zpracovaná data byla vyhodnocena podle následujících hodnotících kritérií:

- a) Využití prostoru septiku
- b) Potenciální zkratové proudy
- c) Reálnost uspořádání prostoru septiku
- d) Pečlivost návrhu prostoru septiku
- e) Vliv na účinnost septiku (nerozpuštěné látky)
- f) Náklady na vývoj septiku
- g) Náklady na výrobu septiku
- h) Návratnost vynaložených prostředků

4.1.1 I. Kategorie – Teoreticky nejlepší řešení

- a) Maximální využití prostoru septiku.
- b) Teoreticky úplně eliminované zkratové proudy.
- c) Teoreticky možné uspořádání, v praxi těžko realizovatelné.
- d) Návrh septiku proveden s extrémní pečlivostí.
- e) Předpokládaná velmi dobrá účinnost odstranění nerozpuštěných látek.
- f) Ekonomicky nevýhodné – vysoké náklady na vývoj septiku, podložené matematickými simulacemi a optimalizačními modely.
- g) Drahá výroba, plynoucí z vysokého množství přepážek, usměrňovacích prvků, norných stěn aj. částí.
- h) Celkově nerentabilní návratnost vynaložených prostředků i přes vysoké využití celého prostoru septiku.

4.1.2 II. Kategorie – Velice kvalitní řešení

- a) Téměř celý prostor septiku je využit.
- b) Zkratové proudy vznikající v minimální míře.
- c) Nejspíše možné řešení, které lze teoreticky vyrobit.
- d) Prostor septiku je využit velice svědomitě.
- e) Očekávat lze perfektní účinnost v parametru nerozpuštěné látky.
- f) Náklady na vývoj tvoří větší podíl prodejní ceny.
- g) Výroba septiku nebude konkurence schopná z důvodu vyšší ceny materiálu.

- h) Návratnost počátečních výdajů na vývoj a výrobu jsou rentabilní až po prodeji vysokého počtu septiků.

4.1.3 III. Kategorie – Dobré řešení

- a) Prostor septiku z velké části využit.
- b) Zkratové proudy vznikající ojediněle.
- c) Možné řešení, které lze vyrobit.
- d) Prostor septiku je využit svědomitě.
- e) Očekávat lze dobrou účinnost v parametru nerozpuštěné látky.
- f) Náklady na vývoj tvoří malý podíl prodejní ceny.
- g) Výroba velmi složitá, náročná a cenově málo přijatelná.
- h) Návratnost počátečních výdajů na vývoj a výrobu jsou rentabilní až po prodeji většího počtu septiků.

4.1.4 IV. Kategorie – Průměrné řešení

- a) Prostor septiku využit pouze z části .
- b) Zkratové proudy vznikající v malé míře.
- c) Možné řešení, které lze snadno vyrobit.
- d) Prostor septiku je využit dostatečně.
- e) Očekávat lze zhoršenou účinnost v parametru nerozpuštěné látky.
- f) Náklady na vývoj tvoří minimální podíl prodejní ceny.
- g) Výroba složitá, náročnější a cenově přijatelná.
- h) Návratnost prostředků pro výrobce i provozovatele okamžitá – není předpoklad ucpávání dalšího stupně čištění.

4.1.5 V. Kategorie – Přijatelné řešení

- a) Prostor septiku využit pouze z malé části.
- b) Slabé zkratové proudy vedoucí ke zrychlení průtoku vody septikem.
- c) Možné řešení, které lze jednoduše vyrobit.
- d) Prostor septiku je využit přijatelně.
- e) Očekávat lze špatnou účinnost v parametru nerozpuštěné látky.
- f) Malé náklady na vývoj septiku.
- g) Výroba snadná, složitější a cenově dostupná.
- h) Návratnost prostředků pro výrobce okamžitá, pro provozovatele dobrá varianta – není zde předpoklad ucpávání dalšího stupně čištění.

4.1.6 VI. Kategorie – Špatné řešení

- a) Špatné využití celého objemu septiku.
- b) Silné zkratové proudy vedoucí ke zrychlení průtoku vody septikem.
- c) Možné řešení, které je realizovatelné snadno.
- d) Prostor septiku je využit špatně.
- e) Sedimentace nerozpuštěných látek se uplatňuje zřídka.
- f) Minimální náklady na vývoj septiku.
- g) Výroba snadná, jednoduchá a cenově dostupná.
- h) Návrhnost prostředků pro výrobce okamžitá, pro provozovatele špatná varianta – lze očekávat možné ucpávání dalšího stupně čištění.

4.1.7 VII. Kategorie – Nevhodné řešení

- a) Nedostatečné využití celého objemu septiku.
- b) Velmi silné zkratové proudy vedoucí k rychlému průtoku vody septikem.
- c) Jednoduché řešení, které je realizovatelné snadno.
- d) Prostor septiku je využit nevhodně.
- e) Sedimentace nerozpuštěných látek se uplatňuje minimálně.
- f) Zanedbatelné náklady na vývoj septiku.
- g) Výroba snadná, jednoduchá a levná.
- h) Návrhnost prostředků pro výrobce okamžitá, pro provozovatele horší varianta – lze očekávat ucpávání dalšího stupně čištění.

4.1.8 VIII. Kategorie – Teoreticky nejhorší řešení

- a) Velice špatné využití celého objemu septiku.
- b) Extrémně silné zkratové proudy vedoucí k rychlému průtoku vody septikem.
- c) Jednoduché řešení, které je realizovatelné velice snadno.
- d) Návrh septiku je proveden okamžitě bez normových pokynů.
- e) Sedimentace nerozpuštěných látek se neuplatňuje.
- f) Nulové náklady na vývoj septiku.
- g) Výroba snadná, jednoduchá a velice levná.
- h) Návrhnost prostředků pro výrobce okamžitá, pro provozovatele nedoporučitelná varianta – lze očekávat bezprostřední ucpávání dalšího stupně čištění.

Jednotlivé pokusy, provedené na standardním tří komorovém septiku i nově vyvíjeném čtyř komorovém septiku, byly uspořádány do kategorií 1 až 8, podle vhodnosti a kvality řešení. Kategorie jsou seřazeny sestupně od teoreticky nejlepšího řešení, tzn. hydraulicky nejlepšího, avšak po finanční stránce nepřijatelného, přes řešení přijatelné až po teoreticky nejhorší řešení s nejnižšími náklady na výrobu, avšak hydraulicky naprosto nevhodné. V následující tabulce č. 2 je uvedeno bodové ohodnocení řešení vnitřního uspořádání septiku podle hodnotících kritérií, ve smyslu školního známkování (1 – nejlepší, 5 – nejhorší).

Tab. 3 Tabulka kritérií pro hodnocení

	KATEGORIE							
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
	Teoreticky nejlepší řešení	Velice kvalitní řešení	Dobré řešení	Průměrné řešení	Přijatelné řešení	Špatné řešení	Nevhodné řešení	Teoreticky nejhorší řešení
Využití prostoru septiku	1	2	2	2	3	3	4	5
Potenciální zkratové proudy	1	2	3	3	4	4	5	5
Reálnost uspořádání prostoru septiku	5	4	3	3	3	2	2	1
Pečlivost návrhu prostoru septiku	1	2	2	3	4	4	5	5
Vliv na účinnost septiku (nerozpuštěné látky)	1	1	2	2	3	4	5	5
Náklady na vývoj septiku	5	4	3	3	2	2	1	1
Náklady na výrobu septiku	5	4	3	2	2	2	1	1
Návratnost vynaložených prostředků	5	4	3	3	2	2	1	1
	24	23	21	21	23	23	24	24

Slovní zhodnocení:

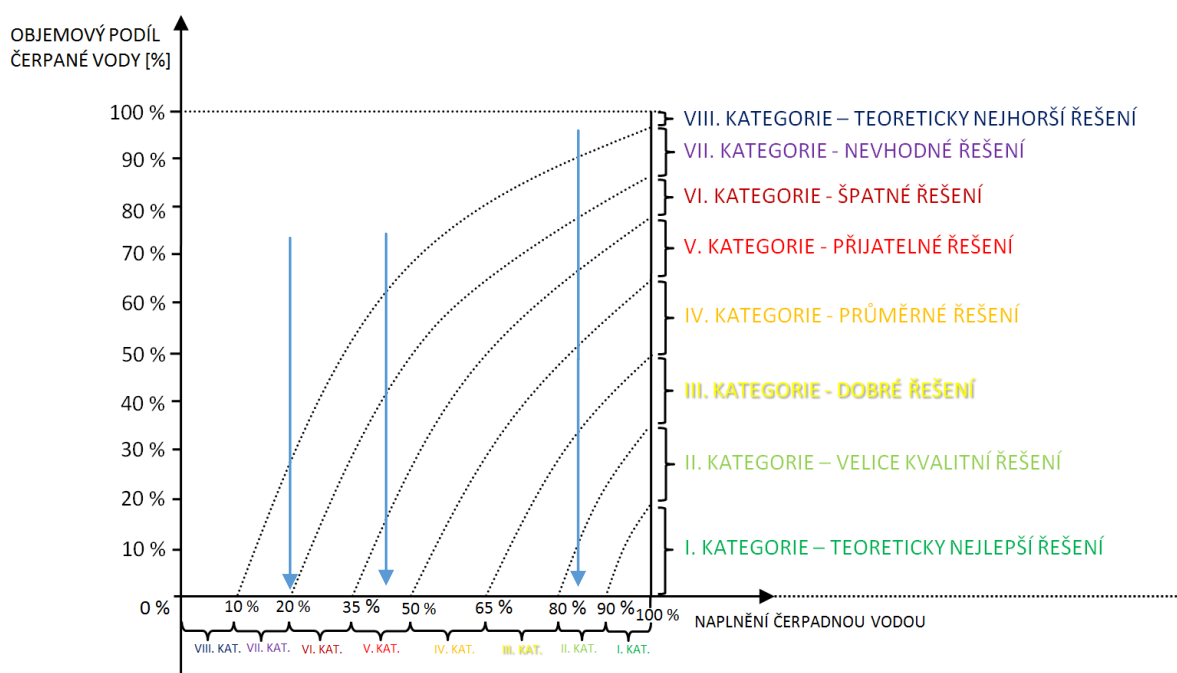
Pro výrobce je nejlevnější a na výrobu nejméně náročný výrobek kategorie VIII. – teoreticky nejhorší řešení, avšak pro uživatele je naprosto nevyhovující z hlediska využití prostoru i potenciálního vzniku zkratových proudů. Pro zákazníka je naopak nejvýhodnější kategorie I. – teoreticky nejlepší řešení, s maximálním využitím prostoru septiku a teoreticky zcela eliminovanými zkratovými proudy, která je však z ekonomického hlediska téměř nevyrobitelná. Kompromis je pohybovat se v oblasti III. nebo IV. kategorie řešení vnitřního uspořádání, která je vyhovující pro obě strany.

4.2 Tří komorový septik

Dle procentuálního zatřídění naměřených hodnot do příslušných kategorií je patrné, že postupnými úpravami vnitřního uspořádání standardního tří komorového septiku jsme se dostali až k teoreticky nejlepšímu řešení.

První uspořádání septiku, se čtvercovými otvory vzájemně propojujícími komory, spadalo do kategorie č. VII – nevhodné řešení. Zavedením přitékající vody z hladiny do středu následující komory jsme dosáhli 45 % naplnění septiku čerpanou vodou, tedy V. kategorie – přijatelné řešení.

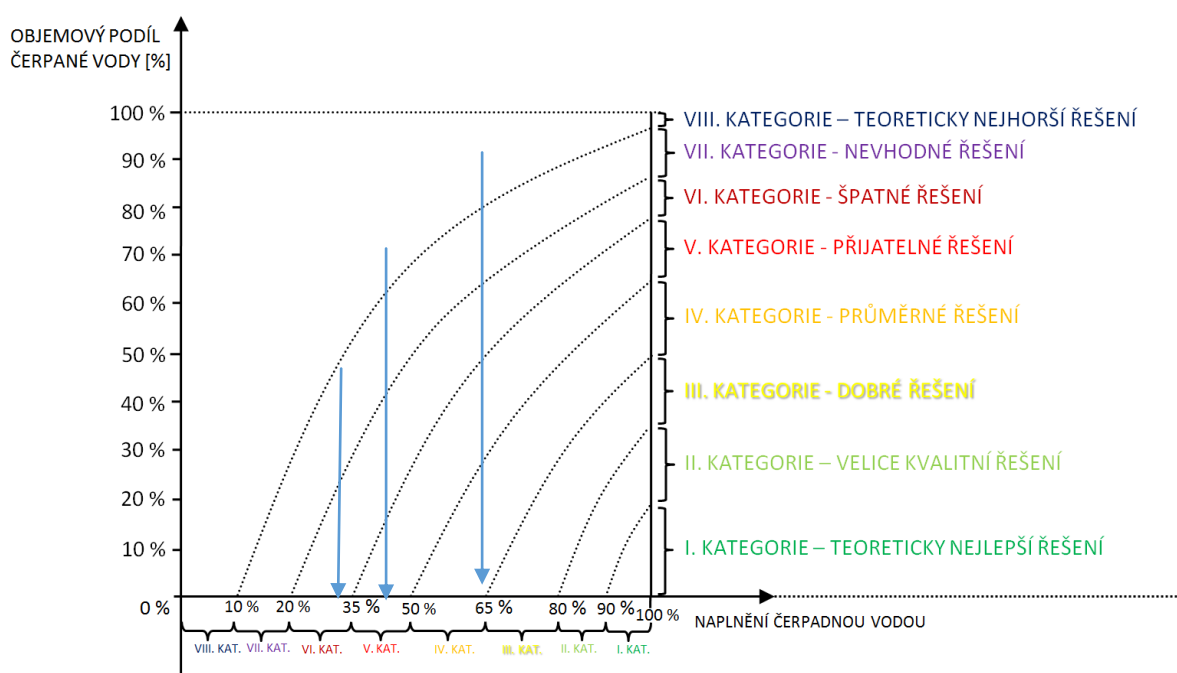
Největší zlepšení hydraulické účinnosti vícekomorového septiku jsme zaznamenali při následném prodloužení potrubí, čímž se přitékající voda dostala od hladiny až téměř na dno sousední komory. Toto uspořádání septiku spadá do II. kategorie – velice kvalitní řešení. Při takovémto vnitřním uspořádání dojde k nejlepšímu promíchání tekutiny uvnitř vícekomorového septiku. Všechna výše zmíněná procentuální zatřídění nalezneme na obrázku č. 83.



Obr. 83 Graf vyhodnocení původního typu třikomorového septiku

4.3 Čtyř komorový septik

Postupnými úpravami vnitřního uspořádání nově vyvíjeného čtyř komorového septiku jsme získali kvalitnější řešení s lepším využitím objemu. První uspořádání čtyř komorového septiku spadalo do kategorie č. VI – špatné řešení. Zavedením přitékající vody z hladiny ke dnu následující komory jsme dosáhli 48 % naplnění septiku čerpanou vodou, tedy V. kategorie – přijatelné řešení. Největší zlepšení hydraulické účinnosti čtyř komorového septiku jsme zaznamenali při následné změně uspořádání a směru proudění. Toto uspořádání septiku spadá do IV. kategorie – průměrné řešení. Při takovémto vnitřním uspořádání dojde ke kvalitnějšímu promíchání tekutiny uvnitř čtyř komorového septiku. Všechna výše zmíněná procentuální zařídění nalezneme na obrázku č. 84.



Obr. 84 Graf vyhodnocení nového typu čtyřkomorového septiku

Oproti výsledkům, získaným dle procentuálního zařídění tří komorového septiku, vykazuje nově zkoumaný čtyř komorový septik o něco horší výsledky zařídění do kategorie. Může to být způsobeno jiným typem použité soli při průběhu jednotlivých pokusů, výškovým nastavením horizontálně umístěného PP-H potrubí DN 100, či použitým typem čerpadla. Odůvodněním nižšího procenta naplnění vodou u posledního uspořádání nově zkoumaného čtyř komorového septiku, může být také příliš velký průtok. Ve všech předchozích pokusech jsme za rychlý průtok považovali hodnotu 0,33 l/s. Avšak při průběhu posledního pokusu na závěrečném uspořádání septiku jsme naměřili průtok 0,5 l/s. Takovýto nárůst hodnoty průtoku mohl způsobit rychlé propláchnutí čerpané vody čtyř komorovým septikem a způsobit nedokonalé pomíchání tekutin. Koncentrovanější přitékající voda se na odtoku projevila dříve, než u předchozích uspořádání.

