



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

MOŽNOSTI ODSTRANĚNÍ ZÁPACHU NA STOKOVÉ SÍTI

POSSIBILITIES OF REMOVING ODORS ON THE SEWER NETWORK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tereza Šlechtová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Hlušík, Ph.D

LEDEN 2020



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. Tereza Šlechtová |
| Název | Možnosti odstranění zápachu na stokové síti |
| Vedoucí práce | doc. Ing. Petr Hlušík, Ph.D. |
| Datum zadání | 31. 3. 2019 |
| Datum odevzdání | 10. 1. 2020 |

V Brně dne 31. 3. 2019

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

- [1] Pasportizační podklady pro vybranou oblast zdravotně-technické infrastruktury
- [2] LARRY W. MAYS. Stormwater collection systems design handbook. McGraw-Hill. 2001. ISBN 0-07-135471-9
- [3] Wastewater Technology Fact Sheet : Sewers, Pressure. In MEYERS, F.E. [online]. Niskayuna, NY : EPA U.S., 9/2002. <http://nepis.epa.gov/epa/832-pf-02-006>
- [4] STRÁNSKÝ, D., et al. Metodická příručka - Posouzení stokových systémů urbanizovaných povodí. In OPZP.cz [online]. 2009 [cit. 2012-11-25]. <http://opzp.cz>
- [5] ČSN EN 1671. Venkovní tlakové systémy stokových sítí. Český normalizační institut, Praha, 1998
- [6] ČSN EN 13508. Zjišťování a hodnocení stavu venkovních systémů stokových sítí a kanalizačních přípojek, Český normalizační institut, Praha, 2011 a 2013.
- [7] 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 práce definuje pojmy vznik zápachu, monitoring zápachu a současné možnosti jeho odstraňování u jednotlivých provozovatelů.

V praktické části práce na vytipovaném území obce provede on-line měření zápachu v předávací šachtě a na čerpací stanici. Při různých zátěžových stavech nastavených provozovatelem zmonitoruje kvalitu H₂S a ovzduší v předávací šachtě v dané lokalitě.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

ABSTRAKT

Cílem práce je zpracovat rešerši o možnostech regulace zápachu na stokové síti. V úvodní části práce jsou uvedeny legislativní předpisy, týkající se problematiky zápachu. Následuje popis příčin vzniku zápachu a metod, kterými lze sulfan odstranit z kanalizační atmosféry nebo přímo z odpadní vody. V další části se práce krátce věnuje vyhodnocení dotazníku rozeslaného provozovatelům kanalizačních sítí, který byl zaměřen na příčiny vzniku, kontrolu a možnosti řešení zápachu na stokové síti. Praktická část práce je zaměřena na konkrétní území, na kterém jsou problémy se zápachem. Na tomto území se pomocí dávkování chemikálie do odpadní vody sleduje úbytek sulfanu. Z dat je následně zpracováno vyhodnocení, které slouží jako možné doporučení pro provozovatele.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zápach, kanalizace, sulfan

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to research the possibilities of an odor regulation in a sewerage system. The first part of the thesis is devoted to legislation in sewerage odor problematics. The second part includes description of the cause of the odor and methodology related to a hydrogen sulfide elimination either from sewerage atmosphere or straight from waste water. The next part examines the results of a survey, which was given to operators of the sewerage system. The survey examined the cause of an odor, its control and possible solutions of an odor in a sewerage system. Practical part is devoted to a given geographical area, where these problems have occurred the past. In this area the measuring of hydrogen sulfide presence took place by adding chemicals into waste water. From the collected data an evaluation was made. This can serve as a possible recommendation to sewerage operators.

KEYWORDS

Odor, sewer system, hydrogen sulfide

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Tereza Šlechtová *Možnosti odstranění zápachu na stokové síti*. Brno, 2019. 71 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Hlušík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 10. 1. 2020

Bc. Tereza Šlechtová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Možnosti odstranění zápachu na stokové síti* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2020

Bc. Tereza Šlechtová
autor práce

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 10. 1. 2020

Tereza Šlechtová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování bych ráda věnovala vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Hlušíkovi, Ph.D. za jeho pomoc, odborné rady a připomínky při zpracovávání této práce. Děkuji také firmě Vodárenská akciová společnost, a.s., za vytipování konkrétního území, ochotu všech jejich pracovníků při měření, výměně chemikálií a poskytnutí informací, které byly ke zpracování nezbytné. Obrovské poděkování patří také rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

OBSAH

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD | 3 |
| 1.1 | Legislativa | 3 |
| 1.1.1 | Legislativa Evropské unie..... | 3 |
| 1.1.2 | Legislativa České republiky | 4 |
| 2 | ZÁPACH NA STOKOVÉ SÍTI | 5 |
| 2.1 | Sulfan | 5 |
| 2.2 | Reakce organismu | 6 |
| 2.3 | Vznik zápachu | 6 |
| 2.3.1 | Složení odpadní vody..... | 6 |
| 2.3.2 | Teplota | 7 |
| 2.3.3 | pH..... | 7 |
| 2.3.4 | Redox potenciál..... | 8 |
| 2.3.5 | Hydraulické parametry..... | 10 |
| 2.4 | Biogenní síranová koroze | 12 |
| 3 | MOŽNOSTI ŘEŠENÍ ZÁPACHU NA KANALIZAČNÍ SÍTI | 14 |
| 3.1 | Možnosti eliminace zápachu v kanalizační atmosféře | 14 |
| 3.1.1 | Praní pomocí rozstříkovaného média..... | 14 |
| 3.1.2 | Bio-pračka vzdušiny | 15 |
| 3.1.3 | Biologický filtr | 16 |
| 3.1.4 | Biofiltr s nuceným odtahem vzduchu | 16 |
| 3.1.5 | Biofiltr bez nuceného odtahu vzduchu..... | 17 |
| 3.1.6 | Adsorpce na aktivním uhlí | 18 |
| 3.1.7 | Pomocí katalyzátoru, UV záření..... | 18 |
| 3.1.8 | Naředěním vzdušiny čerstvým vzduchem..... | 19 |
| 3.1.9 | Neutralizace, kompenzace, nebo maskování zápachu..... | 19 |
| 3.2 | Možnosti eliminace zápachu v odpadní vodě | 19 |
| 3.2.1 | Úprava hodnoty pH | 19 |
| 3.2.2 | Srážení solemi železa..... | 20 |
| 3.2.3 | Dávkování roztoku dusičnanu | 20 |
| 3.2.4 | Oxidace peroxidem vodíku | 21 |
| 3.2.5 | Vhánění vzduchu nebo kyslíku..... | 21 |
| 3.2.6 | Naředění odpadních vod | 22 |
| 3.2.7 | Neutralizace, kompenzace, nebo maskování zápachu..... | 22 |
| 3.2.8 | Alternativní výhledové metody | 22 |
| 4 | ŘEŠENÍ ZÁPACHU NA STOKOVÉ SÍTI PROVOZOVATELI | 24 |
| 4.1 | Vznik a měření zápachu na stokové síti provozovateli | 24 |
| 4.2 | Způsoby řešení zápachu na stokové síti provozovateli | 25 |
| 5 | APLIKACE NA KONKRÉTNÍM ÚZEMÍ | 28 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 5.1 | Dávkování síranu železitého..... | 35 |
| 5.2 | Dávkování dusičnanu vápenatého..... | 51 |
| 5.3 | Shrnutí..... | 56 |
| 6 | ZÁVĚR..... | 61 |
| 7 | POUŽITÉ ZDROJE..... | 63 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 67 |
| | SEZNAM GRAFŮ..... | 68 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 69 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ..... | 70 |
| | SUMMARY..... | 71 |

1 ÚVOD

Zápach je vnímán čichem. Čich, jako jeden pět smyslů člověka, je vlastností arganologickou. Jeho funkci ovlivňují řasinky, nacházející se v nosní dutině, které poté vyšlou signál do mozku. Paměťové centrum mozku, kam se čichové vjemy ukládají, je má většinou spojené se vzpomínkou. Proto je možné, že některým lidem může být daný typ zápachu (třeba i zápach z kanalizace) příjemný, protože ho mají spojený s příjemnou vzpomínkou.

Z kanalizace unikají mnohé zapáchající látky. Ty mohou být často spojeny s nebezpečím, protože charakteristický zápach je často varováním před nebezpečím. Není tomu tak u všech látek, ale například u sirovodíku, který má svůj charakteristický zápach zkažených vajec, je pravdou, že může být nebezpečný lidskému zdraví.

Zdrojem zápachu je v dnešní společnosti často čistírna odpadních vod, popřípadě kanalizace. Chemické a biologické procesy v odpadních vodách probíhají neřízeně. Je potřeba tyto reakce zohlednit a snažit se jim zabránit v nepříznivém ovlivnění materiálu, technologie a vybavení kanalizačních systémů. Vždy je lepší problém se vznikem zápachu řešit přímo u zdroje a zabránit tak nepříjemnému zápachu v unikání do obydlených oblastí. Stížnosti od obyvatel se poté nahnou na provozovatele kanalizačních sítí a ti musí investovat poměrně velké náklady do opatření, sloužících k regulaci zápachu na stokové síti.

1.1 LEGISLATIVA

Legislativní předpisy, zabývající se problematikou zápachu a jeho eliminace, jsou většinou k tomuto tématu velmi skromné. Je totiž velmi obtížné k této problematice stanovit striktní řešení. Přehled evropských a českých legislativních předpisů je uveden v následujících podkapitolách.

1.1.1 Legislativa Evropské unie

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES ze dne 21. května 2008 o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu je vzorem pro legislativu členských států. Stanovuje potřebu snížení znečištění ovzduší na úroveň, která minimalizuje škodlivé účinky na lidské zdraví a životní prostředí. Požaduje také zlepšení monitorování, posuzování kvality ovzduší, poskytování informací o stavu ovzduší a výskytu znečišťujících látek veřejnosti. [2]

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU ze dne 24. listopadu 2010 o průmyslových emisích (integrování prevence a omezování znečištění) předepisuje za účelem prevence, snižování a pokud možno úplného vyloučení znečištění vznikajícího z průmyslových činností v souladu se zásadou „znečišťovatel platí“. Primárně by se měly zásahy provádět přímo u zdroje znečištění a zajistit tak šetrné hospodaření s přírodními zdroji. Rozdílné přístupy k omezování emisí do ovzduší, vody či půdy odděleně mohou spíše podporovat přenos znečištění z jedné složky životního prostředí na druhou, než aby chránily životní prostředí jako celek. Je proto vhodné stanovit integrovaný přístup k prevenci a omezování emisí do ovzduší, vody a půdy, k nakládání s odpady, k energetické účinnosti a k předcházení haváriím. [3,4]

1.1.2 Legislativa České republiky

ČSN EN 12255 9 Čistírny odpadních vod – Část 9: Kontrola pachů a odvětrání. Norma stanovuje požadavky na provádění kontroly pachů, měření pachů a následných opatření k eliminaci zápachu v podobě odvětrávání čistíren odpadních vod pro více než 50 ekvivalentních obyvatel. [5]

ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky, je normou určenou k návrhu kanalizace pro veřejnou potřebu a odvodnění veřejných komunikací. Stanovuje podmínky pro návrh, posouzení a provádění sanací gravitačních stokových sítí a kanalizačních přípojek, včetně objektů na nich. [6]

Zákon č. 201/2012 Sb. Zákon o ochraně ovzduší, stanovuje předcházení znečištění ovzduší a snížení úrovně znečištění 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. [7]

Vyhláška č. 415/2012 Sb. Vyhláška o přípustné úrovni znečištění a jejím zjištění a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. Stanovuje intervaly, způsoby a podmínky měření a výpočtu úrovně znečištění. Dále pak stanovuje obecné emisní limity, specifické emisní limity, způsob stanovení emisních limitů pro látky obtěžující zápachem, způsob výpočtu emisních stropů, technické podmínky provozu stacionárních zdrojů a způsob vyhodnocování jejich plnění. [8]

2 ZÁPACH NA STOKOVÉ SÍTI

Čistá síra, která se vyskytuje v odpadní vodě, je bez zápachu, ale při reakci s uhlovodíkovými nečistotami vzniká sulfan, který s sebou přináší silný zápach zkažených vajec. [9]

Kromě sulfanu patří mezi časté látky způsobující zápach v odpadní vodě amoniak nebo různé druhy merkaptanu, které mají charakteristický zápach po shnilém zelí. Další složky působící problémy na stokové síti jsou uvedeny v následující tabulce. [25]

Tabulka 1 Složky způsobující zápach [25]

| Název složky | Vzorec | Práh zápachu [ppm] | Popis zápachu |
|------------------|--|--------------------|---------------|
| Sirovodík | H ₂ S | 0.5 | Zkažená vejce |
| Dimethyl sulfid | (CH ₃) ₂ S | 0.12 - 0.4 | Nahnilé zelí |
| Ethyl merkaptan | C ₂ H ₅ SH | 0.02 | Nahnilé zelí |
| Methyl merkaptan | CH ₃ SH | 0.0014 | Nahnilé zelí |
| Indol | C ₆ H ₄ (CH) ₂ NH | 1.4 | Fekální |
| Scatol | C ₉ H ₉ N | 0.002 | Fekální |
| Amoniak | NH ₃ | 130 - 15 300 | Dráždivý |

2.1 SULFAN

Sulfan je bezbarvý plyn se silným zápachem po zkažených vejcích. Je extrémně hořlavý a těžší než vzduch. Sulfan je dobře rozpustný nejen ve vodě. Způsobuje korozi kanalizačního potrubí.

Sulfidy podle jejich vzniku a existence v kanalizaci rozdělujeme do následujících forem:

- Endogenní forma: vznik sulfidu přímo v kanalizaci.
- Autogenní forma: vzniká reakcí síry v biofilmu při organických a anorganických podmínkách, probíhá v odpadní vodě a usazeninách.
- Alogenní forma: je způsobena nepříznivými provozními podmínkami, například zaústěním tlakové kanalizace.
- Exogenní forma: sulfidy vznikají mimo kanalizaci, například zaústěním domovní ČOV nebo v odpadní vodě z průmyslu. [10, 14, 15]

Tabulka 2 Vlastnosti sulfanu [11,9]

| Sulfan | |
|------------------|--|
| Molární hmotnost | 34.08 g·mol ⁻¹ |
| Skupenství | plynné |
| Hustota | 1 363·10 ⁶ g·cm ⁻³ |
| Barva | bezbarvá |
| Chuť | nasládlá |

| | |
|------------------|-----------|
| Bod tání | -82.30 °C |
| Bod varu | -60.20 °C |
| Bod vzplanutí | 100 °C |
| Bod samovznícení | 260 °C |

2.2 REAKCE ORGANISMU

Sirovodík je silně toxický, i při velmi malé dávce může způsobit otravu. Při kontaktu se sirovodíkem si organismus na jeho zápach zvykne. Může dojít k podráždění očí, bolesti hlavy, paralyzování dýchacího ústrojí a následně až k smrti udušením. [11,13]

Tabulka 3 Reakce organismu na koncentraci sirovodíku [11]

| Koncentrace H ₂ S | | Účinek |
|------------------------------|-----------------------|---|
| [ppm] | [mg·m ⁻³] | |
| 0.01 - 1.5 | 0.014 - 2.1 | Nejnižší hodnota vnímání zápachu pro člověka |
| 2 - 5 | 2.8 - 7.0 | Problémy s dýcháním u astmatiků, bolest očí a hlavy |
| 20 | 28.2 | Únava, nechutenství, bolest hlavy, závratě |
| 50 - 100 | 70.4 - 140.9 | Podráždění očí a dýchacích cest |
| 100 | 140.9 | Kašel, paralýza čichu, bolest očí, ospalost a podráždění hrdla |
| 100 - 150 | 140.9 - 211.3 | Ztráta čichu |
| 200 - 300 | 281.7 - 422.5 | Podráždění dýchacích cest, zánět spojivek |
| 500 - 700 | 704.2 - 985.9 | Ztráta vědomí, vážné poškození očí, smrt (30 min až 1 hod) |
| 700 - 1000 | 985.9 - 1408.5 | Okamžité bezvědomí, zástava dýchání, smrt do několika minut |
| 1000 - 2000 | 1408.5 - 2816.9 | Okamžitá smrt, nepomůže ani okamžité odebrání jedince na čerstvý vzduch |

Převod koncentrace sulfanu: [39]

$$1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} = 0,71 \text{ ppm} \quad (2.1)$$

$$1 \text{ ppm} = 1,4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (2.2)$$

2.3 VZNIK ZÁPACHU

Mezi faktory, které mohou vznik sirovodíku podpořit, nebo naopak ani nespustit patří teplota, složení odpadní vody, rychlost proudění, redox potenciál, hodnota pH odpadní vody a hydraulické parametry potrubí, které často vznikly už při návrhu potrubí. [10]

2.3.1 Složení odpadní vody

Hlavním činitelem zápachu na stokové síti je sirovodík (H₂S). Důvodem, proč vzniká, je složení odpadní vody, která obsahuje rozpuštěné sulfidy. [10] Odpadní vody obsahují sulfidy ve třech formách, a to jako elementární síru, sulfidy kovů a sirovodík. [1] Celkový obsah sulfidů ale ještě neznamená, že odpadní voda bude zapáchat.

Pro vznik sulfidů je důležitý dostatečný obsah organického materiálu a síranu. Sírné bakterie vyžadují k reakci síranu a organické látky. Přibližný poměr využití je 2:1 a celý proces bude ovlivněn látkou, jejíž obsah v odpadní vodě bude nižší. Když bude odpadní voda obsahovat dostatek oxidovaných forem síry, bude produkce sulfidů závislá na hodnotě BSK₅ v odpadní vodě. Tato podmínka platí i v opačném případě. [20]

Vzhledem ke složení odpadních vod dochází kromě sirovodíku k uvolňování dalších sloučenin síry jako jsou thiooly a vlivem dusíku aminy. [24]

Tabulka 4 Složení městských odpadních vod [21]

| Ukazatel | Hodnoty | Jednotka |
|--|-----------|--------------------|
| pH | 6.5 - 8.5 | - |
| NL | 200 - 700 | mg·l ⁻¹ |
| usaditelné | 73 | % |
| neusaditelné | 27 | % |
| Rozpuštěné látky | 600 - 800 | mg·l ⁻¹ |
| BSK ₅ | 100 - 400 | mg·l ⁻¹ |
| CHSK _{Cr} | 250 - 800 | mg·l ⁻¹ |
| TOC | cca 250 | mg·l ⁻¹ |
| N _{celk} | 30 - 70 | mg·l ⁻¹ |
| N-NH ₄ | 20 - 45 | mg·l ⁻¹ |
| P _{celk} | 5 - 15 | mg·l ⁻¹ |
| poměr BSK ₅ :CHSK _{Cr} | 0.5 | - |

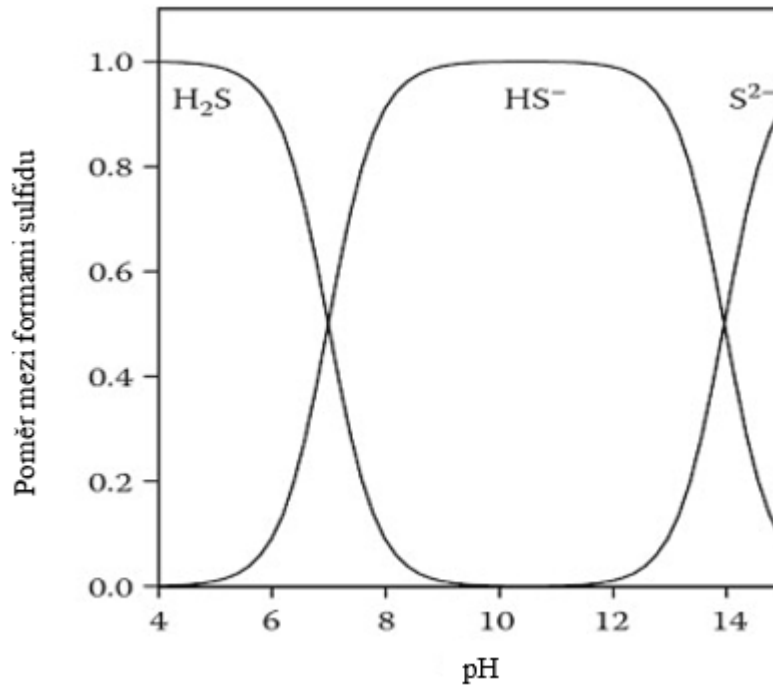
2.3.2 Teplota

Teplota ovlivňuje téměř veškeré fyzikální, chemické a biologické procesy. Při reakci sulfidu tomu není jinak. S rostoucí teplotou odpadní vody v kanalizaci roste i spotřeba kyslíku v biologických procesech a rychleji dochází k anaerobním podmínkám, čímž se zvýší i produkce sirovodíku. [11]

Při teplotě odpadní vody od 5 °C do 25 °C se zrychluje redukce síranu (SO₄²⁻). Další zvyšování teploty ovlivňuje nepříznivě vývoj mikroorganismů. Při teplotě nad 45 °C se jejich aktivita úplně zastavuje. [17]

2.3.3 pH

Rychlost redukce síranu (SO₄²⁻) je nejvyšší při pH 6,5 – 7,5. Pokud je hodnota pH mimo optimální rozmezí, redukce síranu se sníží. Při pH 8,6 se redukce sníží o 30 %, při pH 9,0 o 50 %. [18, 19]



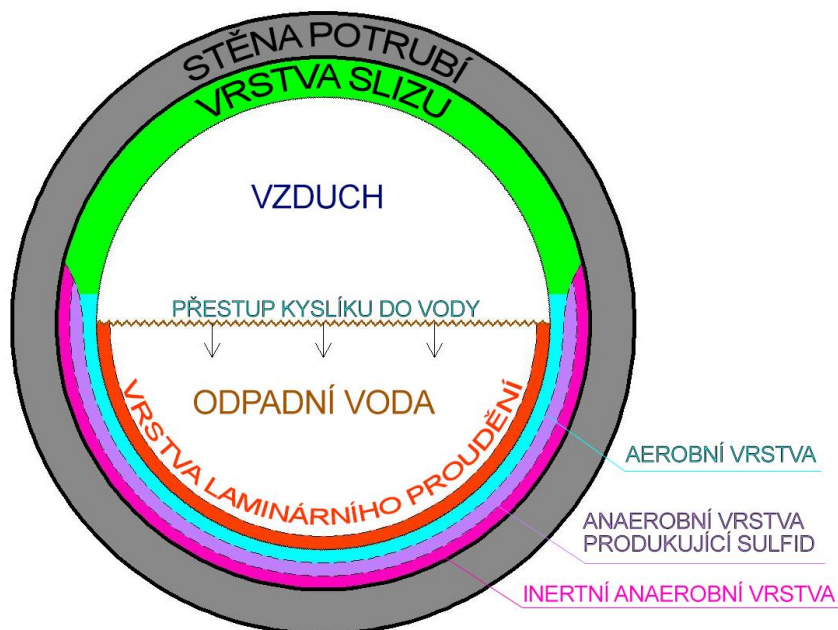
Obrázek 1 Zastoupení forem sulfidu v závislosti na pH [11]

Z obrázku 1 vyplývá, že H₂S je dominantní při hodnotě pH 4. Pokud se hodnota pH zvýší na 12, stává se hlavní formou HS⁻. Při nejvyšší hodnotě pH je sulfid ve formě S²⁻. [11]

Jednotlivé zastoupení forem sulfidu v odpadní vodě je důležité, protože jenom ve formě H₂S může unikat do atmosféry a způsobovat tím problémy se zápachem a biogenní síranovou korozi. [20]

2.3.4 Redox potenciál

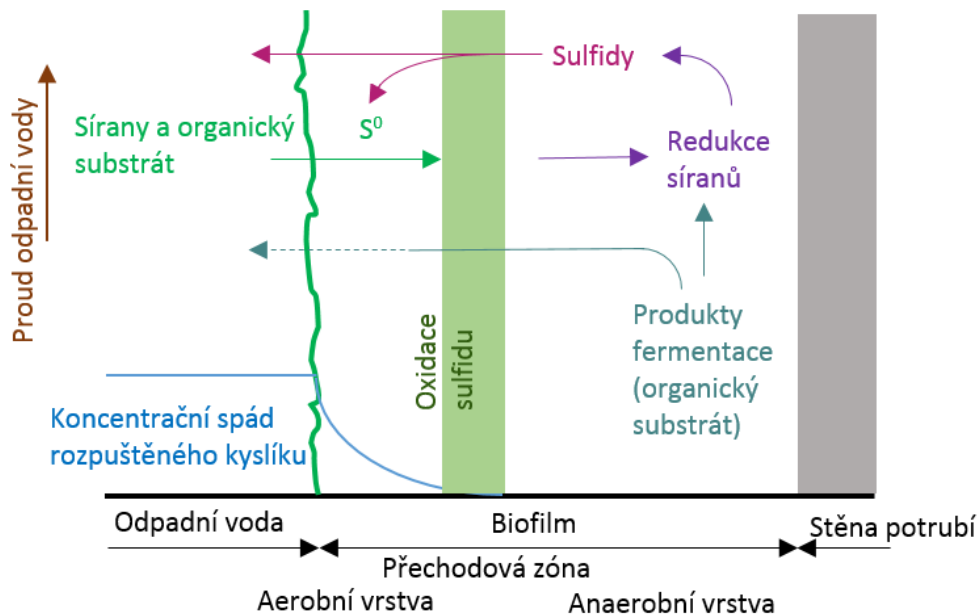
Sírany jsou redukovány pouze při anaerobních podmínkách. Metabolická aktivita bakterií, které redukují síru, začíná při redoxním potenciálu -100 až -150 mV. Vyskytují se proto hlavně ve spodní vrstvě sedimentu a v biofilmu v hloubce větší než 1 mm. [22]



Obrázek 2 Procesy probíhající v kanalizaci [22]

Na obrázku 2 můžeme vidět procesy, které probíhají v kanalizaci, pokud je rozpuštěný kyslík v odpadní vodě v koncentraci větší než $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a rozpuštěného sulfidu je zde pouze stopové množství. Poté v aerobní vrstvě začne probíhat difúze kyslíku a nutrientů, v anaerobní zóně probíhá difúze síranu a nutrientů. Z této zóny se pak do odpadní vody začnou rozptylovat sulfidy, které oxidují a spotřebovávají kyslík. [22]

Mezní hodnota koncentrace kyslíku, při které může vznikat redukce síranů v odpadní vodě, je v rozmezí od $0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ do $1,0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [22]



Obrázek 3 Vnitřní cyklus síry v kanalizaci [23]

Pokud je v odpadní vodě vyšší koncentrace kyslíku, vznikají aerobní organismy, které jsou obsaženy v biofilmu, který může mít za těchto podmínek větší vrstvu. Poté dochází k větší redukci síranu v anaerobní zóně biofilmu. [22]

U gravitační kanalizace dochází k redukci síranu pouze tehdy, když je na trase navržen velký spád a vzniká tak turbulentní proudění nebo pokud je gravitační stoka kombinována s výtlačnými řady kanalizace. Tyto úseky mohou mít nízkou koncentraci rozpuštěného kyslíku, který je spotřebován obvykle do 30 minut. [23]

2.3.5 Hydraulické parametry

Hydraulické parametry mají významný vliv na vznik plynů a látek způsobujících zápach, proto by na ně měl být brán ohled i při návrhu nových kanalizačních sítí.

