



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

ELIMINACE ZÁPACHU NA STOKOVÉ SÍTI

ELIMINATING ODORS IN THE SEWER NETWORK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JIŘÍ NOVOTNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR HLUŠTÍK, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jiří Novotný
Název	Eliminace zápachu na stokové síti
Vedoucí práce	Ing. Petr Hlušík, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
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] Související normy a legislativní podklady
- [8] 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 a objektech, a to před a po aplikaci protizápachového systému. Získaná data graficky a tabelárně vyhodnotí s doporučením pro provozovatele stokové sítě.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na eliminaci zápachu ve stokovém systému. V práci je obsažena rešerše problematiky vzniku, kontroly a nebezpečí sulfanu pro člověka a stokový systém. Dále jsou popsány metody odstranění sulfanu z vody, ze vzduchu a podrobně jsou popsány vybrané sorbenty. Praktická část se zabývá testováním sorbentů na odstranění sulfanu v laboratorním prostředí. V praktické části je také řešen zápach na konkrétním území pomocí sorpce na kanalizačních filtrech. Z měřených dat a z výsledků laboratorních rozborů jsou vyhodnoceny souvislosti vzniku zápachu a je uvedeno doporučení pro provozovatele.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zápach, sulfan, sorbenty, filtrace, kanalizace, sorpce

ABSTRACT

The diploma thesis focusses on the elimination of odor in the sewer system. Firstly, the paper contains the research in problematics of the origin, control and risks of the hydrogen sulfide for humans as well as for the sewer system. Secondly, the paper describes methods for hydrogen sulfide removal from water, air and in addition to that the selected sorbents are described in detail. Practical part deals with sorbent testing for hydrogen sulfide removal in laboratory environment. The practical part also follows up the odor in the particular area through sorption on sewer filters. From the measured data and from the results of the laboratory analyzes the consequences of the odor are evaluated and recommendations for the operator are presented.

KEYWORDS

Odor, hydrogen sulfide, sorbents, filtration, sewer system, sorption

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Jiří Novotný *Eliminace zápachu na stokové síti*. Brno, 2017. 92 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Petr Hlušík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2018

Bc. Jiří Novotný
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Předně děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Hlušíkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odbornou pomoc. Děkuji firmám Vodárenská akciová společnost, a. s., konkrétně Ing. Miroslavu Svobodovi, Ph.D. za vytipování lokality a zajištění chemických rozborů a Asio, s. r. o., konkrétně Ing. Jaroslavu Lvu, Ph.D. za umožnění laboratorního měření.

Dále děkuji rodině za vytvoření příznivých podmínek pro studium.

OBSAH

1	ÚVOD	3
1.1	HISTORIE	3
1.2	SOUČASNOST	3
1.3	LEGISLATIVNÍ PŘEDPISY	4
1.3.1	Legislativní předpisy Evropské unie	4
1.3.2	Legislativní předpisy České republiky	4
2	ZÁPACH	6
2.1	SULFAN	6
2.1.1	Faktory ovlivňující vznik zápachu	7
2.1.2	Biogenní síranová koroze	11
2.1.3	Rychlost úbytku betonového potrubí účinkem biogenní síranové koroze	12
2.1.4	Účinek sulfanu na organismus	14
2.2	METODY PRO ODSTRANĚNÍ ZÁPACHU Z ODPADNÍ VODY	15
2.2.1	Srážení solemi železa	15
2.2.2	Chlorace	16
2.2.3	Omezení anaerobních procesů roztokem dusičnanů	16
2.2.4	Oxidace peroxidem vodíku	16
2.2.5	Stlačený vzduch nebo čistý kyslík	16
2.2.6	Oxidace Manganistanem draselným	17
2.2.7	Naředění odpadních vod	17
2.2.8	Biologická oxidace sulfidu	17
2.2.9	Pokrokové metody odstraňování zápachu z vody	17
2.3	METODY ODSTRANĚNÍ ZÁPACHU ZE VZDUCHU	19
2.3.1	Pračka vzdušiny, oxidace a absorpce	19
2.3.2	Bio-pračka vzdušiny	20
2.3.3	Biologický filtr	21
2.3.4	Biofiltr s nuceným odtahem vzdušiny	21
2.3.5	Filtr bez nuceného odtahu vzdušiny	22
2.3.6	Adsorpce na aktivním uhlí	25
2.3.7	Fotooxidace, ozonizace, ionizace	25
2.3.8	Neutralizace, kompenzace a maskování	26
2.3.9	Naředění čerstvým vzduchem	26
2.4	FILTRAČNÍ NÁPLNĚ	26
2.5	MĚŘENÍ ZÁPACHU	34
2.5.1	Olfaktometrie	35
2.5.2	Měřicí přístroje koncentrace sulfanu	35
3	LABORATORNÍ MĚŘENÍ	38

3.1	ZKUŠEBNÍ MODEL	38
3.2	VÝPOČTY	42
3.3	NAMĚŘENÉ HODNOTY	43
3.3.1	1. fáze	43
3.3.2	2. fáze	52
3.4	SHRUTÍ LABORATORNÍHO MĚŘENÍ	54
4	POUŽITÍ NA KONKRÉTNÍM ÚZEMÍ	55
4.1	POPIS ÚZEMÍ.....	55
4.1.1	Čerpací stanice	55
4.1.2	Výtlačné potrubí.....	58
4.1.3	Provzdušnění výtlaku	58
4.2	ČASOVÝ HARMONOGRAM PRACÍ	59
4.3	POUŽITÁ TECHNOLOGIE	60
4.4	NAMĚŘENÉ HODNOTY	61
4.4.1	Terénní měření	61
4.4.2	Chemické rozborý	70
4.5	PROUDĚNÍ VZDUCHU V PŘEDÁVACÍ ŠACHTĚ	75
4.6	SHRUTÍ VÝSLEDKŮ Z TERÉNNÍHO MĚŘENÍ	77
4.7	DOPORUČENÍ PRO PROVOZOVATELE	78
5	ZÁVĚR.....	81
6	POUŽITÁ LITERATURA	83
	SEZNAM TABULEK	86
	SEZNAM OBRÁZKŮ	87
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	90
	SUMMARY	92

1 ÚVOD

Čich je podobně jako ostatní lidské smysly neodmyslitelnou součástí lidského vnímání, a proto pachy a vůně do jisté míry ovlivňují naše životy ať už vědomě, či nevědomě. Vůně vyhledáváme a vyvolávají v nás příjemné myšlenky, každému z nás voní něco jiného a vyhledává jiné vůně. Každý vnímá různé pachy subjektivně, ale se zápachy je to ovšem ve většině případů podobné. Organoleptické vlastnosti odpadní vody působí na všechny lidi stejně. V tomto ohledu se lidé liší se snad jen citlivostí čichu.

Obecně se snažíme zápachům vyhýbat, odstraňovat nebo maskovat. Zápachu se většinou nemůžeme vyhnout, pokud je zdrojem odpadní voda, kterou produkujeme. Zde je pak na místě se problematice věnovat a snažit se aplikovat co nejlepší řešení. Nejjednodušším řešením se nabízí maskování zápachu, toto řešení je ovšem i nejzrádnější. Zápach nejde cítit, pořád se ale ve vzduchu vyskytují nebezpečné látky, které člověk vdechuje.

Nejlepší strategií je produkce odpadní vody takovým způsobem, který bude do ovzduší emitovat co nejméně zápachových složek. Primární je tedy snaha předcházet vzniku zápachu, převážně kontrolou a řízením procesů u producenta, ve stokové síti a také na čistírně odpadních vod. Často však nelze zápach omezit ještě v místě vzniku, proto je nutné aplikovat řešení, které zamezí rozšíření zápachu a tím i nebezpečných látek. Odstraňování zápachu ze vzduchu by se dalo nazvat sekundární činností, při které se vynakládá snaha, která by při správném zásahu nemusela být vynaložena. Zabývat se problematikou zápachu z kanalizačního systému je známkou vyspělé společnosti.

1.1 HISTORIE

Koncept hygieny a vnímání zápachu byl už ve starověkém Řecku a Římě na vysoké úrovni. Bohužel tyto poznatky se nepřenese do středověku, kde se hygiena neřešila a všudypřítomný zápach lidé vnímali jako běžnou věc. Až na konci 18. století se v Evropě začal měnit postoj k zápachu. V té době byl v Paříži poprvé udělen titul „veřejný hygienik“. Na konci 18. století se také čich do povědomí vědců jako pomůcka pro analýzu kvality ovzduší, rozpoznání zkažených potravin, nebo v lékařství k odhalování různých nemocí a infekcí. Vzešlo do povědomí, že šířitelem zápachu je ovzduší, půda a voda. Právě voda v 18. století vzbuzovala v lidech nedůvěru. Nebylo to nadarmo, většina řek protékající velkými městy a jímkami na vodu byla kontaminována produkty lidského a zvířecího organismu. Nelze opomenout na pach vytvářený lidským tělem. Oproti dnešní době byl veškerý pach považován za důležitý. Ještě ve 30. letech 19. století lékaři nedoporučovali mýt se více než jednou za měsíc. Pachy, které se tedy v 18. a na počátku 19. století vyskytovaly běžně, by nás pravděpodobně zcela paralyzovaly, protože se od té doby práh pachové tolerance snížil, tudíž jsme na takové podněty mnohem citlivější. [1]

1.2 SOUČASNOST

Od rozvoje hygieny uvedeného v předchozí kapitole se kultura vyspělého světa posunula značně dopředu. V České republice je odkanalizovaná většina velkých a středních sídel a postupně se realizují stokové sítě a čistírny odpadních vod i v menších obcích. V několika

posledních letech se dostává do povědomí i problematika zápachu. Již nemusí být pravidlem, že kanalizace zapáchá a obtěžuje obyvatele. Existuje mnoho možností, jak zápach řešit a právě ze strany provozovatelů stokových sítí je snaha zápachu zbavit nejen připojené obyvatele, ale i odstraňovat sulfan a prodlužovat tím tak životnost kanalizace.

1.3 LEGISLATIVNÍ PŘEDPISY

1.3.1 Legislativní předpisy Evropské unie

Směrnice

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES ze dne 21. května 2008 o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu

Směrnice stanovuje potřebu snižovat znečištění na úrovně, které mají minimální dopad na lidské zdraví, především zvláštní pozornost je třeba věnovat citlivým skupinám obyvatelstva. Dále apeluje na to, že je třeba zlepšit monitorování a posuzování kvality ovzduší.

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU ze dne 24. listopadu 2010 o průmyslových emisích (integrované prevenci a omezování znečištění)

Směrnice stanovuje obecný rámec pro kontrolu hlavních průmyslových činností a ovlivňuje zásahy prováděné přímo u zdroje znečištění.

Normy

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

Německá norma se zabývá pachy v odvodňovacích systémech, jejich vznikem a emisí do atmosféry. Cílem normy je plánování, výstavba a provoz kanalizačních sítí tak, aby se vyloučily nebo alespoň byly minimalizovány problémy se zápachem. V České republice tato norma nemá obdoby a díky podobným podmínkám je tato norma využívána odborníky i u nás.

1.3.2 Legislativní předpisy České republiky

Normy

- ČSN EN 12255-9 (75 6403) Čistírný odpadních vod – Část 9: Kontrola pachů a odvětrání

Tato norma se věnuje navrhování, provádění kontroly pachů a jeho odvětrávání na čistírnách odpadních vod převážně větších než 50 ekvivalentních obyvatel.

- ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky

Základní norma pro stokování. Stanovuje podmínky pro navrhování, posuzování, provádění a sanací gravitačních objektů na nich.

Zákony České republiky

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

„Ochranou ovzduší se rozumí 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.“ [2]

Vyhlášky

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

Vyhláška č. 415/2012 Sb., se o sulfanu zmiňuje v několika případech, které se ale netýkají přímo kanalizace. Vyhláška omezuje emise sulfanu na výstupu z chemických provozů a při výrobě chemických plynů. Dále v příloze č. 10 je stanoven obecný limit pro emisi sulfanu na 10 mg/m^3 , což je podle přepočtu (2.3) 7,1 ppm. [3]

2 ZÁPACH

Je poměrně dobře známo, jak zápach vzniká a jsou známy metody k jeho měření, kontrole a částečně i eliminaci.

Následkem odbourávání organických látek mikroorganismy za anaerobních podmínek se vytváří zápach již během průtoku odpadní vody v kanalizačním systému. Dalším zdrojem pachových látek jsou průmyslové odpadní vody, které jsou napojeny na veřejnou kanalizaci. Zahňování vody může ovlivnit například teplota vody, koncentrace BSK a přítomnost chemikálií. ČSN EN 12255-9 uvádí rozsah složek odpadních vod:

- sulfan (sirovodík),
- amoniak (čpavek),
- organické sloučeniny síry,
- thioly, například merkaptany,
- aminy,
- indol a skatol,
- další organické sloučeniny. [4]

Následující seznam jsou místa, kde nejčastěji může vznikat intenzivní zápach, protože se zde vyskytují charakteristické podmínky:

- v systémech stok a kanalizačních přípojek při nepříznivých podmínkách, například při dlouhých dobách zdržení, špatné obsluze a údržbě, zaústění průmyslových odpadních vod,
- v dlouhých tlakových potrubích,
- u některých vysoko zatížených čisticích procesů,
- v anaerobních biologických nádržích,
- v zařízení pro uskladňování a odstraňování kalů. [4]

2.1 SULFAN

V komunální odpadní vodě se přeměňují sírany (SO_4^{2-}) pomocí bakterií a jejich látkové výměny na sulfan. Tento proces se děje převážně v biofilmech a sedimentech za anaerobních podmínek v ponořené části kanalizace. Sulfan z vody snadno uniká, převážně v místech turbulentního proudění, kde dochází k rozstříkávání vody do okolního vzduchu. Těkavý sulfan je těžší než vzduch a akumuluje se ve volném prostoru kanalizace, kde je pomalu unášen proudem odpadní vody v gravitačních stokách. [5,6]

Původ sulfidů by se dal rozdělit na:

- Endogenní forma – sulfidy vznikají přímo uvnitř stokového systému. Dále se rozděluje 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. [5]

Důležitou fyzikální vlastností sulfanu je jeho hustota. Hustota sulfanu je $\rho_{\text{H}_2\text{S}} = 1,36 \text{ kg/m}^3$. Hustota vzduchu je $\rho_{\text{vzd.}} = 1,29 \text{ kg/m}^3$. Rozdíl hustot je tedy nepatrných $0,07 \text{ kg/m}^3$. Sulfan se kvůli rozdílu hustot akumuluje v prostorech, kde neproudí vzduch. V případě proudění vzduchu však sulfan tvoří se vzduchem směs a proudí společně ve směsi bez výrazné závislosti na vyšší hustotě.

2.1.1 Faktory ovlivňující vznik zápachu

Je několik hlavních parametrů, které ovlivňují vznik sulfanu ve stokovém systému. Často jsou tyto parametry na sobě závislé, nebo se alespoň částečně ovlivňují. Jsou jimi například:

Složení odpadní vody

Odpadní voda se rozděluje podle původu na splaškovou, městskou a průmyslovou. Splašková odpadní voda obsahuje produkty lidského těla a odpady z domácností, ubytovacích a stravovacích zařízení atd. Městská voda je směs splaškových, průmyslových, srážkových vod a vod, které se používají například na čištění veřejného prostranství. Průmyslové odpadní vody obsahují kromě splaškových a srážkových vod i vody technologické, jejichž čištění často vyžaduje specifický přístup. Nejčastějším případem je právě městská odpadní voda čili směs vod různého původu a různého složení, kvality i kvantity. Kromě ukazatelů uvedených v tabulce 2.1 a dalších parametrů v této kapitole má významný vliv na vznik zápachu množství sulfidů a síranů v odpadní vodě. [7]

Tab. 2.1 Složení městské odpadní vody [8]

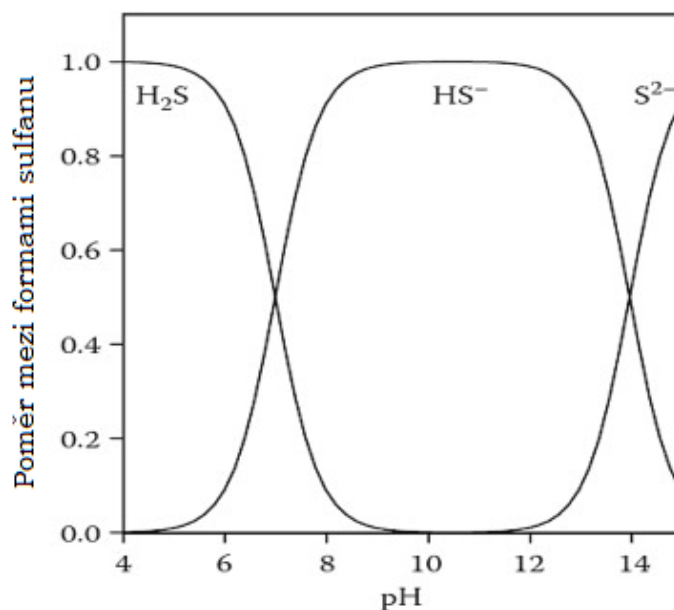
Ukazatel	Rozmezí hodnot	Jednotky
Hodnota pH	6,5 – 8,5	-
Nerozpuštěné látky	200 – 700	mg/l
• z toho usaditelné	73	%
• z toho neusaditelné	27	%
Rozpuštěné látky	600 – 800	mg/l
BSK ₅ s potlačením nitrifikace	100 – 400	mg/l
CHSK _{Cr}	250 – 800	mg/l
TOC	cca 250	mg/l
N _{celk.}	30 – 70	mg/l
N-NH ₄ ⁺	20 – 45	mg/l
P _{celk.}	5 – 15	mg/l
Poměr BSK ₅ :CHSK _{Cr}	0,5	-

Teplota

Obecně platí, že všechny fyzikální, chemické a biologické procesy jsou závislé na teplotě. S rostoucí teplotou klesá rozpustnost kyslíku ve vodě, a to vede k anaerobním podmínkám. Navíc s rostoucí teplotou se zvyšuje spotřeba kyslíku biologickými procesy, což vede opět k anaerobním podmínkám. [9]

Hodnota pH

Forma sulfanu je závislá na pH. Na obrázku 2.1 je vidět poměr těchto forem. Při pH 7,0 až pH 8,0, které se obvykle v odpadní vodě vyskytuje, to jsou rozpuštěný H₂S a hydrogensulfid (HS⁻). Byla testována aktivita bakterií, které přeměňují sírany na sulfan. V kontrolním reaktoru byla nastavena hodnota pH 7,6. V dalších dvou byla regulována hodnota pH. V reaktoru s udržovanou hodnotou na pH 8,6 byla aktivita bakterií snížena o 30 % a v případě pH 9,0 to byla redukce aktivity dokonce 50 % oproti kontrolnímu reaktoru. V zásaditějších vodách tedy hrozí menší riziko vzniku sulfanu než v kyselějších vodách. [9]



Obr. 2.1 Formy sulfanu v závislosti na pH [9]

Doba zdržení vody ve stokovém systému

Stanovit čas, po jehož uplynutí bude voda zapáchat je prakticky nemožná. Do odhadu vstupuje příliš mnoho proměnných, které se odráží v kvalitě vody. Ve stokové síti probíhá řada chemických a biologických procesů, a tak složení čerstvě vypuštěné vody do kanalizace se může značně lišit od vody, která v systému proudí řádově několik hodin. Norma ČSN EN 1671 uvádí maximální dobu zdržení v kanalizaci 8 hodin. Často však není možné tuto dobu dodržet. [7,10]

Rozpuštěný kyslík

Koncentrace rozpuštěného kyslíku je jedním z hlavních kritérií charakterizující vodní prostředí. Při koncentraci kyslíku menším než 0,5 mg/l se voda již dostává do anaerobních, respektive anoxických podmínek v závislosti na přítomnosti dusičnanů. Koncentrace rozpuštěného kyslíku je úzce spjata s redox potenciálem.

Oxidačně-redukční potenciál

Oxidační a redukční reakce se často označují jako redoxní, proto se používá zkrácený výraz redox potenciál, popřípadě zkratka ORP. Obecně je redox potenciál vyjádření schopnosti systému převést jeden z reaktantů do oxidovaného stavu. V odpadní vodě je to velice důležité kritérium, protože určuje prostředí podle rozpuštěných plynů ve vodě. V přítomnosti rozpuštěného kyslíku se prostředí nazývá aerobní. V nepřítomnosti kyslíku ani dalších plynů je to prostředí anaerobní. Mezi těmito prostředími se vyskytuje mezistupeň, anoxické prostředí, kde je přítomný kyslík vázaný v dusitanech a dusičnanech. Hodnoty redox potenciálu jsou uvedeny v tabulce 2.2. Na rozdíl od pitné vody, kde má na oxidačně-redukční potenciál vliv v podstatě jen rozpuštěný kyslík, v odpadní vodě se vyskytuje velké množství dalších látek, které se mohou oxidovat nebo redukovat a tím ovlivňují redox potenciál.

Tab. 2.2 Oxidačně-redukční potenciál

Oxidačně-redukční potenciál	Prostředí
< -50 mV	anaerobní
-50 mV až 50 mV	anoxické
> 50 mV	aerobní

Množství sedimentu

Sedimenty se v potrubí usazují při snížených průtocích v bezdeštných období na místech, kde dochází ke změně směru nebo sklonu potrubí. Při zvýšených průtocích dochází k erozi těchto sedimentů. Po delší době provozu při střídání sedimentace a eroze dochází ke konsolidaci sedimentů. V usazeninách dochází k anaerobním procesům, mezi nejdůležitější patří hydrolýza organického substrátu. Dále v anaerobních sedimentech dochází k fermentaci, redukci síranů a produkci metanu. [7]

Množství biofilmu

Vrstva biofilmu v profilu kanalizace je většinou silná několik milimetrů. Biofilm se vyskytuje na povrchu sedimentů a stěn profilů a je tvořen několika vrstvami mikroorganismů. V biofilmu se s hloubkou střídá několik redoxních podmínek. Ve svrchní aerobní vrstvě se vyskytují heterotrofní bakterie. Pokud jsou v kanalizaci přítomny i dusičnany, tak se v prostřední vrstvě vyskytují mikroorganismy, které spotřebovávají kyslík právě ve formě dusičnanů. Ve spodní vrstvě je často kyslík vyčerpán a dochází také k anaerobním procesům. [7]

Typ kanalizace

Na vznik zápachu má zásadní vliv i typ odkanalizování. Při použití tradičního gravitačního systému s dostatečnými sklony a dimenzemi téměř nehrozí anaerobní podmínky. Voda je přirozeně provzdušňovaná skrz volnou hladinu.

Při použití podtlakového systému také příliš nevyskytují anaerobní podmínky. Zde mohou nastat při delší době zdržení v domovní jímce, kde se sací ventil otevírá až po dostatečném naplnění. Po nasátí do systému se však odpadní voda vyskytuje ve směsi se vzduchem a tím principiálně nedochází ke spotřebování kyslíku k biochemickým procesům. Zápach je potřeba ošetřit pouze v podtlakové stanici, kde se vzduch odtahovaný vývěvami musí filtrovat přes biofiltr.

Nejvíce se problematika zápachu dotýká tlakových sítí, popřípadě výtlačných úseků na gravitačních stokách. Profil tlakového potrubí je zcela zaplněn odpadní vodou, kyslík je záhy vyčerpán a dochází k anaerobním procesům. Kromě výtlačku se voda zdrží i v akumulační nádrži, než dojde k sepnutí čerpadla.

Hydraulické faktory

Hydraulika stokové sítě má také významný vliv na vznik zápachu ve stokové síti. Na rozdíl od většiny předchozích faktorů není tolik ovlivněna provozem stokové sítě a je nutné na tuto problematiku pamatovat již při návrhu stokové sítě.

Sulfan uniká z odpadní vody difúzí z hladiny, kde se vyskytuje jeho rozpuštěná forma. Proto poměr plochy hladiny ku objemu odpadní vody má vliv na únik plynu do ovzduší. V řezu potrubí se dá tento poměr vyjádřit jako šířka hladiny ku průtočné ploše odpadní vody. Ve stokách s velkým poměrem plochy ku objemu je přenos sulfanu do vzduchu mnohem větší než ve stokách s poměrem nižším. [9]

Dalšími důležitými hydraulickými faktory je rychlost proudění a gradient rychlosti. Zvýšení rychlosti proudění odpadní vody může vést ke snížení tloušťky usazenin. Viz rychlosti proudění a vyvolaný efekt na usazeniny.

- $v < 0,8$ m/s – Nízká rychlost proudění vede k většímu ukládání sedimentu v kanalizaci kvůli delšímu setrvání odpadní vody. Kombinace těchto jevů má za následek zvýšenou produkci sulfanu.
- $0,8$ m/s $< v < 1,5$ m/s – Jedná se o optimální rozsah rychlosti, přičemž vytvořený biofilm představuje optimální podmínky pro minimalizaci produkce sulfanu.
- $v > 1,5$ m/s – Zvýšené rychlosti představují vhodné podmínky pro turbulentní proudění a tím snadnější uvolňování sulfanu do vzduchu. [9]

Právě gradient rychlosti je parametr, který bere v úvahu kombinaci rychlosti, sklonu potrubí a toku v potrubí (viz rovnice 2.1). Vysoký gradient rychlosti totiž způsobí značné uvolňování sulfanu do vzduchu. To je právě ve spadištích, v předávacích šachtách a v dalších místech, kde dochází k výrazným změnám proudění kapaliny. [9]

$$G = \left(\frac{\gamma \cdot i \cdot v}{\mu} \right)^{1/2} \quad (2.1)$$

- kde: G... gradient rychlosti [1/s],
 γ ... měrná tíha [N/m³],
i... sklon potrubí [m/m],
v... rychlost [m/s],
 μ ... dynamická viskozita [N.s/m²]. [9]

2.1.2 Biogenní síranová koroze

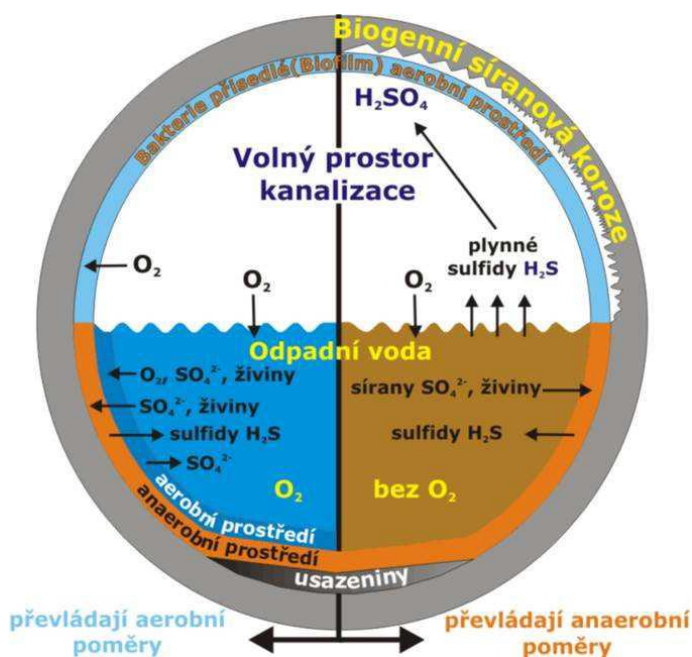
Biogenní síranová koroze nebo také sulfidová koroze vzniká při částečném plnění profilu v kanalizaci, která je z materiálu na základě cementu. Tato koroze postihuje vlhkou část profilu, která není pod hladinou odpadní vody. Biogenní síranová koroze tedy působí pouze v prostoru, kde je profil potrubí v kontaktu se vzduchem.