5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo nalézt optimální řešení vnitřního uspořádání vícekomorového septiku. To se povedlo propojením jednotlivých komor potrubím DN 110 u standardního tří komorového septiku, čímž došlo k lepšímu promíchání kapaliny, k prodloužení doby zdržení a maximálnímu využití objemu komor. Tento tří komorový septik s potrubím zavedeným ke dnu, spadající do kategorie č. II – velice kvalitní řešení, dosáhl díky svému vnitřnímu uspořádání velmi uspokojivých hodnot procenta naplnění čerpanou vodou. Změnou směru proudění kapaliny uvnitř nově vyvíjeného čtyř komorového septiku a také změnou vnitřního uspořádání a protažením potrubí DN 110 ke dnu, jsme zaznamenali lepší promíchání kapaliny. Současně došlo k prodloužení doby zdržení, maximálnímu využití objemu septiku a dobrých hodnot procenta naplnění čerpanou vodou. Takto upravený septik spadá do kategorie IV. – průměrné řešení.

I drobná změna v řešení prostupu mezi jednotlivými komorami způsobuje silné zlepšení využití vnitřního prostoru septiku, eliminaci preferovaných proudnic, zpomalení celkového proudění vody v septiku a tedy lepší sedimentaci nerozpuštěných látek. Jelikož součástí diplomové práce - Modelování hydraulické účinnosti vícekomorových septiků nebylo nakládání s odpadní vodou, nemůžeme s určitostí tvrdit, že prodloužení potrubí až ke dnu nebude mít za následek ucpávání sedimentovaným kalem. Musely by se provést další výzkumy zaměřené přímo na sedimentaci nerozpuštěných látek a organického znečištění.

Pokud by výrobci před uvedením septiku na trh měli výrobky testovat dle popsané metodiky, mohli by si vybrat přímou konduktivní metodu pro reálné vnitřní uspořádání vícekomorového septiku, či vymodelování produktu pomocí programu COMSOL Multiphysics.

Kruhové septiky je dle naší zkušenosti vhodnější testovat pokusem konduktivní (vodivostní) metody s použitím přístroje multimetru a vodivostních sond, kvůli složitosti zadání, zdlouhavému výpočtu a objektivnímu rozvržení komor.

Hranatý septik je vhodnější počítat v programu COMSOL díky snadné geometrii, rychlému vytvoření modelu, objektivní šířce komor. Jediný problém se zde jeví v modelování propojovacího potrubí. Pořízení programu je však velmi nákladná záležitost a výrobci by se zřejmě nevyplatilo do něj investovat. Zvláště, vezmeme-li v úvahu, že by netestoval každý výrobek zvláště, pouze by pomocí programu vymodeloval optimální vnitřní uspořádání, dle tabulky kritérií pro hodnocení.

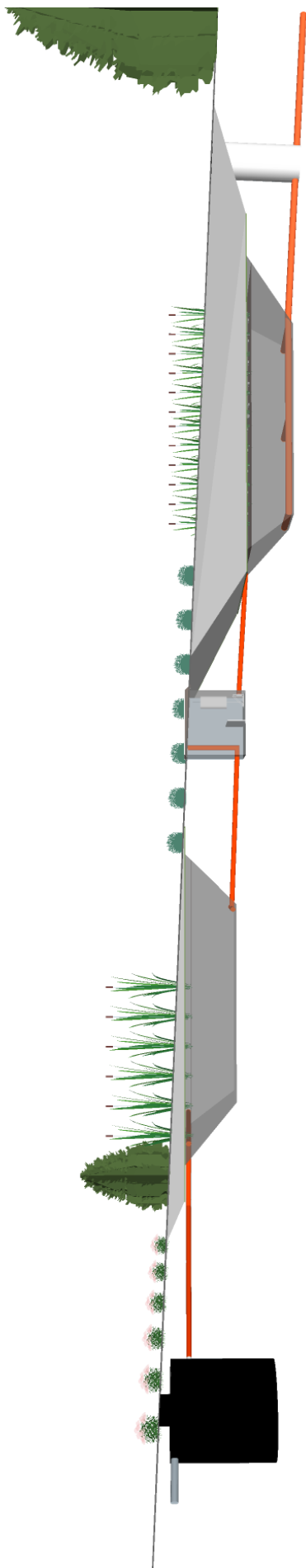
5.1 Možnost využití vícekomorových septiků v praxi

Jak již bylo řečeno v úvodu práce, může být za septikem řazen zemní pískový či štěrkový filtr, nebo také kořenová čistírna odpadních vod. Následující obrázek č. 85 zobrazuje propojení vícekomorového septiku, vertikálního kořenového pole, šachty na akumulaci částečně přečištěné odpadní vody a horizontálního kořenového pole. Posledním prvkem soustavy je kontrolní šachta umístěná na odtoku z terciárního stupně čištění odpadních vod. Obr. č. 86 znázorňuje řez vícekomorovým septikem a následné napojení soustavy dvou kořenových polí. Soustava je svými rozměry navržena pro 5 ekvivalentních obyvatel (EO). Objem tří komorového septiku činí $4,4 \text{ m}^3$, objem obou kořenových polí tvořených vrstvami štěrku je 5 m^3 . Vnitřní objem akumulací šachty je $1,2 \text{ m}^3$ a je vybavena uzávěrem s plovákem pro pulsní vypouštění. Celá soustava od tří komorového septiku až po kontrolní šachtu je gravitačně propojena PVC odtokovým potrubím DN 150.

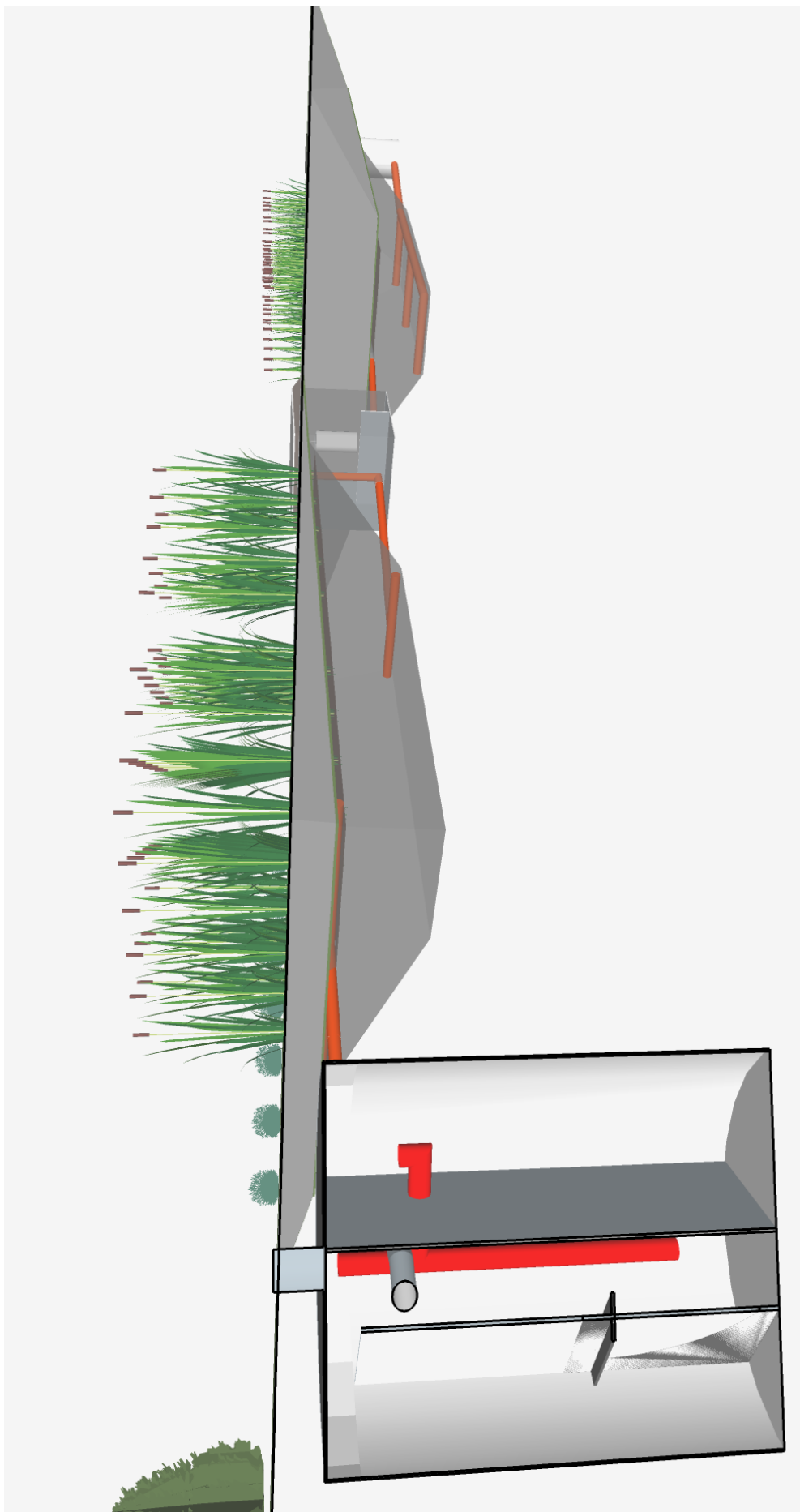
Výhodou kořenové čistírny je technologická nenáročnost výstavby i provozu, žádná nebo malá potřeba elektrické energie, nízké provozní náklady a schopnost čištění naředěných odpadních vod. Kořenový systém mokřadních rostlin poskytuje vhodné prostředí pro rozvoj bakterií, které odbourávají organickou hmotu (Pobořil, 2014). Kombinací chemických, fyzikálních a biologických procesů je na kořenových polích z odpadní vody odstraňována podstatná část nerozpuštěných látek a organického znečištění zbylých po prvním stupni čištění, tedy ve vícekomorovém septiku (Vymazal, 2004).

Klíčovým procesem probíhajícím v kořenových čistírnách je již zmíněná kolmatace, kterou by mělo vhodné vnitřní uspořádání vícekomorového septiku zmírnit či zcela eliminovat, díky kvalitě odpadní vody odtékající ze septiku.

Obr. 85 Propojení vícekomorového septiku se soustavou kořenových polí



Obr. 86 Řez vícekomorovým septikem při napojení na soustavu kořenových polí



6 Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 Příloha B – Zkouška hydraulické účinnosti ^[1]	15
Obr. 2 Vnitřní uspořádání tří komorového septiku.....	23
Obr. 3 Standardní tří komorový septik – uspořádání č. 1.....	23
Obr. 4 Norná stěna u přítokového potrubí a před čtvercovým otvorem v dělicí stěně septiku.....	24
Obr. 5 Detail T-prvku v komoře septiku.....	24
Obr. 6 Provedení odtokového potrubí DN 150.....	25
Obr. 7 Původní řešení uspořádání septiku – čtvercový otvor v dělicí stěně.....	25
Obr. 8 Odstranění rozražeče a zaslepení otvoru ve druhé komoře.....	26
Obr. 9 Detail provedení potrubí DN 110.....	27
Obr. 10 Detail křížení potrubí DN 110 s odtokovým potrubím DN 150.....	27
Obr. 11 Uspořádání č. 2 – propojení komor.....	28
Obr. 12 Pohled na standardní tří komorový septik při druhém uspořádání.....	28
Obr. 13 Zkrácení odtokového potrubí DN 250.....	29
Obr. 14 Pohled na standardní tří komorový septik při třetím uspořádání.....	30
Obr. 15 Detail křížení potrubí ve třetí komoře septiku.....	30
Obr. 16 Vnitřní uspořádání čtyř komorového septiku.....	31
Obr. 17 Provedení vnitřního uspořádání čtyř komorového septiku.....	32
Obr. 18 Přepad přebytečné vody ze šachty.....	33
Obr. 19 Horizontálně umístěné potrubí pro regulaci průtoku (vlevo).....	33
Obr. 20 Pohled na nově vyvíjený čtyř komorový septik.....	34
Obr. 21 Vnitřní uspořádání nově vyvíjeného čtyř komorového septiku.....	35
Obr. 22 Odstranění norné stěny a PE desky (vlevo).....	36
Obr. 23 Zaslepení otvoru u dna třetí komory.....	36
Obr. 24 Instalace komolého jehlanu na místo norné stěny v první komoře, zaslepení původního potrubí DN 110, propojení potrubím DN 50.....	37
Obr. 25 Pohled na provedení napojení potrubí.....	38
Obr. 26 Zbarvení pitné vody po přidavku draselné soli (NaCl).....	39
Obr. 27 Pohled na regulační přeliv umístěný nad pomocnou nádrží.....	39
Obr. 28 Regulační přeliv umístěný nad pomocnou nádrží.....	40
Obr. 29 Výzkumný pozemek Ústavu vodního hospodářství krajiny.....	40
Obr. 30 Výzkumný pozemek Ústavu vodního hospodářství krajiny (Žižkova 17, Brno).....	41
Obr. 31 Napouštění standardního septiku vodou z vodovodu.....	43
Obr. 32 Sběrná šachta vody odtékající ze septiku.....	43
Obr. 33 Čerpadlo s plovákem umístěné v šachtě na odtoku z tří komorového septiku.....	44

Obr. 34 Měřicí přístroj multimetr.....	45
Obr. 35 Odtokové potrubí na regulačním přelivu.....	46
Obr. 36 Odběr vzorku z potrubí přepadu ze šachty.....	46
Obr. 37 Detail norné stěny na přechodu z druhé do třetí komory septiku.....	47
Obr. 38 Detail kolene potrubí DN 110 ve druhé komoře septiku.....	48
Obr. 39 Detail umístění měřicí sondy do kolene potrubí DN 110.....	48
Obr. 40 Původní umístění červené sondy do kolene potrubí DN 110 v první komoře.....	49
Obr. 41 Umístění měřicí sondy do odtokového potrubí DN 250.....	50
Obr. 42 Průtok kapaliny septikem – zabarvení vody v prvních dvou komorách.....	51
Obr. 43 Zobrazení vyhodnocení měření pomocí čáry podílu původní a čerpané vody.....	52
Obr. 44 Graf rozdělení řešení do kategorií.....	53
Obr. 45 Zpracování naměřených dat v programu Minitab.....	54
Obr. 46 Srovnání množství čerpané vody na odtoku z první komory při různých průtocích.....	55
Obr. 47 Srovnání množství čerpané vody na odtoku ze septiku při různých průtocích.....	55
Obr. 48 První uspořádání, odtok, průtok $Q = 0,33$ l/s, $x = 19,7$ %.....	56
Obr. 49 Druhé uspořádání, odtok, průtok $Q = 0,33$ l/s, $x = 43,5$ %.....	56
Obr. 50 Třetí uspořádání, odtok, průtok $Q = 0,33$ l/s, $x = 85,3$ %.....	57
Obr. 51 Porovnání průtoku na odtoku z 2. komory, $Q=0.33$ l/s při 1., 2. a 3. uspořádání.....	57
Obr. 52 Porovnání průtoku na odtoku ze septiku, $Q = 0.33$ l/s při 1., 2. a 3. uspořádání.....	58
Obr. 53 Srovnání výsledků při dvou průtocích na odtoku z 2. komory a na odtoku ze septiku, při 1. a 2. uspořádání.....	58
Obr. 54 První uspořádání, odtok, průtok $Q = 0,33$ l/s, $x = 34,3$ %.....	59
Obr. 55 Druhé uspořádání, odtok, průtok $Q = 0,33$ l/s, $x = 37,8$ %.....	60
Obr. 56 Třetí uspořádání, odtok, průtok $Q = 0,33$ l/s, $x = 62,9$ %.....	60
Obr. 57 Porovnání odtoků ze septiku, $Q = 0.33$ l/s při 1., 2. a 3. uspořádání čtyř komorového septiku.....	61
Obr. 58 Uspořádání č. 1 – standardní tří komorový septik bez úprav.....	63
Obr. 59 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 3000 s.....	63
Obr. 60 Uspořádání č. 2 - potrubí do poloviny komory.....	64
Obr. 61 Rychlost proudění vody v 2D prostoru tří komorového septiku.....	64
Obr. 62 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 1200 s.....	64
Obr. 63 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 3000 s.....	65
Obr. 64 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 6000 s.....	65
Obr. 65 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 18000 s.....	65
Obr. 66 Uspořádání č. 3 - potrubí zavedené ke dnu komory.....	66
Obr. 67 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 120 s.....	66

