

# OHŇOSTROJE - HLUČÍN

*měření kvality ovzduší během hlučínského festivalu*

## ODBORNÁ ZPRÁVA



*Mgr. Jáchym Brzezina, Mgr. Šárka Antošová*



**ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV**  
ODDĚLENÍ KVALITY OVZDUŠÍ, POBOČKA BRNO



# Ohňostroje Hlučín 2018

*měření kvality ovzduší během hlučínského festivalu*

## ODBORNÁ ZPRÁVA

### ZHOTOVITEL

#### ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

zastoupen Mgr. Markem Riederem, ředitelem ČHMÚ

Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4

IČ: 00020699

DIČ: CZ00020699, není plátce DPH

#### POBOČKA BRNO

Kroftova 43, 616 67 Brno

**ve věcech smluvních je oprávněn jednat:**

Ing. Petr Janál, Ph.D., ředitel pobočky Brno

**ve věcech technických je oprávněn jednat:**

Mgr. Jáchym Brzezina, vedoucí oddělení kvality ovzduší

tel: 737 387 741, email: jachym.brzezina@chmi.cz

### OBJEDNATEL

#### MĚSTO HLUČÍN

Mírové náměstí 24/23, 748 01 Hlučín

IČ: 00300063

DIČ: CZ00300063

**kontaktní osoba:** RNDr. Soňa Prášková, vedoucí odboru životního prostředí  
a komunálních služeb

### ZPRACOVATELÉ

Mgr. Jáchym Brzezina

Mgr. Šárka Antošová

### DATUM PŘEDÁNÍ

7. 11. 2018

### POČET STRAN

74



# OBSAH

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ÚVOD .....</b>                                        | <b>1</b>  |
| <b>2. METODIKA.....</b>                                     | <b>2</b>  |
| 2.1 LOKALITA MĚŘENÍ .....                                   | 2         |
| 2.2 MĚŘÍCÍ TECHNIKA.....                                    | 4         |
| 2.3 MĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY .....                            | 4         |
| 2.3.1 Leckel SEQ 47/50, PM <sub>10</sub> .....              | 4         |
| 2.3.2 Měřící vůz .....                                      | 4         |
| 2.4 PLÁN MĚŘENÍ .....                                       | 5         |
| 2.5 DOSTUPNOST DAT .....                                    | 5         |
| 2.6 POUŽITÝ SOFTWARE/TECHNOLOGIE .....                      | 6         |
| <b>3. METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY.....</b>                      | <b>7</b>  |
| 3.1 TEPLOTA VZDUCHU .....                                   | 8         |
| 3.2 RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU .....                         | 10        |
| 3.3 RYCHLOST VĚTRU .....                                    | 12        |
| 3.4 SMĚR VĚTRU .....                                        | 14        |
| 3.5 SRÁŽKY .....                                            | 16        |
| 3.6 CELKOVÝ RÁZ POČASÍ .....                                | 18        |
| <b>4. PYROTECHNICKÉ SLOŽE A CHEMIE OHŇOSTROJŮ .....</b>     | <b>19</b> |
| 4.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE .....                                | 19        |
| 4.2 OKYSLIČOVADLA .....                                     | 19        |
| 4.3 HOŘLAVINY (PALIVA) .....                                | 20        |
| 4.4 POJIDLA .....                                           | 21        |
| 4.5 ZMĚKČOVADLA .....                                       | 22        |
| 4.6 STABILIZÁTORY .....                                     | 22        |
| 4.7 KATALYZÁTORY .....                                      | 22        |
| 4.8 PROTISPÉKAVÉ (ANTISPÉKAVÉ) LÁTKY .....                  | 22        |
| 4.9 FLEGMATIZÁTORY .....                                    | 23        |
| 4.10 LÁTKY BARVÍCÍ PLAMEN .....                             | 23        |
| 4.10.1 Základní rozdělení.....                              | 23        |
| 4.10.2 Prvky používané pro zbarvení plamene .....           | 23        |
| 4.10.3 Barevný dým .....                                    | 25        |
| <b>5. KVALITA OVZDUŠÍ – PLYNY .....</b>                     | <b>27</b> |
| 5.1 OXID DUSIČITÝ (NO <sub>2</sub> ) .....                  | 28        |
| 5.2 OXIDY DUSÍKU (NO <sub>x</sub> ) .....                   | 31        |
| 5.3 OXID SIŘIČITÝ (SO <sub>2</sub> ) .....                  | 33        |
| 5.4 OXID UHELNATÝ (CO) .....                                | 36        |
| <b>6. KVALITA OVZDUŠÍ – SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE (PM) .....</b> | <b>39</b> |
| 6.1 ZÁKLADNÍ POPIS.....                                     | 39        |
| 6.2 MĚŘENÍ SUSPENDOVANÝCH ČÁSTIC.....                       | 40        |
| 6.3 PM <sub>10</sub> – RADIOMETRICKY .....                  | 41        |
| 6.4 PM <sub>2,5</sub> – RADIOMETRICKY .....                 | 46        |
| <b>7. TĚŽKÉ KOVY.....</b>                                   | <b>49</b> |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 7.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE .....        | 49        |
| 7.2 ARSEN .....                     | 50        |
| 7.3 KADMIUM .....                   | 52        |
| 7.4 NIKL .....                      | 54        |
| 7.5 OLOVO .....                     | 56        |
| 7.6 SHRNUÍ .....                    | 58        |
| <b>8. SOUHRN .....</b>              | <b>59</b> |
| 8.1 METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY .....   | 59        |
| 8.2 PLYNNÉ ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY ..... | 59        |
| 8.3 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE .....      | 60        |
| 8.4 TĚŽKÉ KOVY .....                | 61        |
| 8.5 ZÁVĚR.....                      | 62        |
| <b>9. LITERATURA .....</b>          | <b>63</b> |
| <b>PODĚKOVÁNÍ .....</b>             |           |

