



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

# MOŽNOSTI ODSTRANĚNÍ ZÁPACHU NA STOKOVÉ SÍTI

OPTIONS ELIMINATE ODORS IN SEWER NETWORK

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radim Žíla

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR HLUŠTÍK, Ph.D.



## VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Radim Žíla
<b>Název</b>	Možnosti odstranění zápachu na stokové síti
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Petr Hlušík, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2018
<b>Datum odevzdání</b>	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

---

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

- [1] Pasportizační podklady pro vybranou oblast zdravotně-technické infrastruktury
- [2] LARRY W. MAYS. Stormwater collection systems design handbook. McGraw-Hill. 2001. ISBN 0-07-135471-9
- [3] Wastewater Technology Fact Sheet : Sewers, Pressure. In MEYERS, F.E. [online]. Niskayuna, NY : EPA U.S., 9/2002. <http://nepis.epa.gov/epa/832-pf-02-006>
- [4] STRÁNSKÝ, D., et al. Metodická příručka - Posouzení stokových systémů urbanizovaných povodí. In OPZP.cz [online]. 2009 [cit. 2012-11-25]. <http://opzp.cz>
- [5] ČSN EN 1671. Venkovní tlakové systémy stokových sítí. Český normalizační institut, Praha, 1998
- [6] ČSN EN 13508. Zjišťování a hodnocení stavu venkovních systémů stokových sítí a kanalizačních přípojek, Český normalizační institut, Praha, 2011 a 2013.
- [7] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing.
- [8] Související normy a legislativní podklady
- [9] Další podklady dle aktualizace vycházející z průběhu řešení dle pokynu vedoucího diplomové práce

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Student v rámci diplomové práce provede rešerši v oblasti zápachu na stokových sítích s řešením na konkrétní lokalitě. V rešeršní části definuje pojmy vznik, kontrola a eliminace zápachu, monitoring zápachu a povolené limity v ovzduší. V praktické části práce na vytipovaném území obce provede on-line měření zápachu na stokových sítích v předávacích šachtách a čerpacích stanicích. Při různých zátěžových stavech nastavených provozovatelem zmonitoruje koncentrace H<sub>2</sub>S a ovzduší v předávací šachtě v dané lokalitě.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Petr Hluštík, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je zaměřena na možnosti odstranění zápachu na stokové síti. V první části rešerše je popsáno, jak je obecně zápach vnímán a jakými legislativními předpisy se jeho množství v ovzduší reguluje. Druhá část rešerše se věnuje problémům vzniku zapáchajícího sulfanu na stokové síti. V této části je popsán vznik sulfanu jakožto hlavní složky zápachu. Dále jsou popsány metody pro jeho odstranění a způsoby, kterými se zápach měří.

Praktická část se zabývá laboratorním testováním předem vytipovaných náplní za účelem stanovení jejich schopnosti odbourat zapáchající sulfan. V druhé části je provedeno on-line měření za účelem stanovení příčin vzniku sulfanu v dané lokalitě.

## **ABSTRACT**

The diploma thesis focuses on the possibility of removing odor on the sewer network. The first part of the research describes how the odor is generally perceived and what legislation regulates its quantity in the air. The second part of the research focuses on problems of formation of smelting sulfate on the sewer network. This section describes the formation of sulfane as a major component of odor. Further disclosed are methods for its removal, and the ways in which the odor is measured.

The practical part deals with laboratory testing of pre-selected fillings in order to determine their ability to remove odorous sulfane. In the second part, on-line measurements are made to determine the causes of sulphane formation in a given location.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Zápach, sulfan, kanalizace, metody odstranění, filtrace, sorbenty, sorpce, on-line měření.

## **KEYWORDS**

Odor, sulphate, sewer system, removal methods, filtration, sorbents, sorption, on-line measurements.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Radim Žíla *Možnosti odstranění zápachu na stokové síti*. Brno, 2018. 95 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Petr Hlušík, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Možnosti odstranění zápachu na stokové síti* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 7. 1. 2019

---

Bc. Radim Žíla  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Možnosti odstranění zápachu na stokové síti* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 7. 1. 2019

---

Bc. Radim Žíla  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ:**

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu Ing. Petru Hlušítkovi, Ph.D. za jeho pomoc a za to, že mi umožnil zpracovat tak zajímavé téma.

V neposlední řadě děkuji rodině za podporu a poskytnutý čas pro moji tvorbu.



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Historie problematiky zápachu.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2</b>	<b>Zápach.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3</b>	<b>Legislativní předpisy.....</b>	<b>13</b>
1.3.1	Mezinárodní úprava ochrany ovzduší .....	13
1.3.2	Legislativní předpisy Evropské unie .....	13
1.3.3	Legislativní předpisy České republiky .....	14
<b>2</b>	<b>ZÁPACH NA STOKOVÉ SÍTI.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Sulfan .....</b>	<b>15</b>
2.1.1	Nebezpečné vlastnosti sulfanu .....	17
2.1.2	Vliv sulfanu na lidský organismus .....	17
<b>2.2</b>	<b>Faktory ovlivňující vznik zápachu na stokové síti.....</b>	<b>18</b>
2.2.1	Charakter odpadní vody .....	18
2.2.2	Teplota odpadní vody .....	19
2.2.3	pH odpadní vody .....	19
2.2.4	Oxidačně-redukční potenciál.....	20
2.2.5	Sediment a biofilm .....	21
2.2.6	Doba zdržení .....	22
2.2.7	Poměr plochy a objemu .....	22
2.2.8	Rychlost proudění .....	22
2.2.9	Gradient rychlosti .....	23
2.2.10	Tečné napětí .....	23
<b>2.3</b>	<b>Biogenní síranová koroze .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4</b>	<b>Metody pro odstranění zápachu v odpadní vodě .....</b>	<b>25</b>
2.4.1	Navýšení pH.....	26
2.4.2	Srážení solemi železa, roztoky solí železa .....	26
2.4.3	Oxidace peroxidem vodíku .....	27
2.4.4	Chlorace .....	27
2.4.5	Oxidace manganistanem draselným .....	28
2.4.6	Přidávání dusičnanů .....	28
2.4.7	Biologická oxidace sulfidu .....	29
2.4.8	Souhrn chemických metod odstranění zápachu z odpadní vody .....	29
2.4.9	Aerace odpadní vody.....	30
2.4.10	Naředění odpadní vody .....	30
2.4.11	Trubní ježek .....	30
<b>2.5</b>	<b>Metody pro odstranění zápachu ze vzduchu .....</b>	<b>31</b>
2.5.1	Aerace odpadní vody s následným rozstříkem .....	31
2.5.2	Chemická pračka vzdušiny.....	32
2.5.3	Biologický filtr vzdušiny .....	33
2.5.4	Biologická pračka vzdušiny .....	33
2.5.5	Adsorpce na aktivním uhlí .....	34
2.5.6	Neutralizace, kompenzace, maskování.....	35
2.5.7	Fotokatalytická oxidace.....	36
2.5.8	Ionizace .....	36
2.5.9	Naředění čerstvým vzduchem .....	37

<b>2.6</b>	<b>Měření zápachu.....</b>	<b>37</b>
2.6.1	Kontrola pachů a odvětrání ČSN EN 12255-9.....	38
2.6.2	Olfaktometrická metoda.....	38
2.6.3	Metoda sledování pachové stopy ČSN 83 5030.....	39
2.6.4	Monitoring s použitím sítě stanovišť ČSN 83 5031.....	39
<b>2.7</b>	<b>Měření koncentrace sulfanu .....</b>	<b>39</b>
<b>3</b>	<b>LABORATORNÍ TESTOVÁNÍ FILTRAČNÍCH NÁPLNÍ.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1</b>	<b>Testovací kolona.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2</b>	<b>Chemické výpočty vzniku sulfanu .....</b>	<b>46</b>
<b>3.3</b>	<b>Testování vybraných filtračních náplní .....</b>	<b>47</b>
3.3.1	Materiály na bázi uhlíku.....	48
3.3.2	Přírodní materiály.....	56
3.3.3	Odpad ze stavební činnosti.....	61
<b>3.4</b>	<b>Souhrn laboratorního testování filtračních náplní.....</b>	<b>66</b>
<b>4</b>	<b>ON-LINE MĚŘENÍ V OBCI.....</b>	<b>68</b>
<b>4.1</b>	<b>Čerpací stanice Oslavany .....</b>	<b>69</b>
4.1.1	Objekty čerpací stanice .....	69
4.1.2	Princip systému STRATE .....	69
4.1.3	Denní průběh čerpání v čerpací stanici .....	70
4.1.4	Hladiny čerpání a doba zdržení v ČS .....	71
4.1.5	Výtlačné potrubí.....	71
4.1.6	Výpočet doby zdržení.....	71
4.1.7	Provzdušnění výtlačku .....	72
<b>4.2</b>	<b>Měření oxidačně-redukčního potenciálu v čerpací stanici .....</b>	<b>72</b>
<b>4.3</b>	<b>Měření koncentrace sulfanu v předávací šachtě .....</b>	<b>76</b>
4.3.1	Odstranění sulfanu pomocí plazmové technologie.....	76
4.3.2	Množství úniku sulfanu do ovzduší.....	79
4.3.3	Stanovení denního průběhu koncentrace sulfanu v předávací šachtě.....	81
<b>4.4</b>	<b>Shrnutí on-line měření.....</b>	<b>83</b>
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>84</b>
<b>6</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>93</b>
	<b>SUMMARY .....</b>	<b>94</b>

# 1 ÚVOD

Vůně a zápachy jsou nedílnou součástí života každého člověka už od narození. Vůně jsou mezi lidmi vyhledávány a působí na ně pozitivně, avšak co jednomu člověku voní dalšímu vonět nemusí. Z hlediska posuzování vůní jsou lidé velmi odlišní. U zápachu se už ale lidé většinou shodují, že daná věc prostě zapáchá. Právě zápach z kanalizačního systému, kterému se věnuje diplomová práce na lidi působí velmi negativně a závisí už pak jen na citlivosti čichu jedince, zda zápach pociťuje.

V dřívějších dobách, kdy nebyla kanalizace a splašky se vylévaly na ulici, měli lidé zcela odlišný práh zápachu než v době dnešní a na problematiku zápachu nebyl kladen takový důraz jako dnes. V dnešní době je kladen důraz na komfort obyvatel a zápach z kanalizace je ve většině případů posuzován za problematický. Bohužel zápach z kanalizace se nelze zcela vyhnout, protože jeho zdrojem v určité míře je každý, kdo produkuje odpadní vodu. Většina problémů však souvisí spíše s průmyslovými producenty odpadní vody, nebo se špatným návrhem kanalizačního systému.

Pokud se zápach na kanalizaci objeví, je potřeba jej řešit. Nejsnazší metodou, která se naskytá a je komerčně dostupná, je metoda maskující zápach. Tato metoda využívá vůní, které jsou silnější než zápach a tím zápach maskují. Tato metoda se jeví jako velmi účinná, ale může být použita jen pro maskování netoxických zápachů. Při maskování nedojde k odbourání toxických látek zápachu, což může být při vdechování velmi nebezpečné pro lidský organismus. Dalšími možnostmi jsou poté látky, které zcela zápach pohltí, nebo speciální zařízení narušující molekuly složek zápachu, což vede k jeho neutralizaci.

Všechny výše uvedené způsoby slouží k odstranění zápachu z ovzduší. Tyto způsoby by se měly používat spíše jako sekundární řešení problematiky zápachu na stokové síti. Primárním cílem provozovatele stokové sítě by však mělo být, aby se zápach v kanalizaci vytvářel v co nejmenším množství a jeho únik z kanalizace do ovzduší byl minimální, ideálně nulový. Toho lze dosáhnout důslednými kontrolami hlavních producentů odpadních vod s monitoringem problémových míst stokové sítě. Díky monitoringu stokové sítě lze odhalit příčiny vzniku zápachu a navrhnout poté opatření, které vedou k jeho minimalizaci.

## 1.1 HISTORIE PROBLEMATIKY ZÁPACHU

První zmínky o snaze zmírnění zápachu a zlepšení hygieny sahá až do roku 2 600 př. Kr., kde semitští Akadové na území Babylonu měli vybudovány odpadové jámy s jednoduchým kanalizačním systémem. Z vykopávek je známo, že v Mezopotámii (2 500 př. Kr.) byly používány splachovací záchody, z kterých byly fekálie splachovány přímo do kanalizace. Rovněž v městech na území tehdejší Sumerie byla budována městská kanalizace. Z ní byly vedeny přípojky do jednotlivých domů, které byly ukončeny svislými šachtami. Do nich se pak vléval otvorem odpad. Přípojky byly budovány z hliněných trub a byly čtvercového nebo obdélníkového průřezu. Hlavní stoky byly zděné. Uliční stoky sváděly splašky buď přímo do velkých řek nebo do sběrných jam či rybníků. [1]

Na území Českých zemí jsou první zmínky o “odvádění” odpadu zachyceny z doby raného středověku. K likvidaci fekálních odpadů na hradech sloužily suché záchody. Jejich situování bylo takové, že z něho fekálie vypadávaly přímo na hradby. Tyto tzv. prevéty jsou jedním z nejstarších kanalizačních útvarů u nás. [2]

Prvním primitivním systémem odkanalizování byly otevřené rigoly, do kterých se vylévalo vše, co mělo tekutou konzistenci. Tento primitivní způsob likvidace odpadů byl původcem nejen nesnesitelného zápachu, který se šířil zejména v letních měsících městem, ale i zárodkem častých epidemií jako mor a cholera, které se vždy neblaze podepsaly na úbytku počtu obyvatelstva. Je zřejmé, že taková likvidace splašků obtěžovala obyvatelstvo a byla zdrojem zápachu, šíření infekčních nemocí a epidemií. Pravidelně se opakující epidemie, které se šířily Evropou, vyžadovaly radikálnější řešení. [2]

K rozvoji výstavby kanalizace na našem území došlo až na počátku 19. století, avšak na kanalizaci byly napojovány pouze měšťanské domy. Až na počátku 20. století docházelo k rozšíření kanalizační sítě. Právě s rozšířením kanalizační sítě se začala řešit i problematika zápachu a hygieny na našem území. Pro zajímavost v roce 1918, kdy vzniklo Československo bylo odkanalizováno pouze 7% obyvatelstva. Dnes je již situace mnohonásobně lepší. V současné době je odkanalizováno více než 80 % obyvatel České republiky a stále dochází k rozvoji kanalizační sítě. Problematika zápachu je v dnešní době velmi probíraným tématem. Snahou provozovatele stokové sítě je vznik zápachu eliminovat, nebo co nejvíce omezit. V současné době je mnoho způsobů, jak zabránit vzniku zápachu, popřípadě jak omezit jeho úniku ze stokové sítě do ovzduší. [2]

## 1.2 ZÁPACH

Člověk je schopen rozlišovat tisíce různých pachů. Pach jako takový může být vnímán ze dvou stran. Jako pozitivní v tomto slova smyslu se spíše používá pojem vůně. Při negativním vnímání pachů se užívá slovo zápach, pod kterým si většina lidí představí něco, co vyvolává člověku nepříjemné čichové vjemy. Vnímání různých pachů je složitý proces, který je možný prostřednictvím lidského čichového orgánu skládajícího se ze dvou základních částí: čichových buněk v nosní sliznici a čichového centra v mozku. Chemikálie obsažené ve vzduchu se v nose dostanou přes vrstvu hlenu k čichovým buňkám a prostupují membránou receptoru, k čemuž slouží bílkovinné přenašeče, které váží některé molekuly chemikálií. Průnikem molekuly je receptor podrážděn a signál je nervovými vlákny veden do čichového centra, kde dojde k vyhodnocení vjemu. Na jeho výsledek má především vliv zkušenost, momentální psychický a fyzický stav. [3] Nejvíce zapáchající sloučeninou je merkaptan (ethylmerkaptan), tato látka se přidává do zemního plynu, který by jinak byl sám o sobě bez zápachu. V oblasti stokování se nejčastěji setkáváme se zápachem sulfanu (sirovodík –  $H_2S$ ). Sulfan je bezbarvý plyn, který vzniká rozkladem organického materiálu nebo mikrobiologickou přeměnou síranů při nedostatku kyslíku. Sulfan způsobuje nepříjemný zápach po zkažených vejcích, na který si obyvatelé stěžují a také způsobuje biogenní síranovou korozi, která má negativní vliv na stokovou síť a objekty s ní spojenými. Sulfan a jeho vlastnosti budou podrobněji popsány v následujících kapitolách. [4]

## 1.3 LEGISLATIVNÍ PŘEDPISY

### 1.3.1 Mezinárodní úprava ochrany ovzduší

Z hlediska ochrany ovzduší je důležitá Úmluva o dálkovém znečišťování ovzduší přecházejícím hranice států (Ženeva, 1979) a Úmluva na ochranu ozónové vrstvy z roku 1985. Následovala Úmluva o změně klimatu (1982) a tzv. Agenda 21, což je akční plán týkající se trvale udržitelného rozvoje. K těmto úmluvám byla přijata řada protokolů, známý je zejména Montrealský protokol k Úmluvě o ochraně ozónové vrstvy a Kjótský protokol (1997) k Úmluvě o změně klimatu. Česká republika i Evropská společenství jsou smluvními stranami všech tří uvedených dohod. [5]

### 1.3.2 Legislativní předpisy Evropské unie

Právní úprava na úseku ochrany ovzduší patří v oblasti Evropské unie k těm mladším. Jedná se o ekologicky zaměřené normy, které mají sloužit ke snížení celkového objemu vypouštění znečišťujících látek do ovzduší a jejich redukce v atmosféře. Unijní právo rozděluje původce znečištění na tři skupiny, jedná se o průmyslová zařízení, spalování nejružnějšího druhu a motorová vozidla. [6]

Z pohledu ochrany ovzduší na poli Evropské unie se jedná o pět zásadních směrnic a dvě nařízení Evropského parlamentu a jednu normu.

#### **Směrnice:**

- Směrnice 2000/76/ES, o spalování odpadů.
- Směrnice 2008/50/ES, o kvalitě vnějšího ovzduší a čistém ovzduší pro Evropu.
- Směrnice 2001/81/ES, o národních emisních stropích pro některé látky znečišťující ovzduší.
- Směrnice 2010/75/EU, o průmyslových emisích, integrované prevenci a omezování znečištění.
- Směrnice 2004/42 ES, o omezování emisí těkavých organických látek.

#### **Nařízení:**

- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1005/2009 o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu.
- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 842/2006 o některých fluorovaných skleníkových plynech.

#### **Norma:**

Jedná se o Německou normu vydanou v roce 2003, která se zabývá zápachem v odvodňovacích systémech. Norma se zabývá vznikem, zabráněním a snížením zápachu v odvodňovacích systémech.

- ATV-DVWK-M 154 Geruchsemissionen aus Entwässerungssystemen – Vermeidung oder Verminderung

### 1.3.3 Legislativní předpisy České republiky

#### **Zákon:**

- Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší

Ochranu ovzduší definuje první paragraf zákona o ochraně ovzduší jako předcházení znečišťování ovzduší a snižování úrovně znečišťování tak, aby byla omezena rizika pro lidské zdraví způsobená znečištěním ovzduší, snížení zátěže životního prostředí látkami vnášenými do ovzduší a poškozujícími ekosystémy a vytvoření předpokladů pro regeneraci složek životního prostředí postižených v důsledku znečištění ovzduší. Cílem právní úpravy tedy je omezení znečišťování ovzduší na únosnou míru a využít k tomu nejlepší dostupné techniky. [6]

#### **Vyhlášky:**

- Vyhláška č. 415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.

V této vyhlášce je již zmínka o sulfanu, ale netýká se přímo kanalizace. V příloze 9 OBECNÉ EMISNÍ LIMITY této vyhlášky je stanoven emisní limit sulfanu za pomoci hmotnostní koncentrace na  $10 \text{ mg/m}^3$ , což odpovídá zhruba 7,1 ppm. [7]

#### **Normy:**

- ČSN EN 12255-9 (756403) Čistírny odpadních vod – Část 9: Kontrola pachů a odvětrání.

V této normě se stanovují zásady navrhování a požadavky na provádění kontroly pachů a s tím spojeného odvětrávání čistíren odpadních vod u čistíren s více než 50 ekvivalentních obyvatel.

- ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky.

Tato norma slouží pro základy navrhování, posuzování, provádění a sanaci gravitačních stokových sítí a kanalizačních přípojek, včetně objektů na nich.

## 2 ZÁPACH NA STOKOVÉ SÍTI

Odpadní voda v kanalizaci se skládá z široké škály organických a anorganických složek pocházejících ze splaškové vody z domácností a také z odpadní vody, která vzniká průmyslovou výrobou. Ve stokách vzniká nespočet chemických a biologických reakcí v aerobním, anoxickém a anaerobním prostředí. Při těchto reakcích se uvolňuje také plyn, který způsobuje zápach. Množství a vznik těchto plynů je ovlivněno mnoha faktory. Zvláštní pozornost je třeba věnovat spektru vonných těkavých organických sloučenin a těkavých sloučenin síry, které vznikají anaerobními reakcemi (jako je fermentace a respirace síranu) v odpadních vodách, sedimentech a na biofilmech. Tyto těkavé sloučeniny se přenášejí do ovzduší v prostoru kanalizace pomocí difuzního a konvektivního přenosu hmoty. [8] Ve stokových sítích se nejčastěji setkáváme se sulfanem, který je nejčastější příčinou zápachu a biogenní síranové koroze na stokové síti.

Přehled složek, které způsobují zápach na stokové síti:

Tabulka 2.1 Složky zápachu na stokové síti [9]

Název složky	Chemický vzorec	Práh zápachu [ppm]	Popis zápachu
Sulfan	H <sub>2</sub> S	0.50	Zkažená vejce
Dimethyl Sulfid	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	0.12-0.40	Nahnilé zelí
Ethyl Merkaptan	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> SH	0.02	Nahnilé zelí
Methyl Merkaptan	CH <sub>3</sub> SH	0.0014	Nahnilé zelí
Indol	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> (CH) <sub>2</sub> NH	1.40	Fekální
Scatol	C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> N	0.002	Fekální
Amoniak	NH <sub>3</sub>	130-15300	Dráždivý

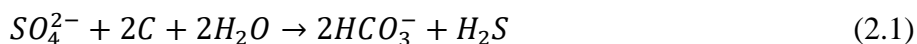
**Nejčastější místa vzniku sulfanu:**

- V místě zaústění tlakové kanalizace do gravitační.
- U dlouhých úseků tlakové kanalizace.
- V místě zaústění průmyslových odpadních vod do gravitační kanalizace.
- U některých vysoko zatížených čistících procesů.
- V anaerobních biologických nádržích.
- V zařízení pro odstranění a uskladnění kalů.

### 2.1 SULFAN

Sulfan (sirovodík – H<sub>2</sub>S) je jednou ze základních forem výskytu síry v přírodě. Sulfan je bezbarvý plyn, který vzniká rozkladem organického materiálu nebo mikrobiologickou přeměnou síranů při nedostatku kyslíku. Jedná se o nejčastější plyn, který způsobuje zápach ve stokových sítích a na čistírnách odpadních vod. Jeho charakteristický zápach po zkažených vejcích je velmi typický. Sulfan je žíravý, toxický a snadno rozpustný v odpadních vodách.

Sulfan je výsledkem redukce síranu na plynný sulfan bakteriemi za anaerobních podmínek. Bakterie desulfovibrio, které jsou striktně anaerobní, jsou odpovědné za většinu redukce sulfátu na sulfan, podle následující rovnice (2.1): [10]

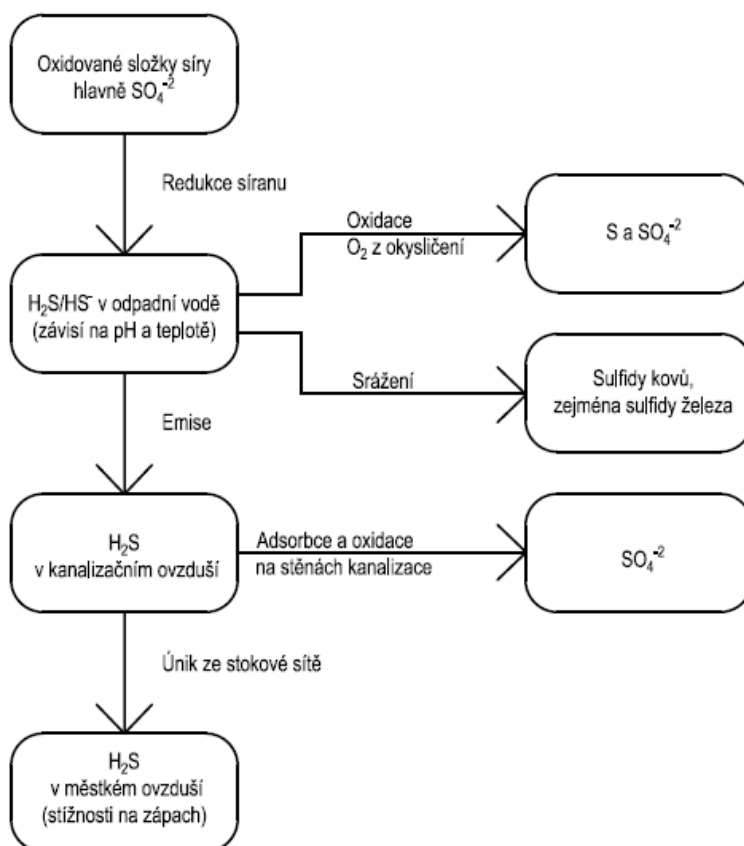


Základní vlastnosti plynného sulfanu jsou shrnuty v tabulce 2.2. Jednou ze zásadních vlastností sulfanu je, že jeho specifická gravitace je 1.19x vyšší než u vzduchu. Tím pádem se toxický sulfan drží ve vyšší koncentraci na dně šachty, což může být nebezpečné při revizích šachet a ostatních objektů na stokové síti, kde se sulfan akumuluje.

**Tabulka 2.2 Základní vlastnosti plynného sulfanu [10]**

Molekulární váha	34.08
Hustota	1.36 kg/m <sup>3</sup>
Specifická gravitace (oproti vzduchu)	1.19
Prah detekce zápachu	0.5 ppm
Charakter zápachu	Zkažená vejce
Typický 8hodinový limit vystavení, vážený průměr	10 ppm
Bezprostřední ohrožení života	300 ppm

Na obrázku 2.1 jsou znázorněny základní formy síry a jejich vzájemné vztahy mezi nimi. Faktory, které ovlivňují tyto reakce budou uvedeny v následující kapitole 2.2 Faktory ovlivňující vznik zápachu na stokové síti.



**Obrázek 2.1 Znázornění tvorby sulfanu v kanalizaci [11]**



Původ sulfidů se dá rozdělit do 3 skupin:

- Endogenní forma – sulfidy vznikající přímo uvnitř stokového systému, které se dále rozdělují na:
  - Autogenní forma – probíhá v odpadní vodě a v usazeninách a vzniká při spojení síry v biofilmu za anorganických i organických procesů.
  - Alogenní forma – sulfidy pocházejí v důsledku nepříznivých provozních podmínek.
- Exogenní forma – sulfidy vnikají do kanalizace z externího zdroje. Ve většině případů do vody vnikají z průmyslových objektů, nebo ze zaústění domovní ČOV do veřejné kanalizace. [12]

### 2.1.1 Nebezpečné vlastnosti sulfanu

Sulfan je těžší než vzduch a drží se u země. Shromažďuje se v nízko položených a uzavřených, špatně větraných prostorech, jako jsou suterény, šachty, kanalizace. Primární cestou expozice je inhalace, kdy je sulfan rychle absorbován plicemi. Absorpce skrze kůži je minimální. Při kontinuálním nízkém stupni expozice, nebo při vyšších koncentracích však člověk po čase ztrácí svou schopnost sulfan cítit, i když je stále sulfan v ovzduší přítomen. To může být pro člověka velmi nebezpečné, proto se nedá stoprocentně spoléhat na lidský čich a je vždy lepší mít zařízení, které zvýšenou koncentraci detekuje. Sulfan je navíc vysoce hořlavý plyn a směsi sulfanu a vzduchu mohou být výbušné. [13]

### 2.1.2 Vliv sulfanu na lidský organismus

Sulfan je vysoce toxický plyn, který působí jako nervový jed, místně vyvolává silné podráždění spojivek, rohovky a sliznic dýchacích cest. Do organismu vniká plicemi, kde se asi 60x rychleji, než kyslík váže na krevní barvivo (hemoglobin). Jeho účinky na zdraví se mohou lišit v závislosti na koncentraci sulfanu a době expozice v prostředí, kde se sulfan nachází. Nízké koncentrace dráždí oči, nos, hrdlo a dýchací systém (např. pálení/slzení očí, kašel, dušení). U astmatiků můžou nastat problémy s dýcháním. Účinky mohou být zpožděny o několik hodin, nebo někdy i několik dní při práci v nízkých koncentracích. Opakovaná nebo prodloužená expozice může způsobit zánět očí, bolesti hlavy, únavu, podrážděnost, nespavost a zažívací potíže. I mírné koncentrace s dlouhou dobou expozice mohou způsobit vážnější podráždění očí a dýchacích cest (včetně kašle, potíže s dýcháním), dále pak bolesti hlavy, závratě, nevolnost, zvracení. Vysoké koncentrace mohou způsobit šok, křeče, dušení, rychlý úpadek do bezvědomí, kóma a v krajních případech také smrt. Účinky se mohou objevit již během několika nádechů sulfanu. [13]

**Tabulka 2.3 Účinky vystavení sulfanu na lidské zdraví [10]**

Koncentrace [ppm]	Účinek na zdraví
0.03	Lze zaznamenat čichem, bezpečné vystavení po dobu 8 hodin.
4	Může vyvolat podráždění očí. Nutnost použití ochranné masky při delším vystavení.
10	Maximální expozice po dobu 8 hodin. Ztráta čichového smyslu za 3 až 15 minut expozice.
20	Expozice po dobu delší než 1 minutu může způsobit podráždění očí.
30	Nechutenství, bolest hlavy, únava, podrážděnost.
100	Paralýza čichu za 30-45 minut.
200	Vážné poškození zraku a trvalé poškození očních nervů.
300	Ztráta smyslu pro uvažování a rovnováhu, bezprostřední ohrožení života.
500	Dušení. Bezvědomí po 3 až 5 minutách expozice.
700	Zástava dechu a smrt.

Přepočítání koncentrace sulfanu ve vzduchu při (20 °C, 101,3 kPa) je následující: [10]

$$1 \text{ mg/m}^3 = 0,71 \text{ ppm} \quad (2.2)$$

$$1 \text{ ppm} = 1,4 \text{ mg/m}^3 \quad (2.3)$$

## 2.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VZNIK ZÁPACHU NA STOKOVÉ SÍTI

Odpadní voda ve stokové síti musí urazit často dlouhou vzdálenost, než se dostane na čistírnu odpadních vod. Při této cestě na odpadní vodu působí různé faktory, díky kterým se mění její vlastnosti. Vznik sulfanu ve stokové síti tedy ovlivňuje mnoho faktorů, které mohou být v každé kanalizaci zcela odlišné. Existuje tedy mnoho faktorů, které mohou vznik sulfanu ovlivnit a většina faktorů je také na sobě závislá.

### 2.2.1 Charakter odpadní vody

Odpadní vody lze rozlišit na několik druhů. Jejich dělení závisí především na způsobu vzniku těchto odpadních vod a v návaznosti na vzniku i na obsahu znečišťujících látek. Složení odpadních vod bývá často kvalitativně i kvantitativně oblast od oblasti jiné.