Obr. 68 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 3000 s.....	66
Obr. 69 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 6000 s.....	67
Obr. 70 Zobrazení množství vody v 2D prostoru v čase 18000 s.....	67
Obr. 71 Vyznačení směru proudění vody v tří komorovém septiku.....	67
Obr. 72 Tabulka parametrů.....	68
Obr. 73 Vytvoření prvků pomocí funkce Extrude.....	69
Obr. 74 Velikost elementu (prvku) – velmi hrubý (Extremely coarse).....	70
Obr. 75 Velikost elementu (prvku) – jemnější (Finer).....	70
Obr. 76 Nastavení časového kroku.....	71
Obr. 77 Barevné zobrazení obrysu vymodelovaného septiku.....	72
Obr. 78 Provedení vnitřního uspořádání tří komorového septiku.....	72
Obr. 79 Půdorys tří komorového septiku s nornými stěnami.....	73
Obr. 80 Vizualizace průtoku částice tělesem – trajektorie od vtoku po odtok ze septiku.....	74
Obr. 81 Trajektorie částic protékajících septikem.....	75
Obr. 82 Vizualizace trajektorie částic protékajících septikem s nornými stěnami.....	75
Obr. 83 Graf vyhodnocení původního typu tří komorového septiku.....	80
Obr. 84 Graf vyhodnocení nového typu čtyřkomorového septiku.....	81
Obr. 85 Propojení vícekomorového septiku se soustavou kořenových polí.....	84
Obr. 86 Řez vícekomorovým septikem při napojení na soustavu kořenových polí.....	85
Tab. 1 Ukazatele a emisní standardy pro odpadní vody vypouštěné z jednotlivých staveb pro bydlení a rekreaci.....	16
Tab. 2 Vyhodnocení naměřených množství čerpané vody ve vybraných profilech.....	55
Tab. 3 Tabulka kritérií pro hodnocení.....	79

7 Použité anglické výrazy

chamber = komora

outflow = odtok

variable = proměnná

mean = střední hodnota

median = průměrná hodnota

volume fraction of fluid = objemový podíl čerpané vody

pumping volume of septic tank = naplnění septiku čerpanou vodou

variation = uspořádání

parameters = parametr

name = název

expression = vyjádření

value = hodnota

description = popis

extremely coarse = velmi hrubý

finer = jemnější

range = rozsah

graphics = grafika

8 Použitá literatura

- [1] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) §38
- [1.1] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) §55
- [2] ČSN EN 12566-1 (ČSN 756404): Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel - Část 1: Prefabrikované septiky
- [3] ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel
- [4] ČSN CEN/TR 12566-5: Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel - Část 5: Filtrační systémy pro předčištěné odpadní vody
- [5] www.plasty-ekosystem.cz
- [6] Nařízení č. 416/2010 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních
- ÖNORM B 2505- Kläranlagen – Intermittierend beschickte Bodenfilter („Pflanzenkläranlagen“)
 - Dokumentace k software COMSOL Multiphysics
 - <http://sciencedirect.com>
 - Al-Jamal, W., Mahmoud, N., February 2009. Community onsite treatment of cold strong sewage in a UASB-septic tank. *Bioresource Technology* 100 (3), str. 1061-1068.
 - Beal, C. D., Gardner, E. A., Kirchhof, G., Menzies, N. W., July 2006. Long-term flow rates and biomat zone hydrology in soil columns receiving septic tank effluent. *Water Research* 40 (12), str. 2327-2338.
 - Gerritse, R. G., Adeney, J. A., Hosking, J., September 1995. Nitrogen losses from a domestic septic tank system on the Darling Plateau in Western Australia. *Water Research* 29 (9), str. 2055-2058.
 - Gill, L. W., O'Luanaigh, N., Johnston, P. M., Misstear, B. D. R., O'Suilleabhain, C., June 2009. Nutrient loading on subsoils from on-site wastewater effluent, comparing septic tank and secondary treatment systems. *Water Research* 43 (10), str. 2739-2749.
 - Gross, M., Winter 2002. Septic tank additives, SF question and answer, *Small flows Quarterly*, Volume 3, Number 1, str. 27. www.nesc.wvu.edu
 - Harrison, M., Stanwyck, E., Beckingham, B., Starry, O., Hanlon, B., Newcomer, J., July 2012. Smart growth and the septic tank: Wastewater treatment and growth management in the Baltimore region. *Land Use Policy* 29 (3), str. 483-492.
 - Juraschek, M., 2002. Durchflussermittlung mit der Salzverdünnungsmethode, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 66 str.
 - Kopáč, J., Měření průtoku pomocí stopovačů: NaCl a měření konduktivity, 2007. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha.
 - Křiška, M., Hyánková, E.: Vliv umístění rozrážecí stěny v komoře septiku na odtokové parametry, in. ČOV pro objekty v horách, Dolní Morava, 2013, ISBN 978-80-214-4746-2, str. 89-100.

- Liu Wen, Cui Li Hua, Zhou Yi Ping, LEI Ze Xiang, 2011. Removal of Total Phosphorus From Septic Tank Effluent by the Hybrid Constructed Wetland System. *Procedia Environmental Sciences* 10 Part C, str. 2102-2107.
- Luostarinen, S., Sanders, W., Kujawa-Roeleveld, K., Zeeman, G., March 2007. Effect of temperature on anaerobic treatment of black water in UASB-septic tank systems. *Bioresource Technology* 98, str. 980-986.
- Luostarinen, S., Rintala, J., July 2007. Anaerobic on-site treatment of kitchen waste in combination with black water in UASB-septic tank at low temperatures. *Bioresource Technology* 98 (9), str. 1734-1740.
- Montangero, A., Belevi, H., March 2007. Assessing nutrient flows in septic tanks by eliciting expert judgement: A promising method in the context of developing countries. *Water Research* 41 (5), str. 1052-1064.
- Moussavi, G., Kazembeigi, F., Farzadkia, M., January 2010. Performance of a pilot scale up-flow septic tank for on-site decentralized treatment of residential wastewater. *Process Safety and Environmental* 88 (1), str. 47-52.
- Perdomo, S., Bangueses, C., Fuentes, J., 1999. Potential use of aquatic macrophytes to enhance the treatment of septic tank liquids. *Water Science and Technology* 40 (3), str. 225-232.
- Philippi, L. S., Rejane H.R. da Costa, Sezerino, P. H., 1999. Domestic effluent treatment through integrated system of septic tank and root zone. *Water Science and Technology* 40 (3), str. 125-131.
- Plotěný, K., Vinklárková, D., Kriška, M., Rozkošný, M., Plotěný, M.: Odstraňování amoniaku jinými než biologickými způsoby. Čištění odpadních vod v horských oblastech 2014, Sborník přednášek z odborného semináře, Ostravice, 2014, ISBN 978-80-214-4993-0, str. 33-41.
- Pobořil, J., 2014. Technologie pro zvýšení propustnosti vod v kořenových ČOV. Diplomová práce, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, Brno.
- Rodríguez-Canché, L. G., Cardoso Vigueros, L., Maldonado-Montiel, T., Martínez-Sanmiguel, M., May 2010. Pathogen reduction in septic tank sludge through vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology* 101 (10), str. 3548-3553.
- Sabry, T., February 2010. Evaluation of decentralized treatment of sewage employing Upflow Septic Tank/Baffled Reactor (USBR) in developing countries. *Journal of Hazardous Materials* 174 (1-3), str. 500-505.
- Šálek, J., Tlapák, V.: Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod, Praha 2006, 283 s.
- Šálek, J., Kriška, M., Pírek, O., Plotěný, K., Rozkošný, M., Žáková, Z., 2012. Využití srážkových a odpadních vod, Voda v domě a na chatě. Praha 2012, ISBN 978-80-247-3994-6, 144 s.

- Valencia, R., D. den Hamer, Komboi, J., Lubberding, H. J., Gijzen, H. J., February 2009. Alternative treatment for septic tank sludge: Co-digestion with municipal solid waste in bioreactor landfill simulators. *Journal of Environmental Management* 90 (2), str. 940-945.
- Viraraghavan, T., Dickenson, K., August 1991. Low-temperature anaerobic filtration of septic tank effluent. *Cold Regions Science and Technology* 19 (3), str. 245-252.
- Vymazal, J.: Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. ENVI Třeboň: 1995, str. 146.
- Vymazal, J.: Kořenové čistírny odpadních vod. ENKKI Třeboň 2004, 14 str.
- Whelan, B. R., December 1986. Mineral phosphate precipitates from septic-tank effluent, Perth (Australia). *Geoderma* 39 (2), str. 125-139.
- Withers, P. J. A., Jarvie, H. P., Stoate, C., April 2011. Quantifying the impact of septic tank systems on eutrophication risk in rural headwaters. *Environment International* 37 (3), str. 644-653.
- Withers, P. J. A., May, L., Jarvie, H. P., Jordan, P., Doody, D., Foy, R. H., Bechmann, M., Cooksley, S., Dils, R., Deal, N., December 2012. Nutrient emissions to water from septic tank systems in rural catchments: Uncertainties and implications for policy. *Environmental Science & Policy* 24, str. 71-82.
- Zaveri, R. M., Flora, J. R.V., November 2002. Laboratory septic tank performance response to electrolytic stimulation. *Water Research* 36 (18), str. 4513-4524.

Tří komorový septik – Report z programu COMSOL Multiphysics

Author

Bc. Iva Hradilová

Date

January 8, 2015

Company

Vysoké učení technické v Brně, Ústav vodního hospodářství krajiny

Summary

Kruhový septik je vyroben z polyethylenu (PE) o tloušťce stěny 8 mm. Má tvar válcového tělesa o vnitřním průměru 1,9 m a výšce 1,9 m. Vnitřní prostor je rovnoměrně rozdělen stěnami z PE na tři komory, pod úhlem 120°, tloušťka dělicích stěn je 15 mm.

Přítokové potrubí DN 150 je umístěno na vnější stěně válcového tělesa, ve středu první komory, 0,2 m od horního okraje stěny septiku. Potrubí zasahuje 30 mm do prostoru první komory. Ve vnitřním prostoru před přítokovým potrubím je ve výšce 1,16 m ode dna septiku umístěna norná stěna vysoká 0,75 m (vyvedena nad hladinu), sloužící k usměrnění kapaliny přitékající do standardního tří komorového septiku. Norná stěna má tvar rovnostranného pravoúhlého trojúhelníka o délkách stran 0,2 m. Prostup do druhé komory septiku tvoří čtvercový otvor (otvor č. 1) o rozměru 0,2 x 0,2 m, který je umístěn ve výšce 0,5 m ode dna, u vnější stěny válcového tělesa. Vtok do otvoru je z první komory septiku zahrazen příčkou z PE, šířky 0,3 m, výšky 1,6 m. Příčka, sloužící jako norná stěna, je umístěna ve vzdálenosti 0,3 m ode dna válcového tělesa a je pomocí svařovacího drátu upevněna k vnější stěně septiku a k dělicí stěně mezi oběma komorami. Uvnitř této norné stěny, tedy nad otvorem č. 1 vzniká nevyužitý prostor, ve kterém nedochází k cirkulaci proudící kapaliny. Prostup do poslední, třetí komory, je taktéž tvořen čtvercovým otvorem (otvor č. 2) o rozměrech 0,2 m. Spodní hrana otvoru je v úrovni 0,5 m ode dna, ve vodorovné vzdálenosti 0,35 m od vnější stěny tělesa septiku. Ve třetí komoře je horizontálně umístěno odtokové potrubí DN 250, z PVC, délky 0,5 metru. Potrubí je pomocí PE kusu připevněno k dělicí stěně mezi první a třetí komorou septiku. Spodní okraj potrubí je umístěn ve výšce 1,2 m ode dna septiku, horní okraj zasahuje do úrovně 1,7 m ode dna. Na toto potrubí je vodorovně napojeno potrubí DN 150, délky 2 x 0,4 m, spojené kolenem. Veškeré spoje jsou provedeny svařením.

Contents

1. Global Definitions	95
1.1. Parameters 1	95
2. Component 1	96
2.1. Definitions	96
2.1.1. Coordinate Systems	96
2.2. Geometry 1	96
2.3. Materials	97
2.3.1. Sladka voda	97
2.3.2. Slana voda	98
2.4. Laminar Flow (spf)	99
2.5. Meshes	100
3. Study 1	102
3.1. Time Dependent	102
4. Results	Error! Bookmark not defined.
4.1. Data Sets	Error! Bookmark not defined.
4.1.1. Solution 1	Error! Bookmark not defined.
4.1.2. 30cm	103
4.1.3. 60cm	104
4.1.4. 90cm	105
4.1.5. 120cm	106
4.1.6. 150cm	107
4.1.7. 180cm	108
4.1.8. Cut Plane 7	109
4.2. Plot Groups	110
4.2.1. 3D Plot Group 6	110
4.2.2. Velocity (spf) 1	111
4.2.3. Velocity (spf) 1.2	112
4.2.4. Výška 30 cm (vektor rychlosti)	113
4.2.5. Výška 60 cm (vektor rychlosti)	114
4.2.6. Výška 90 cm (vektor rychlosti)	115
4.2.7. Výška 120 cm (vektor rychlosti)	116
4.2.8. Výška 150 cm (vektor rychlosti)	117
4.2.9. Výška 180 cm (vektor rychlosti)	118
4.2.10. Výška 30 cm (rychlost z)	119
4.2.11. Výška 60 cm (rychlost z)	120
4.2.12. Výška 90 cm (rychlost z)	121

4.2.13.	Výška 120 cm (rychlost z)	122
4.2.14.	Výška 150 cm (rychlost z)	123
4.2.15.	Výška 180 cm (rychlost z)	124
4.2.16.	Řez komorami (rychlost).....	125

Global Definitions

1.1 Parameters 1

Parameters

Name	Expression	Description
h_vody	1.9[m]	hloubka vody v septiku
h_otvor1	0.5[m]	výška otvoru 1 ode dna
h_otvor2	0.5[m]	výška otvoru 2 ode dna
h_odtok250	1.5[m]	výška odtoku DN250 ode dna
h_pritok	1.7[m]	výška přítokového potrubí DN150
h_odtok	1.7[m]	výška odtokového potrubí DN150