## SEZNAM ZKRATEK

|                   |                                                                                 |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| CO                | <i>oxid uhelnatý</i>                                                            |
| ČHMÚ              | <i>Český hydrometeorologický ústav</i>                                          |
| ČIA               | <i>Český institut pro akreditaci</i>                                            |
| EPA               | <i>Agentura pro ochranu životního prostředí (Environment Protection Agency)</i> |
| ICP-MS            | <i>hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou</i>                      |
| max               | <i>maximum</i>                                                                  |
| min               | <i>minimum</i>                                                                  |
| MS                | <i>hmotnostní spektrometrie (mass spectrometry)</i>                             |
| MŽP               | <i>Ministerstvo životního prostředí</i>                                         |
| NO                | <i>oxid dusnatý</i>                                                             |
| NO <sub>2</sub>   | <i>oxid dusičitý</i>                                                            |
| NO <sub>x</sub>   | <i>oxidy dusíku</i>                                                             |
| PM                | <i>suspendované částice (particulate matter)</i>                                |
| PM <sub>10</sub>  | <i>suspendované částice s aerodynamickým průměrem do a včetně 10 μm</i>         |
| PM <sub>2,5</sub> | <i>suspendované částice s aerodynamickým průměrem do a včetně 2,5 μm</i>        |
| RH                | <i>relativní vlhkost</i>                                                        |
| S                 | <i>sluneční radiace</i>                                                         |
| SO <sub>2</sub>   | <i>oxid siřičitý</i>                                                            |
| SOP               | <i>standardní operační postup</i>                                               |
| T                 | <i>teplota vzduchu</i>                                                          |
| TK                | <i>těžké kovy</i>                                                               |
| TSP               | <i>celkový polétavý prach (total suspended particles)</i>                       |
| VOC               | <i>těkavé organické látky (volatile organic compounds)</i>                      |
| WD                | <i>směr větru (wind direction)</i>                                              |
| WHO               | <i>Světová zdravotnická organizace (World Health Organization)</i>              |
| WS                | <i>rychlost větru (wind speed)</i>                                              |
| SZÚ               | <i>Státní zdravotní ústav</i>                                                   |

# 1. Úvod

Měření kvality ovzduší během hlučínské ohňostrojové přehlídky probíhalo v období od 31. do 2. září 2018. Pro odběr vzorků byl použit vzorkovač suspendovaných částic frakce PM<sub>10</sub> analýzu těžkých kovů. Navíc byl využit měřicí vůz, monitorující v 10minutových intervalech jak koncentrace vybraných znečišťujících látek v ovzduší, tak aktuální meteorologické podmínky.

Ohňostroje byly odpalovány z nedaleké pláže, přibližně 200 m západně od měřicí techniky.

Soubor měřených škodlivin zahrnoval znečišťující látky, pro které je stanoven imisní limit podle Zákona 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší (dále jen Zákon o ochraně ovzduší). Navíc byla provedena i analýza koncentrací těžkých kovů, přestože s výjimkou olova nejsou součástí pyrotechnických složí.