**Odpadní vody se nejčastěji dělí na:**

Komunální odpadní vody:

Vznikají každodenní lidskou činností – pochází z domácností, škol, úřadů, od živnostníků a podobně. Splašky mají přibližně stejné složení. Kromě splašků obsahuje v případě jednotné kanalizace i oplachové vody (vodu z mytí ulic) a dešťovou vodu ze srážek. [14]

### Průmyslové odpadní vody:

Vznikají v průmyslových podnicích. Míra a charakter znečištění vody závisí na druhu průmyslu, ale i použité technologii výroby. Průmysl produkuje odpadní vody jednak z technologických vod (což je voda přímo použitá ve výrobě) a jednak z chladicích vod (což je voda používaná na chlazení zařízení, ta bývá znečištěná „pouze“ tepelně). Průmyslová odpadní voda se čistí buď přímo v podniku (tam někdy stačí vodu předčistit a pak vypustit do kanalizace, nebo přímo v městské ČOV. [14]

Vliv na charakter odpadní vody má z velké části i způsob odkanalizování obce. Největší problém vzniká na rozmezí přechodu z tlakové kanalizace na kanalizaci gravitační. V některých případech u tlakových kanalizací dochází k dlouhodobému zdržení odpadní vody v domovních šachtách nebo čerpacích stanicích, které může činit až 16 hodin, přičemž toto prostředí vytváří anaerobní podmínky, a právě tyto podmínky jsou příznivé pro vznik sulfanu, který se uvolňuje právě na přechodu výše uvedených typů kanalizací. [15]

**Tabulka 2.4 kvality odpadní vody na výstupech z gravitační splaškové a tlakové [15]**

Způsob dopravy	BSK <sub>5</sub> [mg/l]	CHSK <sub>Cr</sub> [mg/l]	NL [mg/l]	N-NH <sub>4</sub> [mg/l]	N <sub>celk.</sub> [mg/l]	P <sub>celk.</sub> [mg/l]
Gravitační splašková kanalizace	351.2	768	216.7	38.8	44.5	10.2
Tlaková kanalizace	749.8	1555.5	771.3	85.6	-	8

V tabulce 2.4 jdou jasně vidět dvojnásobné hodnoty znečištění u tlakové kanalizace oproti kanalizaci gravitační. Jedná se zejména o ukazatele, kterými jsou ovlivněny oxidačně-redukční procesy v kanalizaci, tedy BSK<sub>5</sub>, CHSK<sub>Cr</sub> a N-NH<sub>4</sub>. Tato tabulka byla převzata ze studie, ve které byl proveden monitoring rozdílných typů odkanalizování. Tabulka obsahuje průměrné hodnoty, které byly naměřeny za období 2-7 let. [15]

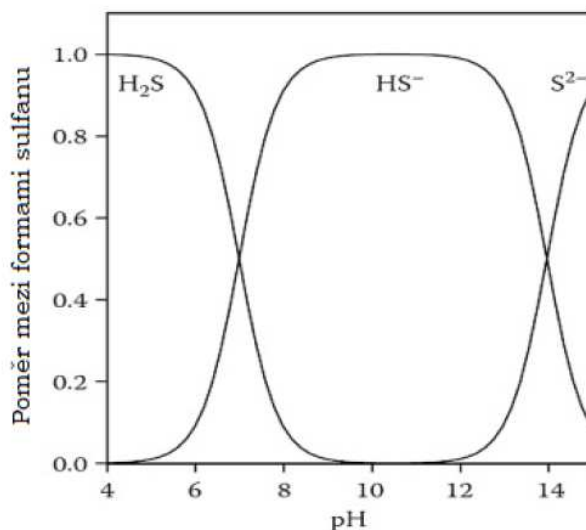
### **2.2.2 Teplota odpadní vody**

Teplota ve stokové síti závisí na mnoha různých podmínkách, např. klimatu, zdroji odpadních vod a charakteristikách systému. Mikrobiální komunita vyvinutá ve stokové síti obvykle podléhá každoročním změnám teploty a do jisté míry i denní variabilitě. Různé mikrobiální systémy mohou být vyvinuty za různých teplotních podmínek. Dlouhodobé změny mohou ovlivnit, která mikrobiální populace se bude vyvíjet ve stokové síti, zatímco krátkodobé změny mají vliv na mikrobiální procesy v buňce samotné, stejně tak jako na rychlost difúze substrátů. [11] Obecně platí že s rostoucí teplotou klesá hodnota rozpuštěného kyslíku v odpadní vodě a také se zvyšuje potřeba kyslíku pro biologické procesy, což vede k anaerobním podmínkám.

### **2.2.3 pH odpadní vody**

Celková koncentrace sulfidů v odpadní vodě ještě neznamená, že všechny sulfidy budou ve formě zápachajícího sulfanu H<sub>2</sub>S. V odpadní vodě mohou být sulfidy ve formách (H<sub>2</sub>S, HS<sup>-</sup> a S<sup>2-</sup>), poměr jejich výskytu je pak řízen právě hodnotou pH. Na obrázku 2.2 můžeme vidět, že H<sub>2</sub>S je dominantní při nižších hodnotách pH a s nárůstem pH na hodnotu vyšší, než 8 se

stává dominantní  $\text{HS}^-$  a po překročení pH 12 už převládá sulfid ve formě  $\text{S}^{2-}$ . Při pH přibližně 9 se ve vodě vyskytuje více než 99 % sulfidu ve formě nezapáchajícího hydrogensulfidového iontu ( $\text{HS}^-$ ). V důsledku toho se neuvolňuje zapáchající plynný sulfan, pokud je hodnota pH odpadní vody větší než 8. Pro vznik sulfanu ve stokové síti je typická hodnota pH v rozmezí 5.5-8. V porovnání se sulfanem se plynný amoniak uvolňuje především při hodnotě  $\text{pH} > 9$ . [10]



Obrázek 2.2 Závislost forem sulfanu na pH [16]

#### 2.2.4 Oxidačně-redukční potenciál

Oxidačně-redukční (redoxní) potenciál, často používána zkratka pouze ORP, je měřítkem tendence chemického druhu získávat elektrony a tím se redukovat. V biologii odpadních vod se význam redoxního potenciálu týká dárců elektronů (často organických sloučenin měřených jako  $\text{BSK}_5$ ) a akceptorů elektronů. Tento pohyb elektronů vytváří energii používanou těmito organismy. Redoxní potenciál ve vodě je přímo spojen s dostupnými akceptory elektronů. ORP je účinný způsob měření zdroje kyslíku dostupného pro mikroorganismy. Zatímco míra rozpuštěného kyslíku je dobrým způsobem měření zbývajícího rozpuštěného kyslíku, nedává přesné zobrazení dostupného zdroje kyslíku, zvláště když rozpuštěný kyslík dosáhne hodnoty 0,2 mg/l a nižší. Měření ORP však poskytuje popis a porozumění vyššímu množství zdroje kyslíku v daném systému. Hodnota ORP od +100 do +400 mV indikuje přítomnost rozpuštěného kyslíku ( $\text{O}_2$ ), zatímco hodnota ORP +100 až -50 mV indikuje přítomnost dusičnanu ( $\text{NO}_3$ ) a dusitanu ( $\text{NO}_2$ ), které jsou zdrojem kyslíku. Hodnoty ORP menší než -50 mV naznačují, že není přítomen žádný volný kyslík, dusičnan nebo dusitan, a že mikroorganismy používají síran ( $\text{SO}_4$ ) jako akceptor elektronů pro své energetické požadavky rovnice (2.4). Zóna od -200 mV je již inertní – anaerobní a probíhá zde fermentace organických sloučenin uhlíku za vzniku sulfanu. [17]



ORP (mV)	Proces	Přítomná Sloučenina(ny)	Oblast	Produkty
+300 +200 +100		O <sub>2</sub>	Aerobní	Oxid Uhlíčitý (CO <sub>2</sub> ) + Voda (H <sub>2</sub> O)
0		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NO <sub>2</sub>	Sulfid– Produkující Anaerobní	Dusíkatý Plyn (N <sub>2</sub> ) nebo Sulfid (S <sup>2-</sup> )
-100		SO <sub>4</sub>		
-200 -300		Organické Sloučeniny Uhlíku	Inertní– Anaerobní	Produkty Fermentace (H <sub>2</sub> S) a Methan (CH <sub>4</sub> )

A=Oxidace organického uhlíku  
B=Denitrifikace pokud jsou přítomny Dusitany/Dusičnany  
C=Redukce Síranů (Dustanů/Dusičnanů) dle přítomnosti  
D=Fermentace → tvorba Sulfanu a Methanu

Obrázek 2.3 Znázornění procesů v odpadní vodě v souvislosti s ORP [18]

## 2.2.5 Sediment a biofilm

Sedimenty se ve stokové síti tvoří za bezdeštného období či při nízkých unášecích silách zejména na místech strukturálních a hydraulických diskontinuit jako jsou šachty, případně v oblastech změny sklonu potrubí. Důsledkem zanášení stokových sítí je především snižování jejich hydraulické kapacity (vedoucí případně až k úplnému zaplnění průřezu stoky a zamezení odtoku odpadních vod). Při zvýšených průtocích způsobených přívalovými dešti jsou pak usazené sedimenty erodovány. Na menší frakce sedimentu s vysokým obsahem organického podílu může být navázáno značné množství znečišťujících látek – zejména těžkých kovů a organických mikropolutantů, jenž následně způsobují zvýšené látkové zatížení ČOV a zejména vodních toků. Uvnitř stokových sítí se vyskytují různé zóny či subsystemy, často spojené s akumulací sedimentu, které mohou za určitých podmínek vytvářet prostředí pro vznik mikrobiologických procesů, při nichž dochází k produkci bioplynu způsobujícího pachové problémy. [19]

Biofilmy vznikají na velmi různorodých površích. Podmínkou je dostatečně pevný podklad, tok okolní kapaliny a přítomnost mikroorganismů. Složení biofilmu je přímo závislé na mikrobech, kteří jsou jeho součástí, dále na jejich fyziologickém statutu, na dostupné nutriční a na faktorech okolního prostředí. Každý biofilm je tedy svou skladbou unikátní. Vrstva biofilmu v kanalizaci je většinou silná pouze několik milimetrů. Biofilm v kanalizaci lze rozdělit do několika vrstev. Ve svrchní aerobní vrstvě biofilmu se vyskytují nejčastěji heterotrofní bakterie. Ve střední

vrstvě to jsou pak mikroorganismy, které spotřebovávají kyslík ve formě dusičnanů a v poslední spodní vrstvě biofilmu je nejčastěji kyslík již vyčerpán a dochází k anaerobním procesům. Biofilm způsobuje biologicko-chemickou výměnu látek, čímž negativně ovlivňuje kvalitu odpadní vody. [20]

### 2.2.6 Doba zdržení

Doba zdržení odpadních vod je ovlivněna několika faktory, dle normy ČSN EN 16932-1 nesmí však doba zdržení přesáhnout 8 hodin. Tato doba může být různá v závislosti na národních a místních předpisech i na místních podmínkách. Pokud však není možno dodržet dobu 8 hodin, musí být navržena zvláštní opatření proti zápachu a korozi, a také systémy na ochranu životního prostředí. Charakter produkované odpadní vody bývá velmi proměnný a závislí na okolních podmínkách. Nelze tak zcela jasně říct, kdy odpadní voda začne zapáchat. Obecně ale platí že doba zdržení < 2 hodin je v pořádku, u doby zdržení 2 – 6 hodin je již třeba dávat pozor a doba zdržení > 8 hodin je nepřijatelná. [21]

#### *Hydraulické faktory*

Špatně navržená hydraulika stokové sítě je také jedním z faktorů, který zapříčiňuje vznik zápachu. Špatný návrh kanalizace je nejčastěji způsoben nedodržením základních podmínek návrhu. Nejčastější chybou návrhu je předdimenzování a také nedodržení minimálního sklonu. Ve špatně navržené kanalizaci jsou následkem těchto chyb malé rychlosti proudění odpadní vody a nedostatečné zaplnění stoky čímž ztrácí kanalizace samočisticí schopnosti. Dále jsou tu faktory, které jsou jen těžko ovlivnitelné a vyskytují se nahodile, mezi tyto faktory bych zařadil například mechanické poruchy, které zásadně ovlivňují proudění v kanalizaci. Tyto poruchy nejčastěji vedou ke zvýšené tvorbě sedimentů a biofilmu.

### 2.2.7 Poměr plochy a objemu

Sulfan uniká z odpadní vody difúzí z hladiny, kde se vyskytuje jeho rozpuštěná forma. To znamená, že je velmi důležitým faktorem velikost plochy a objem proudící odpadní vody. Můžeme hovořit a takzvaném poměru plochy:objemu, čím větší je tento poměr, tím více se přeneše sulfanu do ovzduší kanalizace. [22]

### 2.2.8 Rychlost proudění

Dalším důležitým faktorem je rychlost proudění odpadní vody. Rychlost proudění je především spjata se vznikem biofilmu a také s množstvím tvorby usazenin. Vysoké rychlosti proudění odpadních vod mohou vést ke snížení tloušťky biofilmu, naopak při velmi nízkých rychlostech při anaerobních podmínkách se může tloušťka biofilmu zvýšit na více než 50 mm. Jak již bylo zmíněno, tak právě množství sedimentu a velikost biofilmu jsou jedny z faktorů příčin vzniku sulfanu v kanalizaci. [22]

#### Nízká rychlost proudění

( $v < 0.8$  m/s)

- Velmi rozvinutý biofilm a jeho růst.
- Zvýšená sedimentace způsobena delší dobou zdržení.

= Kombinace těchto dvou faktorů bude mít za následek větší prostor a čas pro rozvoj mikroorganismů, a tím pádem i vyšší produkci sulfidů.

#### Střední rychlost proudění

( $0.8 \text{ m/s} \leq v \leq 1.5 \text{ m/s}$ )

- Optimální rychlost.
- Pouze tenká vrstva biofilmu.

= Biofilm představuje optimální podmínky pro snížení produkce sulfanu.

#### Vysoká rychlost proudění

( $v > 1.5 \text{ m/s}$ )

- Vznik turbulencí v odpadní vodě.
- Snadnější uvolňování sulfanu do kanalizační atmosféry (tedy vyšší produkce sulfanu).

= Tento typ průtoku je výsledkem špatného hydraulického návrhu kanalizace a obvykle se vyskytuje na výpustném konci tlakové kanalizace. [22]

### **2.2.9 Gradient rychlosti**

Gradient rychlosti (G) je parametr, který uvažuje kombinaci rychlosti, sklonu potrubí a toku odpadních vod (rovnice 2.5). Vysoký rychlostní gradient způsobuje vysoké uvolňování sulfanu do kanalizační atmosféry. [22]

$$G = \left( \frac{\gamma \cdot i \cdot v}{\mu} \right)^{1/2} \quad (2.5)$$

Kde:

G... gradient rychlosti [1/s],

$\gamma$ ... měrná tíha [ $\text{N/m}^3$ ],

i... sklon potrubí [m/m],

v... rychlost [m/s],

$\mu$ ... dynamická viskozita [ $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$ ].

### **2.2.10 Tečné napětí**

Silnější biofilm a sedimentace pevných látek se vytvoří na kanalizačních stěnách za podmínek nízkého tečného napětí. Pokud má odpadní voda vysoký obsah organických látek, pak poměr nízkého tečného napětí podpoří nárůst mikrobiální aktivity uvnitř kanalizace a následně způsobí vznik rozpuštěného sulfidu. Kromě toho nízké tečné napětí v gravitačních kanálech také naznačuje nízkou míru reareace, která vede k anaerobnímu stavu. Tečné napětí je závislé především na sklonu kanalizace a na hydraulickém poloměru (rovnice 2.6). Velikost minimálního tečného napětí závisí na druhu materiálu kanalizační stoky, u stoky zhotovené z plastů je  $\tau = 3 \text{ Pa}$  a u ostatních materiálů je  $\tau = 4 \text{ Pa}$ . [22]

$$\tau = \rho \cdot g \cdot i \cdot R \quad (2.6)$$

Kde:

$\tau$ ... tečné napětí [Pa],

$\rho$ ... hustota odpadní vody [ $\text{kg/m}^3$ ],

$i$ ... sklon [m/m],

$R$ ... hydraulický poloměr [m].

### 2.3 BIOGENNÍ SÍRANOVÁ KOROZE

Zvláštním druhem koroze, která vzniká při částečném plnění profilu stokové sítě z materiálu pojeného cementem, je biogenní síranová koroze. Soli v pevné formě nedegradují beton. Mnoho roztoků solí reaguje se složkami betonu, obzvláště s hydratovaným cementem. Nejvíce reagují sírany sodný, vápenatý, draselný a hořečnatý. Jsou obsaženy v podzemních vodách, ale též ve splaškových a dešťových vodách. Biologická koroze betonu je způsobována produkty životních pochodů vyšších živočichů (moč, exkrementy) a bakterií, které vznikají při biologických pochodech. Látky, které jsou produkovány při těchto biologických pochodech, poškozují beton. [23]

Organické látky s obsahem síry, zejména bílkoviny, obsažené v městských a zemědělských odpadních vodách, se rozkládají a v konečné fázi vzniká sulfan  $\text{H}_2\text{S}$ . Ten je za přítomnosti sulfurikačních bakterií oxidován na kyselinu sírovou, kterou lze popsat následujícími rovnicemi:



Tato koroze postihuje (za přímého působení agresivní odpadní vody) vlhkou část neomočeného povrchu potrubí. To znamená, že biogenní síranová koroze (mikrobiologické procesy) působí jen v prostoru s plynem (nad hladinou odpadní vody). Působení biogenní síranové koroze je znázorněno na Obrázku 2.4. [23]

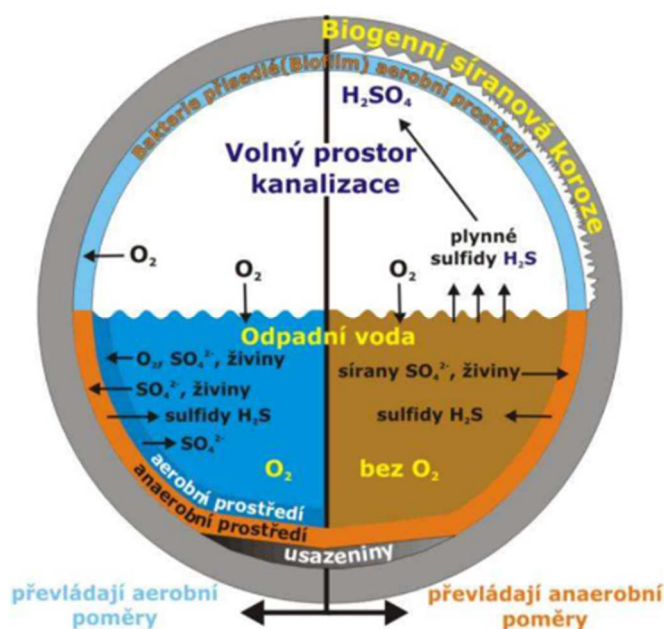
Rozlišujeme různé formy biogenní síranové koroze, které jsou způsobeny biochemickou tvorbou kyseliny sírové, mohou vznikat následující kombinace:

- Endogenní forma - biogenní síranová koroze vzniká uvnitř stokového systému.
- Autogenní forma - vzniká z organického a anorganického spojení síry v biofilmu (probíhá v odpadní vodě a v usazeninách).
- Alogenní forma - sulfidy vznikají v důsledku nepříznivých provozních podmínek - mimo systém (např. ze zaústění tlakového PE potrubí).
- Exogenní forma - sulfidy vznikají přímo v průmyslové odpadní vodě nebo např. ze zaústění domovní ČOV do stokové sítě. [23]

V odpadní vodě a v usazeninách (obsahující bílkoviny) se pomocí mikrobiálních procesů odbourávají za anaerobních nebo aerobních podmínek sloučeniny síry, hlavně sulfidy. Kromě toho vznikají v odpadní vodě sírany, které jsou pomocí bakterií látkovou výměnou biochemicky redukovány za anaerobního působení na sulfan. Sulfan ( $\text{H}_2\text{S}$ ) je těkavý plyn, který z odpadní vody snadno uniká a hromadí se ve volném prostoru gravitační stokové sítě. Zejména u velmi dlouhé dráhy toku odpadní vody a ne plně využitého profilu stokové sítě s minimálním



částečným plněním a chybějící ventilací lze počítat se vznikem nestálých siřných sloučenin. Tyto sloučeniny v odpadní vodě nedostatečně rychle oxidují, vnikají difúzí a turbulencí z odpadní vody do volného prostoru stokové sítě - oxidační část kanalizačního profilu. Tam tyto sloučeniny biochemicky oxidují na elementární síru. Tu dále oxidují acidoresistentní bakterie rodu *Thiobacillus* a *Thiobacterium* tvořící na stěně biofilm. Tyto siřné bakterie jsou schopny života za velmi nízkých hodnot pH (okolo 1), za přítomnosti dostatečné vlhkosti oxidují síru na kyselinu sírovou, jí je napaden cementem pojený materiál. Za ideálních teplotních podmínek může být koncentrace kyseliny sírové až 23 %. V běžné odpadní vodě s teplotou mezi 10 - 20°C činí obsah kyseliny přibližně 7 až 9 %. Maximální koncentrace kyseliny v kanalizaci tj. 34,4 % lze dosáhnout za teploty 30°C. Působení redukčních nebo oxidačních bakterií zapřičiňuje většinou modifikace chemických vlivů, které způsobují redukcí kyslíkových sloučenin síry nebo dusíku na sulfan  $H_2S$  nebo amoniak  $NH_3$ , případně oxidaci těchto složek až na kyselinu sírovou  $H_2SO_4$  či kyselinu dusičnou  $HNO_3$ . V betonu podléhá nejvíce korozi cementový kámen. [23]



Obrázek 2.4 Procesy vedoucí ke vzniku biogenní síranové koroze v kanalizaci [23]

## 2.4 METODY PRO ODSTRANĚNÍ ZÁPACHU V ODPADNÍ VODĚ

U metod odstranění zápachu v odpadní vodě se nejčastěji setkáváme s metodami dávkování chemikálií do odpadní vody a s oksyločováním odpadní vody pomocí vzduchu (kyslíku, ozonu). Díky přidavku chemikálie dochází v odpadní vodě k chemické oxidaci, redukcí, změně pH, což vede k zabránění vzniku, eliminaci sloučenin způsobujících zápach ve stokové síti. Díky zabránění vzniku, eliminaci sloučenin způsobujících zápach je také zabráněno vzniku biogenní síranové koroze, která způsobuje korozi betonu na stokové síti. Dávkování chemikálií a vzduchu (kyslíku, ozonu) se nejčastěji provádí v šachtách a čerpacích stanicích.

### 2.4.1 Navýšení pH

Proces uvolňování zápachajícího sulfanu je přímo závislý na hodnotě pH odpadní vody, jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2.3. Pomocí dávkování chemikálii s udržováním odpadní vody na  $\text{pH} > 9$  je možné zamezit výskytu sulfidu ve formě sulfanu  $\text{H}_2\text{S}$ , což je názorně vidět na obrázku 2.2 Závislost forem sulfanu na pH. Nejčastěji se k navýšení pH odpadní vody využívá: [24]

- tetrahydroxolinitan sodný  $\text{NaAl}(\text{OH})_4$
- hydroxid sodný  $\text{NaOH}$
- hydroxid vápenatý  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Navíc, periodické zvyšování pH může dočasně zabít anaerobní bakterie, které vytvářejí sulfan. Nevýhodou zvýšení pH je, že může dojít k negativnímu ovlivnění procesů čištění na čistírně odpadních vod. [24]

### 2.4.2 Srážení solemi železa, roztoky solí železa

Železo je typicky jedním z dominantních kovů přítomných v komunálních odpadních vodách. Jeho koncentrace se pohybuje v rozmezí 0.4-1.5 mg/l a představuje nedílnou součást komunálních odpadních vod, neboť zvýšené množství železa dokáže chemicky rozkládat sulfidy v odpadní vodě. Koncentrace železa v odpadní vodě také ovlivňuje cyklus síry. Kvůli své účinnosti při řízení koncentrace rozpuštěných sulfidů se železo široce používá k regulaci tvorby sulfidů v kanalizačních sítích. Doporučená dávka chloridu železnatého se pohybuje okolo  $0.15 \text{ l/m}^3$ . Kationt železnatý  $\text{Fe}^{2+}$  může odstranit sulfid vysrážením na sulfid železitý  $\text{FeS}$  podle rovnice (2.9). [25]



Kationt železitý  $\text{Fe}^{3+}$  může odstranit sulfid chemickou oxidací na elementární síru, zatímco je redukován na  $\text{Fe}^{2+}$  rovnice (2.10),  $\text{Fe}^{2+}$  může dále reagovat vysrážením na  $\text{FeS}$  rovnice (2.9).

Nejčastěji se používané soli železa:

- chlorid železnatý  $\text{FeCl}_2$
- chlorid železitý  $\text{FeCl}_3$
- síran železnatý  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (Skalice zelená)
- chlorsíran železitý  $\text{FeClSO}_4$  (Ferrifloc) [24]

Výhodou u solí železa je jejich nízká cena a efektivita v odstranění sulfanu. Mezi nevýhody patří zvýšení tvorby koroze a tvorba sraženin, které mohou následně sedimentovat. Další nevýhodou je že odstraňuje pouze zápach na bázi sulfidů, ostatní složky zápachu například amoniakální zůstanou neodstraněny.



Obrázek 2.5 Přítok odpadní vody ošetřené chloridem železitým s typicky černým zbarvením [26]

### 2.4.3 Oxidace peroxidem vodíku

Peroxid vodíku ( $H_2O_2$ ) je běžně používaný oxidant, který chemicky oxiduje  $H_2S$  na elementární síru (rovnice 2.11), nebo síran v závislosti na pH odpadní vody. Stejně jako ostatní oxidační činidla však peroxid reaguje s organickým materiálem v odpadní vodě, a proto jsou vyžadovány vyšší dávky. U některých aplikací byla úspěšná eliminace hlášena při poměru peroxid-sulfid 2:1, ale jiné aplikace vyžadovaly až 4:1. Peroxid je rychle působící, což je užitečné pro dávkování bezprostředně před problémovými místy. Avšak je také rychle spotřebováván, takže je zapotřebí víc míst aplikace k ošetřování dlouhých úseků kanalizačních systémů. [10]



Mezi hlavní výhody patří rychlost působení a také navýšení rozpuštěného kyslíku v odpadní vodě. Mezi hlavní negativa patří cena peroxidu vodíku a také jeho žíravost, přičemž se při manipulaci pracovníci musí chránit před poleptáním kůže. V neposlední řadě je problematické i jeho skladování.

### 2.4.4 Chlorace

Chlór je relativně levný, silný oxidant a zařízení potřebné pro jeho použití je levné a široce dostupné, protože se běžně používá k desinfekci vody. Chlor je dostupný jako čistý plyn, roztok chlornanu, granule, nebo tablety obsahující chlornan. V mnoha čistírnách odpadních vod se používá právě plynný chlor, avšak požadavky na skladování a manipulaci z něj činí méně žádoucí způsob pro eliminaci zápachu v kanalizačním systému. [10, 25]



Nejčastěji se pro účel chlorace využívá:

- plynný chlór  $Cl_2$  (plynný)
- chlornan sodný  $NaClO$  (kapalný)
- chlornan vápenatý  $Ca(ClO)_2$  (forma tablet)

Výhodou chemikálii na bázi chloru je jejich dostupnost a cena. Při chloraci může dojít bohužel i k zahubení bakterii, které jsou prospěšné při čištění odpadní vody. Chlor také reaguje s močí, která se nachází ve stokové síti a tvoří chloraminy, které je poté obtížné odstranit. U chlóru stejně tak jako u peroxidu vodíku platí manipulace s ochrannými pomůckami. [27]

#### 2.4.5 Oxidace manganistanem draselným

Manganistan draselný ( $KMnO_4$ ) je silné oxidační činidlo, které přeměňuje sulfan na elementární síru, nebo síran dle pH odpadní vody. Obvykle se dodává v suchém stavu, ale také jako 6% vodný roztok. Dávkování je doporučeno manganistan draselný-sulfid 7:1. Manganistan draselný reaguje podle následující rovnice:



Nevýhodou jsou vysoké náklady, které jsou asi 5x vyšší než u peroxidu vodíku. Pro skladování je vyžadováno bezpečnostní opatření. [25, 27]

#### 2.4.6 Přidávání dusičnanů

Přidávání dusičnanů lze dosáhnout anoxických podmínek v odpadní vodě. Právě při anoxických podmínkách jsou dusičnany snadněji redukovatelné a nahrazují sírany jako zdroje kyslíku pro bakterie, což snižuje konverzi sulfátů na sulfidy. Bylo dokázáno že přidáním 1 mg/l dusičnanů lze zabránit produkci sulfátu po dobu až 29 dní. [27, 28]

Nejčastěji se pro účel přídatku dusičnanů využívá:

- Dusičnan vápenatý  $Ca(NO_3)_2$  (obchodní názvy: saltpeter, Bioxide)

Jeho výhody jsou nízká toxicita, bezpečná manipulace a postupná reakce, díky které jsou ošetřeny dlouhé úseky kanalizace. Mezi nevýhody patří potřeba častějšího dávkování a také zvyšování hodnot dusičnanů, což může vést k problémům na čistírně odpadních vod. [26]



Obrázek 2.6 Stanice s dávkováním dusičnanu vápenatého do kanalizace [26]

## 2.4.7 Biologická oxidace sulfidu

Pouze malé množství bakterií hraje kritickou roli při biologické oxidaci sulfidů. Mezi tyto bakterie patří: *Thiomicrospira denitrificans*, *e-Proteobacterium*, *Thiobacillus denitrificans* a *b-Proteobacterium*. Pouze tyto bakteriální druhy jsou schopny oxidovat sulfidy za přítomnosti dusičnanů, jejichž redukce je spojena s oxidací sulfidů a síry. Oxidace anoxických sulfidů s dusičnanem jako akceptor elektronu byla také pozorována za přítomnosti bakterie *Beggiatoa*. [25]

## 2.4.8 Souhrn chemických metod odstranění zápachu z odpadní vody

Pro lepší přehled a orientaci mezi způsoby odstranění zápachu z odpadní vody jsem vypracoval tabulku, kde jde vidět způsob odstranění, používané chemikálie u tohoto způsobu, poměr dávkování chemikálie, účinnost v odstranění sulfidů a cenu v korunách za odstraněný kilogramu sulfidů.