Sloučeniny síry v odpadní vodě s malým přístupem kyslíku nedostatečně rychle oxidují. Sulfan v plynném stavu difunduje do filmu, který se vyskytuje na vlhké a neomočené části stěny

kanalizačního profilu. Na povrchu poté dochází k biochemické oxidaci chemotrofními bakteriemi rodu *Thiobacillus* a *Thiobacterium* na kyselinu sírovou. Koroze probíhá reakcí kyseliny sírové s cementovým materiálem. V první fázi dochází k tvorbě sádry, která dále udržuje vlhkost v profilu. Dalším produktem reakce kyseliny sírové a betonu je ettringit, který proniká dále do betonu a expanduje, čímž vytváří praskliny. To zajistí větší plochu pro chemickou reakci a další pronikání kyseliny do betonu. Kvůli přeměně betonu na zmíněnou sádro a ettringit se zhoršují mechanické vlastnosti betonu a tím může dojít k destrukci profilu kanalizace. Za ideálních podmínek pro vznik kyseliny sírové může být její koncentrace až 23 %. Při běžných podmínkách s teplotou, která se pohybuje od 10 °C do 20 °C se obsah kyseliny sírové pohybuje kolem 8 %. [5,6]

Nejvíce ohroženy biogenní síranovou korozí a nejvíce náchylné na destrukci spojenou s ubýváním cementového materiálu bývají úseky:

- kolem čerpadel,
- zaústění tlakové kanalizace s dlouhou dobou zdržení,
- zaústění odpadních vod, které obsahují sulfidy z usazovacích nádrží,
- kanalizace vedoucí průmyslové odpadní vody.
- spadiště a spojné šachty a další stavby, kde dochází k turbulenci proudění. [5]



Obr. 2.2 Biogenní síranová koroze v betonové kanalizaci [5]

2.1.3 Rychlost úbytku betonového potrubí účinkem biogenní síranové koroze

Rychlost působení koroze na materiály s cementovým pojivem se vyjadřuje v tloušťce vrstvy, která je rozrušená za jeden rok. Rychlost biogenní síranové koroze u betonu s křemičitým

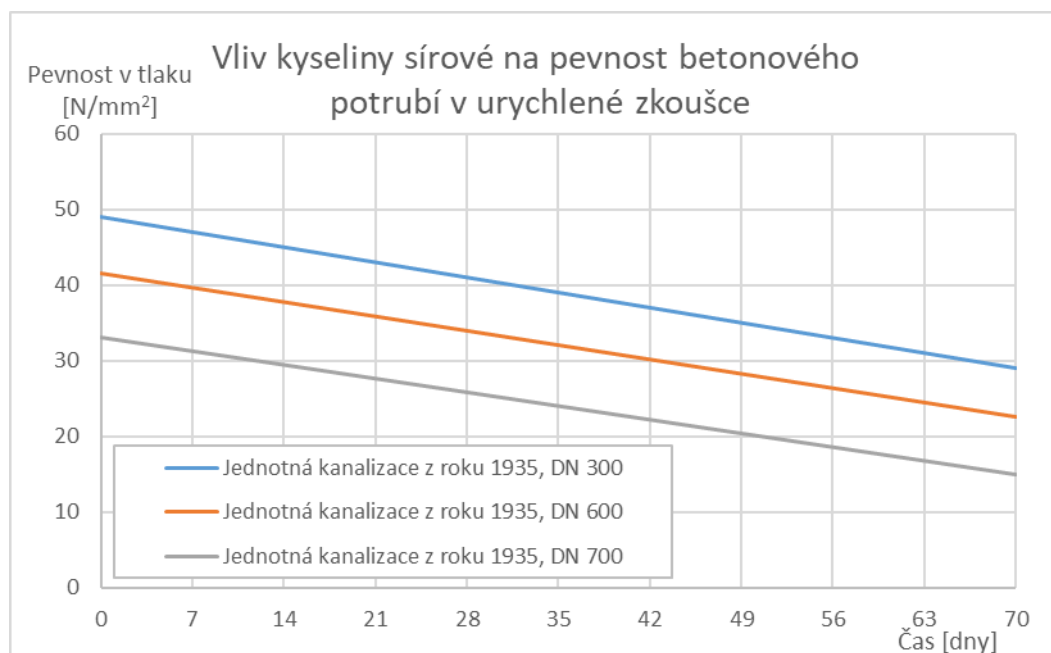
kamenivem a pH pod 6,5 při určitých podmínkách můžeme očekávat úbytek vrstvy 3 až 6 mm/rok. Rychlost koroze je ovlivněna především složením betonu, průměrně u kruhového profilu je to kolem 3 mm/rok. Následky poruch způsobené biogenní síranovou korozi se dají rozdělit do dvou fází. V první fázi dochází k netěsnostem potrubí, ale není narušena statika potrubí. V druhé fázi dochází z důsledku úbytku tloušťky stěny k narušení statiky potrubí a k následným trhlinám, deformacím, prasklinám a později i ke zřícení. [5]

Existují empirické vzorce, kterými lze vypočítat rychlost koroze betonu, například:

$$c = 11,5 \cdot k \cdot 0,7 \cdot (i \cdot v)^{3/8} \cdot P_m \cdot S_{lim} \cdot \frac{b_t}{p} \cdot A^{-1} \cdot \Psi \quad (2.2)$$

- kde: c ... rychlost koroze betonu [mm/rok],
 b_t ... šířka povrchu hladiny [m],
 i ... sklon potrubí [–],
 v ... rychlost proudění na posuzovaném úseku [m/s],
 S_{lim} ... limitní hodnota koncentrace sulfidů [mg/l],
 p ... obvod neomočené části profilu [m],
 k ... faktor reagující kyseliny (rychlá tvorba 0,3 – pomalá tvorba 1) [–],
 A ... alkalita betonu, vyjádřená jako poměr uhličitanu vápenatého a betonu (např. pro křemičité kamenivo 0,17 až 0,24) [–],
 Ψ ... koeficient nejistoty modelu [–]. [11]

Byl proveden jednoduchý test, který měl simulovat odolnost betonového potrubí vůči biogenní síranové korozi. Každý vzorek byl ponořen v nádobě s roztokem kyseliny sírové s hodnotou pH 2,0. Každých 7 dní byly vzorky vyjmuty z kyseliny, omyty a byly odstraněny uvolněné části. Po testech na pevnost byly vzorky opět ponořeny do lázně do stejných podmínek. Byly tím simulovány střídající se podmínky v kanalizaci, a to průtoky s chemicky téměř neutrálními srážkami a odpadní vodou. Z grafu (obrázek 2.3) je patrný razantní úbytek zbytkové pevnosti betonového potrubí po působení kyseliny sírové. [12]



Obr. 2.3 Pevnost betonu v tlaku při působení kyseliny [12]

2.1.4 Účinek sulfanu na organismus

Vzhledem k tomu, že sulfan je plyn, dýchací ústrojí je nejexponovanější část těla. Většina údajů o vystavení lidského těla vysokým dávkám sulfanu pochází právě z hlášení chemického průmyslu nebo od pracovníků provozovatelů kanalizačních systémů. Kromě účinků na respirační ústrojí jsou pozorovány účinky na neurologický, kardiovaskulární, metabolický systém a na oči. Existují četné případy úmrtí lidí po jednorázové expozici koncentracím přesahující 500 ppm sulfanu. U většiny z nich to bylo v omezeném a špatně větraném prostoru, kde se plyn dokáže naakumulovat do vysokých koncentrací. [13]

Při kontaktu plynu s okem může být vyvoláno podráždění. Při vystavení oka vyššími hodnotami koncentrace může dojít k slzení, fotofobii, nebo i k zánětům. Při dlouhotrvajícím působení sulfanu může dojít k poškození oční tkáně. [13]

Krátkodobá nižší koncentrace způsobuje v dýchacím ústrojí plicní edém, bolest v krku, kašel a dušnost. Při koncentraci vyšší než 100 ppm dochází k čichové paralýze, která způsobuje, že člověk přestává sulfan cítit. Může dojít k okamžité smrti v důsledku ochrnutí dýchacích svalů. Při dlouhotrvající expozici sulfan narušuje dýchací řetězec tím, že reaguje s hemoglobinem a znemožňuje výměnu kyslíku v plicích. [13]

Po vystavení člověka účinkům sulfanu se mohou vyskytnout také účinky na neurologickou soustavu. Jediná dávka dokáže způsobit nespavost, bolesti hlavy nebo delirium. Další příznaky jsou například narušení rovnováhy, špatná paměť, únava, závratě a podrážděnost při dlouhodobém působení. [13]

Zatím nebyl ověřen vliv na kardiovaskulární systém a lidský metabolismus. Dosavadní výzkum možnosti zvýšené potratovosti nebyl jednoznačný. U žen, které byly v počátku těhotenství byly vystaveny sulfanu, nedocházelo k potratům výrazně častěji než u žen, které nebyly vystaveny

účinkům sulfanu. Dalším nedostatečně prozkoumanou vlastností sulfanu je jeho karcinogenita. Dosud neexistují dostatečné údaje, aby mohly být vyvozeny závěry o možných souvislostech mezi přítomností sulfanu a výskytem rakoviny. [13]

Tab. 2.3 Projevy lidského organismu na různé koncentrace sulfanu [13]

Koncentrace		Účinek
mg/m ³	ppm	
0,011	0,008	Práh detekce
2,8	2,0	Dýchací potíže astmatiků
5,0	3,6	Zvýšená citlivost očí
5-29	3,6-21	Podráždění očí
28	20	Únava, nechutenství, bolesti hlavy, podrážděnost, závratě, ztráta paměti
>140	100	Paralýzy čichu
>560	400	Dýchací obtíže
≥700	500	Smrt

Převodní vztahy koncentrací sulfanu ve vzduchu při teplotě 20 °C a při tlaku 101,3 kPa jsou následující: [13]

$$1 \text{ mg/m}^3 = 0,71 \text{ ppm} \quad (2.3)$$

$$1 \text{ ppm} = 1,4 \text{ mg/m}^3 \quad (2.4)$$

2.2 METODY PRO ODSTRANĚNÍ ZÁPACHU Z ODPADNÍ VODY

Tyto technologie zahrnují úpravu odpadních vod za účelem eliminace zápachu a sloučenin, které způsobují korozi potrubí. Většina technologií zahrnuje přidání chemikálie do odpadní vody, která buď limituje vznik zápachových sloučenin, nebo s nimi reaguje, jakmile se vytvoří. Čištění v kapalně fázi je nejvhodnější použít již ve stokovém systému nebo v čerpacích stanicích. [14]

Při čištění kapalně fáze je zabráněno vzniku sulfanu a tím i jeho případnému působení na betonovém potrubí.

2.2.1 Srážení solemi železa

Železo je nejvíce dominující kovový prvek vyskytující se v komunálních odpadních vodách. Koncentrace železa hraje důležitou roli při chemickém rozkladu sulfidů v odpadní vodě a v celém cyklu síry. Železo se vyskytuje v odpadní vodě v koncentracích od 0,4 mg/l do 1,5 mg/l. Omezit vznik sulfanu může železo ve své dvojmocné i trojmocné podobě. Dvojmocné železo a sulfid vytváří černou sraženinu sulfid železnatý. Trojmocné železo může způsobit

eliminaci sulfanu produkcí elementární síry a oxidací na dvojmocné železo. V odborné veřejnosti panují neshody ohledně srovnání účinnosti dvojmocného a trojmocného železa. Obecně se dá říci, že rychlost reakce ve vodě s dvojmocným železem je rychlejší a není tak náchylné výskyt jiných sloučenin, které mají tendenci s železitým iontem reagovat. Mezi používané soli železa patří chlorid železnatý (FeCl_2), síran železnatý heptahydrát ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), známý pod názvem zelená skalice a chlosíran železitý (FeClSO_4), používaný pod obchodním názvem Ferrifloc. [15,16]

2.2.2 Chlorace

Určitou možností, která je zmiňována v odborných člancích je dávkování chloru do odpadní vody. Efektivita redukce sulfidů je omezena kvůli schopnosti reagovat s organickými a anorganickými sloučeninami. Chlor může být dávkován do odpadní vody jako roztok nebo plyn. Kromě odstraňování sulfidových iontů může vést k oxidaci organických látek a ke snížení BSK. Nepříznivé látky, které vznikají při reakci chloru a některých organických látek, jsou trihalogenmethany. [15]

2.2.3 Omezení anaerobních procesů roztokem dusičnanů

Bylo ověřeno preventivní působení dusičnanů proti produkci sulfidů. Přidáním dusičnanů lze nastolit anoxické podmínky v odpadní vodě. Dusičnany jsou v tomto prostředí snáze redukovatelné než síran, tím se snižuje tvorba sulfanu. Navíc jsou dusičnany velmi důležitou složkou pro odstraňování zápachu z vody biologickými procesy. [6]

2.2.4 Oxidace peroxidem vodíku

Peroxid vodíku může oxidovat sulfid a produkovat vodu a kyslík. Navíc produkcí kyslíku může peroxid vodíku přispět k udržování aerobního stavu v odpadní vodě. Při dostatečném dávkování peroxidu se dá dosáhnout efektivity odstranění od 85 % do 100 %. Nevýhodou širšího používání této technologie je životnost peroxidu. Činí asi hodinu a půl a tím by se peroxid musel dávkovat na několika místech stokové sítě. [15]

2.2.5 Stlačený vzduch nebo čistý kyslík

Sulfid může vznikat v hloubce odpadní vody v potrubí už od 1 mm, protože vrstva vody obsahující kyslík je hluboká pouze 0,4 mm. Pokud není přítomný rozpuštěný kyslík v odpadní vodě, může být sulfid přítomný jako rozpuštěný síran. Uvádí se, že hodnoty přesahující 0,5 ml/l rozpuštěného kyslíku v odpadní vodě odkáží zabránit vzniku sulfidů. Provzdušňování se nejčastěji aplikuje do tlakového potrubí nebo do mokrých jímek. Mezi výhody používání této technologie patří snížení BSK a oproti jiným chemickým činidlům kyslík není toxický. Nevýhodou aerace je samotný přenos kyslíku do odpadní vody. Čistý kyslík je pětikrát koncentrovanější než kyslík obsažený ve vzduchu, proto je možné dosáhnout vyšších hodnot rozpuštěného kyslíku v odpadní vodě při použití kyslíku 5 mg/l až 7 mg/l oproti použití vzduchu 3 mg/l až 5 mg/l. I přes použití pětinasobně koncentrovanějšího kyslíku nejsou výsledné hodnoty rozpuštěného kyslíku ve vodě ani dvojnásobné. Dalšími nevýhodami použití kyslíku je riziko požáru při manipulaci a vyšší cena oproti použití běžného kompresu na vzduch.

Na druhou stranu lze o aplikaci čistého kyslíku uvažovat v případě, kdy jsou požadavky na rozpuštěný kyslík vyšší než jakých lze dosáhnout při použití vzduchu. [6]

2.2.6 Oxidace Manganistanem draselným

Manganistan draselný (KMnO_4) je silné činidlo, která je schopné oxidovat sulfid na síran. Typicky se manganistan draselný používá v suchém stavu, proto je potřeba vytvořit vodný roztok před aplikací. Nevýhodou této metody je vysoká cena chemikálie oproti ostatním druhům. [15]

2.2.7 Naředění odpadních vod

Jako řešení lze považovat i naředění odpadních vod. K této technologii lze použít vodu podzemní, dešťovou nebo pitnou. Naředění má za následek snížení koncentrace sulfidů, redukce sulfanu, zvýšení průtoku a tím způsobené i snížení usazování kalu v kanalizaci, popřípadě i vypláchnutí stávajícího sedimentu. Na druhou stranu zvýšení průtoku znamená větší zatížení pro čistírnu odpadních vod. [16]

2.2.8 Biologická oxidace sulfidu

Bylo prokázáno, že vznik sulfanu eliminují také některé druhy bakterií. Za přítomnosti dusičnanů jsou tyto bakterie schopné oxidovat sulfidy a síru. Potřebné elektrony přijímají právě z dusičnanů a tím je redukují. Některé studie předpokládají, že na se procesu inhibice produkce sulfidů převážně podílejí dva druhy bakterií *Thiomicrospira denitrificans* a *Thiobacillus denitrificans*. Dávka dusičnanů se odvíjí podle typu a koncentrace organické hmoty a její aktivity. [6]

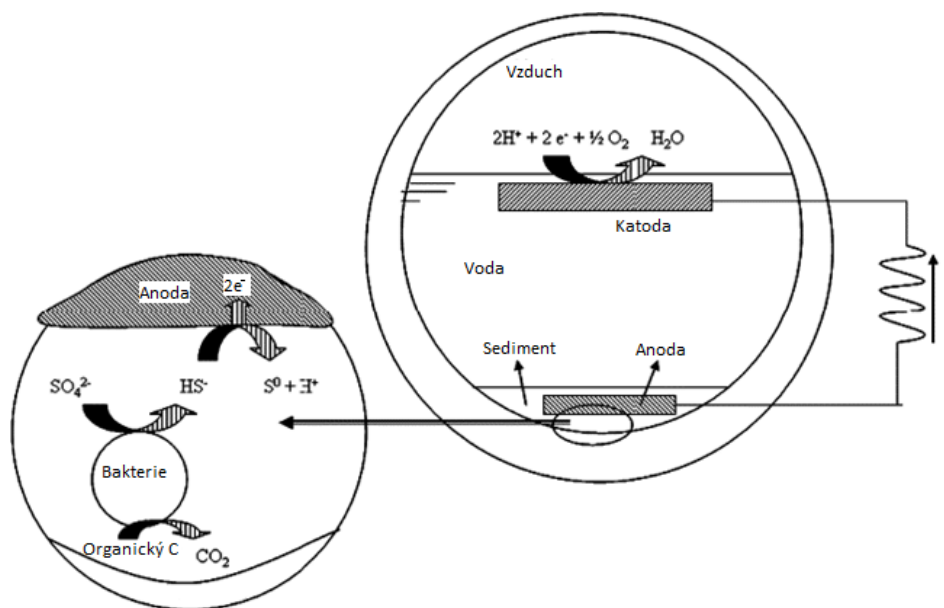
2.2.9 Pokrokové metody odstraňování zápachu z vody

Jednou z metod, na které se zaměřují některé vědecké články, je použití formaldehydu a paraformaldehydu. Formaldehyd je toxická látka, a tak při použití by bylo nutné zajistit, aby se s touto chemikálií nikdo nedostal do kontaktu při průtoku stokovým systémem ani při čištění na čistírně odpadních vod. Formaldehyd se používá v různých průmyslových odvětvích například pro dezinfekci, konzervaci biologického materiálu a sterilizaci. Studie naznačují, že formaldehyd omezuje vznik sulfanu v odpadních vodách. Paraformaldehyd je levnější chemický materiál, který se převádí ve vodných roztocích při příznivých teplotách a hodnotách pH na formaldehyd. Pro použití formaldehydu v odpadních vodách je nutné provést obsáhlý výzkum. Na druhou stranu pravděpodobně nedojde k výraznějšímu rozšíření, protože by provozovatel vždy musel mimo jiné zajistit stokovou síť a ČOV proti úniku formaldehydu do vnějšího prostředí a musel by zajistit bezpečné prostředí pro pracovníky. [6]

Další metodou je pomalé uvolňování kyslíku z pevné sloučeniny. Tato technologie byla původně vyvinuta pro odstraňování emisí siričitých plynů z ropných vrtů. Chemické sloučeniny peroxid hořčíku (MgO_2) nebo peroxid vápenatý (CaO_2) jsou vstříkovány do sedimentů a zde inhibují biologickou aktivitu. Reagují s vodou za pomalého uvolňování kyslíku, jako vedlejší produkt vzniká hydroxid hořečnatý ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), respektive hydroxid vápenatý ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Pomalu uvolňovaný kyslík z pevné sloučeniny pomáhá inhibovat bakterie a oxiduje sulfid.

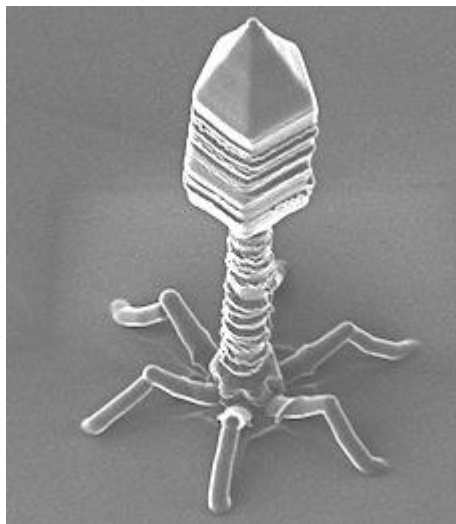
Hydroxid hořečnatý podle výsledku některých testů dokáže inhibovat tvorbu sulfanu po dobu více než 40 dní. Technickým problémem zůstává zajištění pevné sloučeniny na dně jímky, aby nebyl odplaven. [6]

Ještě poměrně neprobádanou možností je vytvoření mikrobiálního palivového článku. To jsou zařízení schopná přímo přeměnit chemickou energii na elektrickou pomocí elektrochemických a biologických procesů. Jako elektrolyt se primárně používají různé sacharidy, ale mikrobiální palivové články mohou vyrábět elektrický proud i v některých komplexních substrátech přítomných v odpadních vodách. Rozpuštěný sulfid může být převeden na elementární síru a oxidací síry v anodickém prostředí má za následek výrobu elektřiny. Schéma zobrazuje možné použití metody v kanalizační síti. [6]



Obr. 2.4 Schéma mikrobiálních palivových článků (upraveno) [6]

Poslední výhledovou metodou odstranění zápachu z vody uvedené v této práci je využití bakteriofágů, zkráceně fágů. To jsou viry, které mají schopnost infikovat a zabíjet bakterie. Důležitým faktorem je, že každý druh fága napadá jen konkrétní druh bakterie. Hlavní otázkou této technologie je najít takové fágy, které by efektivně zneškodňovaly bakterie, které se podílejí na vzniku sulfanu. Pokud takový fág bude nalezen, další výzkum musí spočívat v ověření případného nepříznivého účinku na vnější okolí, aktivovaný kal na ČOV a cokoliv, co se s vodou dostane do kontaktu. [6]



Obr. 2.5 Bakteriofág [17]

2.3 METODY ODSTRANĚNÍ ZÁPACHU ZE VZDUCHU

Odstraňování zápachu jakoukoliv metodou je v podstatě sekundární činnost. Primární činností by mělo být předcházení vzniku různými možnostmi, převážně řízením. Těmito metodami už v podstatě nejde ochránit betonové potrubí proti biogenní síranové korozi, jen v případě použití ventilátoru se doba kontaktu sulfanu se stěnou a následnou tvorbou kyseliny sírové minimalizuje. V mnoha případech není možné provoz řídit tak, aby zápach nevznikal. Tehdy přichází na řadu sekundární řízení a tím i filtrace přes různé náplně.

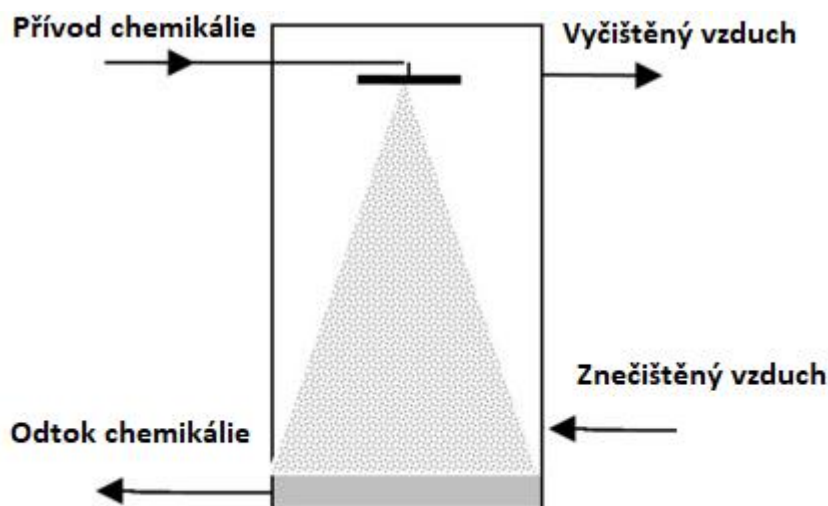
2.3.1 Pračka vzdušiny, oxidace a absorpce

Čištění mokrým vzduchem je velice spolehlivá a flexibilní technologie pro regulaci zápachu ze vzduchu. Tato technologie může být použita k čištění prakticky všech kontaminantů rozpustných ve vodě. Kromě sulfanu a organických pachů je mokré čištění velmi účinné i při odstraňování amoniaku. V pračce je kapalina rozstříkována a vytváří umělou mlhu. Škodlivé látky jsou touto mlhou zachytávány a rozpouštěny z plynné fáze do vodného chemického roztoku. Mechanismus reakce je čistě chemický a stabilní vůči změnám vstupujících látek a vnějším podmínkám. Chemická rovnováha se automaticky udržuje, čímž se minimalizuje možnost průniku zápachu. Proudění vzduchu je také zpomalováno, aby bylo dosaženo většího záchytu škodlivých látek. [14,16]

Je výhodné použití vícestupňové pračky, umožňuje to použití různých chemických roztoků v každém ze stupňů pračky a tím odstraňovat širokou škálu zápachajících látek. Sulfan se nejlépe odstraňuje roztokem hydroxidu sodného, ale na další kontaminanty nejlépe působí chlornan sodný. V jedноступňovém recirkulačním systému se tedy může používat roztok hydroxidu sodného a chlornanu sodného. Zde se vyskytuje nevýhoda vysoké spotřeby chemikálií, protože sulfid vzniklý rozložením sulfanu snadno reaguje s chlornanem. Ve vícestupňovém systému se v prvním stupni používá pouze hydroxid sodný k rozpouštění sirovodíku a chlornan sodný se zařadí až do posledního stupně. Tím se výrazně sníží spotřeba

této chemické látky, což je vhodné, protože se touto technologií znečištění přeneso právě do kapaliny. [14]

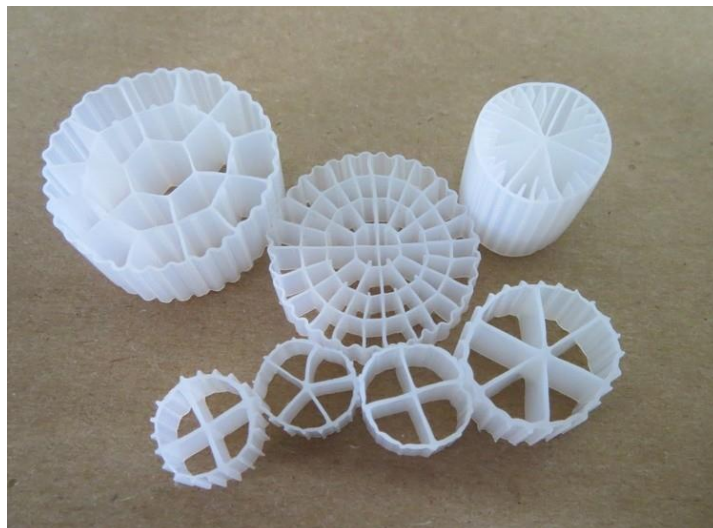
Dají se rozeznat různé typy praček. Jsou to například souproutá pračka, protiproutá pračka a venturiho pračka. Hlavním cílem všech typů je poskytnout co největší kontaktní plochu mezi vzduchem a médiem. [15]



Obr. 2.6 Schéma pračky (upraveno) [15]