2 Component 1

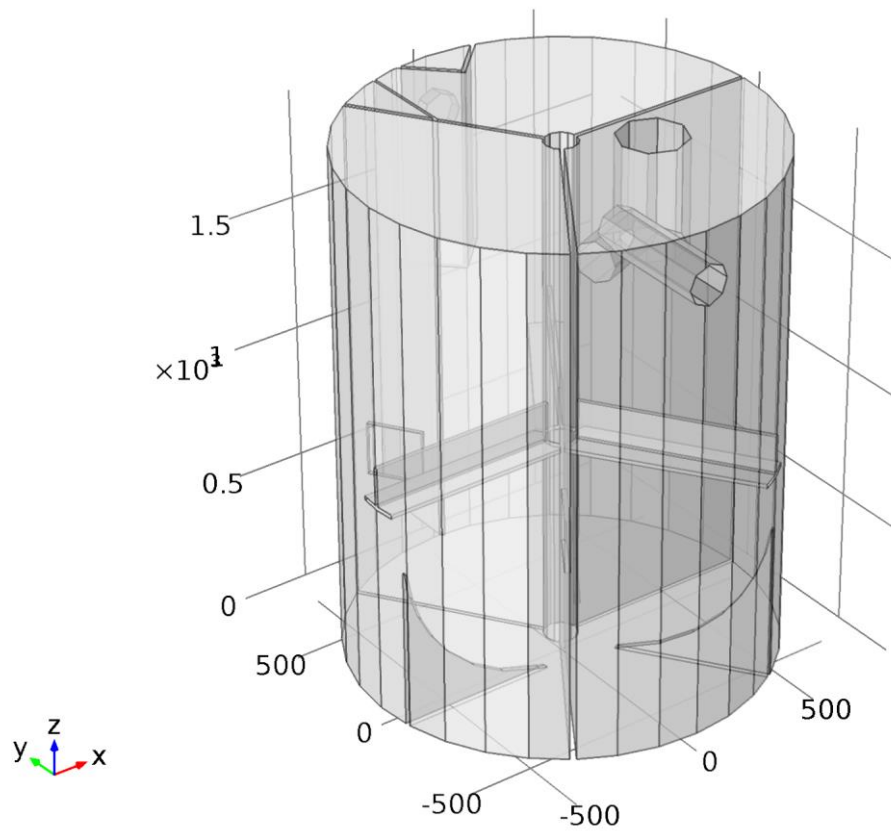
2.1 Definitions

2.1.1 Coordinate Systems

1.2.1.1 Boundary System 1

Coordinate system type	Boundary system
Identifier	sys1

2.2 Geometry 1



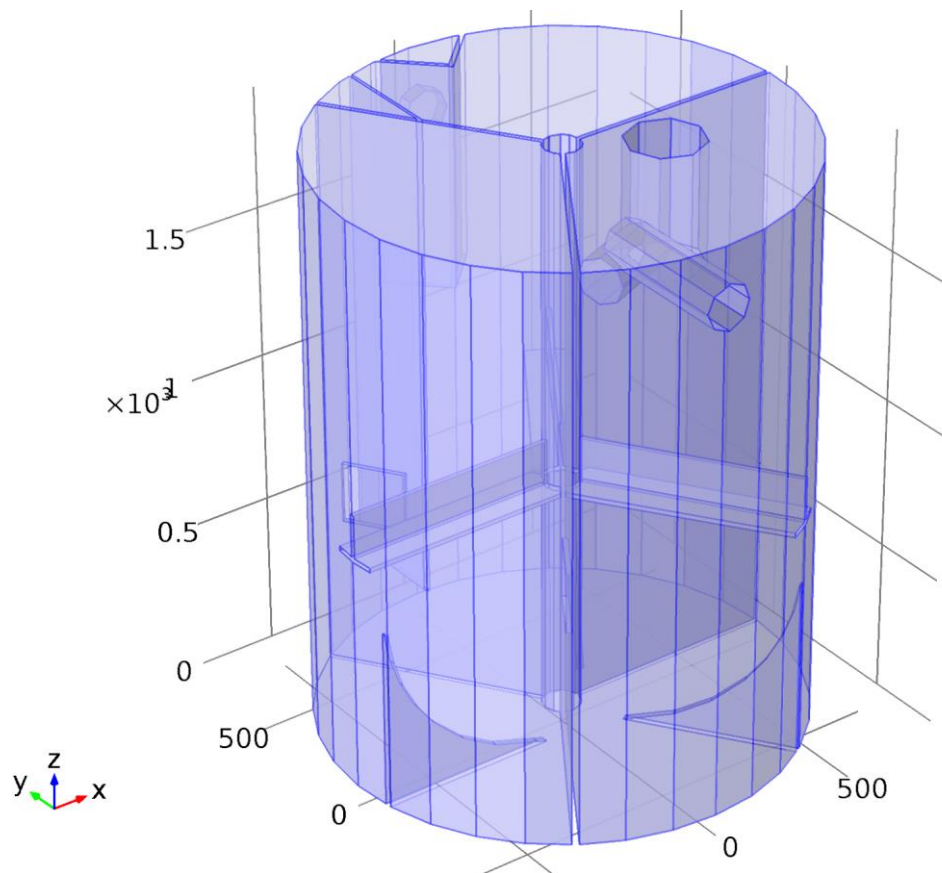
Geometry 1

Units

Length unit	mm
Angular unit	deg

2.3 Materials

2.3.1 Sladká voda

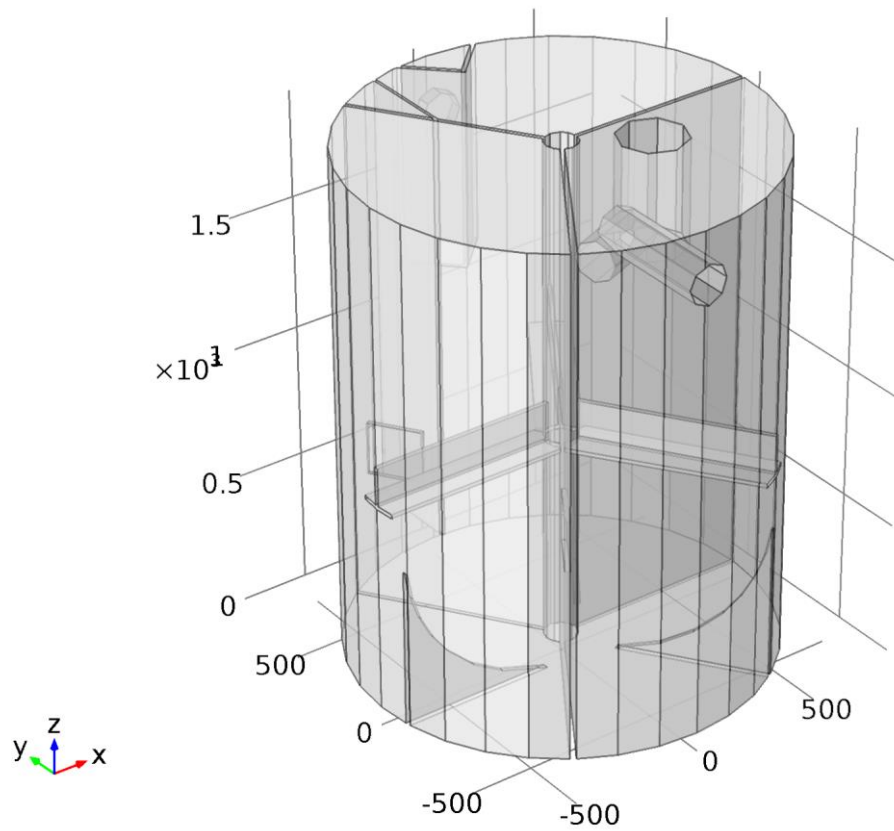


Sladká voda

Selection

Geometric entity level	Domain
Selection	Domain 1

2.3.2 Slaná voda

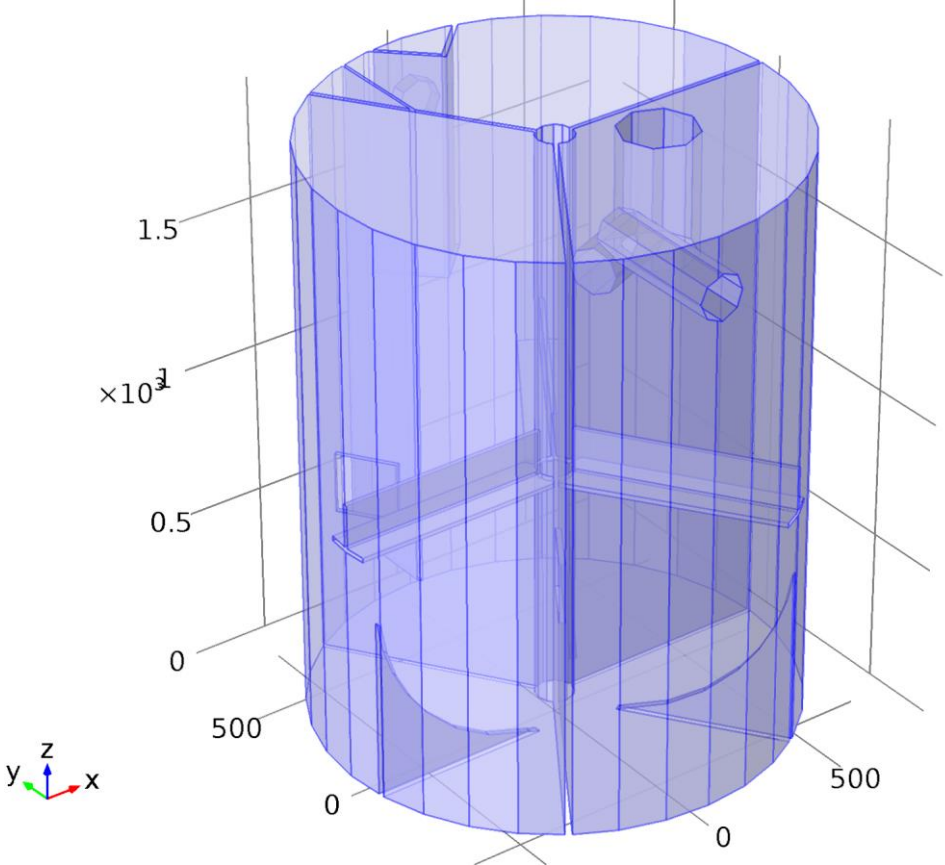


Slaná voda

Selection

Geometric entity level	Domain
Selection	No domains

2.4 Laminar Flow (spf)



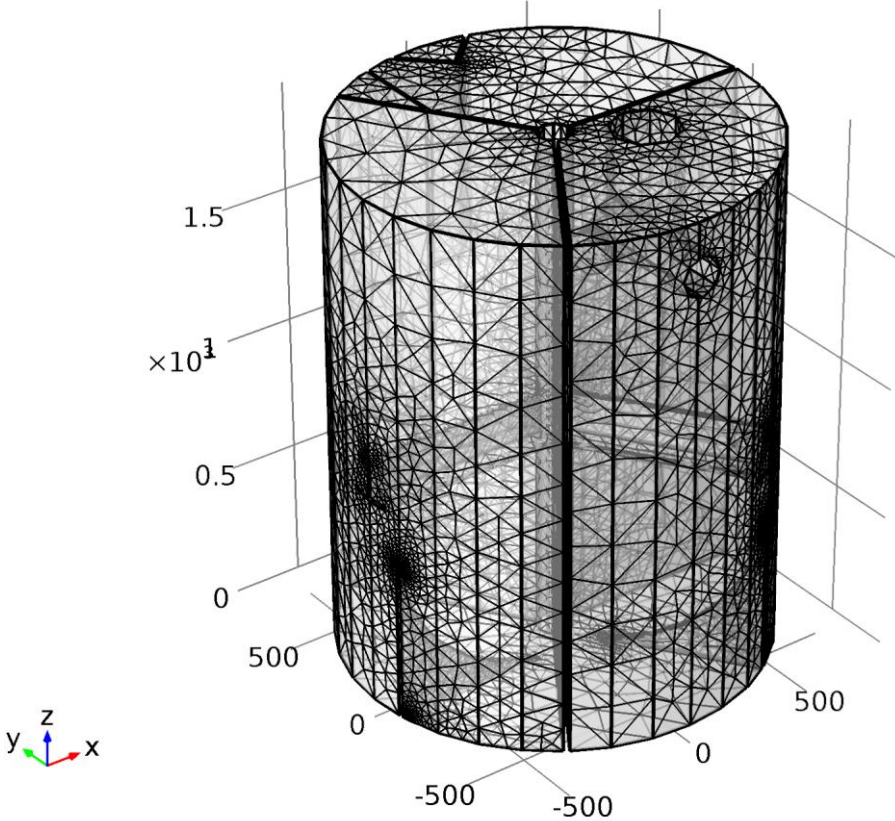
Laminar Flow

Features

Fluid Properties 1
Wall 1
Initial Values 1
Inlet 1
Outlet 1
Pressure Point Constraint 1

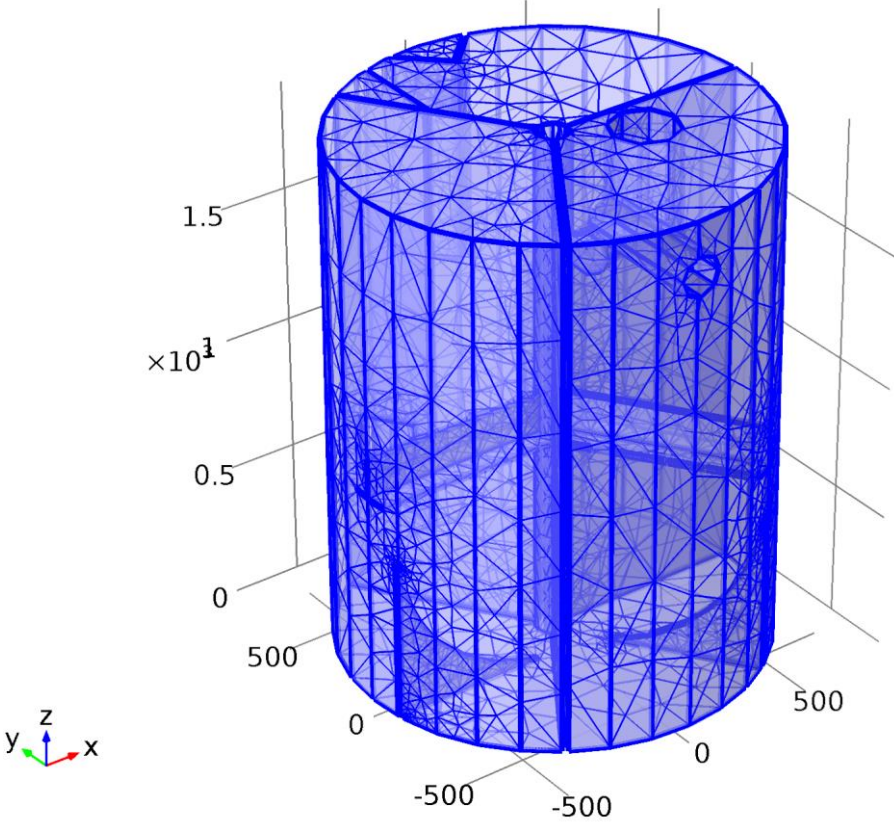
2.5 Meshes

2.5.1 Mesh 1



Mesh 1

2.5.2 Mesh 2



Mesh 2

3 Study 1

3.1 Time Dependent

Study settings

Property	Value
Include geometric nonlinearity	Off

Times: range(0,5,240)