## 2. METODIKA

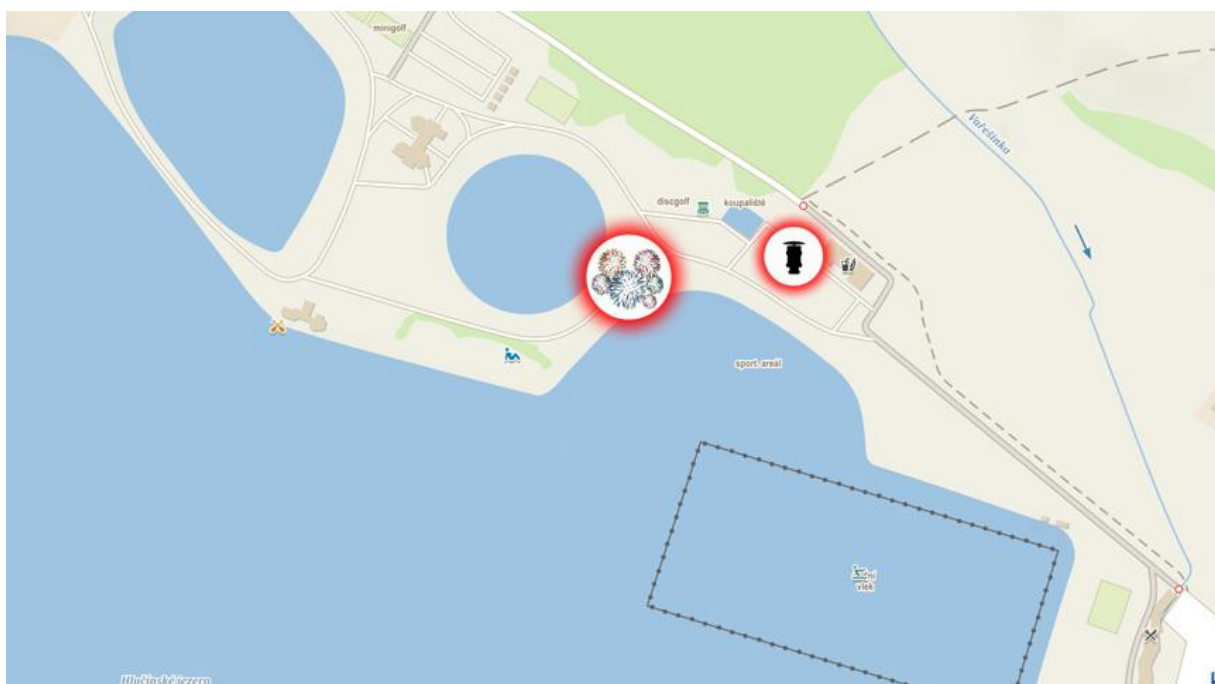
### 2.1 LOKALITA MĚŘENÍ

Ohňostroje (31. 8., 1. 9., 2. 9.) byly během přehlídky odpalovány z pláže, nacházející se asi 200 m západně od měřicí techniky. Měřicí vůz a vzorkovač byly umístěny v zóně, která během samotného odpalu nebyla přístupná veřejnosti. Prostor pro diváky začínal asi 60 m jihovýchodně od měřicí techniky. 470 m na jihovýchod pak bylo parkoviště s řadou pouťových atrakcí a stánky s občerstvením. Jižně a jihozápadně se nachází Hlučinské jezero (štěrkovna). Při výběru lokality bylo dbáno na to, aby senzor větru, umístěný na měřícím voze, byl nad okolním terénem tak, aby nebyla v jeho bezprostřední blízkosti v žádném směru překážka, neboť získané informace o četnostech a rychlostech větru by byly zkreslené.

#### Místo měření – GPS souřadnice:

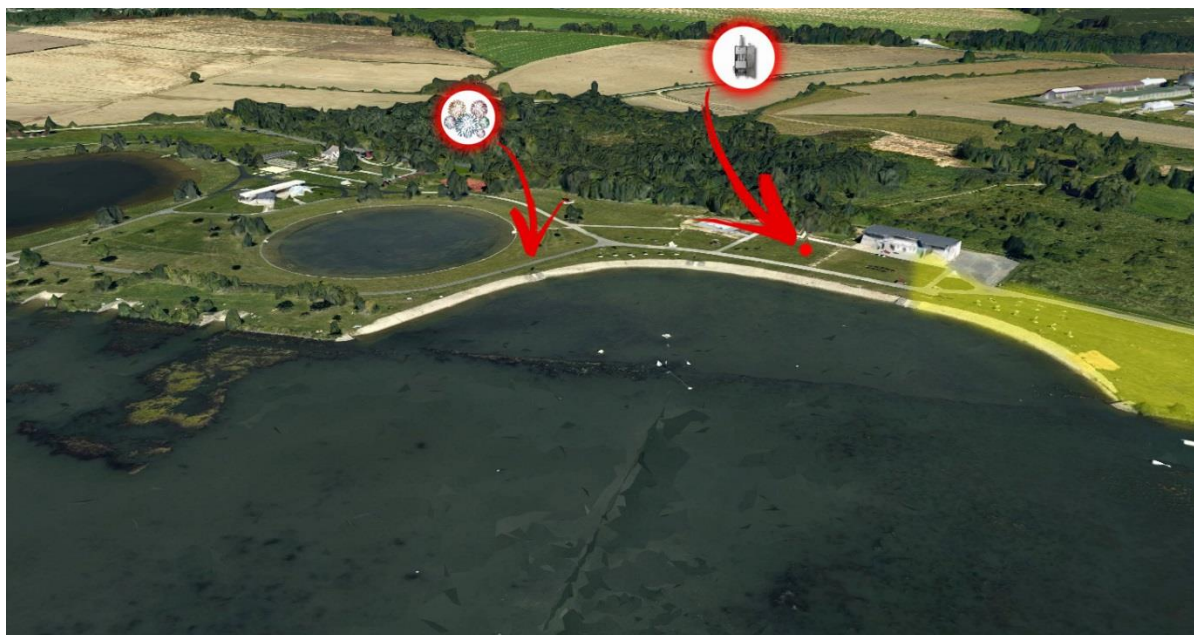
49° 53' 42.056" s. š.

18° 10' 23.152" v. d.