Tabulka 2.5 Souhrnná tabulka metod odstranění zápachu v odpadní vodě pomocí chemikálii [25]

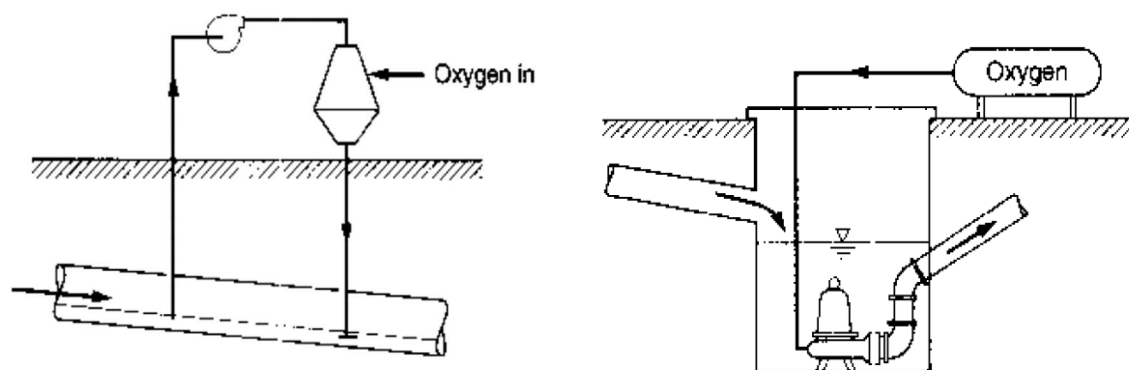
Způsob odstranění	Chemikálie	Poměr dávkování [chemikálie:S]	koncentrace sulfidu v odpadní vodě [mgS/l]	Průměrné odstranění sulfidů [%]	Cena [Kč kg <sup>-1</sup> S]
Navýšení pH	NaOH	3.5:1	18.2	100	50
Srážení solemi, roztoky železa	FeCl <sub>2</sub>	2.5:1	6.4	97	180
	FeCl <sub>3</sub>	1.5:1	3.8	100	90
	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	6.5:1	>4	90	120
Oxidace peroxidem vodíku	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4:01	15	85-90	270
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1.5:1	8.5	90-95	100
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1.3:1	20	87-100	90
Chlorace	NaClO	2:01	20	96-100	70
	Ca(ClO) <sub>2</sub>	1.8:1	20	93-100	50
Oxidace manganistanem draselným	KMnO <sub>4</sub>	6.5:1	-	-	500
Přidávání dusičnanů	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2:1	2.6	100	110

S... Celková koncentrace sulfidů v odpadní vodě

## 2.4.9 Aerace odpadní vody

Přítomnost rozpuštěného kyslíku může mít významný dopad na snížení tvorby zápachu, protože bakterie snižující sírany přednostně používají kyslík, pak dusičnan a pak sulfát. Také může přímo oxidovat sloučeniny způsobující zápach a umožnit aerobním bakteriím biologickou oxidaci těchto sloučenin metabolickými procesy. Udržování koncentrace rozpuštěného kyslíku v odpadní vodě na: 0.5 až 1.0 mg/l, nebo více vede k omezení vzniku většiny zápachu v odpadní vodě. Vstřikování vzduchu je jedním ze způsobů, jak zabránit vzniku tvorby zápachu na stokové síti. Mezi výhody používání této technologie patří snížení BSK a oproti jiným chemickým činidlům kyslík není toxický. Avšak ani toto řešení nemusí být zcela účinné. Uvolňování zápachu může být zvýšeno na základě způsobu vstřikování, což může potenciálně zvýšit turbulence. Čistý kyslík navíc vyžaduje zařízení pro výrobu na místě, nebo se musí pravidelně dodávat v lahvích. [29]

Aerace odpadní vody probíhá nejčastěji v tlakové části kanalizace, a to vstřikování vzduchu, kyslíku, nebo ozonu do odpadní vody. Druhou možností je aerace v mokré jímce čerpací stanice. Dávka kyslíku se pohybuje okolo 5 mg/l odpadní vody.



Obrázek 2.7 Nejčastější způsoby aerace odpadní vody [30]

## 2.4.10 Naředění odpadní vody

Prosté naředění odpadní vody vodou podzemní, pitnou nebo dešťovou se dá také považovat za řešení vedoucí ke snížení tvorby zápachu na stokové síti. Díky naředění dojde ke snížení koncentrace sulfidů v odpadní vodě. Zkrátí se celkový čas pobytu odpadní vody v potrubí, dojde k nárazovému navýšení průtoku, což může vést k odstranění sedimentů v kanalizaci. Odpadní voda je naředěním obohacena o rozpuštěný kyslík, což vede ke snížení produkce zápachu. [24] Toto řešení však vede ke zvýšeným průtokům na ČOV a je za potřebí vhodný zdroj vody pro naředování.

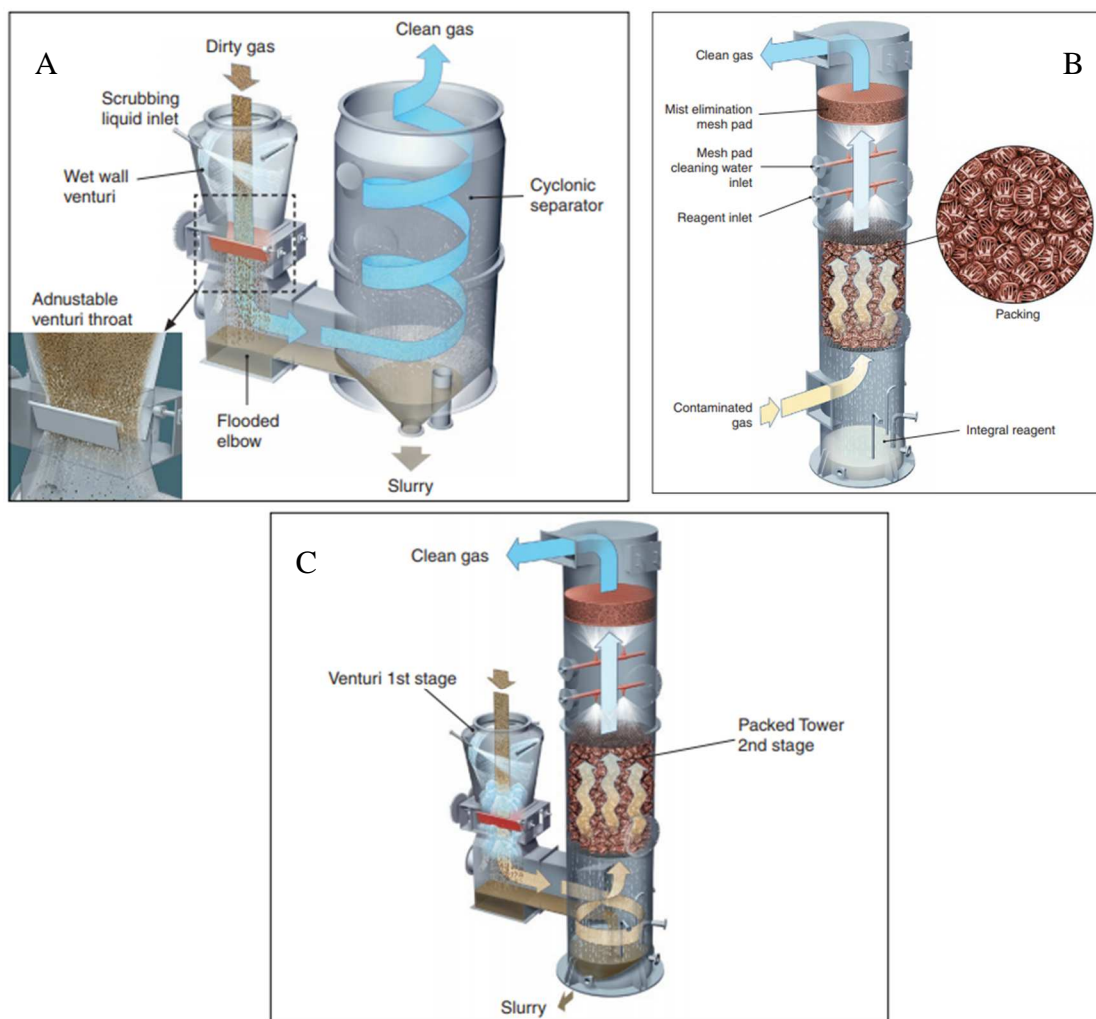
## 2.4.11 Trubní ježek

Trubní ježek se používá pro dokonalé uvolnění biofilmu na vnitřní stěně tlakového potrubí. Pravidelné používání čistícího ježka je ideálním rozšířením čerpací stanice (se separací pevných



## 2.5.2 Chemická pračka vzdušiny

Chemická pračka vzdušiny pracuje tak, že se kontaminovaný vzduch nasává do pračky, který následně prochází přes chemický rozstřík ve formě mlhy (obrázek 2.9 A). Další možností je rozstřík chemikálie na pevnou náplň, ve které se škodlivé látky absorbují (obrázek 2.9 B věžová pračka). Zapáchající plyn je absorbován v kapalně fázi, ve které dojde k chemickým reakcím, jenž zápach eliminují. Při použití chemikálií, jako je hydroxid sodný a chlornan sodný, chemické pračky převádějí sloučeniny na bázi síry na ne-zápachovou sůl buď reakcí kyselé báze nebo oxidačními redukcemi. U chemických praček vzdušiny lze využít i víceetapňové praní, kdy se v každém stupni rozstříkuje jiná chemikálie. Tímto způsobem lze dosáhnout odbourání širokého spektra zapáchajících složek. Tato metoda je velice efektivní a využívána již po několik dekád. Chemická pračka vzdušiny je schopna odstranit až 98 % sulfanu a amoniaku. Nevýhodou je značná spotřeba chemikálií s čímž souvisí i nutnost skladování velkého množství těchto chemikálií. Nebezpečná je i samotná manipulace s těmito chemikáliemi. Další nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady a vyšší náklady na provoz. [10, 29, 30]

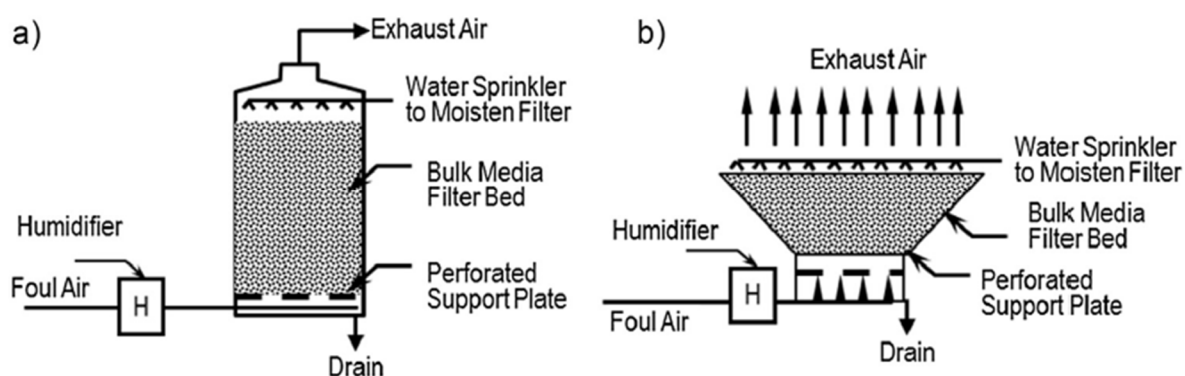


Obrázek 2.9 Chemické pračky vzdušiny (A Venturiho, B věžová, C kombinace 2stupňová) [32]



### 2.5.3 Biologický filtr vzdušiny

Biologické filtry jsou filtry s organickou, anorganickou náplní přírodního charakteru. V otevřených biofiltrech (Obrázek 2.10 varianta b)), je znečištěný vzduch veden do roštu ke dnu nádoby pod filtrační lože, kterým prochází vzhůru. V uzavřených biofiltrech (Obrázek 2.10 varianta a)), je znečištěný vzduch zaveden nad, nebo pod filtrační náplň a nuceným odtahem vzdušiny veden přes filtrační náplň. Na nosiči uvnitř biofiltru jsou imobilizovány mikroorganismy, které tvoří tzv. biofilm, slabou vrstvičku, ve které dochází k samotné biodegradaci. Biofilm je tvořen převážně bakteriemi, obsahuje však i nižší houby, prvoky a bezobratlé. Prvoci a bezobratlí se zpravidla živí bakteriemi a nižšími houbami. Odstraňování polutantů je několikastupňový proces. Prvním krokem je rozpouštění molekul polutantu v kapalně fázi (ve vodě), následuje transport molekuly biofilmem k bakteriální buňce a transport molekuly přes buněčnou membránu do bakterie, kde dochází k samotnému metabolismu a rozkladu polutantu. Získaná energie oxidací polutantu se využívá v buňce k syntéze buněčné hmoty a rozmnožování mikroorganismů. Pro odstranění sulfanu jsou typické časy pobytu od 40 do 60 sekund. Klíčovými prvky v návrhu biofilterů jsou náplně, distribuce vzduchu, vlhkost (asi 60 %) a pórovitost. Biofiltrační média mohou být složena z organických materiálů, jako jsou dřevní štěpky, kompost, půda, rašelina nebo jejich kombinace. Hloubka náplně je obvykle 0,9 až 1,5 m s rychlostí průchodu kontaminovaného vzduchu 10 až 40 mm/s. Životní cyklus organické náplně závisí na koncentraci znečištění čištěného vzduchu, ale obvykle se pohybuje od 2 do 3 let. Na trhu jsou dostupné i anorganická média (písek, štěrk, vulkanický kámen, skořápky ústřic, média na bázi jílu nebo syntetická média), které mají životnost až 10 let. Mezi výhody patří nízké náklady na provoz a možnost zakoupení již kompletně navrženého řešení u některého z výrobců. Jako další výhoda je ekologičnost biologického filtru, kde oproti chemické práci není žádné riziko při práci s filtrační náplní. Mezi nevýhody patří nutnost výměny náplně biofiltru a větší potřebná plocha pro biofiltr (platí pro otevřený typ). Taký je potřeba častá kontrola biologické populace a její aktivity. [10,51]

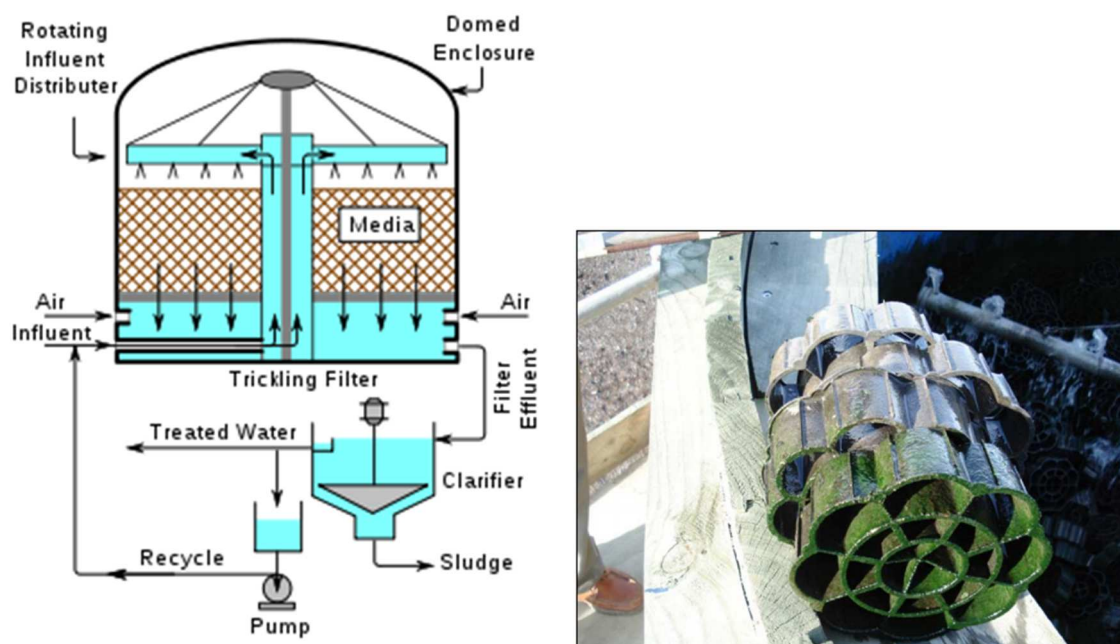


Obrázek 2.10 Schéma biologického filtru a) uzavřený typ b) otevřený typ [33]

### 2.5.4 Biologická pračka vzdušiny

Stejně jako u biologického filtru vzdušiny, se u biologické pračky vzdušiny využívají biochemické procesy k oxidaci sloučenin vytvářejících zápach. Biologická pračka vzdušiny

funguje podobně jako chemická pračka vzdušiny, která obsahuje sorpční médium s výjimkou toho, že chemický roztok byl nahrazen bioaktivním roztokem. Kontaminovaný vzduch se zavádí do spodní části biologické pračky, zatímco voda je stříkána přes horní část náplně. Voda proudí směrem dolů přes náplň a vytváří vlhké prostředí, které podporuje růst mikrobů a tvorbu biofilmu. Voda také slouží k propláchnutí metabolického vedlejšího produktu kyseliny sírové ze systému. Zatímco většina biomasy v biofiltrech je přichycena k náplni (pevný biofilm), část biomasy je suspendována v bioaktivním roztoku. U biologické pračky jsou zápachové sloučeniny absorbovány na náplni, nebo rozpuštěny do bioaktivního roztoku, kde mohou tyto mikroorganismy částečně oxidovat. Mezi výhody patří vysoká účinnost, nízké provozní náklady, vysoká životnost filtrační náplně. Mezi nevýhody patří dlouhý záběh filtru, dlouhá doba filtrace pro odstranění sloučenin tvořících zápach (kromě sulfanu). [10, 26]

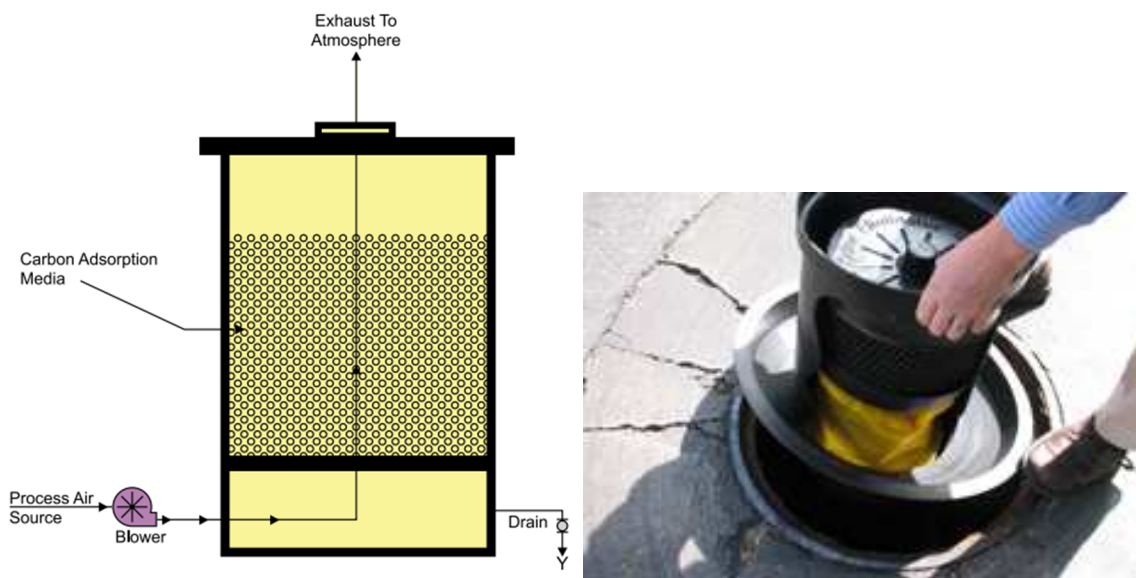


Obrázek 2.11 Schéma biologické pračky vzdušiny a příklad náplně pokryté biofilmem [34, 35]

## 2.5.5 Adsorpce na aktivním uhlí

Aktivní uhlí se používá k potlačení pachů více než 100 let. Aktivní uhlí se obvykle vyrábí tepelným rozkladem materiálů s vysokým obsahem uhlíku, jako jsou uhlí, dřevo, rašelina a skořápky kokosového ořechu. Aktivní uhlí se využívá v různých formách k odstraňování pachů ze vzduchu pomocí přirozeně se vyskytujícího jevu nazývaného adsorpce, ve kterém jsou molekuly z proudícího vzduchu zachycovány dutinami na povrchu média (uvnitř i zevně). Účinnost média se liší velikostí plochy povrchu (které může být až 2000 m<sup>2</sup>/g), velikostí pórů a oxidačními vlastnostmi. Adsorpce na aktivním uhlí je nejvhodnější pro nízké zatížení. Aktivní uhlí je schopno odstranit až 99 % sulfanu. Výhodou aktivního uhlí je jeho ne-toxicita a snadná manipulace s ním. Mezi nevýhody patří omezená životnost a s tím vyplývající nutná kontrola právě kvůli ztrátě efektivnosti odstranění sulfanu. Další nevýhodou je, že ze složek zápachu odstraňuje efektivně pouze sulfan a sloučeniny na bázi síry u ostatních složek zápachu již není tak účinný. [29]

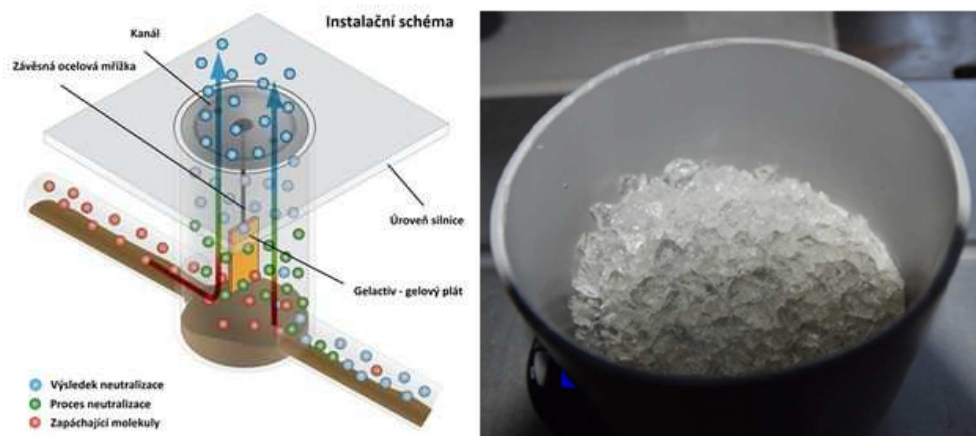
Při odstranění zápachu ze vzduchu pomocí aktivního uhlí se nejčastěji využívají dvě metody. První metodou je samostatná jednotka (Obrázek 2.12 vlevo), která pomocí dmyhadla vhání kontaminovaný vzduch na filtrační lože z aktivního uhlí, kde se adsorbuje znečištění a vyčištěný vzduch je následně vypuštěn do ovzduší. Další metodou využití je použití aktivního uhlí jako náplně šachtového filtru (Obrázek 2.12 vpravo), kde kontaminovaný vzduch z kanalizace prochází přes perforovaný plastový koš, ve kterém je v plátěném pytlí umístěno aktivní uhlí, na kterém se sulfan adsorbuje.



Obrázek 2.12 Jednotka s aktivním uhlím, šachtový filtr s náplní z aktivního uhlí [36, 37]

## 2.5.6 Neutralizace, kompenzace, maskování

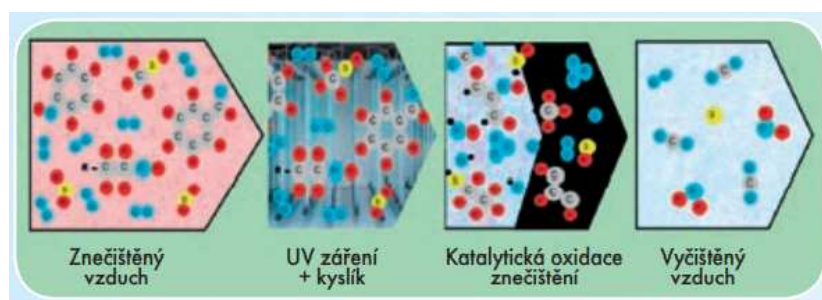
Při této metodě je využíváno různých aromatizovaných gelů nejlépe na přírodní bázi. Základní mechanismy, pomocí kterých se vyrovnávají se zápachem, jsou adsorpce a absorpce. Kromě vázané vody je v gelech i celá řada dalších přírodních látek a vonných olejů. V tomto případě je rozpouštění spojené s chemickou reakcí plynu a nastává chemisorbce. Při kontaktu zápachu s gelem dojde k rozpuštění a atomizaci zápachu a vznikají miniaturní kapičky obalené tenkou olejovou vrstvičkou, která vytváří elektrostatický náboj na povrchu kapiček. Ten umožňuje adsorpci dalších pachových molekul na povrchu „kapky“. Plyn je absorbován v těchto kapkách. Díky unikátnímu složení gelového sorbentu dochází i k dalším reakcím na molekulární úrovni a zápach je úspěšně neutralizován. Tyto gely mohou být použity i ve formě krystalů, celých bloků nebo plátů v závislosti na technickém řešení. Náplně a pláty mají omezenou dobu účinnosti a je potřeba je po určitém čase vyměnit. Tato metoda není ovšem schopna řešit problémy s biogenní síranovou korozi. Navíc tato metoda zápach většinou pouze maskuje a toxický plyn má stále pro člověka nebezpečné účinky na jeho zdraví. [38]



Obrázek 2.13 Gelový plát v kanalizační šachtě, gelová náplň [39, 38]

### 2.5.7 Fotokatalytická oxidace

Tento proces je kombinací fotooxidace založené na působení UV záření a katalytické oxidace. Používá se především v prostředí, které je zatíženo velkým množstvím těžko rozložitelných (oxidovatelných) zapáchajících a organických látek. Kontaminovaný vzduch je přiváděn do tunelu, ve kterém je předrazen filtr prachu, který chrání UV lampy před poškozením. Poté jde kontaminovaný vzduch do komory s UV zářením, které způsobuje chemickou reakci. Organické látky se rozkládají, neboť jsou generovány částice kyslíku, ozonu a dalších oxidujících iontů. UV záření podporuje tento proces tím, že navíc rozbíjí molekuly rozkládaných látek. Tento proces umožňuje zoxidovat i těžko rozložitelné, nebo specifické látky jako jsou hydrogensulfidy, amoniak, merkaptany atd. a odstranit tak veškerý zápach. K oxidaci stačí poměrně krátké doby zdržení. Náplň je tvořena speciálním katalyzátorem, který musí odpovídat obsahu škodlivin ve vzduchu. Mezi výhody patří vysoká účinnost likvidace pachových látek, plně automatický provoz, kompaktnost a nízké provozní náklady bez chemikálií nebo vody. Mezi nevýhody patří vysoká počáteční investice a technologická náročnost celého zařízení. [40]

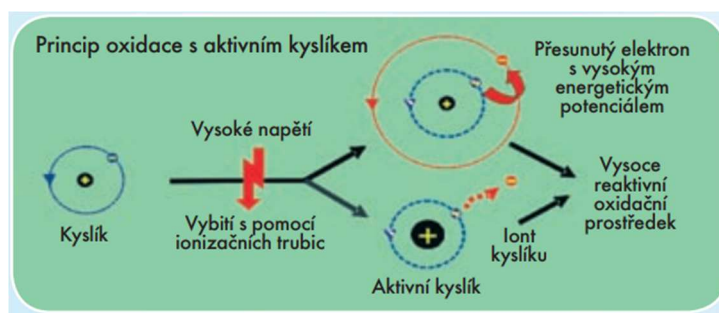


Obrázek 2.14 Průběh fotokatalytické oxidace [40]

### 2.5.8 Ionizace

Vznik aktivního kyslíku je přírodní přirozený proces, který sterilizuje a dezodorizuje atmosféru. Dobře známý je čerstvý a čistý vzduch po bouřce, kdy je atmosféra vyčištěná pomocí fyzikálně-chemických procesů, např. iniciovaných blesky. V ionizační jednotce je vytvářeno silné

elektrostatické pole. Ve vzduchu procházejícím mezi dvěma elektrodami pak vznikají chemické reakce. Výsledným efektem je pak to, že na jedné straně se elektron v atomu přesune na dráhu s vyšším energetickým potenciálem a na druhé straně je současně generován reálný kyslíkový radikál. Tj. simultánně dochází jak k aktivaci kyslíku, tak k ionizaci. Aktivovaný kyslík je pak silným oxidačním činidlem. Ve srovnání s oxidací neutrálním kyslíkem má oxidace s aktivním kyslíkem řadu výhod. Reakce probíhají okamžitě, a dokonce i silné polutanty jsou oxidovány okamžitě. Zapáchající látky jsou oxidovány na vodu, uhlík, oxidy a další neškodné sloučeniny. Stejně tak jsou degradovány i zapáchající látky. Mezi výhody patří vysoká účinnost likvidace pachových látek, plně automatický provoz, kompaktnost a nízké provozní náklady bez chemikálií nebo vody. Mezi nevýhody patří vysoká počáteční investice a technologická náročnost celého zařízení. [40]



Obrázek 2.15 Princip ionizace [40]

## 2.5.9 Naředění čerstvým vzduchem

Jako poslední metodou, která se dá využít je právě naředění kontaminovaného vzduchu vzduchem čerstvým. Toho lze využít například přísáváním čerstvého vzduchu do potrubí vedoucího na některé ze zařízení, které bylo výše popsáno. Díky tomu se sníží koncentrace kontaminace na vstupu do zařízení a zařízení je schopno zvýšit svou efektivitu eliminace kontaminace. Další variantou je zvýšení množství výměny vzduchu v kanalizaci například pomocí ventilátoru, což vede ke snížení vzniku biogenní síranové koroze. Tato varianta lze využít pouze v extravilánu, popřípadě je nutnost zajistit, aby kontaminovaný vzduch neunikal do ovzduší v okolí obydlené oblasti.

## 2.6 MĚŘENÍ ZÁPACHU

Pachy a vůně mají nejsilnější účinky ze všech smyslových vjemů a působí bezprostředně na psychický stav, a právě z tohoto důvodu je velmi důležité zápach měřit, sledovat a kontrolovat. [41]

Při měření pachových látek můžeme vyjmenovat několik možností, ale lze říci, že nejobjektivnější je olfaktometrické stanovení.

Metody měření:

- Čistírny odpadních vod – Část 9: Kontrola pachů a odvětrání ČSN EN 12255-9.
- Olfaktometrická metoda.
- Metoda sledování pachové stopy ČSN 83 5030.
- Monitoring s použitím sítě stanovišť ČSN 83 5031 [41].