Návrhové parametry

Návrhové parametry by si měl ověřit každý projektant, protože špatný návrh může poskytnout vhodné prostředí pro anaerobní prostředí a následný vznik sulfanu a dalších plynů, které mohou negativně ovlivnit vnější prostředí.

Poměr plochy a objemu: koncentrace rozpuštěného sulfidu v odpadní vodě je výsledkem rozpuštění sulfidu z biomasy. Potom můžeme uvažovat, že skutečná koncentrace rozpuštěného sulfidu souvisí s celkovou plochou biofilmu. Plocha biofilmu je dána poměrem průtočné plochy (omočené plochy) A a vnitřní plochy potrubí V . Velký poměr A/V má za následek nízké rychlosti proudění a delší dobu zdržení odpadní vody v kanalizaci. V případě velkého poměru byl pozorován mnohem vyšší přenos sirovodíku z kapalné do plynné fáze. Příkladem velkého poměru A/V je tlaková kanalizace. [11]

Střední hloubka: je návrhový parametr, který je nutné zohlednit vzhledem k tomu, že sirovodík se do kanalizační atmosféry dostává přestupem z volné hladiny. Střední hloubka je dána hydraulickým vzorcem:

$$h = S/b \quad (2.3)$$

h ... střední hloubka [m]

S ... průtočná plocha [m²]

b ... šířka příčného profilu v úrovni hladiny [m].

Čím nižší bude střední hloubka, tím vyšší bude produkce sulfanu do kanalizační atmosféry, a spolu s ním i negativní vlivy, které tento plyn s sebou nese. [20]

Doba zdržení

S dobou zdržení se potýkají hlavně provozovatelé tlakových kanalizací, kdy se čerpadlo spouští až po naplnění sběrné jímky čerpací stanice. Tato doba je závislá na množství vod, které přitečou, objemu sběrné jímky a délkou výtlačného řadu. V literatuře dle Beránka je uvedeno, že příznivé podmínky pro tvorbu sirovodíku začínají po 30 minutách zdržení odpadní vody v kanalizační síti – s každým dalším zdržením se začínají spolu se sirovodíkem

projevovat i všechny nežádoucí dopady. Doba zdržení odpadní vody v kanalizaci je závislá na nerovnoměrnosti přítoku odpadní vody a parametrech, podle kterých byla kanalizační síť navržena. [16]

Rychlost proudění

Průtoková rychlost je důležitým faktorem hlavně kvůli množství biofilmu. Biofilm je rozdělen do jednotlivých vrstev. Nejhlubší vrstvy jsou v přímém kontaktu s potrubím, většinou zůstávají anaerobní a produkují do odpadní vody sulfid. Vrchní vrstvy biofilmu, které jsou v kontaktu s odpadní vodou, mohou být anaerobní nebo aerobní. [11]

Rychlost proudění odpadní vody může vést ke snížení tloušťky biofilmu. Při velmi nízkých rychlostech v aerobní kanalizaci může narůst tloušťka biofilmu až o 50 mm. Pokud ale bude rychlost proudění od $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ do $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, tloušťka biofilmu se o 1 až 5 mm sníží. Při rychlosti proudění nad $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dochází k turbulentnímu proudění a rozpuštěný sulfid je ve formě H_2S vypouštěn do ovzduší. [11]

Gradient rychlosti

Množství uvolněného sulfidu z odpadní vody není závislé jenom na velikosti styčné plochy mezi kapalnou fází odpadní vody a atmosférou – dalším ovlivňujícím faktorem je gradient rychlosti, který vychází z rychlosti proudění, podélného sklonu potrubí a objemového průtoku. Čím je gradient rychlosti vyšší, tím větší množství sirovodíku je uvolněno do kanalizační atmosféry. [11]

Gradient rychlosti vychází z následující rovnice:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \cdot S \cdot v}{\mu}} \quad (2.4)$$

G ... střední rychlostní gradient [$1\cdot\text{s}^{-1}$],

γ ... měrná tíha [$\text{N}\cdot\text{m}^{-3}$],

S ... sklon potrubí [$\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$],

v ... rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

μ ... dynamická viskozita [$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$]. [11]

Tečné napětí

Tečné napětí je dalším z faktorů, které ovlivňují množství sulfidu v odpadní vodě. Tam, kde je tečné napětí nízké, je vrstva biofilmu na stěnách kanalizačního potrubí silnější. Nízké tečné napětí v gravitační kanalizaci je známkou slabého provzdušňování, což následně vede k anaerobním podmínkám a tvorbě H_2S . [11]

Velikost tečného napětí je ovlivněna sklonem potrubí, hustotou odpadní vody, gravitačním zrychlením a hydraulickým poloměrem. Vychází z rovnice:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot s \cdot R \quad (2.5)$$

τ ... průměrné tečné napětí na omočeném obvodu [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$],

ρ ... hustota odpadní vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

g ... gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

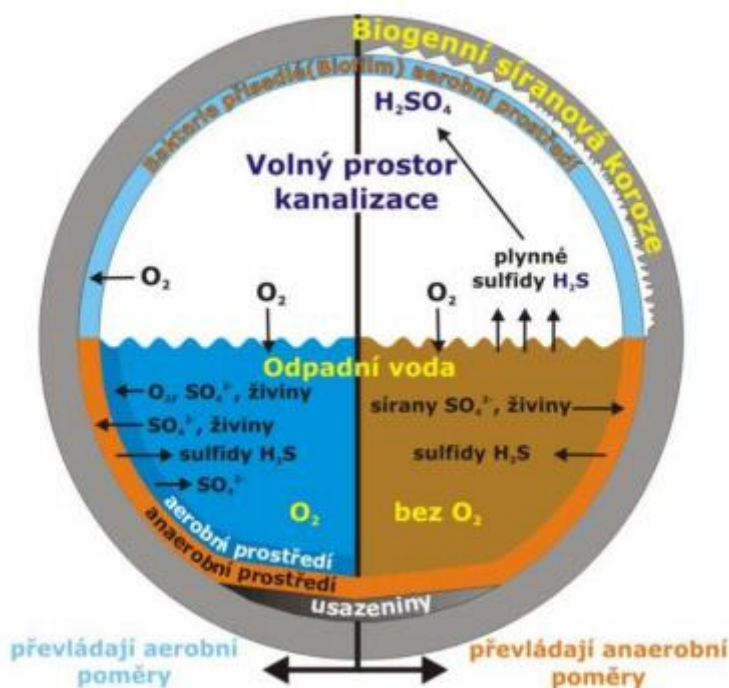
s ... podélný sklon potrubí [$\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$],

R ... hydraulický poloměr [m].

Tečné napětí je jedním z hydraulických parametrů při návrhu kanalizační sítě – určuje schopnost samočištění kanalizačního potrubí, aby bylo zabráněno usazování a hromadění štěrku a sedimentu. U oddílných kanalizačních systémů je doporučená velikost tečného napětí $1,0 - 2,0 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$, což odpovídá rychlosti proudění $0,6 - 0,75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Někdy je však nutné uvažovat tečné napětí až $3,35 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$, aby bylo zabráněno růstu biofilmu. [11]

2.4 BIOGENNÍ SÍRANOVÁ KOROZE

Dalším problémem, který způsobují sloučeniny síry obsažené v městské a zemědělské odpadní vodě, je biologická síranová koroze. Ta vzniká při částečném plnění profilu stokové sítě, která je z materiálu pojeného cementem. Prvky z PVC nebo z materiálu opářeného glazurou nejsou korozi napadány. [16] Koroze vzniká rychleji, pokud je v odpadní vodě nízká hodnota pH, malá průtočná rychlost, velká doba zdržení a vyšší teplota. [14]



Obrázek 4 Schéma biogenní síranové koroze [15]

Koroze napadá vlhkou část kanalizačního potrubí, která je nad hladinou odpadní vody (viz obrázek 4). Suché části kanalizačního potrubí, jako jsou například kanalizační šachty osazené poklopy s větracími otvory, nejsou biogenní síranovou korozi ohroženy. Ke korozi betonového potrubí dochází v přítomnosti sirovodíku (H_2S) a sulfurikačních bakterií.

Sírovodík je poté oxidován na kyselinu sírovou. Ta následně napadá materiál, který byl pojen cementem. [14]

Při teplotě odpadní vody v rozsahu od 10 °C do 20 °C je obsah kyseliny sírové asi 7 až 9 % [15]

Biogenní síranová koroze ve stokové síti nejčastěji napadá úseky, kde:

- jsou čerpadla,
- je zaústěno potrubí průmyslových odpadních vod nebo tlaková kanalizace,
- hrozí turbulentní proudění. [15]

Hodnotícím kritériem při biogenní síranové korozi je obsah $\text{H}_2\text{S} \geq 0,5$ ppm ve volném prostoru kanalizační sítě. Úbytek materiálu pojeného cementem je $0,5 - 10,0 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$, v extrémních podmínkách až $20 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$. [15]

3 MOŽNOSTI ŘEŠENÍ ZÁPACHU NA KANALIZAČNÍ SÍTI

Při řešení problému se zápachem na kanalizační síti je nutné zjištění příčiny a její následné odstranění. U veřejné kanalizace však není vždy možné příčinu odhalit, ani zamezit tvorbě zápachu. Byly proto vyvinuty mnohé metody na fyzikální, chemické nebo biologické bázi, které regulují zápach buď v kanalizační atmosféře, nebo přímo v odpadní vodě.

3.1 MOŽNOSTI ELIMINACE ZÁPACHU V KANALIZAČNÍ ATMOSFÉŘE

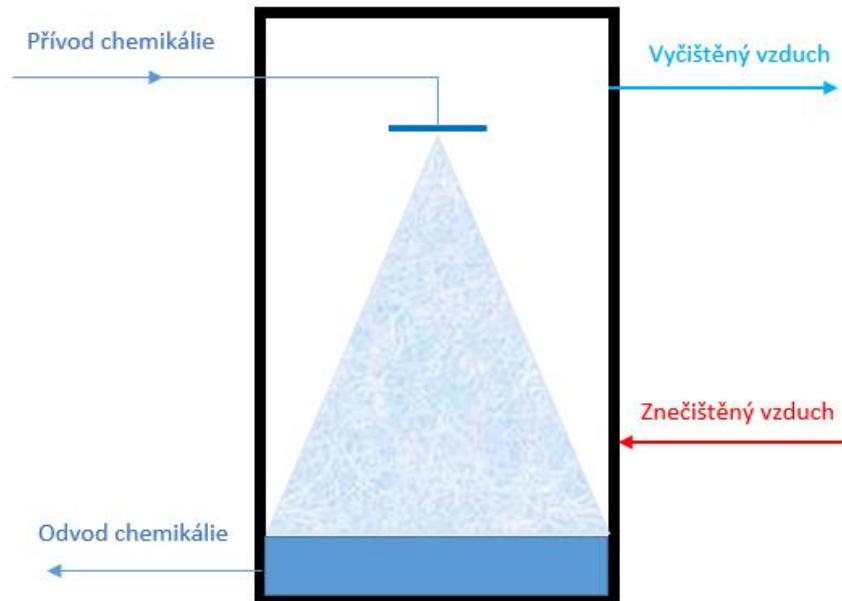
Odstraňování zápachu z kanalizační atmosféry je až druhotnou fází při eliminaci zápachu. Vždy je lepší odstranit problém se zápachem přímo u jeho vzniku a aplikovat opatření přímo v odpadní vodě. Pokud však není možné zápach odstranit přímo z vody, je zde výčet několika metod, kterými lze zápach regulovat v kanalizační atmosféře.

3.1.1 Praní pomocí rozstříkovaného média

Praní vzduchu je velmi flexibilní a spolehlivé řešení k regulaci zápachu na stokové síti. Pračka účinně odstraní sirovodík i amoniak, které jsou nejvíce zápachajícími plyny v kanalizaci. [24]

Při návrhu pračky vzduchu je důležité minimalizovat použití chemikálií i nákladů, které na ně vznikají. Většinou se používá vícestupňový systém praní. V prvním stupni je rozpuštěn sirovodík, například roztokem hydroxidu sodného. Ve druhé fázi je jako čínidlo využíván chlornan sodný, který rozpustí další zápachající látky. [24]

Pokud je pračka vzduchu jednostupňová, dávkuje se hydroxid sodný a chlornan sodný v recirkulačním roztoku. Účinnost na odstranění zápachu ze stokové sítě je také velmi dobrá, ale náklady na chlornan sodný jsou mnohem vyšší, protože musí být vlivem jeho reakce se sulfidy dodáván ve větším množství. [24]



Obrázek 5 Schéma pračky vzduchu [26]

3.1.2 Bio-pračka vzdušiny

Hlavní součástí bio-pračky vzdušiny je náplň, která je tvořena nosičem, který má co největší plochu. Na tomto nosiči se následně usazuje biofilm ze zkrápěného média a látek způsobujících zápach odtahovaných ze vzduchu. [10]



Obrázek 6 Možnosti nosičů jako náplně bio-pračky [27]

Bio-pračka vzdušiny funguje na principu fyzikálního a biochemického procesu. Při fyzikálním procesu se dostávají molekuly (odděleny ze vzduchu) do rozstříkovaného média. Biochemický proces je pak založen na odstranění znečištění přímo z kapaliny za pomoci mikroorganismů, které jsou v této kapalině přítomny. V bio-pračce je oběhové čerpadlo, které přečerpává rozpuštěné a škodlivé látky z nádrže na úkapy do skrápěčů. Skrápěče rozstříkují

médium spolu s úkapy zachycenými v nádrži pod filtrační náplní. Znečištění tak stále cirkuluje v pračce, dokud není odbouráno. [10]

3.1.3 Biologický filtr

Biologický filtr je tvořen kompostem nebo zeminou. Kontaminovaný vzduch je v biologickém filtru rozveden pomocí perforované trubky, popřípadě pomocí roštu. Mikroorganismy se poté zachycují na nosiči a vzniká biofilm. Biologický filtr je potřeba zavlažovat. [28]



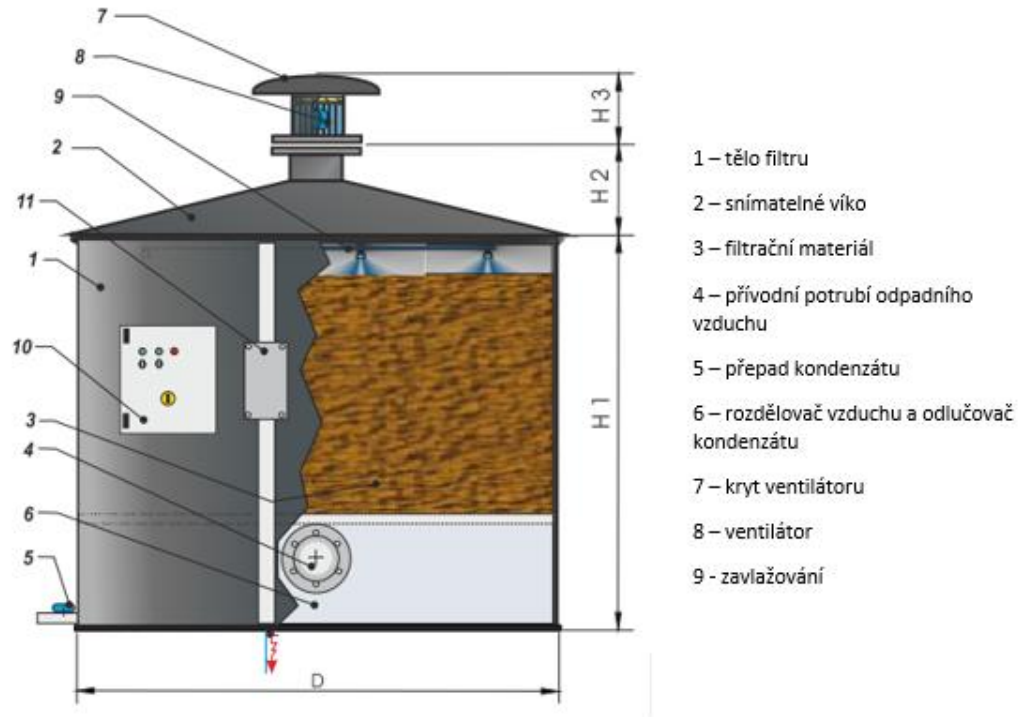
Obrázek 7 Schéma jednoduchého biologického filtru [26]

3.1.4 Biofiltr s nuceným odtahem vzduchu

V biofiltru jsou látky způsobující zápach rozpuštěny z plynné do kapalně fáze na povrchu organického média, jako je kompost, kůra ze stromů, kokosová vlákna nebo rašelina. Na povrchu tohoto média jsou pak sloučeniny, tvořící zápach ve stokové síti, rozloženy pomocí bakterií. [24,10]

Biofiltry jsou velmi účinné při odstraňování sloučenin na bázi síry, které způsobují zápach. Nejsou ale účinné při odstraňování sloučenin na bázi dusíku. [24]

V biofiltru je nutno dbát na organické médium, které může být vystaveno širokým výkyvům v podmínkách prostředí – může dojít ke zničení populace bakterií, a tím ke ztrátě schopnosti zachytávat pachy. [24]



Obrázek 8 Schéma biofiltru s nuceným odtahem vzduchu [29]

Aby nedocházelo ke ztrátě stability média, využívají se upravené filtry. Většinou jsou uzavřené a chrání tak filtrační náplň před teplotními i vlhkostními výkyvy. Dále je také nutné udržovat vlhkost filtračního média alespoň na 50 %. V uzavřených biofiltrech se požadované vlhkosti dosáhne nasazením víka, které je vybaveno jak zavlažovacím systémem, tak ventilátorem. [24,10,29]

3.1.5 Biofiltr bez nuceného odtahu vzduchu

Funkce biofiltru bez nuceného odtahu vzduchu je obdobná jako u filtru s nuceným odtahem vzduchu. Rozdíl je v absenci ventilátoru, tím vznikají menší požadavky na energii. Filtr s náplní se tak může osadit přímo do šachty pod kanalizační poklop. Důležitá je volba filtrační náplně, která by měla být takové frakce, aby přes ni mohl procházet vyčištěný vzduch. [10]

Kanalizačních filtrů i náplní do nich je na trhu mnoho. Každý výrobce vyzdvihuje jiné priority svého výrobku. Existují filtry průtočné, kterými voda ze silničních splachů proteče, a pak další, které mají sifon. Ten je stále naplněn vodou, a tak přes něj nemůže zápach unikat z kanalizační atmosféry. [10,30]



Obrázek 9 Průtočné filtry [30]

3.1.6 Adsorpce na aktivním uhlí

Proud vzduchu je veden přes vrstvu adsorbentu, jako který v tomto případě funguje uhlík. Sloučeniny působící zápach jsou k adsorbentu přitahovány a zachycovány na jeho povrchu. [24]

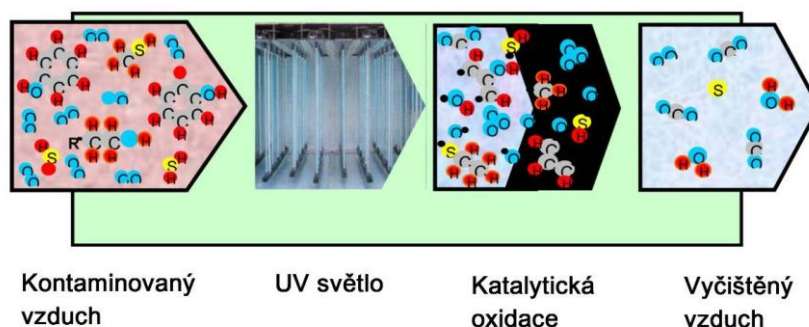
Aktivní uhlí je jako filtrační náplň využíváno hlavně pro svou pórovitou strukturu a velký vnitřní povrch. Plocha povrchu může dosahovat 500 až $2000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. [10]

K této technologii není potřebná žádná chemikálie ani nehrozí narušení biologických procesů. Uhlík účinně zachytí veškeré sloučeniny na bázi síry, včetně sirovodíku. Pro sloučeniny na bázi dusíku je nutno adsorbent upravit. [24]

3.1.7 Pomocí katalyzátoru, UV záření

Fotokatalytická oxidace kombinuje fotooxidaci, působení UV záření a katalytickou oxidaci. [25] Tyto technologie se považují za komplikované a nákladné. Proto se oxidačně redukční jednotky používají zejména tam, kde je extrémně vysoký obsah obtížně oxidovatelných nebo zapáchajících plynů. [24,25]

Kanalizační vzduch je veden do reaktoru, kde je pomocí UV lampy spuštěna chemická reakce. Zapáchající složky se štěpí a dojde k rozpadu na oxidační ionty. Katalyzátorem může být vrstva aktivního uhlí nebo kovový iont, který odstraňuje záporně nabitě elektrony ze sulfidového iontu za vzniku síry. K této funkci se využívá železo (Fe), protože je levné a netoxické. Katalyzátor slouží ke konečné oxidaci. Funkce fotokatalytické oxidace je znázorněn na Obrázku 10. [24,25]



Obrázek 10 Schéma fotokatalytické oxidace [25]

Katalyzátory nejsou schopny absorbovat všechny látky, které způsobují problémy na stokové síti. Ve vzduchu, který prošel fotokatalytickou oxidací, se vyskytuje oxid uhličitý, dusík, síra a vodní pára. K účelu odstranění dalších látek by bylo nutné přidat sekundární technologii k odstranění zápachu. [24,25]

3.1.8 Naředěním vzdušiny čerstvým vzduchem

Naředění kanalizační atmosféry čerstvým vzduchem je možné využít při problému se síranovou korozi. Koncentrace sulfidů, způsobujících korozi a zápach, se sníží. Toho můžeme dosáhnout pomocí ventilátoru, umístěného v kanalizačním potrubí. Při použití této metody je vhodné naředit vzdušinu odvádět mimo obytnou zónu, ideálně odvětrat v extravilánu. [10]

3.1.9 Neutralizace, kompenzace, nebo maskování zápachu

Metoda neutralizace, kompenzace, nebo maskování vede k zakrytí zapáchajících látek. K tomuto maskování se většinou využívají éterické oleje, různé přírodní nebo syntetické látky. Při této metodě neprobíhá žádná chemická reakce. Látky, způsobující zápach, mohou být pro organismy víc nebezpečné, protože už nezapáchají. [10]

3.2 MOŽNOSTI ELIMINACE ZÁPACHU V ODPADNÍ VODĚ

Metody k regulaci zápachu v odpadní vodě by měly být primárním řešením. Pokud zabráníme zápachu přímo ve vodě, není potřeba řešit zápach, unikající z kanalizační atmosféry. Metody uvedené v této kapitole většinou slouží k zamezení anaerobních podmínek v odpadní vodě.