2.3.2 Bio-pačka vzdušiny

V bio-pačce je umístěna umělý nosič, jehož cílem je mít co největší povrch. Na povrchu se poté tvoří biofilm ze zkrápěného média a látek oddělených ze vzduchu. V biofilmu dochází ke dvěma procesům, fyzikálnímu a biochemickému. V rámci fyzikálního procesu se molekuly plynu dostávají do rozstříkované kapaliny a v biochemickém procesu se znečištění odbourává přímo v kapalině za pomoci mikroorganismů. Důležitým prvkem této technologie je oběhové čerpadlo, které přečerpává úkapy z nosiče zachycené v nádrži opět do skrápěčů. Škodlivé látky tak zůstávají v médiu a cirkulují společně s ním v pračce, dokud nejsou odbourány biofilmu. [16]



Obr. 2.7 Různé druhy vhodných náplní pro biopračku [18]

2.3.3 Biologický filtr

Princip je podobný jako v případě bio-pračky. S tím rozdílem, že místo náplně s biofilmem je náplň filtru pevná, ve které jsou pachová látka absorbována a odbourána pomocí mikrobiologických organismů. [16]



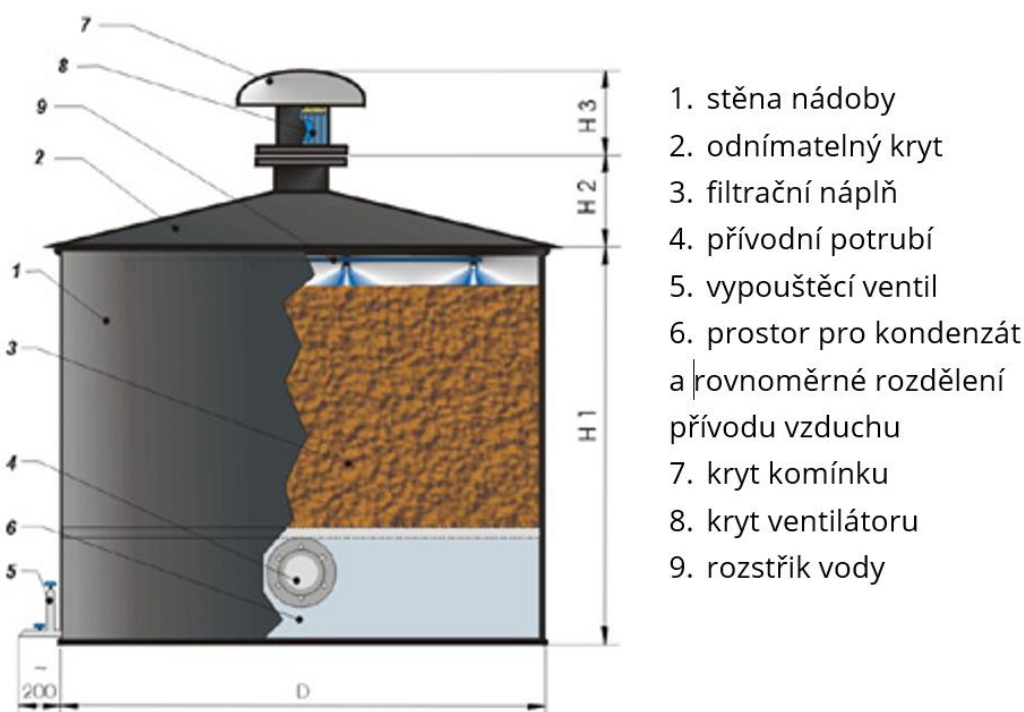
Obr. 2.8 Příklad biologického filtru

2.3.4 Biofiltr s nuceným odtahem vzdušiny

Technologie biologického filtru může být použita k čištění různých biologicky odbouratelných ve vodě rozpustných kontaminantů. Ve filtru jsou škodlivé látky ze vzduchu rozpouštěny z plynné do vodné fáze na povrchu organického média, používá se například rašelina, kůra ze stromů, upravená kořenová vlákna a vlákna z kokosových ořechů nebo kompost. Molekuly

zápachu jsou potom degradovány bakteriologickou populací na tomto médiu. Důležitou podmínkou pro funkci biofiltru je zachování vlhkosti více než 50 %. Podmínka je nutná pro život a funkci mikroorganismů. [14]

Biofiltry jsou velmi účinné při odstraňování zápachu na bázi síry jako například sulfan, sulfidy a merkaptany. Mnohem nižší účinnost biofiltrů je zaznamenána při odstraňování zápachu na bázi dusíků jako je amoniak a jeho sloučenin. Otázkou při navrhování biofiltrů zůstává stabilita a kontrola procesu biofiltrace. Používané náplně mohou být náchylné k poruchám. Když k tomu dojde, náplň se usadí a ztuhne, čímž se zvýší tlaková ztráta filtru. To způsobí snížení průtoku vzduchu požadovanou filtrační patronou, ale emise zápachu může vzniknout na jiném místě. Kontrola biologického procesu je také důležitá, pokud je biologická populace vystavena výrazné změně vnějších podmínek, může dojít k narušení populace bakterií a tím dojde k průniku pachu. Filtr je doplněn o ventilátor, který pomáhá odsávat znečištěný vzduch přes filtr a pryč do ovzduší. [16]



Obr. 2.9 Biofiltr s odtahem vzdušiny (upraveno) [19]

2.3.5 Filtr bez nuceného odtahu vzdušiny

Vzhledem k absenci ventilátoru a bez nutnosti přívodu energie pro ventilátor je tento typ filtru možné osadit do šachty kanalizace přímo pod poklop. Je nutné volit náplň filtru a její frakci takovou, aby vzduch mohl volně unikat z kanalizace a nezpůsoboval výraznou tlakovou ztrátu v proudění vzduchu. V opačném případě by byly škodlivé látky distribuovány dále po síti a mohly by poškozovat kanalizaci. [16]



Obr. 2.10 Příklad šachtového filtru

Na trhu se vyskytuje několik typů kanalizačních filtrů od různých výrobců lišících se v technických detailech. Základní rozdíl je však v druhu náplně, kterou se každý výrobce snaží vyzdvihnout nad ostatní. U všech je základní princip funkce stejný. Unikající vzduch z kanalizační šachty prochází přes filtrační náplň umístěnou pod poklopem.

V některých případech je náplň uzpůsobena jako průtočná, voda ze silnice totiž protéká i netěsnostmi kolem pevného poklopu. U některých náplní je totiž vhodné ponechat určitou vlhkost pro lepší funkci. Například obrázek 2.11.



Obr. 2.11 Filtr s průtočnou náplní [20]

Jiné typy nosičů filtrační náplně jsou naopak upraveny tak, aby náplň nebyla protékána vodou a nezanášela tak náplň splachem ze silnice. Pro tento příklad je na desce, která jinak utěšňuje

šachtu, připevněněn sifon, který odvede vodu mimo filtrační náplň. Sifon je navíc plný vody, a tak přes něj neuniká zápach z kanalizace. Sifon je dobře patrný na obrázku 2.12. Na obrázku je také vidět znečištění, které se zachytává na desce a po delší době provozu může znemožnit funkci sifonu, proto je nutné v rámci revize šachty a filtru také případné očištění desky pro její bezvadnou funkci.



Obr. 2.12 Sifon na kanalizačním filtru

V případě použití gelové náplně výrobce nabízí pouze plastový perforovaný disk. Gelová náplň je pak na disku a vzduch jako u jiných výrobků prochází skrz náplň. Velice záleží na typu gelové náplně, protože některé se mohou rychle rozpouštět a jsou pak z nosiče odplaveny. Gelové náplně tak vyžadují mnohem častější revizi a doplňování než ostatní sorbenty.



Obr. 2.13 Ukázka nosiče gelového sorbentu [21]

Velice důležitým aspektem použití této technologie odstranění zápachu je výběr kanalizačního poklopu. V podstatě jsou jen dvě možnosti, lze použít poklop s otvory nebo bez otvorů. Každá z těchto variant má jednu výhodu a jednu nevýhodu. Při použití plného poklopu vzduch neuniká

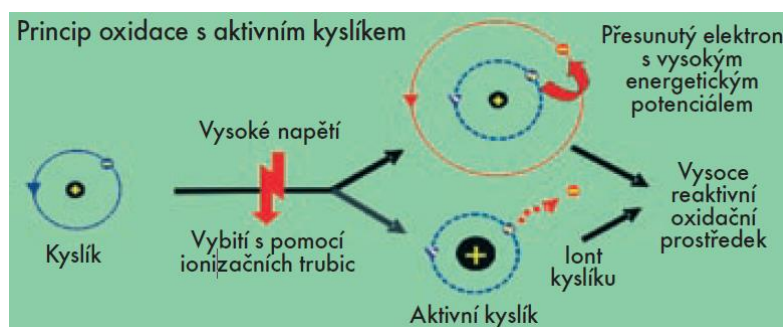
tolik do ovzduší, ale je posouván dále po stoce a způsobuje problémy spojené s biogenní síranovou korozi. Ovšem ani při použití plného poklopu není zajištěna úplná vzduchotěsnost šachty, tak i přes toto zabezpečení zápach z kanalizace uniká do ovzduší. Při použití poklopu s otvory je více ochráněno potrubí proti biogenní síranové korozi, na druhou stranu se zvyšuje riziko úniku zápachu, respektive sulfanu do ovzduší a v zastavěném území to může více obtěžovat obyvatele. Na použití poklopů přímo odkazuje norma ČSN EN 752, která uvádí: „Gravitační stoky a potrubí musí být dostatečně odvětrány do ovzduší, přičemž musí být zajištěn volný průchod vzduchu celým systémem.“ [22]

2.3.6 Adsorpce na aktivním uhlí

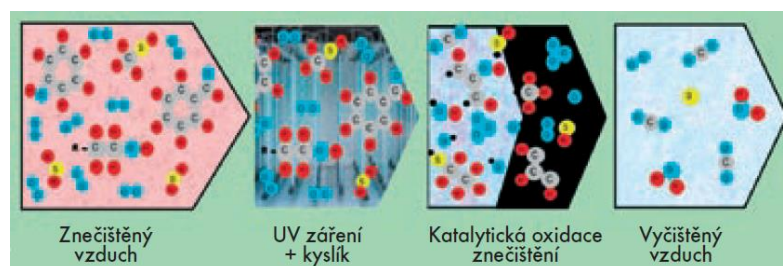
V případě použití aktivního uhlí proud vzduchu prochází přes vrstvu adsorbentu. Sloučeniny, které způsobují zápach, jsou přitahovány k povrchu adsorbentu. Jedná se o nejjednodušší z výše zmíněných technologií odstraňování zápachu. Nejsou potřeba žádné chemické látky zásobení systému, dokonce odpadá i nutnost kontroly biologických procesů, které by mohly být narušeny. Aktivní uhlí má obrovský specifický povrch, na kterém se zachytávají částice plynu. Aktivní uhlí může být využito jako filtrační médium pro odstranění široké škály kontaminantů. Sulfan a sloučeniny na bázi síry jsou velmi účinně odstraňovány. Na druhou stranu amoniak a další sloučeniny na bázi dusíku se nedaří příliš dobře odstraňovat adsorpcí na aktivním uhlí. [14,16]

2.3.7 Fotooxidace, ozonizace, ionizace

Pro odstranění škodlivých látek ze vzduchu se používá také ozon a hydroxylové ionty, které jsou dávkovány do vzduchu pomocí silných elektrických výbojů nebo krátkovlnným UV zářením. Této technologii je předřazen filtr pevných částic, aby nebyly poškozeny UV lampy, respektive elektrody. Zařízení je energeticky a technologicky poměrně náročné na rozdíl od ostatních uvedených metod. [14,16]



Obr. 2.14 Princip ionizace [23]



Obr. 2.15 Princip fotokatalytické oxidace [23]

2.3.8 Neutralizace, kompenzace a maskování

Těmito metodami se zápach pouze překrývá a škodlivé látky ztrácí znatelné organoleptické vlastnosti. Člověk je ale v kontaktu s nebezpečnými látkami dál a tím je nebezpečí vyšší, protože zápach ztratil svoji varovnou vlastnost. Jsou používány éterické oleje a různé přírodní i syntetické látky. V kontaktu se vzduchem většinou neprobíhají žádné chemické procesy. [16]

2.3.9 Naředění čerstvým vzduchem

Naředění zápachových látek má význam v těch případech, kdy provozovatel chce uchránit potrubí před biogenní síranovou korozi a je možnost odvětrávat velké množství zápachajícího vzduchu do extravilánu. Koncentrace zápachových látek se v kanalizaci výrazně sníží pomocí ventilátoru umístěného v potrubí. Je vhodné zajistit, aby velké množství vzduchu neunikalo v zabydlené zóně. [16]

2.4 FILTRAČNÍ NÁPLNĚ

Tato práce se dále zabývá možnostmi odstranění sulfanu pomocí filtrace. Je vytipováno několik různých filtračních náplní, u kterých je předpoklad, že by mohly mít pozitivní efekt na odstraňování zápachu. Některé z nich se používají na odstraňování zápachu a odstranění funguje na bázi adsorpce, u některých je předpoklad pouze maskování zápachu.

Náplně se dají rozdělit pro přehlednost do základních skupin. Rozhodovacím kritériem základního rozdělení jsou společné vlastnosti sorbentů.

- Sorbenty na bázi uhlíku,
 - aktivní uhlí,
 - biochar,
- minerály,
 - zeolit,
 - vermikulit,
- gely,
 - gel 1,
 - gel 2,
- ostatní,
 - recyklovaný papír
 - tuhý gel,
 - jílový granulát,
 - gelový plát.

Aktivní uhlí

Aktivní uhlí je porézní uhlíková látka, jehož výroba má dvě základní fáze. První část spočívá v karbonizaci, tj. pyrolýze výchozího materiálu za nepřístupu vzduchu. Tento produkt má specifický povrch v řádu jednotek m^2/g . Aktivací a tím pádem i rozvinu pórovitosti se dosáhne průchodem vodní páry při teplotě $700\text{ }^\circ\text{C}$ až $1100\text{ }^\circ\text{C}$. Tímto procesem se zvýší specifický povrch materiálu dosahujících až $1600\text{ m}^2/\text{g}$, záleží na zdrojovém materiálu i na použité technologii. Pro výrobu se používá materiál téměř výhradně rostlinného původu, jsou to například skořápky kokosových a jiných ořechů, dřevo, uhlí atd. [23]

Výrazně velkého specifického povrchu aktivního uhlí se využívá v mnoha různých oborech:

- lékařství (vžitý název živočišné uhlí),
- vodárenství,
- čištění odpadních vod,
- potravinářský průmysl,
 - lihovarnictví, vinařství, pivovarnictví,
 - rafinace olejů a tuků,
 - cukrovarnictví,
- chemický průmysl atd. [24]

Aktivní uhlí funguje na principu adsorpce. Na povrchu tuhé fáze se mohou koncentrovat látky z plynné nebo kapalné fáze. Adsorpce může probíhat dvojím způsobem. Chemisorpce, kdy se vazby mezi adsorbentem a adsorbátem v podstatě neliší od jiných chemických vazeb a fyzikální adsorpce, kdy jsou využívány převážně van der Waalovy síly. Při vyčerpání sorpčních schopností se uplatňuje regenerace povrchu, která se provádí podobně jako při výrobě, termickou desorpčí nebo postupným nárůstem teploty v peci a následnou aktivací vodní parou. V praxi se používají tři druhy aktivního uhlí, a to peletované, granulované a práškové. Tyto druhy se liší hlavně ve velikosti frakce. Každá velikost frakce se hodí pro různé použití. [24]



Obr. 2.16 Peletované aktivní uhlí

Biochar

Biochar je jeden z vedlejších produktů pyrolýzy. Pyrolýza je moderní způsob termického rozkladu organických materiálů za nepřístupu kyslíku. Při pyrolýze se zahřívá materiál nad určitou mez, kdy dochází ke štěpení organických látek až na stálé nízkomolekulární produkty a tuhý zbytek. Hlavním produktem je tzv. bioolej, vedlejšími produkty potom pyrolýzní plyn a biouhlí. Předností takto vyrobeného biouhlí je vysoká čistota uhlíku i ve srovnání s nejkvalitnějším uhlím. A pro svoje vlastnosti lze biochar používat v širokém spektru oblastí podobně jako aktivní uhlí kromě lékařství. Navíc je použití možné například ve stavebnictví, pro dekontaminaci půd, čištění vody a vzduchu atd. [25]

Z výše uvedeného je zřejmé, že biochar lze připravit z různých materiálů přírodního původu obsahujícího uhlík. Je pravděpodobné, že biouhlí připravené z různých materiálů bude mít i mírně odlišné vlastnosti například při odstraňování nebezpečných látek ze vzduchu. Použitý biochar pro potřeby této diplomové práce je připraveny z čistého smrkového dřeva.



Obr. 2.17 Biochar

Zeolit

Zeolity jsou krystalické aluminosilikáty alkalických kovů a kovů alkalických zemin, navíc je velice důležitá jejich krystalická struktura, protože ovlivňuje jejich vlastnosti. Zeolity jsou používány v různých konstrukcích již od starověku. V dnešní době existují desítky přírodních a více než sto synteticky připravených zeolitů a jsou používány napříč průmyslovými odvětvími. Struktura zeolitů obsahuje dutiny, které jsou velikostně v řádech desetin nanometrů. Tyto prostory jsou obvykle nahrazeny vodou nebo kationty, které jsou nahraditelné, protože nejsou přímo vázány v pevné struktuře. Objemová hmotnost zeolitu je závislá na druhu, ale pohybuje se kolem 2000 kg/m^3 . [26]

Zeolity mají široké použití napříč různými obory pro svou výraznou schopnost absorbovat vodu, plyny a schopnost ionizace. Obecně se používají při:

- odstraňování některých těžkých kovů,

- odstraňování některých radioaktivních látek v odpadních vodách jaderných elektráren,
- odstraňování amoniaku z odpadních vod,
- filtrace vody do akvárií, bazénů, jezírek atd.,
- neutralizace zemědělských a lesních půd,
- filtrace pitné vody,
- čištění zemního plynu a dalších od amoniaku, sulfanu, oxidů síry a oxidu uhličitého,
- likvidace ropných havárií,
- výrobě portlandského cementu. [27]



Obr. 2.18 Zeolit

Vermikulit

Minerál vermikulit patří do skupiny fylosilikátů nebo do skupiny vločkových silikátů. Po chemické stránce je ve vermikulitu zastoupeno velmi mnoho chemických sloučenin. Mezi majoritní složky patří oxid křemičitý (SiO_2), oxid hlinitý (Al_2O_3), oxid železitý (Fe_2O_3), oxid hořečnatý (MgO) a oxid draselný (K_2O). Vermikulit je využíván například v zahradnictví pro provzdušňování půdy, ve stavebnictví jako izolace nebo plnivo do betonů. Pro potřeby této práce je vybrán vermikulit s tímto chemickým složením ($\text{Na}_{0,21} \text{K}_{0,39} \text{Mg}_{0,19} \text{Ca}_{0,13} 6\text{H}_2\text{O}$) ($\text{Mg}_5 \text{Fe}^{+2}_{0,2} \text{Fe}^{+3}_{0,8}$) [$\text{Si}_{15,5} \text{Al}_{2,5} \text{O}_{20}$] (OH)₄. V první kulaté závorce jsou uvedeny prvky, které představují iontovýměnnou vrstvu, prvky uvnitř druhé kulaté závorce obsahují kationty oktaedrické vrstvy a prvky v poslední hranaté závorce obsahují tetraedrickou vrstvu. Do skupiny sorbentů nebyl vybrán pro očekávané sorpční vlastnosti, ale jako nosná vrstva pro gely, které se částečně do vermikulitu nasáknou a nezpůsobí velkou tlakovou ztrátu při použití samotného gelu. [28]



Obr. 2.19 Vermikulit

Gel 1

Tento produkt je komplexní směs chemických sloučenin, které neutralizují velké spektrum pachů. Technologie výroby byla objevena před více než 25 lety. Všechny organické i anorganické pachy by neměly být maskovány, ale přímo neutralizovány. Produkty jsou netoxické a šetrné pro životní prostředí. Základní sloučeninou, na které jsou založeny produkty, jsou terpeny. Jsou to uhlovodíky převážně rostlinného původu obsahující kyslík. Terpeny mají antibakteriální a antiseptické vlastnosti. Výrobce uvádí tři mechanismy působení produktu na zdroj zápachu, je to adsorpce, absorpce a chemická reakce. Škála těchto výrobků je široká v oblasti eliminace zápachu. Pro potřeby této práce je využit produkt ve formě gelu, který je rozmělněn na kousky o velikosti 1 až 2 cm. [29]



Obr. 2.20 Gel 1

Gel 2

Tento produkt je neutralizér zápachu, který je možné použít na široké spektrum zápachu. Může být použit v čisté formě nebo může být ředěn vodou. Ředění je závislé pouze na způsobu použití. Produkt je směs přírodní éterických olejů a emulgátorů potravinové čistoty. Výrobek je produkován ve dvou variantách, jako kapalina a gel. Kapalná forma je vhodná spíše pro postřík zdroje zápachu, gelová forma se hodí například do náplní filtrů, kterými proudí vzduch. Produkt není toxický a je biologicky odbouratelný. [30]



Obr. 2.21 Gel 2

Recyklovaný papír

Podle výrobce je filtr připravený z recyklovaného starého papíru, který je zbavený tiskařské černi. Tento papír údajně obsahuje další živné látky, takže se granulát jeví jako vhodný prostředek pro odbourávání zápachu. Filtr je ve formě šedavých peletek s obsahem sušiny 95 %, objemovou hmotností 300 kg/m^3 a udávaným specifickým povrchem $282 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Tento výrobek je přímo určen pro odstraňování zápachu ze splaškové i jednotné kanalizace a dodává se společně s konstrukcí, která se osadí do šachty pod poklop. Nejsou známy toxické vlastnosti, nepoužitý materiál je vhodný na kompostování. Použitá náplň filtru musí být odborně zlikvidovaná. [20]



Obr. 2.22 Recyklovaný papír

Tuhý gel

Hmota pod pracovním označením tuhý gel je zahraniční komerční výrobek, který deklaruje odstraňování pachů různého původu. Produkt je používán pro čištění pachů již přes 50 let. Gel je polotuhé konzistence připomínající máslo, obsahuje aktivní uhlí, zvlhčovač a neutralizující činidla. Gel se prodává v plastové perforované dóze. Po otevření víčka se výrobek nechá u zdroje zápachu a měl by absorbovat a neutralizovat všechny pachy. Hodí do domácností, hotelů, škol, garáží atd. pro odstraňování běžných pachů jako je třeba zápach z cigaret, od domácích mazlíčků, pachy z kuchyní a koupelen atd. Produkt by měl plnit svoji funkci od 30 do 120 dní v závislosti na velikosti balení, velikosti prostoru, kde má působit, intenzitě zápachu a proudění vzduchu kolem dózy. Polotuhá náplň neobsahuje toxické ani hořlavé látky, její používání by nemělo být hygienicky závadné. [31]

Vzhledem ke komerčnosti výrobku je třeba k informacím od výrobce přistupovat skepticky. Výrobce slibuje zachycování a neutralizaci zápachů na rozdíl od parfémování vzduchu jinými látkami na přebíjení zápachu. Výrobek o konzistenci másla je pro potřeby naplnění kolony rozdělen na nepravidelné kousky (obrázek 2.23).



Obr. 2.23 Tuhý gel

Jílový granulát

Jílový granulát je silná deodorizační látka, která má široké spektrum účinku na zápach vznikající rozkladem organických látek. Kromě zápachu pohlcuje i vzdušnou vlhkost. Pórovitý granulát je napuštěný účinnými látkami, které se pomalu uvolňují při kontaktu se vzduchem. Trvanlivost granulátu by měla být od 4 do 8 dní v závislosti na intenzitě a objemu zápachu, který má být zneškodněn. Objemová hmotnost materiálu je cca 500 kg/m^3 . Jílový granulát je vhodné použít například pro likvidaci zápachu z tabáku nebo od domácích mazlíčků či chovné zvěře. Výrobek je zdravotně nezávadný. [32]



Obr. 2.24 Jílový granulát

Gelový plát

Gelový plát je produkt z polymerního gelu, který uvolňuje aktivní látky do okolí. Uvolněné látky na sebe adsorbují pachové látky a vytváří sloučeniny, které nejsou nebezpečné. Gel

neutralizuje široké spektrum pachových látek. Dle výrobce je tato technologie schopná redukovat zápach až do 95 % celkové koncentrace, dále je limitována chemickými zákony. Gel je obalen kolem kovové mřížky a tím se vytvoří kompaktní plát, který je mechanicky odolný a vydrží delší dobu v agresivních podmínkách, například v kanalizační šachtě. Existuje několik druhů gelových plátů, které jsou určeny na odstraňování různého druhu zápachu. Gelové pláty je možné použít i pro eliminaci zápachu z různého chemického průmyslu ve spolupráci se vzduchotechnikou. Plát se umístí do nosiče do proudu vzduchu, aktivní látky jsou strhávány a po cestě vzduchotechnikou reagují se zápachem. [33]



Obr. 2.25 Gelový plát

2.5 MĚŘENÍ ZÁPACHU

Příčiny vzniku, účinky zdroje se hledají pomocí kvantitativních měření pachových látek. Pomocí těchto metod se také vyhodnocují požadavky na zařízení k odstraňování zápachu. ČSN EN 12255-9 uvádí dva možné druhy měření.

1. Měření založená na olfaktometrii 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.
2. Měření založená na použití určitých sloučenin 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.
- [4]

2.5.1 Olfaktometrie

Koncentrace pachových látek v plynném vzorku se stanoví podáním vzorku komisi, která se skládá z předem vybraných a ověřených lidských subjektů. Při měření je snahou dosáhnout zředěním neutrálním plynem zředovací poměr, při kterém 50 % subjektů dosáhne prahové koncentrace vzorku. Poté se koncentrace sledovaného vzorku určí jako násobek prahové koncentrace. Výstupem je tedy koncentrace vyjádřená počtem pachových jednotek, tedy kolikrát je zápach silnější než prahová koncentrace zápachu. Metoda je upravována normou ČSN EN 13725. Tato norma uvádí i pachovou jednotku, která je definována jako množství pachových látek v 1 m³ plynu, které vyvolá stejnou reakci posuzovací komise jako n-butanol v koncentraci 0,040 μmol/mol neutrálního plynu. [34]

Olfaktometrická metoda je na bázi subjektivního poznávání koncentrace plynů a z tohoto principu může být zatíženo chybou, byť je měření prováděno v akreditované laboratoři a je ošetřeno technickou normou. Navíc výstup této metody je uveden v jiné jednotce než běžně používané jednotky ppm. Jako další nevýhodou této metody je nemožnost okamžitých výsledků požadované koncentrace určitého typu, jako je u jiných měřících postupů.

2.5.2 Měřící přístroje koncentrace sulfanu

Měřící přístroje jsou důležitou součástí pokusů jak v laboratoři, tak v kanalizační šachtě. Pro laboratorní měření dostačuje použití přenosného detektoru s okamžitým odečtem dat. Do šachty se umísťuje detektor v kombinaci s dataloggerem, kde se data uchovávají po celou dobu měření. Následující přístroje jsou použity pro potřeby měření koncentrace do této práce.

OdaLog Logger L2

Společnost App-Tek se zabývá výrobou detektorů plynů jako sulfan, amoniak, kyanovodík a oxidy dusíku, síry a oxidu uhelnatého. Detekce nebezpečných nebo obtěžujících plynů je důležitá pro bezpečnost pracovníků vstupujících do potenciálně zamořených prostor. Detektory OdaLog Logger jsou uzpůsobeny právě pro prostředí kanalizace, čistírny odpadních vod, ventilačních šachet atd. Konstrukce detektoru je velice odolná proti mechanickému i chemickému působení a je proto vhodné pro dlouhodobé měření v agresivním prostředí kanalizace. Proti odcizení je schránka detektoru vybavena masivním okem pro připevnění například k stupadlu v šachtě. Pro potřeby laboratorního i terénního měření jsou využity dva detektory.