## 2.6.1 Kontrola pachů a odvětrání ČSN EN 12255-9

Ke zjišťování příčin zápachu, k vyhledávání vzniku nebo emitování zápachu, k odhadování účinku zdroje zápachu a ke stanovování požadavků na zařízení k odstraňování zápachu se musí provádět kvantitativní měření pachových látek. Kvantitativní měření pachových látek zahrnuje:

1. Měření založená na olfaktometrii, která jsou vhodná pro:

- Detekci jednotlivých sloučenin pachových látek v oblasti prahové koncentrace.
- Detekci pachových látek, kde se používají vzorky vzduchu s neznámým složením.
- Pachový potenciál a potenciál emisí pachových látek.
- Průtok pachových látek. [42]

2. Měření založená na použití určitých sloučenin, která jsou vhodná pro:

- Pokud se vyskytuje velmi intenzivní zápach určitých sloučenin a výsledky mají být podkladem pro výběr a dimenzování čisticích zařízení.
- Měření koncentrace sulfanu, které je snadné a poskytuje cenné informace. V určitých případech není možné se spoléhat pouze na měření sulfanu, mohou to být zavádějící informace z důvodu převažujících pachových látek jiného původu, například amoniak a organické sloučeniny sulfidů. Často se tyto sloučeniny vyskytují v těchto případech:
  - zápach ze specifických průmyslových odpadních vod,
  - zápach na ČOV při sekundárním čištění nebo při zpracování kalu,
  - zápach po zavedení opatření zaměřených na snižování koncentrací sulfanu.[42]

## 2.6.2 Olfaktometrická metoda

Olfaktometr je zařízení, které ředí vzorek v přesném poměru a takto naředěný vzorek pouští do čichových portů posuzovatelů ve střídavém rytmu s čistým vzduchem. [43]

Měření na olfaktometru je poměrně složité na podmínky měření. Ač mnozí tvrdí, že měření je neobjektivní, je velmi podobné například degustaci vína. Rozdíl je v tom, že při měření posuzovatelé nesmí udělat ani malou chybu, jinak jsou z měření vyloučeni a měření se musí opakovat. Výsledky jednotlivých laboratoří jsou vzájemně porovnávány a aby laboratoř prošla přísným akreditovaným měřením, nesmí se výsledek jedné laboratoře lišit od výsledků jiných laboratoří o více jak 5 %. Tedy metoda je opakovatelná a reprodukovatelná jako jakákoliv jiná analytická metoda stanovení škodlivin. Jednotliví posuzovatelé jsou mnohokrát testováni nechemickou látkou n-butanol, kterou mohou cítit jen v omezeném rozsahu, tedy ani málo, ani moc. Obdobně jsou posuzovatelé vybíráni obdobně jako degustéři vína. V 10 x opakovaném testu se nesmí lišit ve výsledku o 5 % a stejně tak ve výsledcích vůči měřicí skupině se jejich výsledek nesmí lišit o 5 %, jinak jsou z měření vyloučeni. Výsledek celého měření několika posuzovatelů a několika kol měření je spočten jako geometrický průměr všech výsledků. Posuzovatelé musí označit koncentraci, kterou poprvé ucítí tlačítkem a nesmí se více jak jednou splést a stisknout tlačítko při čistém vzduchu. Pokud se posuzovatel (respondent) více jak 2x splete, je z výsledného hodnocení vyloučen. Pro jedno měření je minimální počet posuzovatelů = 4, optimální počet je 6-8 posuzovatelů. Tato metoda je upravována normou ČSN EN 13725 a definuje pachovou jednotku: [43]

Evropskou pachovou jednotkou (ouE) se rozumí množství odorantu, které, pokud je rozptýleno v 1 m<sup>3</sup> neutrálního plynu za standardních podmínek, vyvolá fyziologickou reakci respondentů odpovídající evropské referenční pachové jednotce (EROM) [43]

Evropskou referenční pachovou jednotkou (ouE) se rozumí fyziologická reakce respondentů vyvolaná dávkou 123 mg n-butanolu rozptýleného v 1 m<sup>3</sup> neutrálního plynu za standardních podmínek. Evropskou referenční jednotku lze vyjádřit také jako 1 ouE/m<sup>3</sup> ≡ 40 ppb/v n-butanol. [43]

### **2.6.3 Metoda sledování pachové stopy ČSN 83 5030**

Tato norma využívá přímé působení pachových látek na smysly člověka. Vybraní místní obyvatelé jsou dotazováni na své pocity, při vnímání pachu v určeném časovém intervalu. Hodnocení je zpracováno statistickými metodami, kdy obtěžování pachem má šesti stupňovou škálu – od žádného vnímání pachu = 0 až po extrémní obtěžování = 5. Každé hodnotě je přiřazen váhový faktor. [41]

Je vhodná a využitelná pro dlouhodobé sledování určité oblasti a její imisní zatížení. Pro sledování v období 3 a více měsíců má velmi dobré vypovídací hodnoty, které jsou-li porovnány s meteorologickými daty, jsou identické. [41]

Není vhodná k identifikování zdroje pachů v lokalitě, kde je zdrojů několik (i vzdálených) a je velmi ovlivnitelná sociálním faktorem, tedy vztahem respondentů k oblasti, zdroji a vzájemnými vztahy, proto je významný větší počet respondentů. [41]

### **2.6.4 Monitoring s použitím sítě stanovišť ČSN 83 5031**

Tato norma vychází z měření časového podílu působení pachu v určených stanovištích a lokalitách (tzv. geometrické síti, nebo pachové stopě). [41]

Posuzovatelé prochází určené stanoviště a provádí hodnocení kvality venkovního ovzduší vdechováním ovzduší po určitou stanovenou dobu v určitých časových intervalech a v určitých definovaných místech sledované oblasti, (jednorázové měření). Proto je tato metoda vhodná pro určení okamžitého stavu. Je však časově velmi náročná, je také náročná na počet vyškolených respondentů a na kvalitě počasí (větrno apod.) a na samotném zdroji zápachu. [41]

## **2.7 MĚŘENÍ KONCENTRACE SULFANU**

Sulfan byl vyhodnocen jako látka, která způsobuje největší potíže v kanalizaci a na objektech stokové sítě. Pro měření aktuální koncentrace sulfanu v ovzduší se využívají speciální přístroje, které jsou schopny zaznamenat i malé množství sulfanu v ovzduší. Tyto přístroje mohou také obsahovat dataloger, který je schopen zaznamenávat v předem stanoveném intervalu a časovém úseku koncentrace přítomného sulfanu. Moderní přístroje mohou být opatřeny sim kartou a jsou schopny pomocí mobilní sítě odesílat aktuální koncentrace sulfanu. Dále se využívají přenosná zařízení, která jsou schopna upozornit na zvýšené množství sulfanu a ostatních plynů například při práci v šachtách a jiných rizikových objektech.

## ***OdaLog TYP L2***

Toto zařízení je vyráběno Australskou firmou App-Tek, která se specializuje na výrobu detektorů nebezpečných a obtěžujících plynů jako je právě sulfan, oxid uhelnatý, oxid siřičitý, dusičnany a mnoho dalších. Detekce těchto plynů je důležitá nejen pro ochranu pracovníků, ale také pro znázornění koncentrace těchto plynů v závislosti na čase. Díky těmto údajům lze ověřit například efektivnost zvolené technologie. OdaLog TYP L2 je vybaven datalogerem se schopností záznamu až 6 měsíců v závislosti na zvolené četnosti zápisů. Je vyroben z odolného materiálu a utěsněn pomocí 2 kroužků díky čemuž je vodotěsný. Tomuto zařízení nedělá problém ani agresivní prostředí jako jsou šachty, čerpací stanice. Na zařízení je umístěno masivní oko sloužící pro uchycení a také pro zamknutí pomocí zámku na místech, kde by mohlo být odcizeno. Přenos dat je řešen pomocí infraportu, nebo mobilní sítě. [44]

### **Specifikace OdaLog ODALL-H<sub>2</sub>S-1000:**

Záznam:	Teplota (-10 až +40 °C) Koncentrace H <sub>2</sub> S (0 až 1000 ppm)
Paměť:	Max 42 000 záznamů
Rozlišovací schopnost:	1 ppm s přesností 1 % tj. 1 ppm
Konstrukce:	Plastové vodotěsné tělo, nerezové oko pro uchycení [44]



Obrázek 2.16 OdaLog ODALL-H<sub>2</sub>S-1000 [45]



### ***GasAlert Micro Clip XL***

Jedná se o malé kompaktní zařízení, které je schopno měřit aktuální koncentrace nebezpečných plynů. Je schopné měřit koncentraci až pěti plynů současně. Mezi detekované plyny patří sulfan v rozsahu 0 až 200 ppm a další plyny jako je oxid uhelnatý, kyslík a výbušné plyny. Zařízení se používá v případech, kdy pracovník vstupuje do rizikového prostředí. V mém případě bylo použito při testování filtračních náplní. V případě přesažení limitní koncentrace nebezpečného plynu začne zařízení vydávat světelné a akustické signály. Zařízení je opatřeno klipem, který slouží pro snadné přinutí na oděv pracovníka. [46]



**Obrázek 2.17 GasAlert Micro Clip XL [46]**

### 3 LABORATORNÍ TESTOVÁNÍ FILTRAČNÍCH NÁPLNÍ

Tato část diplomové práce se zabývá testováním sorpčních vlastností vybraných materiálů. Jedná se o testování odbourání sulfanu ze vzduchu. Sulfan jakožto plyn, který způsobuje největší problémy v kanalizaci již při nízkých koncentracích se tím pádem jeví jako ideální pro testování materiálů, které jsou schopny jeho sorpce.

#### 3.1 TESTOVACÍ KOLONA

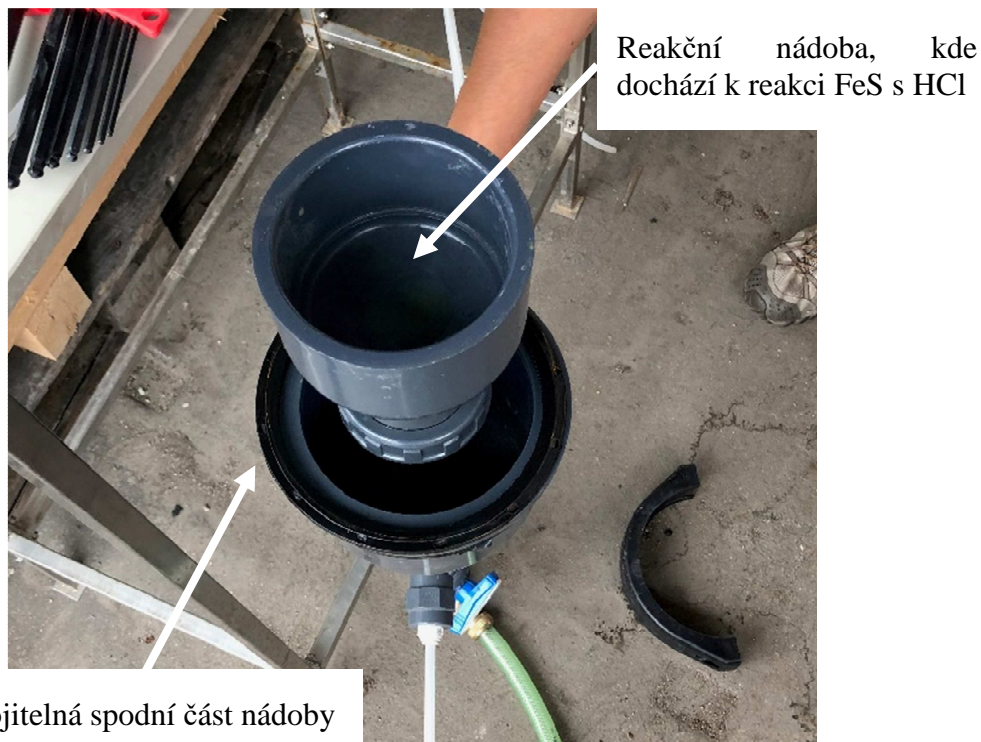
Měření sorpčních schopností vybraných materiálů probíhalo na koloně v areálu firmy Asio, s.r.o. Celá testovací kolona se skládá z několika částí, díky jimž jsme schopni nastavit stejné okrajové i počáteční podmínky testování pro všechny materiály. Testovací kolona je vzduchotěsná a pod tlakem, což brání nechtěnému úniku sulfanu do ovzduší. Z důvodu bezpečnosti byl u kolony umístěn GasAlert Micro Clip XL, který by zaznamenal případný únik toxického sulfanu do ovzduší. Všechny materiály, které byly testovány byly skladovány na suchém místě při pokojové teplotě. Testování probíhalo za velmi podobných podmínek pro všechny testované materiály, tj. teplota, tlak a vlhkost byly v průběhu testování téměř totožné s minimálními rozdíly. Tyto rozdíly proto můžeme zanedbat a považovat podmínky pro testování za totožné.

#### Hlavní předpoklady testovací kolony pro testování filtračních náplní:

- Vzduchotěsnost a mírný přetlak.
- Reakce  $\text{FeS}$  s 35 %  $\text{HCl}$  naředěnou v poměru 1:8 s destilovanou vodou  
= vznik plynného sulfanu.
- Čerpání naředěné kyseliny chlorovodíkové 1 ml/min peristaltickým čerpadlem.
- Konstantní průtok směsi vzduchu a sulfanu na anemometru 3 l/min.
- Stejně okrajové a počáteční podmínky pro všechny testované materiály.
- Synchronní zaznamenávání koncentrace sulfanu na vstupu a výstupu  
1 záznam/min s přesností 1 ppm.
- Doba testování jedné náplně 30 min.

#### *Reakční nádoba*

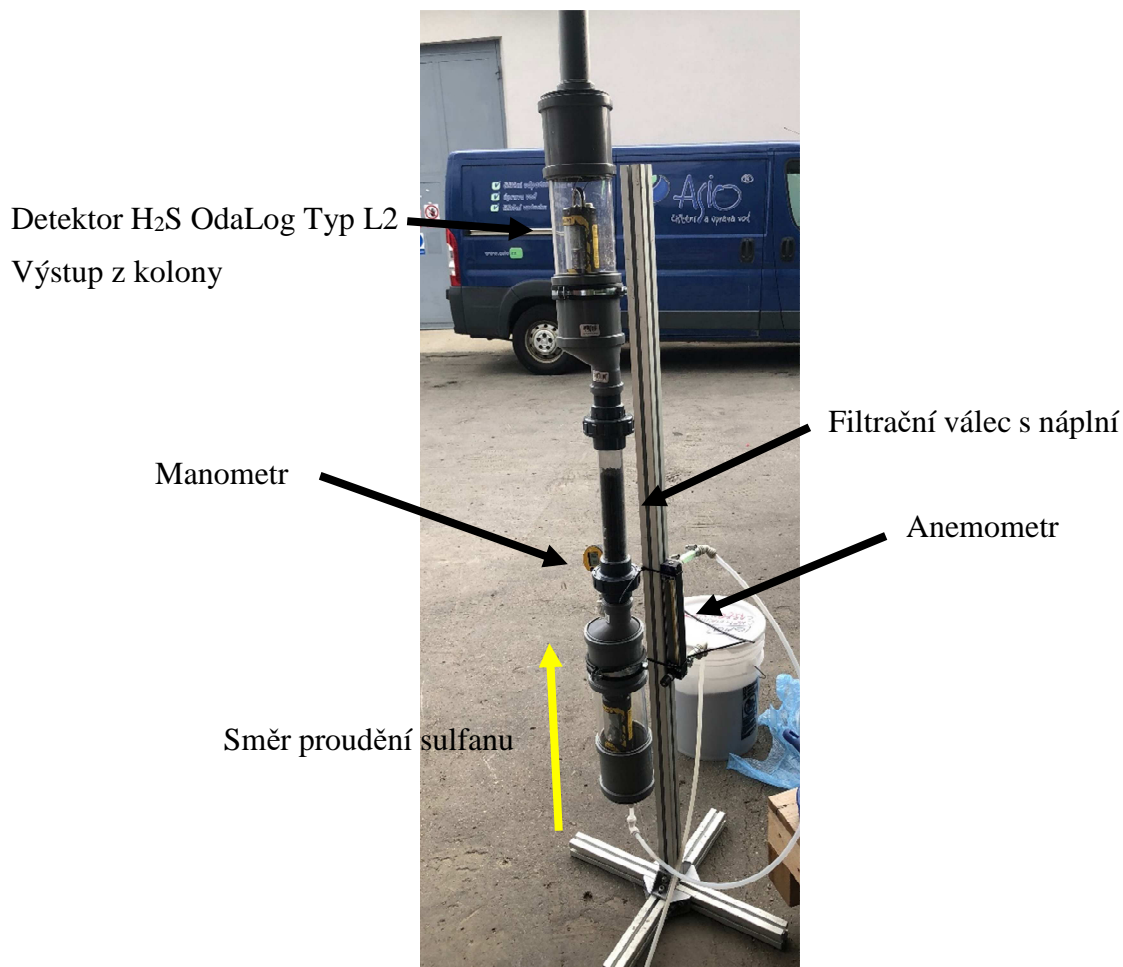
Reakční nádoba je jedním z nejdůležitějších prvků testovací kolony. V reakční nádobě reaguje sulfid železnatý ( $\text{FeS}$ ) s kyselinou chlorovodíkovou ( $\text{HCl}$ ) za vzniku plynného sulfanu, který je v akumulární nádobě následně akumulován a naředěn vzduchem. Reakční nádoba se skládá ze dvou hlavních částí, a to z misky ve které je umístěn sulfid železnatý a nádoby, do které je tento spodní díl zasazen, která slouží k akumulaci a promísení vzniklého sulfanu viz. obrázky 3.1 a 3.3. Akumulační nádoba a reakční nádoba jsou spolu spojeny pomocí objímek a dvou šroubů a lze je snadno rozpojit. Akumulační a reakční nádoba se rozpojuje pouze v případě doplnění sulfidu železnatého.



Obrázek 3.1 Reakční nádoba spodní odnímatelná část

### *Filtrační válec*

Filtrační válec, do kterého se umísťuje testovaná náplň je vyjmutelný z kolony, ve které je zabezpečen pomocí dvou šroubovacích závitů. Válec je umístěn mezi dvěma detektory sulfanu (OdaLog TYP L2), které zaznamenávají koncentraci sulfanu před vstupem do válce se sorpční náplní a za výstupem z náplně. Umístění filtračního válce můžeme vidět na obrázku 3.2. Díky známé koncentraci na vstupu na filtrační náplň a na výstupu za filtrační náplní lze snadno zjistit kolik bylo plynného sulfanu adsorbováno ve filtrační náplni. Válec, do kterého se umísťuje filtrační náplň má na dně jemnou mřížku, která zabraňuje úniku testovaného materiálu. Rozměry filtračního válce jsou následující: průměr je 5 cm a výška náplně je zvolena na výšku na 20 cm. Z toho vyplývá, že objem testované náplně ve filtračním válci je zhruba 0,39 l. Před každým testováním je filtrační válec vyjmut z kolony a celá část včetně detektorů  $\text{H}_2\text{S}$  řádně odvětrána, aby nedošlo ke zkreslení následujícího testu.

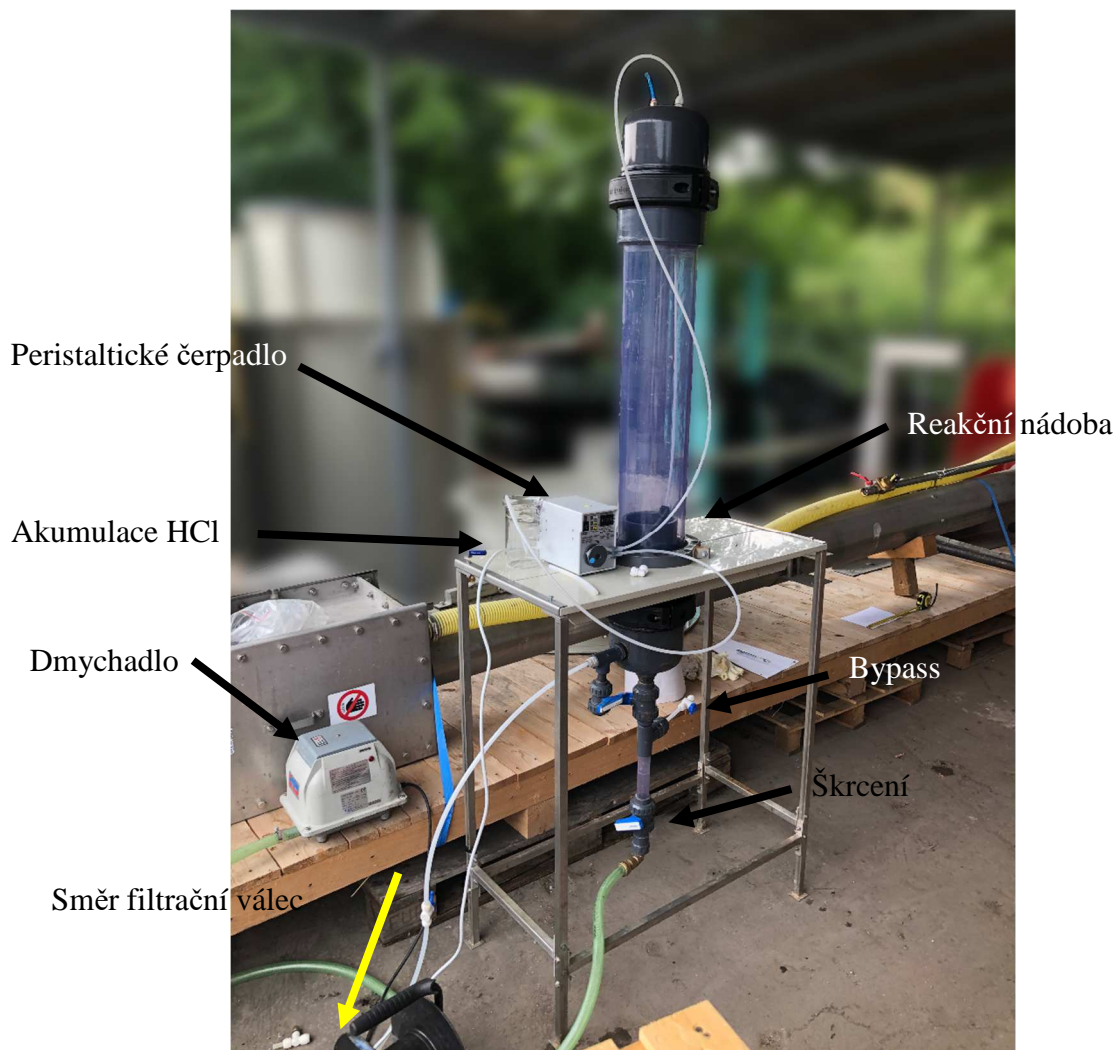


Obrázek 3.2 Umístění válce s filtrační náplní a OdaLogů Typ L2

### ***Peristaltické čerpadlo a dmyhadlo***

Peristaltické čerpadlo slouží k dávkování naředěné kyseliny chlorovodíkové do reakční nádoby. Na čerpadlu je nastaven průtok 1 ml/min. Naředěná kyselina chlorovodíková je vedena do horní části reakční nádoby a odtud hadička vede až těsně nad reakční misku se sulfidem železnatým, na který v pravidelných intervalech kape.

Dmyhadlo slouží k naředění a promíchání sulfanu se vzduchem, který vzniká v reakční nádobě. Vzduch z dmyhadla je veden do spodní části reakční nádoby, kde se akumuluje většina vzniklého plynného sulfanu. Naředěný vzduch se sulfanem odtud pak dále pokračuje směrem k anemometru, prvnímu detektoru a samotné filtrační náplní.



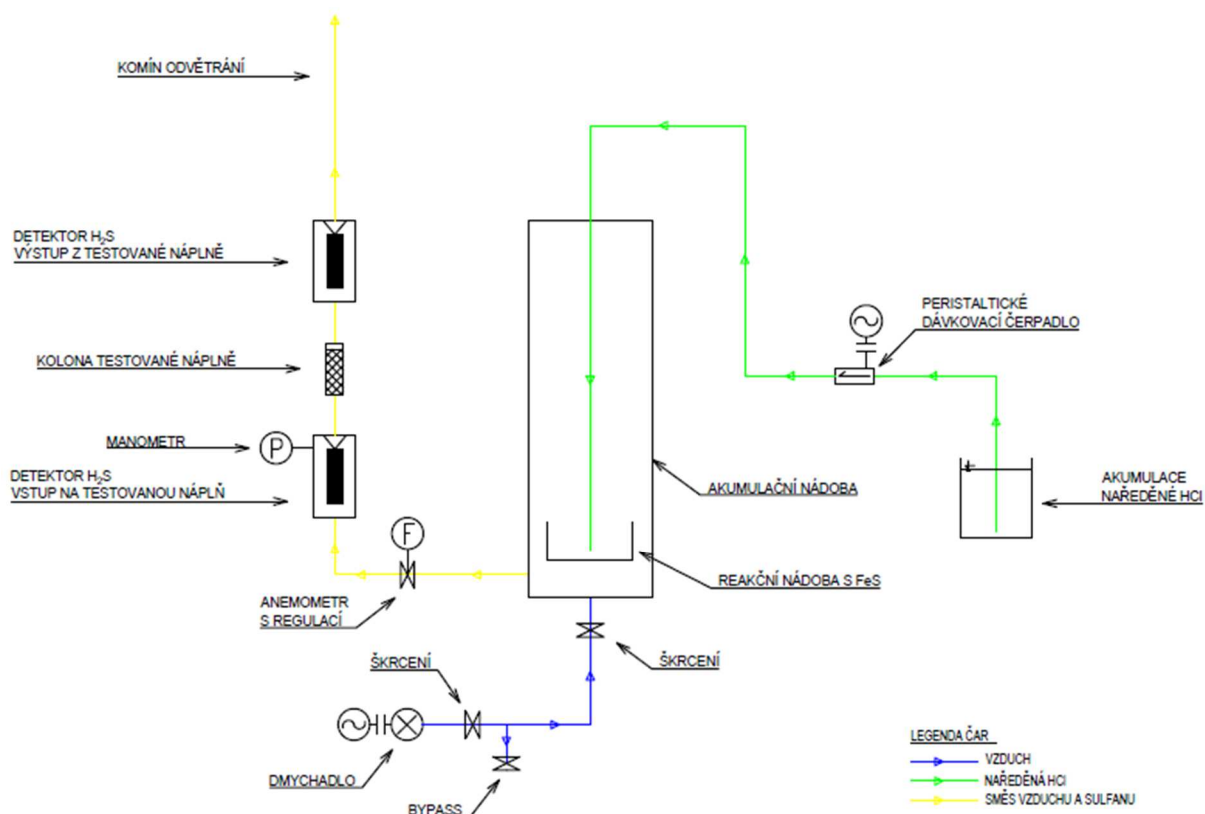
Obrázek 3.3 Detail kolony

### *Anemometr, manometr a škrčení*

Škrčení bylo potřeba zařadit kvůli příliš výkonnému dmychadlu, které by jinak znemožňovalo nastavení konstantního průtoku na anemometru. Za pomoci anemometru je nastaven konstantní průtok směsi vzduchu a sulfanu 3 l/min přes filtrační válec. Kolona je vzduchotěsná a pod tlakem, který je kontrolován pomocí manometru. Pokles tlaku by znamenal netěsnost v koloně což by vedlo k znehodnocení měření a úniku nebezpečného sulfanu do ovzduší.

### *Schéma testovací kolony*

Pro zpřehlednění a znázornění kolony jako celku bylo vypracováno schéma testovací kolony. Na tomto schématu je znázorněno barevně proudění jednotlivých médií a zapojení jednotlivých funkčních prvků s návaznostmi mezi nimi (Obrázek 3.4 Schéma testovací kolony).



Obrázek 3.4 Schéma testovací kolony

### 3.2 CHEMICKÉ VÝPOČTY VZNIKU SULFANU

Sulfan v testovací koloně byl vytvářen reakcí sulfidu železnatého s kyselinou chlorovodíkovou, která lze popsat následující rovnicí:



Z této rovnice se poté dá snadno vypočítat vzniklé množství sulfanu z jednoho gramu sulfidu železnatého. Je k tomu zapotřebí znát pouze molární hmotnost sulfidu železnatého a sulfanu a poté dosadit tyto hodnoty do jednoduché trojčlenky.

Molární hmotnosti:

$$M_r(\text{FeS}) = 87.91 \text{ g/mol}$$

$$M_r(\text{H}_2\text{S}) = 34.08 \text{ g/mol}$$

Trojčlenkou poté zjistíme, kolik gramů sulfanu se dá vyrobit chemickou reakcí (3.1).

$$87.91 \text{ g/mol} \dots\dots\dots 34.08 \text{ g/mol}$$

$$1 \text{ g FeS} \dots\dots\dots x \text{ g H}_2\text{S}$$

$$\text{Z toho vyplývá že } x = \frac{1}{87.91} * 34.08 = 0.39 \text{ g H}_2\text{S}$$

Po výpočtu hmotnosti sulfanu v gramech, je třeba znát látkové množství, abychom byli schopni spočítat objem vzniklého plynu, a to pomocí vzorce:

$$n = \frac{m}{M_r} \quad (3.2)$$

Kde:

$n$ ... látkové množství [mol],

$m$ ... hmotnost [g],

$M_r$ ... molární hmotnost [g/mol].

Látkové množství vzniklého sulfanu z 1 g sulfidu železnatého je tedy:

$$n = \frac{0.39}{34.08} = 0.01 \text{ mol}$$

Poté už můžeme vypočítat objem vzniklého sulfanu z (1 g FeS) za pomoci molárního objemu a látkového množství.

$$V = V_m * n$$

Kde:

$V$ ... objem [l],

$V_m$ ... molární objem [l/mol],

$n$ ... látkové množství [mol].

$$V = 24.47 * 0.01 = 0.25 \text{ l}$$

Molární objem by volen pro ideální plyn při teplotě 25 °C a tlaku 1 atm, což odpovídalo zhruba podmínkám při testování. Objem vzniklého sulfanu reakcí 1 g sulfanu železnatého s kyselinou chlorovodíkovou je tedy asi 0.25 l.

### 3.3 TESTOVÁNÍ VYBRANÝCH FILTRAČNÍCH NÁPLNÍ

Při výběru filtračních náplní byl kladen požadavek, aby materiály byly přírodního charakteru a byly lehce recyklovatelné, popřípadě aby byl využit materiál, který by jinak skončil jako odpad, tj. druhotného typu.

Při testování jednotlivých filtračních materiálů byly počáteční i okrajové podmínky pro všechny materiály stejné. Bohužel zvolené dmychadlo bylo dost silné a konstrukce akumulární nádrže na sulfan nebyla moc dobře vyřešena, což vedlo k nedokonalému promíchání vzniklého sulfanu a vzduchu. Právě nedokonalé promíchání vedlo k tomu, že na vstupu na filtrační náplň u některých materiálů nebyla koncentrace stálá, což ale nebylo úplně na závadu, protože tím pádem byla náplň otestována na různé koncentrace sulfanu.

Časový krok záznamu koncentrace sulfanu byl zvolen na 1 minutu pro oba detektory. Oba detektory byly zapnuty ve stejný čas a měřily synchronně. Doba testování jedné náplně byla stanovena na 30 minut a po ukončení testu byla celá kolona odvětrána a následovalo další měření. Ostatní podmínky testování byly již zmíněny na začátku kapitoly 3.1 Testovací kolona. Tabulky s výslednou efektivitou odbourání H<sub>2</sub>S jsou uvedeny s krokem 5 min z důvodu úspory prostoru. Při výpočtu průměrného odstranění nebyl brán v potaz počáteční velký rozdíl, který byl zapříčiněn tím, že směsi sulfanu a vzduchu trvalo asi 2-3 minuty, než dorazil k druhému detektoru na výstupu. Průměr je počítán od 5. minuty testování.

### 3.3.1 Materiály na bázi uhlíku

První kategorií testovaných náplní jsou právě materiály na bázi uhlíku. Mezi tyto materiály patří například velmi často používané granulované aktivní uhlí (GAU), jež je charakteristické svojí pórovitostí a velkým vnitřním povrchem. Granulované aktivní uhlí je již dlouhou dobu na trhu a jeho schopnosti a vlastnosti jsou velmi dobře známy. Nesmírnou výhodou je jeho dostupnost v mnoha formách od práškového až po granulované aktivní uhlí různých velikostí. Právě granulované aktivní uhlí frakce 1 mm bylo pro testování vybráno. Jako další výhodou je možnost jeho regenerace, čímž lze dosáhnout jeho původních vlastností. Aktivní uhlí je schopno adsorbovat velké množství látek ze vzduchu čehož byly využito právě v testovací koloně. Vlastnosti aktivního uhlí byly již zmíněny v kapitole 2.3.5 Adsorpce na aktivním uhlí, tím pádem bych se jimi dál nezabíral. Granulované aktivní uhlí bylo také použito jako první při testování v koloně a jeho vlastnosti a schopnosti odbourání plynného sulfanu byly dle předpokladů velmi dobré.

Dalším materiálem spadajícím do této kategorie je biochar. Biochar je druhotnou surovinou a vzniká pomocí pyrolýzy (v pyrolýzní jednotce), kde dochází k termickému rozkladu materiálu za nepřístupu médií obsahujících volný kyslík. Podstatou pyrolýzy je ohřev materiálu nad mez termické stability přítomných organických sloučenin, což vede k jejich štěpení. Produkty pyrolýzy jsou: pyrolýzní plyn, pyrolýzní olej a pevný zbytek (biochar), který byl testován v koloně jako náplň. Vzájemný poměr produktů záleží na podmínkách pyrolýzního procesu (hlavně na teplotě a době zdržení). Biochar je porézní: 25–150 m<sup>2</sup>/g, což vede k adsorpci podobně jako u aktivního uhlí. Porozita biocharu je závislá zejména na typu vstupujícího materiálu, reaktoru, pyrolýzní teplotě a času zdržení. Mnou testovaný biochar byl vyroben z kalů získaných z různých čistíren odpadních vod což vede k různým vlastnostem biocharu, dále byl testován biochar z dřeva a drcených pneumatik. [47]

#### **Původ:**

- Uměle vytvořený biochar (pyrolýza), GAU (vysoká teplota + vodní pára).

#### **Manipulace s materiálem:**

- Snadná, pevný materiál biochar (pelety a prášek), GAU (zrna cca 2 mm).

#### **Zbytkový zápach po testování:**

- Zápach stejný jako na začátku testování (spálený, uhelnatý).