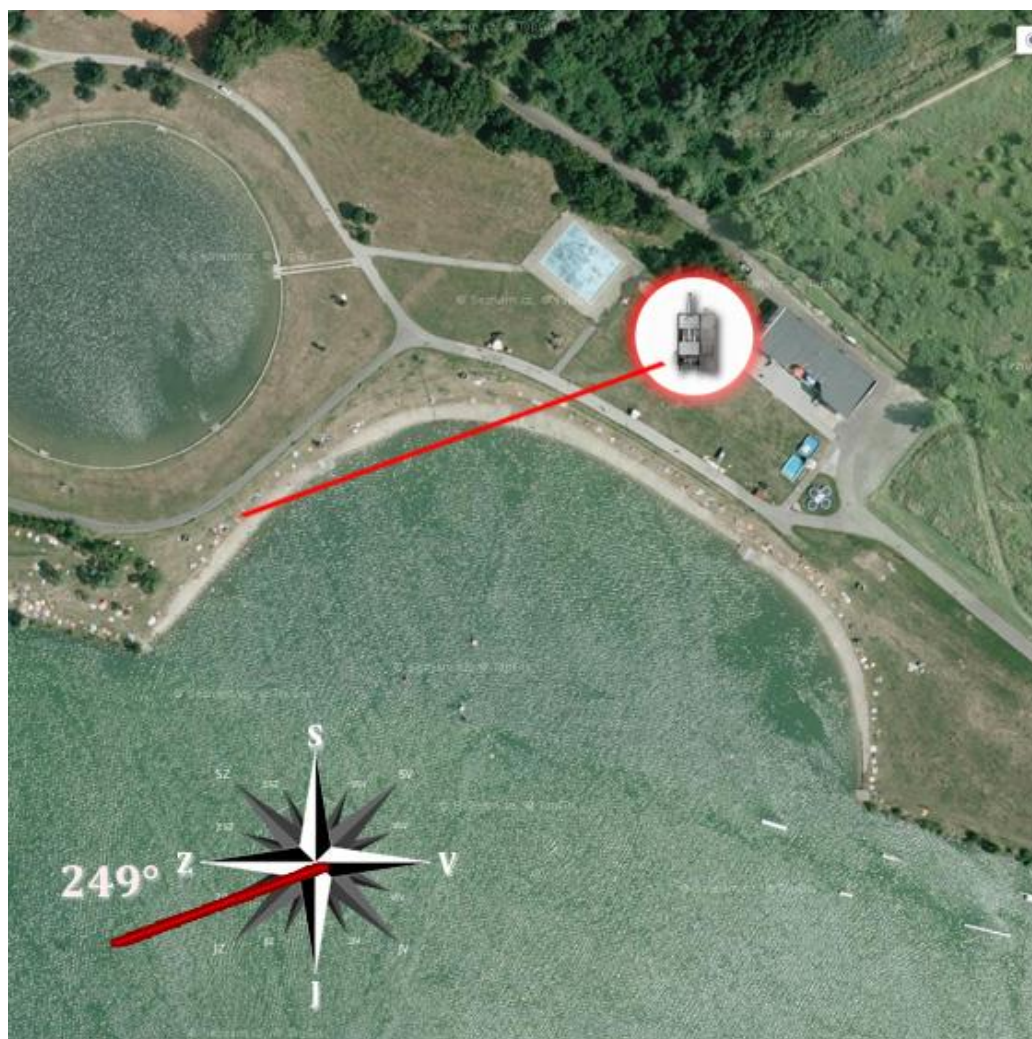


Obrázek 1 - Oblast Hlučinského jezera s vyznačením umístění měřicí techniky a oblast odpalovacího prostoru. Zdroj: mapy.cz





Obrázek 2 - 3D pohled na místo měření a odpalovací prostor. Žlutě jsou zvýrazněny lokality hlavního pohybu osob v blízkosti měřicího místa. Zdroj: mapy.cz



Obrázek 3 - Satelitní snímek lokality s vyznačením směru umístění měřicí techniky vůči odpalovacímu prostoru. Zdroj: mapy.cz



## 2.2 MĚŘÍCÍ TECHNIKA

- sekvenční vzorkovač Leckel SEQ 47/50 + hlavice Digitel PM<sub>10</sub>
- měřicí vůz

Data použitá pro analýzu a vyhodnocení pochází z přístrojů ČHMÚ (vzorkovač) a z měřicího vozu provozovaného ČHMÚ. Český hydrometeorologický ústav splňuje podmínku autorizace pro měření podle MŽP a je navíc akreditován podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 jako zkušební laboratoř č. 1460. Některé z odběrů byly provedeny akreditovanými metodami. Konkrétně se jedná o 24h odběry pro gravimetrii a analýzy těžkých kovů s platným imisním limitem (As, Cd, Ni, Pb). Akreditace metod mj. zaručuje návaznost na certifikovaný referenční materiál v průběhu laboratorních analýz. Více informací o rozsahu a podmínkách akreditace lze najít na stránkách Českého institutu pro akreditaci (ČIA), Národního akreditačního orgánu na <http://www.cia.cz>.