Mesh selection

Geometry	Mesh
Geometry 1 (geom1)	mesh2

Physics selection

Physics	Discretization
Laminar Flow (spf)	physics

3.1.1 30cm

Data

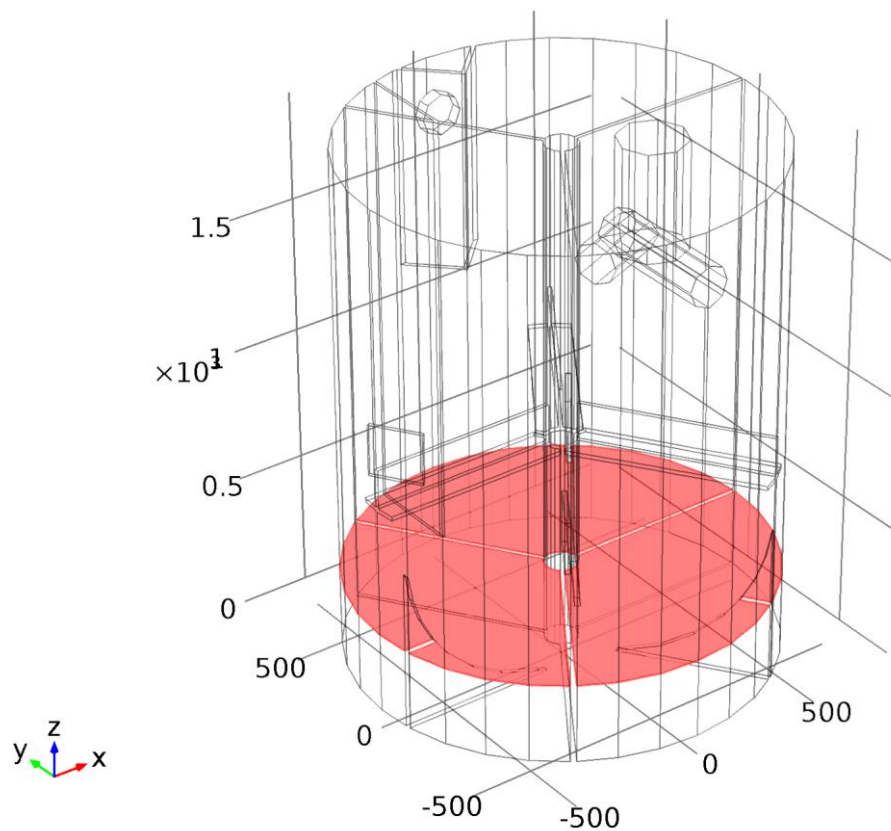
Name	Value
Data set	Solution 1

Plane data

Name	Value
Plane type	Quick
Plane	xy - planes
z-coordinate	300

Advanced

Name	Value
Space variables	{cpl1x, cpl1y}



Data set: 30cm

3.1.2 60cm

Data

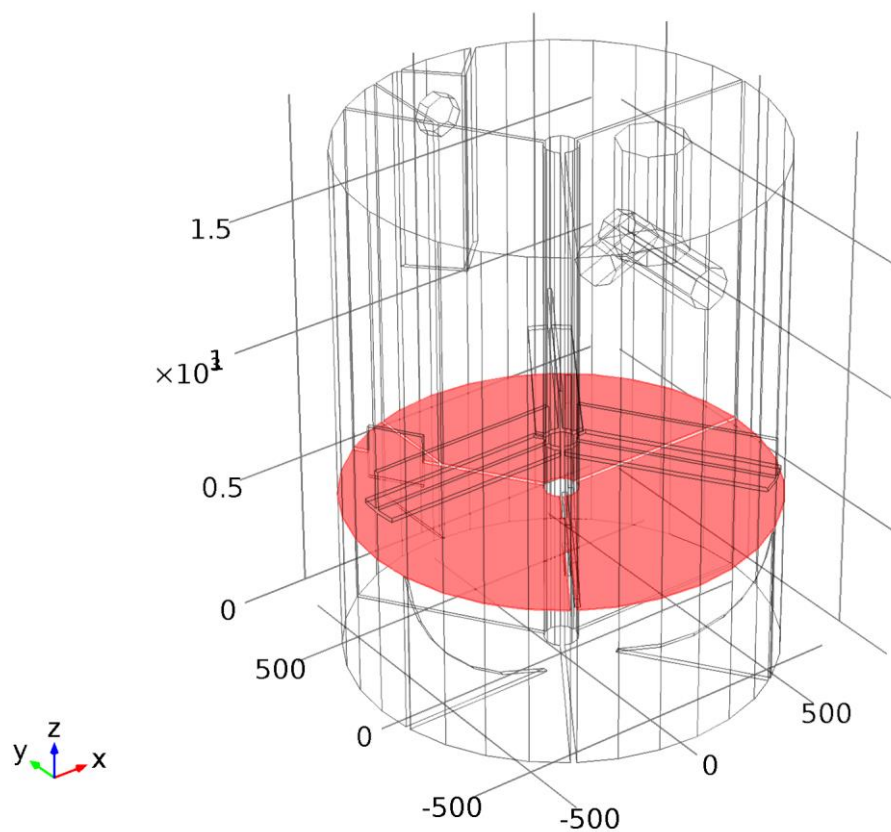
Name	Value
Data set	Solution 1

Plane data

Name	Value
Plane type	Quick
Plane	xy - planes
z-coordinate	600

Advanced

Name	Value
Space variables	{cpl1x, cpl1y}



Data set: 60cm

3.1.3 90cm

Data

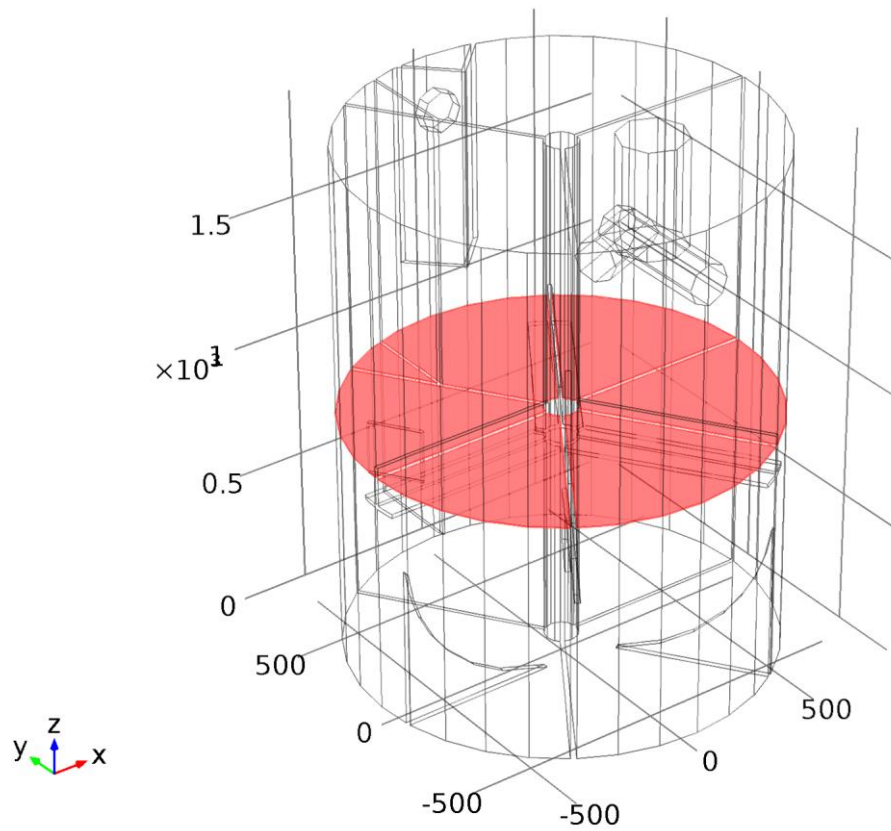
Name	Value
Data set	Solution 1

Plane data

Name	Value
Plane type	Quick
Plane	xy - planes
z-coordinate	900

Advanced

Name	Value
Space variables	{cpl1x, cpl1y}



Data set: 90cm

3.1.4 120cm

Data

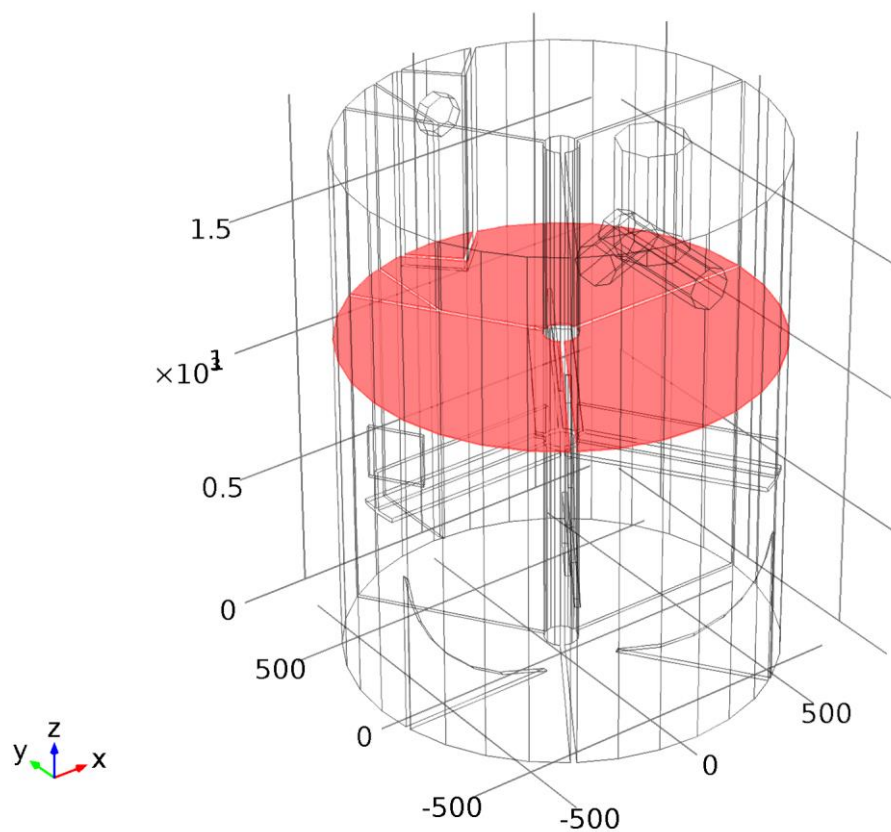
Name	Value
Data set	Solution 1

Plane data

Name	Value
Plane type	Quick
Plane	xy - planes
z-coordinate	1200

Advanced

Name	Value
Space variables	{cpl1x, cpl1y}



Data set: 120cm

3.1.5 150cm

Data

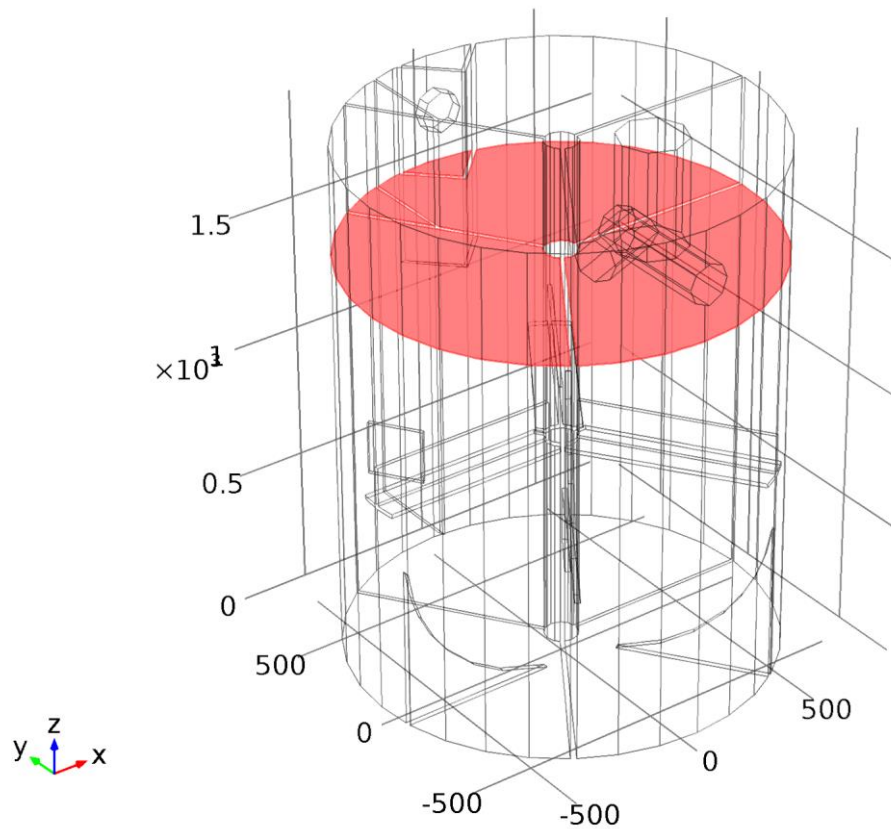
Name	Value
Data set	Solution 1

Plane data

Name	Value
Plane type	Quick
Plane	xy - planes
z-coordinate	1500

Advanced

Name	Value
Space variables	{cpl1x, cpl1y}



Data set: 150cm

3.1.6 180cm

Data

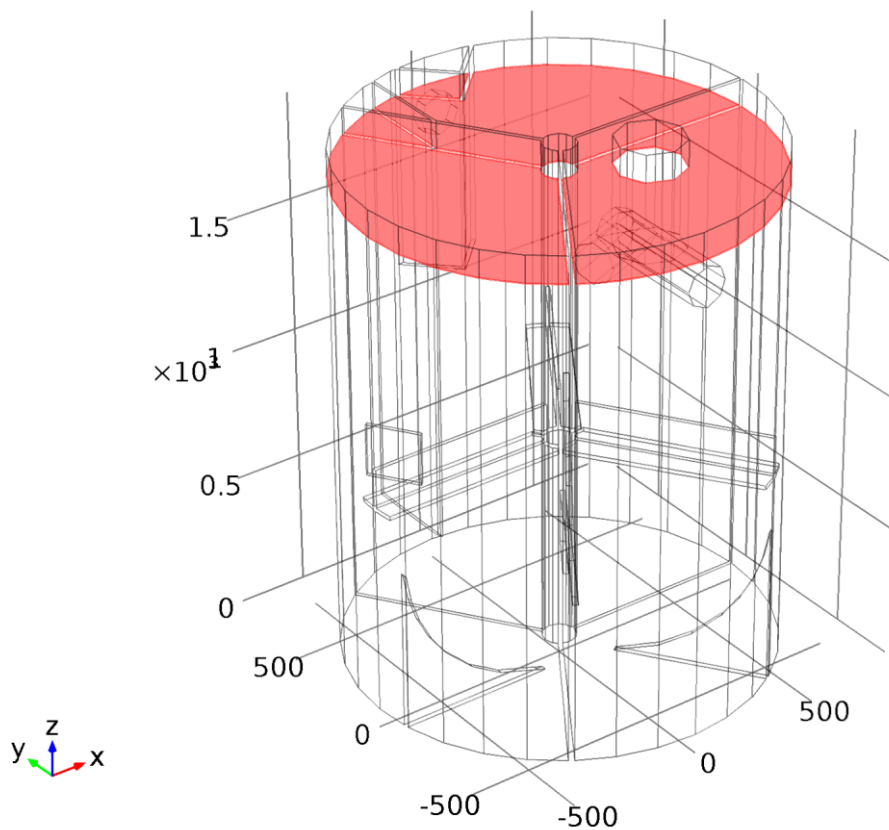
Name	Value
Data set	Solution 1

Plane data

Name	Value
Plane type	Quick
Plane	xy - planes
z-coordinate	1800

Advanced

Name	Value
Space variables	{cpl1x, cpl1y}



Data set: 180cm

3.1.7 Cut Plane 7

Data

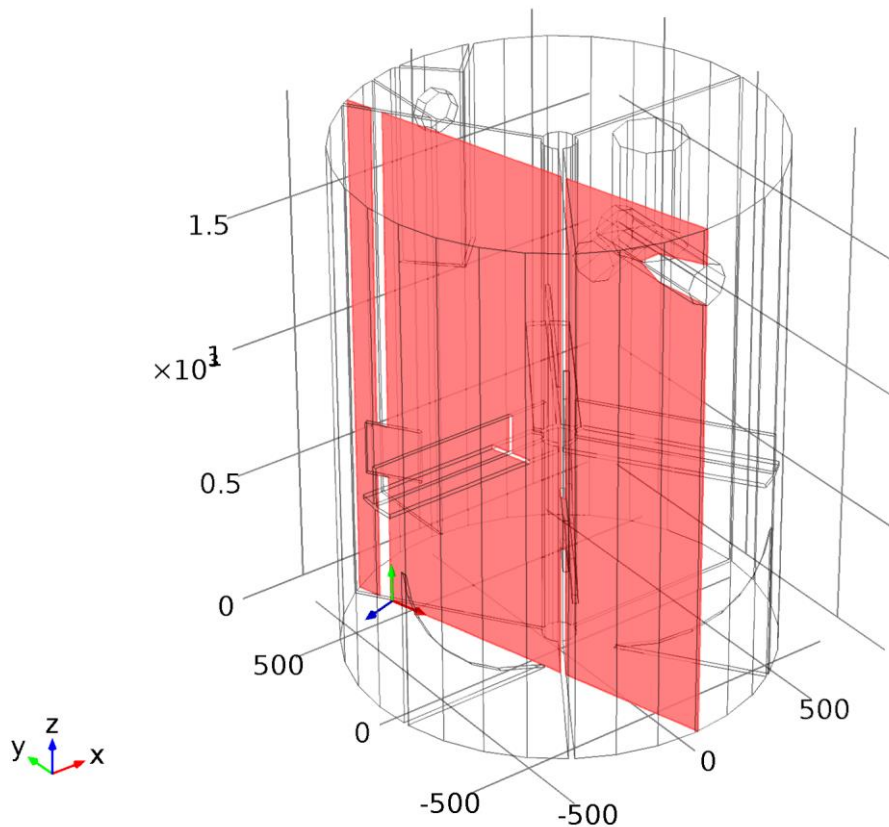
Name	Value
Data set	Solution 1

Plane data

Name	Value
Plane type	General
Plane entry method	Three points
Points	{{-345, 500, 0}, {0, -700, 0}, {-200, 0, 1000}}