#### **Testované materiály kategorie materiály na bázi uhlíku:**

- Granulované aktivní uhlí
- Biochar 119 drcené pneu
- Biochar 82 bioplynza
- Biochar 87 kal Otrokovice
- Biochar 91 kal Otrokovice
- Biochar pelety dřevo
- Biochar 100 kal Ingolstadt



## Granulované aktivní uhlí

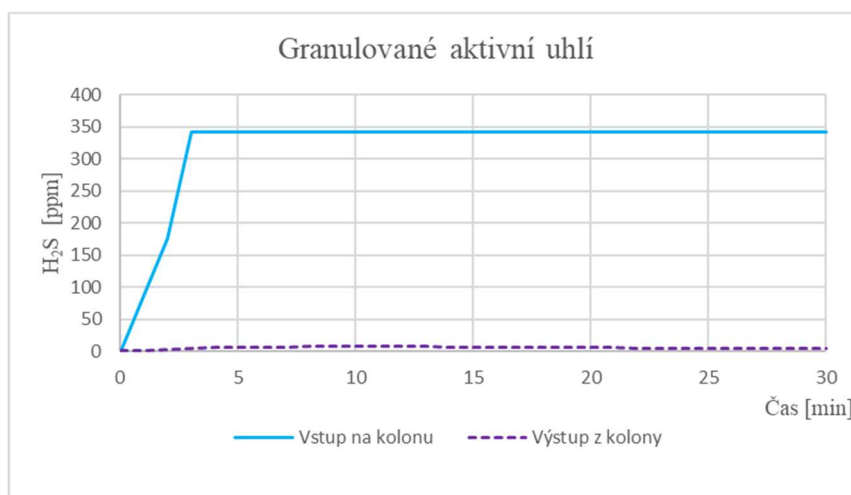
Foto testovaného materiálu:



Obrázek 3.5 Granulované aktivní uhlí

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Granulované aktivní uhlí			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	0	0.9	100.0
5	342.1	5.9	98.3
10	341.9	7.2	97.9
15	341.8	6.7	98.0
20	341.7	5.8	98.3
25	341.7	4.5	98.7
30	341.8	3.6	98.9



Obrázek 3.6 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (granulované aktivní uhlí)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: průměrně 98 % sulfanu.

## Biochar 119 drcené pneu

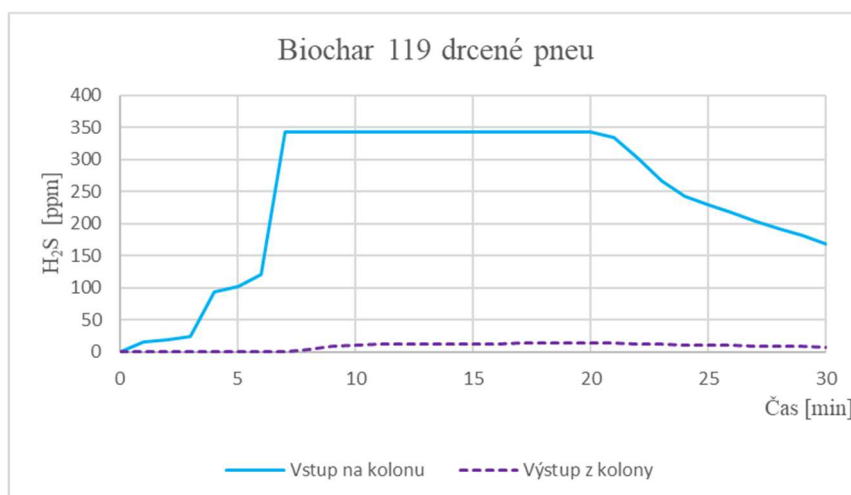
Foto testovaného materiálu:



Obrázek 3.7 119 Biochar 119 drcené pneu

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Biochar 119 drcené pneu			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	0.0	0.0	100.0
5	102.3	0.0	100.0
10	342.6	10.5	96.9
15	342.6	12.7	96.3
20	342.6	13.8	96.0
25	228.4	10.5	95.4
30	168.7	7.8	95.4



Obrázek 3.8 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Biochar 119 drcené pneu)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: průměrně 96 % sulfanu.

## Biochar 82 bioplynza

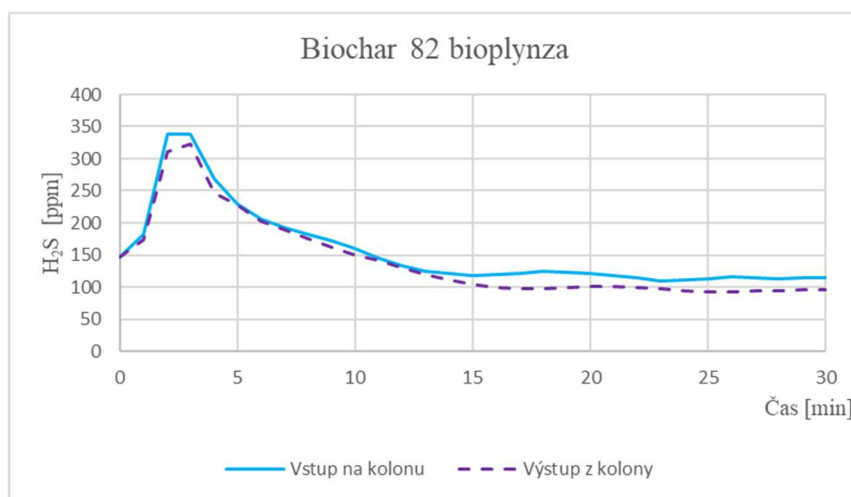
Foto testovaného materiálu:



Obrázek 3.9 Biochar 82 bioplynza

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Biochar 82 bioplynza			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	146.5	146.2	0.2
5	230.1	228.3	0.8
10	160.6	150.7	6.2
15	117.4	104.5	11.0
20	120.5	100.8	16.3
25	113.5	92.1	18.9
30	115.2	96.1	16.6



Obrázek 3.10 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Biochar 82 bioplynza)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: průměrně 10 % sulfanu.

## Biochar 87 kal Otrokovice

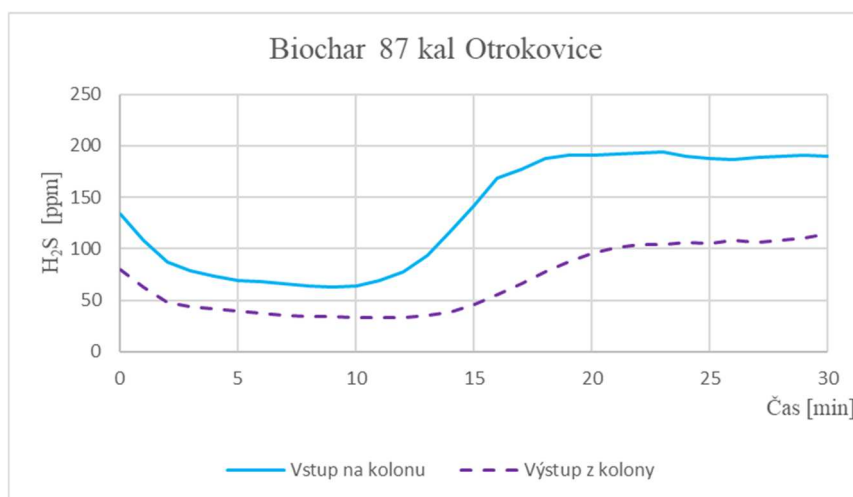
Foto testovaného materiálu:



Obrázek 3.11 87 kal Otrokovice

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Biochar 87 kal Otrokovice			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	134	80.2	40.1
5	68.7	39.1	43.1
10	63.5	33.1	47.9
15	142	45.6	67.9
20	191.4	95.2	50.3
25	188	105	44.1
30	190.3	115	39.6



Obrázek 3.12 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Biochar 87 kal Otrokovice)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: průměrně 50 % sulfanu.

## Biochar 91 kal Otrokovice

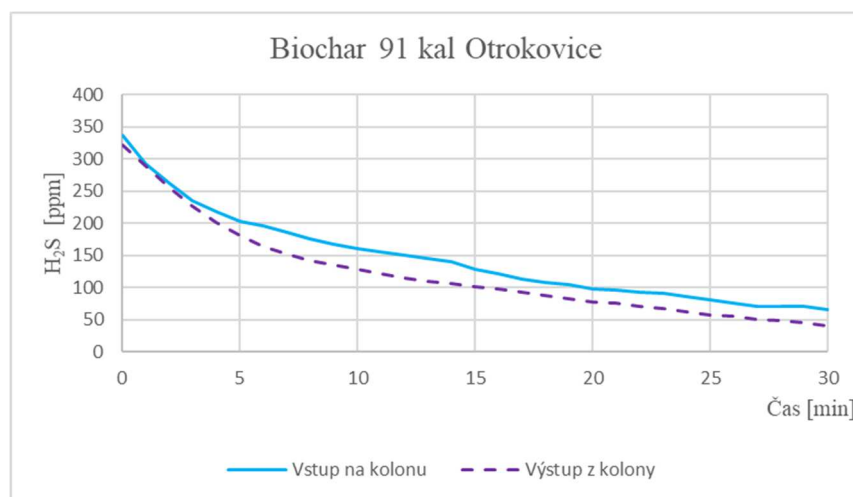
Foto testovaného materiálu:



Obrázek 3.13 Biochar 91 kal Otrokovice

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Biochar 91 kal Otrokovice			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	337.1	321.90	4.5
5	201.9	179.80	10.9
10	160.7	127.40	20.7
15	128.4	101.30	21.1
20	97.8	77.30	21.0
25	80.8	57.70	28.6
30	65.3	40.30	38.3



Obrázek 3.14 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Biochar 91 kal Otrokovice)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: průměrně 20 % sulfanu

## Biochar pelety dřevo

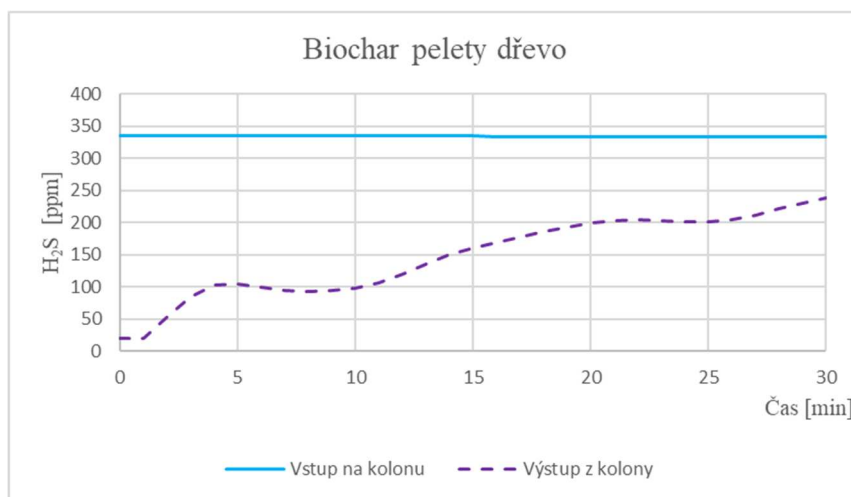
Foto testovaného materiálu:



Obrázek 3.15 Biochar pelety dřevo

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Biochar pelety dřevo			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	19.3	335.2	94.2
5	104.8	335	68.7
10	97.9	334.9	70.8
15	161	334.7	51.9
20	198.9	334.6	40.6
25	201.9	334.6	39.7
30	237.8	334.6	28.9



Obrázek 3.16 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Biochar pelety dřevo)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: průměrně 56 % sulfanu

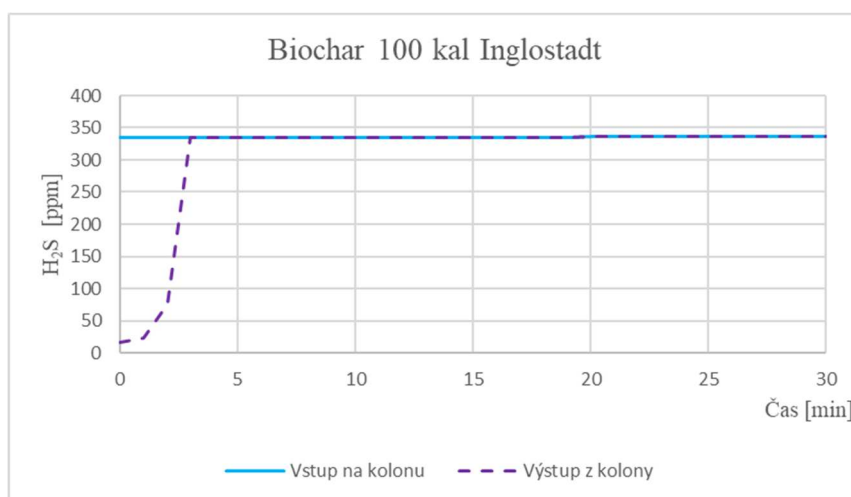
## Biochar 100 kal Ingolstadt



Obrázek 3.17 Biochar 100 kal Ingolstadt

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Biochar 100 kal Ingolstadt			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	334.8	15.7	95.3
5	335.0	322.2	3.8
10	335.2	322.3	3.8
15	335.4	322.4	3.9
20	335.6	322.5	3.9
25	335.6	322.6	3.9
30	335.9	322.6	4.0



Obrázek 3.18 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Biochar 100 kal Ingolstadt)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: průměrně 4 % sulfanu, počáteční vysoká účinnost je způsobena tím, že směs sulfanu a vzduchu trvá asi 2-3 minuty, než doproudí k sondě na výstupu.

### 3.3.2 Přírodní materiály

Jako další kategorií byly vybrány materiály přírodního charakteru. Tyto materiály jsou cenově dostupné a k dostání ve většině zahradnictvích. Výhodou těchto materiálů je jejich ekologičnost a recyklovatelnost. Většina přírodních materiálů vybraných k testování se používá jako součást naplně biologického filtru. Zvolené přírodní materiály se také využívají pro výrobu aktivního uhlí. Pro účely testování byly tyto materiály použity v surovém stavu přesně tak jak je lze zakoupit a nebyly ničím obohaceny.

**Původ:**

- Přírodní materiály.

**Manipulace s materiálem:**

- Horší, pevný materiál příliš velké frakce.

**Zbytkový zápach po testování:**

- Bez zápachu.

**Testované materiály kategorie přírodní materiály:**

- Kokosová vlákna
- Dřevěné štěpky
- Rašelina
- Mulčovací kůra



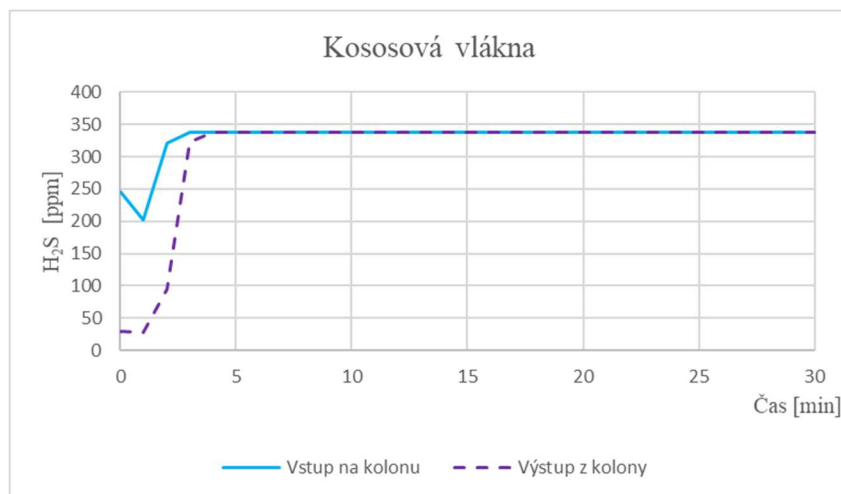
## Kokosová vlákna



Obrázek 3.19 Kokosová vlákna

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Kokosová vlákna			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	245.6	29.7	87.9
5	337.1	337.1	0.0
10	337.1	337.1	0.0
15	337.1	337.1	0.0
20	337.1	337.1	0.0
25	337.1	337.1	0.0
30	337.1	337.1	0.0



Obrázek 3.20 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Kokosová vlákna)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: 0 % sulfanu, počáteční vysoká účinnost je způsobena tím, že směsi sulfanu a vzduchu trvá asi 2-3 minuty, než doproudí k sondě na výstupu.

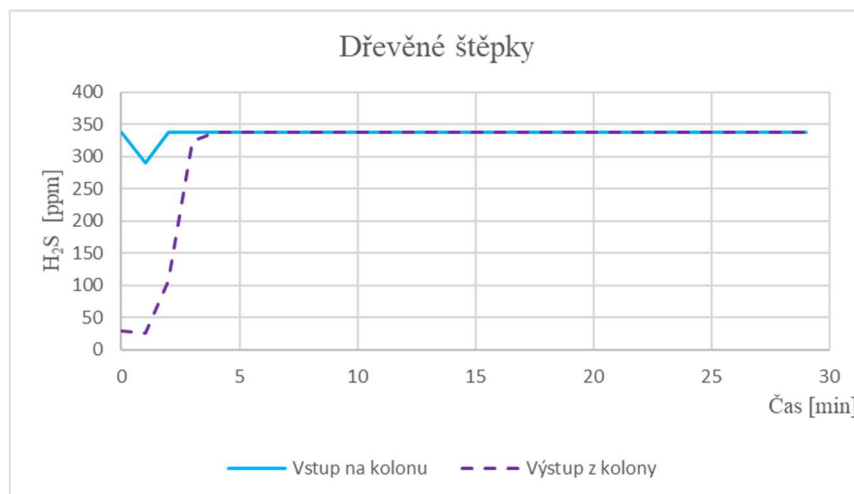
## Dřevěné štěpky



Obrázek 3.21 Dřevěné štěpky

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Dřevěné štěpky			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	337.7	29.5	91.3
5	337.7	337.7	0.0
10	337.7	337.7	0.0
15	337.7	337.7	0.0
20	337.7	337.7	0.0
25	337.7	337.7	0.0
30	337.7	337.7	0.0



Obrázek 3.22 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Dřevěné štěpky)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: 0 % sulfanu, počáteční vysoká účinnost je způsobena tím, že směsi sulfanu a vzduchu trvá asi 2-3 minuty, než doproudí k sondě na výstupu.

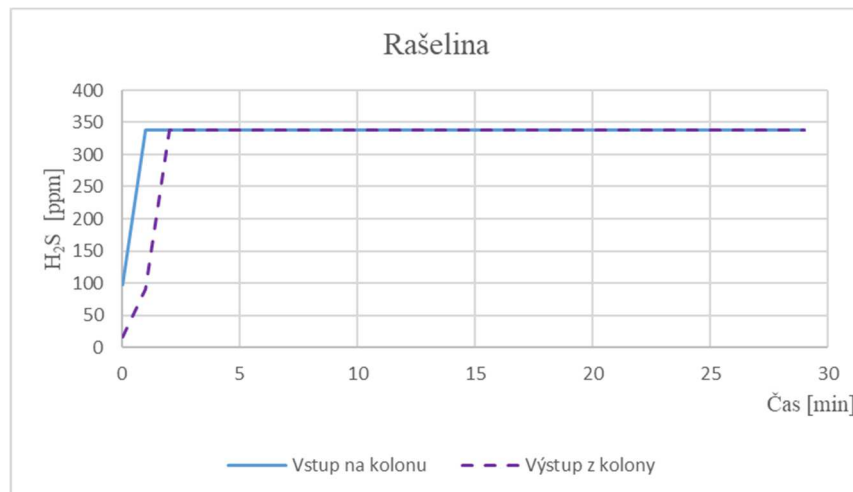
## Rašelina



Obrázek 3.23 Rašelina

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Rašelina			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	98.1	16.9	82.8
5	338	338	0.0
10	338	338	0.0
15	338	338	0.0
20	338	338	0.0
25	338	338	0.0
30	338	338	0.0



Obrázek 3.24 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Rašelina)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: 0 % sulfanu, počáteční vysoká účinnost je způsobena tím, že směsi sulfanu a vzduchu trvá asi 2-3 minuty, než doproudí k sondě na výstupu.

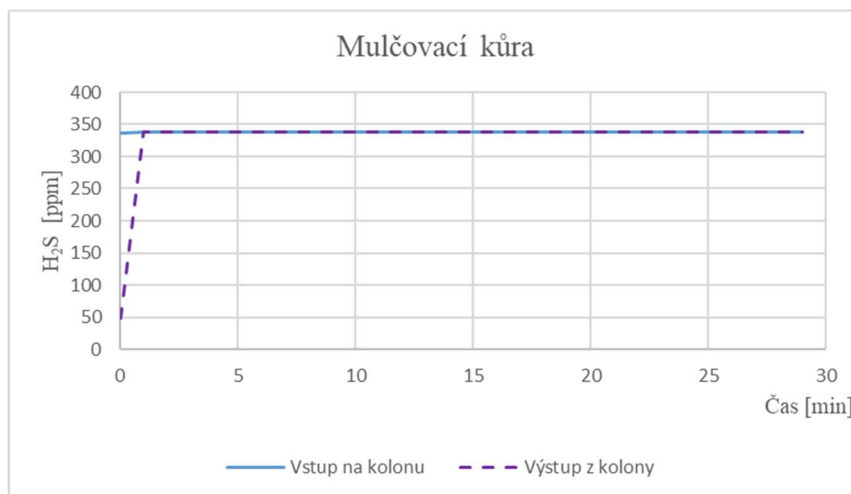
## Mulčovací kůra



Obrázek 3.25 Mulčovací kůra

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Mulčovací kůra			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	338	49.1	85.5
5	338.1	338.1	0.0
10	338.1	338.1	0.0
15	338.1	338.1	0.0
20	338.1	338.1	0.0
25	338.1	338.1	0.0
30	338.1	338.1	0.0



Obrázek 3.26 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Mulčovací kůra)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: 0 % sulfan, počáteční vysoká účinnost je způsobena tím, že směsi sulfanu a vzduchu trvá asi 2-3 minuty, než doproudí k sondě na výstupu.

### 3.3.3 Odpad ze stavební činnosti

V poslední kategorii, a to v kategorii odpadní materiály byly vytipovány materiály, které vznikají při stavbě a jsou považovány za odpad a nejsou dále využity. Dále také gumový recyklovaný materiál. Jedná se především o různé plastové hmoty používané ve stavebnictví k izolaci. Vybraný gumový materiál se vyrábí recyklací nepoužitelných pneumatik, které se drtí v drtičce na požadovanou frakci. Většina vybraných materiálů je porézní, tím pádem má i větší specifický povrch. Právě tento předpoklad by mohl vést k adsorpci plynného sulfanu v těchto materiálech.

#### **Původ:**

- Odpad ze stavby, recyklovaný materiál.

#### **Manipulace s materiálem:**

- Drcené pneu a rockwool (snadná), Polyuretan a styrodur (špatná, bylo třeba nařezat na kostky, které by se vešly do filtračního válce).

#### **Zbytkový zápach po testování:**

- Bez zápachu.

#### **Testované materiály kategorie stavební materiály:**

- Drcené pneu
- Rockwool
- Polyuretan
- Styrodur

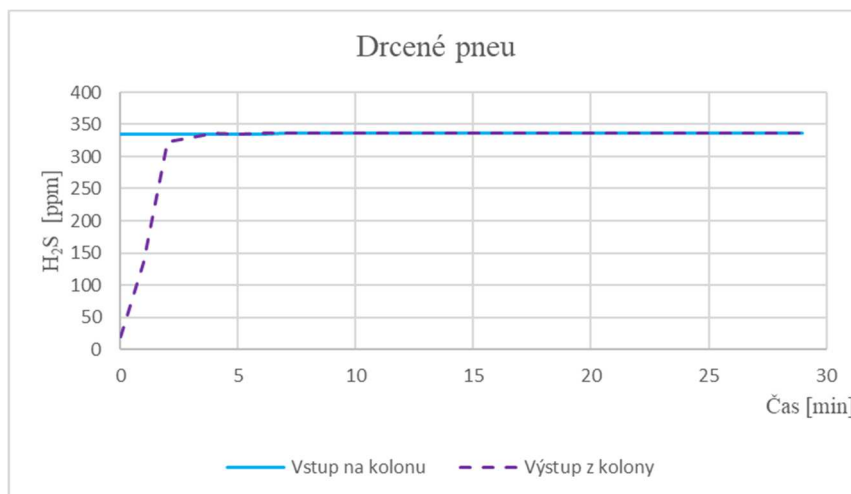
## Drcené pneu



Obrázek 3.27 Drcené pneu

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Drcené pneu			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	336.1	20.3	94.0
5	336.1	335.5	0.2
10	336.2	336.2	0.0
15	336.2	336.2	0.0
20	336.3	336.3	0.0
25	336.4	336.4	0.0
30	336.7	336.7	0.0



Obrázek 3.28 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Drcené pneu)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: 0 % sulfan, počáteční vysoká účinnost je způsobena tím, že směsi sulfanu a vzduchu trvá asi 2-3 minuty, než doproudí k sondě na výstupu.

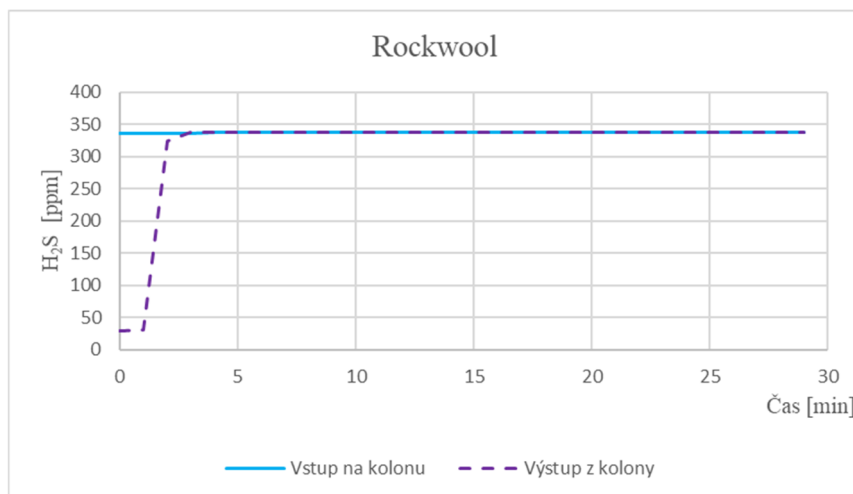
## Rockwool



Obrázek 3.29 Rockwool

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Rockwool			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	337	29	91.4
5	337.1	337.1	0.0
10	337.1	337.1	0.0
15	337.2	337.2	0.0
20	337.2	337.2	0.0
25	337.3	337.3	0.0
30	337.2	337.2	0.0



Obrázek 3.30 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Rockwool)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: 0 % sulfan, počáteční vysoká účinnost je způsobena tím, že směsi sulfanu a vzduchu trvá asi 2-3 minuty, než doproudí k sondě na výstupu.

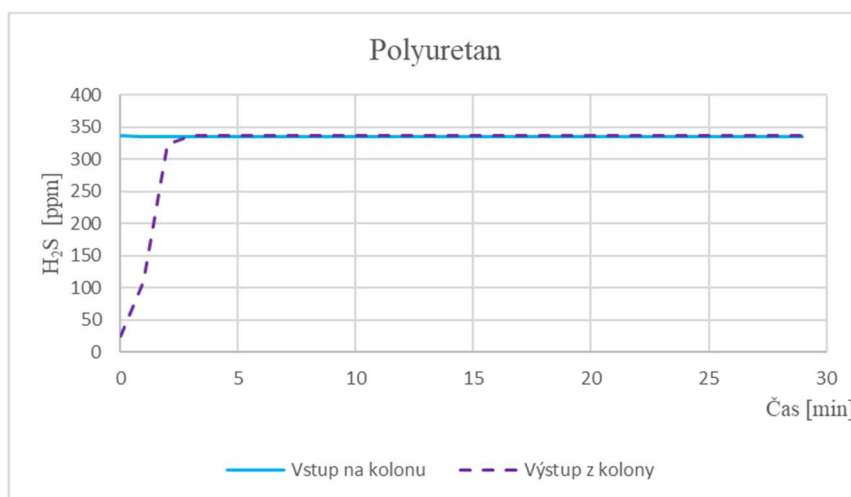
## Polyuretan



Obrázek 3.31 Polyuretan

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Polyuretan			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	337.1	24.6	92.7
5	337	337	0.0
10	337	337	0.0
15	337	337	0.0
20	337	337	0.0
25	337	337	0.0
30	337	337	0.0



Obrázek 3.32 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Polyuretan)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: 0 % sulfan, počáteční vysoká účinnost je způsobena tím, že směsi sulfanu a vzduchu trvá asi 2-3 minuty, než doproudí k sondě na výstupu.



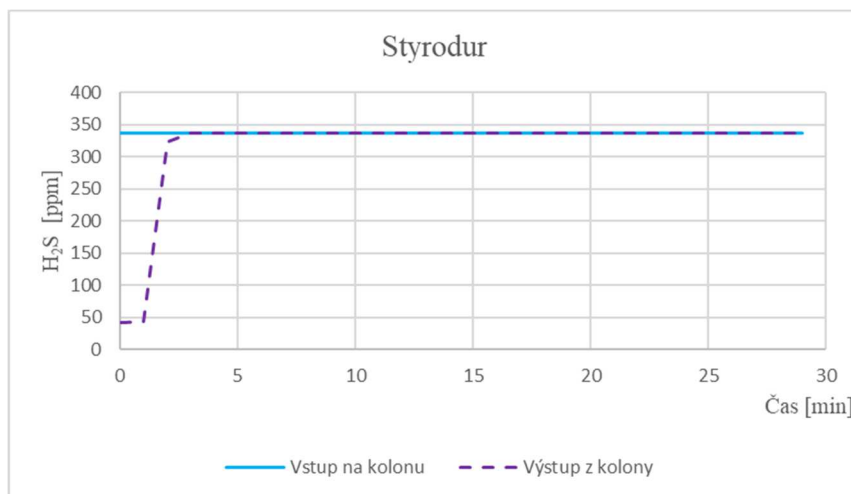
## Styrodur



Obrázek 3.33 Styrodur

Naměřené hodnoty koncentrací sulfanu na vstupu a výstupu:

Styrodur			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odbouráno sulfanu [%]
	Vstup na kolonu	Výstup z kolony	
0	337	40.9	87.9
5	337	337	0.0
10	337	337	0.0
15	337	337	0.0
20	337	337	0.0
25	337	337	0.0
30	337	337	0.0



Obrázek 3.34 Účinnost odstranění H<sub>2</sub>S (Styrodur)

Test odstranění sulfanu po 30 minutách testování v koloně.

Odstraněno: 0 % sulfan, počáteční vysoká účinnost je způsobena tím, že směsi sulfanu a vzduchu trvá asi 2-3 minuty, než doproudí k sondě na výstupu.