- LL-H2S-200, deklarovaný rozsah měření od 0 ppm do 200 ppm, prakticky detektor zaznamenává koncentraci až cca 335 ppm s rozlišovací schopností na 0,1 ppm. Přesnost detektoru je 1 % z plného rozsahu čili 0,2 ppm.
- LL-H2S-1000, s rozsahem měření 0 ppm až 1000 ppm s rozlišovací schopností 1 ppm. Přesnost detektoru je 1 % z plného rozsahu čili 1 ppm.



Obr. 2.26 Použité detektory OdaLog Logger L2

Gas Alert Micro 5

Přístroj je přenosný a programovatelný až na 5 plynů, které lze sledovat současně. Pro sulfan platí rozsah hodnot od 0 ppm do 500 ppm s výchozím standardním rozlišením 1,0 ppm. Přístroj primárně slouží pro detekci plynů kvůli zajištění bezpečnosti práce pracovníků, kteří vstupují do rizikových míst. Při detekci nebezpečného plynu přístroj spustí varovné zvukové i světelné signály. Detektor obsahuje integrovanou pumpu, která nasává vzduch, aby bylo zabezpečeno měření i v případě špatně přístupných prostor.



Obr. 2.27 Gas Alert Micro 5 při laboratorním měření

3 LABORATORNÍ MĚŘENÍ

Tato část diplomové práce se zabývá otestováním sorpčních vlastností materiálů uvedených v předchozí kapitole. Sorbenty jsou testovány na odstraňování sulfanu ze vzduchu, protože sulfan je vyhodnocen jako nejnebezpečnější plyn, který se může v kanalizacích vyskytovat v nemalém množství.

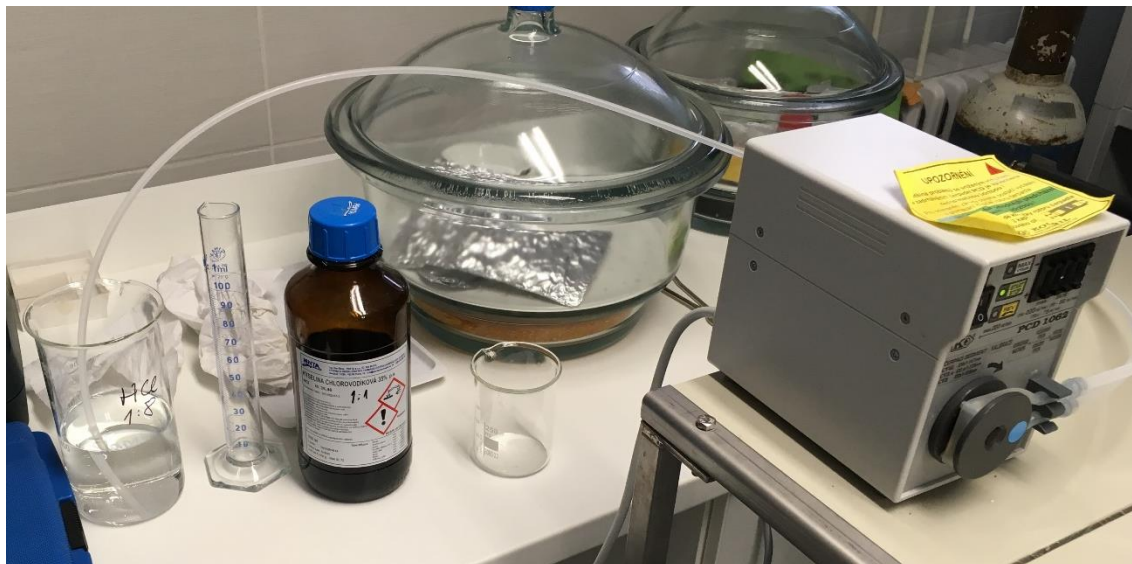
3.1 ZKUŠEBNÍ MODEL

Model je vytvořen a měření je provedeno v laboratorním prostředí firmy Asio, s.r.o. Základními prvky zkušebního modelu je reakční nádrž, ve které se vyrábí sulfan reakcí a kde dochází ke smíšení se vzduchem. Druhým nejdůležitějším prvkem modelu je filtrační kolona, přes kterou je směs vzduchu se sulfanem filtrována.

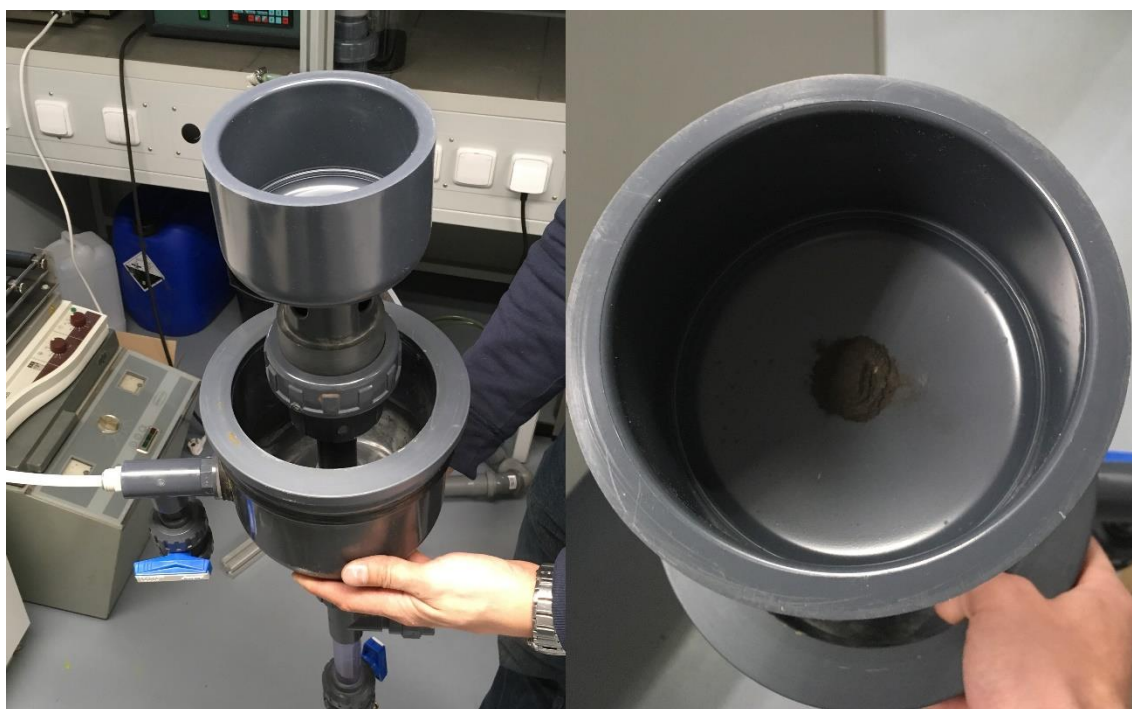


Obr. 3.1 Zkušební model

Sulfan je vyráběn podle chemické rovnice 3.1 v reakční misce na obrázku 3.3 tak, že se do misky vloží stanovené množství práškového sulfidu železnatého a celá odnímatelná část se připevní k akumulční nádobě. Vrchní částí je potom přiváděna kyselina chlorovodíková zředěná v poměru 1:8 s destilovanou vodou dávkovacím peristaltickým čerpadlem (obrázek 3.2).



Obr. 3.2 Dávkovací peristaltické čerpadlo a HCl v ředícím poměru 1:8



Obr. 3.3 Vlevo: odnímatelná spodní část akumulční nádoby s reakční miskou, vpravo: připravený FeS v reakční misce

Uvolněný plynný sulfan je akumulován v nádobě. Zespod je přiváděn vzduch z dmyhadla pro zředění sulfanu vzduchem. Pro redukci vhněného vzduchu do akumulací nádoby je použito škrcení přívodního vzduchu i bypassu (viz. obrázek 3.4). Vzhledem vyššímu tlaku v akumulací nádobě je důraz na to, aby byla nádoba vzduchotěsná a neunikala tak směs sulfanu se vzduchem do prostředí laboratoře.



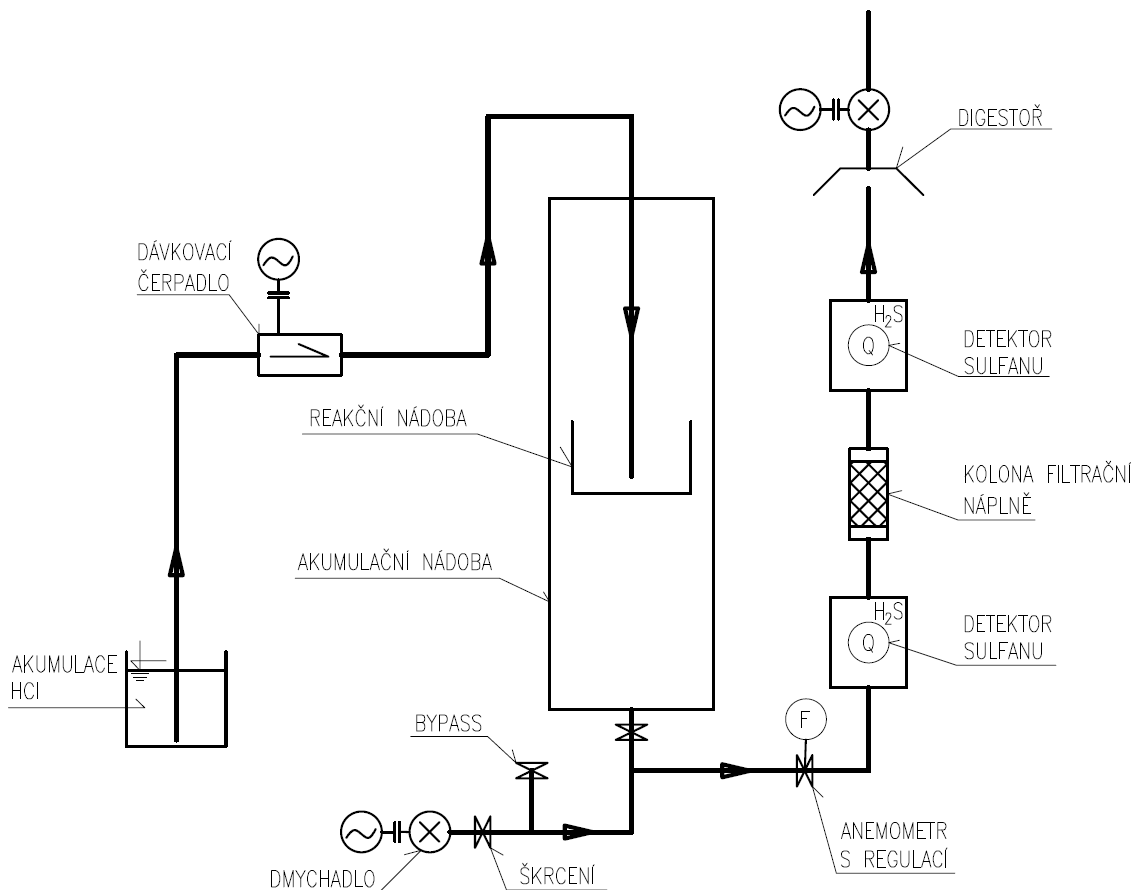
Obr. 3.4 Odnímatelná spodní část akumulací nádoby, dmyhadlo

Takto vyrobená směs proudí skrz anemometr, kde je redukována na konstantní průtok. Po redukcí směs prochází kolem prvního detektoru, v těchto místech je umístěn manometr pro kontrolu konstantních podmínek. Dále směs prochází přes kolonu sorbentu, kde by se měl odstraňovat zápach. Průměr potrubí, ze kterého je náplň vytvořena má vnitřní průměr 5 cm. Výška náplně je stanovena na 20 cm. Z uvedených rozměrů vyplývá, že objem filtrační náplně, která aktivně odstraňuje sulfan je 0,39 l. Po průchodu přes kolonu směs znovu prochází kolem detektoru a je dále odtahována digestoří do venkovního prostředí.



Obr. 3.5 Detail kolony, umístění detektorů, manometru a anemometru s možností redukce průtoku vzduchu

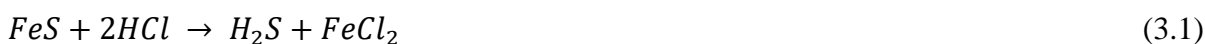
Samotné testování je rozděleno do dvou fází, v první fázi se na všechny sorbenty v koloně nechá působit sulfan po dobu 30 minut pro určení, zda je konkrétní sorbent schopen odstraňovat sulfan ze vzduchu. V druhé fázi potom sorbenty, které se jeví jako úspěšné, jsou vystaveny proudění sulfanu po dobu 24 hodin.



Obr. 3.6 Schéma laboratorního modelu

3.2 VÝPOČTY

Základní chemická rovnice, při které reaguje sulfid železnatý a kyselina chlorovodíková je velice jednoduchá:



Molární hmotnosti pro následující výpočet:

$$M_r(\text{FeS}) = 87,834 \text{ g/mol}$$

$$M_r(\text{H}_2\text{S}) = 34 \text{ g/mol}$$

Trojčlenkou se vypočítá, kolik gramů sulfanu lze vyrobit chemickou reakcí z 1 g sulfidu železnatého.

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

$$87,8 \text{ g/mol} \dots \dots \dots 34 \text{ g/mol}$$

$$x = \frac{34}{87,8} = 0,387 \text{ g H}_2\text{S} \quad (3.2)$$

Po získání hmotnosti potřebného sulfanu je třeba vypočítat látkové množství dle vzorce:

$$n = \frac{m}{M_r} \quad (3.3)$$

kde: n ... látkové množství [mol],
 m ... hmotnost [g],
 M_r ... molární hmotnost [g/mol].

Látkové množství sulfanu z 1 g FeS je tedy následující:

$$n = \frac{0,387}{34} = 0,0114 \text{ mol}$$

Následuje výpočet objemu sulfanu z molárního objemu:

$$V = V_m \cdot n \tag{3.4}$$

kde: V ... objem [l],
 V_m ... molární objem [l/mol],
 n ... látkové množství [mol].

Objem sulfanu z 1 g FeS je tedy teoreticky stanoven:

$$V = 22,4 \cdot 0,0114 = 0,255 \text{ l}$$

Natavení podmínek pokusu

1. fáze

- trvání pokusu 30 minut,
- 1 g FeS,
- 35% HCl 1:8 s průtokem 1 ml/min,
- průtok nastavený na anemometru 3 l/min,
- umístění v laboratoři.

2. fáze

- trvání pokusu 24 hodin,
- 10 g FeS,
- 35% HCl 1:8 s průtokem 0,1 ml/min,
- průtok nastavený na anemometru 3 l/min,
- umístění ve skladu nebo v exteriéru.

3.3 NAMĚŘENÉ HODNOTY

3.3.1 1. fáze

Vzhledem k použití poměrně silného dmyhadla a konstrukce akumulární nádoby je obtížné nastavit dokonalé promísení sulfanu se vzduchem a konstantního toku směsi. Byť jsou počáteční i okrajové podmínky pro všechna měření stejné, u sorbentů to vyvolává různé křivky.

V této fázi pokusu je však nejdůležitější zjištění, zda je sorbent schopen nějaký sulfan odstraňovat.

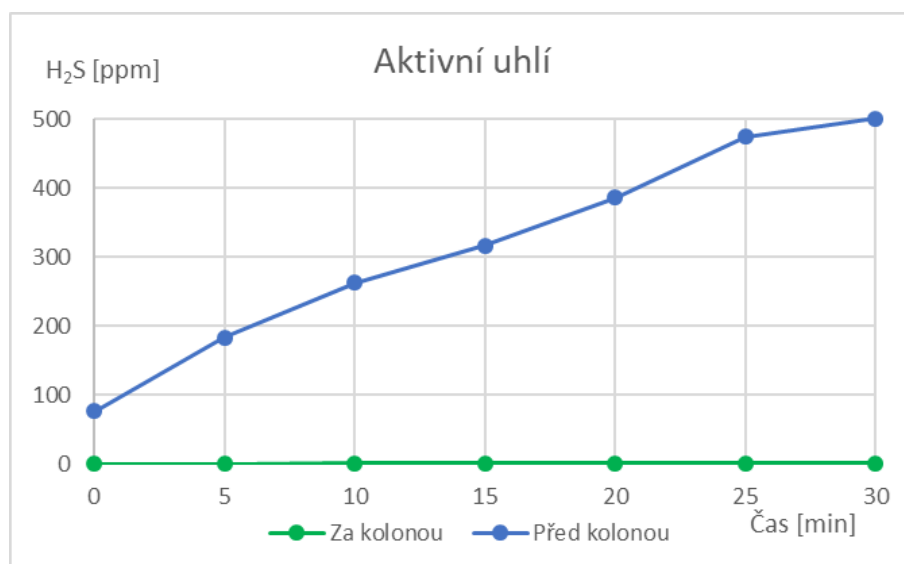
Nastavený časový krok záznamu měření je nastaven na 5 minut. Oba detektory jsou nastaveny na stejný čas. Čas, po který dorazí plyn od jednoho čidla k druhému je přibližně 1 minuta. Kvůli nastavenému kroku měření je tento čas zanedbán.

Aktivní uhlí

Tab. 3.1 Odstranění sulfanu aktivním uhlím

Aktivní uhlí			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odstranění [%]
	před kolonou	za kolonou	
0	76,0	0,0	100,0
5	183,0	0,0	100,0
10	262,0	0,1	100,0
15	316,0	0,2	99,9
20	386,0	0,3	99,9
25	474,0	0,3	99,9
30	500,0	0,3	99,9

Jak je již u popisu detektoru zmíněno, výsledné hodnoty mají přesnost $\pm 0,2$ ppm.



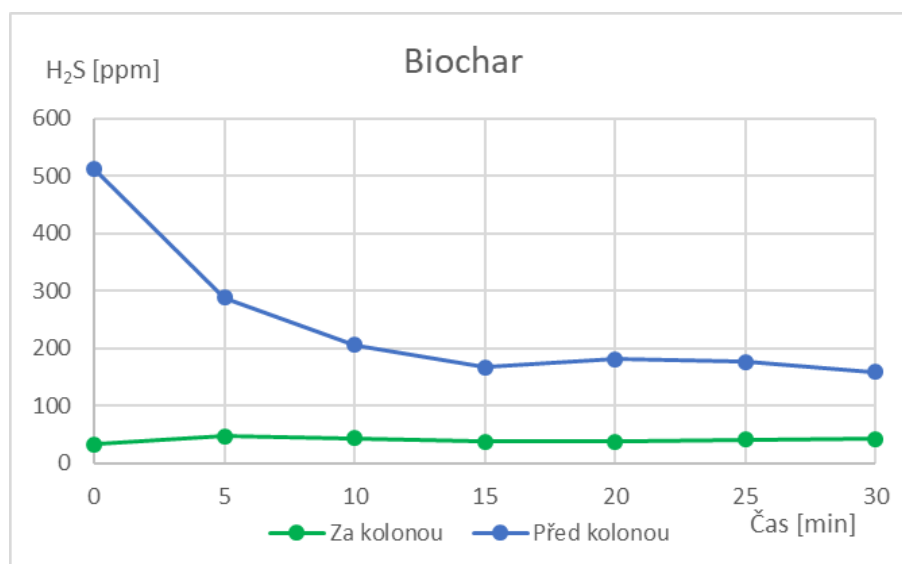
Obr. 3.7 Odstranění sulfanu aktivním uhlím

Aktivní uhlí se podle předpokladu jeví jako vynikající sorbent. Je odstraněn veškerý sulfan, až při vysoké koncentraci aktivní uhlí propustí zanedbatelné množství sulfanu. Aktivní uhlí je zařazeno i do druhé fáze měření.

Biochar

Tab. 3.2 Odstranění sulfanu biocharem

Biochar			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odstranění [%]
	před kolonou	za kolonou	
0	512,0	32,9	93,6
5	288,0	47,8	83,4
10	206,0	43,8	78,7
15	167,0	37,6	77,5
20	182,0	38,0	79,1
25	177,0	41,0	76,8
30	159,0	42,8	73,1



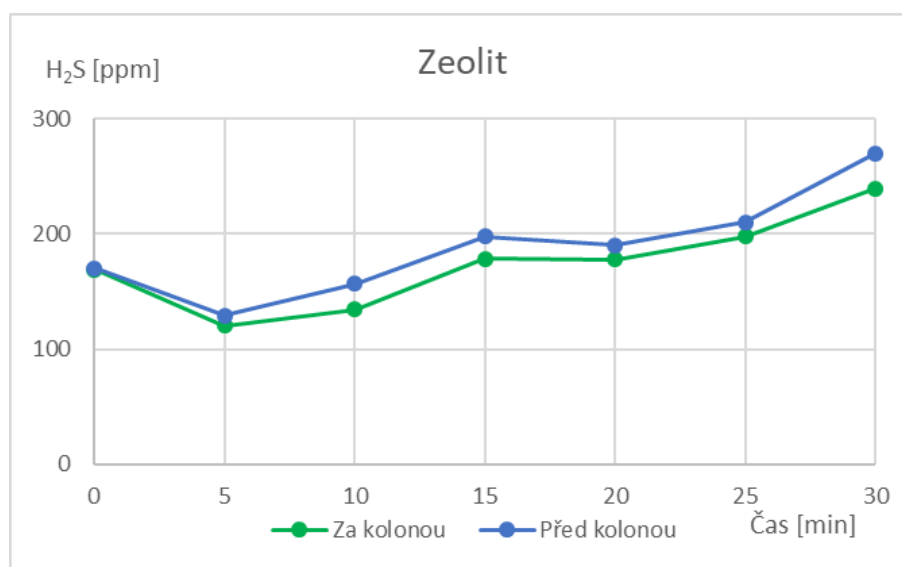
Obr. 3.8 Odstranění sulfanu biocharem

Biochar funguje na podobné bázi jako aktivní uhlí, jen má pravděpodobně menší pórovitost, a proto je výsledné odstranění sulfanu nižší než u aktivního uhlí. Přesto odstranění dosahuje přes 70 % a proto je biochar také zařazen do druhé fáze měření.

Zeolit

Tab. 3.3 Odstranění sulfanu zeolitem

Zeolit			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odstranění [%]
	před kolonou	za kolonou	
0	170,0	169,1	0,5
5	129,0	120,2	6,8
10	157,0	134,5	14,3
15	198,0	178,8	9,7
20	190,0	177,8	6,4
25	210,0	197,8	5,8
30	270,0	239,7	11,2



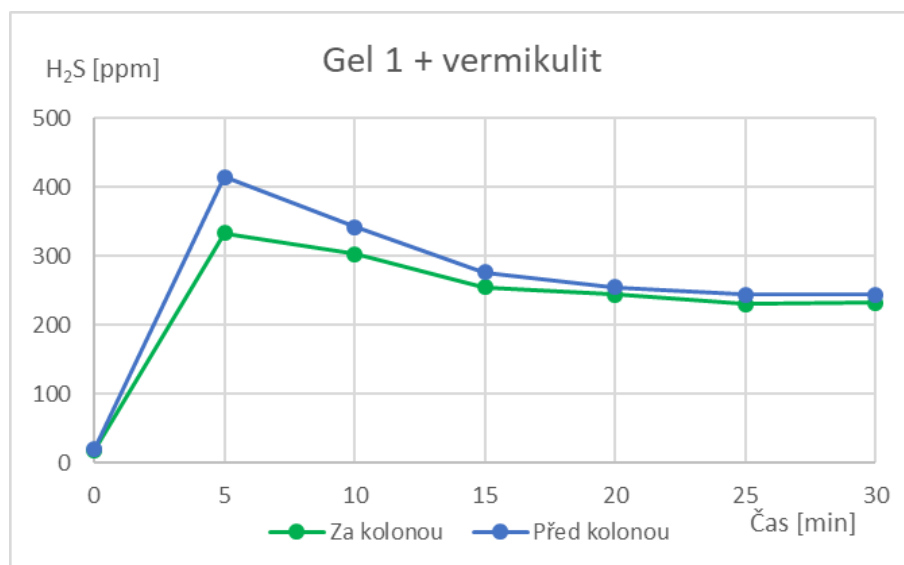
Obr. 3.9 Odstranění sulfanu zeolitem

Zeolity se nezdávka používají pro filtrační účely ve vodním prostředí. Pro filtraci sulfanu se však v laboratorním pokusu neosvědčují. Odstranění se během pokusu pohybuje přibližně kolem 10 %.

Gel 1 + vermikulit

Tab. 3.4 Odstranění sulfanu gelem 1 s vermikulitem

Gel 1 + vermikulit			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odstranění [%]
	před kolonou	za kolonou	
0	20,0	17,8	11,0
5	414,0	333,1	19,5
10	342,0	302,6	11,5
15	276,0	254,8	7,7
20	254,0	243,6	4,1
25	244,0	229,4	6,0
30	244,0	232,2	4,8



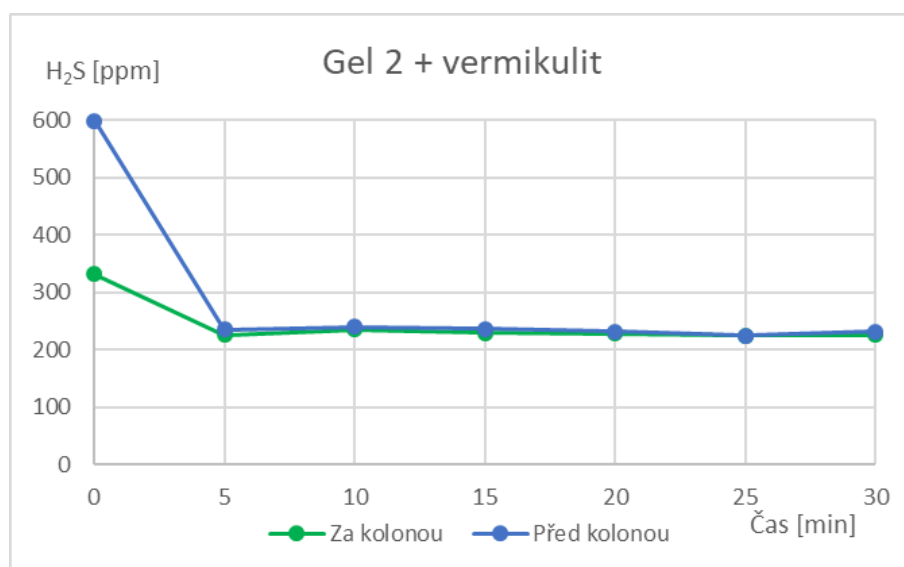
Obr. 3.10 Odstranění sulfanu gelem 1 s vermikulitem

Na počátku pokusu se gel 1 blíží ke 20 %, ke konci je ovšem odstranění ustálené kolem 5 %. Vzhledem k tomu, že se gel 1 používá k odstraňování zápachu, tak při použití u sulfanu je gel 1 schopný zápach pouze maskovat, nikoliv efektivně odstraňovat.