## 2.3 MĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY

### 2.3.1 LECKEL SEQ 47/50, PM<sub>10</sub>

- PM<sub>10</sub> – gravimetrická metoda
- stanovení těžkých kovů s platným imisním limitem (As, Cd, Ni, Pb) metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou (ICP-MS)

Odběry byly prováděny vždy ve 24h intervalu, od 8:00 do 8:00 SELČ následujícího dne. Odběr probíhal od pátku 31. srpna 2018 08:00 do úterý 4. září 2018 08:00, byly tedy provedeny celkem čtyři 24h odběry. Tři odběry zahrnovaly ohňostroje, poslední 24h odběr sloužil jako referenční pozadí.

### 2.3.2 MĚŘÍCÍ VŮZ

- PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> – radiometrická metoda [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
- NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> – chemiluminiscence [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
- SO<sub>2</sub> – UV fluorescence [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
- CO – IR absorpční spektrometrie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
- O<sub>3</sub> – UV fotometrie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
- teplota vzduchu [°C]
- relativní vlhkost vzduchu [%]
- rychlost větru [m/s]
- směr větru [°]

- sluneční radiace [ $\text{W/m}^2$ ]

Měření měřícím vozem probíhalo v 10minutovém intervalu a data byla v reálném čase přenášena do centrálního počítače ostravské pobočky a ukládána.



Obrázek 4 - Vzorkovače Leckel SEQ 47/50 ( $\text{PM}_{10}$ , jeden záložní)



Obrázek 5 - Měřicí technika

## 2.4 PLÁN MĚŘENÍ

Začátek přehlídky: 31. 8. 2018

Konec přehlídky: 2. 9. 2018

Ohňostroje: 31. 8., 1. 9., 2. 9. vždy od 21:00 do cca 21:15

Tabulka 1 - plán měření. Ve sloupci datum jsou oranžově vyznačeny dny konání ohňostroje. Časy v jednotlivých buňkách odpovídají intervalu měření a jsou přiřazeny vždy k začátku a sahají do následujícího dne.

| Datum    | Leckel SEQ 47/50 + PM <sub>10</sub> | Měřící vůz                          |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| čt 30.8. | přistavení na místo                 |                                     |
| pá 31.8. | 08:00 – 08:00                       | kontinuální měření<br>00:00 – 00:00 |
| so 1.9.  | 08:00 – 08:00                       |                                     |
| ne 2.9.  | 08:00 – 08:00                       |                                     |
| po 3.9.  | 08:00 – 08:00                       |                                     |
| út 4.9.  | odstavení                           |                                     |

## 2.5 DOSTUPNOST DAT

Požadavky na kvalitu dat ČHMÚ stanovují minimální dostupnost 90 % dat, aby bylo možné vyhodnotit denní průměrné koncentrace. V tabulce níže jsou uvedeny dostupnosti dat pro jednotlivé

parametry. Měření byla zahájena 31. srpna a ukončena 4. září v ranních hodinách. Retrospektivně však byly některé na první pohled neplatné hodnoty vyřazeny.

### Měřicí vůz

31. 8. 2018 00:00 až 4.9.2018 08:00, 10minutový interval

Tabulka 2 - Dostupnost dat z měřicího vozu

| Látka                | SO <sub>2</sub> | NO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | PM <sub>10</sub> | PM <sub>2,5</sub> | CO    | T     | RH    | WS    | WD    | S     |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Platných dat         | 581             | 581             | 581             | 608              | 608               | 581   | 609   | 608   | 608   | 608   | 608   |
| Teoretický počet dat | 616             | 616             | 616             | 616              | 616               | 616   | 616   | 616   | 616   | 616   | 616   |
| Dostupných dat       | 94,3%           | 94,3%           | 94,3%           | 98,7%            | 98,7%             | 94,3% | 98,9% | 94,3% | 94,3% | 94,3% | 94,3% |

Z tabulky je vidět, že dostupnost dat z měřicího vozu je pro všechny měřené veličiny vyšší než požadovaných 90 %. Během čtyřdenního měření došlo ke dvěma výpadkům elektrického proudu – 31. srpna od 08:20 do 08:30 a 3. září od 12:30 do 13:20. Zbylá chybějící měření odpovídají intervalům, kdy probíhalo ověření správné funkce daného analyzátoru.

### Vzorkovač

V případě vzorkovače SEQ 47/50 byly úspěšně realizovány všechny plánované odběry.

## 2.6 POUŽITÝ SOFTWARE/TECHNOLOGIE

Během analýz a vyhodnocení byl použit následující software/technologie:

- R software x64 3.4.4
- RStudio + modul Openair
- Statistica 13.0
- Microsoft Visual Studio Code
- Highcharts 6.1.1
- Highstock 6.1.1
- Microsoft Excel 2016
- SQL + PHP 7.1 + Javascript + jQuery
- Adobe Photoshop CS5
- GIMP 2

### 3. METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY

Meteorologické podmínky byly sledovány v 10minutovém intervalu měřícím vozem. Měřena byla teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru a intenzita slunečního záření. Pro vyhodnocování kvality ovzduší jsou důležité především parametry týkající se větru. Rychlost a směr větru udávají směr respektive rychlost šíření kouřové vlečky od místa odpalu.

Kromě měřených meteorologických parametrů má na kvalitu ovzduší vliv i srážkový úhrn. Měřící vůz množství srážek neměří a přímo v Hlučíně nemá ČHMÚ žádný srážkoměr. Vzhledem k charakteru počasí během konání přehlídky a obecně v létě (lokální srážky a bouřky) je nejpřesnější metodou pro odhad množství srážek analýza radarového snímku.