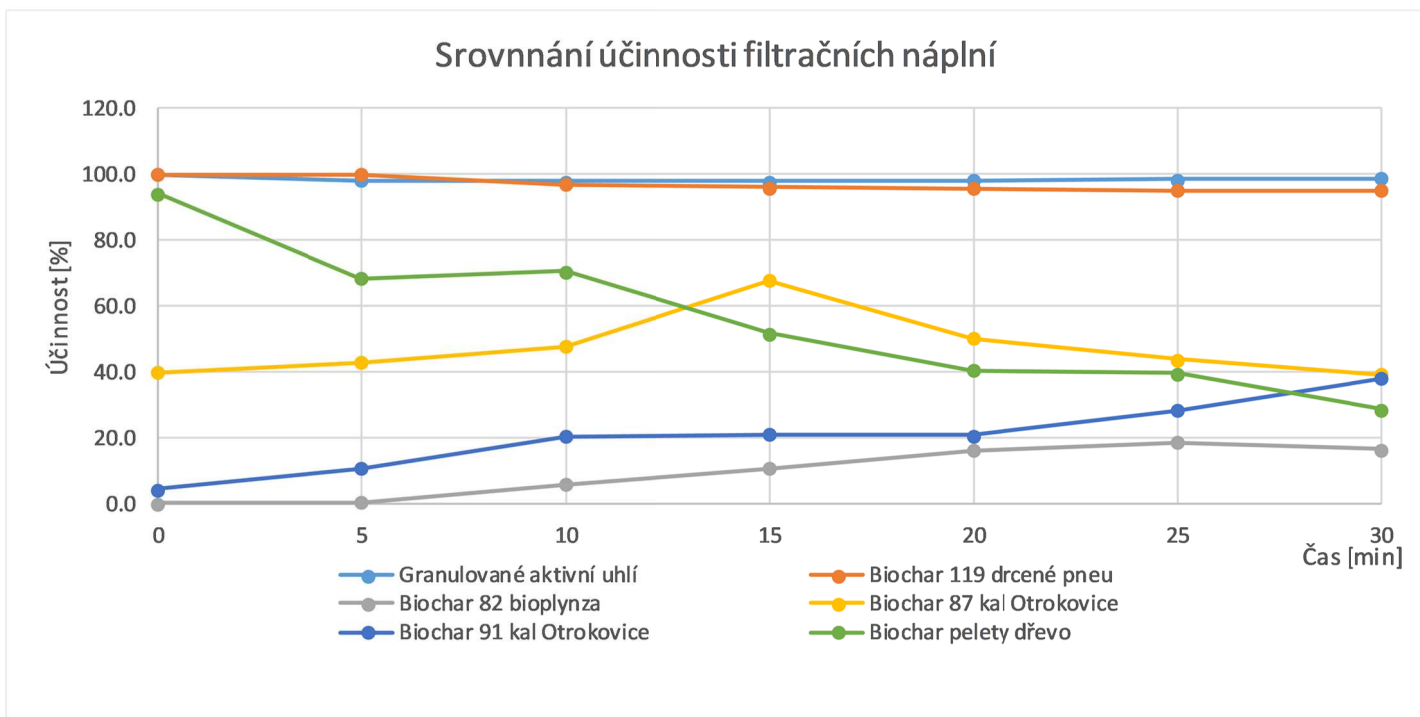
### 3.4 SOUHRN LABORATORNÍHO TESTOVÁNÍ FILTRAČNÍCH NÁPLNÍ

První kategorie, ve které bylo granulované aktivní uhlí a biochary dopadla zhruba podle očekávání. Granulované aktivní uhlí, které sloužilo jako etalon celého laboratorního testování filtračních náplní si vedlo dle očekávání velmi dobře a adsorboval bez problému v průměru 98 % vzniklého sulfanu i když jeho koncentrace byla dosti vysoká okolo 342 ppm. Biochary si oproti aktivnímu uhlí už vedly o poznání hůře, ale i přesto se zde objevilo jedno překvapení v podobě biocharu 119, který byl vyroben z drceného pneu. Tento biochar byl velmi jemné konzistence skoro až práškové a fungoval při testování skoro jako aktivní uhlí. Biochar 119 byl schopen adsorbovat v průměru 96 % při průměrné koncentraci sulfanu 250 ppm. Další dva biochary z peletovaného dřeva a z kalu 87 z Otrokovické čistírny odpadní vody už odbourali v průměru okolo 50 % vzniklého sulfanu. Zbylé biochary odstranily něco okolo 20 % vzniklého sulfanu a biochar z kalu z Ingolstatu neodstranil dokonce vůbec žádný sulfan. Biochary jsou celkově zajímavým produktem pyrolýzy odpadního materiálu, a právě provedené testy ukázaly že by mohly být zajímavou alternativou ke granulovanému aktivnímu uhlí. Při pyrolýze vzniká navíc olej, který má také své využití. Díky tomuto způsobu zlikvidujeme odpad a dostaneme 2 plně využitelné suroviny k dalšímu využití. Z laboratorního testu biocharů vyplynulo, že nebude úplně jednoduché vytvářet biochar, který by měl stejné vlastnosti. Biochary kalů z odlišných oblastí se chovaly odlišně a je třeba dalšího testování a experimentování s nastavením pyrolýzní jednotky, než bude nalezen biochar, který by splňoval podmínky pro danou aplikaci a mohl by být využíván komerčně.

Přírodní materiály, které byly vybrány pro testování nedopadly vůbec dobře. Tyto materiály byly vybrány na základě toho, že bývají součástí různých komerčně používaných filtrů například biofiltrů a zde fungují dobře. Materiály sami o sobě bez žádného obohacení, nebo kombinace s ostatními sorbenty neadsorbovaly žádný sulfan. Sorbentům by byla potřeba při nejmenším dodat vlhkost, která by vedla ke vzniku biofilmu.

Odpadní materiály, které by nebylo problémem po stránce finanční získat bohužel dopadly velmi špatně. Podobně jako u přírodních materiálů by bylo potřeba materiály nějak obohatit, popřípadě zkombinovat s jinými materiály. Navíc se s těmito materiály nepracovalo moc dobře styrodur a polyuretan bylo obtížné dostat do nějaké rozumné formy pro otestování a po vložení nařezaných kousků materiálu do filtračního válce vzniklo dost mezer což také mohlo negativně ovlivnit celé testování.

Obrázek 3.35 Srovnání účinností filtračních náplní



Nejvyšší účinnost adsorpce  $H_2S$  mělo granulované aktivní uhlí s průměrem 98 % při průměrné koncentraci 342 ppm.

Jako další filtrační náplň s vysokým procentem odstranění  $H_2S$  byl biochar 119 s průměrem 96 % při průměrné koncentraci 250 ppm.

Biocharu z pelotovaného dřeva rychle klesala adsorpční kapacita a po 30 minutách testování odbourával pouze 29 % oproti původním 94 %.

Biochar vyrobený z kalu 87 z Otrokovické čistírny odpadních vod odbourával průměrně 50 %  $H_2S$ .

Biochar 82 bioplynza a biochar 91 kal Otrokovice odbourávali už jen něco mezi 10 až 20 %  $H_2S$ .

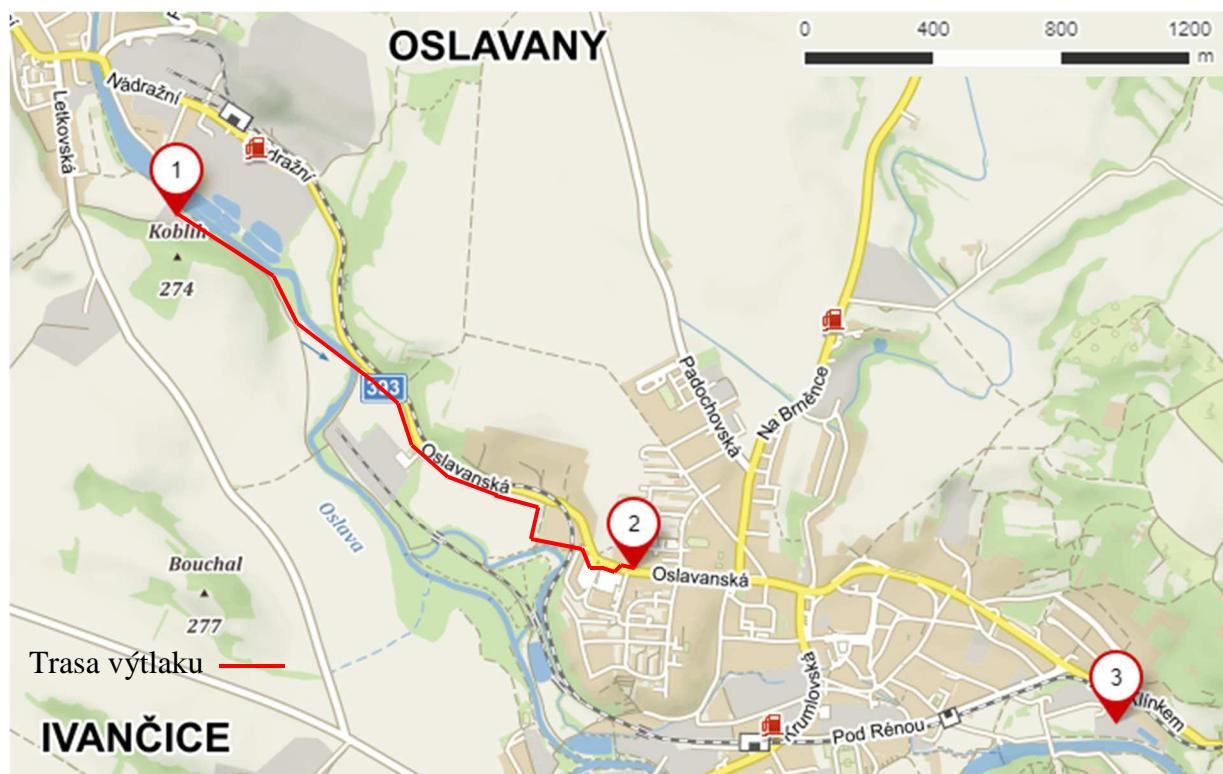
## 4 ON-LINE MĚŘENÍ V OBCI

On-line měření probíhalo v městě Ivančice nedaleko Brna. Město Ivančice leží asi 20 km jihozápadně od města Brna na soutoku řek Jihlavy a Oslavy a žije zde necelých 10 000 obyvatel.

Dalším městem, kde probíhal on-line monitoring je město Oslavany. Oslavany leží asi 3 km severozápadně od Ivančic a žije zde asi 4000 obyvatel. Tyto města spolu úzce souvisí právě kvůli zrušené čistírně odpadních vod Oslavany, která byla nahrazena čerpací stanicí na identickém místě. Na tuto čerpací stanici přitéká odpadní voda z průmyslové firmy zabývající se lisováním ocelových výrobků za studena. Firma má vlastní neutralizační stanici a technologické vody recykluje. Dalším producentem odpadních vod je nákupní centrum nedaleko předávací šachty v Ivančicích. Na čerpací stanici dále přitéká samozřejmě odpadní voda od obyvatel Oslavan a obyvatel přilehlé obce Padochov, která se nachází severně od Oslavan. Z této čerpací stanice se voda čerpá na okraj města Ivančice, kde je výtlak na ulici Oslavanská zaústěn do gravitační kanalizace a dále pokračuje na čistírnu odpadních vod Ivančice.

Obrázek 4.1 znázorňuje klíčová místa:

- 1) ČS Oslavany, areál bývalé ČOV Oslavany, zde on-line monitoring ORP.
- 2) Předávací šachta, zde on-line monitoring H<sub>2</sub>S.
- 3) ČOV Ivančice, zde je vedena odpadní voda z Padochova, Oslavan a Ivančic.



Obrázek 4.1 Mapa zájmového území [48]

## 4.1 ČERPAČÍ STANICE OSLAVANY

Jak již bylo zmíněno čerpací stanice se nachází na území bývalé čistírny odpadních vod v Oslavanech nedaleko řeky Oslavy. Provoz bývalé čistírny odpadních vod v Oslavanech byl velmi neekonomický, a proto byla zrušena a nahrazena čerpací stanicí s výtlačným potrubím do Ivančic. V Ivančicích se nachází čistírna odpadních vod, která prodělala intenzifikaci a rekonstrukci v roce 2011 a její současná kapacita je 19 303 EO. Na čerpací stanici v současné době přitéká odpadní voda od zhruba 4100 EO. Jak již bylo zmíněno jedná se o odpadní vodu z průmyslu, obchodního centra a od obyvatel Oslavan, Padochova. [52]

### 4.1.1 Objekty čerpací stanice

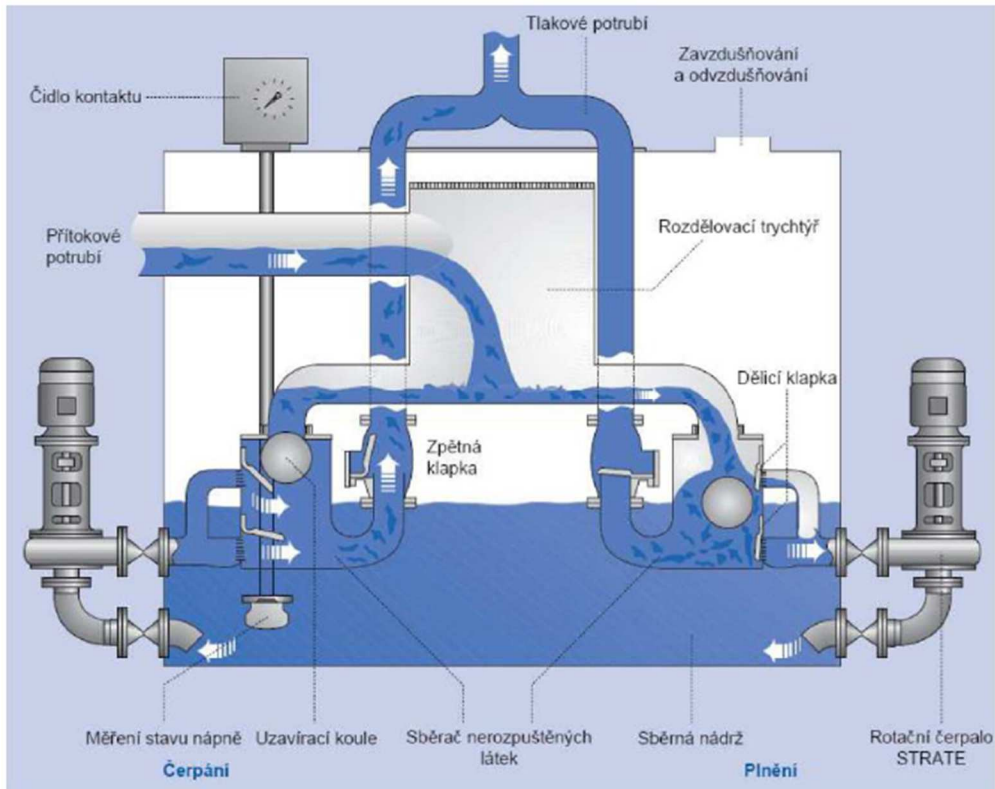
První částí je mechanické předčištění, které je umístěno v kompaktní jednotce. Toto zařízení odstraňuje z odpadní vody shrabky a písek, který by mohl napáchat škody na čerpadlech a ostatních zařízeních čerpací stanice. [52]

Další částí objektu čerpací stanice je dešťová zdrž, která převádí zvýšené průtoky pomocí přepadu do recipientu, kterým je řeka Oslava. Dešťová zdrž je velmi důležitým objektem čerpací stanice, neboť převážná část Oslavan a Padochova je odkanalizována pomocí jednotné stokové kanalizační sítě což při dešti značně navyšuje průtok na čerpací stanici. [52]

Hlavním funkčním prvkem je pak samotná čerpací stanice. Čerpání předčištěné odpadní vody probíhá v čerpací stanici od německé firmy STRATE. Jedná se o model čerpací stanice AWALIFT 3/2 se separací pevných látek. Čerpací stanice obsahuje dvojici totožných hydrodynamických odstředivých diagonálních čerpadel s maximální dopravní výškou 32 m a s maximální čerpaným průtokem 80 m<sup>3</sup>/h. Celá čerpací stanice je po úrovni terénu a je prostorově nenáročná, její půdorysný rozměr je pouze 3.7 x 3 m. [52]

### 4.1.2 Princip systému STRATE

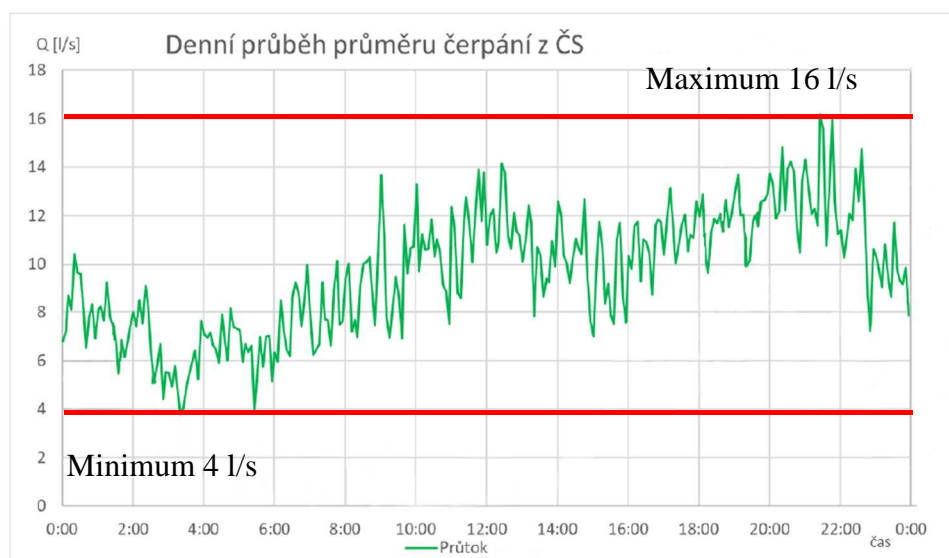
Systém čerpací stanice STRATE je velmi účinný a nenáročný na provoz. Při plnění natéká odpadní voda do rozdělovacího trychtýře. Odtud pokračuje přes dělicí klapku, která slouží jako síto a propustí pouze vodu bez pevných látek. Takto přečištěná voda pokračuje přes oběžné kolo do sběrné nádrže. Při čerpání se čerpá vyčištěná voda ze sběrné nádrže tato voda zároveň čistí dělicí klapky od nečistot a také dojde k proplachu ve sběrači nečistot. Tyto nečistoty pokračují do výtlačného potrubí. Ve většině případů pracuje jen jedno čerpadlo. To znamená, že když jedno čerpadlo čerpá odpadní vodu do výtlačného potrubí druhé čerpadlo je nečinné a natéká přes něj odpadní voda do sběrné nádrže. Schéma plnění a prázdnění je uvedeno na obrázku 4.2 Schéma čerpací stanice STRATE se separací pevných látek.



Obrázek 4.2 Schéma čerpací stanice STRATE se separací pevných látek [49]

### 4.1.3 Denní průběh čerpání v čerpací stanici

Denní průběh čerpání odpadní vody z ČS byl vytvořen z průměrných hodnot za období dvou měsíců. Z grafu je patrné ranní minimum asi ve 3 hodiny s následným růstem do 12. hodiny. Maximum čerpaného množství je pak při večerní špičce mezi 20-22. hodinou. Průběh čerpání v ČS je zaznamenáván v 5 ti minutových intervalech za pomocí čidla, tento interval může způsobit, že některá sepnutí čerpadla nemusí být vůbec zaznamenána.



Obrázek 4.3 Denní průběh čerpání z ČS [52]

#### 4.1.4 Hladiny čerpání a doba zdržení v ČS

Při volbě četnosti čerpání jdou proti sobě dva požadavky. První požadavek se týká co nejkratší doby zdržení odpadní vody v akumulaci to znamená velký počet sepnutí čerpadel. Druhá úplně opačná se týká životnosti čerpadel a požaduje menší četnost zpuštění což by prodloužilo jejich životnost. V praxi se musí zvolit kompromis právě mezi těmito požadavky.

##### Objem sběrné nádrže:

- Válec o průměru 1.4 m x 2.0 m na výšku.
- Objem celkem = 3.08 m<sup>3</sup>.

##### Objem čerpaného množství:

- Spínací hladina 1.3 m ode dna, vypínací 0.1 m ode dna.
- Vyčerpaný objem = 1.85 m<sup>3</sup>.

Ze známého objemu čerpaného množství může dopočítat dobu zdržení ve sběrné nádrži. Pro výpočet budeme uvažovat průměr z Obrázku 4.3 Denní průběh čerpání z ČS a to 10 l/s. Při takto zvoleném průtoku a zanedbání rozběhu a doběhu čerpadla by bylo množství 1.85 m<sup>3</sup> vyčerpano za 3 minuty. [52]

#### 4.1.5 Výtlačné potrubí

Výtlačné potrubí má celkovou délku 2423 m a vede z počátku podél řeky Oslavana, poté podél silnice ulice Oslavanská a končí v předávací šachtě. Celý průběh výtlačku je znázorněn na obrázku 4.1 mapa zájmového území. Výtlačné potrubí je vyrobeno z polyetylenu PE 225x20.5 mm. Z uvedené délky a průměru výtlačného potrubí můžeme již vypočítat objem celého výtlačku (rovnice 4.1). [52]

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} * l \quad (4.1)$$

Kde:

V... objem výtlačného potrubí [m<sup>3</sup>],

d... vnitřní průměr výtlačného potrubí [m],

l... délka výtlačného potrubí [m].

$$V = \frac{3.14 * 0.184^2}{4} * 2423 = 64.4 \text{ m}^3$$

Objem plného výtlačného potrubí tedy činí 64.4 m<sup>3</sup>.

#### 4.1.6 Výpočet doby zdržení

Z poskytnutých dat byl průměrný denní průtok za rok 2018  $Q_{24} = 651 \text{ m}^3/\text{den} = 27.13 \text{ m}^3/\text{h}$ . Pro výpočet nejhoršího zatěžovacího stavu, tj. nejdelší doby zdržení můžeme přenásobit průměrný denní průtok součinitelem minimální hodinové nerovnoměrnosti. Ten stanovuje ČSN 73 6701 podle EO v našem případě 4100 EO. Pro tento počet EO stanovuje ČSN  $k_{\min} = 0.6$ .

Poté tedy můžeme vynásobit průměrný denní průtok součinitelem minimální hodinové nerovnoměrnosti pro získání minimálního hodinového průtoku (rovnice 4.2).

$$Q_{min} = Q_{24} * k_{min} \quad (4.2)$$

Kde:

$Q_{min}$ ... minimální hodinový průtok [ $m^3/h$ ],

$Q_{24}$ ... průměrný denní průtok [ $m^3/h$ ],

$k_{min}$ ... koeficient minimální hodinové nerovnoměrnosti [-].

$$Q_{min} = Q_{24} * k_{min} = 27.13 * 0.6 = 16.28 \text{ m}^3/h$$

Minimální hodinový průtok je tedy  $16.28 \text{ m}^3/h$ . Za předpokladu že je průtok na ČS konstantní po celou dobu a při zanedbání diskontinuální práce čerpadel je doba zdržení  $3.96$  hodin. K tomuto času je také třeba připočítat čas doby zdržení v samotné kanalizaci, kdy dochází k odkanalizování  $3$  km vzdálené obce Padochov. Do gravitační části kanalizační sítě v Oslavanech je také čerpána voda z tlakové kanalizace v ulici V Oslavě. Celkový čas zdržení může být tedy klidně i  $5.5$  hodiny. Pro tvorbu sulfanu je však nejkritičtější dlouhá doba zdržení ve výtlačném potrubí, kde jsou anaerobní podmínky což nahrává vzniku sulfanu.

#### 4.1.7 Provdzdušnění výtlačku

Provdzdušnění výtlačku je jedním ze způsobů, kterým se v současné době snaží alespoň částečně zamezit vzniku sulfanu. Rozvod vzduch je řešen pomocí polyethylenového potrubí PE 32 vedoucího souběžně s výtlačkem. Provdzdušnění výtlačku probíhá v čistících šachtách ve staničení  $973$  m,  $1381$  m a  $1923$  m. Zaústění do čistících šachet je opatřeno zpětnou klapkou a uzávěrem. Kompresor pracuje ve střídavém cyklu  $50$  minut čerpání vzduchu a  $10$  minut přestávka. [52]

### 4.2 MĚŘENÍ OXIDAČNĚ-REDUKČNÍHO POTENCIÁLU V ČERPACÍ STANICI

Měření oxidačně-redukčního potenciálu dokáže určit, zda je v odpadní vodě přítomen kyslík a kdo je jeho zdrojem. Díky hodnotě ORP jsme také schopni říct v jaké oblasti se odpadní voda pohybuje, zda je v aerobní oblasti, anoxické oblasti, nebo anaerobní oblasti. Měření probíhalo pomocí digitálního multimetru HQ40D od Americké firmy HACH. Jedná se o univerzální digitální zařízení, které dokáže pomocí elektrod měřit pH, rozpuštěný kyslík, ORP atd. záleží vždy na sondě, která je v tu dobu k zařízení připojena. Pro naše účely měření byla vybrána právě sonda, která měří teplotu a ORP odpadní vody. Sonda byla umístěna do nátoku na čerpací stanice těsně za objekty mechanického předčištění (Obrázek 4.4 měření ORP v nátoku na ČS).

#### Vlastnosti digitálního multimetru HQ40D:

- Počet záznamů:  $500$  (interval  $15$  min =  $5$  dní měření,  $30$  min =  $10$  dní měření).
- Rozsah měření:  $\pm 1500$  mV.
- Přesnost:  $\pm 0.1$  mV.
- Zvolená sonda: záznam ORP a teploty.



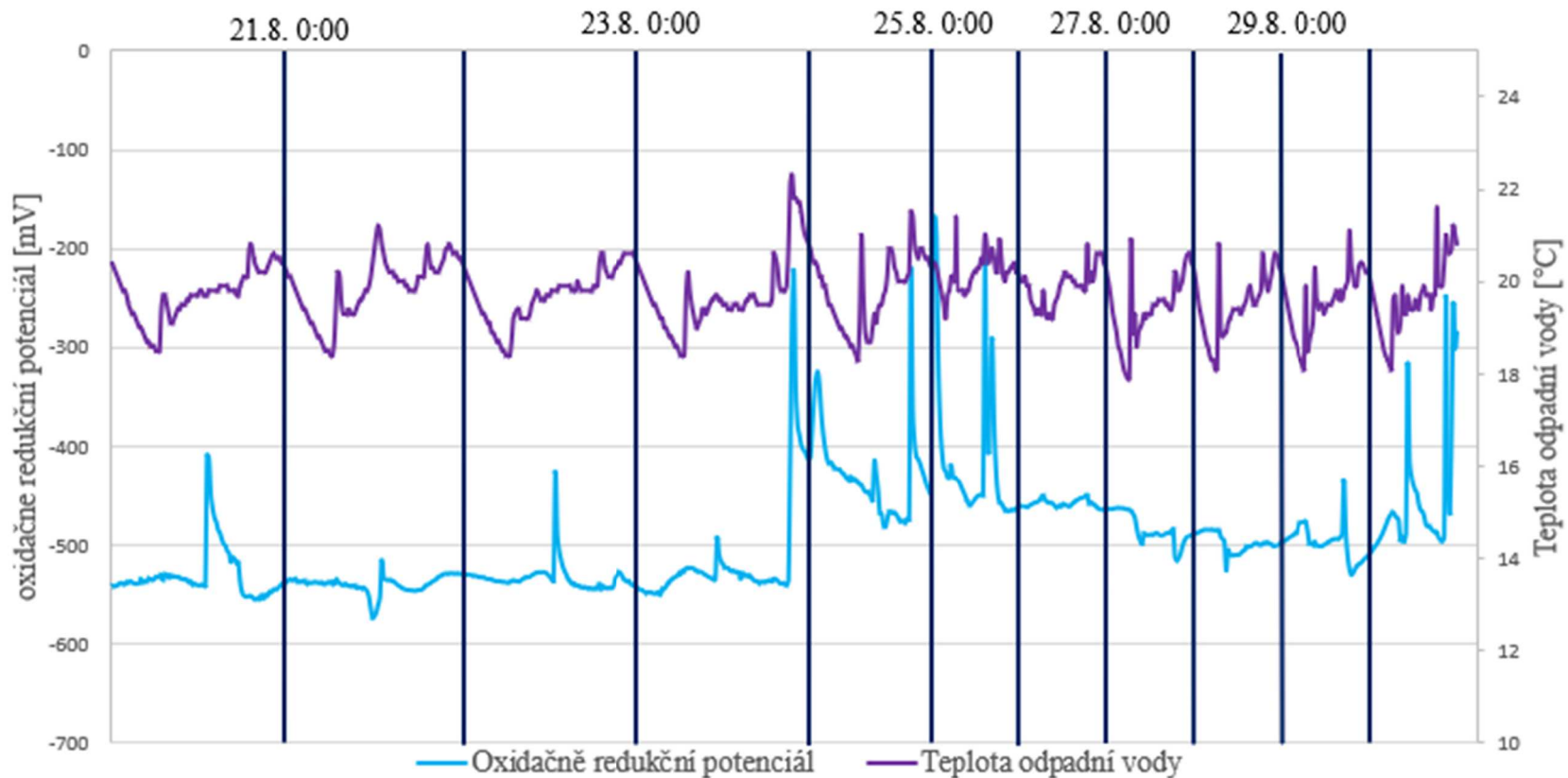


Obrázek 4.4 Měření ORP na vtoku na ČS

Měření ORP probíhalo celkem ve dvou intervalech. Prvním obdobím bylo 20.8. – 30.8. 2018. Toto období bylo charakteristické svými vysokými teplotami, kde polední maximum dosahovalo teploty až 32 °C. Právě tato vysoká teplota by měla nahrává urychlení reakcí v odpadní vodě což by mělo mít za následek vyšší tvorbu sulfanu. Tento měřený úsek byl ovlivněn i častými dešťovými srážkami, které ředily odpadní vodu, vedly ke zvýšeným průtokům a prudkým poklesům teploty. Právě díky těmto faktorům nelze úplně přesně vyvozovat nějaké závislosti a faktory ovlivňující hodnoty ORP. Cílem tohoto měření bylo zjistit průběh a rozmezí ORP přitékající odpadní vody v určitém časovém období při odlišných venkovních teplotách. Ihned po zapojení multimetru a odečtení první hodnoty na něm bylo více méně jasné jaká odpadní voda na čerpací stanici natéká. Prvotní odečtená hodnota byla -428.3 mV což znamená, že odpadní voda přitékající na ČS je striktně anaerobní a všechen volný kyslík je již vyčerpán. Právě odpadní voda tohoto charakteru s kombinací anaerobních podmínek ve výtlačku má veškeré předpoklady k tvorbě zápachajícího sulfanu v předávací šachtě, kam je výtlačk zaústěn. V odpadní vodě, která má  $ORP < -200$  mV probíhá fermentace za vzniku sulfanu a methanu což je přehledně znázorněno v kapitole 2.2.3 na obrázku 2.3 Znázornění procesů v odpadní vodě v souvislosti s ORP.

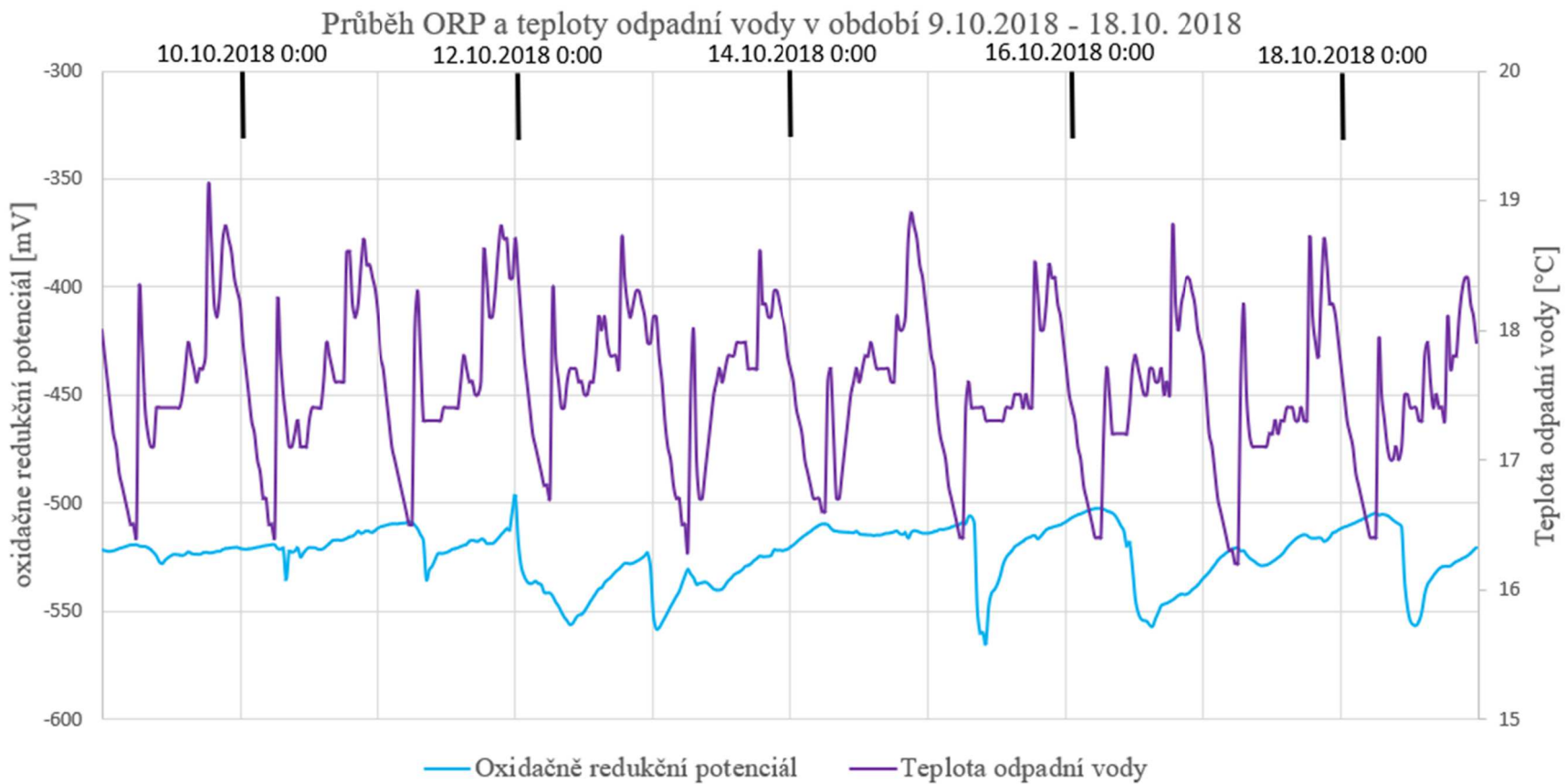
Dalším obdobím bylo 9.10. – 18.10. 2018. V tomto období dosahovaly maxima teplot okolo 20 °C a srážek bylo minimum. Díky tomu už nebyl rozptyl ORP tak velký jako v předchozím období.