Gel 2 + vermikulit

Tab. 3.5 Odstranění sulfanu gelem 2 s vermikulitem

Gel 2 + vermikulit			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odstranění [%]
	před kolonou	za kolonou	
0	598,0	331,6	44,5
5	235,0	225,3	4,1
10	240,0	235,5	1,9
15	236,0	229,2	2,9
20	232,0	228,4	1,6
25	225,0	224,3	0,3
30	231,0	225,4	2,4



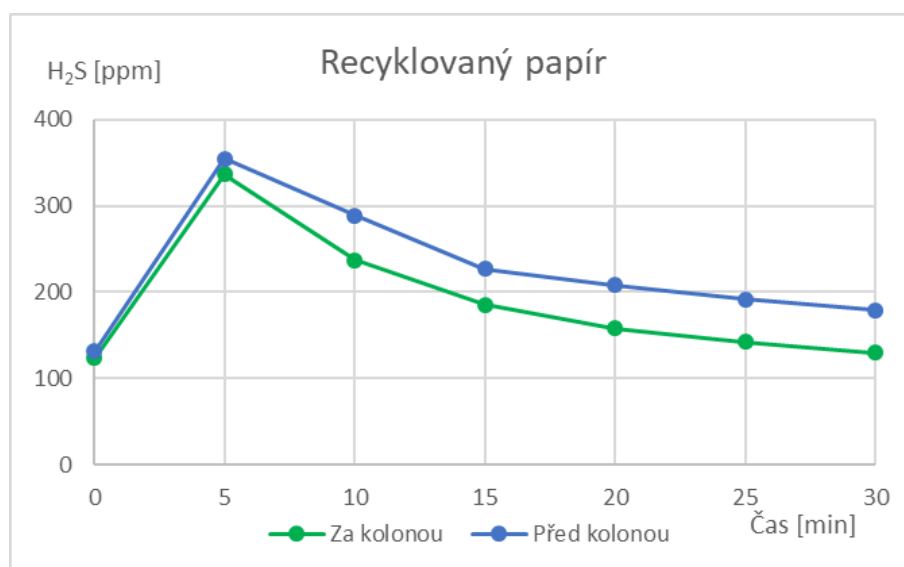
Obr. 3.11 Odstranění sulfanu gelem 2 s vermikulitem

Slibný začátek kolem 45 % je způsobený rychlostí průtoku vzduchu a pravděpodobně vyšší koncentrací v jistém okamžiku, proto se odstranění zdá velice dobré. Po ustálení je však odstranění pouze kolem 2 %. Gel 2 se používá podobně jako gel 1. Z výsledků je ovšem patrné, že tento výrobek je schopen sulfan také pouze maskovat.

Recyklovaný papír

Tab. 3.6 Odstranění sulfanu recyklovaným papírem

Recyklovaný papír			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odstranění [%]
	před kolonou	za kolonou	
0	131,0	123,7	5,6
5	355,0	336,7	5,2
10	289,0	237,2	17,9
15	227,0	185,8	18,1
20	208,0	158,2	23,9
25	192,0	142,2	25,9
30	179,0	130,1	27,3



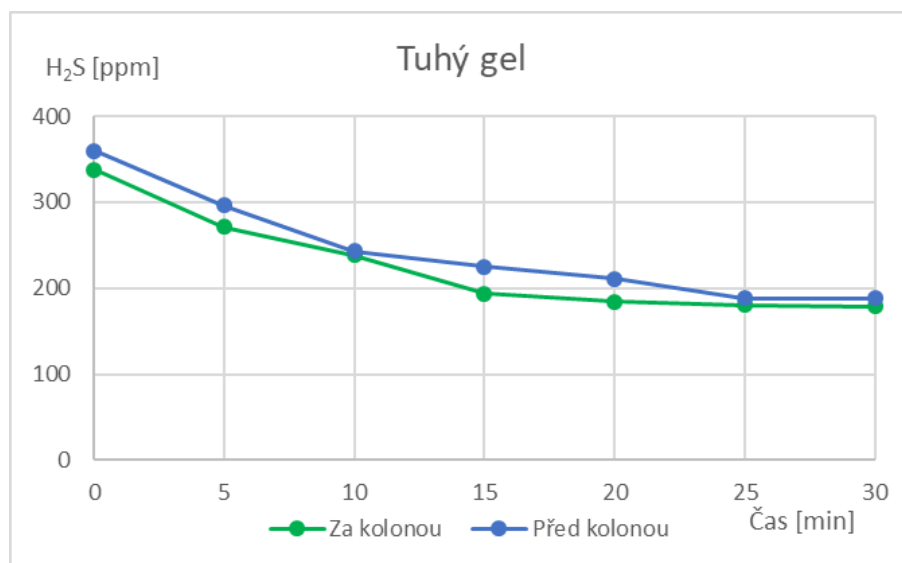
Obr. 3.12 Odstranění sulfanu recyklovaným papírem

Recyklovaný peletovaný papír se používá právě pro odstraňování sulfanu z kanalizace. Při testu se projevilo znatelné snížení sulfanu. Ke konci pokusu má odstranění vzrůstající tendenci. V absolutních hodnotách je odstranění počínaje 10. minutou rozdíl koncentrací cca 50 ppm. Přes zvyšující se odstranění recyklovaný papír není zařazen do druhé fáze měření.

Tuhý gel

Tab. 3.7 Odstranění sulfanu tuhým gelem

Tuhý gel			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odstranění [%]
	před kolonou	za kolonou	
0	360,0	337,5	6,3
5	296,0	271,6	8,2
10	243,0	238,6	1,8
15	225,0	193,7	13,9
20	211,0	184,7	12,5
25	188,0	180,1	4,2
30	188,0	179,2	4,7



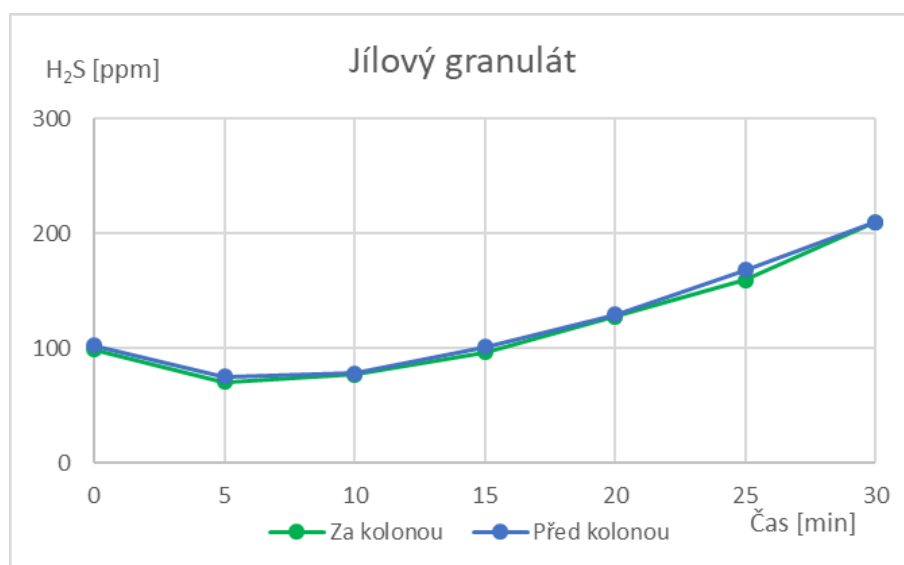
Obr. 3.13 Odstranění sulfanu tuhým gelem

Tuhý gel patří mezi výrobky, které cílí na soukromý sektor, aby odstraňoval zápach v domácnostech. Podle očekávání tuhý gel nezaznamenává žádné razantní odstranění. Pohybuje se totiž mezi 5 % až 14 %. Pro své výrazné aroma je zápach tímto výrobkem spíše maskován, než neutralizován.

Jílový granulát

Tab. 3.8 Odstranění sulfanu jílovým granulátem

Jílový granulát			
Čas [min]	Koncentrace sulfanu [ppm]		Odstranění [%]
	před kolonou	za kolonou	
0	102,0	98,9	3,0
5	75,0	70,5	6,0
10	78,0	76,8	1,5
15	101,0	96,5	4,5
20	129,0	127,6	1,1
25	168,0	159,3	5,2
30	210,0	209,8	0,1



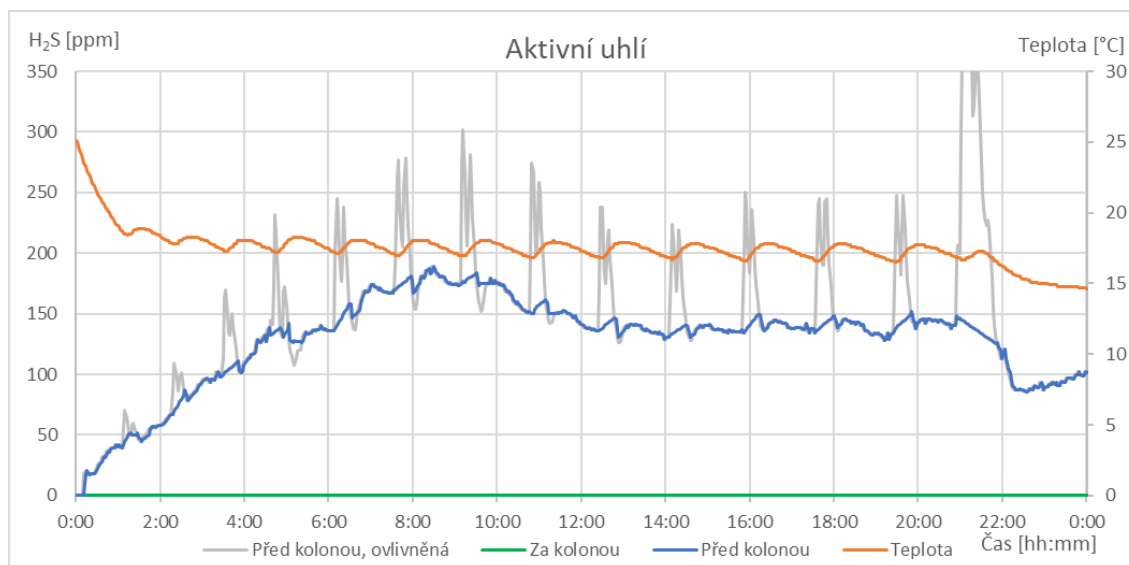
Obr. 3.14 Odstranění sulfanu jílovým granulátem

U jílového granulátu napuštěného aktivní látkou se nepotvrdil předpoklad, že by sorbent byl schopen odstraňovat sulfan. Látka je použitelná převážně pro odstranění pachů po domácích zvířatech. Odstranění sulfanu je v podstatě zanedbatelné, navíc byl granulát vystaven nižší vstupní koncentraci než ostatní sorbenty.

3.3.2 2. fáze

První část měření zjišťuje schopnost odstranění sulfanu u jednotlivých sorbentů. V druhé části je snahou nechat sulfan působit po delší dobu, maximálně však 24 hodin a zjistit za jak dlouho je schopen sorbent účinně odstraňovat plyn.

Aktivní uhlí



Obr. 3.15 Odstranění sulfanu aktivním uhlím v dlouhodobém testu

Aktivní uhlí se opět projevuje jako vynikající sorbent, který je schopen adsorbovat velké množství sulfanu. V tomto případě je kvůli organizačním důvodům zkušební model umístěn mimo prostory laboratoře ve skladovacích prostorách. Modrá křivka uvedená v grafu 3.15 je upravená, jsou odstraněny maxima. Periodické výkyvy, v grafu označeny jako „Před kolonou, ovlivněná“, naměřeného sulfanu před kolonou jsou způsobeny spouštěním vzduchotechnické jednotky, která vytápí prostory ventilací teplého vzduchu. Zvýšené proudění vytváří komínový efekt kolem testovacího modelu, a tak zvyšuje průtok kolonou. Tento předpoklad podporuje graf teploty, který je na obrázku přidán.

Jak je již u popisu detektoru zmíněno, výsledné hodnoty mají přesnost $\pm 0,2$ ppm. Odborné zdroje se neshodují v prahové koncentraci, kterou je člověk schopný ucítit. WHO uvádí tuto hranici na 0,008 ppm, což je menší než udávaná přesnost detektoru. Při kontrole při spuštění a před ukončením pokusu sulfan není cítit u vývodu ze zkušebního modelu, proto je pravděpodobné, že je skutečně odstraněn veškerý sulfan.

Náplň aktivního uhlí adsorbovala po dobu 24 hodin veškerý sulfan s maximální koncentrací 451 ppm a průměrnou koncentrací 142,8 ppm. Při uvedeném přepočtu (2.4) na hustotu, je to 200 mg/m³. Při nastaveném konstantním průtoku 3 l/min je za 24 hodin přefiltrováno 4,32 m³. Z uvedených hodnot vyplývá, že náplň aktivního uhlí o objemu 0,39 l odstraní ze vzduchu 864 mg sulfanu.

$$M_r(H_2S) = 34 \text{ g/mol}$$

$$m(H_2S) = 0,864 \text{ g}$$

Výpočtem látkového množství (3.3) se zjistí počet molů plynu:

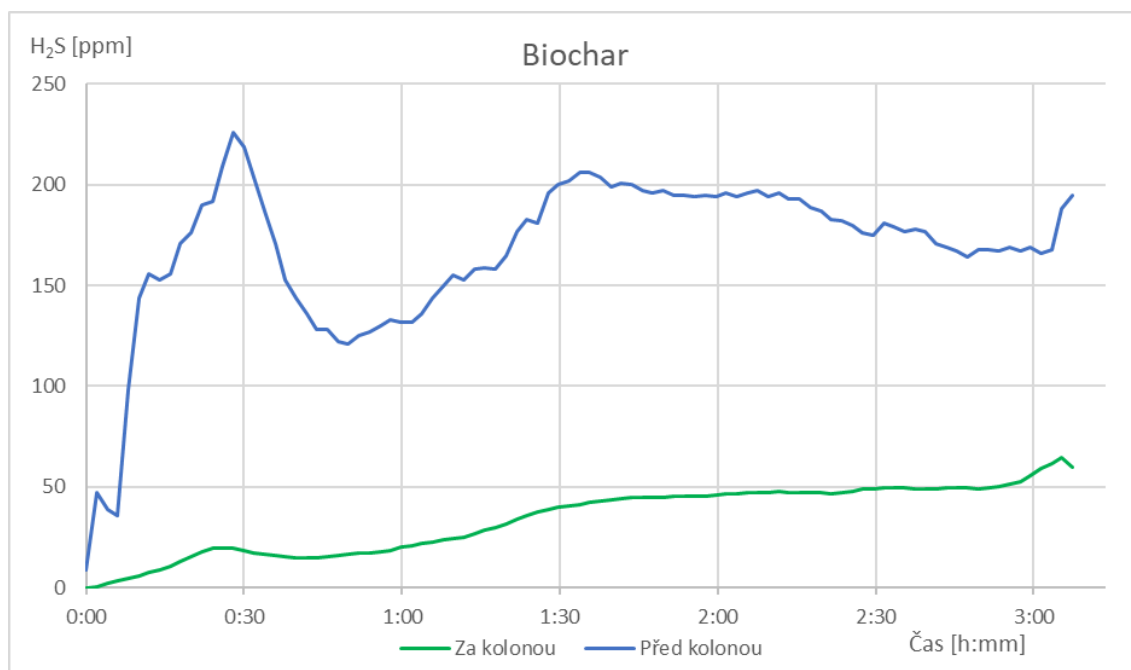
$$n = \frac{0,864}{34} = 0,0254 \text{ mol}$$

A výpočtem (3.4) se určí objem plynu:

$$V = 22,4 \cdot 0,0254 = 0,569 \text{ l}$$

Náplň o objemu 0,39 l aktivního uhlí je odstraněno ze vzduchu 0,57 l sulfanu. Je jasné, že při pokračování tohoto pokusu by byl nadále sulfan odstraněn a hodnota by mohla být mnohem větší. Kvůli objemu reakční nádoby však není vhodné pokus s těmito podmínkami provádět v delším časovém horizontu.

Biochar



Obr. 3.16 Odstranění sulfanu biocharem v dlouhodobém testu

Biochar má velký potenciál pro využití jako filtrační náplň. Nedosahuje sice takové účinnosti, jako aktivní uhlí, ale velice se mu přibližuje na rozdíl od ostatních druhů sorbentů.

Plán je vystavit biochar působení sulfanu po dobu 24 hodin nebo do zvýšení zápachu nad přijatelnou mez. Z organizačního hlediska je model umístěn v exteriéru. I přes toto opatření je pokus ukončen po 3 hodinách a 8 minutách z důvodu zvýšeného zápachu v okolí a kvůli nebezpečí pro zaměstnance. Při pokusu dochází poměrně brzy k vyčerpání sorpční kapacity biocharu a koncentrace za kolonou vzrůstá na hodnotu 60 ppm po 3 hodinách pokusu. U tohoto pokusu nemá velký význam počítat množství adsorbovaného sulfanu jako v předchozím případě.

Konkrétní biochar se částečně osvědčil jako dobrý adsorbent. Výzkum biocharu je ještě poměrně v začátcích pro použití jako filtrační látky. Biochar je možné připravit mikrovlnnou pyrolýzou z různých látek, proto je možné nalézt mnohem lepší typ biochar než tento, který je vyrobený ze smrkového dřeva.

3.4 SHRNUÍ LABORATORNÍHO MĚŘENÍ

Laboratorní testy v některých případech prokázaly a utvrdily předpoklad, jiné sorbenty vyloženě zklamaly. Jako nejlepší sorbenty se ukázaly ty na bázi uhlíku s obrovskou specifickou plochou, aktivní uhlí a biochar. Aktivní uhlí má své místo v mnoha druzích průmyslu už mnoho let pevné. K rozšíření biocharu je nutné vybudovat několik reaktorů mikrovlnné pyrolýzy, aby se biochar dal zpracovávat jako druhotná surovina a ne jako produkt. Tím by se biochar stal výhodnějším z ekonomického hlediska pro odběratele.

Zástupce přírodních minerálů, které se používají pro filtraci, pro potřeby pokusu byl vybrán zeolit. Předpokladem bylo větší odstranění, než čeho bylo ve skutečnosti dosaženo. Podobně jako u biocharu platí, že je velké množství druhů zeolitů, které mohou mít různé filtrační vlastnosti.

Výrazně špatně dopadly všechny gely, které byly podrobeny testování. Ať už jsou používány na odstraňování zápachu v jakémkoliv prostředí, v testu na odstranění sulfanu se ukázalo, že zápach je pouze maskován. V případech praktického použití je maskování velice nebezpečné, protože lidské smysly nevnímají zápach původní látky, a tak je lidské tělo vystaveno působení sulfanu mnohem déle. Pro použití gelů v testu byly gely smíchány s vermikulitem pro snížení tlakové ztráty a pro provzdušnění náplně. Vliv vermikulitu na odstranění sulfanu však nebyl brán v potaz.

Testem propadl také jílový granulát, který má podobně jako gely velice výrazný vlastní pach, který přebíjí původní zápach. Granulát je použitelný právě při chovu domácích zvířat, kdy dokáže pohltit i vlhkost a maskovat zvířecí pachy. Pro odstranění sulfanu se však vůbec nehodí, ze všech vybraných sorbentů dopadl nejhůř.

Zajímavým sorbentem je recyklovaný papír, během testu se potvrdilo částečné odstranění sulfanu. Zde by mohla hrát roli i vlhkost sorbentu, která během testu nebyla brána v potaz. V konečném hledisku však nedosahuje recyklovaný papír zdaleka takových kvalit jako aktivní uhlí nebo biochar.

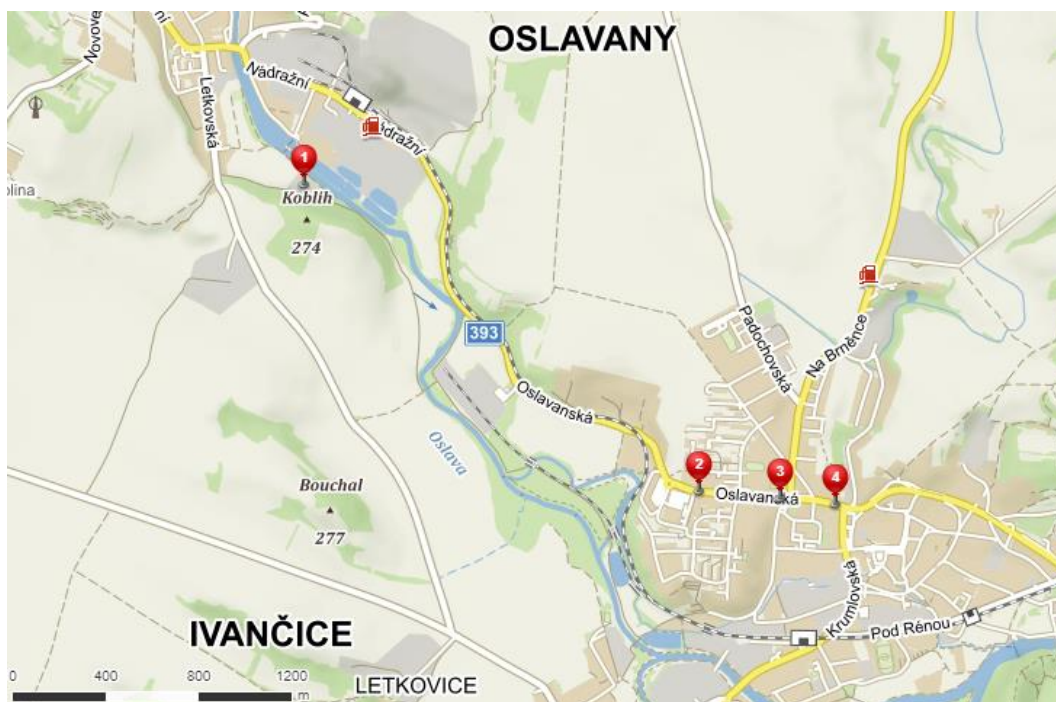
4 POUŽITÍ NA KONKRÉTNÍM ÚZEMÍ

4.1 POPIS ÚZEMÍ

Ivančice se nacházejí asi 15 km vzdušnou čarou jihozápadně od Brna. Za problematickou lokalitu je určena Oslavanská ulice, protože je do gravitační kanalizace připojen výtlak z Oslavan, které jsou vzdáleny asi 2 km severovýchodně od Ivančic. Nejproblematictější šachty jsou určeny podle zkušenosti technického pracovníka Vodárenské, a.s. Kromě předávací šachty to jsou ještě dvě po proudu kanalizace. V celé ulici jsou použity kloubové litinové poklopy v plném provedení. Vzduchu je tedy nejjednodušší metodou bráněno proudit z šachet, nicméně zápach je obtěžující z dlouhodobé zkušenosti pracovníků i z vlastní zkušenosti. Navíc je sulfan distribuován po stoce dále a ohrožuje profil potrubí biogenní síranovou korozí, ta ale není předmětem praktické části této diplomové práce.

Na obrázku 4.1 jsou vyznačeny:

1. čerpací stanice ČS OV 01 Oslavany, bývalá ČOV,
2. předávací šachta Š KŠ6,
3. šachta Š C40,
4. šachta Š CK1.



Obr. 4.1 Zájmové území (zdroj: Mapy.cz)

4.1.1 Čerpací stanice

Čerpací stanice v obci Oslavany je zřízena na místě bývalé čistírny odpadních vod. Provoz byl vyhodnocen jako neekonomický a došlo k vybudování čerpací stanice a výtlaku do obce

Ivančice, kde dochází k čištění na ČOV Ivančice pro 19300 EO. Na čerpací stanici v Oslavanech je napojeno přibližně 4100 EO z Oslavan a z přilehlé obce Padochov.

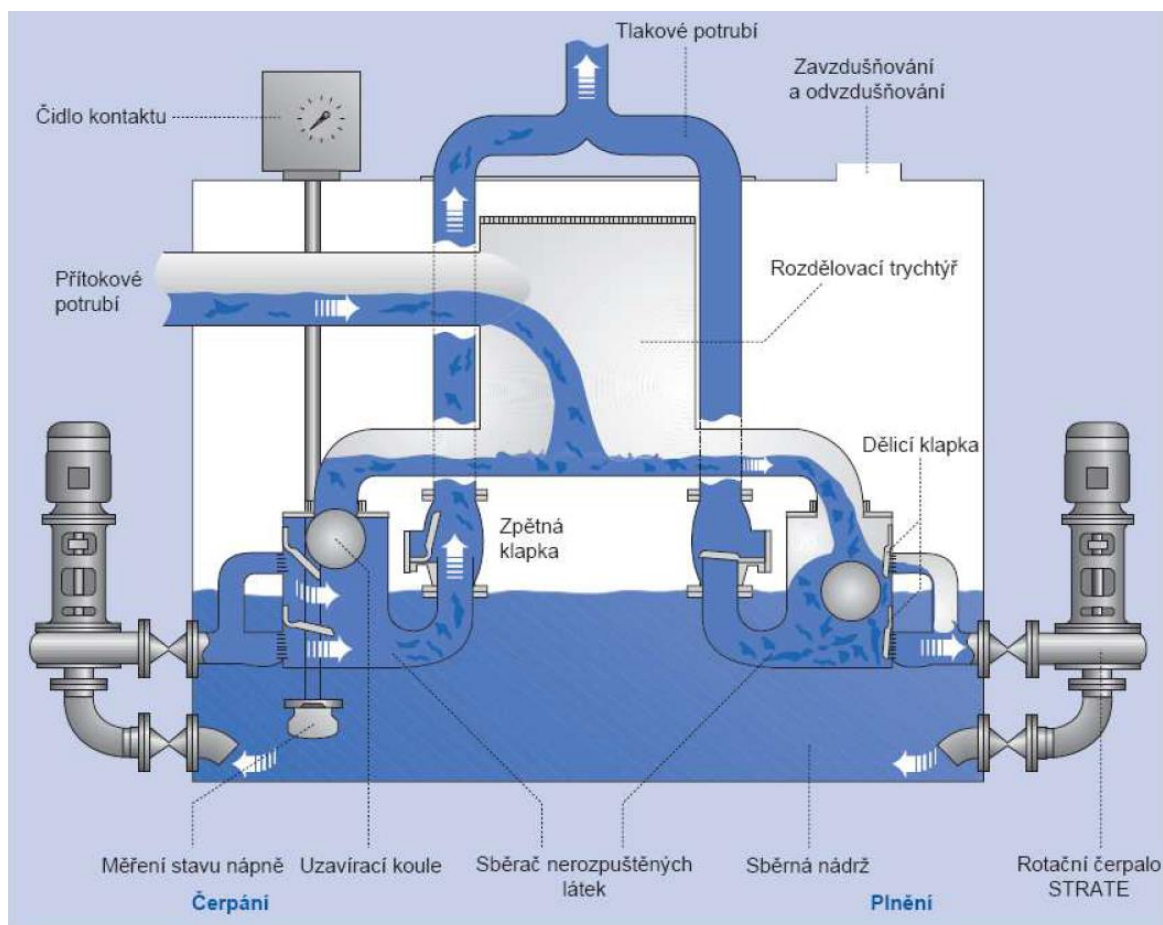
Objekt čerpací stanice obsahuje mechanické předčištění od shrabků a písku v kompaktní jednotce. Dále obsahuje dešťovou zdrž pro případ zvýšených průtoků s přelivem do recipientu. Samotné čerpání odpadní vody zajišťuje zařízení firmy STRATE, čerpací systém AWALIFT 3/2 se systémem separace pevných látek. Systém obsahuje dvě stejná hydrodynamická odstředivá diagonální čerpadla s hydraulickými charakteristikami:

$$H = 32 \text{ m v. sl.}$$

$$Q = 80 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Princip čerpání se systémem separace pevných látek

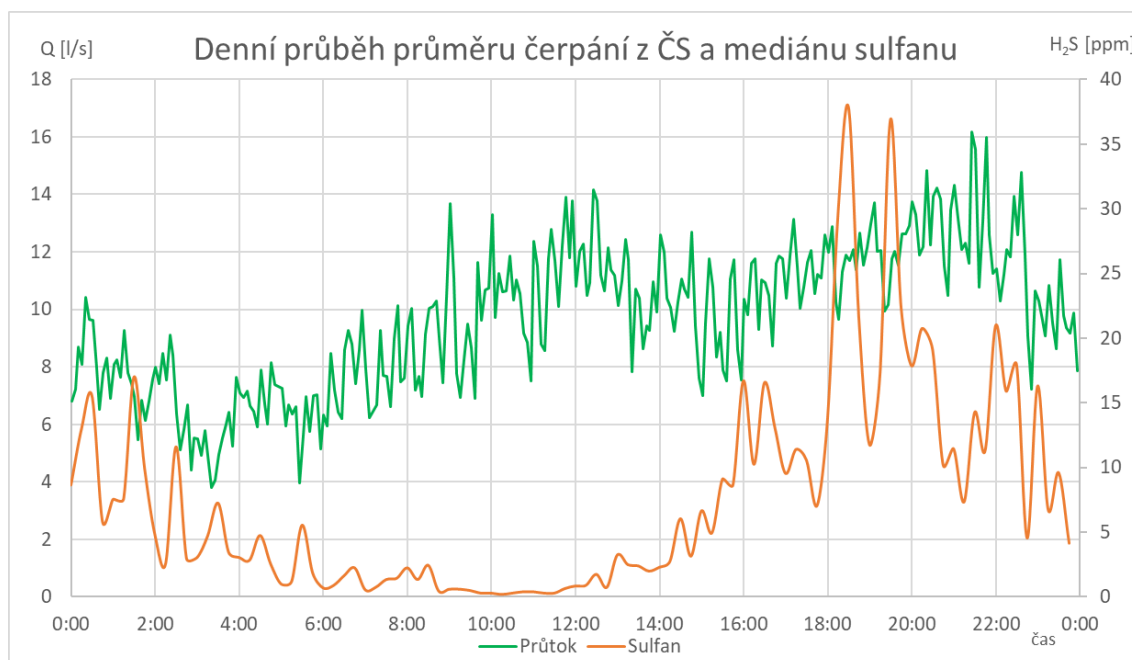
Odpadní voda natéká přívodním potrubím přes rozdělovací trychtýř do sběrače pevných látek. Zde jsou hrubé nečistoty zadrženy oddělovacími klapkami. Odpadní voda proteče skrz tyto oddělovací klapky, jsou to v podstatě mini česle. Dále proteče přes oběžné kolo čerpadla do akumulární nádrže. Při dosažení spínací hladiny v akumulární nádrži, řídicí systém sepne čerpadlo, které pomocí předčištěné vody z akumulární nádrže vypláchne pevné separované látky do výtlačného potrubí. Při tom dojde k pročištění sběrače. Čerpadla nikdy nečerpají ve stejný čas. Pokud jedno čerpadlo čerpá vodu, odpadní voda natéká skrz druhé čerpadlo, které je nečinné.