Pro hodnocení počasí během konání hlučinských ohňostrojů byla použita z 10minutová data z měřícího vozu. Data ze 4. září nelze brát v potaz pro průměrování, protože bylo měření ukončeno v ranních hodinách, proto jsou veškeré statistiky založeny na datech od 31. 8. 2018 0:00 do 3. 9. 2018 23:50. Data jsou dále doplněna o srážkové úhrny z blízkých stanic ČHMÚ a o radarové snímky.

### 3.1 TEPLOTA VZDUCHU

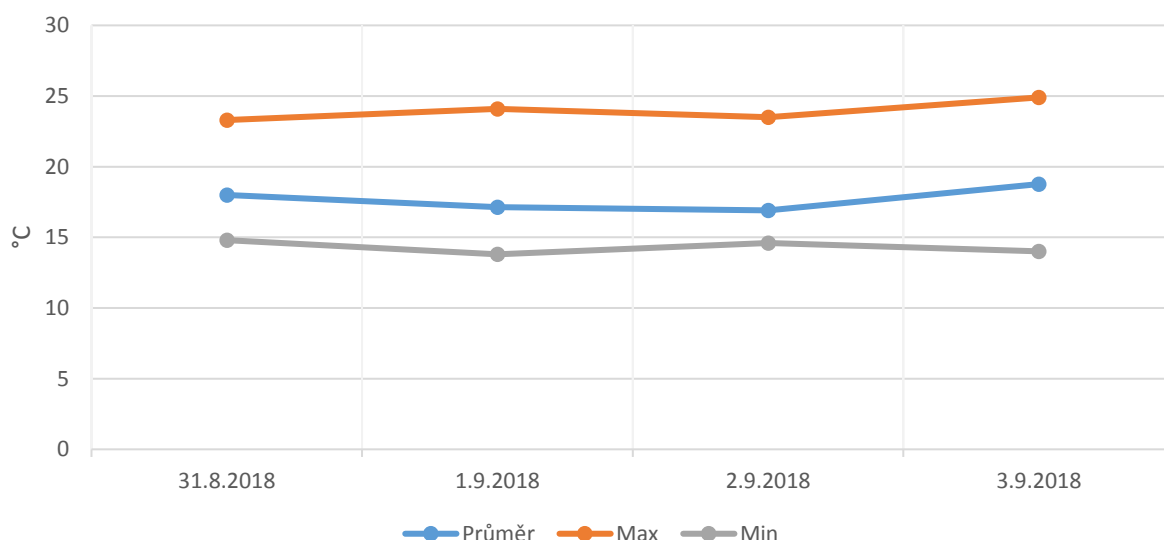
Průměrná denní teplota se v průběhu přehlídky pohybovala po celou dobu kolem 17 až 19 °C (celkový průměr 18,00 °C). Nejvyšší průměrná denní teplota vzduchu byla naměřena v poslední kompletní den měření, tedy 3. září, a to 18,77 °C. Naopak nejnižší průměrná denní teplota byla naměřena třetí ohňostrojoový den 2. září a měla hodnotu 16,91 °C.

Absolutní maximum 24,9 °C bylo pozorováno 3. září v 16:50. Naopak absolutní minimum 13,8 °C bylo naměřeno v několika 10minutových intervalech 1. září mezi 4:30 a 5:50. Nejvyšší denní rozsah teplot byl pozorován 3. září (10,9 °C; max 24,9 °C; min 14,0 °C), nejnižší 31. srpna (8,5 °C; max 23,3 °C; min 14,8 °C).

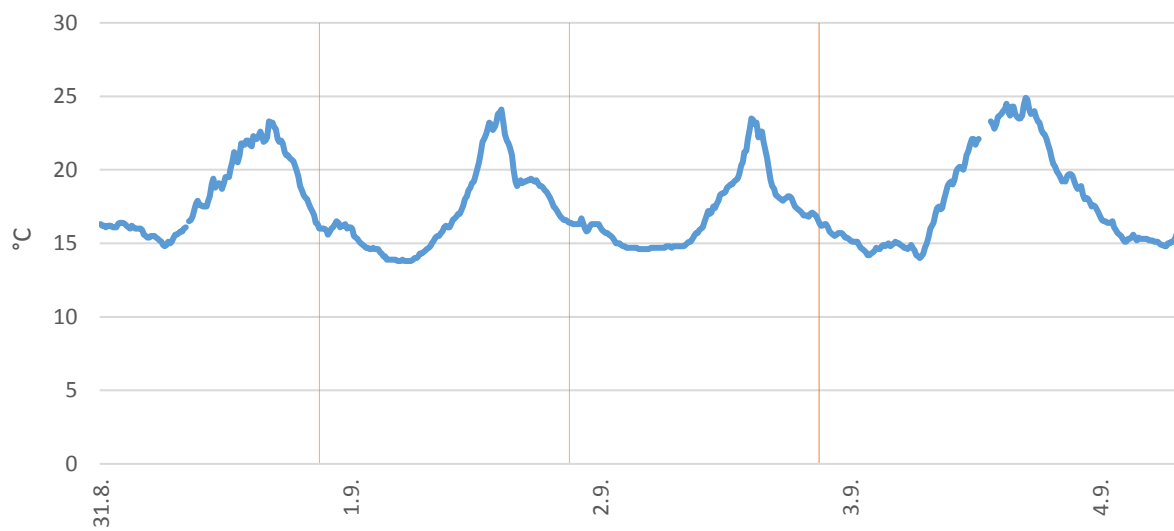
Z průběhu teplot (Obrázek 7) je patrné standardní denní a noční kolísání teplot, lze také říci, že denní maxima, minima a průměr byly ve všechny dny takřka shodné. Ohňostroje, ani zvýšený pohyb osob v místě konání na teplotu vzduchu neměly žádný vliv.