3.2.1 Úprava hodnoty pH

Při zvýšení hodnoty pH na 9,0 se v odpadní vodě vyskytuje pouze iontová forma sulfidu (HS^-), sirovodík (H_2S) se v odpadní vodě vyskytuje pouze v zanedbatelné koncentraci.

Hodnota pH se zvyšuje za pomoci dávkování hydroxidu sodného (NaOH). Nepřetržitě dávkování je však velmi nákladné, a tak se jako nejúčinnější metoda osvědčilo šokové ošetření, které zvýší hodnotu pH na 12,5 až 13,0 na dobu 20 až 30 minut. Takto vysoké pH pozastaví činnost bakterií, redukujících sírany ve vrstvě slizu, až na 2 týdny, a to v závislosti na teplotě, rychlosti toku a dalších okolních podmínkách. Dávkování hydroxidu sodného (NaOH) je vhodné pro malé kanalizační systémy s nízkými průtoky a vysokým poměrem plochy k objemu (A/V). Nevýhodou zvyšování hodnoty pH je nutnost oddělení odpadní vody na čistírně odpadních vod, popřípadě její zředění. [11,22]

Další možností je dávkování hydroxidu hořečnatého ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), který je schopen pomalu zvyšovat hodnotu pH až na 9,0. Doporučeno je dávkování na čerpacích stanicích odpadních vod, které vede k dvojnásobnému účinku při regulaci emisí sirovodíku v celém kanalizačním potrubí, a to s minimální spotřebou chemikálie. Chemikálie je běžně používaná při čištění odpadních vod z průmyslu i z důvodu její bezpečnosti. [11]

3.2.2 Srážení solemi železa

Železo je běžnou látkou rozpuštěnou v komunálních odpadních vodách. Obvyklá koncentrace železa je 0,4-1,5 mg·l⁻¹. Při dávkování solí železa jsou zachovány anaerobní podmínky. Výhodou této metody je schopnost řešit pouze problémy se zápachem způsobené sulfanem. Ostatní látky, způsobující zápach, nejsou touto metodou dotčeny. [22]

Soli železa jsou přidávány ve dvojmocné (Fe²⁺) nebo trojmocné (Fe³⁺) formě. Mezi nejčastěji používané soli dvojmocné formy patří chlorid železnatý (FeCl₂) a heptahydrát síranu železnatého (FeSO₄·7H₂O). Trojmocná forma soli je nejčastěji používána v chloridu železitém (FeCl₃) nebo síranu železitém (Fe₂(SO₄)₃). Soli dvojmocného železa srážejí sulfidy do nerozpustné formy sulfidu železnatého (FeS). Trojmocné sloučeniny železa sulfidy oxidují na elementární síru. Obě reakce jsou popsány v následujících rovnicích: [22,40]



Soli trojmocného železa by měly být ke srážení a regulaci sulfidů podstatně vhodnější už z toho hlediska, že při jejich oxidaci vznikne dvojmocná forma železa, která by teoreticky měla vysrážet sulfidy z odpadní vody. Při zkouškách v praxi byla redukce sulfidů pomocí trojmocné formy železa podstatně pomalejší než pomocí dvojmocné formy. Ve stokové síti jsou totiž chemoheterotrofní bakterie, které reagují s trojmocnou fází železité soli a redukují ji na dvojmocnou fází. Při této redukci není provedena redukce rozpuštěných sulfidů, trojmocná fáze železa tedy není plně využita. [40]

Při dávkování soli železa je důležité kontrolovat hodnotu pH odpadní vody. Hodnota pH je totiž přidáváním soli železa snižována. Navíc je v odpadní vodě zvýšená koncentrace síranů, které by mohly být redukovány na sulfidy, což není žádoucí. Proto je pro tlakovou kanalizaci doporučeno při výběru soli železa volit směr solí železitých a železnatých v poměru 1:1 až 2:1. [41]

3.2.3 Dávkování roztoku dusičnanu

Pokud do odpadních vod, kde je anaerobní prostředí, přidáme dusičnan (NO₃⁻), vznikne v těchto vodách anoxické prostředí. Dusičnan pomocí oxidace snižuje produkci rozpuštěného sulfidu. Dusičnany však nejsou schopny jakýmkoliv způsobem pozastavit činnost bakterií redukujících síranu. Při vyčerpání dodávané dávky dusičnanu z odpadní vody se činnost bakterií okamžitě obnoví a v kanalizačním systému opět nastanou anaerobní podmínky – tím se obnoví i produkce sirovodíku. Dusičnan se do odpadních vod dává ve fázi roztoku kyseliny nebo ve fázi soli jako dusičnan vápenatý (Ca(NO₃)₂). [11]

Z výzkumu bylo dokázáno, že ve stokových sítích s nedostatkem rozpuštěného kyslíku, kde byl dávkován dusičnan, došlo k redukci dusičnanu dřív než k redukci síranu. Při aplikaci roztoku dusičnanu jednou za 5 dní došlo ke snížení produkce sulfidu o 80 %. Doporučeno je dávkování dusičnanu v úseku před stoupající trasou výtlačného řadu. Pokud je trasa stoupajícího potrubí příliš dlouhá, je možné pomocí vysokých dávek dusičnanu vytvořit anoxické prostředí v celém úseku. [11,22]

Při příliš vysokých dávkách dusičnanu se tato metoda stává ekonomicky náročnou. Dalším vedlejším nepříznivým účinkem nadměrného množství dusičnanu v odpadních vodách jsou problémy, které by mohly nastat v čistírně odpadních vod. [11]

3.2.4 Oxidace peroxidem vodíku

Peroxid vodíku (H_2O_2) v odpadní vodě redukuje sulfidy na elementární síru podle následující rovnice. Podmínkou je hodnota pH nižší než 8,5, což je dle tabulky 4 běžné pro městské odpadní vody. [22]



Nevýhodou této metody je poměrně krátká životnost peroxidu vodíku, uvádí se méně než 90 minut. Vzhledem k tomu, že sirovodík většinou vzniká v odpadní vodě, která má dobu zdržení v síti podstatně delší, je potřeba dávkovat peroxid vodíku na více místech podél trasy stokové sítě. Použití peroxidu vodíku je možné u gravitačních i tlakových kanalizačních sítí. [22]

Peroxid vodíku, který není spotřebován, je rozložen na vodu a kyslík. Tím přispěje k udržení aerobních podmínek v odpadní vodě. [22]

3.2.5 Vhánění vzduchu nebo kyslíku

K produkci sirovodíku dochází na stokové síti tehdy, pokud ve vodě není přítomen rozpuštěný kyslík. Proto metoda vhánění vzduchu vede k provzdušnění vody a vytvoří tak v odpadní vodě aerobní podmínky. [26]

Pokud se v odpadní vodě vyskytuje rozpuštěný kyslík v koncentraci alespoň $0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, je toto množství dostatečné k zabránění tvorby sulfidů. Sulfidy jsou usazeny v anaerobních vrstvách biofilmu, pomocí kyslíku jsou oxidovány a nedochází k jejich dalšímu šíření v kanalizační síti. Kyslík má v odpadní vodě běžně rozpustnost $8 - 11 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ odpadní vody, při vhánění vzduchu do odpadní vody je jeho spotřeba 20 až $40 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ za hodinu. [22,33]

Metoda vhánění vzduchu je vhodná pro krátké výtlačné potrubí s velkým průtokem odpadní vody. Nutné je provedení kanalizačního potrubí a rozvodu vzduchu současně. Nezbytnou součástí výtlačného potrubí jsou automatické odvzdušňovací ventily. [34]

Pokud je do odpadní vody vstřikován čistý kyslík, lze dosáhnout mnohem vyšších koncentrací kyslíku v odpadní vodě. To je způsobeno pětkrát větší koncentrací čistého kyslíku než ve vzduchu. Čistý kyslík je zvláště vhodný při regulaci sirovodíku v tlakové kanalizační síti, protože při vyšších tlacích je rozpustnost kyslíku větší. Vháněním čistého kyslíku do odpadní vody můžeme dosáhnout koncentrace kyslíku od 5 do $7 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Při dávkování čistého kyslíku do kanalizace, ve které jsou přítomny hořlavé plyny, roste riziko požáru a výbuchu. Musíme také myslet na nutnost skladování tlakových láhví s čistým kyslíkem. Při zvážení těchto požadavků a rizik se mohou výrazně zvýšit ekonomické náklady. [22,26]

3.2.6 Naředění odpadních vod

Alternativní metodou k regulaci zápachu ve stokové síti je naředění surové odpadní vody vodou dešťovou, podzemní nebo pitnou. Naředěním se podstatně sníží koncentrace sulfidů. Voda sloužící k naředění odpadní vody přinese dostatek kyslíku, a to vede k redukci H_2S . Ředěním se zkrátí doba zdržení odpadní vody v potrubí, a také množství usazenin v potrubí. [10]

3.2.7 Neutralizace, kompenzace, nebo maskování zápachu

Látky, způsobující zápach, které se vyskytují v odpadní vodě, jsou maskovány. Jejich specifický zápach je neutralizován. Tyto metody jsou nevhodné a nebezpečné, protože mohou vést ke vzniku podstatně nebezpečnějších sloučenin, než byly látky původní. [10]

3.2.8 Alternativní výhledové metody

Je mnoho metod a technologií, které se používají k regulaci sirovodíku v průmyslových nebo jiných odvětvích. Jejich využití k eliminaci sirovodíku v kanalizačních systémech by se v budoucnosti mohlo zvážit, a v případě, že bude vyhovovat technologicky i ekonomicky, by tyto metody mohly sloužit k eliminaci zápachu na stokové síti.

Pomalé uvolňování kyslíku ze sloučenin v pevné fázi

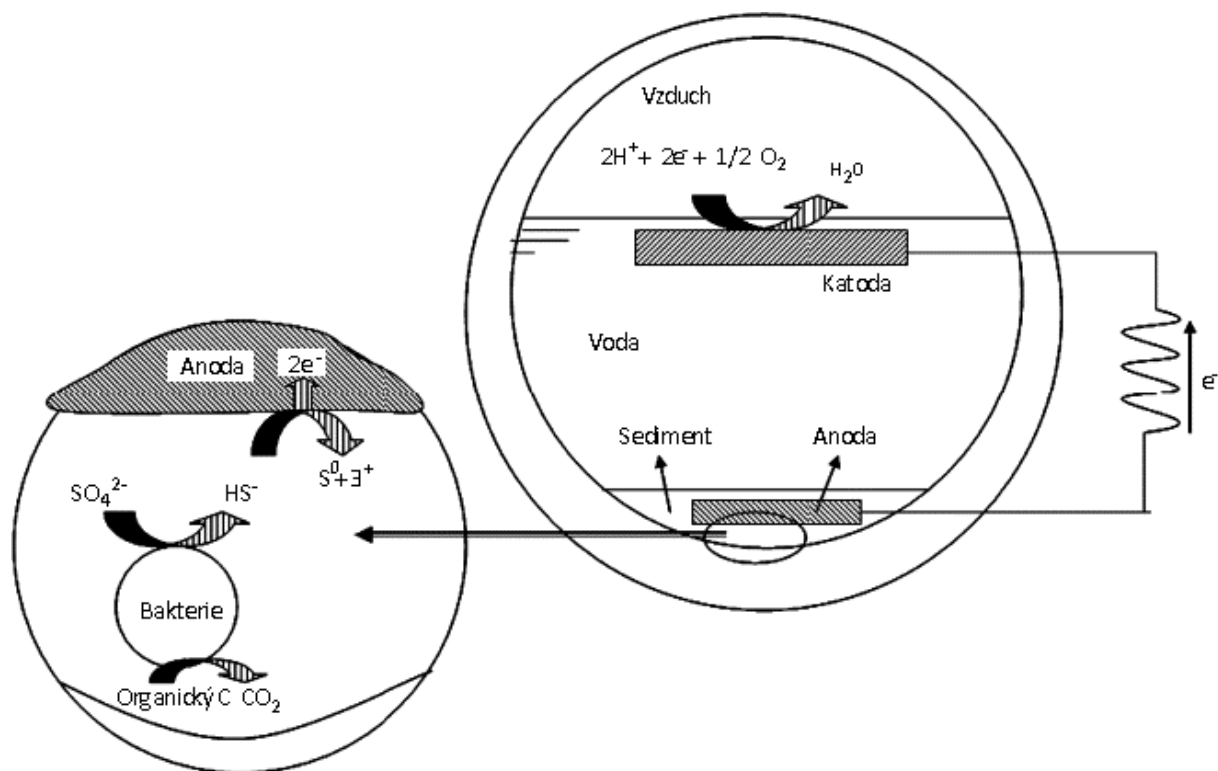
Metoda byla vyvinuta k pozastavení anaerobní biologické aktivity v jezerech a řekách. Do sedimentů se zavede peroxid hořečnatý (MgO_2) nebo peroxid vápenatý (CaO_2) – tyto peroxidy reagují s vodou a vzniká hydroxid hořečnatý ($Mg(OH)_2$) nebo hydroxid vápenatý ($Ca(OH)_2$). Při laboratorních zkouškách peroxidu hořečnatého bylo zjištěno, že dokáže pozastavit tvorbu sirovodíku na více než 40 dní v prostředí, které je bohaté na bakterie redukující sírany. [22]

V kanalizaci se u této metody musíme zamyslet nad problémem vhodného umístění sloučenin kyslíku v pevné fázi. Aby správně fungoval, muselo by být zabráněno vypláchnutí odpadní vodou. [22]

Mikrobiální palivové články

Mikrobiální palivový článek je zařízení, které je schopno přeměňovat chemickou energii na energii elektrickou. Podmínkou přeměny je dodávání paliva. V rámci vědeckých výzkumů bylo dokázáno, že jako palivo je možné použít sirovodík. Při dlouhodobém výzkumu bylo zjištěno, že při převádění rozpuštěného sirovodíku na síru a následné oxidaci síry v anodické komoře vedlo k vytvoření elektřiny o výkonu až $101 \text{ mW} \cdot \text{l}^{-1}$. [22]

Technologie má poměrně velký potenciál na využití v kanalizačních systémech. V případě, že by se podařilo technologii vyvinout tak, aby spotřebovávala sirovodík a produkovala elektrickou energii a síru, vyprodukovaná síra by se dala vysrážet a druhotně využít. Tato technologie by se mohla stát jednou z nejefektivnějších v oblasti odstraňování zápachu. [22]



Obrázek 11 Schéma mikrobiálního palivového článku [22]

4 ŘEŠENÍ ZÁPACHU NA STOKOVÉ SÍTI PROVOZOVATELI

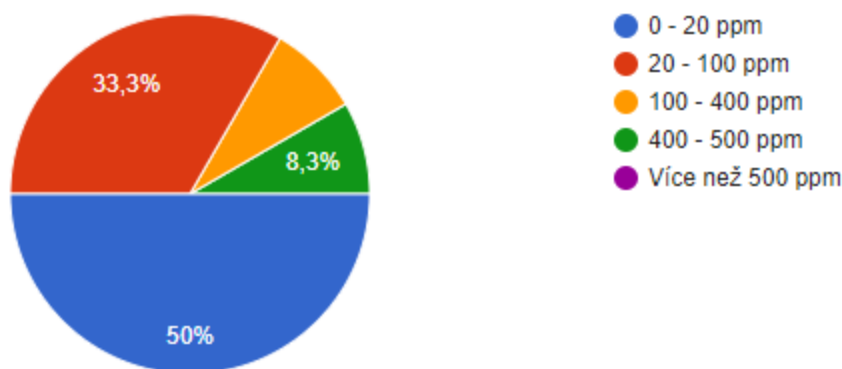
V rámci zpracování diplomové práce byl rozeslán dotazník, který se zabýval vznikem a následným řešením problému se zápachem. Rozeslán byl 50 největším provozovatelům kanalizací v České republice a jejich divizím. Provozovatelé byli vybráni na základě ročenky Vodovody a kanalizace ČR 2017, vydávané Ministerstvem zemědělství. [12] Data, která jsou zahrnuta do vyhodnocení v této diplomové práci, jsou od větší poloviny dotázaných.

4.1 VZNIK A MĚŘENÍ ZÁPACHU NA STOKOVÉ SÍTI PROVOZOVATELI

Se zápachem na stokové síti má problém 77 % dotázaných společností. Problém se zápachem na kanalizační síti řeší 68 % z nich, 24 % provozovatelů spolupracuje s vlastníkem kanalizační sítě, který se aktivně podílí na řešení problému se zápachem a 8 % provozovatelů vlastníka sítě o problému informovalo, ale řešení je příliš nákladné. V rámci individuálních odpovědí uvedli provozovatelé jako řešení lokální měření v místech, odkud přichází stížnosti od obyvatel nebo osazení kanalizačních poklopů bez odvětrání s integrovaným těsněním. 12 % provozovatelů řešení k eliminaci zápachu připravuje a 16 % problém na kanalizační síti neřeší, nebo problém se zápachem nemá.

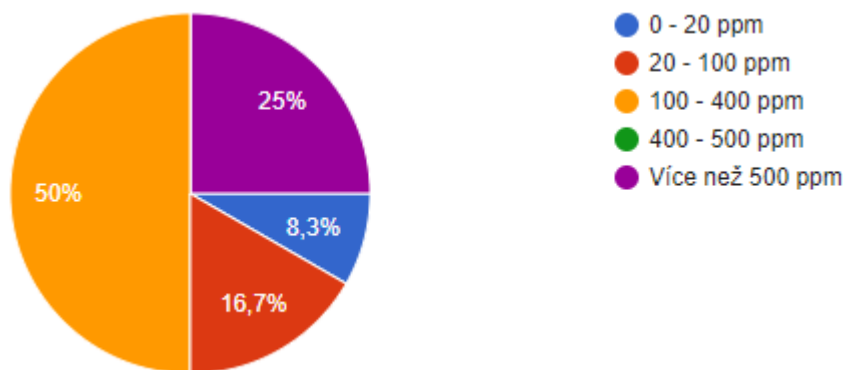
Zápach na kanalizační síti měří 60 % dotázaných společností. Online měření využívá pouze necelá pětina.

Průměrné a maximální hodnoty sirovodíku v surové odpadní vodě jsou znázorněny na následujících koláčových grafech. Vzhledem k hodnotám koncentrace sirovodíku uvedených v tabulce 3, kde bylo uvedeno že už hodnota 20 ppm způsobuje nechutenství, bolesti hlavy a očí, je produkce H_2S opravdu vysoká.



Obrázek 12 Průměrná hodnota H_2S v surové odpadní vodě

Horní hranice, což je více než 500 ppm, dosahuje při maximálních výkyvech odpadní voda u čtvrtiny provozovatelů, což můžeme vidět na Obrázku 13.



Obrázek 13 Maximální hodnota H₂S v surové odpadní vodě

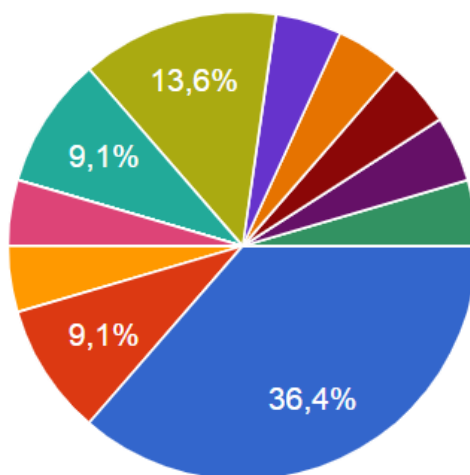
Dále byli provozovatelé tázáni, zda vědí, co je primární příčinou vzniku zápachu. Na tuto otázku měli odpovídající provozovatelé možnost výběru více odpovědí současně. Z těchto odpovědí vyšlo najevo, že nejvíc problémů se zápachem způsobuje dlouhá doba zdržení odpadní vody v kanalizaci. Tento problém uvedlo více než tři čtvrtiny odpovídajících provozovatelů. Větší polovina dále uvedla jako další příčinu vzniku sirovodíku dlouhé výtlačné řady potrubí. Další příčinou vzniku jsou lokální čerpací stanice na síti a zaústění průmyslových odpadních vod. Každá z těchto příčin trápí necelou pětinu tázaných provozovatelů. Sedmina odpovídajících uvedla jako problém čerpací stanici na výtlačku potrubí. V individuálních odpovědích uvedli provozovatelé jako příčinu vzniku zápachu minimální sklon potrubí, ve kterém v bezdeštných letních měsících dochází k usazování tuhých látek, popřípadě kalu, a nekázeň obyvatelstva.

4.2 ZPŮSOBY ŘEŠENÍ ZÁPACHU NA STOKOVÉ SÍTI PROVOZOVATELI

Způsobů řešení zápachu na stokové síti je celá řada. Na Obrázku 14 je možné vidět celou škálu, kterou provozovatelé využívají. Nejčastější odpovědí provozovatelů je jednoznačně dávkování chemikálie v čerpací jímce. Tuto možnost označilo 36,4 % odpovídajících. 9,1 % provozovatelů řeší problém se zápachem provzdušňováním vody stlačeným vzduchem nebo kyslíkem ve výtlačku, anebo možností neutralizace, kompenzace a maskování zápachu. Pro další způsoby se rozhodlo 4,5 % odpovídajících, a jsou to následující možnosti:

- naředění odpadních vod,
- biofiltr s nuceným odtahem vzduchu,
- pomocí gelových plátů,
- čištěním a odstraněním usazeného kalu v potrubích s malých sklonem.

13,6 % provozovatelů kombinuje různé možnosti k odstranění zápachu na stokové síti – nejčastěji se jedná o provzdušňování vody stlačeným vzduchem nebo kyslíkem spolu s dávkováním chemikálie v čerpací jímce. Dále je v kombinačních možnostech uvedeno použití biofiltru s pevnou náplní, biofiltru bez nuceného odtahu, pomocí katalyzátoru, UV záření, ozonizace a naředěním vzdušiny čerstvým vzduchem.



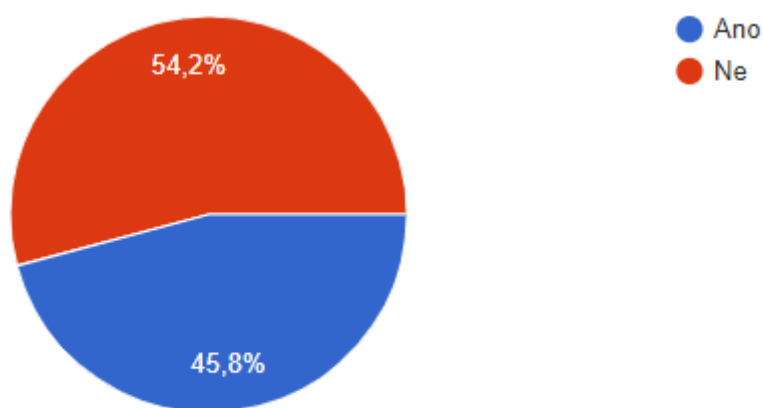
Obrázek 14 Způsoby řešení zápachu provozovateli

Mezi nejčastěji používanými chemikáliemi u provozovatelů je dusičnan vápenatý (NUTRIOX), využívá ho 37,5 % provozovatelů. Dalšími častými chemikáliemi, které se dávkuje v čerpací jímce, jsou síran železnatý (zelená skalice) a hydroxid sodný. Každou z těchto chemikálií používá 25 % provozních společností. Mezi méně používané chemikálie patří chlosíran železitý (FERRIFLOC) a síran železitý (PIX-113).

Ředění odpadních vod využívá pouze jeden z odpovídajících provozovatelů. Surovou odpadní vodu ředí vodou povrchovou a dešťovou.

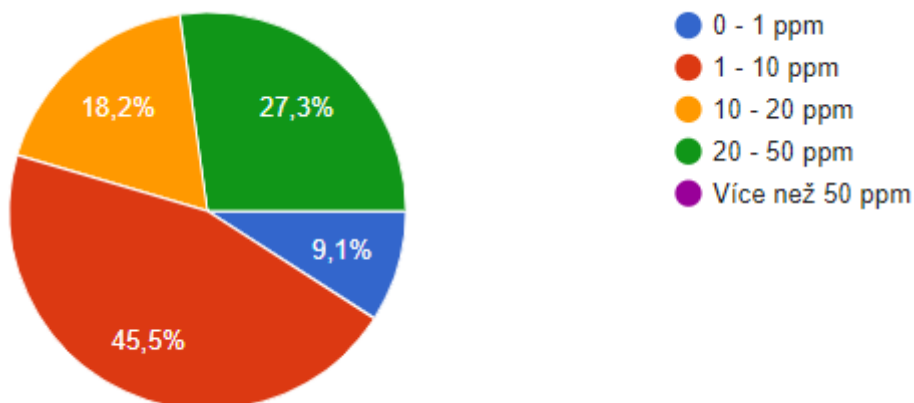
Dalším faktorem při eliminaci sirovodíku na stokové síti je využívání kanalizačních poklopů na kanalizační síti. Z dotazníku je patrné, že poklopy s větráním používá 91,7 % provozovatelů.