Průběh ORP a teploty odpadní vody v období 20.8.2018 - 30.8. 2018



Obrázek 4.5 ORP v ČS za období 20.8. - 30.8. 2018

- Maximální hodnota ORP -167 mV.
- Minimální hodnota ORP -574 mV.
- Průměrná hodnota ORP -497 mV.
- Na grafu můžeme vidět výkyvy ve dnech 24.8. a 30.8., které byly způsobeny srážkovými úhrny.



Obrázek 4.6 ORP v ČS za období 9.10. – 18.10. 2018

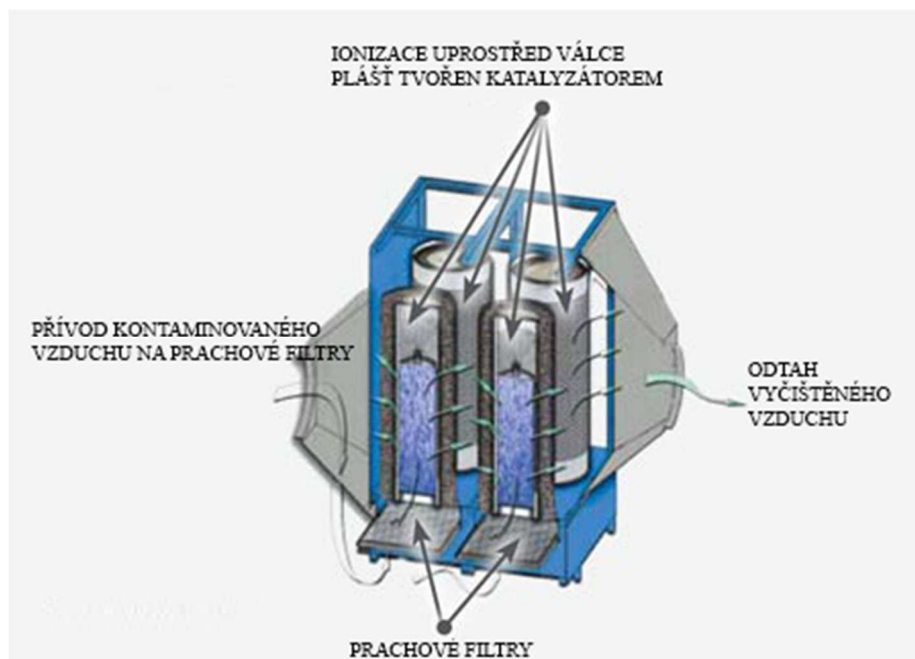
- Maximální hodnota ORP -497 mV.
- Minimální hodnota ORP -565 mV.
- Průměrná hodnota ORP -523 mV.
- V tomto měřeném období se hodnota již ustálila okolo hodnoty -520 mV.

### 4.3 MĚŘENÍ KONCENTRACE SULFANU V PŘEDÁVACÍ ŠACHTĚ

On-line monitoring sulfanu probíhal za pomoci OdaLogu TYP L2, který byl popsán v předchozí kapitole 2.7. Pro měření byla vybrána předávací šachta, ve které ústí výtlak do gravitační kanalizace. Tato šachta je znázorněna na obrázku 4.1 mapa zájmového území jako bod 2. Právě toto místo je velmi problematické, kdy převážně v letních měsících dochází k uvolňování sulfanu ve vyšší míře do ovzduší. Podle dlouhodobé zkušenosti provozovatelů není problémové nejen toto místo, ale stížnosti na zápach se objevují i dále po této stoce směrem do centra Ivančic. Měření probíhalo v několika etapách s ohledem na pokrytí různých zatěžovacích stavů, které nastávaly na tomto území, ale také s ohledem na kapacitu měřicího přístroje. Nejjednodušším opatřením, které je v současné době na tomto problematickém úseku je jsou kloubové litinové poklopy v plném provedení. Dále jsou problematické šachty osazeny filtračním košem se sorpční náplní. Z důvodu osazení plazmochemické jednotky, která je popsána v následující kapitole byl vyjmut z předávací šachty filtrační koš s náplní, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků účinnosti plazmochemické jednotky.

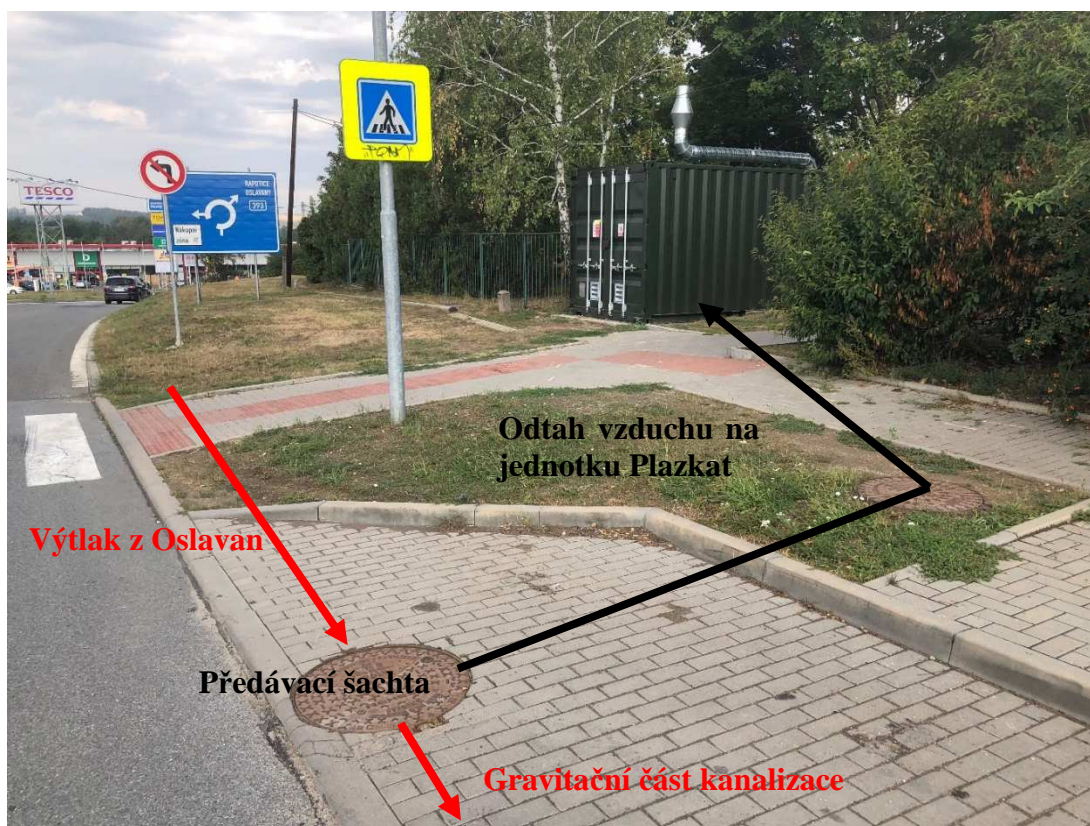
#### 4.3.1 Odstranění sulfanu pomocí plazmové technologie

Opatřením, které je v současné době v testovací fázi je odstraňování sulfanu pomocí plazmové technologie-Plazkat. Zařízení je velmi kompaktní a dodává se ve formě kontejneru. Technologie pro odstranění sulfanu ze vzduchu pracuje na principu plazmochemického a katalytického čištění. Čištění probíhá ve třech fázích z toho první fází je filtrování nasávaného vzduchu přes prachový filtr, který zabraňuje zanesení výbojek a celého systému. Další fází je plazmo-chemická etapa, kde dochází k oxidování molekul za pomoci rychle letících elektronů. V této fázi dochází k narušení molekulárních vazeb a vzniku nestabilních komplexů a radikálů. V poslední třetí fází katalytické dochází k hluboké oxidaci, rozkladu a stabilizaci jednoduchých molekulárních forem. Katalyzátor je vyroben dle potřeb odbourání látky z čištěného vzduchu, nejčastěji se jedná o oxidy hliníků. Katalyzátor je potřeba také regenerovat, což probíhá po asi 180 dnech, při částečném provozu za pomoci ozonu. Plazkat je vysoce účinné zařízení s efektivitou odstranění zápachajících látek až 95 %. Další výhodou je že odstranění škodlivých látek probíhá bez vzniku odpadu. [50]



Obrázek 4.7 Schéma plazmové technologie Plazkat [50]

Samotná jednotka Plazkat je umístěna nedaleko předávací šachty. Zařízení se nachází v plechovém kontejneru a nevyžaduje žádné specifické požadavky pro umístění. Stačí pouze betonová deska, na kterou se kontejner umístí a přívod vysokého napětí, který slouží jako zdroj energie pro technologii jednotky. Z jednotky je vyvedeno skrz vedlejší šachtu plastové potrubí, kterým je podtlakem nasáván vzduch z předávací šachty.

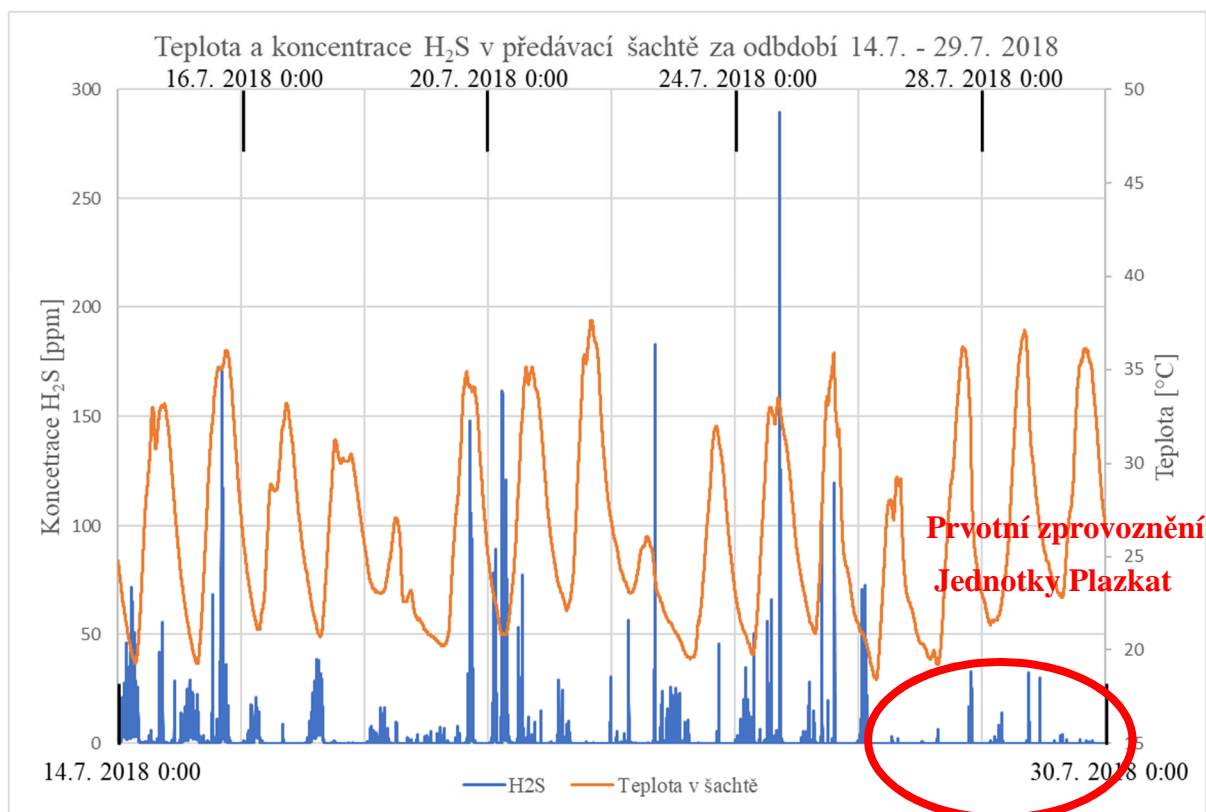


Obrázek 4.8 Umístění plazmové jednotky Plazkat



Obrázek 4.9 Detail potrubí z jednotky Plazkat

Jednotka Plazkat byla poprvé zprovozněna v krátkém období od 25.7. – 31.7. v tomto období probíhalo nastavování a „ladění“ provozních parametrů. Výsledky naměřených hodnot sulfanu jsou patrné z obrázku 4.10. Zařízení pro záznam koncentrace sulfanu OdaLog byl v tomto případě umístěn v hloubce asi 10 cm pod poklopem, tak aby bylo zjištěno kolik sulfanu uniká do ovzduší.



Obrázek 4.10 Měření koncentrace sulfanu v předávací šachtě, pod kanalizačním poklopem v období od 14.7. - 30.7. 2018

Z grafu na obrázku 4.10 je patrné, že při již při prvotním testovacím zprovoznění došlo k výraznému úbytku koncentrace sulfanu v předávací šachtě. V grafu lze vidět že před prvotním spuštěním dosahovaly koncentrace sulfanu v předávací šachtě extrémů okolo 150 ppm a průměrná denní koncentrace činila koncentraci 3,5 ppm. Po prvotním spuštění jednotky Plazkat došlo k výraznému omezení špičkových extrémů koncentrací a také ke zkrácení doby jejich trvání. Po dobu prvotního testování klesla průměrná koncentrace sulfanu v předávací šachtě na 0,6 ppm. Naměřené extrémní koncentrace dosahovaly maximálních hodnot 35 ppm a jejich doba trvání byla asi čtvrtinová oproti předchozím extrémům (původní extrémy byly sníženy asi 5x a doba jejich trvání asi 4x).

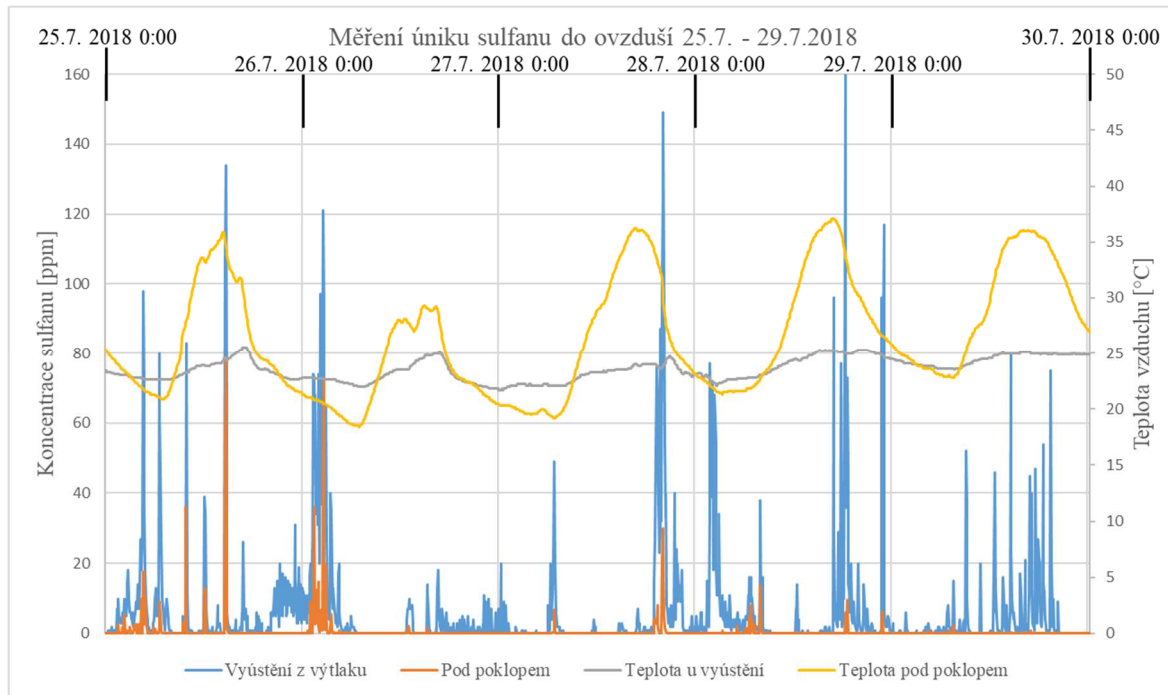
Hodnoty z výstupu jednotky Plazkat byly při jeho zprovoznění namátkově ověřeny sondou OdaLog Loger L2 a dosahovali orientačních koncentrací sulfanu okolo 0.1 – 0.15 ppm. Z dostupných naměřených údajů lze usoudit že jednotka Plazkat při prvotním zprovoznění pracovala na účinnost odstranění sulfanu v rozmezí 95-97 %. Bohužel další hodnoty a výsledky z jednotky Plazkat nebyly poskytnuty a při dalších měřeních již byla jednotka odstavena což je patrné z hodnot, které byly poté naměřeny.

### 4.3.2 Množství úniku sulfanu do ovzduší

Množství úniku sulfanu do ovzduší bylo měřeno pomocí dvou OdaLogů L2, které byly umístěny v různých výškách předávací šachty. První OdaLog L2 byl umístěn asi 0.5 m nad dnem předávací šachty díky čemuž bylo zjištěno kolik v předávací šachtě vzniká sulfanu. Druhý OdaLog L2 byl umístěn na plastový koš, který slouží k umístění filtrační náplně pro odstranění sulfanu. Náplň z koše byla vyjmuta, koš byl vrácen do šachty prázdný a na plastový koš se položil OdaLog L2 čím bylo dosaženo hloubky odečtu koncentrace sulfanu asi 10 cm pod poklopem.



Obrázek 4.11 Detail umístění prvního OdaLogu L2



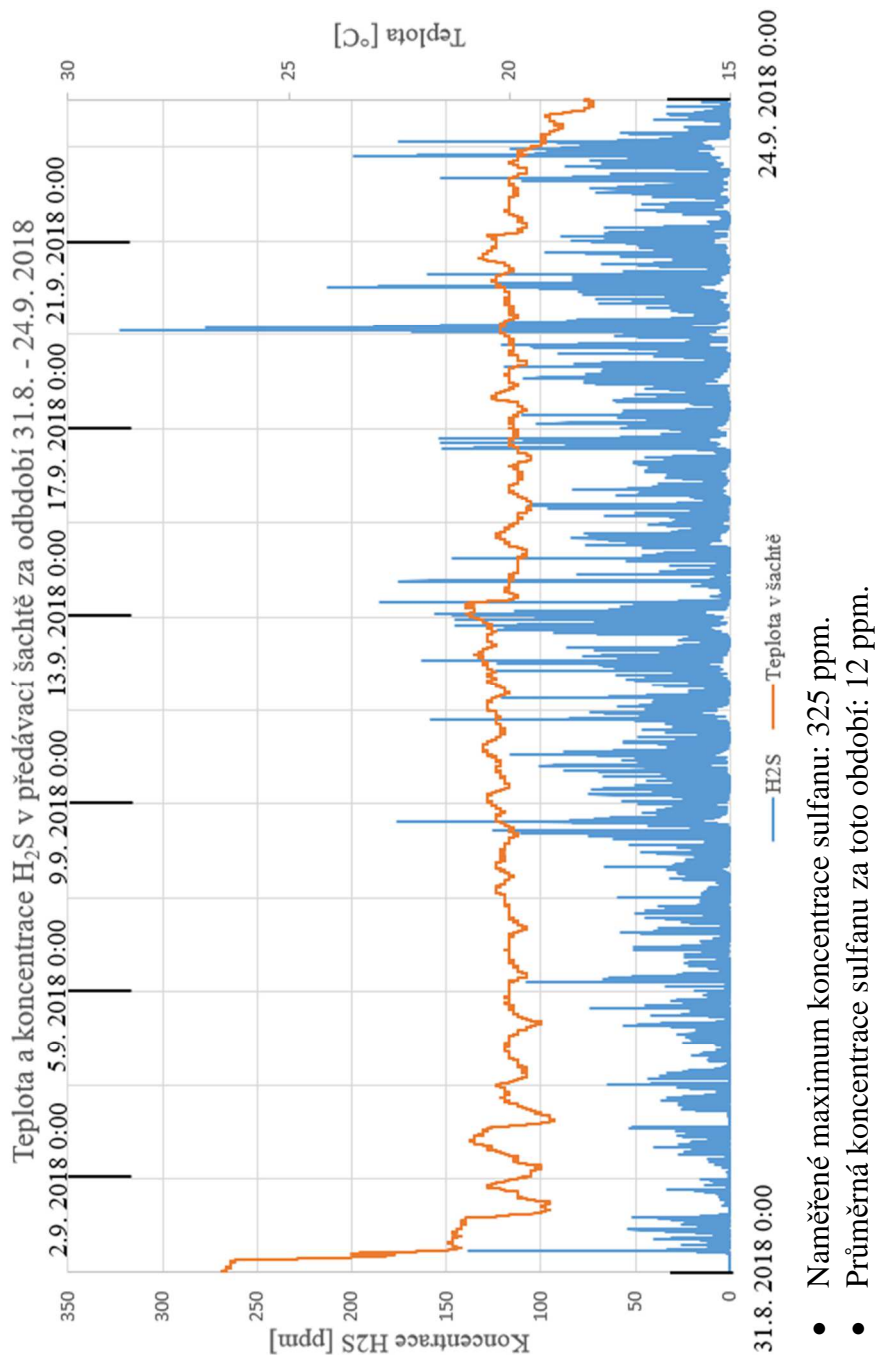
**Obrázek 4.12 Rozdílné umístění OdaLogů L2**

Z grafu na obrázku 4.12 je patrné že ne všechen sulfan co je v šachtě unikne ven hned u předávací šachty. Značná část sulfanu je díky proudění vzduchu v šachtách unášena dále po proudu kanalizace. Toto tvrzení je potvrzeno také provozovatelem stokové sítě, kterému chodí stížnosti na zápach z kanalizace i od lidí co bydlí dále podél tohoto problematického úseku kanalizace. Z grafu na obrázku 4.12 je znázorněno právě měření koncentrace sulfanu u vyústění a pod poklopem předávací šachty. V tomto období dosahoval koncentrace sulfanu v předávací šachtě extrémů okolo 120 ppm. Průměrná hodnota v předávací šachtě pak byla 6.5 ppm. Zatímco pod kanalizačním poklopem předávací šachty byly hodnoty o dost menší extrémně byly zaznamenány okolo 80 ppm. Průměrná hodnota pod kanalizačním poklopem předávací šachty pak byla 0.5 ppm. Z tohoto měření vyplívá že průměrně pouze asi 10 % z celkového sulfanu, který se vyskytuje v předávací šachtě projde až ke kanalizačnímu pokopu předávací šachty. Jsou zde ale i extrémě, kdy ke kanalizačnímu poklopu předávací šachty prošla koncentrace sulfanu 80 ppm.



### 4.3.3 Stanovení denního průběhu koncentrace sulfanu v předávací šachtě

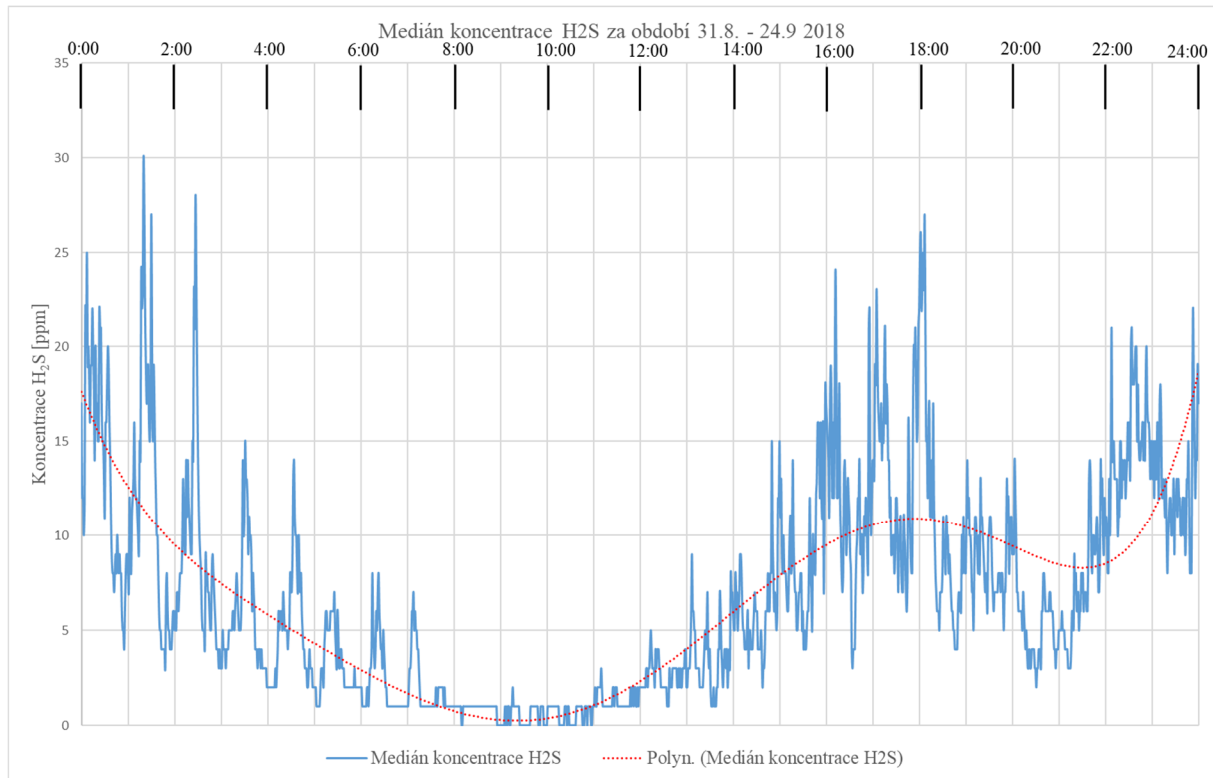
Posledním měřením, které bylo uskutečněno v předávací šachtě bylo dlouhodobé měření koncentrace sulfanu. Toto měření probíhalo v období od 31.8. – 24.9. což dává celkový záznam výskytu koncentrace sulfanu za 25 dní. Právě tato dlouhodobá řada je vhodná pro stanovení denního průběhu koncentrace sulfanu v předávací šachtě.



Obrázek 4.13 Dlouhodobé měření koncentrace sulfanu v předávací šachtě

Z grafu na obrázku 4.13 lze vidět že koncentrace sulfanu v šachtě ve většině případů kopíruje křivku průběhu teploty v šachtě. Při maximální denních teplotách je také koncentrace sulfanu v předávací šachtě nejvyšší a s klesající teplotou klesá také koncentrace sulfanu.

Pro stanovení samotné křivky denního průběhu koncentrace sulfanu v předávací šachtě byl použit medián naměřených hodnot z 25denního měření. Vytvořený graf byl poté proložen polynomem se spolehlivostí 60 % pro přehlednější znázornění mediánu koncentrace sulfanu.



**Obrázek 4.14 Medián denního průběhu koncentrace sulfanu**

Na obrázku 4.14 jsou vidět 3 extrémy ve kterých se tvoří nejvíce sulfanu. Všechny tyto extrémy přímo souvisí právě s množstvím vody, které přitéká na čerpací stanici v Oslavanech. Medián koncentrace sulfanu je oproti průběhu čerpání Obrázek 4.3 opožděn asi o 3-4 hodiny. Právě tento čas byl vypočten jako doba zdržení ve výtlačném potrubí. První extrém tedy nastává mezi 16:00 a 19:00. Právě ve 12:00 tedy o 4 hodiny dříve nastává na čerpací stanici první špička čerpání odpadní vody. Dalším extrém tvorby sulfanu je mezi 22:00 a 2:00. Tento čas koresponduje s maximální čerpáním na čerpací stanici, které nastává mezi 20:00-22:00. Posledním extrémem je minimum, které trvá zhruba od 8:00 – 11:00, právě okolo 5:00 na čerpací stanici dochází k minimálnímu čerpání odpadní vody.

## 4.4 SHRNU TÍ ON-LINE MĚŘENÍ

Měření na čerpací stanici v Oslavanech ukázalo že odpadní voda, která sem přitéká má veškeré předpoklady k tvorbě zápachajících plynů, a to zejména sulfanu. Prvním faktorem vedoucím ke špatné kvalitě přitékající odpadní vody na čerpací stanici je velká rozsáhlost odkanalizovaného území v kombinaci se špatným stavem kanalizační sítě. Například obec Padochov, z které jsou vedeny odpadní vody na čerpací stanici je vzdálena vzdušnou čarou 3 km. Odpadní voda, která proudí na čerpací stanici také prochází přes 2 dílčí čerpací stanice, které slouží k překonání výškových rozdílů a dodržení minimálních sklonů. Na kanalizační síti se také nachází větve, která je odkanalizována pomocí tlakového systému. Všechny tyto faktory mají za následek dlouhou dobu zdržení odpadní vody, která přitéká na čerpací stanici. Tato dlouhá doba zdržení je pak ještě navýšena o dobu, kterou odpadní voda stráví ve výtlačném potrubí, než je vůbec dopravena do předávací šachty v Ivančicích.

Souhrn faktorů ovlivňujících negativně dobu zdržení na řešené lokalitě:

- Odkanalizování rozsáhlé oblasti.
- 2 čerpací stanice na síti před samotnou čerpací stanicí Oslavany.
- Část odkanalizování pomocí tlakového systému.
- Špatný stav kanalizační sítě.
- Dlouhý výtlač cca 2.5 km do města Ivančice.

Odpadní voda, která přitékala na čerpací stanici měla hodnotu ORP okolo -500 mV. Tato hodnota potvrzuje dlouhou dobu zdržení v kanalizaci a značí že v odpadní vodě není žádný volný kyslík a voda se nachází ve striktně anaerobní oblasti. Maximální hodnota, která byla během měření naměřena byla -167 mV i tato hodnota ukazuje stále na anaerobní oblast.

V poslední části on-line měření bylo zaměřeno na koncentraci sulfanu v předávací šachtě v městě Ivančice. První část měření proběhla na konci července, kdy byla instalována a poloprovodně testována metoda odbourávání sulfanu pomocí plazmové technologie. Tato technologie se již při testovacím efektu projevila jako velmi efektivní a odbourala okolo 95 % sulfanu v předávací šachtě. Bohužel byla po pětidenním testování jednotka odstavena což se také ukázalo v následujícím měření.