Obr. 4.2 Schéma funkce STRATE (zdroj: Vodárenská, a.s.)

Denní průběh čerpání

Vzhledem k principu čerpání odpadní vody čerpací stanicí by denní průběh čerpání měl reflektovat křivku spotřeby vody. Měření probíhá pomocí čidla, které každých pět minut vysílá signál na dispečink s hodnotou průtoku. Není instalován průtokoměr, který by v každém okamžiku zaznamenal okamžitý průtok. Může tedy nastat situace, kdy čerpadlo sepne, vyčerpá odpadní vodu a toto se stane mezi dvěma signály od čidla, tudíž by nebylo zaznamenáno čerpání. Poskytnutá data za jeden a půl měsíce jsou dostatečně reprezentativní, aby mohly ukázat trend průměrného denního čerpání. Na obrázku 4.3 v grafu průtoku je znatelné denní minimum v ranních hodinách kolem 3. hodiny a dvě maxima kolem 12. a 21. hodiny. Křivka v podstatě reflektuje denní spotřebu vody s ohledem na dobu zdržení v kanalizaci, kdy odpadní voda z obce Padochov musí urazit vzdálenost přes 5 km. Dále je v grafu i denní průběh mediánu koncentrace sulfanu v předávací šachtě pro porovnání s průtokem ve výtlačku. Tomuto se podrobněji věnuje další část práce.



Obr. 4.3 Denní průběh průměru čerpání z doby od 1.9. do 16.11. a medián sulfanu z měření od 12.7. do 15.8.

Hladiny čerpání

Velice důležitou součástí provozu čerpací stanice je nastavení spínací a vypínací hladiny. Zde se střetávají dva požadavky na ekonomiku provozu a trvanlivost čerpací techniky s požadavkem na co nejkratší dobu zdržení v akumulaci. Pro čerpadlo je vhodnější pracovat v delších cyklech s méně častým spínáním, což znamená větší nárok na akumulaci. Na druhou stranu je snahou zkrátit dobu zdržení a tím zmenšit akumulaci.

Spínací hladina v tomto případě je nastavena ve výšce 1,3 m ode dna. Vypínací hladina je nastavena na výšku 0,1 m ode dna. Akumulační nádoba má tvar válce s průměrem 1,4 m.

Z rozdílu hladin, průměru akumulční nádoby a při zanedbání technologie pro hrubý odhad lze vypočítat, že čerpadla, při každém sepnutí vyčerpají $1,8 \text{ m}^3$ odpadní vody.

Vzhledem k tomu, že data o průtoku nejsou kontinuální, dá se pro výpočet použít průměrná hodnota ze zaznamenaného průtoku $Q = 24,2 \text{ l/s}$. Z uvedeného vyplývá, že plná akumulace se vyčerpá za 1 minutu a 15 sekund bez započítání rozběhu a doběhu čerpadla.

4.1.2 Výtlačné potrubí

Výtlačné potrubí vede v části kolem řeky Oslavy a v části kolem státní silnice v celkové délce $2380,7 \text{ m}$. Potrubí je tvořeno z polyetylenu DE 225, jehož tloušťka stěny je $20,5 \text{ mm}$. Z toho vyplývá, že vnitřní profil výtlačné kanalizace má průměr 184 mm . Z vzorce pro výpočet objemu válce je jasný objem celého potrubí $V = 63,3 \text{ m}^3$.

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

kde: $V \dots$ objem potrubí [m^3],
 $l \dots$ délka potrubí [m],
 $d \dots$ vnitřní průměr potrubí [m].

Doba zdržení

Z dat poskytnutých Vodárenskou, a.s. za hydrologický rok 2017 je průměrný denní přítok $Q_{24} = 735 \text{ m}^3/\text{den} = 30,6 \text{ m}^3/\text{hod}$. Pro výpočet maximální doby zdržení je možné použít součinitel minimální hodinové nerovnoměrnosti $k_{\min} = 0,6$ podle ČSN 73 6701.

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

kde: $Q_{\min} \dots$ minimální hodinový průtok [m^3/hod],
 $Q_{24} \dots$ průměrný denní průtok [m^3/hod],
 $k_{\min} \dots$ součinitel minimální hodinové nerovnoměrnosti [-].

Při použití součinitele je tedy minimální průtok $Q_{\min} = 18,4 \text{ m}^3/\text{hod}$. Za předpokladu, že přítok je konstantní po celou dobu a při zanedbání diskontinuální práce čerpadel je doba zdržení $t = 3,4$ hodin.

4.1.3 Provozování výtlačku

Dalším důležitým opatřením pro kvalitu odpadní vody je provzdušnění výtlačku. Pro možnost provzdušnění potrubí po více místech je souběžně s výtlakem položeno potrubí DE 32, které je zaústěno do výtlačku v čistících šachtách ve staničení 973 m , 1381 m a 1923 m . Před vstupem do výtlačku je provzdušňovací potrubí opatřeno zpětnou klapkou a uzávěrem, který je úmyslně částečně škrcen pro stejnou distribuci vzduchu do všech částí. Kompresor je nastaven na 50 minut provozu a na 10 minut přestávky. Výkonové charakteristiky nebyly předány ze strany provozovatele.

4.2 ČASOVÝ HARMONOGRAM PRACÍ

Práce na konkrétním území v Ivančicích probíhaly v tomto sledu:

12.7.2017

- instalace detektoru do šachty předávací Š KŠ6,

15.8.2017

- ukončení měření,

4.10.2017

- osazení předávací šachty Š KŠ6 filtrem s náplní biochar,
- osazení šachty Š CK1 (před nemovitostí č.p. 48) filtrační náplní ve směsi vermikulit a gel 2 přibližně v poměru 1:1,
- osazení šachty Š C40 (před nemovitostí č.p. 24) gelovým plátem,
- instalace detektoru do šachty Š C40,
- čas instalace 9:11,

9.10.2017

- instalace detektorů na předávací šachtě Š KŠ6 tak, že jeden detektor byl umístěn pod filtrem a jeden nad filtrem.
- čas instalace 9:13 detektoru pod filtrem a 9:18 detektoru nad filtrem,

16.10.2017

- přepnutí datových řad na detektorech,
- odběr vzorků v předávací šachtě a v čerpací jímce firmou Vodárenská, a.s.,
- vypnutí kompresoru, který provzdušňuje výtlač,
- čas instalace 8:37,

23.10.2017

- výměna filtračních náplní mezi šachtami Š KŠ6 a Š CK1, tak aby byl na předávací šachtě filtr s náplní vermikulitu a gelu 2,
- přepnutí datových řad na detektorech,
- odebrání detektoru umístěného nad filtrem kvůli stažení dat,

26.10.2017

- znovu instalace obou detektorů nad i pod filtr,
- čas instalace 15:04,

30.10.2017

- odběr vzorků v předávací šachtě firmou Vodárenská, a.s.,

2.11.2017

- opětovné sepnutí kompresoru v čase 13:00,
- přepnutí datových řad,

9.11.2017

- ukončení měření v terénu v čase 10:00,

14.12.2017

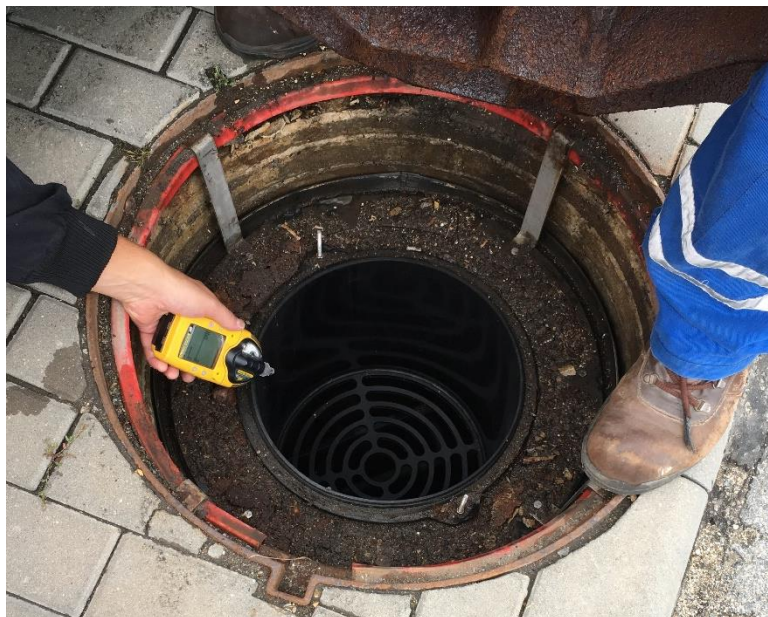
- měření proudění vzduchu v šachtě Š KŠ6.

4.3 POUŽITÁ TECHNOLOGIE

Nosiče filtrační náplně jsou popsány v kapitole 2.3.5 Filtr bez nuceného odtahu vzdušiny. Použitý filtr je uzpůsobený pro uložení do kanalizační šachty. Skládá se z desky, která je ocelovými háky uchycená k rámu poklopu, těsnění a sifonu, který převádí úkapy šachty a který funguje i jako proti zápachový uzávěr (obrázek 2.12). Druhou částí nosiče je plastový válec s odnímatelným víkem, ve kterém jsou otvory ve dně a kolem obvodu pod víkem pro správný průchod vzduchu přes filtrační náplň. Ve válci je prostor pro umístění dostatečného množství náplně v textilním vaku, který usnadňuje výměnu náplně.



Obr. 4.4 Vyjmutý filtr, perforovaný válec pod víkem



Obr. 4.5 Perforované dno plastového válce

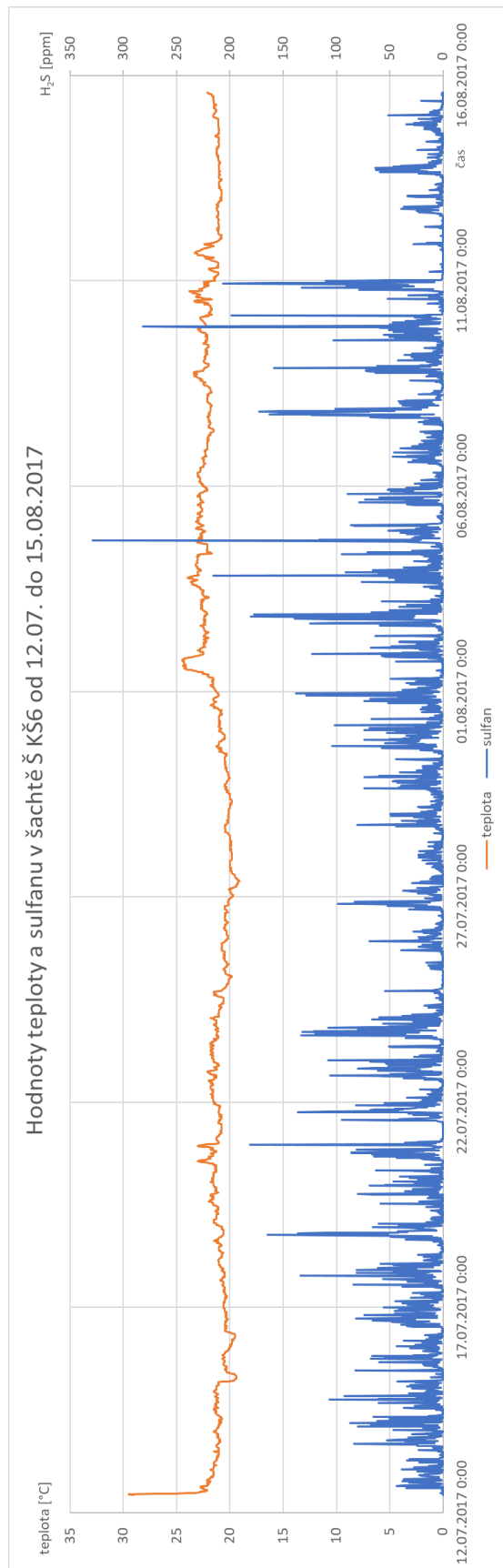
4.4 NAMĚŘENÉ HODNOTY

4.4.1 Terénní měření

Při úvodních jednání s firmou Asio, s.r.o je instalován detektor do předávací šachty, kde je již osazen filtr s náplní. Náplň je zde umístěna několik měsíců a není bráno v potaz momentální odstranění sulfanu. Detektor je umístěn pod stávajícím filtrem po dobu 34 dní v nejteplejším období v roce, kdy je zápach nejvíce obtěžující. Na obrázku 4.7 je zaznamenána teplota a koncentrace sulfanu s krokem měření 15 minut. Za toto období je překročena hodnota, kdy je paralyzován čich 100 ppm v 53 případech.



Obr. 4.6 Pohled do předávací šachty



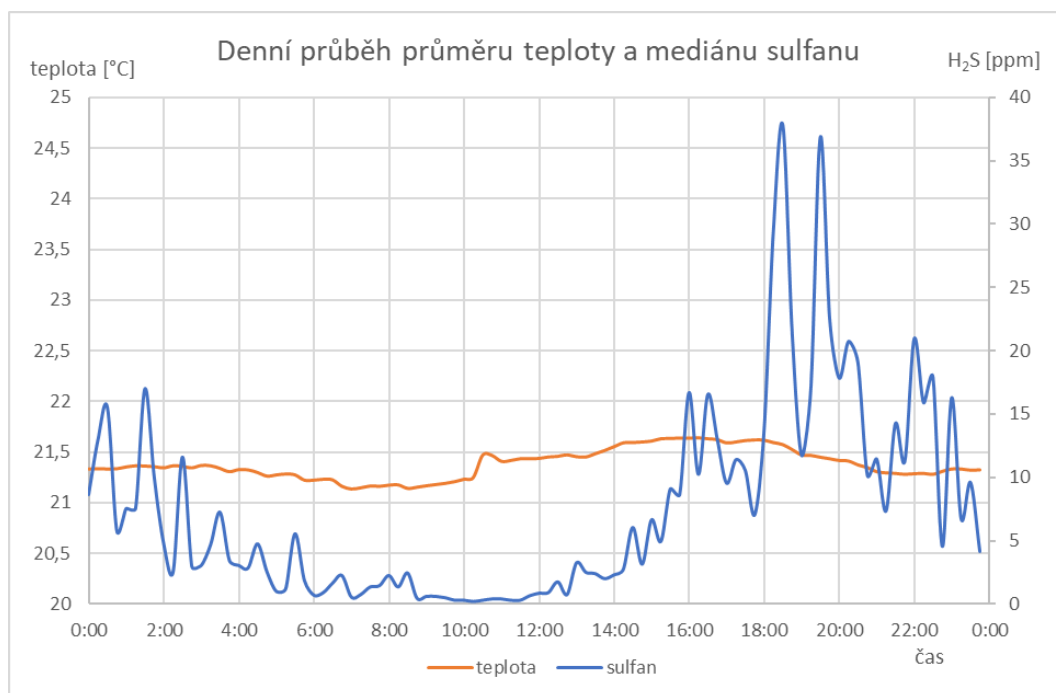
Obr. 4.7 Graf teploty a sulfanu od 12.7. do 15.8.

- Průměr: 13,7 ppm.
- Maximum: 328,9 ppm.
- Měřák umístěný pod filtrem není tak citlivý na změnu teploty ve vnějším prostředí, tím spíše na zahřívající se litinový poklop, na které dopadá sluneční záření. Z tohoto grafu lze vyčíst nepatrná závislost okolní teploty a koncentrace sulfanu v šachtě.
 - K největším extrémům zápachu dochází ve dnech 2.8. až 4.8. a 7.8. až 10.8. V těchto dnech jsou také patrné výkyvy teploty.
 - Na druhou stranu mezi 24.7. až 28.7. a po 11.8. dochází k mírnému snížení a menším výkyvům teploty. Toto snížení teploty patrně zapříčiňuje nižší koncentrace zápachu než u jiných dní.

V předchozím grafu (obr 4.7) je z důvodu množství dat poměrně nepřehledná křivka. Pro lepší statistické srovnání je vytvořen graf denního průběhu koncentrace zápachu a teploty (obrázek 4.8). Pro koncentraci je vybrán medián, protože tato statistická hodnota není tolik ovlivněna četnými extrémními hodnotami. Pro graf teploty je lepší použití průměru z celého měsíčního měření, protože se při měření teploty nevyskytují extrémní hodnoty, které by průměr výrazně ovlivnily.

Graf teploty má předpokládaný tvar, a to pozvolný trend s maximem kolem 16. hodiny a minimem kolem 7. hodiny. Teplota v šachtě reaguje s malým zpožděním oproti venkovní teplotě. Zde by bylo maximum kolem 2. hodiny odpolední a minimum kolem 5. hodiny ránní.

Graf koncentrace sulfanu příliš jasný trend nevykazuje. Koncentraci v tomto případě ovlivňuje teplota a čerpání odpadní vody. Při delší době měření by data mohla být jasnější. V mediánu je však vidět nízká koncentrace sulfanu od 6. do 12. hodiny a vysoké koncentrace mezi 18. až 20. hodinou večerní. Je to způsobené večerní špičkou spotřeby vody, kdy dochází k největší spotřebě a odtoku vody do kanalizace. Předpokladem je ranní špička zápachu, která je způsobená delší dobou zdržení odpadní vody v systému čerpací stanice a výtaku. Jak je v grafu vidět, tento předpoklad se vůbec neprojevil.



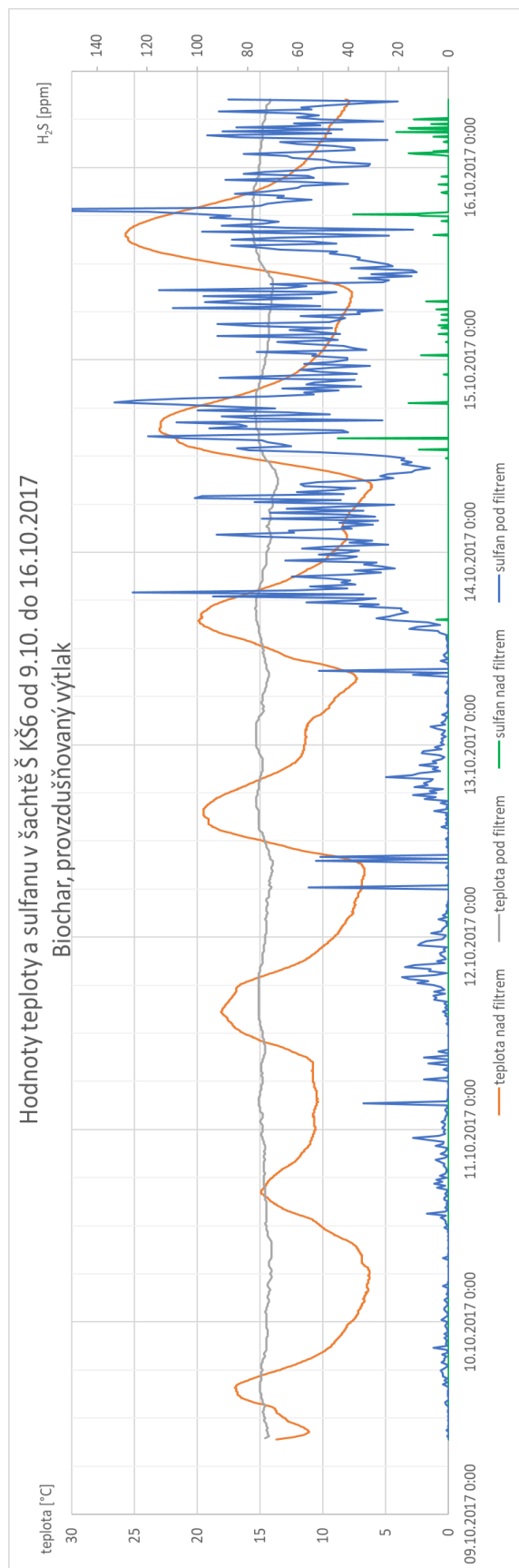
Obr. 4.8 Denní průběh průměru teploty a mediánu sulfanu z měření od 12.7. do 15.8.

Měření sorbentů započalo 4.10.2017 instalací gelového plátu do šachty Š CK40. Z důvodu absence druhého detektoru je provedeno měření pouze pod kanalizačním poklopem. Šachta je vybrána na základě doporučení technika Vodárenské, a.s. s vlastní zkušeností, že se v daném místě zápach často vyskytuje. Gelový plát je dle návodu zavěšen až těsně nad hladinu vody v šachtě (obrázek 4.9).



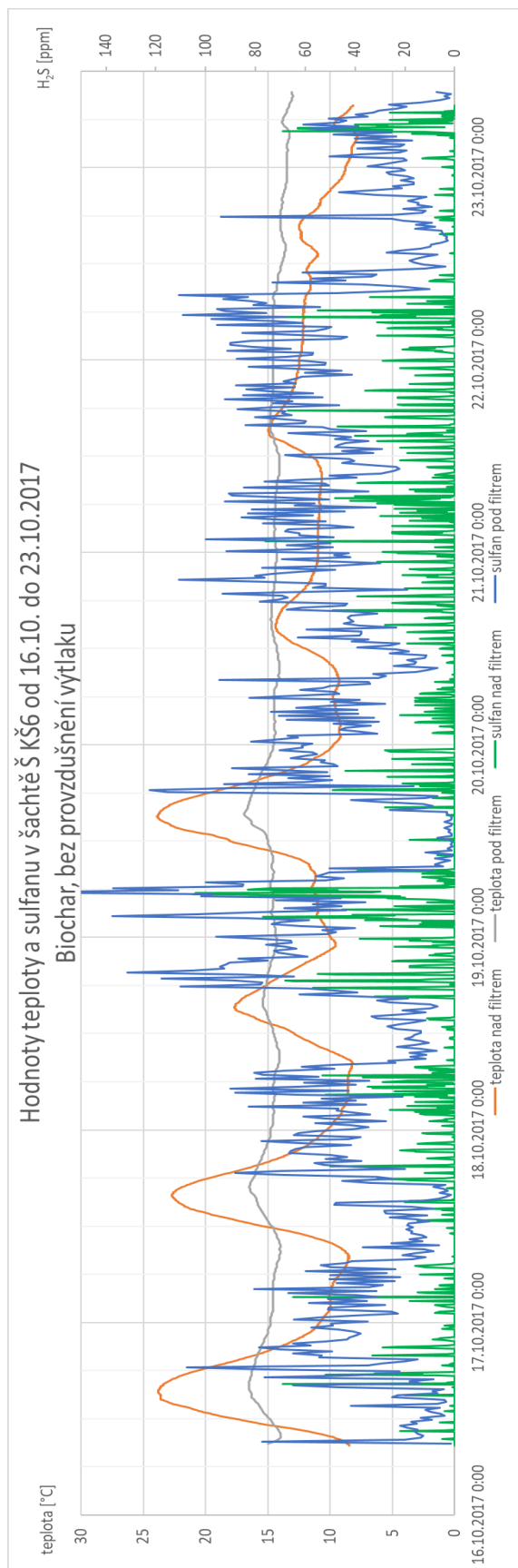
Obr. 4.9 Zavěšení gelového plátu v šachtě

V případě použití gelového plátu v šachtě vzdálené asi 520 m od předávací šachty detektor nenaměřil žádnou koncentraci zápachu. Tato skutečnost je zapříčiněna dvěma důvody. Prvním důvodem je právě zmíněná vzdálenost od předávací šachty, kdy se za tuto vzdálenost velké množství sulfanu odvětrá přecházejícími šachtami nebo se pomocí biologických procesů sulfan přemění na kyselinu sírovou. Druhým důvodem je pochopitelně i velice dobrá účinnost gelového plátu. S největší pravděpodobností za naměřenou nulovou koncentraci mohou oba výše uvedené důvody. Vzhledem ke konstrukci plátu však nebyla tato technologie použita při laboratorním měření.



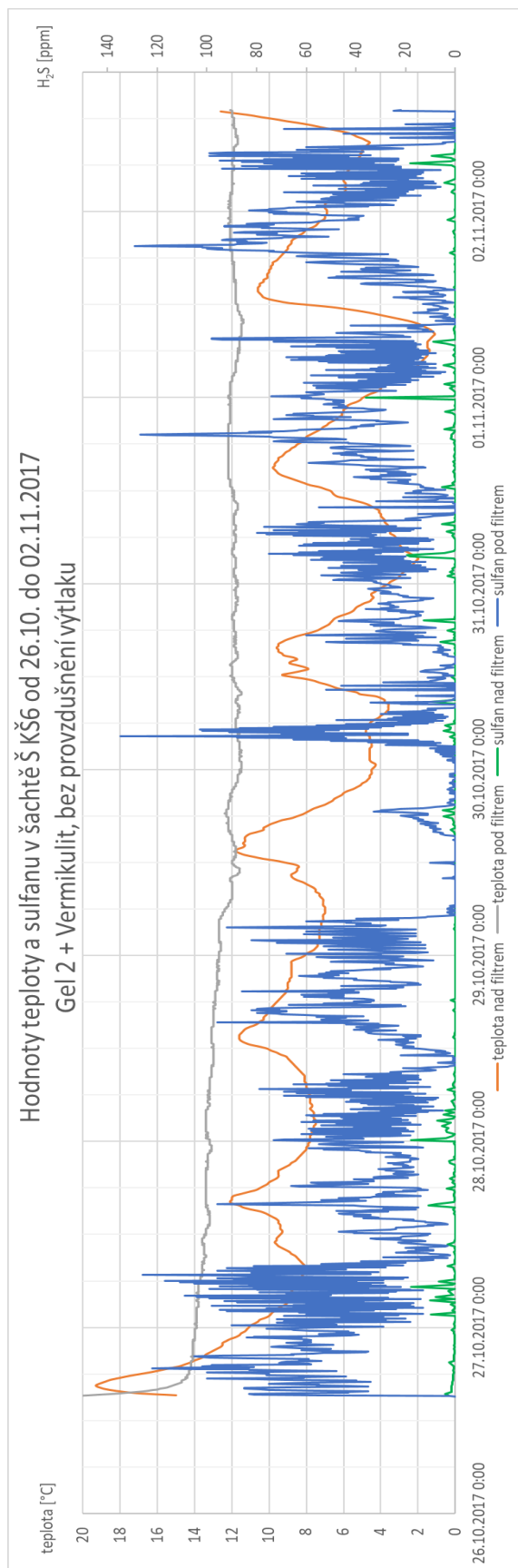
Obr. 4.10 Graf teploty a sulfanu od 9.10. do 16.10.