Po provedení těchto opatření na stokové síti měří výsledné hodnoty sirovodíku zhruba polovina z dotazovaných provozovatelů, což je patrné z obrázku 15.

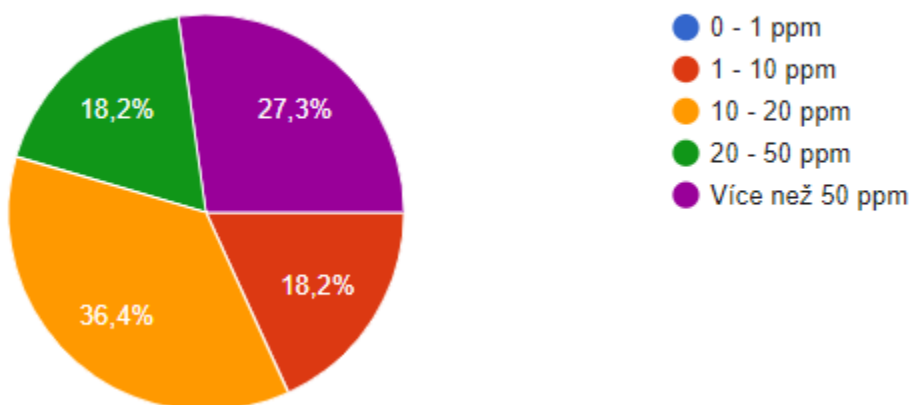


Obrázek 15 Měření zápachu po opatřeních

Výsledné hodnoty po provedení opatření vedoucích k eliminaci zápachu na stokové síti jsou patrné v následujících obrázcích.



Obrázek 16 Průměrné hodnoty po provedení opatření



Obrázek 17 Maximální hodnoty po provedení opatření

Z grafů vyplývá, že po provedení opatření je výsledná hodnota zápachu jak u průměrné, tak i maximální hodnoty vyšší než před provedením opatření. Je to způsobeno hlavně tím, že měření po opatřeních provádí jenom menší polovina provozovatelů kanalizačních sítí.

Celkově však lze hodnotit pozitivně i to, že většina provozovatelů problém se vznikem zápachu, který je tvořen hlavně sirovodíkem, řeší. Popřípadě se snaží pomocí kombinací různých metod a látek jeho vznik co možná nejvíce eliminovat.

5 APLIKACE NA KONKRÉTNÍM ÚZEMÍ

V rámci praktické části diplomové práce byla ve spolupráci s VAS, a.s. divize Brno-venkov vytipována lokalita, kde se objevují problémy spojené se vznikem zápachu na stokové síti. Území se konkrétně nachází mezi obcemi Neslovice, Rosice a Tetčice. V obci Neslovice byla roku 2015 vybudována nová oddílná splašková kanalizace. Tato kanalizace je svedena do čerpací stanice v Neslovicích. Z čerpací stanice je veden výtlačk přes obec Kratochvilka do Rosic, odtud stoka pokračuje gravitačně a je dále vedena na ČOV Tetčice.

Čerpací stanice je umístěna na okraji obce Neslovice. Kromě čerpací stanice se zde nachází i automatické dávkovací čerpadlo. Měření produkce sirovodíku H_2S probíhalo v místě zaústění výtlačku, a to ve Zbýšovské ulici v obci Rosice. Přibližnou polohu čerpací stanice a šachty, kde probíhalo měření, lze vidět na obrázku 18.



Obrázek 18 Mapa zájmového území [32]

Výtlačné potrubí je vedeno od čerpací stanice v Neslovicích přes obec Kratochvilka po úrodních svazích. V Rosicích je výtlačné potrubí zaústěno do gravitační stoky a trasa pokračuje v asfaltové komunikaci. Materiál potrubí výtlačného úseku je z polyetylénu

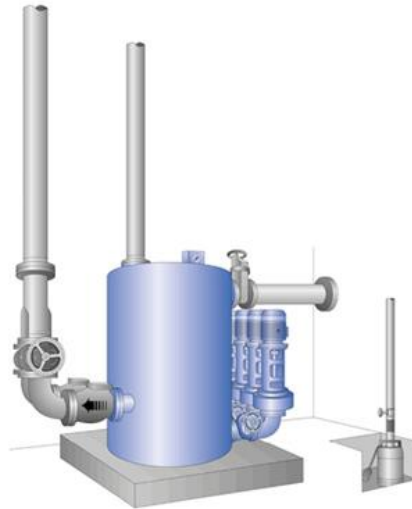
PE 100 SDR 11 110x10 mm. Celková délka výtlačné stoky mezi obcemi Neslovice a Rosice je 3412,93 m. Na výtlačku je ve vzdálenosti maximálně 200 m od sebe rozmístěno 19 čistících šachet. V nejvyšších místech výtlačku jsou umístěny v čistících šachtách vzdušníky. [35]



Obrázek 19 Situace výtlačného úseku [35]

Veškeré odpadní vody z obce Neslovice jsou přivedeny na čerpací stanici ČS OV Neslovice, která je vidět na obrázku 21. Výtlaček je zaústěn do stávající kanalizace v obci Rosice. K čerpací stanici vede komunikace a přípojka elektrické energie. Čerpací stanice je vybavena technologií STRATE AWALIFT 1/2x2 se čtyřmi čerpadly. Osazená jsou odstředivá čerpadla ST 65/80. Při naplnění sběrné nádrže po spínací hladinu vždy řídicí systém sepne čerpadlo.

Čerpadla jsou spínána vždy dvě v sérii a čerpají s automatickým střídavým spínáním. Není možný souběžný provoz. [35]



Obrázek 20 Čerpací stanice OV Awalift 1/2x2 STRATE [34]

Čerpací stanice Awalift 1/2x2 STRATE se skládá ze sběrné nádrže se systémem separace pevných látek pomocí sběrače pevných látek, čtyř rotačních čerpadel, zpětných klapek a šoupátek, odvětrávacího potrubí a rozvaděče. Schéma čerpadla můžeme vidět na obrázku 20. [34]



Obrázek 21 Čerpací stanice OV v Neslovicích

Součástí čerpací stanice odpadních vod v Neslovicích je také automatické dávkovací čerpadlo, které je vidět na obrázku 22. Funguje od listopadu 2018 a je nastaveno na dávku $1 \text{ l} \cdot \text{hod}^{-1}$ při chodu čerpadla. Od listopadu 2018 byl k eliminaci vzniku sirovodíku dávkován síran železitý.



Obrázek 22 Dávkovací čerpadlo v Neslovicích

V říjnu 2019 byl síran železitý odčerpán, zásobník na chemikálie vyčištěn a naplněn dusičnanem vápenatým. Dávkování zůstalo stejné jako u síranu železitého.



Obrázek 23 Odčerpávání síranu železitého na ČS OV Neslovice



Obrázek 24 Odčerpání síranu železitého ze zásobní nádrže

Kanalizační šachta, do které byl umístěn detektor sulfanu, se nachází v Rosicích. Šachta je vybavena nevětraným poklopem, který je vidět na obrázku 25.



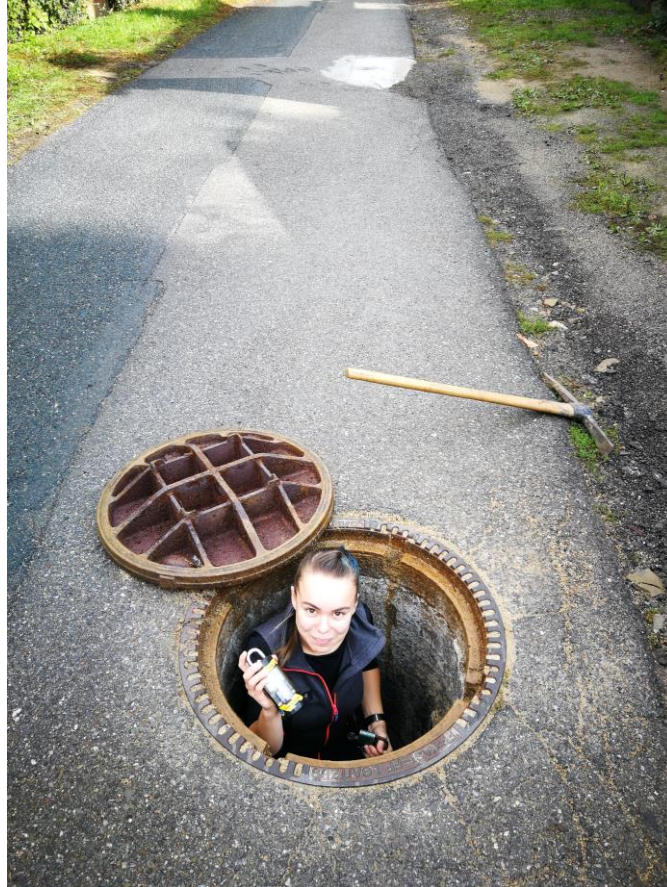
Obrázek 25 Šachta v Rosicích

Měření probíhalo s přestávkami od listopadu 2018. K měření se využívají detektory od firmy App-Tek OdaLog Logger, které jsou uzpůsobeny pro dlouhodobé měření sulfanu v kanalizačních šachtách. Použitý detektor je zobrazen na následujícím obrázku 26. [37]

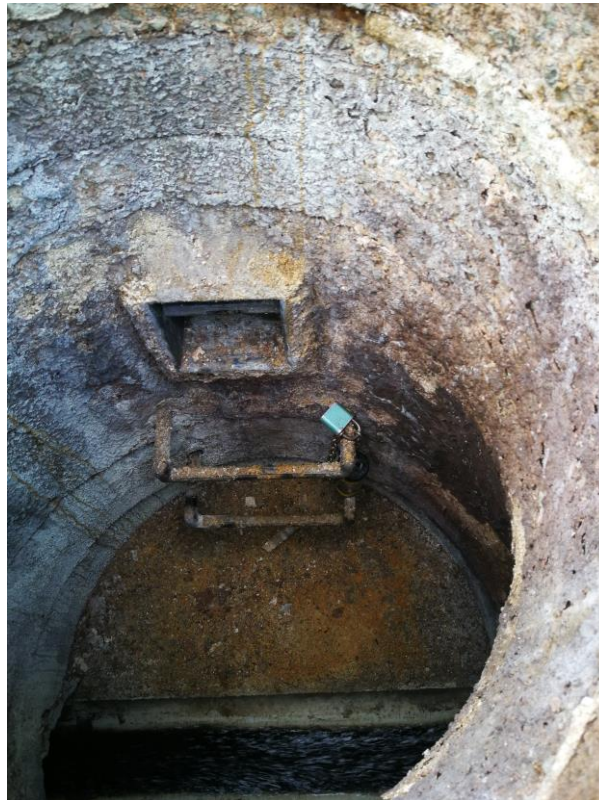


Obrázek 26 Detektor sulfanu od firmy App-Tek

Detektor byl připevněn pomocí zámku ke stupadlu v šachtě, jak je vidět na obrázku 28. Zaznamenával produkci sulfanu, teplotu a tlak. Frekvenci sepnutí měření je možné přednastavit. V Rosicích byla data zaznamenávána každou minutu při dávkování síranu železitého a každé tři minuty při dávkování dusičnanu vápenatého. Detektor v šachtě se vyjímal po 2 měsících zaznamenávání produkce sulfanu. [37]



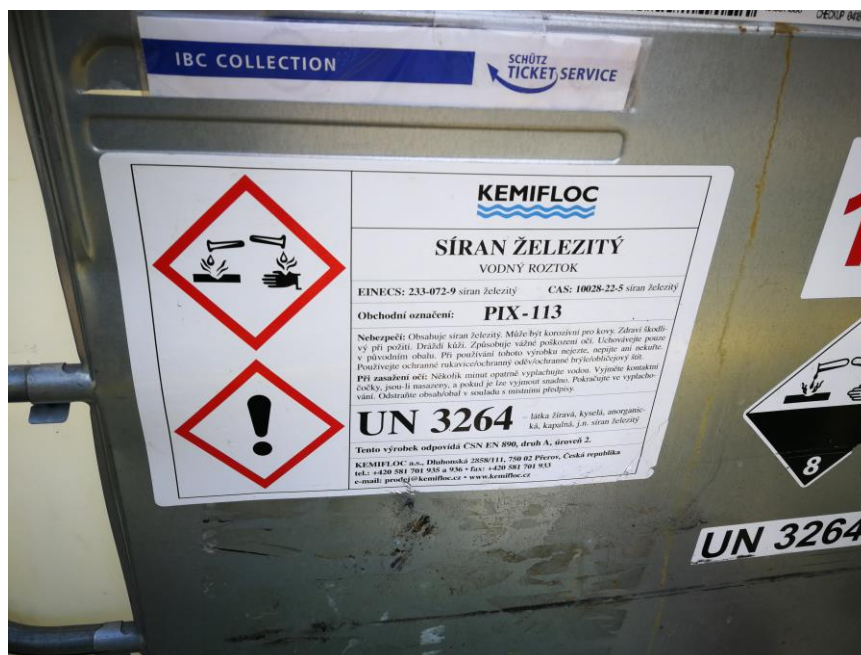
Obrázek 27 Připevnění detektoru do šachty



Obrázek 28 Pohled do šachty po připevnění detektoru

5.1 DÁVKOVÁNÍ SÍRANU ŽELEZITÉHO

Síran železitý je dodáván jako vodný roztok – $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Mezi provozovateli je používáno obchodní značení PIX-113, pod kterým ho dodává firma KEMIFLOC. Jeho bezpečností štítek můžeme vidět na obrázku 29. [36]



Obrázek 29 Kontejner se síranem železitým

V této lokalitě proběhly tři měrné kampaně na produkci sirovodíku. Eliminace zápachu zde probíhá dávkováním síranu železitého při chodu čerpadla. Dávkovací čerpadlo dákovalo při chodu čerpadla $1 \text{ l} \cdot \text{hod}^{-1}$.

První měřené období proběhlo od 7. 11. 2018 do 18. 12. 2018. V tomto období byly poměrně nízké teploty, které nezpůsobují vyšší produkci sirovodíku. 9. 11. 2018 došlo k poruše dávkovacího čerpadla. Toto čerpadlo bylo tedy odstaveno a přešlo se na ruční dávkování. Průběh produkce sulfanu a teploty v listopadu 2018 je vidět na grafu 1. Na začátku měsíce prosince 2018 bylo nutné dávkovací komplet vyměnit. Chemikálie se v tomto období do odpadní vody nedákovala. 12. 12. 2018 začalo dávkovací čerpadlo automaticky pracovat. Vzhledem k těmto výměnám a změnám docházelo na měřicí sondě k výpadkům. Tyto výpadky mohou být ovlivněny výměnou čerpadla, nebo výpadkem baterie. Měsíc prosinec 2018 je zobrazen na grafu 3. Nejvyšší naměřená hodnota v měsíci listopadu byla 271,60 ppm.

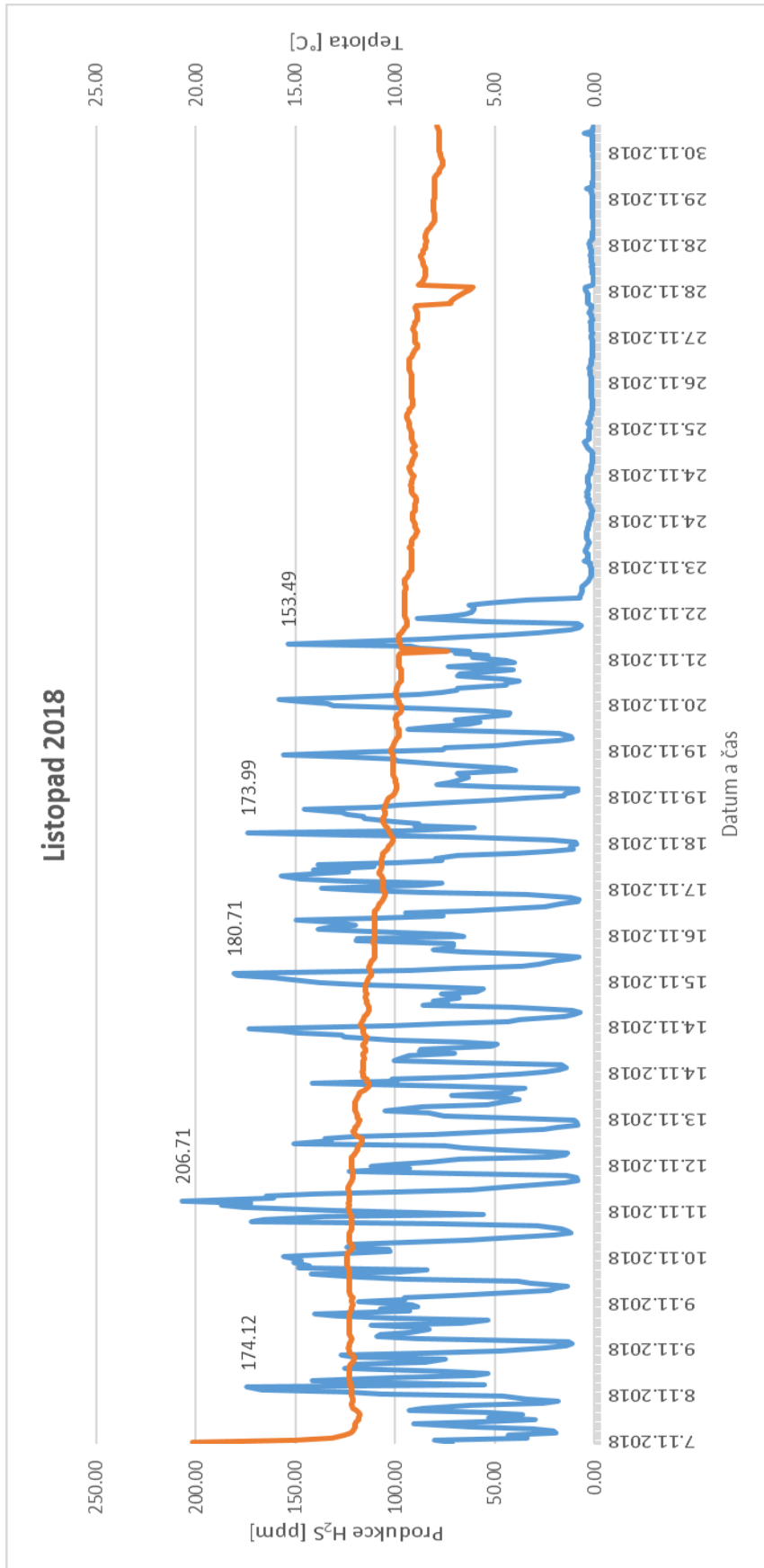
Další měření začalo probíhat 7. 1. 2019 a ukončeno bylo 20. 2. 2019. Měřicí sonda zaznamenává koncentraci zápachu každou minutu. Teplota pod poklopem byla v průměru v rozmezí od $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ do $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Vzhledem k nízkým teplotám nebývá ani produkce H_2S nijak vysoká., nicméně se pohybovala okolo 4 ppm. Měsíce leden a únor 2019 jsou viditelné na grafech 5 a 7. Maximální naměřená hodnota pro měsíc leden je 58,05 ppm a pro měsíc únor 29,42 ppm.

Třetí měřicí období začalo 30. 7. 2019 a probíhalo do 8. 10. 2019. V tomto období už můžeme vidět jak zvyšující se teploty, tak i zvyšující se koncentrace sirovodíku. V měsíci srpnu (graf 9) lze vidět maximální produkci H_2S na 184,77 ppm, teplota se pohybuje okolo $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Měsíc září je znázorněn na grafu 11, průměrná teplota je okolo $18 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Maximální naměřená hodnota při produkci sirovodíku je 244,70 ppm. V prvním říjnovém týdnu byla teplota okolo $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a produkce sirovodíku stoupla až na 322,54 ppm. Vidět to můžeme na grafu 13. Tato koncentrace H_2S je velmi nebezpečná, hrozí silné podráždění očí a paralýza čichu.

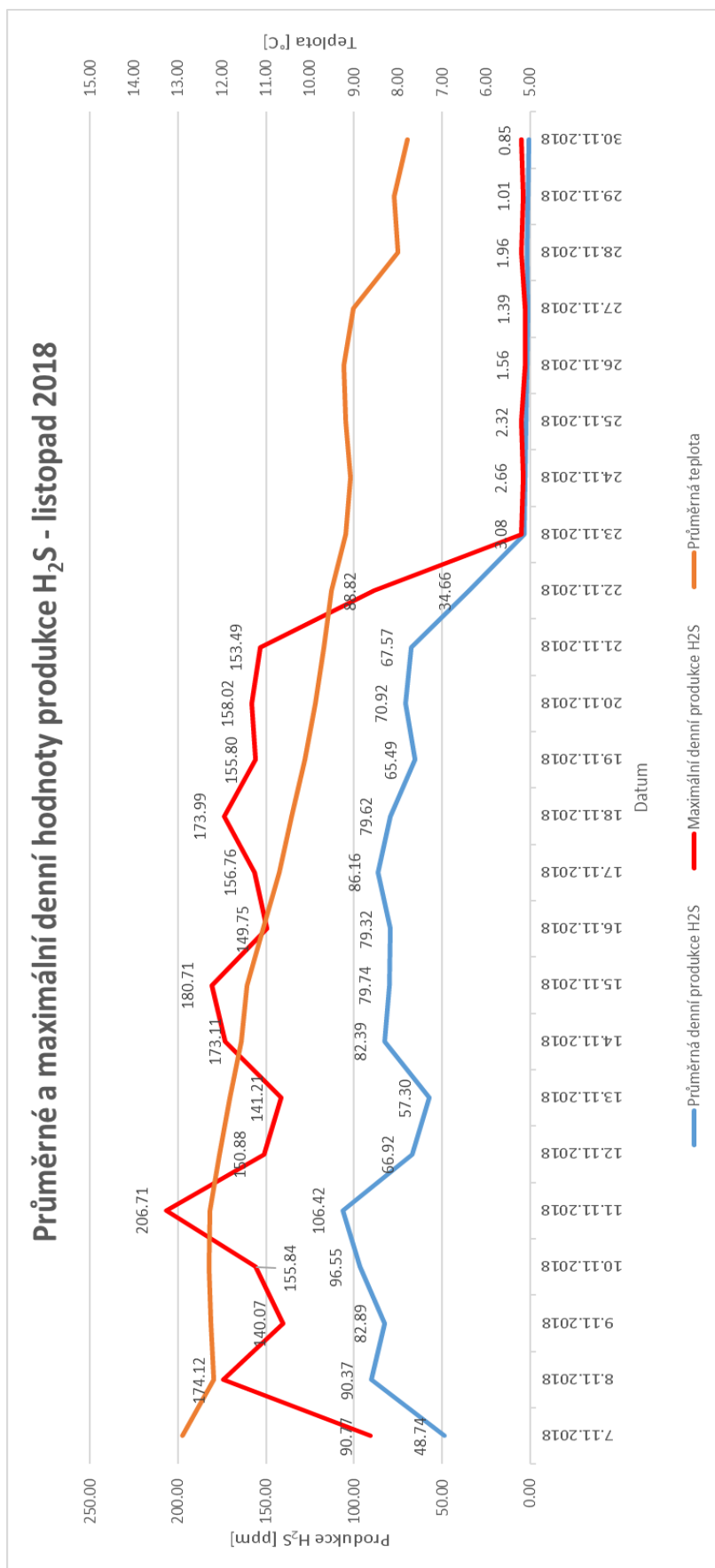
Vzhledem k tomu, že sonda měřila poměrně dlouhé časové období s minutovým intervalem, byly pro potřeby celkového grafu zpracovány hodinové průměry, a z těch následně grafy pro celé měřené měsíce.

Ke každému měsíčnímu průběhu je zpracován i graf průměrné a maximální denní produkce sulfanu.

Po celou dobu měření s výjimkou listopadu a prosince 2018, kdy došlo k poruše a výměně dávkovacího čerpadla, bylo dávkování látky k eliminaci zápachu stejné. Dávkování probíhalo od ledna 2019 vždy při chodu čerpadla dávka $1 \text{ l} \cdot \text{hod}^{-1}$.