Tabulka 3 - Denní průměrné, maximální a minimální teploty vzduchu a teplotní rozsah [°C]. Oranžově zvýrazněné dny jsou dny konání ohňostroje.

| Den                | Průměr | Max  | Min  | Rozsah |
|--------------------|--------|------|------|--------|
| <b>31. 8. 2018</b> | 18.00  | 23.3 | 14.8 | 8.5    |
| <b>1. 9. 2018</b>  | 17.14  | 24.1 | 13.8 | 10.3   |
| <b>2. 9. 2018</b>  | 16.91  | 23.5 | 14.6 | 8.9    |
| 3. 9. 2018         | 18.77  | 24.9 | 14.0 | 10.9   |



Obrázek 6 - Denní průměrné, maximální a minimální teploty vzduchu



Obrázek 7 - Průběh teploty vzduchu během přehlídky. Oranžově jsou vyšrafovány začátky ohňostrojí.

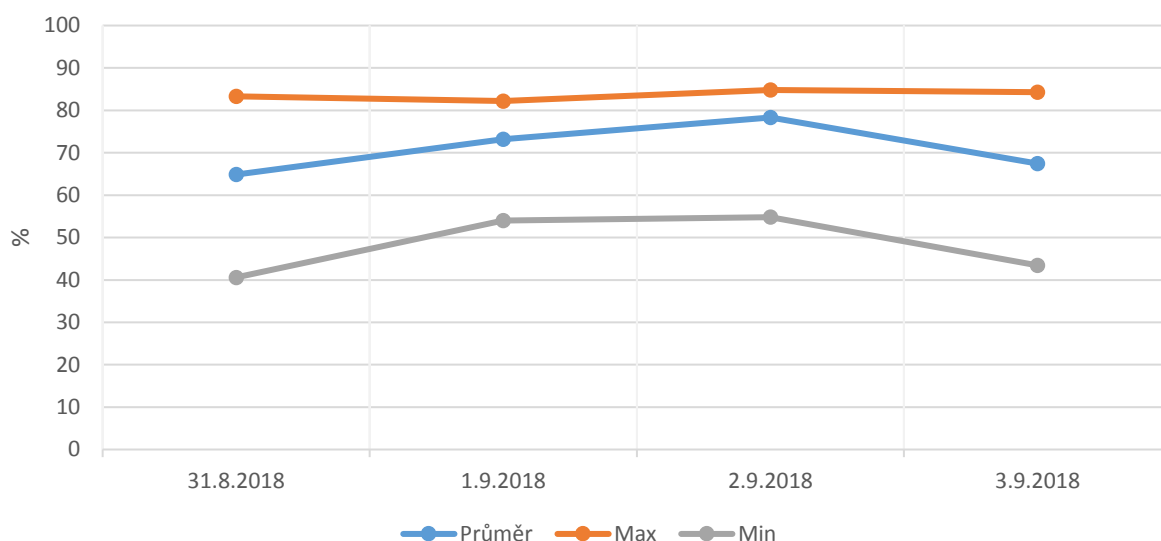


## 3.2 RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU

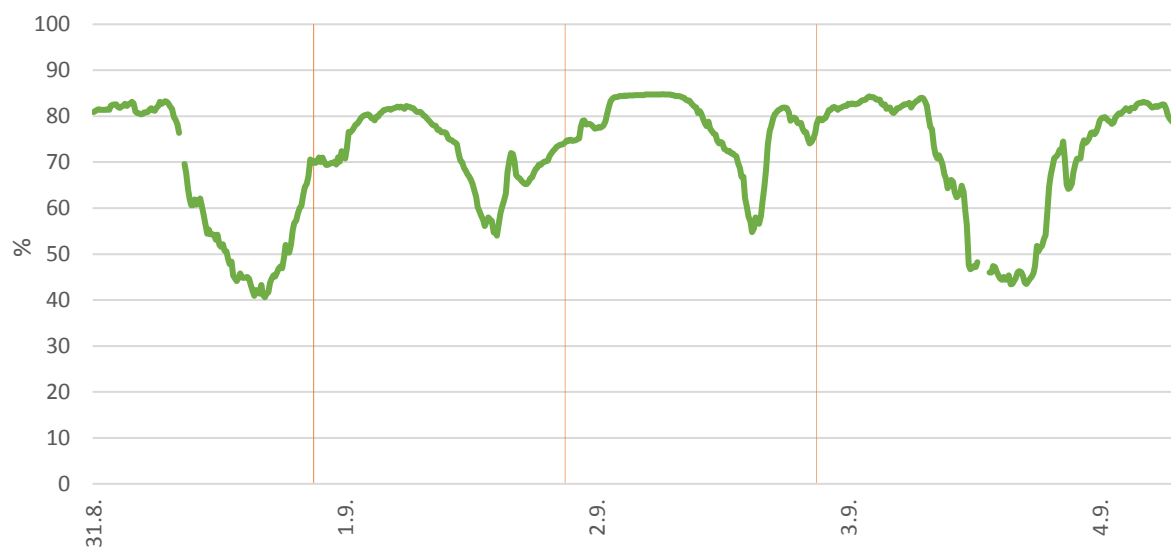
Průměrná relativní vlhkost od 31. srpna do 3. září včetně byla 70,95 %. Nejvyšší denní průměr byl naměřen 2. září (78,31 %). Naopak nejnižší denní průměr činil 64,86 % 31. září. Absolutně nejvyšší hodnota relativní vlhkosti vzduchu byla naměřena 2. září v 6:20 ráno (84,8 %). Absolutně nejnižší naměřenou hodnotou bylo 40,6 %, 31. srpna v 16:20.