- Průměr pod filtrem: 23,3 ppm, průměr nad filtrem 0,2 ppm.
- Maximum pod filtrem 199,4 ppm, maximum nad filtrem: 44,0 ppm.
- V týdnu od 9.10. do 16.10. je zřetelný rozdíl v koncentraci sulfanu do 13.10. a od 14.10. Zvýšené množství zápachu je důsledek poměrně výrazného zlepšení počasí, které se projevilo i na teplotě nad filtrem, zvláště viditelné v maximálních hodnotách 14.10. i 15.10.
- Odstranění sulfanu biocharem v tomto měření je velice dobré. Při malých koncentracích je veškerý zápach adsorbován. Při vyšších hodnotách koncentrace sulfanu pod filtrem je nad filtrem naměřeno více než 15 ppm jen v 6 případech.



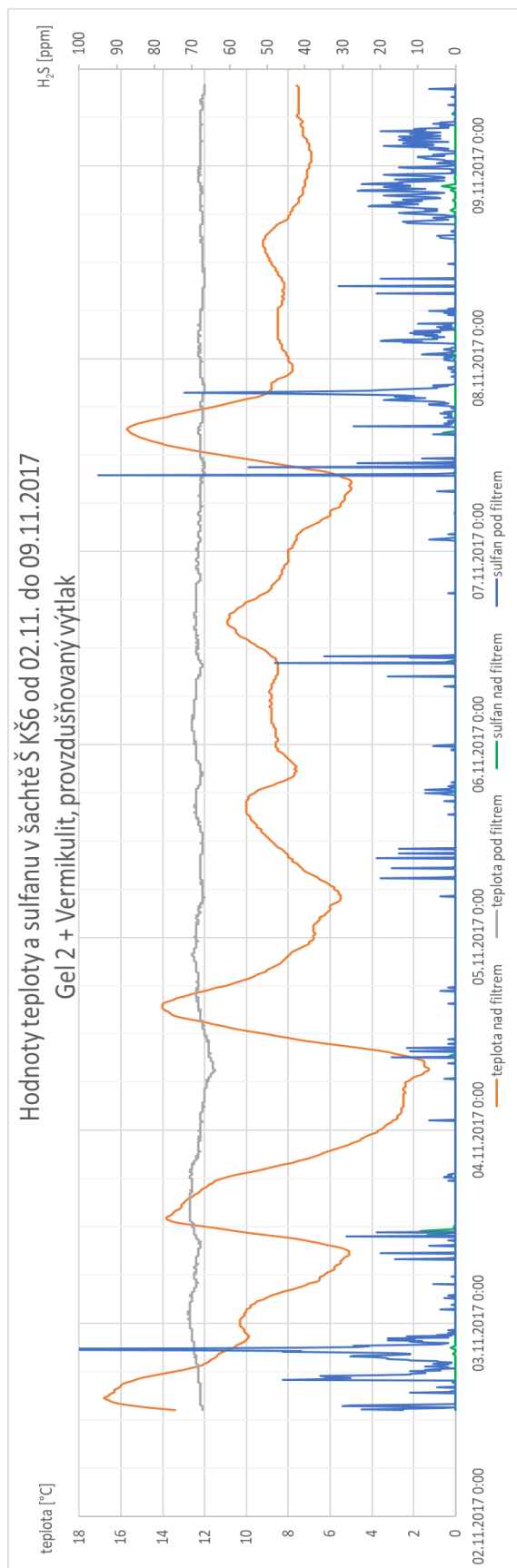
Obr. 4.11 Graf teploty a sulfanu od 16.10. do 23.10.

- Průměr pod filtrem: 43,9 ppm, průměr nad filtrem 4,4 ppm.
- Maximum pod filtrem 179,5 ppm, maximum nad filtrem: 105,0 ppm.
- 16.10. dochází k vypnutí provzdušňování výtlačku, aby se zjistil vliv provzdušnění na zápach. Koncentrace sulfanu pod filtrem je stabilnější a ztrácí se závislost na počasí jako je v předchozím týdnu (obrázek 4.10).
- Oproti předchozímu týdnu je také zřejmá nižší účinnost biocharu. Stále dochází k adsorpci, ale z velké části se sorpční kapacita vyčerpává. Tento jev je také patrný v laboratorním měření (obrázek 3.16).
- V grafu je již dobře patrné minimum, které se vyskytuje v grafu denního průběhu (obrázek 4.3). Je to minimální koncentrace přibližně mezi 10. až 14. hodinou. V těchto částech dne je navíc poměrně ustálená křivka teploty, tudíž se nedá očekávat, že by tyto minima byly způsobeny zvýšeným průtokem dešťové ředící vody.
- V tomto grafu je také dobře patrné snížení teploty od 20.10., teplota naměřená detektorem pod filtrem reaguje na změny vnější teploty velmi pomalu.



Obr. 4.12 Graf teploty a sulfanu od 23.10. do 30.10.

- Průměr pod filtrem: 30,4 ppm, průměr nad filtrem 0,8 ppm.
- Maximum pod filtrem 135,0 ppm, maximum nad filtrem: 36,0 ppm.
- V terénním měření se směs gelu 2 a vermikulitu projevila jako velice dobrý sorbent, ale toto se nepodařilo potvrdit v laboratorním prostředí. Důvodem velkého rozdílu v měřených hodnotách nad a pod filtrem může být i to, že náplň způsobuje větší tlakovou ztrátu, proto vzduch se sulfanem neproudí i kolem druhého detektoru a ten tak nezaznamenal očekávané koncentrace sulfanu.
- Za povšimnutí v tomto grafu rozhodně stojí úsek 29.10. přibližně mezi 6. hodinou ranní a půlnocí, protože se zde nevyskytuje téměř žádný zápach. V průběhu měření není vůbec zaznamenáváno počasí, ale vzhledem k větším výkyvům teploty lze předpokládat, že důvodem tohoto je zvýšený přítok srážkové vody. Stejný případ je pravděpodobně 30.10. mezi 12. a 16. hodinou. Kromě toho se zde také vyskytuje charakteristické snížení z denního průběhu (obrázek 4.3).



Obr. 4.13 Graf teploty a sulfanu od 2.11. do 9.11.

- Průměr pod filtrem: 2,3 ppm, průměr nad filtrem 0,1 ppm.
- Maximum pod filtrem 147,0 ppm, maximum nad filtrem: 9,4 ppm.
- V týdnu od 2.11. je opět zprovozněno provzdušňování výtlaku a vzhledem k podobnému průběhu teplot je vidět, jak výrazný má provzdušňování pozitivní vliv na vznik sulfanu.
- Podobně jako v předchozím týdnu (26.10. až 2.11.) směs gelu 2 a vermikulitu se jeví jako kvalitní sorbent, ale tyto data mohou být výrazně ovlivněny zhoršeným prouděním vzduchu z šachty.
- Provzdušňování je spuštěno 2.11. přesně ve 13:00, proto maxima v tomto dni mohou být ovlivněny neprovzdušňovanou odpadní vodou. Kromě neprovzdušňování vody je maximum navíc podpořeno nadprůměrnou teplotou naměřenou tento den.

4.4.2 Chemické rozbory

Společnost Vodárenská, a.s. zhotovila odběry a výsledky jejich zkoušek jsou uvedeny v následujících tabulkách. Výsledky odběrů v předávací šachtě jsou doplněny výřezy z měření zápachu pro porovnání množství zápachu vzhledem ke zjištěným ukazatelům.

Provzdušněný výtlak

Výsledné ukazatele provzdušněného výtlatku jsou uvedeny v tabulce 4.1 a jsou odebrány v čase 8:30, kdy se koncentrace zápachu blíží hranici 90 ppm. Zde je měření přerušeno, protože dochází k otevření kanalizace a přepnutí detektorů.

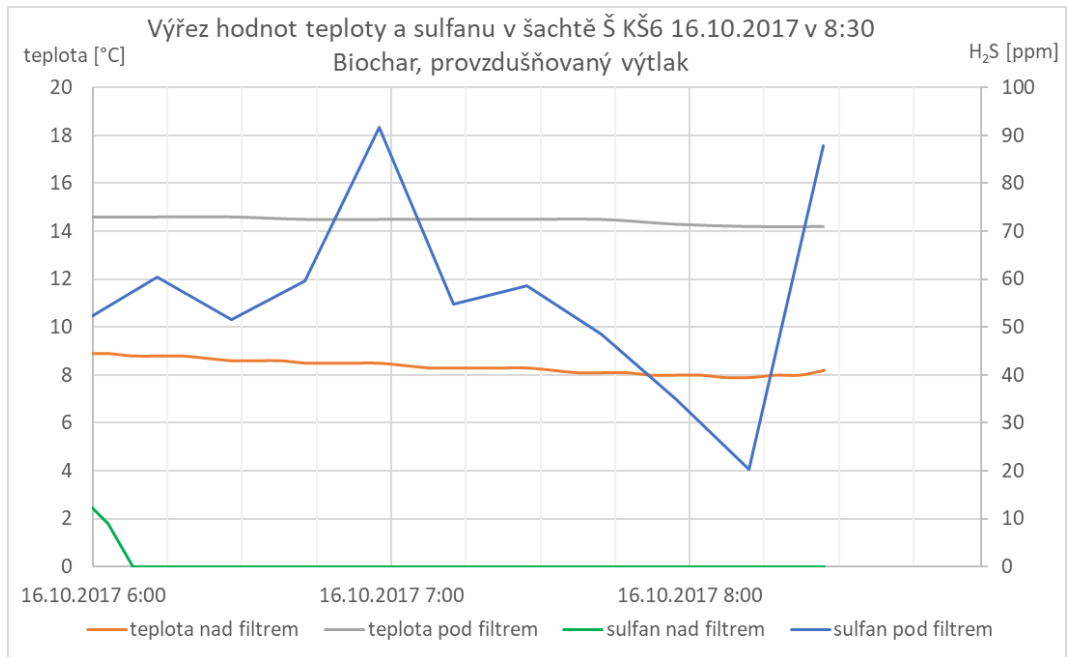
Navzdory provzdušnění je redox potenciál ve velice nízkých hodnotách, což může být způsobeno dlouhou dobou zdržení, a hlavně přítokem již anaerobních vod, jak ukazuje tabulka 4.2.

Dalším důležitým ukazatelem jsou právě sulfidy, při pH 7,7 se vyskytují ve formě HS⁻ a právě H₂S, což predikuje vysokou koncentraci sulfanu i ve vzduchu.

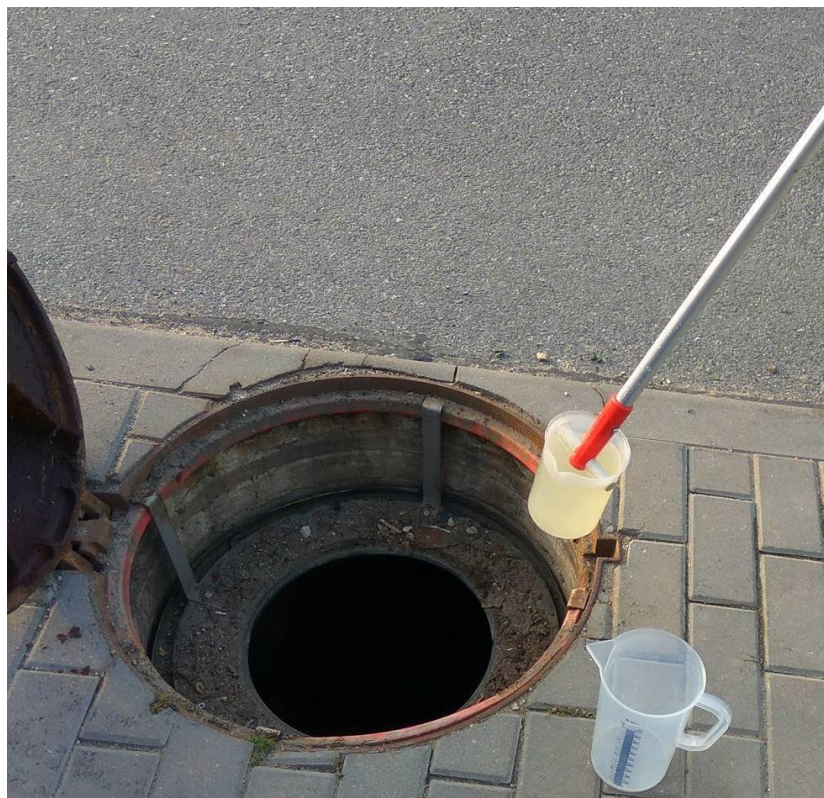
Rozpuštěný kyslík v koncentraci 0,3 mg/l potvrzuje anaerobní prostředí, které se vyskytuje už od koncentrace kyslíku nižší než 0,5 mg/l.

Tab. 4.1 Rozbor OV z předávací šachty 16.10.

Místo odběru:	Výtlak v předávací šachtě	
Datum a čas odběru:	16.10.2017 8:30	
Zkouška	Hodnota	Jednotka
Redox potenciál	-275	mV
pH	7,7	-
CHSK _{Cr}	296	mg/l
BSK ₅	135	mg/l
Nerozpuštěné látky	141	mg/l
Dusík amoniakální	38,70	mg/l
Dusík celkový	52,4	mg/l
Fosfor celkový	4,40	mg/l
Kyslík rozpuštěný	0,3	mg/l
Sírany	150	mg/l
Rozpuštěné sulfidy	1,30	mg/l
ZNK _{8,3}	0,24	mmol/l



Obr. 4.14 Výřez teploty a sulfanu 16.10. v 8:30



Obr. 4.15 Odběr vzorku z předávací šachty

Před výtlakem

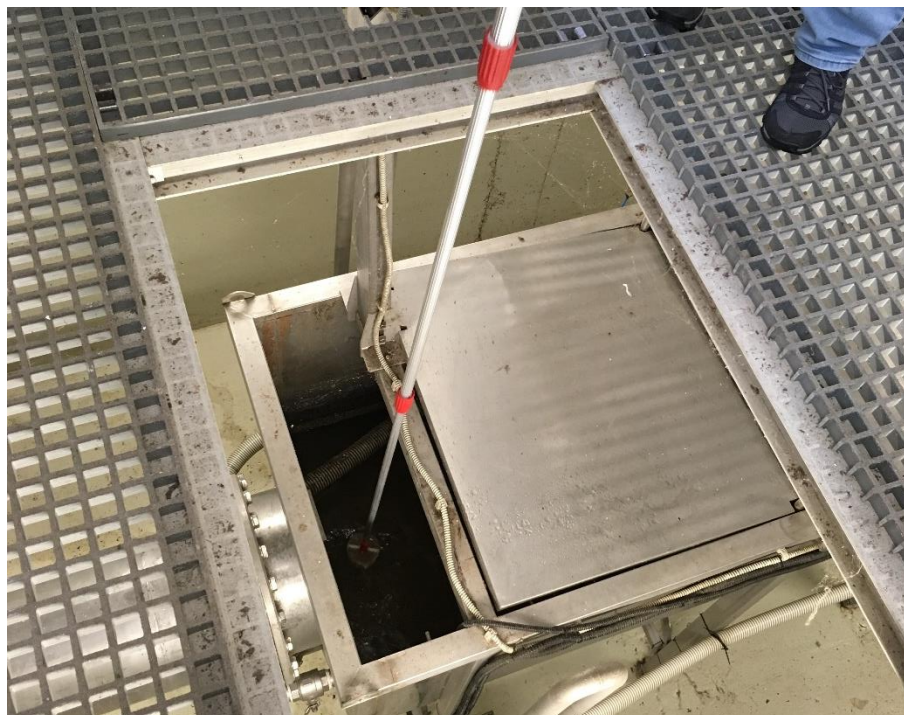
Rozbor provedený z odpadní vody v čerpací stanici je odebraný těsně před nátokem do akumulace, není tedy závislý na době zdržení v akumulaci a výtlače, ani na provzdušňování výtlače. Odpadní voda přitéká z obcí Oslavany a Padochov gravitační kanalizací se čtyřmi dílčími čerpacími stanicemi. Jen dvě tyto stanice jsou zapojeny sériově, ostatní paralelně.

Tento rozbor je velice důležitý, protože poukazuje na možnost, že odpadní voda již přitéká v anaerobních podmínkách. Je mnohem snazší vodu udržet v aerobních podmínkách provzdušňováním než z anaerobních ji dostat zpátky do aerobních podmínek.

Hodnota ORP se vyskytuje téměř v hodnotách pro anoxické podmínky. Dle rozboru odpadní voda obsahuje stejné množství síranů, jako voda za výtlače, ale mnohem menší koncentraci sulfidů. Vzhledem k těmto dvěma ukazatelům lze usuzovat, že odpadní voda není v anaerobních podmínkách dlouhou dobu.

Tab. 4.2 Rozbor OV v ČS 16.10.

Místo odběru:	Čerpací stanice Oslavany	
Datum a čas odběru:	16.10.2017 9:00	
Zkouška	Hodnota	Jednotka
Redox potenciál	-54	mV
pH	8,1	--
CHSK _{Cr}	554	mg/l
BSK ₅	299	mg/l
Nerozpuštěné látky	242	mg/l
Dusík amoniakální	109,60	mg/l
Dusík celkový	159	mg/l
Fosfor celkový	10,1	mg/l
Kyslík rozpuštěný	0,4	mg/l
Sírany	150	mg/l
Rozpuštěné sulfidy	0,51	mg/l
ZNK _{8,3}	<0,10	mmol/l



Obr. 4.16 Odběr vzorku před akumulací

Neprovzdušněný výtlak

Výsledné ukazatele neprovzdušněného výtlaku jsou uvedeny v tabulce 4.3 a jsou odebrány v čase 8:30, kdy koncentrace sulfanu je 11 ppm. Měření zde není přerušeno jako v případě odběru vzorku pro provzdušněný výtlak, ale kanalizace je otevřena bez přerušení měření detektorů, hodnoty tak mohou být zkresleny, protože do kanalizace má usnadněný přístup čerstvý vzduch.

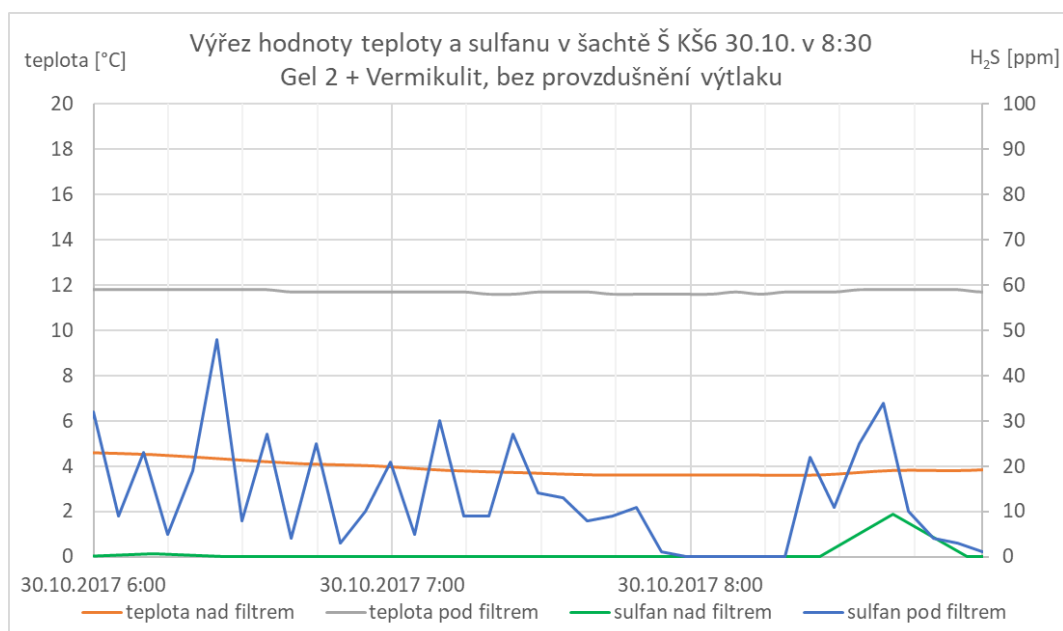
Zde jsou naprosto odlišné výsledky, než jaký je předpoklad. Při neprovzdušněném výtlaku jsou předpokladem anaerobní podmínky s nízkou koncentrací rozpuštěného kyslíku. Výsledky jsou ale opačné, hodnota redox potenciálu 70 mV ukazuje na aerobní podmínky.

Vyšší koncentrace rozpuštěného kyslíku a velice nízká koncentrace sulfidů koresponduje s výsledky z detektoru sulfanu ze vzduchu, který naměřil nižší hodnotu.

Další ukazatel, který stojí za zmínku, jsou sírany. Je jich o 100 mg/l víc než v předchozím případě, poukazuje to na skutečnost, že sírany nejsou přeměňovány biochemickými procesy na sulfidy, kterých je naopak téměř desetina oproti případu s provzdušněným výtlakem.

Tab. 4.3 Rozbor OV z předávací šachty 30.10.

Místo odběru:	Výtlač v předávací šachtě	
Datum a čas odběru:	30.10.2017 8:30	
Zkouška	Hodnota	Jednotka
Redox potenciál	70	mV
pH	7,7	-
CHSK _{Cr}	113	mg/l
BSK ₅	119	mg/l
Nerozpuštěné látky	46	mg/l
Dusík amoniakální	30,60	mg/l
Dusík celkový	36,8	mg/l
Fosfor celkový	2,71	mg/l
Kyslík rozpuštěný	0,8	mg/l
Sírany	250	mg/l
Rozpuštěné sulfidy	0,15	mg/l
ZNK _{8,3}	0,16	mmol/l



Obr. 4.17 Výřez teploty a sulfanu 30.10. v 8:30

4.5 PROUDĚNÍ VZDUCHU V PŘEDÁVACÍ ŠACHTĚ

Proudění vzduchu z šachty do atmosféry je základním předpokladem při řešení problematiky zápachu. Jednoduše řečeno, pokud neproudí vzduch z šachty, nic nemůže zapáchat. Pro návrh řešení je důležitá znalost rychlosti proudění vzduchu z šachty. Pro orientační zjištění proudění vzduchu je použit anemometr, který funguje na principu nažhavení drátku, jeho následným ochlazením proudícím vzduchem a tím změně odporu.



Obr. 4.18 Použitý anemometr

Proudění vzduchu je měřeno pomocí utěsněného poklopu položeného přes otevřený vstup do šachty. Na desce je připevněn komínek o průměru 5 cm, ve kterém je soustředěno veškeré proudění vzduchu. V tomto komínku je otvor pro čidlo anemometru. Měření probíhá pro kombinaci stavů při zapnutém a vypnutém čerpání a v přítomnosti či nepřítomnosti filtru. Toto měření má za úkol zjistit, jestli má čerpání vliv na proudění vzduchu. Předpokladem je zviření vzduchu při vypouštění vody do předávací šachty. Přítomnost filtru může vytvořit bariéru pro proudění vzduchu a tím tlakovou ztrátu. Výsledky jsou zpracovány v tabulce 4.4.

Dále je orientačně měřeno proudění vzduchu po obvodu těsnění, které nedoléhá ke stěně šachty. V tomto případě je umožněno vzduchu unikat mimo filtr, a proto nemůže být zápach odstraněn adsorpcí. Proto je nutné kontrolovat technický stav filtru během provozu. Detail netěsností je zobrazen na obrázku 4.20 a naměřené hodnoty v tabulce 4.4.



Obr. 4.19 Měření rychlosti proudění vzduchu



Obr. 4.20 Detail nedoléhajícího těsnění

Tab. 4.4 Naměřené hodnoty proudění vzduchu

Proudění vzduchu [m/s]	S čerpáním	Bez čerpání
S filtrem	0,3 – 0,5	0,1 – 0,3
Bez filtru	0,3 – 0,5	0,1 – 0,3
Netěsnosti	0,3 – 1,0	

Naměřené hodnoty poukazují na vliv přitékající vody na proudění vzduchu, které je větší přibližně o 0,2 m/s proti stavu, kdy do předávací šachty neproudí voda z výtlaku. Vliv osazení filtru nebyl zaznamenán, a to z důvodů malé tlakové ztráty náplně a průchodu vzduchu

netěsnostmi. Na druhou stranu, vzhledem k netěsnostem nosiče (obrázek 4.20), lze předpokládat rozdíl při použití nového filtračního nosiče v rychlosti proudění vzduchu s filtrem a bez filtru.

Pro výpočet průtoku vzduchu filtrem je zavedeno pár zjednodušujících předpokladů. Naměřená hodnota rychlosti proudění 0,4 m/s je měřená v komínku s průměrem 5 cm. Plocha průřezu komínku je tedy 19,63 cm². Vynásobením rychlostí proudění s plochou je průtok o velikosti 47,12 l/min. Jednotka l/min je vhodná pro porovnání s laboratorním měřením. Šířka filtru, respektive náplně je 35 cm. Plocha náplně, přes kterou proudí vzduch je tedy 962,11 cm². Při zanedbání vzduchu proudícího netěsnostmi proudí stejné množství vzduchu komínkem i filtrem. Ve filtru tedy proudí vzduch rychlostí 0,0081 m/s. V porovnání s laboratorním měřením, kde je kolonou o průměru 5 cm (plochou tedy 19,63 cm²) nastaven průtok 3 l/min. Rychlost proudění vzduchu v laboratorním případě je tedy 0,025 m/s.

Proudění vzduchu v šachtě dle měření a výsledků odhadu je třikrát menší než nastavený průtok v laboratoři. To znamená, že průtok v laboratoři je předimenzovaný, tím pádem by doba zdržení v koloně mohla být delší a odstranění ještě lepší.

4.6 SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ Z TERÉNNÍHO MĚŘENÍ

Po měření v Ivančicích lze zhodnotit zápachovou situaci u předávací šachty za výtlačkem a po proudě gravitačního potrubí v Oslavanské ulici. Nedá se deterministicky určit závislost vzniku zápachu na několika málo faktorech. Vznik zápachu ovlivňuje spousta chemických látek, fyzikálních zákonitostí a jevů. Některé mají přímý vliv, například teplota, pH, sediment, biofilm, hydraulické vlastnosti, doba zdržení vody, množství síranů a sulfidů. A jiné mají sekundární vliv, na kterých jsou závislé ukazatele, které přímo ovlivňují zápach. S jistotou lze tvrdit, že je to kvalita a kvantita odpadní vody, proudění vzduchu v kanalizaci, potrubí a jiné.

V chemických rozborech jsou viditelné následující trendy ovlivňující zápach, které se vzájemně ovlivňují. Tyto ukazatele by měl provozovatel sledovat v případě výskytu zápachu.