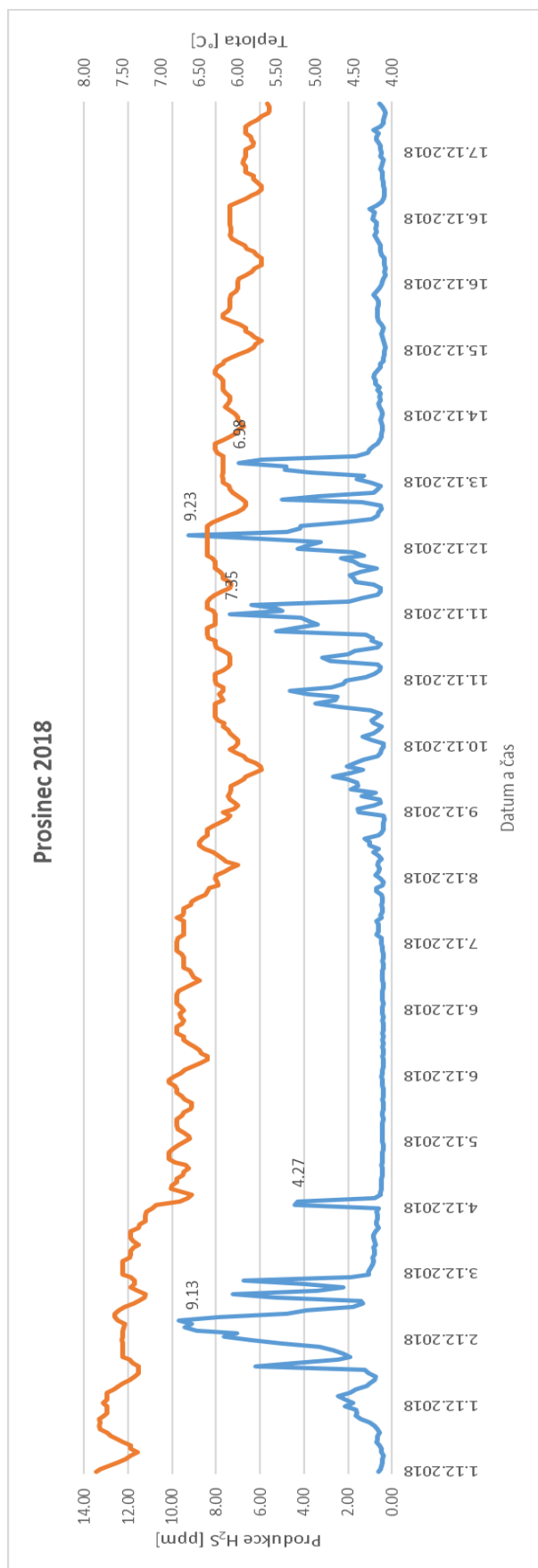


Graf 1 Produkce H₂S v listopadu 2018

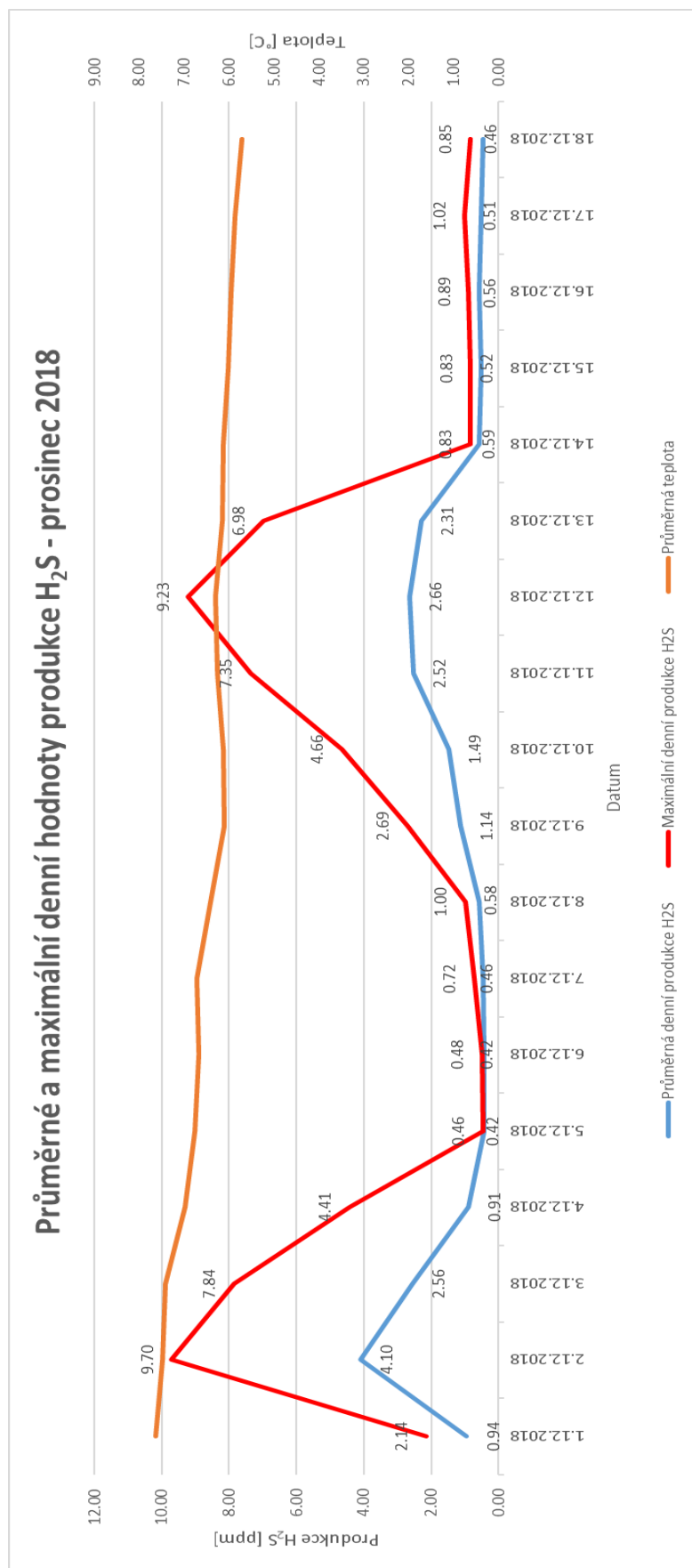


- Průměrná denní produkce H₂S: od 34,66 ppm do 106,42 ppm
- Maximální denní produkce H₂S: 206,71 ppm (11. 11. 2018)
- Průměrná teplota v měsíci listopadu: 10,41 °C
- Od 23. 11. 2018 došlo zřejmě k výpadku baterie na detektoru sulfanu.

Graf 2 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H₂S v listopadu 2018

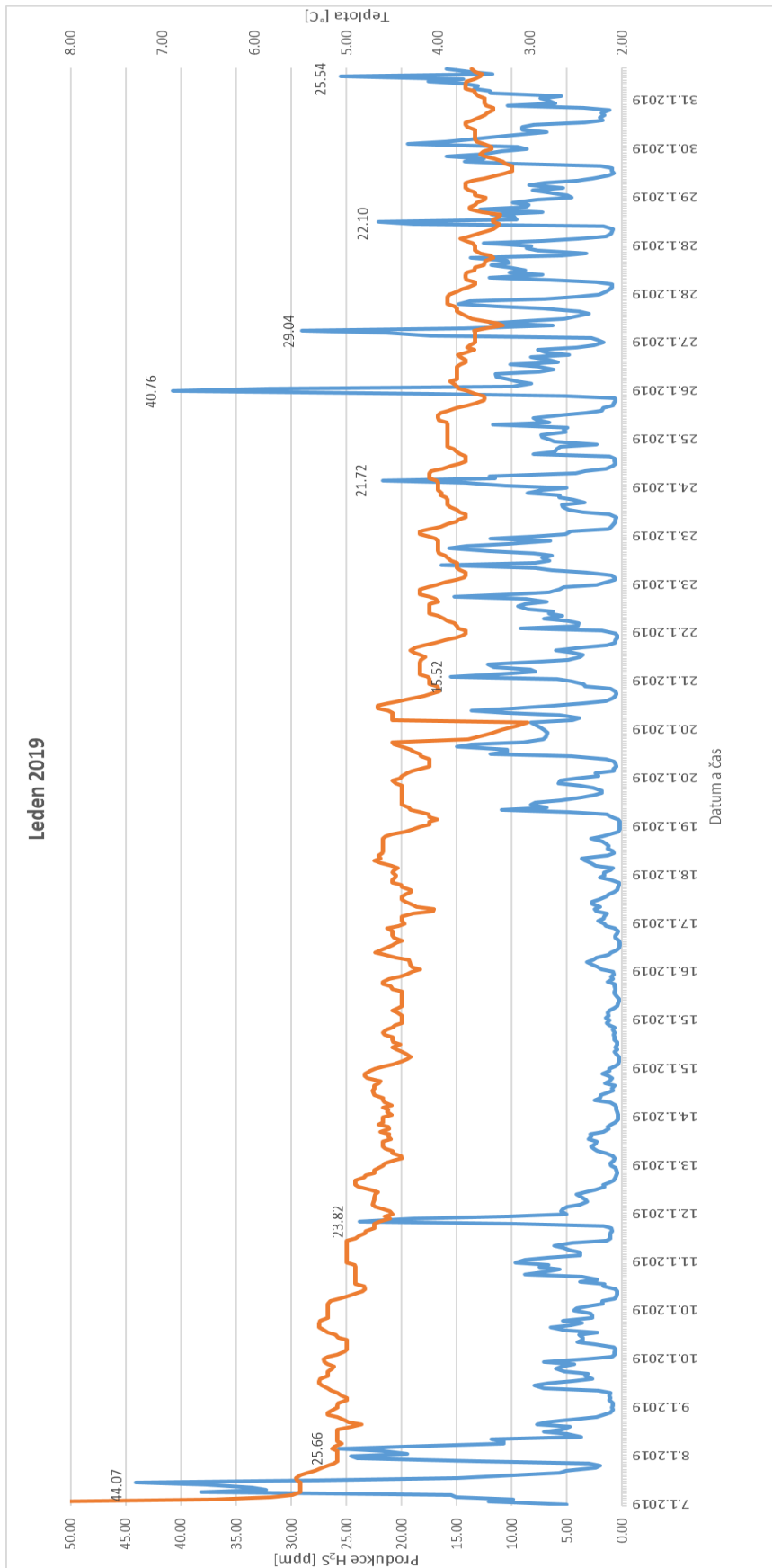


Graf 3 Produkce H₂S v prosinci 2018

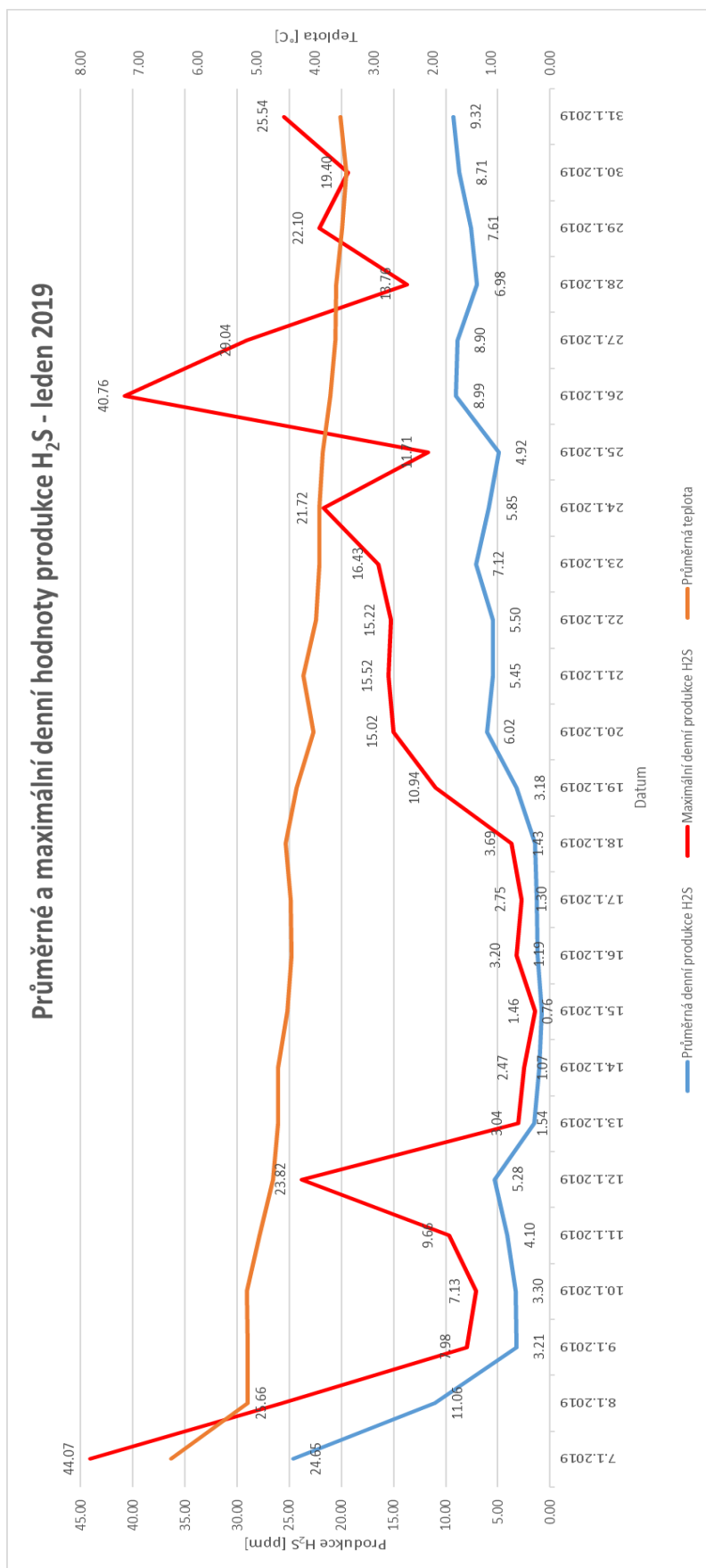


- Průměrná denní produkce H₂S: od 0,42 ppm do 4,10 ppm
- Maximální denní produkce H₂S: 9,70 ppm (2. 12. 2018)
- Průměrná teplota v měsíci prosinci: 6,49 °C

Graf 4 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H₂S v prosinci 2018

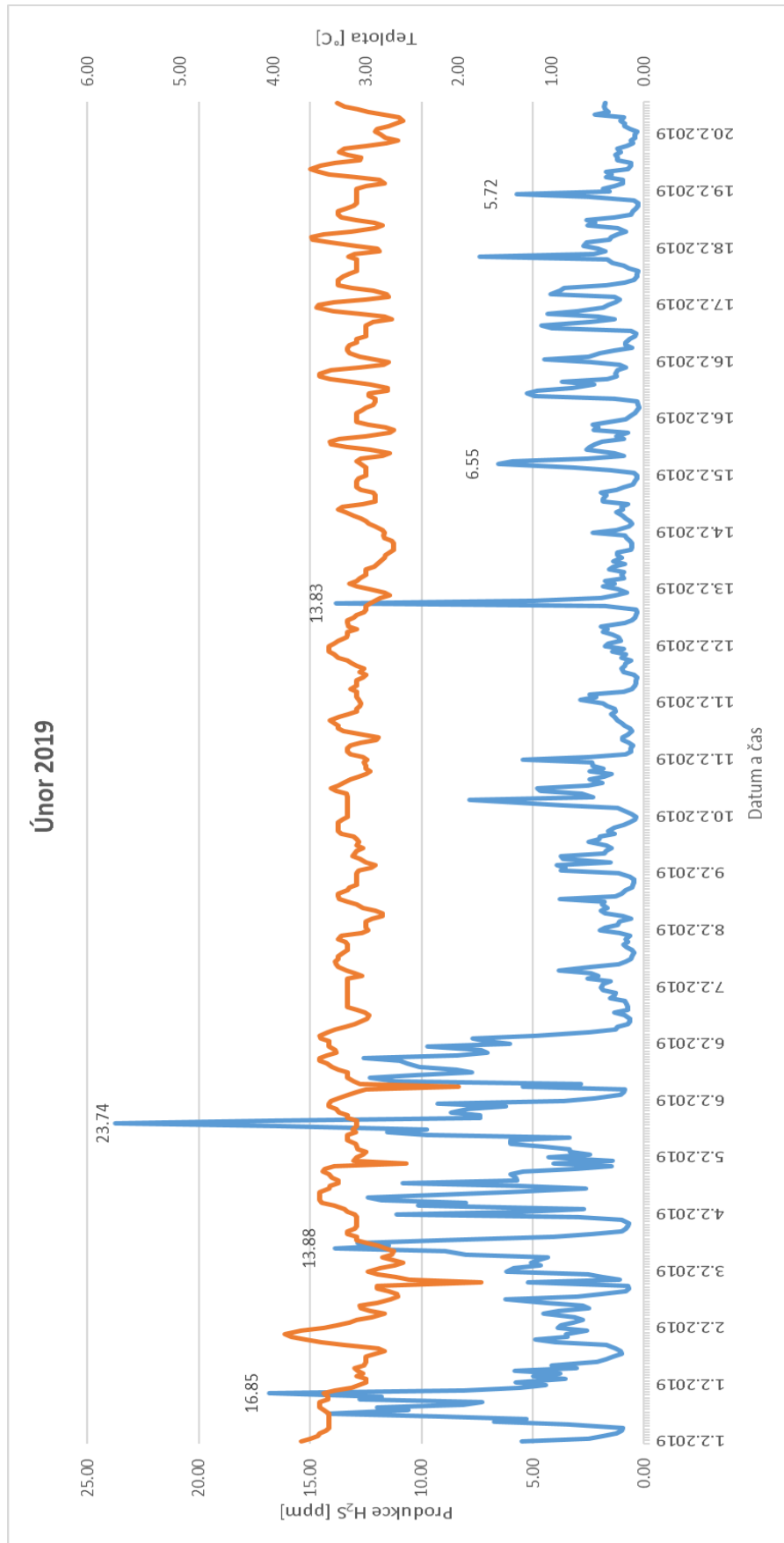


Graf 5 Produkce H₂S v lednu 2019

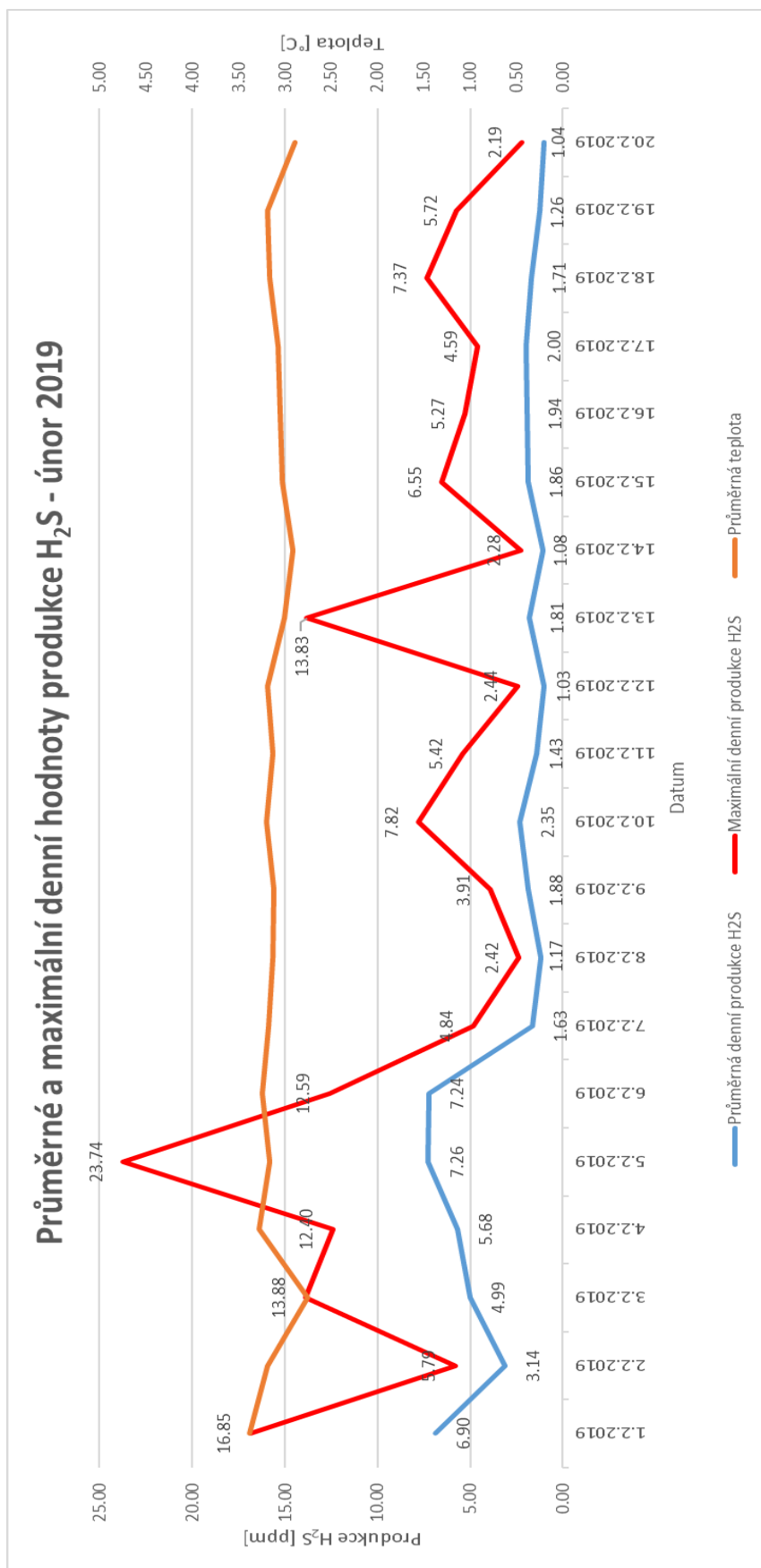


- Průměrná denní produkce H₂S: od 0,76 ppm do 24,65 ppm
- Maximální denní produkce H₂S: 44,07 ppm (7. 1. 2019)
- Průměrná teplota v měsíci lednu: 4,34 °C