Advanced

Name	Value
Space variables	{cpl7x, cpl7y}

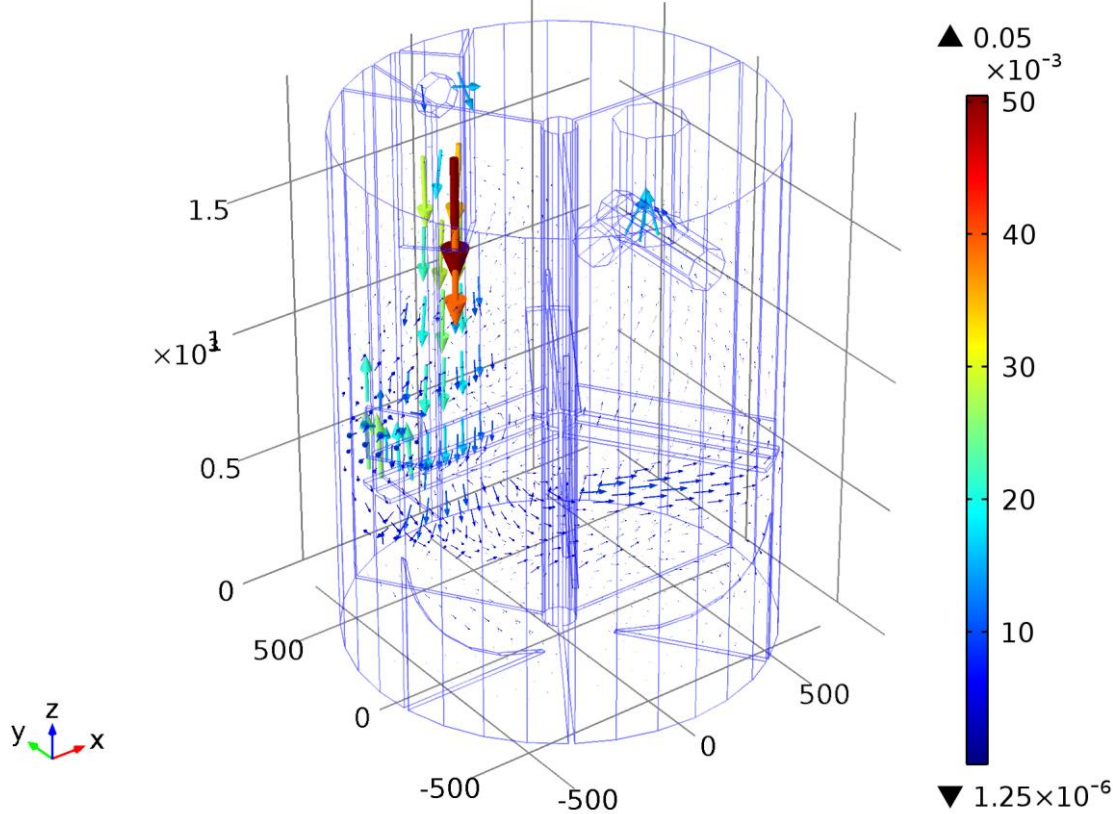


Data set: Cut Plane 7

3.2 Plot Groups

3.2.1 3D Plot Group 6

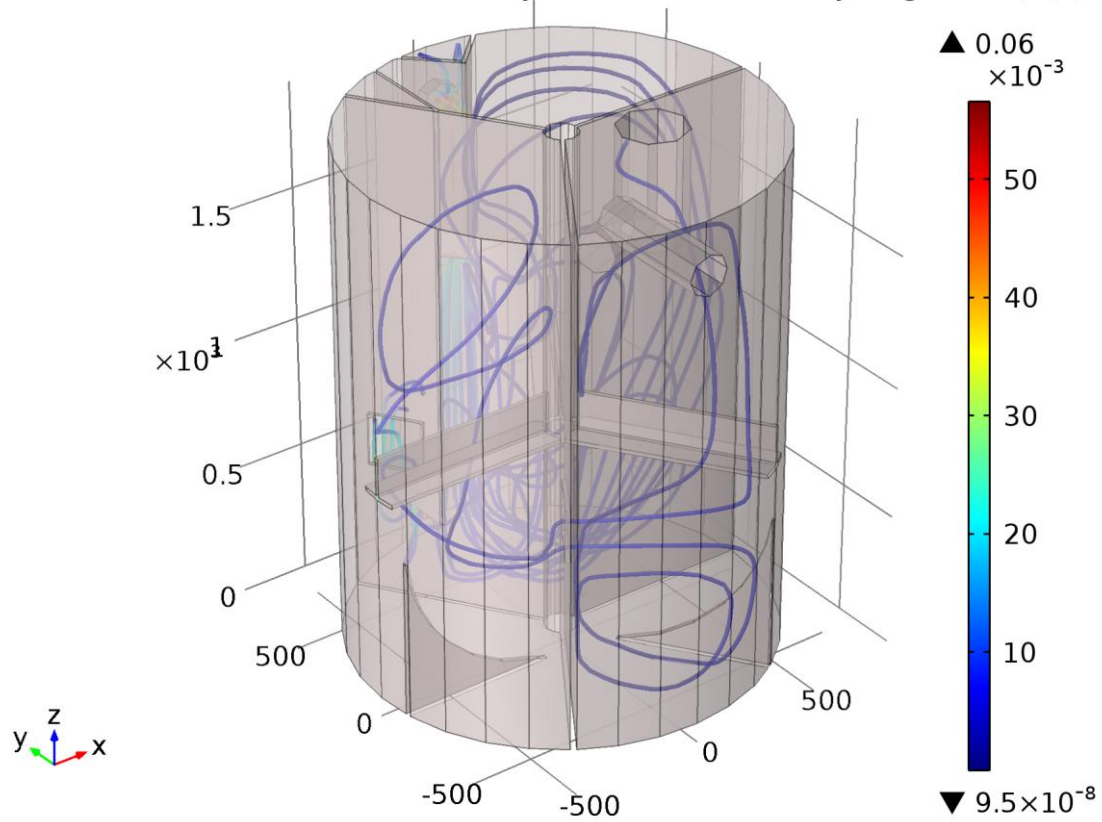
Time=240 min Arrow Volume: Velocity field



Time=240 min Arrow Volume: Velocity field

3.2.2 Velocity (spf) 1

Time=240 min Streamline: Velocity field Volume: Velocity magnitude (m/s)

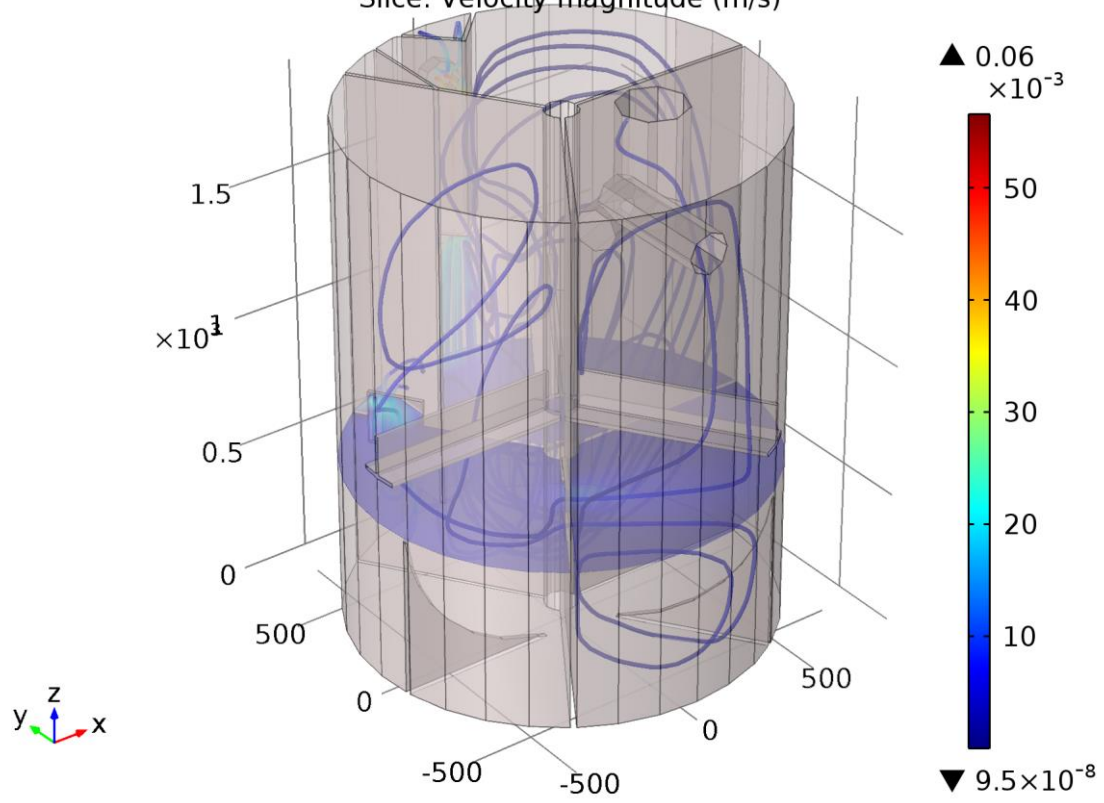


Time=240 min Streamline: Velocity field Volume: Velocity magnitude (m/s)

3.2.3 Velocity (spf) 1.2

Time=240 min Streamline: Velocity field Volume: Velocity magnitude (m/s)

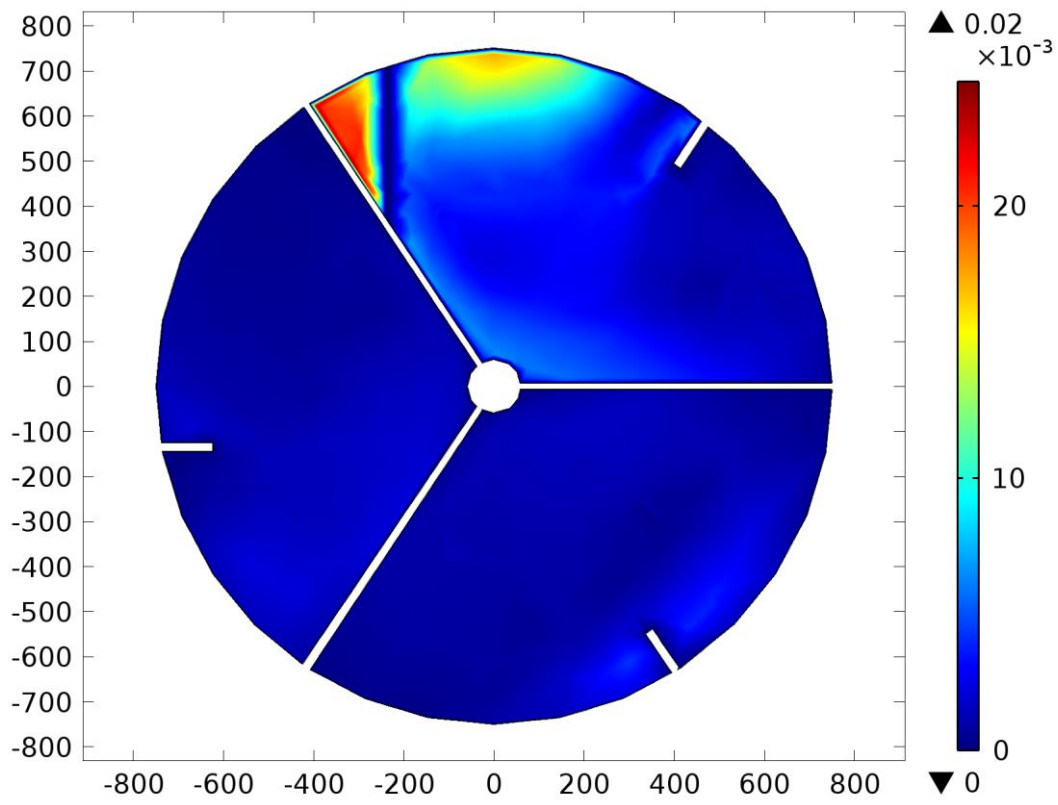
Slice: Velocity magnitude (m/s)



Time=240 min Streamline: Velocity field Volume: Velocity magnitude (m/s) Slice: Velocity magnitude (m/s)

3.2.4 Výška 30 cm (vektor rychlosti)

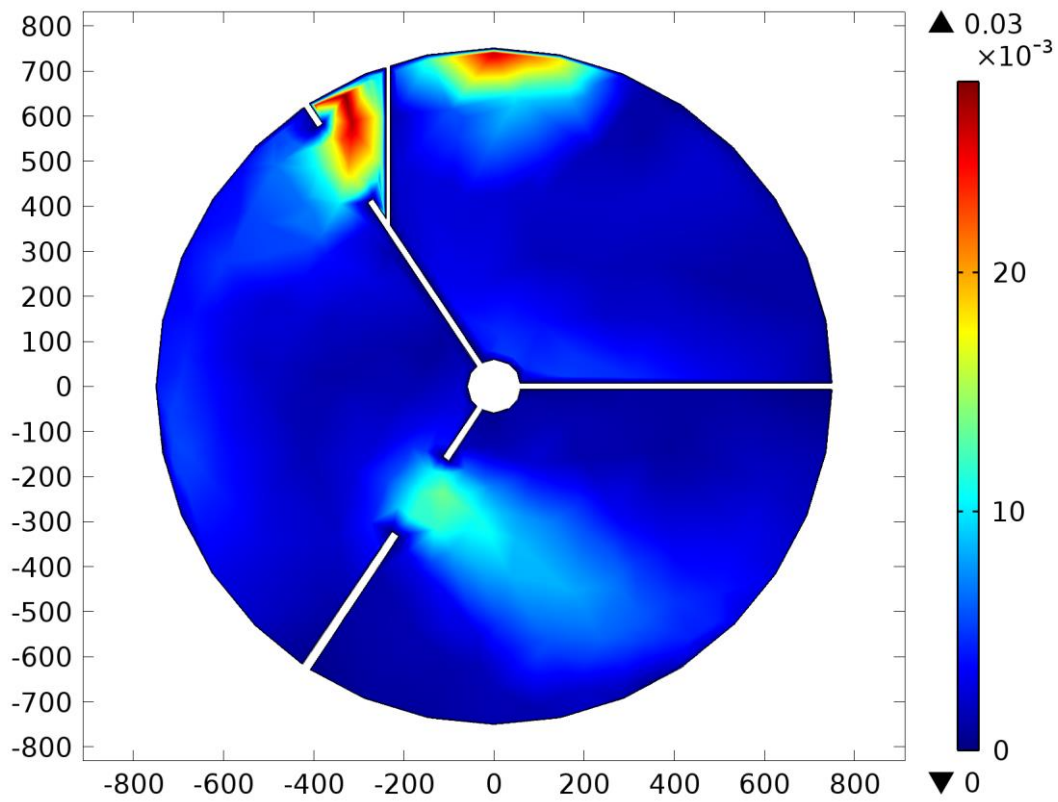
Time=240 min Surface: Velocity magnitude (m/s)



Time=240 min Surface: Velocity magnitude (m/s)