- Redox potenciál s hodnotou < -50, tím jsou nastaveny anaerobní podmínky pro přeměnu síranů na sulfidy.
- Výskyt síranů. Pokud se nevyskytují sírany, chybí zdrojová látka pro přeměnu na sulfidy.
- Koncentrace rozpuštěného kyslíku. Při koncentraci <0,5 mg/l nastávají anaerobní podmínky.
- pH. Podle hodnoty pH se sulfan vyskytuje ve formě sulfidu, hydrogensulfidu nebo sulfanu.
- Poměr síranů a sulfidů. Tento poměr poukazuje na stav odpadní vody, pokud je vysoká koncentrace síranů a malá koncentrace sulfidů. Znamená to, že v odpadní vodě ještě nebylo přeměněno mnoho síranů na sulfidy.

Měřením je potvrzeno, že provzdušňování má výrazný pozitivní vliv na vznik zápachu, jak je možné porovnat mezi obrázky 4.10, 4.11 a mezi 4.12, 4.13. Na druhou stranu chemické rozborové potvrdily, že pokud již přitéká voda v anaerobních podmínkách, provzdušňování není schopné vodě zpátky navrátit aerobní podmínky. Zápach je také výraznější při zvýšené teplotě okolního vzduchu. Potvrdil se tedy předpoklad, že zápach je závislý na teplotě, ale také na počasí jako celku. V konkrétním případě se neprojevil výrazný vliv čerpací stanice na vznik zápachu. Doba zdržení v akumulaci čerpací stanice je zanedbatelná v porovnání se zdržením ve výtlačném potrubí.

Výsledky z laboratorního měření sorbentů se při použití v praxi potvrdily pouze částečně. Biochar se projevil jako dobrý sorbent pouze první týden měření (obrázek 4.10). Poté již pravděpodobně došlo ke značnému vyčerpání jeho sorpční kapacity jako v dlouhodobém testu laboratorního měření (obrázky 4.11, 3.16). Výsledek gelu 2 s vermikulitem (obrázek 4.12) je překvapením, protože v laboratorním prostředí se odstranění sulfanu neprojevilo. Vynikající výsledek je pravděpodobně způsoben nižším prouděním vzduchu v kanalizaci nad filtrem, a tak jsou detektorem zaznamenány pouze minimální hodnoty. V posledním týdnu měření (obrázek 4.13) je znatelný rozdíl mezi hodnotami pod filtrem a nad filtrem jako v předchozím týdnu, avšak dobře patrný je pouze vliv provzdušnění.

4.7 DOPORUČENÍ PRO PROVOZOVATELE

V případě výskytu opakujícího se zápachu by měl provozovatel dobře zmapovat kanalizační síť proti proudu. Každé opatření se totiž může minout účinkem, je-li aplikováno na nevhodném místě. Při sledování konkrétního území bylo vyzpozorováno, že voda už natéká do akumulace čerpací stanice v anaerobních podmínkách. Provzdušňování výtlačku již tedy nemusí být tak účinné, protože nastolit aerobní podmínky ve vodě, ve které již probíhají anaerobní reakce je obtížnější než udržet aerobní podmínky. Je nutné vyhledat proti proudu kanalizace problematická místa, pravděpodobně to budou předcházející čerpací stanice a tam aplikovat provzdušnění. Na druhou stranu nelze opomenout ekonomické hledisko. Pořízení aerátorů a kompresorů do všech čerpacích stanic, tedy řešení problémů nejbliže zdroji se může jevit jako nejdražší řešení.

Další variantou je volba doplňkového provzdušnění přímo v akumulaci nádrži čerpací stanice. V nádrži se udržuje vypínací hladina přibližně ve výšce 10 cm ode dna, teoreticky by zde byla možnost umístění aerátoru přímo v akumulaci. Toto řešení však opět pracuje s mechanickou aerací a snaze nastolení aerobních podmínek vody.

Další možností řešit zápach dříve je dávkování chemikálií před čerpací stanicí, než je odpadní voda přečerpána výtlačkem do předávací šachty. Možností je využít odstraňování sulfanu z vody chemickými cestami, jak je popsáno v rešeršní části této práce. Lze použít například dávkování dusičnanů, soli železa, peroxidu vodíku a dalších chemikálií. Dávkování by bylo vhodné provést před nátokem do akumulace, průtokem přes několik mechanických částí by došlo k lepšímu promísení chemikálie v odpadní vodě.

Poslední možností je kombinace opatření, ovšem s nutným on-line měřením ukazatele ORP. Laboratorní výsledky prokázaly neustálenou kvalitu odpadní vody. Při aerobních podmínkách

by tedy dostačovala aerace v akumulaci, popřípadě výtlačku a při přítoku odpadní vody v anaerobních podmínkách by se spustilo dávkovací čerpadlo s dávkováním chemikálie.

Výše uvedené opatření by se daly zařadit do skupiny primárních opatření. Sekundární opatření spočívá v odstranění zápachu ze vzduchu. Je to například použití šachtových filtrů, na které se tato diplomová práce zaměřuje. Toto opatření nepatří mezi nejefektivnější řešení, na druhou stranu se jedná o nejjednodušší a nejlevnější technologii. Nejsou zapotřebí žádné stavební úpravy, ani není zapotřebí připojovat zdroj elektrické energie. Nejúčinnějším řešením by bylo použití pračky vzdušiny, popřípadě biofiltru s nuceným odtahem vzdušiny. Zde by byla nutná stavební úprava pro připojení potrubí pro odtah vzduchu z šachty a přivedení elektrického proudu. V případě pračky vzdušiny je zapotřebí i zásoba chemikálií. Na druhou stranu je to pravděpodobně nejúčinnější odstranění nebezpečných látek ze vzduchu.

Doporučené pokyny pro provozovatele

V případě dlouhodobě vyskytujícího problému se zápachem by se měl provozovatel držet následujících pokynů k efektivní eliminaci zápachu.

- V prostředí problematické lokality proti proudu odpadní vody podrobně zmapujte:
 - významné producenty odpadní vody,
 - čerpací stanice ve spádové oblasti, doby zdržení a nastavení spínací a vypínací hladiny v akumulacích čerpacích stanic a jiné úseky, které ovlivňují dobu zdržení,
 - technický stav kanalizace, stupeň koroze (vizuální kontrola šachet a kamerový záznam potrubí),
 - způsob zaústění výtlačku do předávací šachty,
 - technický stav čerpací stanice mimo jiné i pro případ dodatečné instalace aerátoru nebo dávkování chemikálií a s tím spojeného příslušenství,
 - na základě sledovaných ukazatelů (kyslík, sírany, sulfidy, pH a především online měření ORP) chemické složení vody v akumulacích čerpacích stanic a v problematických úsecích,
 - zápach ze vzduchu měřením v nejproblematičtějších šachtách.
- Omezte zápach co nejbliže u zdroje:
 - kontrolou vypouštění odpadních vod u významných producentů podle kanalizačního řádu, popřípadě podle vzájemných smluv,
 - omezením vypouštění zdrojů zápachu u významných producentů odpadní vody (např. předúpravou odpadní vody),
 - eliminací síranů u producentů.

- Stabilizujte aerobní podmínky a hodnoty pH:
 - aerací v akumulacích čerpacích stanic, jako preventivní řešení a snahu udržet odpadní vodu v aerobních podmínkách,
 - přidáváním chemikálií pro zvýšení množství kyslíku, pro stabilizaci aerobních podmínek
 - přidáváním chemikálií pro stabilizaci pH nad hodnotou pH 8 v případě, kdy jsou již nastolené anaerobní podmínky
 - automatickým řízením procesu aerace a dávkování chemikálií dle ukazatele ORP při často se měnících podmínkách.
- Pokud i přes omezení zápachu u zdroje a udržení kvality odpadní vody se zápach vyskytuje, přikročte k výběru technologie pro odstranění zápachu ze vzduchu:
 - odtahem a čištěním vzduchu,
 - osazením šachet kanalizačními filtry s možností měnit filtrační náplně.

5 ZÁVĚR

Odpadní voda je velice proměnlivé médium, u kterého se mění vlastnosti během dne, během ročního období, složením producentů, kteří vypouštějí odpadní vodu a také samotným stářím odpadní vody. Při řešení zápachu v konkrétní lokalitě je tedy třeba dobře zdokumentovat po hydraulické stránce kanalizační systém nad řešeným územím a zjistit co za látky se zde vyskytuje po chemické stránce. V neposlední řadě je také nutné se seznámit s okolím, ve kterém se problematikou zabývá kvůli zjištění, kde je zápach naprosto nepřijatelný a popřípadě vytipovat místa, kde je zápach možné řízeně vypouštět.

Diplomová práce se v první kapitole zabývá historií a současností vnímání zápachu. Dále jsou zde uvedeny legislativní předpisy, které se této problematice čistoty ovzduší a zápachu věnují v Evropské Unii, Německu a České republice.

Rešerše obsažená v druhé kapitole pojednává o sulfanu jako o hlavní složce zápachu. Práce se od té části zabývá pouze sulfanem, protože je shledán jako nejčastěji se vyskytující nebezpečná látka ve velké míře, na druhou stranu je zřejmé, že sulfan není jediná složka zápachu, ale pro snadnou detekci a pro vliv na člověka i na betonové potrubí je to vhodný zástupce zápachu. Dále jsou v této kapitole uvedeny možnosti, jak odstraňovat sulfan jak chemickými cestami přímo z vody, tak používané technologie pro odstraňování zápachu ze vzduchu. Některé možnosti jsou spíše ve fázi výzkumu a skrývají velký potenciál. V některých případech převažují nevýhody, například při dávkování dalších nebezpečných chemikálií do odpadní vody. U několika technologií je však největší problém pro masové rozšíření cena této technologie. Je tedy nasnadě dále provádět výzkum v této oblasti a vyvinout tak dostupné způsoby odstraňování zápachu. Jednou z levnějších možností je filtrování vzduchu přes náplň sorbentu. V této kapitole jsou popsány sorbenty, na kterých probíhal výzkum v rámci této práce. Poslední důležitou součástí rešerše je popis způsobu měření zápachu.

Třetí kapitola obsahuje popis a výsledky laboratorního měření provedeného ve firmě Asio, s.r.o. Pomocí zkušebního modelu byla testována schopnost odstranění sulfanu u sorbentů popsaných v předchozí kapitole. Měření proběhlo ve dvou fázích, v první šlo o otestování, zda je sorbent schopen odstraňovat sulfan. V druhé fázi je sorbent vystaven dlouhodobého působení a je zkoumáno, jak se mění sorpce v čase. Výsledky jsou zpracovány tabelárně i graficky. Jednoznačně nejlepšími sorbenty jsou aktivní uhlí společně s biocharem. Na druhém pólu výsledkové listiny, pokud by byly sorbenty seřazeny od nejlepšího k nejhoršímu, jsou gely. Jejich schopnost odstraňovat sulfan je minimální, jejich funkce spočívá pouze v maskování zápachu, na rozdíl od sorbentů na bázi uhlíku, který je zápach schopen efektivně adsorbovat a tím odstraňovat.

Čtvrtá kapitola popisuje měření v Ivančicích, kde se problematika zápachu delší dobu vyskytuje. Lokalitu byla vytipována na firmou Vodárenská, a.s., protože obyvatelé této lokality si často na zápach stěžují. Kromě lokality je v kapitole popsána i čerpací stanice s výtlakem, za níž je zápach nejvíce obtěžující. Nejdůležitější část měření proběhla pomocí dvou detektorů sulfanu, kdy byl jeden umístěn pod filtrem a druhý nad filtrem a tím bylo měřeno odstranění zápachu adsorpcí na filtru. Tímto způsobem byly otestovány náplně biochar a směs gelu 2 s vermikulitem. Kromě samotné sorpce je v této kapitole brán důraz i na průběh zápachu během

dne a jeho závislosti na chemických ukazatelích a na změně některých faktorů. Firmou Vodárenská, a.s. byly provedeny chemické rozborů ve výtlaku při provzdušnění, bez provzdušnění a před nátokem do akumulace. Pomocí výsledků rozborů bylo možné posoudit naměřené výsledky a dojít k závěru, že za vznik zápachu jsou odpovědné podmínky, které se vyskytují ve vodě již před konkrétní čerpací stanicí. Provzdušňování výtlaku je jedním z nejlepších opatření používaném jako protizápachové opatření, ale nemůže ovlivnit některé podmínky, které vznikají již před nátokem do akumulace. Jako poslední část praktické části bylo provedeno anemometrické měření na předávací šachtě kvůli zjištění proudícího množství vzduchu v kanalizaci.

Největší přínos diplomové práce spočívá v otestování sorbentů, kdy žádný ze sorbentů se nevyrovnal aktivnímu uhlí. Pouze biochar má potenciál při výzkumu vhodného zdrojového materiálu. Jako další přínos práce lze určitě považovat i porovnání účinků provzdušňování na vznik zápachu a účinky filtrů v praxi.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DVOŘÁKOVÁ, Veronika. *Vyhodnocení čichového testu UPSIT za účelem silené speciálně pedagogické intervence*. Praha, 2010. 119. s., Diplomová práce. Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta, Katedra speciální pedagogiky. Vedoucí práce Mgr. Pavlína Šumníková, Ph.D.
- [2] Zákon č. 201/2012 Sb., zákon o ochraně ovzduší
- [3] Vyhláška č. 415/2012 Sb., vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.
- [4] ČSN EN 12255-9. *Čistírny odpadních vod – Část 9: Kontrola pachů a odvětrání*. Praha, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003.
- [5] MALANÍK, S.: *Stoková síť poškozená síranovou korozí betonu*. NO-DIG, Ročník 11/2/2005. str. 14 - 19.
- [6] 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>
- [7] MIFER, Radim. *Vliv dopravy odpadní vody na její kvalitu a kvantitu*. Brno, 2011. 103. s., 2 s. příl. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Hlavínek, CSc.
- [8] ČSN 75 6101. *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [9] PARK, Kyoohong, Hongsik LEE, Shaun PHELAN a Susanthi LIYAAARACHCHI. Mitigation strategies of hydrogen sulphide emission in sewer networks – A review. *International Biodeterioration & Biodegradation* [online]. 2014(95), 151-261 [cit. 2017-12-02]. ISSN 0964-8305. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0964830514000596#bib29>
- [10] ČSN EN 1671. *Venkovní tlakové systémy stokových sítí*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [11] HORÁK, Marek. *Analýza stárnutí vybraných materiálů stokových sítí*. Brno, 2013., 132 s., 8 s. příl. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Jaroslav Raclavský, Ph.D.
- [12] KAEMPFER, HW., BERNDT, M., VOIGTLAENDER, G.: *Estimation Of Residual Service Life For Existing Sewerage Systems, duben 2002*, [online], [cit. 2017-11-18], dostupné z: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB9270.pdf>

- [13] 1. DRAFT PREPARED BY SELENE J. CHOU. *Hydrogen sulfide: human health aspects*. Geneva: World Health Organization, 2003. ISBN 9241530537.
- [14] *Wastewater odor control: an evaluation of technologies* [online]. [cit. 2017-10-16]. Dostupné z: <https://www.wwdmag.com/decentralized-wastewater/wastewater-odor-control-evaluation-technologies>
- [15] TALAIEKHOZANI, Amirreza, Marzieh BAGHERI a Amin GOLI. An overview of principles of odor production, emission, and control methods in wastewater collection and treatment systems. *Journal of Environmental Management* [online]. s. 186-206 [cit. 2017-10-16]. ISSN 0301-4797. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716300196?via%3Dihub>
- [16] Hlušík, P., Korytář, I., Malaník, S., Hlavínek, P. *Eliminace zápachu ze stokové sítě*. Vodovod.info - vodárenský informační portál [online]. 30.9.2017, 09/2017, [cit. 2017-09-30]. Dostupné z WWW: <http://vodovod.info>. ISSN 1804-7157.
- [17] *Phages: The powerful new bio-ammo in superbug war* [online]. [cit. 2017-10-30]. Dostupné z: https://www.theregister.co.uk/2012/01/18/phages_fight_superbugs/
- [18] *Factory price trickling filter media* [online]. [cit. 2017-10-29]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/factory-price-trickling-filter-media_60446753358.html
- [19] Biofilter and odor control systems products and solutions. *Bioteg.com* [online]. [cit. 2017-10-08]. Dostupné z: <http://www.bioteg.com/biofilter/>
- [20] *Biofiltr pro kanalizační šachty* [online]. [cit. 2017-10-13]. Dostupné z: <https://www.rehau.com/cz-cs/stavebnictvi-podnikatele/inzenyrske-site/kanalizacni-systemy/kanalizacni-sachty/biofiltr-pro-kanalizacni-sachty>
- [21] *OMI-Industries* [online]. [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: <http://http://odormanagement.com/why-ecosorb/>
- [22] ČSN EN 752. *Odvodňovací systémy vně budov*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [23] Fotokatalitická oxidace. *Asio.cz* [online]. [cit. 2017-10-08]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/fotokatalyticka-oxidace>
- [24] SMÍŠEK, Milan. *Aktivní uhlí*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964.
- [25] Hlavínek, P. Mikrovlnná pyrolýza čistírenského kalu. Vodovod.info - vodárenský informační portál [online]. 16.11.2015, 11/2015, [cit. 2017-11-02]. Dostupné z WWW: <http://vodovod.info>. ISSN 1804-7157.
- [26] ROUSKOVÁ, Jana. *Vlastnosti zeolitů a jejich uplatnění ve stavebních pojivech*. Brno, 2014. 52 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav chemie. Vedoucí práce prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc.

- [27] FIALOVÁ, Tereza. *Čistící účinnosti netradičních filtračních materiálů*. Brno, 2014. 103 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
- [28] *Bezpečnostní záznamový list* [online]. [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: <http://www.grena.cz/res/dwe-files/1404042997.pdf>
- [29] *Ona* [online]. [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: <http://onaonline.com>
- [30] *Ecosorb 505, Ecosorb 606* [online]. [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: http://www.kemifloc.cz/dokumenty/Ecosorb-505,Ecosorb-606_specifikace_CZ.pdf
- [31] *The Bad Air Sponge* [online]. [cit. 2017-09-15]. Dostupné z: <http://www.thebadairsponge.com/index.html>
- [32] *Biothys asia co.,ltd.* [online]. [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: http://artechplus.gobizkorea.com/catalog/product_view.jsp?blogId=biothys&listStyle=A&objId=896060
- [33] *Gelaktiv* [online]. [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <http://www.regitas.cz/produkty/gelovePlaty/>
- [34] ČSN EN 13725. *Kvalita ovzduší – Stanovení koncentrace pachových látek dynamickou olfaktometrií*. Praha: Český normalizační institut, 2003.

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Složení městské odpadní vody [8]	8
Tab. 2.2 Oxidačně-redukční potenciál.....	10
Tab. 2.3 Projevy lidského organismu na různé koncentrace sulfanu [13].....	15
Tab. 3.1 Odstranění sulfanu aktivním uhlím	44
Tab. 3.2 Odstranění sulfanu biocharem.....	45
Tab. 3.3 Odstranění sulfanu zeolitem.....	46
Tab. 3.4 Odstranění sulfanu gelem 1 s vermikulitem.....	47
Tab. 3.5 Odstranění sulfanu gelem 2 s vermikulitem.....	48
Tab. 3.6 Odstranění sulfanu recyklovaným papírem.....	49
Tab. 3.7 Odstranění sulfanu tuhým gelem.....	50
Tab. 3.8 Odstranění sulfanu jílovým granulátem	51
Tab. 4.1 Rozbor OV z předávací šachty 16.10.	70
Tab. 4.2 Rozbor OV v ČS 16.10.	72
Tab. 4.3 Rozbor OV z předávací šachty 30.10.	74
Tab. 4.4 Naměřené hodnoty proudění vzduchu.....	76

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1	Formy sulfanu v závislosti na pH [9]	9
Obr. 2.2	Biogenní síranová koroze v betonové kanalizaci [5]	12
Obr. 2.3	Pevnost betonu v tlaku při působení kyseliny [12]	14
Obr. 2.4	Schéma mikrobiálních palivových článků (upraveno) [6]	18
Obr. 2.5	Bakteriofág [17]	19
Obr. 2.6	Schéma pračky (upraveno) [15]	20
Obr. 2.7	Různé druhy vhodných náplní pro biopračku [18].....	21
Obr. 2.8	Příklad biologického filtru.....	21
Obr. 2.9	Biofiltr s odtahem vzdušiny (upraveno) [19]	22
Obr. 2.10	Příklad šachtového filtru	23
Obr. 2.11	Filtr s průtočnou náplní [20].....	23
Obr. 2.12	Sífon na kanalizačním filtru	24
Obr. 2.13	Ukázka nosiče gelového sorbentu [21]	24
Obr. 2.14	Princip ionizace [23]	25
Obr. 2.15	Princip fotokatalitické oxidace [23]	25
Obr. 2.16	Peletované aktivní uhlí	27
Obr. 2.17	Biochar	28
Obr. 2.18	Zeolit	29
Obr. 2.19	Vermikulit	30
Obr. 2.20	Gel 1	30
Obr. 2.21	Gel 2	31
Obr. 2.22	Recyklovaný papír.....	32
Obr. 2.23	Tuhý gel.....	33
Obr. 2.24	Jílový granulát	33
Obr. 2.25	Gelový plát	34
Obr. 2.26	Použité detektory OdaLog Logger L2.....	36
Obr. 2.27	Gas Alert Micro 5 při laboratorním měření.....	37
Obr. 3.1	Zkušební model	38
Obr. 3.2	Dávkovací peristaltické čerpadlo a HCl v ředícím poměru 1:8	39

Obr. 3.3 Vlevo: odnímatelná spodní část akumulární nádoby s reakční miskou, vpravo: připravený FeS v reakční misce.....	39
Obr. 3.4 Odnímatelná spodní část akumulární nádoby, dmychadlo	40
Obr. 3.5 Detail kolony, umístění detektorů, manometru a anemometru s možností redukce průtoku vzduchu	41
Obr. 3.6 Schéma laboratorního modelu.....	42
Obr. 3.7 Odstranění sulfanu aktivním uhlím	44
Obr. 3.8 Odstranění sulfanu biocharem.....	45
Obr. 3.9 Odstranění sulfanu zeolitem.....	46
Obr. 3.10 Odstranění sulfanu gelem 1 s vermikulitem.....	47
Obr. 3.11 Odstranění sulfanu gelem 2 s vermikulitem.....	48
Obr. 3.12 Odstranění sulfanu recyklovaným papírem.....	49
Obr. 3.13 Odstranění sulfanu tuhým gelem.....	50
Obr. 3.14 Odstranění sulfanu jílovým granulátem	51
Obr. 3.15 Odstranění sulfanu aktivním uhlím v dlouhodobém testu.....	52
Obr. 3.16 Odstranění sulfanu biocharem v dlouhodobém testu	53
Obr. 4.1 Zájmové území (zdroj: Mapy.cz)	55
Obr. 4.2 Schéma funkce STRATE (zdroj: Vodárenská, a.s.).....	56
Obr. 4.3 Denní průběh průměru čerpání z doby od 1.9. do 16.11. a medián sulfanu z měření od 12.7. do 15.8.	57
Obr. 4.4 Vyjmutý filtr, perforovaný válec pod víkem.....	60
Obr. 4.5 Perforované dno plastového válce.....	61
Obr. 4.6 Pohled do předávací šachty	62
Obr. 4.7 Graf teploty a sulfanu od 12.7. do 15.8.	63
Obr. 4.8 Denní průběh průměru teploty a mediánu sulfanu z měření od 12.7. do 15.8.	64
Obr. 4.9 Zavěšení gelového plátu v šachtě.....	65
Obr. 4.10 Graf teploty a sulfanu od 9.10. do 16.10.	66
Obr. 4.11 Graf teploty a sulfanu od 16.10. do 23.10.	67
Obr. 4.12 Graf teploty a sulfanu od 23.10. do 30.10.	68
Obr. 4.13 Graf teploty a sulfanu od 2.11. do 9.11.	69
Obr. 4.14 Výřez teploty a sulfanu 16.10. v 8:30	71
Obr. 4.15 Odběr vzorku z předávací šachty	71

Obr. 4.16 Odběr vzorku před akumulací	73
Obr. 4.17 Výřez teploty a sulfanu 30.10. v 8:30	74
Obr. 4.18 Použitý anemometr.....	75
Obr. 4.19 Měření rychlosti proudění vzduchu.....	76
Obr. 4.20 Detail nedoléhajícího těsnění	76

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Al_2O_3 ...	oxid hlinitý
a.s....	akciová společnost
BSK...	biochemická spotřeba kyslíku
BSK ₅ ...	biochemická spotřeba kyslíku za pět dní
CaO_2 ...	oxid vápenatý
Ca(OH)_2 ...	hydroxid vápenatý
ČS...	čerpací stanice
ČSN...	Česká technická norma
ČSN EN...	Evropská norma
ČOV...	Čistírna odpadních vod
DE...	vnější průměr potrubí
DN...	jmenovitý vnitřní průměr potrubí (diamètre nominal)
EO...	ekvivalentní obyvatelé
FeCl_2 ...	chlorid železnatý
FeClSO_4 ...	chlosíran železitý
Fe_2O_3 ...	oxid železitý
FeS...	sulfid železnatý
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$...	heptahydrát síranu železnatého (zelená skalice)
HCl...	kyselina chlorovodíková
H_2S ...	sulfan (sirovodík)
CHSK _{Cr} ...	chemická spotřeby kyslíku dichromanem
KMnO_4 ...	manganistan draselný
K_2O ...	oxid draselný
MgO...	oxid hořečnatý
MgO_2 ...	peroxid hořčíku
Mg(OH)_2 ...	hydroxid hořečnatý
$N_{\text{celk.}}$...	celkový dusík
N-NH_4^+ ...	amoniakální dusík
ORP...	oxidačně-redukční potenciál
OV...	odpadní voda

$P_{\text{celk.}}$...	celkový fosfor
pH...	záporný dekadický logaritmus číselné hodnoty koncentrace vodíkových iontů v roztoku (power of hydrogen)
ppm...	počet miliontin k celku (parts per million)
SiO_2 ...	oxid křemičitý
SO_4^{-2} ...	síran
s.r.o....	společnost s ručením omezeným
TOC...	celkový organický uhlík (total organic carbon)
UV...	ultrafialové záření
WHO...	světová zdravotnická organizace (World health organization)
$\text{ZNK}_{8,3}$...	zásadová neutralizační kapacita

SUMMARY

The diploma thesis deals with an elimination of odor in sewer system as a theoretical reaction on an ongoing increasing interest in this problematics.

Specifically, the hydrogen sulfide is selected for its specific properties of a concrete pipes, a simple detection and its frequent occurrence. The paper presents many factors that influence the formation of odor and hydrogen sulfide. Hydrogen sulfide corrosion, conditions of occurrence and influence on pipelines are described in this paper in detail. The research part also describes methods for removing of the hydrogen sulfide from water and air, some of which are relatively widespread, others are rather in the research phase.

In the first half of the practical part, the selected sorbents are tested on a laboratory model for a removing of the hydrogen sulfide. The produced hydrogen sulfide by chemical reaction is diluted with air, and the mixture is filtered through a filter cartridge where adsorption of hydrogen sulfide is anticipated. During the laboratory experiment, the concentration of hydrogen sulfide is measured in front of and after the filter cartridge. Removing of the hydrogen sulfide is then evaluated and graphically represented using tables and graphs.

In the second half of the practical part, some sorbents are put into the sewerage filter and the results of the removal of the hydrogen sulfide are again examined. In addition to the filters itself, the field of practical measurement of the work deals with the effects of an aeration of the rising pipe and the odor is measured when the aeration is turned off and on. The results are also evaluated with regard to chemical analyzes of a waste water. The airflow rate in the manhole is also measured to achieve relevant results in the laboratory. From the measured data and from the results of the laboratory analyzes, the consequences of odor formation are evaluated. Finally, based on these results and consequences the diploma thesis provide recommendations for the operator are given.