Graf 6 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H₂S v lednu 2019

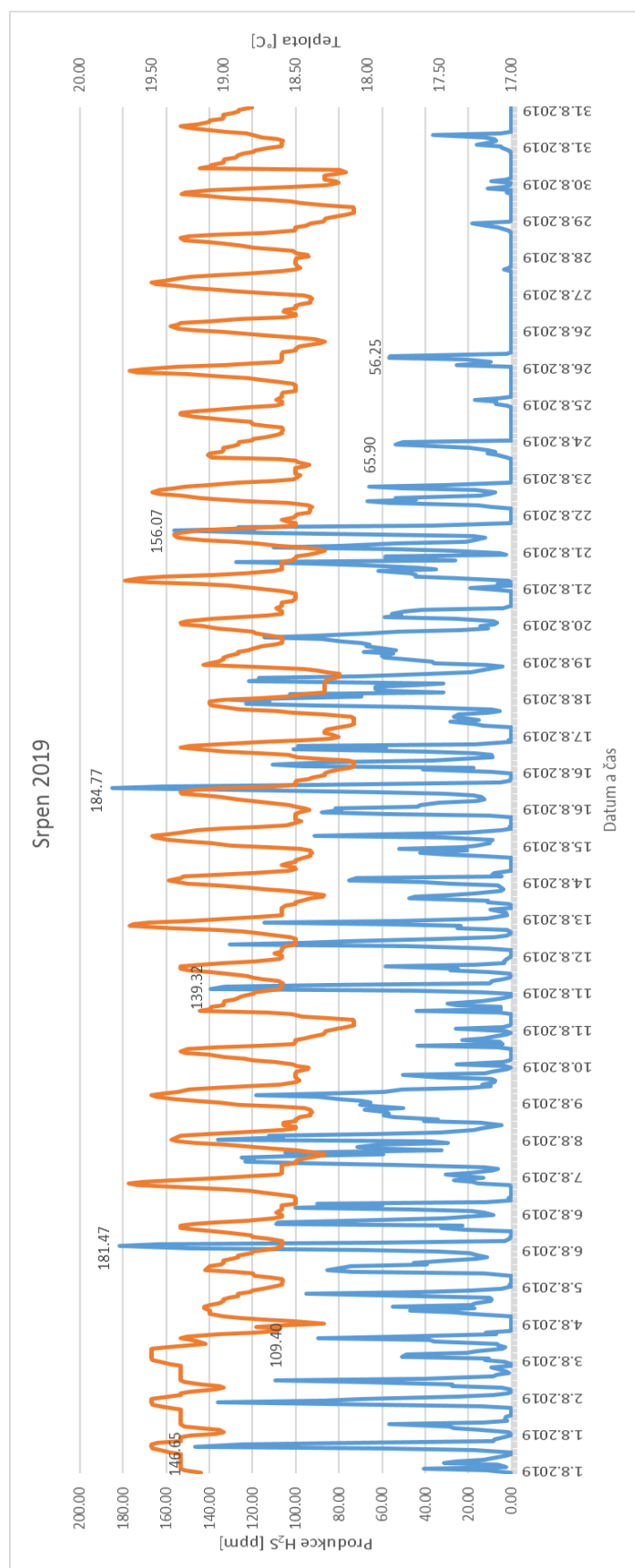


Graf 7 Produkce H₂S v únoru 2019

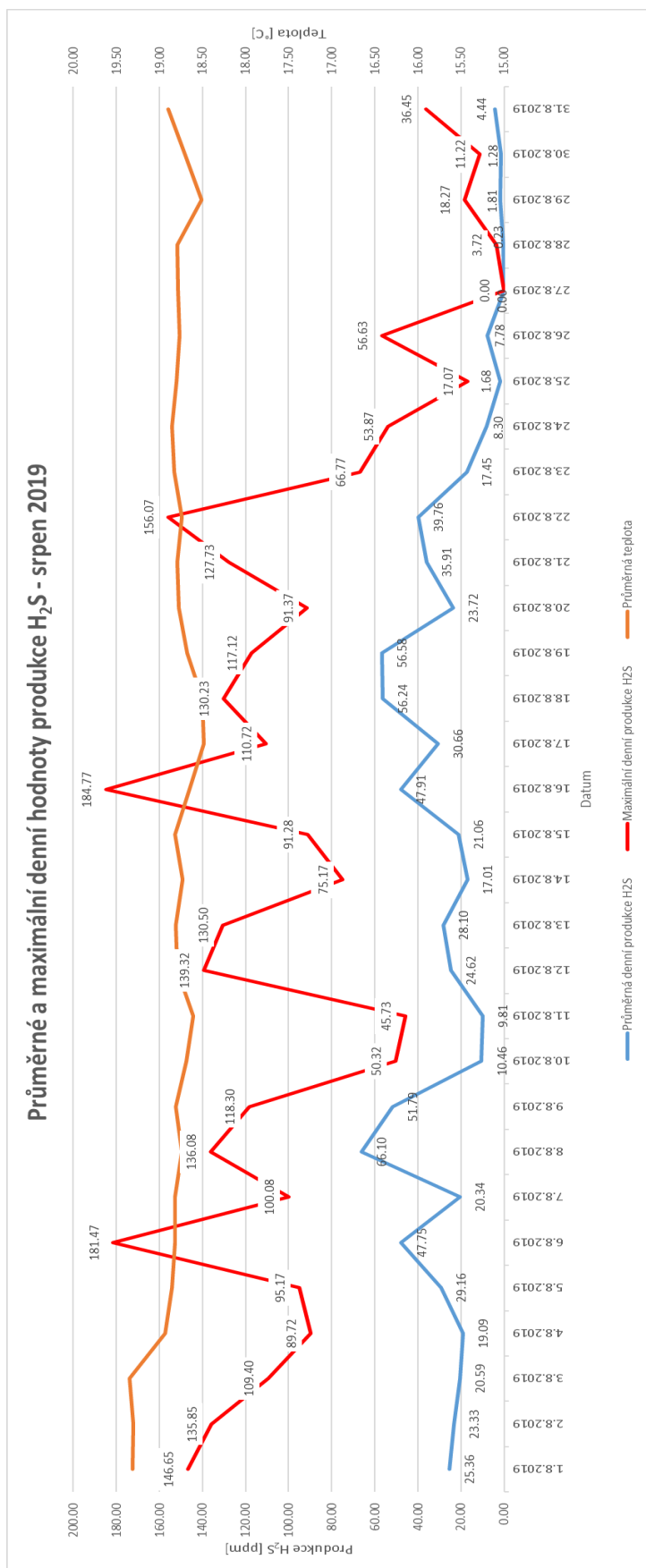


- Průměrná denní produkce H₂S: od 1,03 ppm do 7,26 ppm
- Maximální denní produkce H₂S: 23,74 ppm (5. 2. 2019)
- Průměrná teplota v měsíci únoru: 3,11 °C

Graf 8 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H₂S v únoru 2019

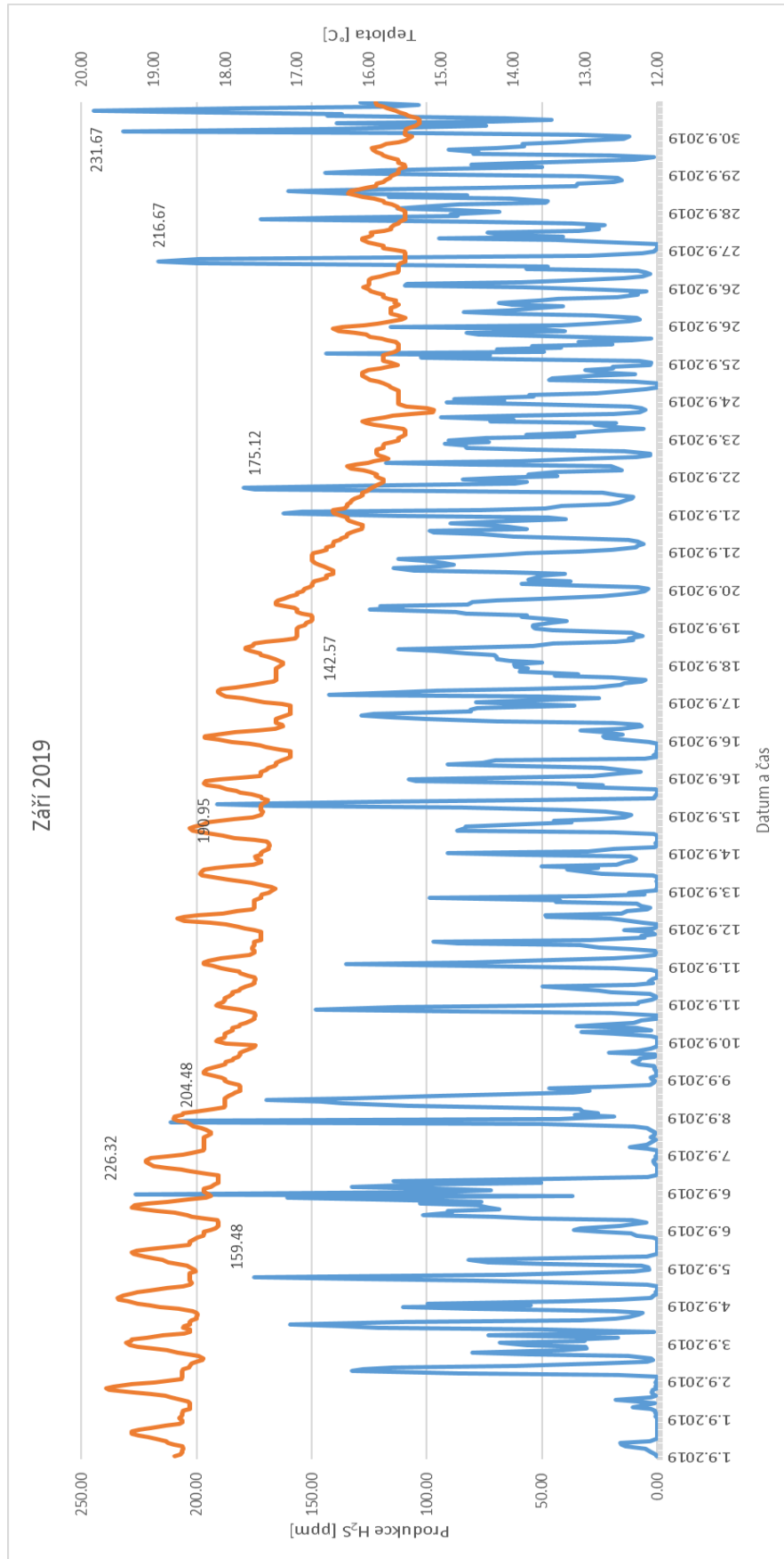


Graf 9 Produkce H₂S v srpnu 2019

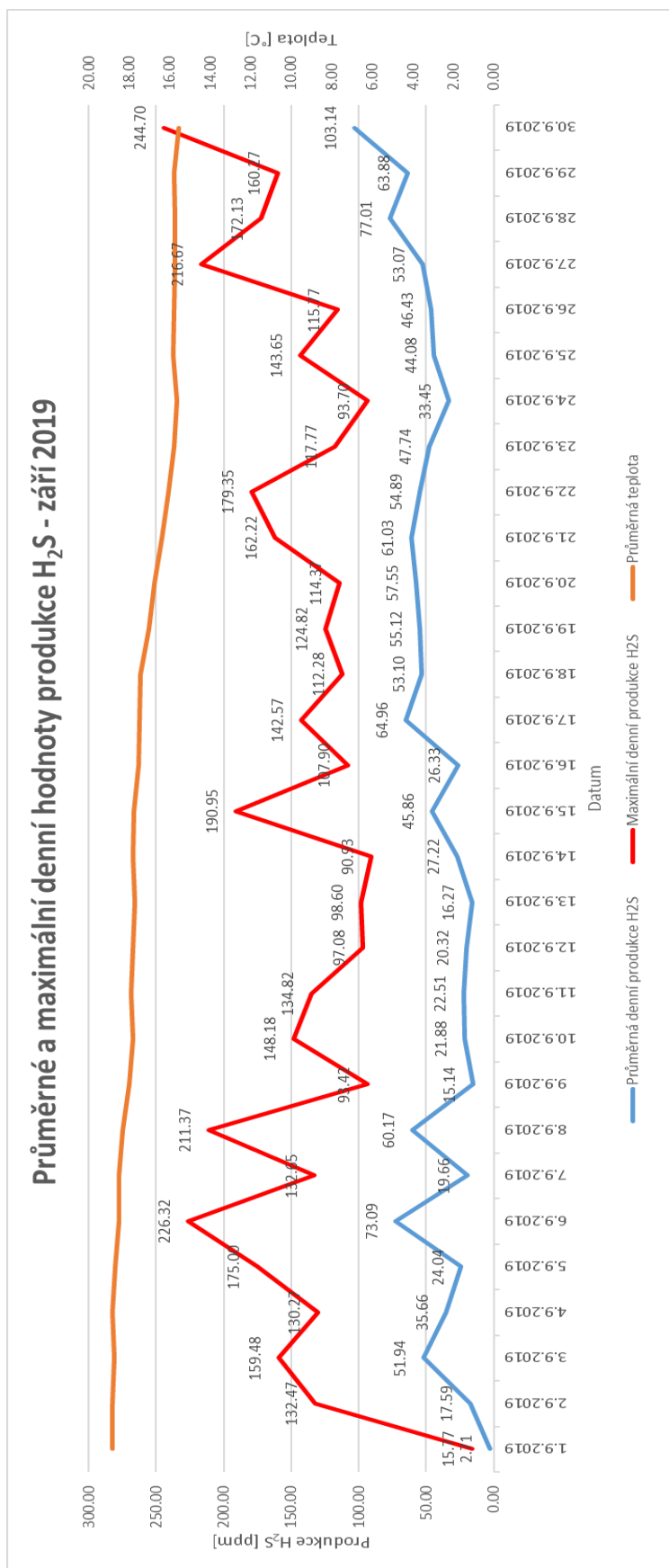


- Průměrná denní produkce H₂S: od 0,00 ppm do 66,10 ppm
- Maximální denní produkce H₂S: 184,77 ppm (16. 8. 2019)
- Průměrná teplota v měsíci srpnu: 18,8 °C

Graf 10 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H₂S v srpnu 2019

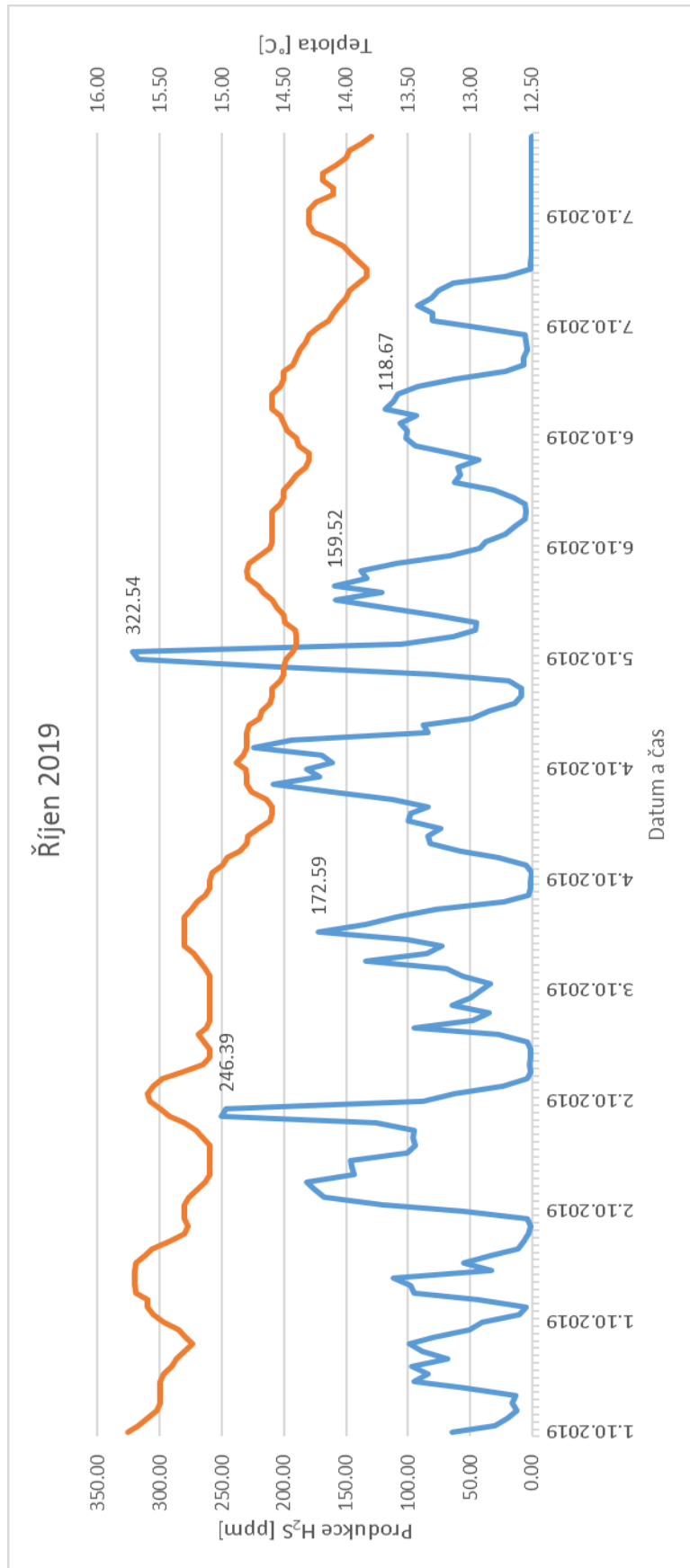


Graf 11 Produkce H₂S v září 2019

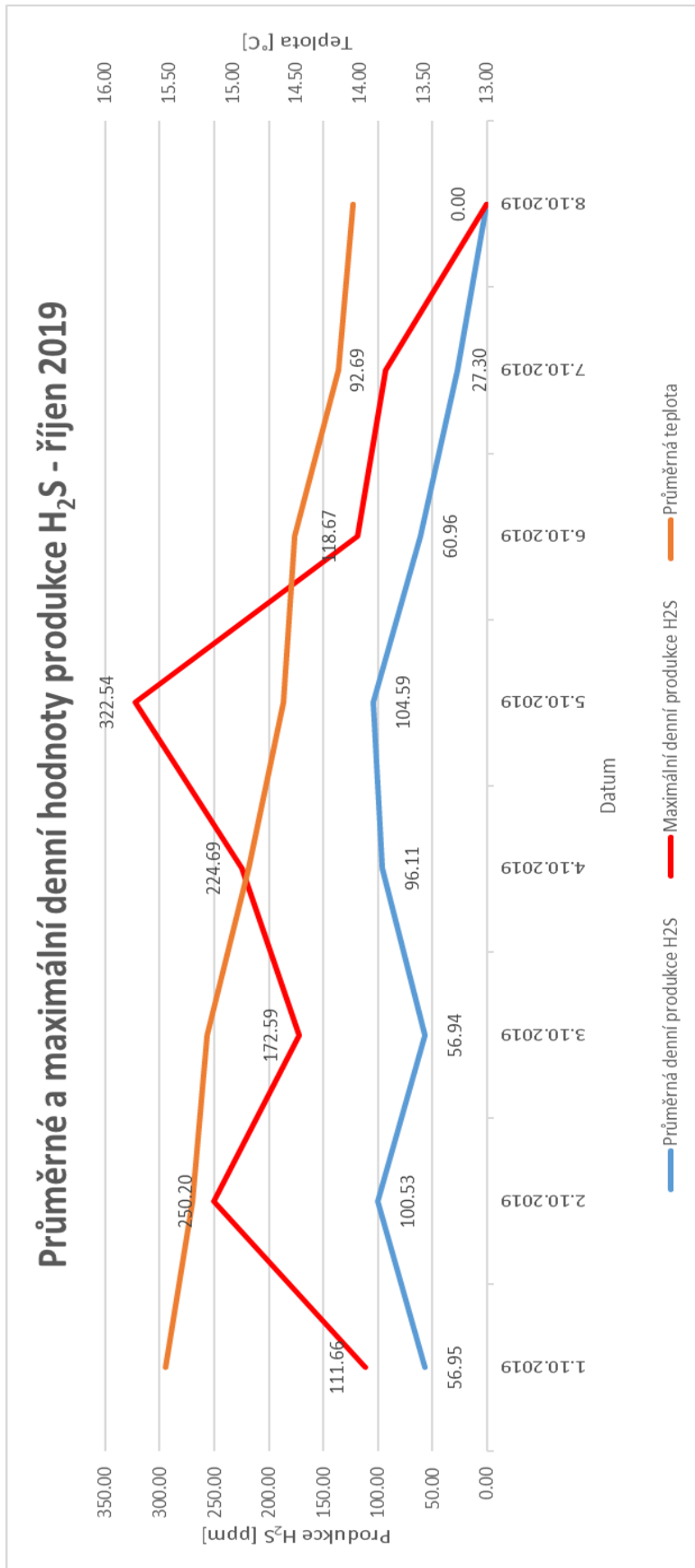


- Průměrná denní produkce H₂S: od 2,71 ppm do 103,14 ppm
- Maximální denní produkce H₂S: 244,70 ppm (30. 9. 2019)
- Průměrná teplota v měsíci září: 17,29 °C

Graf 12 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H₂S v září 2019



Graf 13 Produkce H₂S v říjnu 2019



- Průměrná denní produkce H₂S: od 0,00 ppm do 104,59 ppm
- Maximální denní produkce H₂S: 322,54 ppm (5. 10. 2019)
- Průměrná teplota v měsíci říjnu: 14,78 °C

Graf 14 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H₂S v říjnu 2019

5.2 DÁVKOVÁNÍ DUSIČNANU VÁPENATÉHO

Druhou látkou, testovanou na konkrétním území v čerpací stanici v Neslovicích, byl dusičnan vápenatý. Tato látka je jednou z nejčastěji používaných chemikálií v oblasti eliminace zápachu ve stokové síti, a této skutečnosti odpovídá i dotazník vyplněný provozovateli v předchozí kapitole 4.2.

Roztok dusičnanu vápenatého ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) je dodáván jako bezbarvý a čirý roztok, pro potřeby redukce zápachu sirovodíku většinou v přepravních kontejnerech o objemu 1 m^3 . Hlavním dodavatelem dusičnanu vápenatého je společnost Kemwater Pro Chemie. [31]

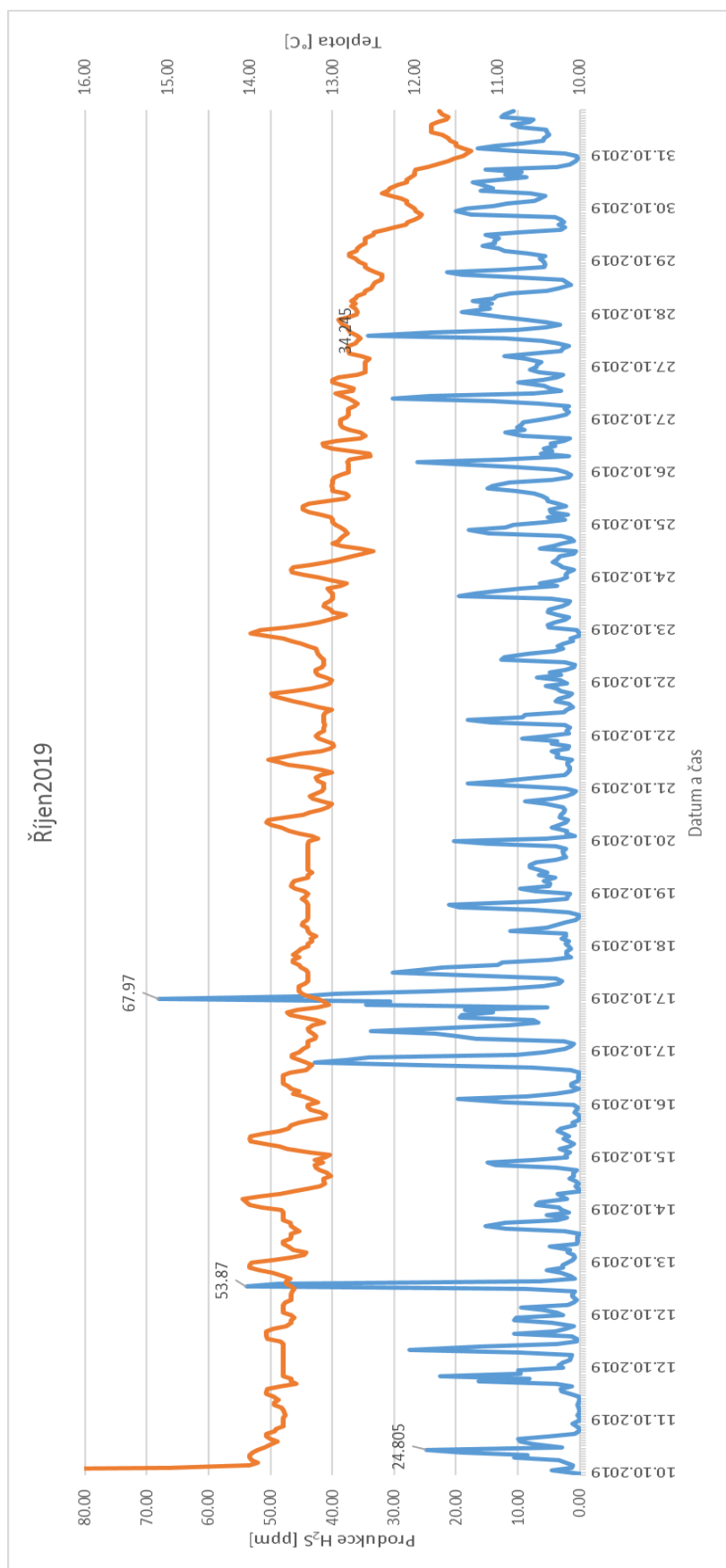


Obrázek 30 Kontejner s dusičnanem vápenatým

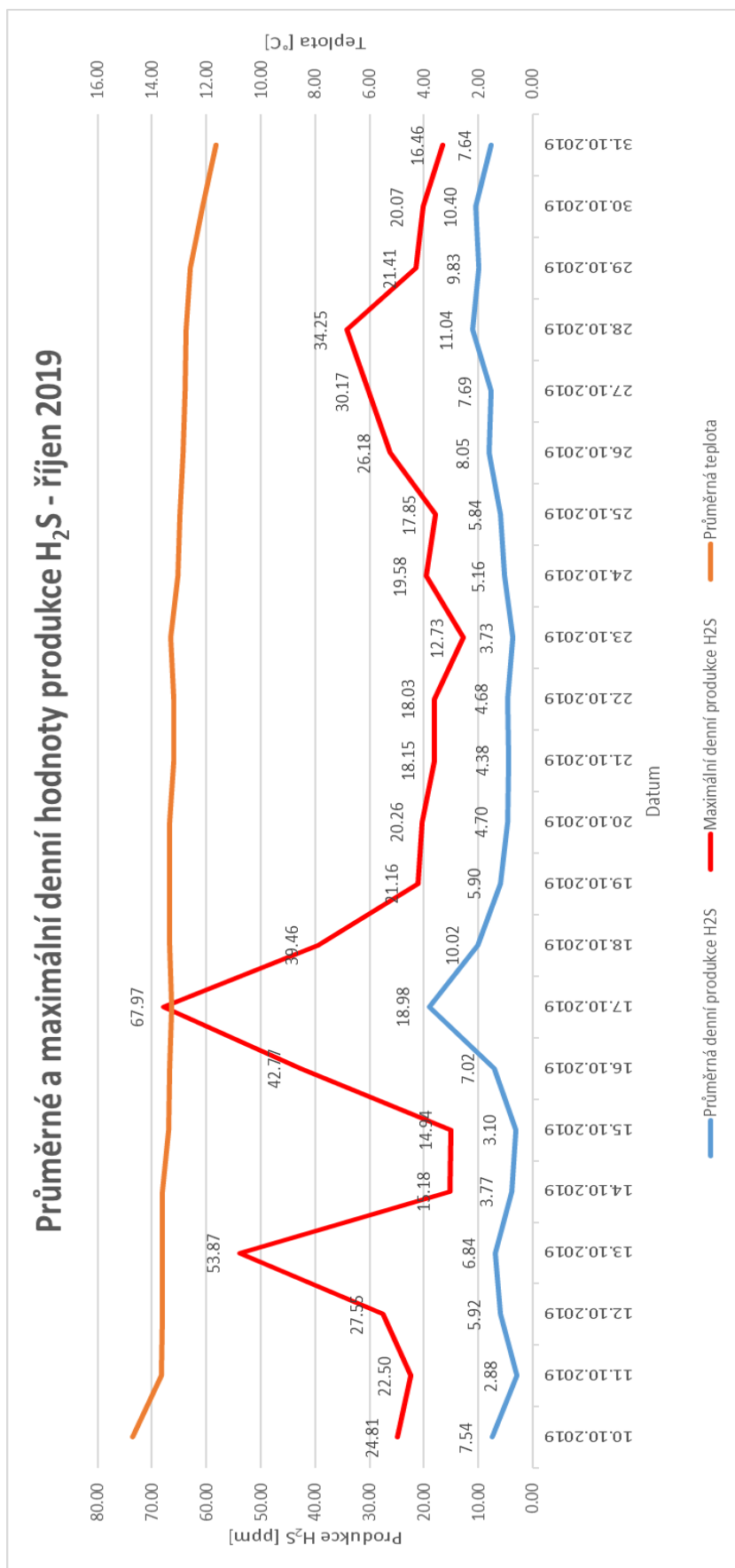
Dávkování dusičnanu vápenatého začalo 10. 10. 2019 po vypláchnutí zásobníku na chemikálie v Neslovicích tlakovým vozem. Zároveň byla provedena i údržba čerpadel zaměstnanci VAS, a.s. a jejich propláchnutí vodou, aby nedošlo k vytvoření sraženin ze síranu železitého a dusičnanu vápenatého. Množství dávkovaného roztoku zůstalo po celou dobu měření stejné jako u síranu železitého, a to $1 \text{ l} \cdot \text{hod}^{-1}$ při chodu čerpadla.