3.2.5 Výška 60 cm (vektor rychlosti)

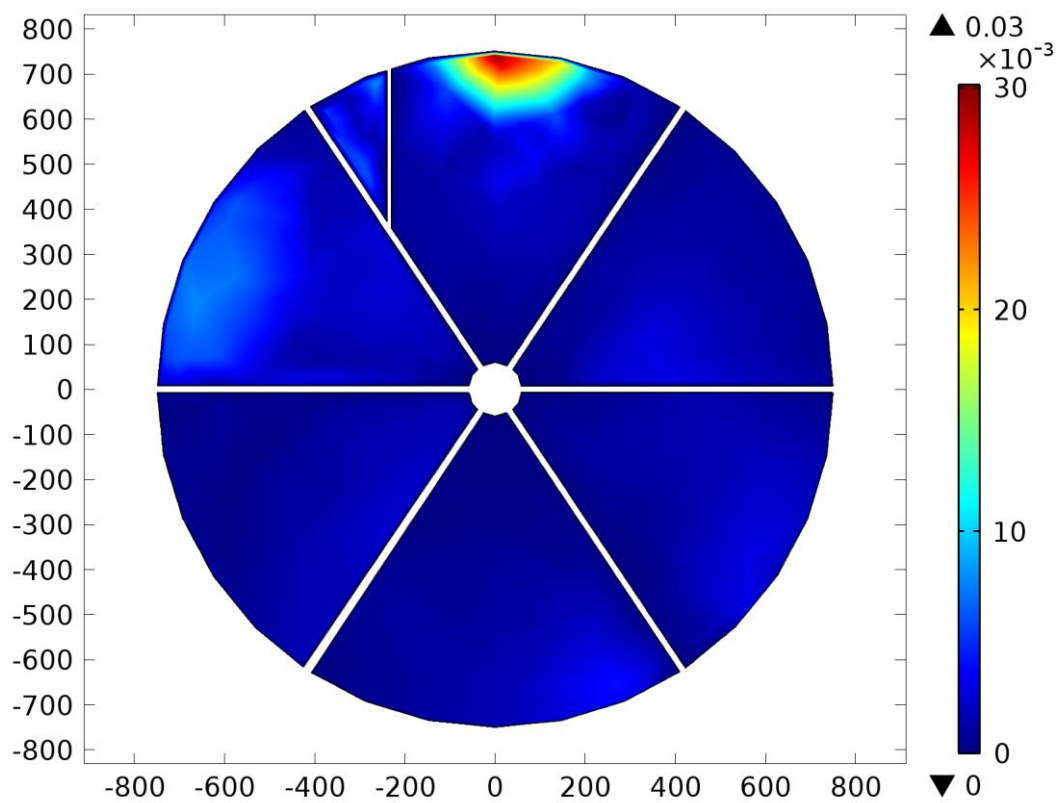
Time=240 min Surface: Velocity magnitude (m/s)



Time=240 min Surface: Velocity magnitude (m/s)

3.2.6 Výška 90 cm (vektor rychlosti)

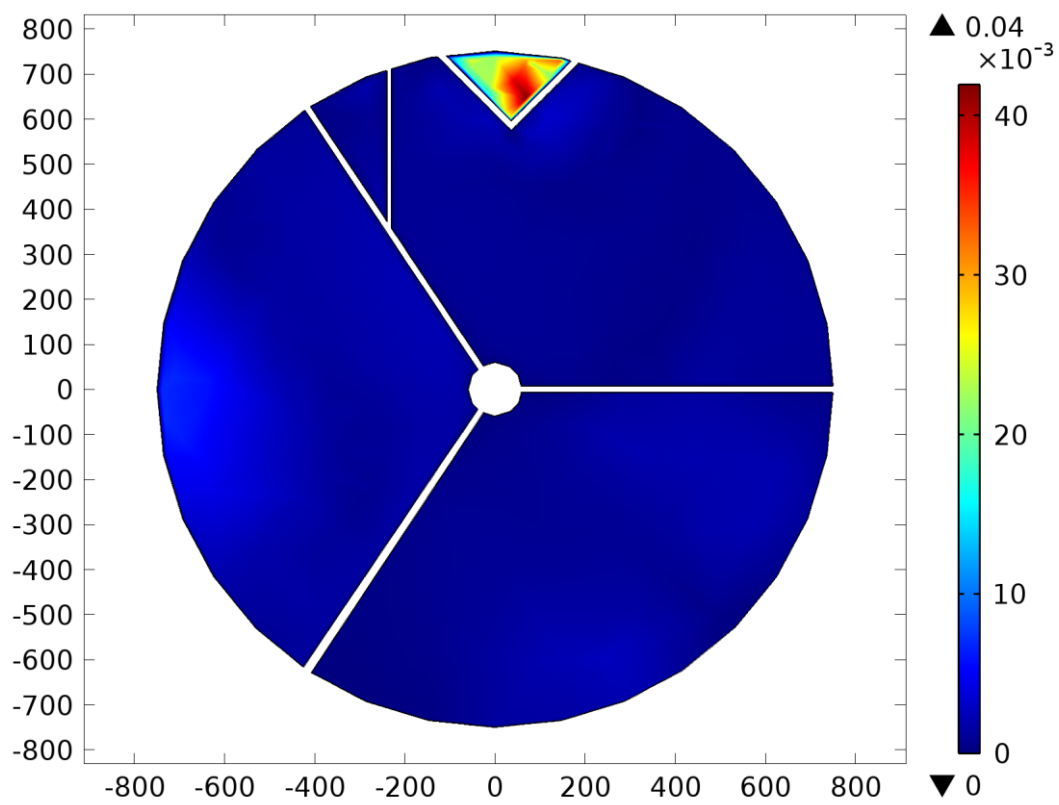
Time=240 min Surface: Velocity magnitude (m/s)



Time=240 min Surface: Velocity magnitude (m/s)

3.2.7 Výška 120 cm (vektor rychlosti)

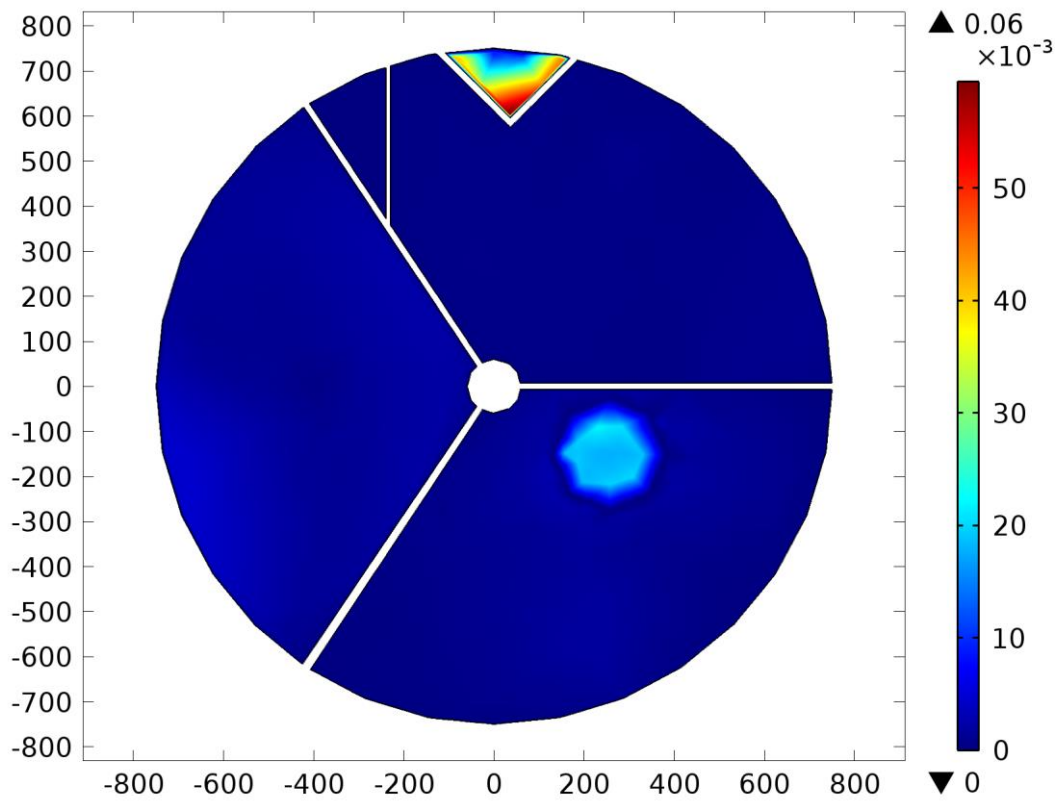
Time=240 min Surface: Velocity magnitude (m/s)



Time=240 min Surface: Velocity magnitude (m/s)

3.2.8 Výška 150 cm (vektor rychlosti)

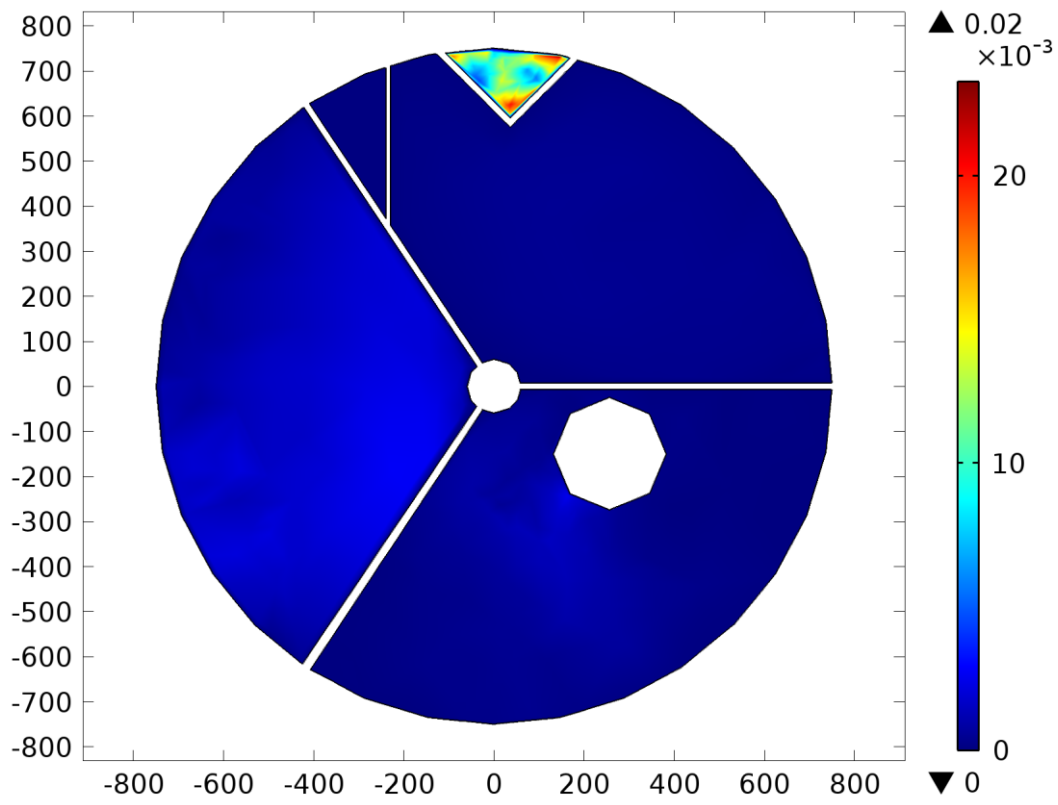
Time=240 min Surface: Velocity magnitude (m/s)



Time=240 min Surface: Velocity magnitude (m/s)

3.2.9 Výška 180 cm (vektor rychlosti)

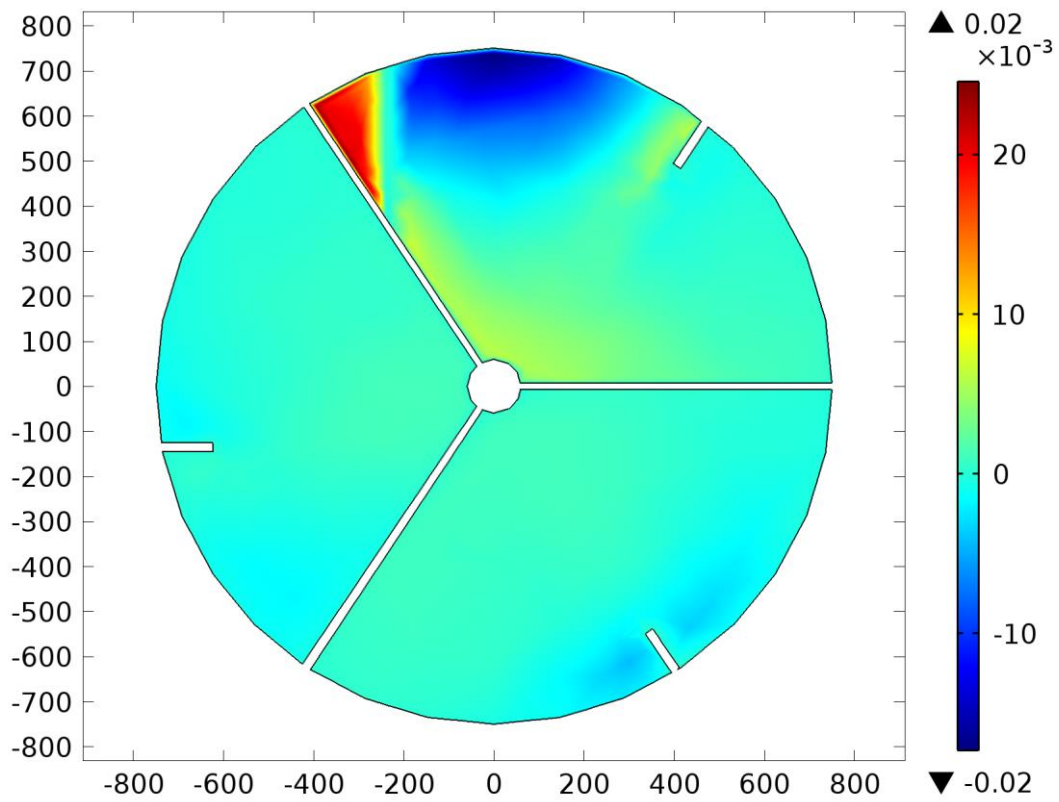
Time=240 min Surface: Velocity magnitude (m/s)



Time=240 min Surface: Velocity magnitude (m/s)

3.2.10 Výška 30 cm (rychlost z)

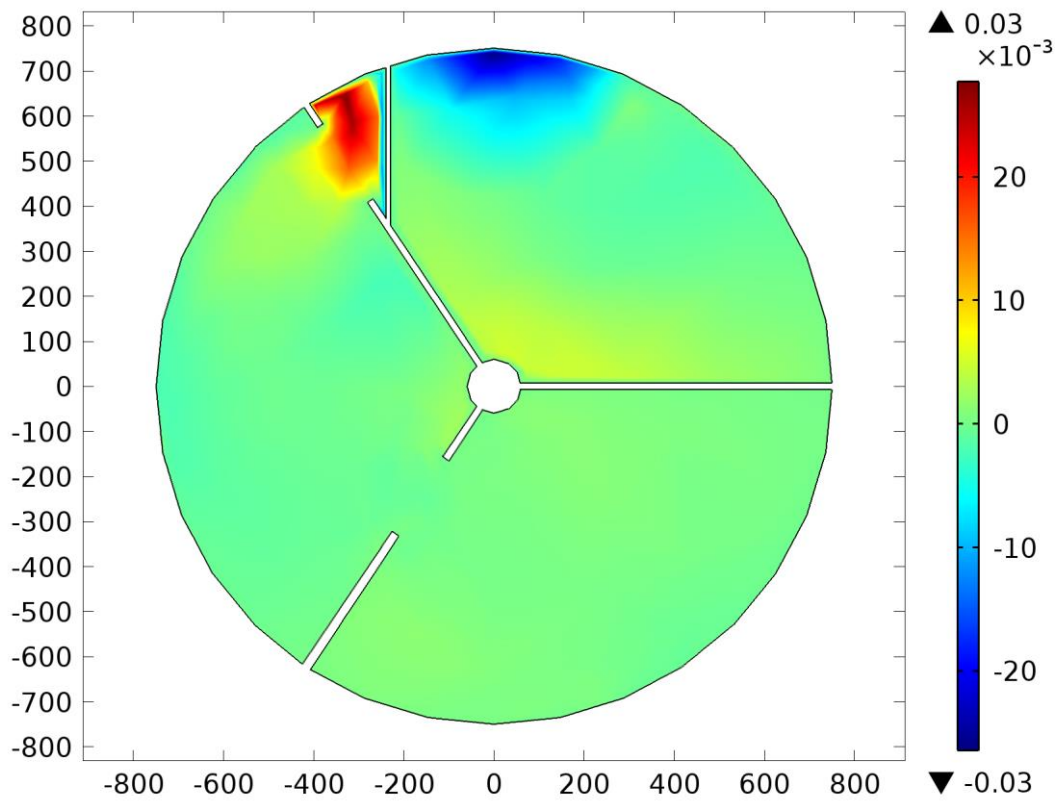
Time=240 min Surface: Velocity field, z component (m/s)