V další části měření se testovalo, kolik ze vzniklého sulfanu v předávací šachtě je schopno doputovat až k poklopu předávací šachty. Testování ukázalo, že průměrně asi 10 % vzniklého sulfanu dorazí až ke kanalizačnímu poklopu předávací šachty zbylá část je unášena dále v gravitační části kanalizace. Bylo zde i pár extrémů ve kterých se objevila mnohem větší koncentrace sulfanu u kanalizačního poklopu předávací šachty.

V poslední části se z řady měření za dobu 25 dní stanovil medián denního průběhu koncentrace sulfanu v předávací šachtě. Z tohoto měření vyplynulo že se nejvíce sulfanu v předávací šachtě tvoří večer okolo 2. hodiny. Dalším extrémem byl čas mezi 16:00 – 19:00. Tyto zvýšené množství korespondují s množstvím čerpané odpadní vody z čerpací stanice s ohledem na prodlevu, než odpadní voda doputuje z čerpací stanice do předávací šachty.

## 5 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá možnostmi odstranění zápachu na stokové síti. Zápach, který se vytváří na stokové síti je z převážné části zapříčiněn sulfanem, jenž se uvolňuje z odpadní vody na problematických místech. Právě sulfan jakožto nejrizikovější složka zápachu byl předmětem řešení této diplomové práce. Sulfan kromě zápachu je také toxický pro lidský organismus a způsobuje biogenní síranovou korozi na betonovém potrubí a šachtách. V současné době existuje mnoho možností, jak tvorbě sulfanu zabránit a jak jeho koncentrace zaznamenávat. Volba řešení je však oblast od oblasti jiná a je potřeba každý stokový systém řešit individuálně. Před nasazením určité technologie je vhodné provést on-line monitoring za účelem vytipování problémových míst, zjištění charakteru odpadní vody a průběhu tvorby sulfanu v dané lokalitě. Díky monitoringu lze odhalit příčiny vzniku sulfanu a navrhnout potřebná opatření vedoucí k jeho odstranění.

V první kapitole rešerše je popsána problematika zápachu v souvislosti s historií. Dále je popsáno, jak je zápach vnímán a jakými legislativními předpisy se kontroluje na mezinárodní, Evropské a České úrovni.

Následující druhá kapitola již pojednává o zápachu na stokové síti. V této kapitole jsou vypsány hlavní vlastnosti sulfanu, jeho formy a způsoby kterým se vytváří. Dále jsou zde uvedeny souvislosti, které ovlivňují vznik a množství sulfanu v kanalizaci. Další kapitoly by se daly nazvat hlavními kapitolami rešeršní části. V těchto kapitolách jsou vypsány primární a sekundární možnosti odstranění sulfanu na stokové síti. Primární možnosti vycházejí nejčastěji z dávkování chemikálií do odpadní vody. Tyto chemické přípravky zabráňují tvorbě sulfanu v odpadní vodě, tím pádem řeší i problém týkající se biogenní síranové koroze. Sekundární možnosti odstranění se již týkají odstranění sulfanu z ovzduší. Tyto metody využívají buď nuceného odtahu z kanalizace za pomoci dmyhadla na zařízení, které zápach odstraní, nebo statického nosiče s náplní, která adsorbuje složky zápachu. Tato metoda, avšak nezabraňuje vzniku biogenní síranové koroze. Jak primární, tak sekundární metody skýtají mnoho variant za pomoci, kterých lze zabránit úniku sulfanu do ovzduší. Volba metody už je pak ovlivněna místem vzniku zápachu, zkušenostmi provozovatele a v neposlední řadě finančním rozpočtem. Poslední část rešerše se věnuje způsobům měření zápachů dle ČSN a přístrojům, které slouží k měření koncentrace sulfanu.

Třetí kapitola se týká praktické části diplomové práce. V této kapitole je popsáno laboratorní měření filtračních náplní. Vybrané filtrační náplně byly testovány na testovací koloně a zkoumala se jejich schopnost odbourání sulfanu ze vzduchu. Testované filtrační náplně byly rozděleny do tří kategorií. První kategorií byly náplně na bázi uhlíku. V této kategorii bylo hlavním zástupcem aktivní uhlí, které sloužilo jako etalon pro testování a potvrdilo své schopnosti odbourat téměř veškerý sulfan i při vyšších koncentracích. Dalšími zástupci této kategorie byly biochary. Zde se ukázalo, že velmi záleží na materiálu, ze kterého byl biochar vytvořen. Například biochar z drceného pneu prokazoval velmi dobré schopnosti odbourání sulfanu obdobné jako u aktivního uhlí, ostatní biochary ovšem již nebyly tak účinné a některé dokonce neodbouraly vůbec žádný sulfan. Další kategorií byly přírodní materiály, které se využívají jako náplň do biofiltrů. Zde se ukázalo, že pokud materiálu není dodána potřebná vlhkost a bakterie, tak není sám o sobě schopen žádný sulfan odbourat. Poslední kategorií byl

odpad ze stavební činnosti. Tato kategorie byla zvolena s úmyslem využití stavebních a demoličních odpadů, jež vychází ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech. Bohužel materiály zařazené do této kategorie nevykazovaly žádné tendence k odbourání sulfanu a obdobně jako u přírodních materiálů by pro další testování bylo potřeba materiál nějakým způsobem obohatit.

V poslední kapitole je popsáno on-line měření, které probíhalo v Ivančicích a na čerpací stanici v Oslavanech. V této kapitole je popsána i čerpací stanice, která úzce souvisí s předávací šachtou, do které je zaústěno výtlačné potrubí. Právě v místě zaústění výtlačného potrubí vzniká převážná část sulfanu, který je důvodem stížností místních obyvatel. První část měření tedy proběhla na čerpací stanici v Oslavanech za účelem zjištění oxidačně redoxního potenciálu přitékající odpadní vody při různých zatěžovacích stavech. Z tohoto měření vyplynulo, že již voda, která přitéká na čerpací stanici má veškeré předpoklady k tvorbě sulfanu. Další měření se již týkalo předávací šachty, do které je vyústěn výtlak z čerpací stanice Oslavany. V první části on-line monitoringu proběhlo ověření funkčnosti nově instalované plazmové technologie-Plazkat, která odsává kontaminovaný vzduch z předávací šachty. Tato moderní technologie se ukázala jako velmi účinná již při testovacím provozu. Bohužel po testovacím provozu byla jednotka odstavena na více jak měsíc a z toho důvodu nebyly naměřeny žádné další data týkající se jednotky Plazkat. Další měření proběhlo opět v předávací šachtě, kde byla snaha za pomoci 2 detektorů sulfanu určit kolik sulfanu je schopno se dostat až k poklopu předávací šachty. Z měření vyplynulo že průměrně asi pouze 10 % z celkové koncentrace sulfanu v předávací šachtě se dostane až ke kanalizačnímu poklopu předávací šachty. V poslední části měření proběhlo stanovení denního průběhu koncentrace sulfanu v předávací šachtě. Z měření, které probíhalo 25 dní byl vytvořen denní medián průběhu koncentrace, který ukázal že maximální koncentrace sulfanu nastávají v denních maximech spotřeby vody, kdy je i největší nátok na čerpací stanici. Maxima koncentrace sulfanu v předávací šachtě jsou opožděny asi o 3-4 hodiny což bylo způsobeno dobou zdržení ve výtlačném potrubí.

Přínosem diplomové práce bylo otestování filtračních materiálů, které měly zcela odlišné vlastnosti. Například některé z biocharů by po obohacení bakteriemi mohli být velmi účinné. V návaznosti na diplomovou práci by bylo vhodné filtrační materiály nejdříve obohatit a poté otestovat jejich účinnost. Také on-line měření se ukázalo jak přínosné a odhalilo některé důležité souvislosti spojené s tvorbou sulfanu.

## 6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Historie kanalizace* [online]. 2017 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <http://www.vodazakladzivota.cz/clanky/58-vylet-do-historie-nejen-te-prazske-kanalizace>
- [2] *Kanalizační síť* [online]. Brno [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <http://www.bvk.cz/o-spolecnosti/odvadeni-a-cistení-odpadnich-vod/kanalizacni-sit/>
- [3] Moravský svaz vědeckotechnických společností. *Studie emise pachových látek ze zemědělských zdrojů* [online]. Praha, 14.11.2004, 43 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: [http://www.cschi.cz/odour/files/czech/studie\\_zem.pdf](http://www.cschi.cz/odour/files/czech/studie_zem.pdf)
- [4] *Sirovodík (Sulfan) ve vodě* [online]. Roztoky [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://euroclean.cz/problemy-vody/sirovodik/>
- [5] JANČÁŘOVÁ, Ilona. *Mezinárodní smlouvy na ochranu životního prostředí*. Brno: Masarykova univerzita, 1998. ISBN 80-210-1723-6.
- [6] DAMOHORSKÝ, Milan. *Právo životního prostředí*. 3. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2010. Beckovy právnické učebnice. ISBN 978-80-7400-338-7.
- [7] Vyhláška č. 415/2012 Sb., vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.
- [8] Eric C.Sivret, Bei Wang, Gavin Parsci a Richard M.Stuetz. *Prioritisation of odorants emitted from sewers using odour activity values*[online]. In: UNSW Water Research Centre, School of Civil and Environmental Engineering, The University of New South Wales, Sydney, NSW, 2052, Australia, 2016, s. 88 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135415302852>
- [9] *MOŽNOSTI ŘEŠENÍ ZÁPACHU VE VÝROBNÁCH A V KANALIZACI* [online]. Brno: Ing. Karel Plotěný, 2017 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/750.moznosti-reseni-zapachu-ve-vyrobnach-a-v-kanalizaci>
- [10] *Operation of municipal wastewater treatment plants*. 6th ed. New York: McGraw Hill, c2008. ISBN 9780071543675.
- [11] HVITVED-JACOBSEN, Thorkild. *Sewer processes: microbial and chemical process engineering of sewer networks*. Boca Raton, Fla.: CRC Press, c2002. ISBN 1-56676-926-4.
- [12] MALANÍK, S.: Stoková síť poškozená síranovou korozí betonu. NO-DIG, Ročník 11 2/2005. str. 14 - 19.
- [13] *Hydrogen sulfide fact* [online]. USA, 2017 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: [https://www.osha.gov/OshDoc/data\\_Hurricane\\_Facts/hydrogen\\_sulfide\\_fact.pdf](https://www.osha.gov/OshDoc/data_Hurricane_Facts/hydrogen_sulfide_fact.pdf)
- [14] *Jak vzniká odpadní voda a její složení* [online]. [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://www.hellstein.cz/jak-vznika-odpadni-voda-a-jeji-slozeni>
- [15] Ing. Radim Mífek. *Vliv kanalizační sítě na kvantitu a kvalitu dopravené odpadní vody na ČOV*. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/kanalizace-splaskova/7813-vliv-kanalizacni-site-na-quantitu-a-kvalitu-dopravene-odpadni-vody-na-cov>. 2011.
- [16] P. Churchill, D. Elmer *Hydrogen sulfide odor control in wastewater collection systems* NEWEA J., 33 (1999), s. 57-63

- [17] Dornelle S. Thomas. *Reducing Hydrogen Sulfide (H<sub>2</sub>S) Concentrations at Wastewater Collection Systems and Treatment Facilities Using Chemical Oxidation* [online]. In: Florida State University, 2007, s. 89 [cit. 2018-12-16].
- [18] APGAR, Dirk, Jay WITHERSPOON a Chris EASTER. *Minimization of odors and corrosion in collection systems: phase I*. London: Co-published by IWA Pub., c2007. ISBN 9781843397915.
- [19] ASOCIACE ČISTÍRENSKÝCH EXPERTŮ ČESKÉ REPUBLIKY. *METODICKÁ PŘÍRUČKA POSOUZENÍ STOKOVÝCH SYSTÉMŮ URBANIZOVANÝCH POVODÍ*. Dostupné z: [http://www.opzp2007-2013.cz/soubor-ke-stazeni/17/5237-metodicka\\_prirucka\\_stokovy\\_system\\_090604.pdf](http://www.opzp2007-2013.cz/soubor-ke-stazeni/17/5237-metodicka_prirucka_stokovy_system_090604.pdf). 2009.
- [20] Bc. Adéla Diepoltová. *Patogeneze infekčních onemocnění vyvolaných biofilm formujícími mikroorganismy* [online]. Farmaceutická fakulta v Hradci Králové (FaF), 2017 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/172586/>
- [21] ČSN EN 16932-1, *Venkovní systémy stokových sítí a kanalizačních přípojek - Čerpací systémy - Část 1: Obecné požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [22] Kyoohong Park, Hongsik Lee, Shaun Phelan, Shanika Liyanaarachchi, Nyoman Marleni, Dimuth Navaratna, Veeriah Jegatheesan a Li Shu. *Mitigation strategies of hydrogen sulphide emission in sewer networks A review* [online]. 2014 [cit. 2018-12-16]. DOI: 10.1016/j.ibiod.2014.02.013. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/261139404\\_Mitigation\\_strategies\\_of\\_hydrogen\\_sulphide\\_emission\\_in\\_sewer\\_networks\\_-\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/261139404_Mitigation_strategies_of_hydrogen_sulphide_emission_in_sewer_networks_-_A_review)
- [23] Ing. Marek Horák. *Analýza stárnutí vybraných materiálů stokových sítí* [online]. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/36244/18714.pdf?sequence=5&isAllowed=y>. DISERTAČNÍ PRÁCE. FAKULTA STAVEBNÍ ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ. Vedoucí práce: Doc. Ing. JAROSLAV RACLAVSKÝ, Ph.D.
- [24] Petr Hlušík, Ivo Korytář, Stanislav Malaník, Petr Hlavínek. *Eliminace zápachu ze stokové sítě* [online]. [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <http://www.vodovod.info/index.php/kanalizace-a-cov/378-eliminace-zapachu-ze-stokove-site#.XBZZwGhKiUn>
- [25] ZHANG, Lehua, Peter DE SCHRYVER, Bart DE GUSSEME, Willem DE MUYNCK, Nico BOON a Willy VESTRAETE. *Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: A review*. *Water Research* [online]. 2008(42), 1-12 [cit. 2017-10-21]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S004313540700745>
- [26] Jay Boyd. *Odor & Corrosion Control in Collection Systems* [online]. 66 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: [https://www.cwea.org/sarbs/pdfs/Boyd\\_Odor%20and%20Corrosion%20Control%20in%20Collection%20Systems.pdf](https://www.cwea.org/sarbs/pdfs/Boyd_Odor%20and%20Corrosion%20Control%20in%20Collection%20Systems.pdf)

- [27] Wastewater Engineering Services Division Bureau of Sanitation. *SEWER ODOR CONTROL MASTER PLAN*. 2011, 168. Dostupné z: <https://www.lacitysan.org/cs/groups/public/documents/document/y250/mdez/~edisp/cnt013943.pdf>
- [28] Amirreza Talaiekhosravi, Marzieh Bagheri, Amin Goli a Mohammad Reza Talaei Khoosravi. *An overview of principles of odor production, emission, and control methods in wastewater collection and treatment systems* [online]. 2016, 21 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716300196>
- [29] Kristen Waksman & Ifetayo Venner. Liquid Stream Fundamentals: Odor Management and Control. *Water Environment Federation* [online]. 2017, 7 s [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: [https://www.wef.org/globalassets/assets-wef/direct-download-library/public/03---resources/wsec-2017-fs-028-liquid-stream-fundamentals--odor-control\\_final.pdf](https://www.wef.org/globalassets/assets-wef/direct-download-library/public/03---resources/wsec-2017-fs-028-liquid-stream-fundamentals--odor-control_final.pdf)
- [30] METCALF & EDDY a INC. REV. BY GEORGE TCHOBANOGLOUS. *Wastewater engineering: treatment and reuse. Internat. ed., 4. ed.* New York [u.a.]: McGraw-Hill, 2004. ISBN 007124140X.
- [31] Stanislav Malaník. *Postupy pro eliminaci zápachu v místě vyústění kanalizace* [online]. 2012 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <http://vodovod.info/index.php/clanky/kanalizace-a-cov/186-postup-pro-eliminaci-zapachu-v-miste-vyusteni-kanalizace#.XBZidmhKiUI>
- [32] *Wet Scrubbers* [online]. [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://www.nedermanmikropul.com/en/products/wet-scrubbers>
- [33] Ari Shammay, Eric C. Sivret, Nhat Le-Minh, Raquel Lebrero Fernandez, Ian Evanson a Richard M. Stuetz. *Review of odour abatement in sewer networks* [online]. 2016, , 16 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343716303013>
- [34] Trickling filter. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Trickling\\_filter#/media/File:Trickle\\_Filter.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Trickling_filter#/media/File:Trickle_Filter.svg)
- [35] Caroline Crosby, Paul Dunford, Garry Macdonald a Nicholas Berry. *A DETAILED PILOT STUDY OF THE BIOLOGICAL TRICKLING FILTER PROCESS* [online]. , 19 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: [https://www.waternz.org.nz/Attachment?Action=Download&Attachment\\_id=1258](https://www.waternz.org.nz/Attachment?Action=Download&Attachment_id=1258)
- [36] *Carbon Odor Control Systems - MCS Series* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.wateronline.com/doc/carbon-odor-control-systems-mcs-series-0001>
- [37] *MANHOLE ODOR ELIMINATOR* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://www.manholeodoreliminator.com/manhole-odor-eliminator.html>
- [38] *JAK ŘEŠIT PROVOZNÍ PROBLÉMY SE ZÁPACHEM, ANEB EXISTUJÍ I LEVNÉ MOŽNOSTI* [online]. 20.5.2016 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/514.jak-resit-provozni-problemy-se-zapachem-aneb-existuji-i-levne-moznosti>
- [39] *Gelové pláty* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://www.regitas.cz/produkty/gelovePlaty/>



- [40] ČIŠTĚNÍ VZDUCHU, ODSTRANĚNÍ ZÁPACHU [online]. In: s. 2 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [https://www.asio.cz/?download=/\\_fotokatalicka-oxidace/pco\\_prospekt\\_cz.pdf](https://www.asio.cz/?download=/_fotokatalicka-oxidace/pco_prospekt_cz.pdf)
- [41] B. Kotlík, H. Kazmarová, P. Auterská, J. Keder a V. Kraják. *Měření zápachu zápachu v okolí malého zdroje* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [http://www.cschi.cz/odour/files/czech/2006\\_Olsanka\\_Kotlik.pdf](http://www.cschi.cz/odour/files/czech/2006_Olsanka_Kotlik.pdf)
- [42] ČSN EN 12255-9. *Čistírny odpadních vod – Část 9: Kontrola pachů a odvětrání*. Praha, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003.
- [43] *JAK SE MĚŘÍ PACHOVÉ LÁTKY* [online]. 2016 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://nechcemezitvesmradu.cz/jak-se-meri-pachove-latky/>
- [44] *ODALOG® TYPE L2* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://odalog.com/wp-content/uploads/2017/02/1407995247-Odalog-Update-Logger-L2-L-2.pdf>
- [45] *OdaLog L2 Hydrogen Sulfide Gas Logger* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://detectioninstruments.com/odalog-l2-hydrogen-sulfide-gas-logger/>
- [46] *DETEKTOR PLYNŮ (VÝBUŠNÉ PLYNY, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CO) GASALERT MICRO CLIP XL* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.detektor-shop.cz/osobni-detektory-plynu/30-gasalert-micro-clip-vodotesny-detektor-plynu-h2s-co-o2-vybusne-plyny.html>
- [47] Michael Pohorelý, Jaroslav Moško, Boleslav Zach, et al. Materiálové a energetické využití suchého stabilizovaného čistírenského kalu – výroba biocharu středně-teplotní pomalou pyrolýzou [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [http://www.cpga.cz/files/prednasky/0317\\_Pohorely\\_a\\_kol\\_fulltext.pdf](http://www.cpga.cz/files/prednasky/0317_Pohorely_a_kol_fulltext.pdf)
- [48] *Mapa zájmového území* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [49] *STRATE System: čerpací stanice AWALIFT schéma* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://www.strate.com/index.php?strate-downloads#>
- [50] *PlazKat plant design* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [http://www.e-pasc.eu/equipment\\_en\\_05.php](http://www.e-pasc.eu/equipment_en_05.php)
- [51] *Biofiltry as bioair* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/biofiltry-as-bioair>
- [52] *Osobní sdělení* [Vodárenská akciová společnost a.s.]. [cit. 2018-7-25].

---

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 Složky zápachu na stokové síti [9].....	15
Tabulka 2.2 Základní vlastnosti plynného sulfanu [10].....	16
Tabulka 2.3 Účinky vystavení sulfanu na lidské zdraví [10].....	18
Tabulka 2.4 kvality odpadní vody na výstupech z gravitační splaškové a tlakové [15].....	19
Tabulka 2.5 Souhrnná tabulka metod odstranění zápachu v odpadní vodě pomocí chemikálii [25] .....	29

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Znázornění tvorby sulfanu v kanalizaci [11] .....	16
Obrázek 2.2 Závislost forem sulfanu na pH [16] .....	20
Obrázek 2.3 Znázornění procesů v odpadní vodě v souvislosti s ORP [18] .....	21
Obrázek 2.4 Procesy vedoucí ke vzniku biogenní síranové koroze v kanalizaci [23] .....	25
Obrázek 2.5 Přítok odpadní vody ošetřené chloridem železitým s typicky černým zbarvením [26] .....	27
Obrázek 2.6 Stanice s dávkováním dusičnanu vápenatého do kanalizace [26] .....	28
Obrázek 2.7 Nejčastější způsoby aerace odpadní vody [30] .....	30
Obrázek 2.8 Schéma aerace odpadní vody s následným rozstříkem [26] .....	31
Obrázek 2.9 Chemické pračky vzdušiny (A Venturiho, B věžová, C kombinace 2stupňová) [32] .....	32
Obrázek 2.10 Schéma biologického filtru a) uzavřený typ b) otevřený typ [33] .....	33
Obrázek 2.11 Schéma biologické pračky vzdušiny a příklad náplně pokryté biofilmem [34, 35] .....	34
Obrázek 2.12 Jednotka s aktivním uhlím, šachtový filtr s náplní z aktivního uhlí [36, 37] .....	35
Obrázek 2.13 Gelový plát v kanalizační šachtě, gelová náplň [39, 38] .....	36
Obrázek 2.14 Průběh fotokatalytické oxidace [40] .....	36
Obrázek 2.15 Princip ionizace [40] .....	37
Obrázek 2.16 OdaLog ODALL-H2S-1000 [45] .....	40
Obrázek 2.17 GasAlert Micro Clip XL [46] .....	41
Obrázek 3.1 Reakční nádoba spodní odnímatelná část .....	43
Obrázek 3.2 Umístění válce s filtrační náplní a OdaLogů Typ L2 .....	44
Obrázek 3.3 Detail kolony .....	45
Obrázek 3.4 Schéma testovací kolony .....	46
Obrázek 3.5 Granulované aktivní uhlí .....	49
Obrázek 3.6 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (granulované aktivní uhlí) .....	49
Obrázek 3.7 119 Biochar 119 drcené pneu .....	50
Obrázek 3.8 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Biochar 119 drcené pneu) .....	50
Obrázek 3.9 Biochar 82 bioplynza .....	51
Obrázek 3.10 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Biochar 82 bioplynza) .....	51
Obrázek 3.11 87 kal Otrokovice .....	52
Obrázek 3.12 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Biochar 87 kal Otrokovice) .....	52
Obrázek 3.13 Biochar 91 kal Otrokovice .....	53
Obrázek 3.14 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Biochar 91 kal Otrokovice) .....	53
Obrázek 3.15 Biochar pelety dřevo .....	54

Obrázek 3.16 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Biochar pelety dřevo).....	54
Obrázek 3.17 Biochar 100 kal Ingolstadt.....	55
Obrázek 3.18 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Biochar 100 kal Ingolstadt).....	55
Obrázek 3.19 Kokosová vlákna .....	57
Obrázek 3.20 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Kokosová vlákna) .....	57
Obrázek 3.21 Dřevěné štěpky .....	58
Obrázek 3.22 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Dřevěné štěpky) .....	58
Obrázek 3.23 Rašelina.....	59
Obrázek 3.24 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Rašelina) .....	59
Obrázek 3.25 Mulčovací kůra .....	60
Obrázek 3.26 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Mulčovací kůra).....	60
Obrázek 3.27 Drcené pneu .....	62
Obrázek 3.28 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Drcené pneu).....	62
Obrázek 3.29 Rockwool.....	63
Obrázek 3.30 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Rockwool).....	63
Obrázek 3.31 Polyuretan .....	64
Obrázek 3.32 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Polyuretan).....	64
Obrázek 3.33 Styrodur .....	65
Obrázek 3.34 Účinnost odstranění H <sub>2</sub> S (Styrodur) .....	65
Obrázek 3.35 Srovnání účinností filtračních náplní.....	67
Obrázek 4.1 Mapa zájmového území [48] .....	68
Obrázek 4.2 Schéma čerpací stanice STRATE se separací pevných látek [49].....	70
Obrázek 4.3 Denní průběh čerpání z ČS [52] .....	70
Obrázek 4.4 Měření ORP na vtoku na ČS .....	73
Obrázek 4.5 ORP v ČS za období 20.8. - 30.8. 2018.....	74
Obrázek 4.6 ORP v ČS za období 9.10. – 18.10. 2018.....	75
Obrázek 4.7 Schéma plazmové technologie Plazkat [50] .....	77
Obrázek 4.8 Umístění plazmové jednotky Plazkat .....	77
Obrázek 4.9 Detail potrubí z jednotky Plazkat .....	78
Obrázek 4.10 Měření koncentrace sulfanu v předávací šachtě, pod kanalizačním poklopem v období od 14.7. - 30.7. 2018 .....	78
Obrázek 4.11 Detail umístění prvního OdaLogu L2.....	79
Obrázek 4.12 Rozdílné umístění OdaLogů L2.....	80
Obrázek 4.13 Dlouhodobé měření koncentrace sulfanu v předávací šachtě.....	81
Obrázek 4.14 Medián denního průběhu koncentrace sulfanu .....	82

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

př. Kr. ... před Kristem

H<sub>2</sub>S ... sulfan (sirovodík)

ES ... Evropské společenství

Sb. ... sbírka zákonů

ČSN EN ... Evropská norma

ČSN ... Česká technická norma

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ... síranový aniont

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ... hydrogenuhličitanový aniont

ppm... počet částic na jeden milion

pH ... Záporný dekadický logaritmus číselné hodnoty koncentrace vodíkových iontů v roztoku.

ČOV ... čistírna odpadních vod

BSK<sub>5</sub> ... biochemická spotřeba kyslíku (pětidenní)

CHSK<sub>Cr</sub> ... chemická spotřeba kyslíku

NL ... nerozpuštěné látky

N-NH<sub>4</sub> ... amoniakální dusík

N<sub>celk.</sub> ... celkový dusík

P<sub>celk.</sub> ... celkový fosfor

HS<sup>-</sup> ... hydrogensulfidový aniont

S<sup>2-</sup> ... sulfidový aniont

ORP ... oxidačně-redukční potenciál

NaCl. ... chlorid sodný

KOH ... hydroxid draselný

MnO<sub>2</sub> ... oxid mangančitý

UV ... ultrafialové záření

ppb ... počet částic na jeden bilion

FeCl<sub>2</sub> ... chlorid železnatý

EO ... ekvivalentní obyvatelé

PE ... polyethylen

## SUMMARY

This diploma thesis deals with possibilities of elimination of odor on sewer network. The odor generated on the sewer is predominantly caused by sulphur, which is released from the sewage in problematic places. Sulfate, as the most hazardous component of odor, has been the subject of this diploma thesis. Sulphur, besides odor, is also toxic to the human organism and causes biogenic sulphate corrosion on concrete pipes and shafts. There are currently many possibilities to prevent sulphur formation and how to record its concentration. However, the choice of solution is different from the area and it is necessary to solve each sewer system individually. Prior to deploying a specific technology, it is advisable to carry out on-line monitoring to identify problem areas, determine the character of the waste water and the process of sulphur formation in the site. Monitoring can reveal the causes of sulphur formation and suggest the necessary preventions to remove it.

The first chapter describes the research is the issue of odor in the context of history. It also describes how the odor is perceived and what legislative regulations are being controlled at international, European and Czech level.

The next second chapter deals with the odor on the sewer network. This chapter describes the main properties of sulphur, its forms and the ways in which it is formed. Furthermore, there are circumstances which affect the formation and the amount of hydrogen sulphur in the sewer. Next chapters could be called the main chapters of the research part. In these chapters are listed primary and secondary options for the removal of hydrogen sulfide sewer network. Primary options come mostly from the dosing of chemicals into sewage. These chemicals prevent the formation of hydrogen sulfide in the waste water, thus solves the problem related to biogenic sulfuric acid corrosion. Secondary disposal options already concern the removal of sulphur from the air. These methods use either the forced flue from the sewer via a blower device to unit, which removes odors, or static charge carriers with which adsorbs the odor component. However, this method does not prevent biogenic sulfuric acid corrosion. Both primary and secondary methods provide many options to help prevent the release of sulphur into the air. The choice of method is then influenced by the place where the odor originates, the operator's experience and, finally, the financial budget. The last part of the research focuses on methods of measuring odors according to ČSN and devices that are used to measure the concentration of hydrogen sulfide.

The third chapter deals with the practical part of the diploma thesis. This chapter describes the laboratory measurement of filter charges. Selected filter charges were tested on a test column and examined for their ability to decompose sulfate from the air. Test filter cartridges were divided into three categories. The first category was carbon-based cartridges. In this category, the main representative was activated carbon, which served as a standard for testing and confirmed its ability to eliminate almost all of the sulphur at higher concentrations. Other representatives of this category were biochars. Here it turns out that it depends very much on the material from which the biochar was created. For example, the crushed tire biochar showed very good sulphate degradability similar to that of activated carbon, but other biochars were no longer so effective and some even did not remove any sulphur at all. Other categories were natural materials that are used as biofilters. Here it turned out that if the material is not supplied

with the necessary moisture and bacteria it is not itself capable of removing any sulphur. The last category was construction waste. This category was chosen with the intention of using construction and demolition waste, based on the European Parliament and Council Directive 2008/98 / EC on waste. Unfortunately, materials classified in this category showed no tendency to degrade sulphur and, as with natural materials, it would be necessary to enrich the material for further testing.

The last chapter describes the on-line measurements that took place in Ivančice and at the Oslavany pumping station. This chapter also describes a pumping station closely related to the manhole into which the delivery pipeline is connected. It is precisely at the place where the delivery pipeline is located that the bulk of the sulphur is formed, which is the reason for the complaints of the local inhabitants. The first part of the measurement was then carried out at a pumping station in Oslavany in order to determine the oxidative redox potential of the incoming wastewater at different loading states. From this measurement, water that flows to the pumping station already has all the prerequisites for sulphur formation. Further measurements have already been related to the manhole to which the delivery pipeline from the Oslavany pumping station is terminated. In the first part of the online monitoring was carried out to verify the functionality of a newly installed plasma technology-Plazkat which drain contaminated air from the manhole. This advanced technology has proved to be very effective already during the test run. Unfortunately, after the test run, the unit was shut down for more than a month, and for that reason were not measured any additional data relating to the unit Plazkat. Further measurements were made again in the manhole, wherein the attempt using two detectors to determine how much hydrogen sulphide sulfide is able to reach the sewer hatch of the manhole. The measurement indicated that on average only about 10% of the total sulphate concentration in the manhole would reach up to the sewer hatch of the manhole. In the last part of the measurement the determination of the daily course of sulphur concentration in the manhole was performed. From a measurement of 25 days, a daily median of concentration was created, which showed that maximum sulfate concentrations occur at daily peak water consumption when the largest pump is at the pumping station. The maximum sulfate concentration in the manhole is delayed by about 3-4 hours, due to the residence time in the delivery pipeline.

The benefit of the diploma thesis was the testing of filtration materials with completely different properties. For example, some of the biochars could be very effective after enrichment. As a result of the thesis, it would be advisable to enrich the filtration materials first and then test their effectiveness. Also, on-line measurements have proven to be beneficial and have revealed some important contexts associated with sulphur formation.