Detektor sulfanu byl osazen v kanalizační šachtě v Rosicích bez výměny do 4. 12. 2019. Průměrná teplota v druhé polovině října klesla o $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Produkce sulfanu ale klesla u denního maxima na $67,97 \text{ ppm}$, jak je zobrazeno v grafu 16, a tato hodnota maximální produkce odpovídá i měsíčnímu maximu (viz graf 15).

V listopadu 2019 klesla teplota na střední hodnotu $9,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Maximální hodinová produkce sulfanu v měsíci listopadu byla $35,13 \text{ ppm}$, a střední hodnota $5,72 \text{ ppm}$ (viz graf 17 a 18).

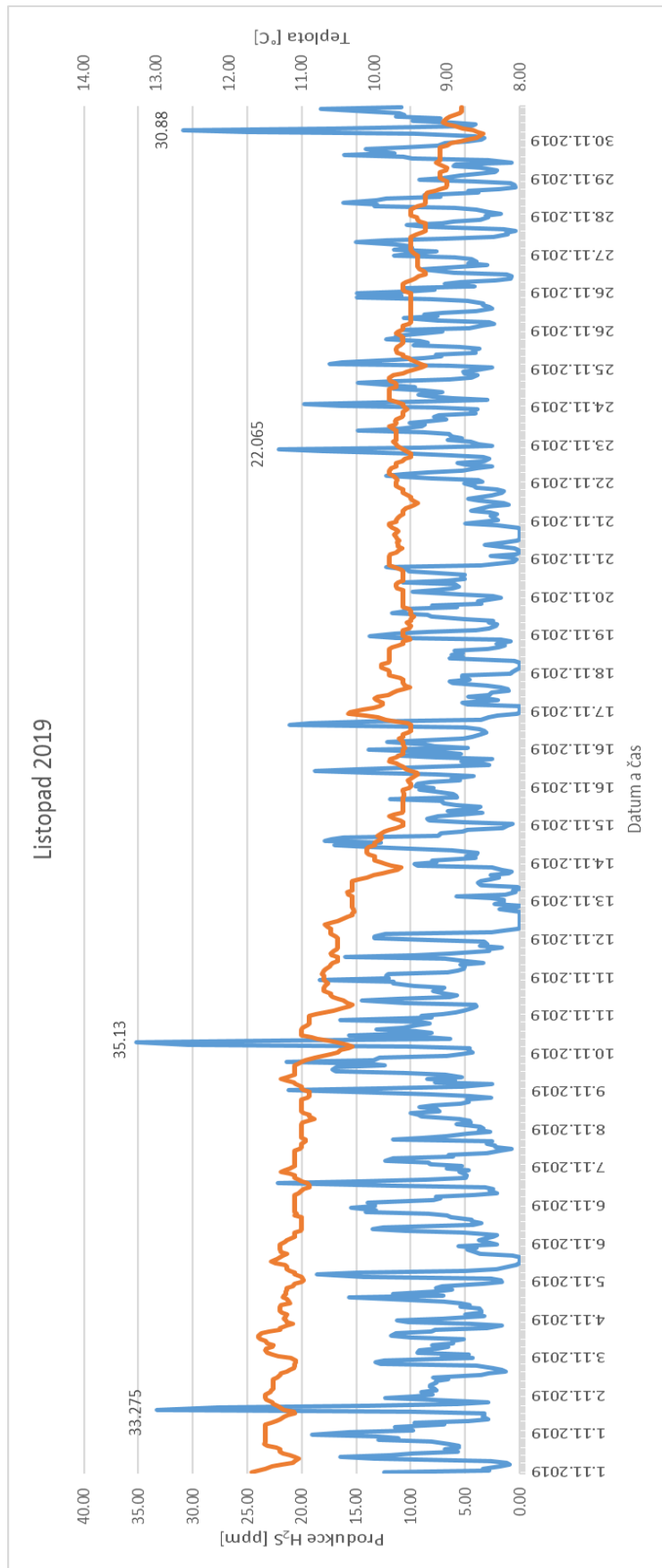


Graf 15 Produkce H₂S v říjnu 2019

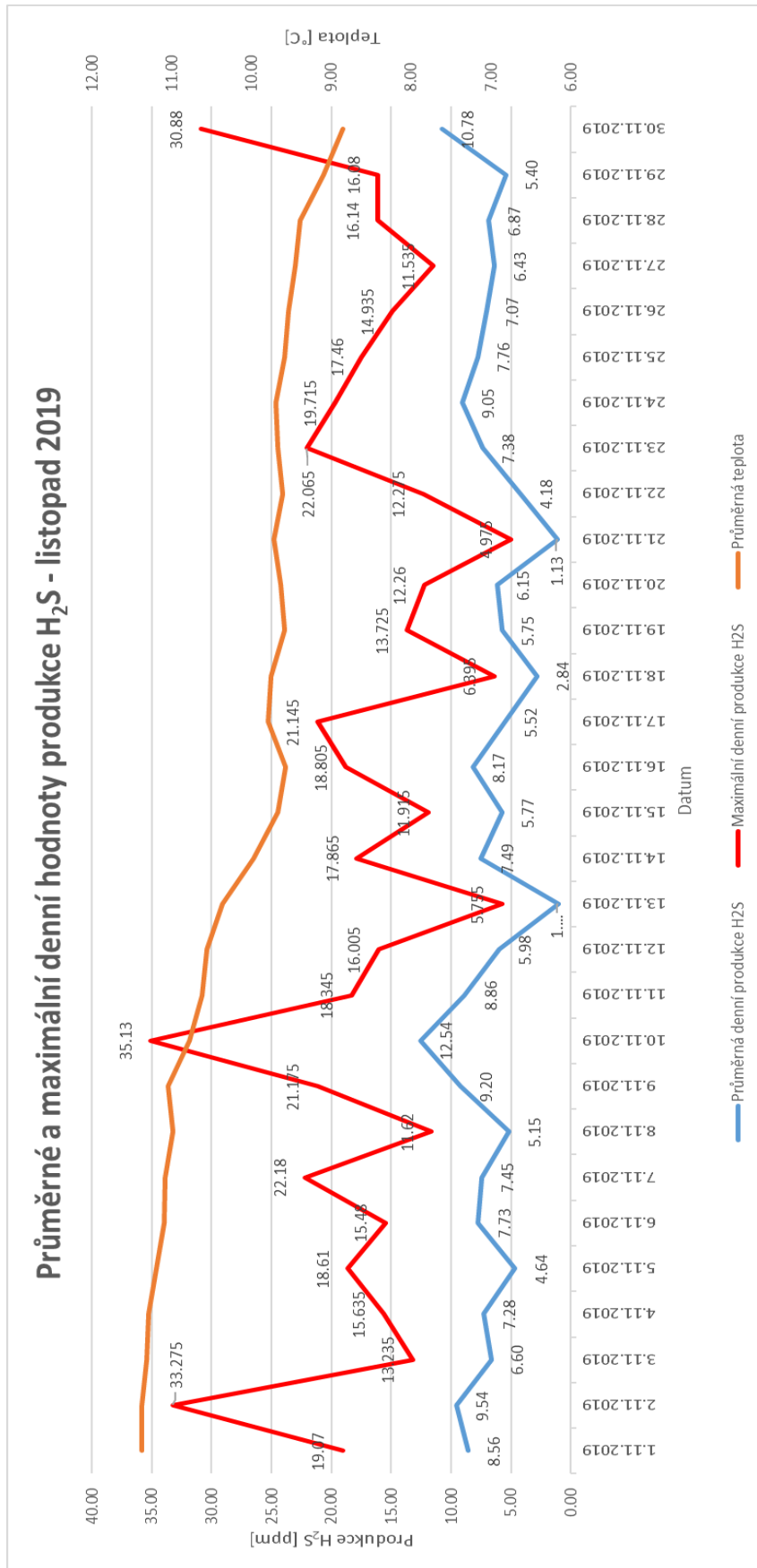


- Průměrná denní produkce H₂S: od 2,88 ppm do 18,98 ppm
- Maximální denní produkce H₂S: 67,97 ppm (17. 10. 2019)
- Průměrná teplota v měsíci říjnu: 13,18 °C

Graf 16 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H₂S v říjnu 2019



Graf 17 Produkce H₂S v listopadu 2019



- Průměrná denní produkce H₂S: od 1,07 ppm do 12,54 ppm
- Maximální denní produkce H₂S: 35,13 ppm (10. 11. 2019)
- Průměrná teplota v měsíci listopadu: 10,19 °C

Graf 18 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H₂S v listopadu 2019

5.3 SHRNU TÍ

Eliminace zápachu na stokové síti pomocí aplikace roztoku chemikálie je velmi specifická. Nelze totiž nikdy přesně říct, na jakou chemikálii bude konkrétní složení odpadní vody reagovat okamžitým snížením produkce sulfanu, a při které se produkce sulfanu téměř nezmění.

Z detektoru sulfanu, který měřil v kanalizační šachtě v Rosicích, bylo postupně sesbíráno téměř 250 tisíc dat, které byly zpracovány a vyhodnoceny v této diplomové práci.

Síran železitý se v Neslovicích dávkoval od 7. 11. 2018 do 8. 10. 2019, což je téměř rok. Jedinou odstávkou byl výpadek dávkovacího čerpadla na konci listopadu 2018. Celkové shrnutí je možné vidět v následující tabulce 5.

Tabulka 5 Produkce H₂S při dávkování síranu železitého

| Měsíc a rok | | Maximální hodinová produkce H ₂ S [ppm] | Medián hodinové produkce H ₂ S [ppm] | Medián teploty [°C] |
|-------------|------|--|---|---------------------|
| Listopad | 2018 | 206.71 | 37.98 | 10.10 |
| Prosinec | 2018 | 9.70 | 0.63 | 6.31 |
| Leden | 2019 | 44.07 | 3.63 | 4.30 |
| Únor | 2019 | 23.74 | 1.67 | 3.10 |
| Červenec | 2019 | 37.08 | 2.80 | 19.30 |
| Srpen | 2019 | 184.77 | 7.83 | 18.74 |
| Září | 2019 | 244.70 | 28.68 | 17.50 |
| Říjen | 2019 | 322.54 | 59.87 | 14.80 |

Při dávkování síranu železitého se produkce sulfanu nejdříve prudce snížila vlivem poruchy dávkovacího čerpadla. Od ledna 2019 už však dávkování fungovalo automaticky a bez poruch. Maximální hodinové produkce sulfanu jsou vybrány z jednotlivých celých měsíců. I když z ledna na únor můžeme vidět klesající hodnotu, tak od měsíce srpna je nárůst sulfanu o více než 50 ppm, a to při podobné teplotě. Během prvního týdne měsíce října, kdy se ještě dávkoval síran železitý, stoupla hodnota sulfanu na maximálních 322,54 ppm, což je jako hodinový průměr skutečně vysoká hodnota. Detektor sulfanu byl z šachty v Rosicích odebrán 8. 10. 2019. Dávkování síranu železitého bylo ukončeno 10. 10. 2019.

Roztok dusičnanu vápenatého se začal do kanalizační sítě v Neslovicích dávkovat 10. října 2019. Měření v Rosicích bylo zahájeno ve stejný den. V prosinci (při vyzvednutí detektoru sulfanu) byla šachta otevřena po cca 2 měsících a poklop byl utěsněn, aby nedocházelo k uniku sulfanu do okolí. Vnitřní části kanalizační šachty byly pokryty vrstvou síranové koroze, která výskyt sulfanu doprovází (viz obrázek 31).

Vzhledem k načasování vyjmutí sondy a zpracování naměřených dat jsou k porovnání v této diplomové práci pouze necelé 2 měsíce. Výsledky jsou sepsány v následující tabulce 6.

Tabulka 6 Produkce H₂S při dávkování dusičnanu vápenatého.

| Měsíc a rok | | Maximální hodinová produkce H ₂ S [ppm] | Medián hodinové produkce H ₂ S [ppm] | Medián teploty [°C] |
|-------------|------|--|---|---------------------|
| Říjen | 2019 | 67.97 | 3.95 | 13.21 |
| Listopad | 2019 | 35.13 | 5.72 | 9.8 |



Obrázek 31 Kanalizační šachta v Rosicích 4. prosince 2019

Detektor sulfanu byl nastaven na měření každé 3 minuty. Z těchto naměřených dat byly vytvořeny hodinové průměry, aby bylo možné porovnávat hodnoty s předchozími výsledky. Ve druhé polovině října 2019 klesla teplota proti první polovině tohoto měsíce o 1,6 °C, zároveň klesla i maximální hodinová produkce sulfanu na 67,97 ppm. V měsíci listopadu 2019 při teplotě obdobné jako v listopadu 2018 se maximální hodinová produkce sulfanu snížila na 35,13 ppm, v listopadu 2018 byla produkce sulfanu 206,71 ppm.

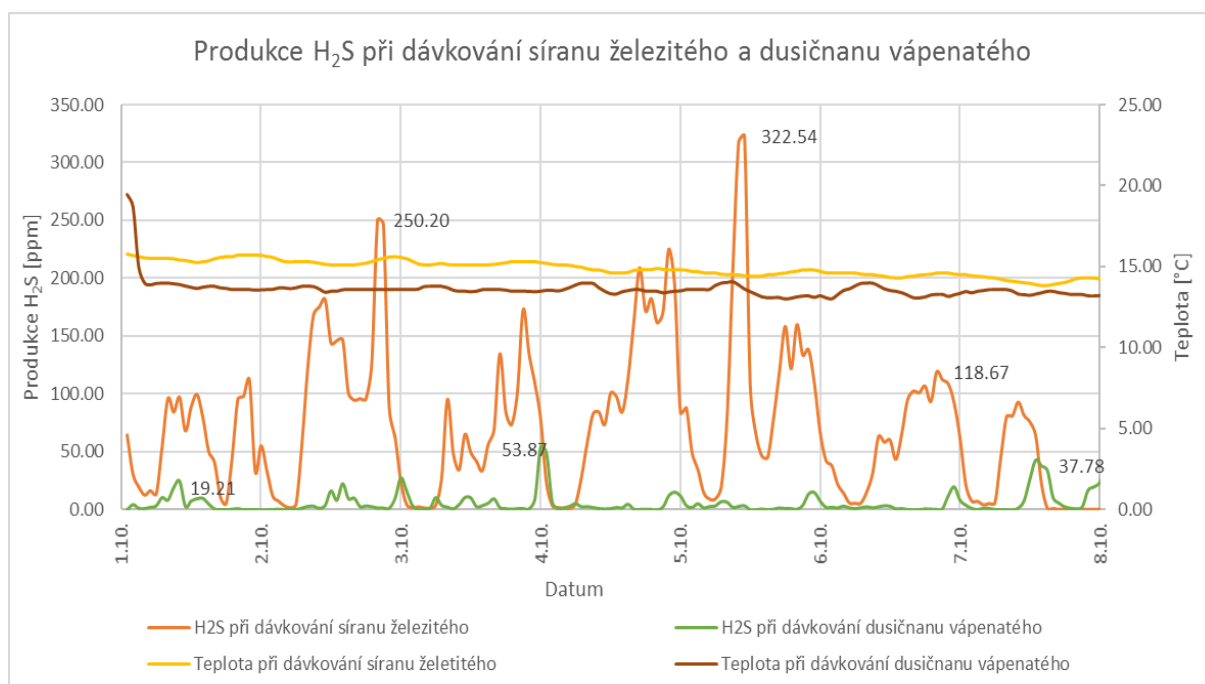
V rámci vyhodnocení dávkování dvou různých chemických roztoků k eliminaci zápachu na stokové síti byly zpracovány dva grafy.

První je pro říjen 2019, kdy pro vznik H₂S při dávkování síranu železitého je bráno období od 1. 10. 2019 do 8. 10. 2019. Pro porovnání stejné dávky dusičnanu vápenatého ve stejném území je posuzováno období od 10. 10. 2019 do 17. 10. 2019. V těchto týdnech byly teploty podobné, ale produkce sulfanu se dostatečně snížila při dávkování dusičnanu vápenatého. Výsledek je zobrazen v grafu 19.

Tabulka 7 Přehled produkce H₂S a teploty při dávkování Fe₂(SO₄)₃ a Ca(NO₃)₂

| Od | do | Maximální hodinová produkce H ₂ S [ppm] | Průměrná hodinová produkce H ₂ S [ppm] | Střední hodinová produkce H ₂ S [ppm] | Průměrná teplota [°C] |
|--------------|--------------|--|---|--|-----------------------|
| 1. 10. 2019 | 8. 10. 2019 | 322.54 | 67.93 | 59.87 | 14.8 |
| 10. 10. 2019 | 17. 10. 2019 | 53.87 | 6.14 | 2.48 | 13.6 |

Maximální hodnota při dávkování síranu železitého je 322,54 ppm, při obdobných podmínkách je při přidávání dusičnanu vápenatého hodnota sulfanu v kanalizační šachtě v Rosicích zhruba 3 ppm. Přehled maximálních a středních hodnot pro obě dávkované látky je v tabulce 7.



Graf 19 Produkce H₂S při dávkování Fe₂(SO₄)₃ a Ca(NO₃)₂

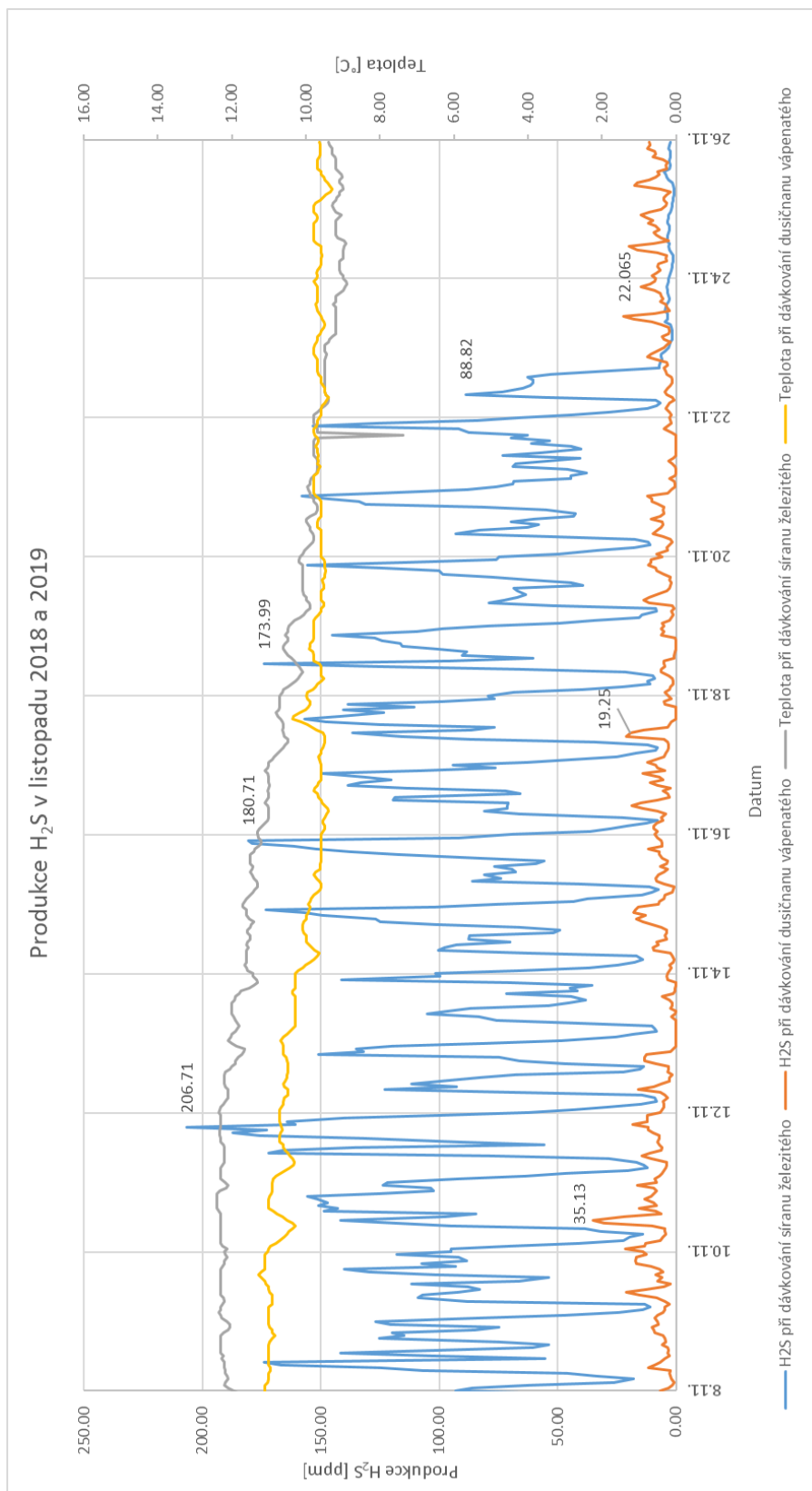
Další graf, který bylo možné z naměřených dat vyhodnotit, je pro období listopadu 2018 a listopadu 2019. Zobrazený měsíc není celý, protože v roce 2018 probíhala výměna dávkovacího čerpadla, ale počet naměřených dat je dostatečný na porovnání účinku síranu železitého a dusičnanu vápenatého. Hodnoty jsou znázorněny v tabulce 8 a srovnávací graf 20 je zobrazen na následující straně.

Tabulka 8 Přehled produkce H₂S a teploty v listopadu 2018 a 2019 při dávkování Fe₂(SO₄)₃ a Ca(NO₃)₂

| Od | do | Maximální hodinová produkce H ₂ S [ppm] | Průměrná hodinová produkce H ₂ S [ppm] | Střední hodinová produkce H ₂ S [ppm] | Průměrná teplota [°C] |
|-------------|--------------|--|---|--|-----------------------|
| 7. 11. 2018 | 30. 11. 2018 | 206.71 | 49.85 | 37.98 | 10.3 |
| 7. 11. 2019 | 30. 11. 2019 | 35.13 | 6.57 | 5.49 | 9.7 |

Při srovnávání dosáhla maximální hodnota sulfanu 206,71 ppm při dávkování síranu železitého v listopadu 2018. Dusičnan vápenatý byl v listopadu 2019 dávkován už druhým

měsícem, ale už v říjnu vykazoval výborné výsledky, což je vidět jak v grafu 20, tak v tabulce 8, kde je jeho maximální hodinová hodnota 35,13 ppm.