Time=240 min Surface: Velocity field, z component (m/s)

3.2.11 Výška 60 cm (rychlost z)

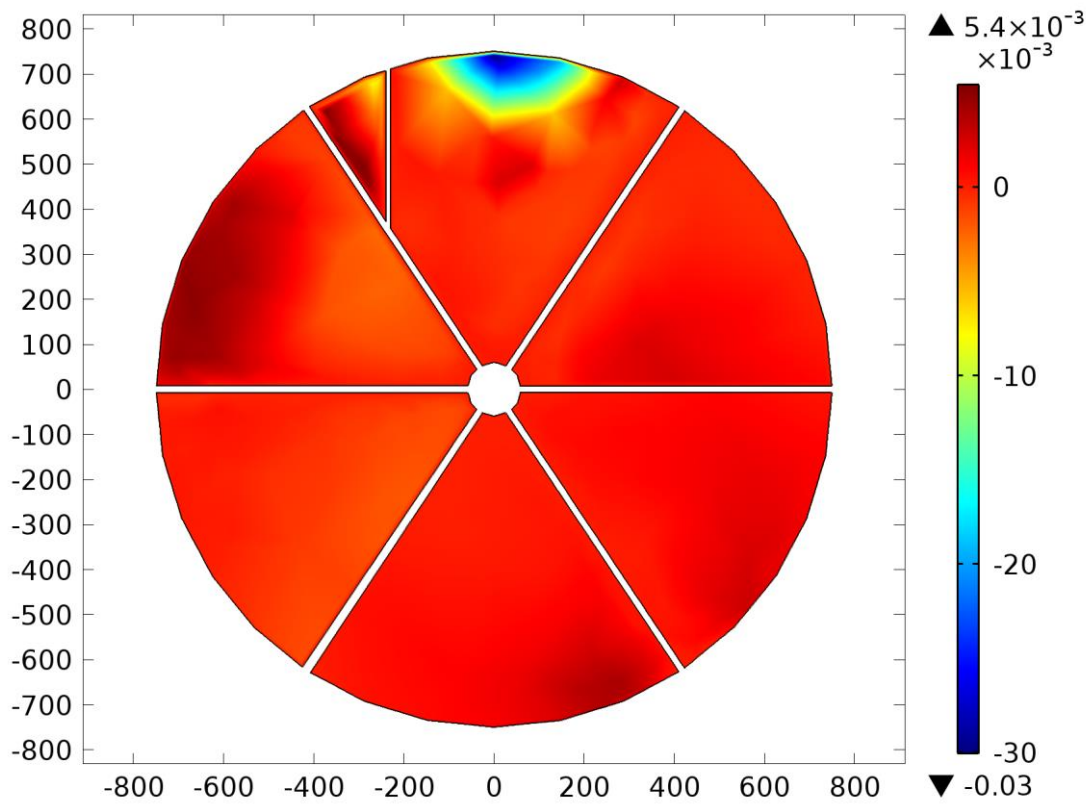
Time=240 min Surface: Velocity field, z component (m/s)



Time=240 min Surface: Velocity field, z component (m/s)

3.2.12 Výška 90 cm (rychlost z)

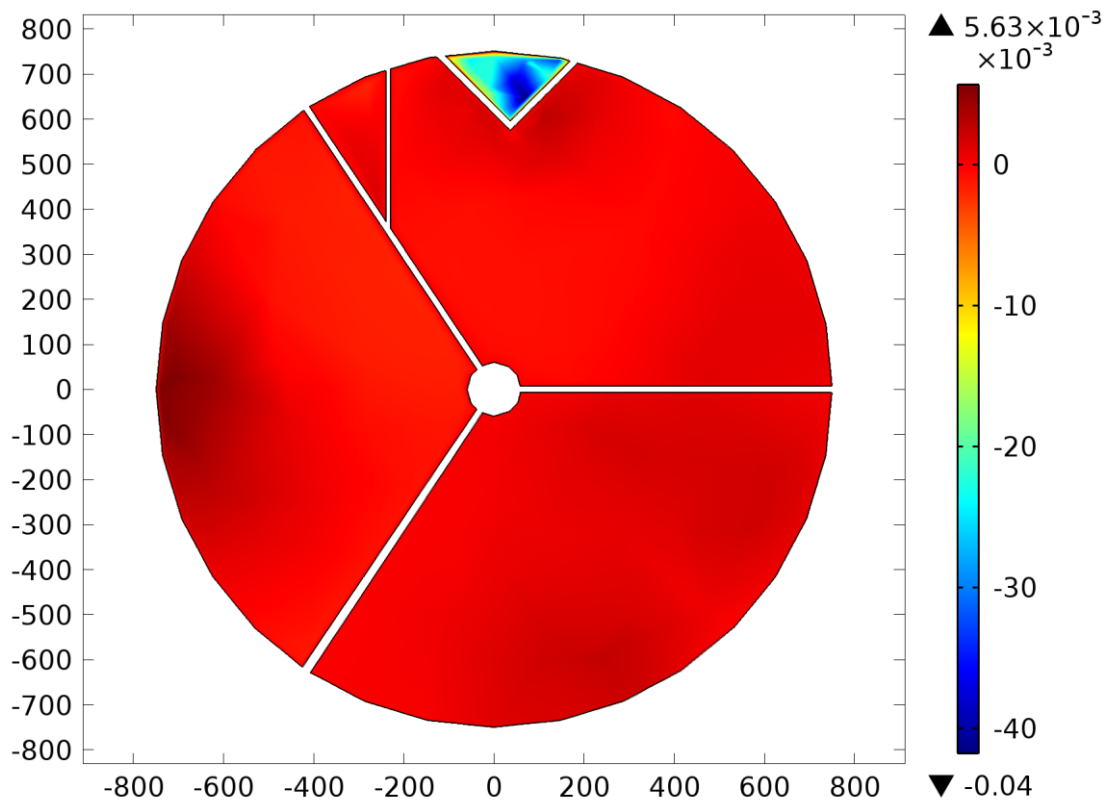
Time=240 min Surface: Velocity field, z component (m/s)



Time=240 min Surface: Velocity field, z component (m/s)

3.2.13 Výška 120 cm (rychlost z)

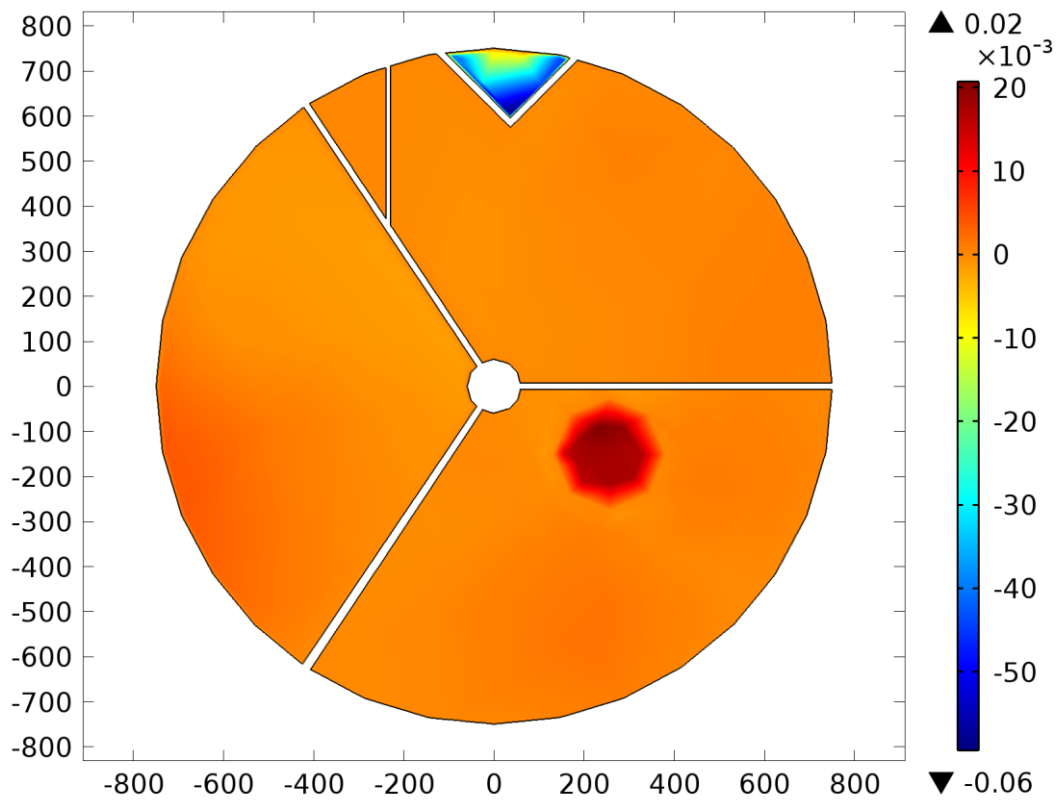
Time=240 min Surface: Velocity field, z component (m/s)



Time=240 min Surface: Velocity field, z component (m/s)

3.2.14 Výška 150 cm (rychlost z)

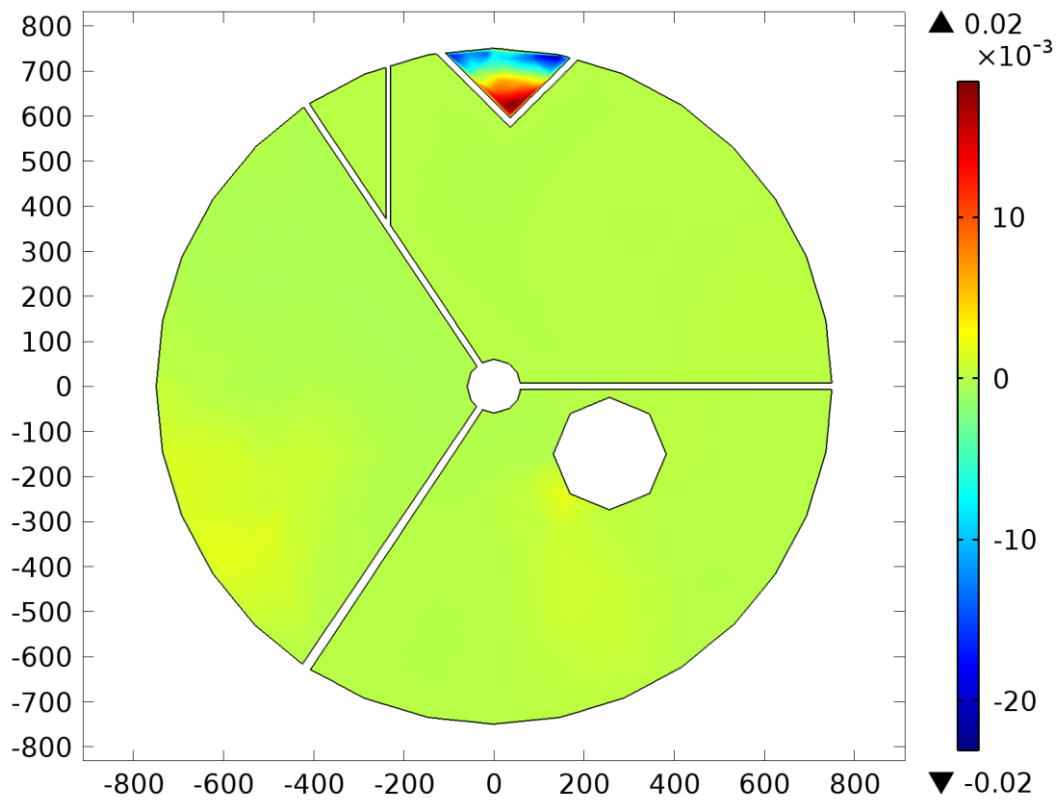
Time=240 min Surface: Velocity field, z component (m/s)



Time=240 min Surface: Velocity field, z component (m/s)

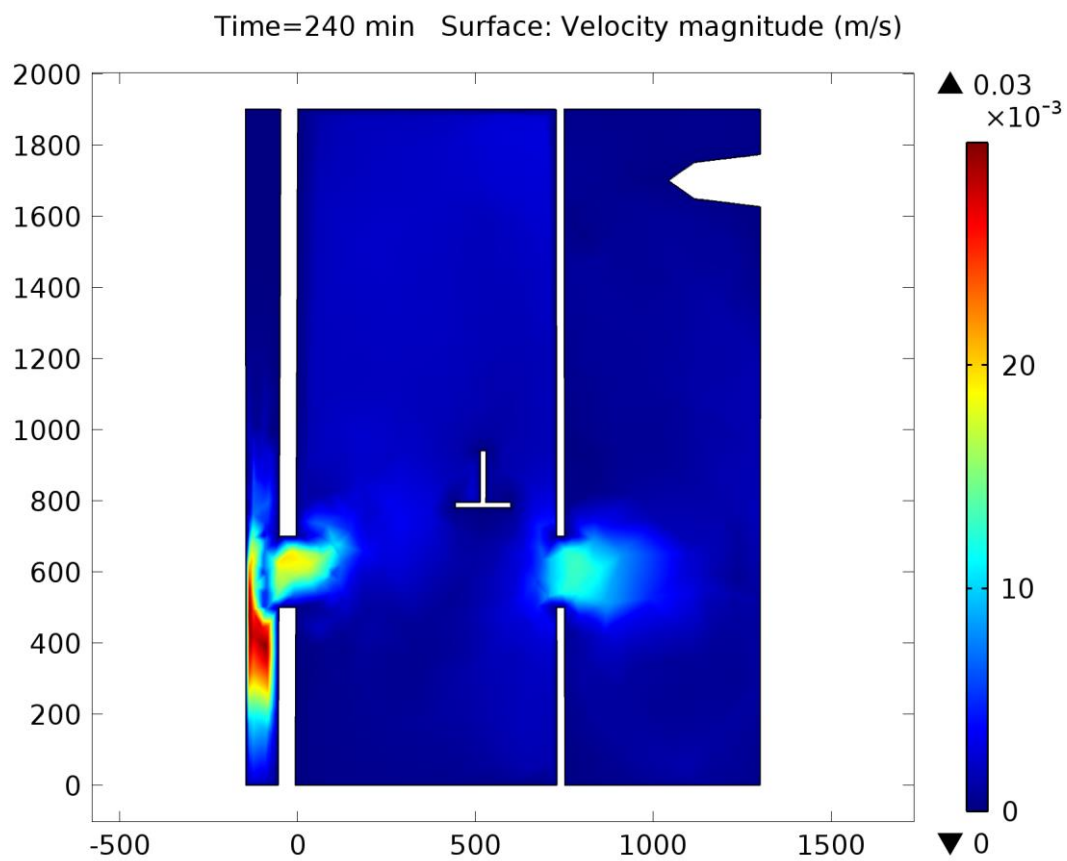
3.2.15 Výška 180 cm (rychlost z)

Time=240 min Surface: Velocity field, z component (m/s)



Time=240 min Surface: Velocity field, z component (m/s)

3.2.16 Řez komorami (rychlost)



Time=240 min Surface: Velocity magnitude (m/s)