Graf 20 Produkce H_2S v listopadu 2018 a 2019 při dávkování $Fe_2(SO_4)_3$ a $Ca(NO_3)_2$

V diplomové práci zpracované Jiřím Mazákem roku 2019 na Vysoké škole báňské – Technická univerzita Ostrava byl na konkrétní území aplikován chlorid železitý, známý pod obchodním názvem PIX 111. Při měření produkce sulfanu docházelo k naměřeným hodnotám až 300 ppm, při měření produkce sulfanu bez jakéhokoli opatření. Při dávce $1 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ se produkce sulfanu snížila na hodnotu 180 ppm. Dávka $3 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ snížila produkci sulfanu na 50 ppm a až při dávkování $7 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ se sulfan přestal tvořit. [38]

Následně se ve stejné lokalitě aplikoval dusičnan vápenatý, při dávce $1 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ se sulfan objevoval v hodnotách okolo 80 ppm. Při zvýšení dávky na $3 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ byl sulfan produkován pouze ve zbytkovém množství několika jednotek ppm. [38]

Třetí testovanou látkou byl kombinovaný roztok dusičnanů a iontů železa. Po dávce tohoto roztoku v množství $1 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ se produkce sulfanu prudce snížila ze 160 ppm na 50 ppm. Při zvýšení dodávaného množství chemikálie na $2 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$, $3 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ a $4 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ se produkce sulfanu snížila na zhruba 15 ppm, ale ani při jednom množství dodávané chemikálie nebylo zaznamenáno úplné vymizení H_2S . [38]

Každá z těchto testovaných látek se však na daném území měřila pouze 3 týdny. Pro kalkulaci a změření potřebného objemu dodávané chemikálie byly tyto výsledky přínosem, ale při porovnání výsledků zpracovaných v této diplomové práci je pravděpodobné že se odpadní voda postupně adaptuje na dávkovanou chemikálii a sulfan se začne opět tvořit, což je možné vidět i z tabulky 5 v této kapitole. V diplomové práci zpracované v Ostravě měnili množství, aby zjistili, kdy se sulfan přestane úplně tvořit, ale při množství, které by bylo potřeba, by se dávkování chemikálie stalo velmi neekonomické.

Na čerpací stanici v Neslovicích bude dávkování dusičnanu vápenatého pokračovat i nadále. Zároveň s dávkováním dusičnanu bude pokračovat i měření pomocí detektoru sulfanu v kanalizační šachtě v Rosicích, o které se i nadále stará společnost VAS, a.s.

Jednou z možností je, že dusičnan vápenatý zvládne sulfan eliminovat lépe a po delší dobu než síran železitý, ale dávky dusičnanu vápenatého i produkci sulfanu v Rosicích je potřeba i nadále kontrolovat.

6 ZÁVĚR

Zápach v odpadní vodě je velmi rozšířené a obtížné téma. Odpadní voda má v konkrétních územích určité vlastnosti, které se ale mění – podléhají změnám v průtočném množství, které záleží na denní špičce, změnám ve složení odpadní vody, které mohou zředit dešťové vody nebo jiné mimořádné situace.

Tato diplomová práce se věnuje eliminaci zápachu na stokové síti. Proto je hned v první kapitole uvedeno několik legislativních předpisů, které se zabývají ochranou ovzduší a problematikou zápachu. Uvedené legislativní předpisy jsou platné na území České republiky a Evropské unie.

Druhá kapitola se zaměřuje přímo na zápach. Jsou zde popsány jeho hlavní složky, mezi které patří i sulfan (sirovodík), který je hlavní příčinou zápachu. Kapitola se zaměřuje i na vznik sulfanu a jeho působení na zdraví živých organismů. Následně jsou uvedeny hlavní faktory a předpoklady, které přispívají ke vzniku sulfanu a zápachu na stokové síti. Kapitola je zakončena popisem síranové koroze, kterou jsou napadány veškeré části stokové sítě, vyrobené z materiálu na bázi cementu. Síranová koroze je ovlivněna sulfanem, obsaženým přímo v odpadní vodě.

Možnosti, kterými lze zápach na kanalizační síti řešit, jsou popsány v následující kapitole. Jsou uvedeny metody, kterými se reguluje sulfan z kanalizační atmosféry, patří mezi ně různé filtry a pračky vzduchu. Čištění kanalizační atmosféry je ve většině případů méně ekonomicky nákladné než řešení zápachu přímo v odpadní vodě. Metody osazení kanalizačních filtrů lze použít i jako sekundární řešení pro eliminaci zápachu po nadávkování chemikálie přímo do odpadní vody. Metody k regulaci zápachu přímo v odpadní vodě jsou uvedeny v další podkapitole. Jsou zde uvedeny už vyvinuté a používané metody, mezi které ve většině případů patří dávkování chemikálií nebo provzdušňování odpadní vody. Některé jsou teprve ve fázi vývoje, ale při jejich úpravě by mohly být velkým přínosem, protože kromě odstranění sulfanu z odpadní vody dokážou vyrobit například elektrickou energii.

Ve čtvrté kapitole jsou uvedeny výsledky získané z dotazníku, který byl rozeslán provozovatelům stokových sítí. Vybráno bylo 50 největších provozovatelů a dotazník byl rozeslán i jejich divizím. Vyplnila jej větší polovina dotázaných provozovatelů. Dle předpokladu uvedly tři čtvrtiny odpovídajících, že má problém se zápachem na provozované kanalizační síti. Faktem je, že provozovatelé nejčastěji eliminaci zápachu na stokové síti řeší sami aktivně. Provozovatelé dále v dotazníku odpovídali na to, zda měří zápach v kanalizaci, jestli znají důvod zápachu, jakou nejvyšší a průměrnou hodnotu sirovodíku obsahuje surová odpadní voda a jaké metody k eliminaci zápachu ve stokové síti používají.

Pátá kapitola popisuje lokalitu Neslovice, Rosice a Tetčice, na které bylo prováděno dávkování chemikálií a měření sulfanu. Lokalita byla vytipovaná Vodárenskou akciovou společností, která zde kanalizaci provozuje. Hlavním důvodem vzniku zápachu je výtlačný úsek mezi Neslovicemi a Rosicemi. V kapitole je popsána čerpací stanice v Neslovicích, která je vybavena dávkovacím čerpadlem. Dávkovací čerpadlo po celou dobu měření dávkovalo stejné množství chemikálie při chodu čerpadel. Testovány byly dvě chemikálie, síran železitý

a dusičnan vápenatý. Síran železitý se v lokalitě dával téměř rok, proto je pravděpodobné, že si odpadní voda na látku zvykla a produkovala sulfan ve velmi vysokém množství. Při výměně látky za dusičnan vápenatý se produkce sulfanu snížila o více než 75 % z původní hodnoty.

Přínosem diplomové práce je srovnání faktů z dotazníku vyplněného provozovateli, kteří uvádí své poznatky a aplikované metody z praxe. Dále pak porovnání dvou různých chemikálií, dávkovaných do odpadní vody v dané lokalitě, kdy byl výsledek z měření produkce sulfanu po výměně síranu železitého za dusičnan vápenatý velmi příznivý.

7 POUŽITÉ ZDROJE

- [1] JEGATHEESAN, Veeriah, Sara ABDIKHEIBARI, Nyoman MARLENI, Shaun PHELAN, Kyoohong PARK, Steve BAGSHAW, Leanne FARAGO a Li SHU. Estimating hydrogen sulphide dissipation rate constant under the influence of different chemical dosing. *ScienceDirect* [online]. Australia: ScienceDirect, 2015, červenec 2015 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830515001006>
- [2] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES ze dne 21. května 2008 o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu*. In: . Úř. věst. L 152: Úřední věstník Evropské unie, 2008, ročník 2008, 2008/50/ES. Dostupné také z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=32008L0050>
- [3] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU ze dne 24. listopadu 2010 o průmyslových emisích*. In: . Úř. věst. L 334: Úřední věstník Evropské unie, 2010, ročník 2010, 2010/75/EU. Dostupné také z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=32010L0075>
- [4] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU ze dne 24. listopadu 2010, o průmyslových emisích (integrované prevenci a omezování znečištění)*. In: Úřední věstník Evropské unie. 2010, částka 53, L 334, s. 17-119. ISSN 1725-5074. Dostupné také z: <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj>
- [5] ČSN EN 12255-9 (75 6403): Čistírny odpadních vod - Část 9: Kontrola pachů a odvětrání. Březen 2003. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [6] ČSN 75 6101: Stokové sítě a kanalizační přípojky. Duben 2012. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [7] Zákon č. 201/2012 Sb.: Zákon o ochraně ovzduší. In: . Praha: Nakladatelství Sagit, 2012, ročník 2012, 201/2012 Sb. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- [8] Vyhláška č. 415/2012 Sb.: Vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. In: . Praha: Nakladatelství Sagit, 2012, ročník 2012, 415/2012 Sb. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-415>
- [9] *PubChem: Hydrogen sulfide* [online]. National Center for Biotechnology Information, USA: U.S. National Library of Medicine, 2004 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/402>
- [10] HLUŠTÍK, Petr, Ivo KORYTÁŘ, Stanislav MALANÍK a Petr HLAVÍNEK. Eliminace zápachu ze stokové sítě. *Vodovod.info* [online]. Brno: vodovod.info, 2017 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <http://www.vodovod.info/index.php/kanalizace-a-cov/378-eliminace-zapachu-ze-stokove-site#.XbljOZJKjIV>
- [11] PARK, Kyoohong, Hongsik LEE, Shaun PHELAN, Susanthi LIYANAARACHCHI, Nyoman MARLENI, Dimuth NAVARATNA, Veeriah JEGATHEESAN a Li SHU. Mitigation strategies of hydrogen sulphide emission in sewer networks – A review. *ScienceDirect* [online]: ScienceDirect, 2014 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830514000596#!>
- [12] DUDA, Jiří, Věra BOGDANOVA, Tomáš GREMLICA a Ondřej LÍPA. VODOVODY KANALIZACE ČR. *Www.eagri.cz* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2018 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z:

- http://eagri.cz/public/web/file/606081/Vodovody_a_kanalizace_Ceske_republiky_2017.pdf
- [13] *Odstranění sirovodíku z vody* [online].: EuroClean, 2014 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/115811-odstraneni-sirovodiku-z-vody>
- [14] HORÁK, MAREK. *ANALÝZA STÁRNUTÍ VYBRANÝCH MATERIÁLŮ STOKOVÝCH SÍTÍ*. Brno, 2013. DISERTAČNÍ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce JAROSLAV RACLAVSKÝ.
- [15] MALANÍK, S.: *Stoková síť poškozená síranovou korozí betonu*. NO-DIG, Ročník 11 2/2005.
- [16] BERÁNEK, Josef a Petr PRAX. *Navrhování tlakové kanalizace*. Brno: NOEL 2000, 1998. ISBN 8086020088.
- [17] MARA, Duncan a Nigel HORAN. *Handbook of water and wastewater microbiology*. San Diego: Academic Press, 2003. ISBN 0124701000.
- [18] GUTIERREZ, Oriol, Donghee PARK, Keshab Raj SHARMA a Zhiguo YUAN. Effects of long-term pH elevation on the sulfate-reducing and methanogenic activities of anaerobic sewer biofilms. *ScienceDirect* [online]. Australia: ScienceDirect, 2009 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135409001560?via%3Dihub#!>
- [19] SHARMA, Keshab, Nicolas DERLON, Shihu HU a Zhiguo YUAN. Modeling the pH effect on sulfidogenesis in anaerobic sewer biofilm. *ScienceDirect* [online]. Australia: ScienceDirect, 2014 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135413009305#!>
- [20] BOWKER, R., J. SMITH a N. WEBSTER. *Odor and corrosion control in sanitary sewerage systems and treatment plants: design manual* [online]. Cincinnati, OH: United States Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information, 1985, (132), ix, 132 s. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/2027/uc1.31210012655872>
- [21] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Stokování a čištění odpadních vod*. Brno: CERM, 2003. ISBN 8021425350.
- [22] ZHANG, Lehua, Peter DE SCHRYVER, Bart DE GUSSEME, Willem DE MUYNCK, Nico BOON a Willy VERSTRAETE. Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: A review. *ScienceDirect* [online]. Belgium: ScienceDirect, 2008 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135407004745?via%3Dihub#!>
- [23] HVITVED-JACOBSEN, T., J. VOLLERTSEN a A. NIELSEN. *Sewer processes: microbial and chemical process engineering of sewer networks*. Second edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business, 2013. ISBN 9781439881774.
- [24] HARSHMAN, VAUGHAN a TONY BARNETTE. *WASTEWATER ODOR CONTROL: AN EVALUATION OF TECHNOLOGIES*. *WATER & WASTES DIGEST* [online].: WATER & WASTES DIGEST, 2000 [cit. 2020-01-04]. Dostupné

- z: <https://www.wwdmag.com/decentralized-wastewater/wastewater-odor-control-evaluation-technologies>
- [25] PLOTĚNÝ, Karel. MOŽNOSTI ŘEŠENÍ ZÁPACHU VE VÝROBNÁCH A V KANALIZACI. *ASIO* [online]. Brno: ASIO, 2017 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/750.moznosti-reseni-zapachu-ve-vyrobnach-a-v-kanalizaci>
- [26] TALAIEKHOZANI, Amirreza, Marzieh BAGHERI, Amin GOLI a Mohammad Reza Talaei KHOOZANI. An overview of principles of odor production, emission, and control methods in wastewater collection and treatment systems. *ScienceDirect* [online]. Iran: ScienceDirect, 2016 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716300196#!>
- [27] *Bio Filter Media Mbbf for Waste Water Treatment* [online]. China: 333, 2017 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://bestpacking.en.made-in-china.com/product/wNVxtUBXCHWn/China-Bio-Filter-Media-Mbbr-for-Waste-Water-Treatment.html>
- [28] BIOFILTRY AS-BIOAIR. *ASIO* [online]. Brno: ASIO, 2017 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/biofiltry-as-bioair>
- [29] Circular Stand-Alone Biofilter - Series SRBF. *Bioteg* [online]. German: bioteg, n. 1. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: http://www.bioteg.com/biofilter/circular_stand-alone_biofilter.htm
- [30] REHAU BIOFILTR KANALIZAČNÍCH ŠACHET. In: *REHAU* [online]. Germany: REHAU, 2017 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.rehau.com/download/1321730/prospekt--biofiltr-.pdf>
- [31] DUSIČNAN VÁPENATÝ. In: *Kemwater ProChemie s.r.o.* [online]. Bradlec: Kemwater ProChemie, 333n. 1. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: http://www.prochemie.cz/chem/TL_Dusi%C4%8Dnan%20v%C3%A1penat%C3%BD_2017.pdf
- [32] *Mapy.cz* [online].: mapy.cz, 2018 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [33] TANAKA, Naoya, Thorkild HVITVED-JACOBSEN, Takatoshi OCHI a Noriyoshi SATO. Aerobic–Anaerobic Microbial Wastewater Transformations and Re-aeration in an Air-Injected Pressure Sewer. *Researchgate* [online].: researchgate, 2000 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/272210698_Aerobic-Anaerobic_Microbial_Wastewater_Transformations_and_Re-aeration_in_an_Air-Injected_Pressure_Sewer
- [34] *STRATE* [online]. Sarstedt: STRATE, 2015 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.strate.com/>
- [35] *Provozní řád Tetčice: Neslovice*. Brno, 2015.
- [36] *Specifikace produktu PIX-113*. Přerov, 2010. Dostupné také z: <http://kemifloc.cz/chemikalie/ostatni/>
- [37] Odalog Gas Loggers. In: *Measurement & Control Solutions CC* [online]. South Africa: Measurement & Control Solutions CC, n. 1. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.meacon.co.za/products/odalog/odalog>
- [38] MAZÁK, Jiří. *DOPORUČENÍ PRO ŘEŠENÍ ZÁPACHU Z KANALIZACE VE ZVOLENÉ LOKALITĚ*. Ostrava, 2019. DIPLOMOVÁ PRÁCE. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. Vedoucí práce Doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.

- [39] 1. DRAFT PREPARED BY SELENE J. CHOU. *Hydrogen sulfide: human health aspects*. Geneva: World Health Organization, 2003. ISBN 9241530537
- [40] HAANING NIELSEN, Asbjørn, Piet LENS, Jes VOLLERTSEN a Thorkild HVITVED-JACOBSEN. Sulfide–iron interactions in domestic wastewater from a gravity sewer. *ScienceDirect* [online]. Denmark: ScienceDirect, 2005 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135405002204>
- [41] FIRER, Dan, Eran FRIEDLER a Ori LAHAV. Control of sulfide in sewer systems by dosage of iron salts: Comparison between theoretical and experimental results, and practical implications. *ScienceDirect* [online]. Israel: ScienceDirect, 2008 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969707012119?via%3Dih>

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Složky způsobující zápach [25] | 5 |
| Tabulka 2 Vlastnosti sulfanu [11,9] | 5 |
| Tabulka 3 Reakce organismu na koncentraci sirovodíku [11] | 6 |
| Tabulka 4 Složení městských odpadních vod [21] | 7 |
| Tabulka 5 Produkce H ₂ S při dávkování síranu železitého | 56 |
| Tabulka 6 Produkce H ₂ S při dávkování dusičnanu vápenatého. | 57 |
| Tabulka 7 Přehled produkce H ₂ S a teploty při dávkování Fe ₂ (SO ₄) ₃ a Ca(NO ₃) ₂ | 58 |
| Tabulka 8 Přehled produkce H ₂ S a teploty v listopadu 2018 a 2019 při dávkování Fe ₂ (SO ₄) ₃ a Ca(NO ₃) ₂ | 58 |

SEZNAM GRAFŮ

| | |
|---|----|
| Graf 1 Produkce H ₂ S v listopadu 2018..... | 37 |
| Graf 2 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H ₂ S v listopadu 2018..... | 38 |
| Graf 3 Produkce H ₂ S v prosinci 2018 | 39 |
| Graf 4 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H ₂ S v prosinci 2018..... | 40 |
| Graf 5 Produkce H ₂ S v lednu 2019 | 41 |
| Graf 6 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H ₂ S v lednu 2019 | 42 |
| Graf 7 Produkce H ₂ S v únoru 2019..... | 43 |
| Graf 8 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H ₂ S v únoru 2019..... | 44 |
| Graf 9 Produkce H ₂ S v srpnu 2019 | 45 |
| Graf 10 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H ₂ S v srpnu 2019 | 46 |
| Graf 11 Produkce H ₂ S v září 2019 | 47 |
| Graf 12 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H ₂ S v září 2019 | 48 |
| Graf 13 Produkce H ₂ S v říjnu 2019..... | 49 |
| Graf 14 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H ₂ S v říjnu 2019..... | 50 |
| Graf 15 Produkce H ₂ S v říjnu 2019..... | 52 |
| Graf 16 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H ₂ S v říjnu 2019..... | 53 |
| Graf 17 Produkce H ₂ S v listopadu 2019..... | 54 |
| Graf 18 Průměrné a maximální denní hodnoty produkce H ₂ S v listopadu 2019..... | 55 |
| Graf 19 Produkce H ₂ S při dávkování Fe ₂ (SO ₄) ₃ a Ca(NO ₃) ₂ | 58 |
| Graf 20 Produkce H ₂ S v listopadu 2018 a 2019 při dávkování Fe ₂ (SO ₄) ₃ a Ca(NO ₃) ₂ | 59 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 Zastoupení forem sulfidu v závislosti na pH [11] | 8 |
| Obrázek 2 Procesy probíhající v kanalizaci [22] | 9 |
| Obrázek 3 Vnitřní cyklus síry v kanalizaci [23] | 9 |
| Obrázek 4 Schéma biogenní síranové koroze [15] | 12 |
| Obrázek 5 Schéma pračky vzduchu [26] | 15 |
| Obrázek 6 Možnosti nosičů jako náplně bio-pračky [27] | 15 |
| Obrázek 7 Schéma jednoduchého biologického filtru [26] | 16 |
| Obrázek 8 Schéma biofiltru s nuceným odtahem vzduchu [29] | 17 |
| Obrázek 9 Průtočné filtry [30] | 18 |
| Obrázek 10 Schéma fotokatalytické oxidace [25] | 18 |
| Obrázek 11 Schéma mikrobiálního palivového článku [22] | 23 |
| Obrázek 12 Průměrná hodnota H_2S v surové odpadní vodě | 24 |
| Obrázek 13 Maximální hodnota H_2S v surové odpadní vodě | 25 |
| Obrázek 14 Způsoby řešení zápachu provozovateli | 26 |
| Obrázek 15 Měření zápachu po opatřeních | 26 |
| Obrázek 16 Průměrné hodnoty po provedení opatření | 27 |
| Obrázek 17 Maximální hodnoty po provedení opatření | 27 |
| Obrázek 18 Mapa zájmového území [32] | 28 |
| Obrázek 19 Situace výtlačného úseku [35] | 29 |
| Obrázek 20 Čerpací stanice OV Awalift 1/2x2 STRATE [34] | 30 |
| Obrázek 21 Čerpací stanice OV v Neslovicích | 30 |
| Obrázek 22 Dávkovací čerpadlo v Neslovicích | 31 |
| Obrázek 23 Odčerpávání síranu železitého na ČS OV Neslovice | 32 |
| Obrázek 24 Odčerpání síranu železitého ze zásobní nádrže | 32 |
| Obrázek 25 Šachta v Rosicích | 33 |
| Obrázek 26 Detektor sulfanu od firmy App-Tek | 33 |
| Obrázek 27 Připevnění detektoru do šachty | 34 |
| Obrázek 28 Pohled do šachty po připevnění detektoru | 35 |
| Obrázek 29 Kontejner se síranem železitým | 35 |
| Obrázek 30 Kontejner s dusičnanem vápenatým | 51 |
| Obrázek 31 Kanalizační šachta v Rosicích 4. prosince 2019 | 57 |

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | |
|--------------------------------------|---|
| a.s. | akciová společnost |
| BSK ₅ | biochemická spotřeba kyslíku za pět dní |
| Ca(NO ₃) ₂ | dusičnan vápenatý |
| CaO ₂ | oxid vápenatý |
| Ca(OH) ₂ | hydroxid vápenatý |
| ČOV | čistírna odpadních vod |
| ČS | čerpací stanice |
| ČSN | Česká technická norma |
| ČSN EN | Evropská norma |
| Fe | železo |
| FeCl ₂ | chlorid železnatý |
| FeCl ₃ | chlorid železitý |
| FeS | sulfid železnatý |
| Fe(SO ₄) ₃ | síran železitý |
| FeSO ₄ ·7H ₂ O | heptahydrát síranu železnatého – zelená skalice |
| H ₂ S | sulfan – sirovodík |
| H ₂ O ₂ | peroxid vodíku |
| CHSK _{Cr} | chemická spotřeba kyslíku dichomanem |
| MgO ₂ | peroxid hořčíku |
| Mg(OH) ₂ | hydroxid hořečnatý |
| NaOH | hydroxid sodný |
| N _{celk} | celkový dusík |
| N-NH ₄ ⁺ | amoniakální dusík |
| NL | nerozpuštěné látky |
| OV | odpadní voda |
| P _{celk} | celkový fosfor |
| PE | polyetylen |
| pH | záporný dekadický logaritmus číselné hodnoty koncentrace vodíkových iontů v roztoku |
| PVC | polyvinylchlorid |
| ppm | počet miliontín k celku – parts per million |
| SO ₄ ²⁻ | síran |
| TOC | celkový organický uhlík – total organic carbon |
| UV | ultrafialové záření |

SUMMARY

This diploma thesis describes the problematics of odor in a sewerage system. It is devoted to possible methods of odor elimination in a sewerage network.

In the theoretical part causes of odors in sewerage systems are briefly introduced. The odor is a mixture of many substances, but is mainly hydrogen sulfide. Therefore this thesis concentrates on hydrogen sulfide elimination. It describes the creation and the effect on human health. The other cons of hydrogen sulfide is its reaction with concrete pipes. That's why there is a keen interest in the early discovery of this gas and the subsequent elimination. Possible methods providing regulation or elimination of the odor are divided into two main groups. The first one is odor elimination direct from waste water. The second one concentrates on odor elimination from a sewerage atmosphere. When the odor is being eliminated direct from the waste water, it usually involves chemicals or oxygen being added. When the odor is being dealt with in the sewerage atmosphere, the methods used are based upon physical-chemical-biological reactions.

As a part of this diploma thesis, a survey for sewerage operators was created. The survey was given to more than 70 operators and their divisions. The operators were asked if they had any experience with an odor and if they had measured it. How do they deal with it and what methods for solution have they used? The results are pictured in graphs in this diploma thesis.

In the practical part of this thesis a given geographical area, where an odor problem occurred in the past is described. Here the odor is caused by a rising pipe in the sewerage. A pumping station which is located at the beginning of a rising pipe is equipped with a disposing pump and chemical storage. As a part of this thesis two chemicals were tested. The first of them is ferric sulphate, which was added at regular intervals into waste water for nearly a year. After a year it was replaced by calcium nitrate. During the whole time measuring hydrogen sulfide detection had taken place. The data of hydrogen sulfide occurrence was collected during the whole period. The results were interpreted and evaluated in graphs. The recommendations to sewerage operators followed.