Tabulka 4 - Denní průměrné, maximální a minimální relativní vlhkosti vzduchu a rozsah [%]. Oranžově zvýrazněné dny jsou dny konání ohňostroje.

| Den                | Průměr | Max  | Min  | Rozsah |
|--------------------|--------|------|------|--------|
| <b>31. 8. 2018</b> | 64.86  | 83.3 | 40.6 | 42.7   |
| <b>1. 9. 2018</b>  | 73.19  | 82.2 | 54.0 | 28.2   |
| <b>2. 9. 2018</b>  | 78.31  | 84.8 | 54.8 | 30.0   |
| 3. 9. 2018         | 67.45  | 84.3 | 43.4 | 40.9   |



Obrázek 8 - Denní průměrné, maximální a minimální relativní vlhkosti vzduchu



Obrázek 9 - Průběh relativní vlhkosti vzduchu během přehlídky. Oranžově jsou vyšrafovány začátky ohňostrojů.

### 3.3 RYCHLOST VĚTRU

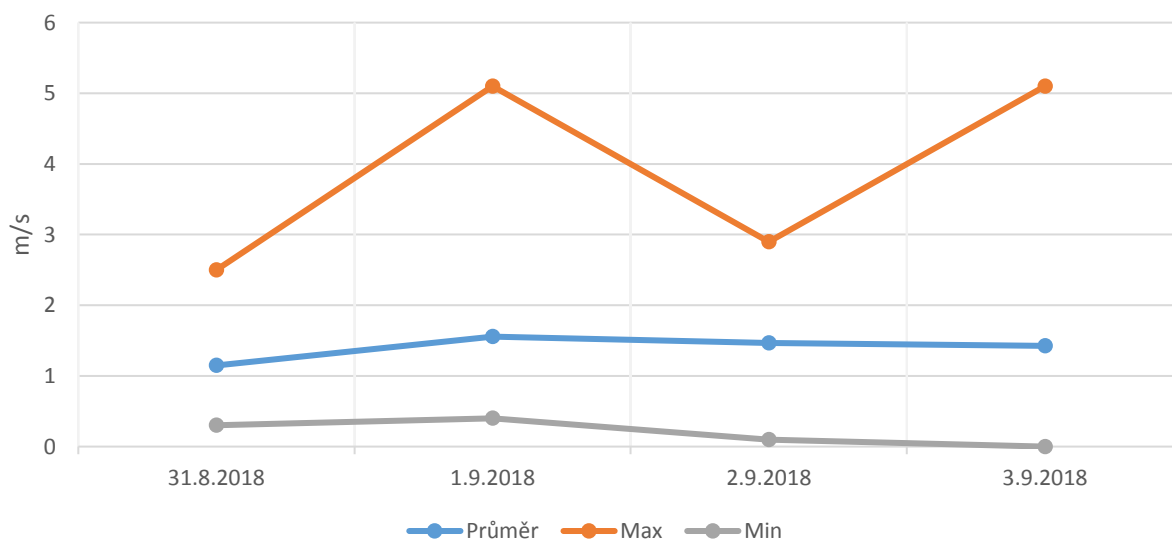
Jak již bylo zmíněno výše, je rychlost větru velmi důležitým parametrem při hodnocení kvality ovzduší. Proudění vzduchu udává rychlost a směr rozptylu v atmosféře. Obecně lze říci, že nízké rychlosti větru podporují nepříznivé rozptylové podmínky spojené s měřenými vyššími koncentracemi znečišťujících látek. Naopak vyšší rychlosti větru zajišťují rychlejší a intenzivnější rozptyl.

Celková denní průměrná rychlost větru v době měření byla 1,4 m/s (5,0 km/h). Nejvyšší denní průměr byl zaznamenán 1. září (1,56 m/s = 5,62 km/h). Po celou dobu konání ohňostroje byly průměrné denní rychlosti větru velmi nízké, pod 2 m/s.

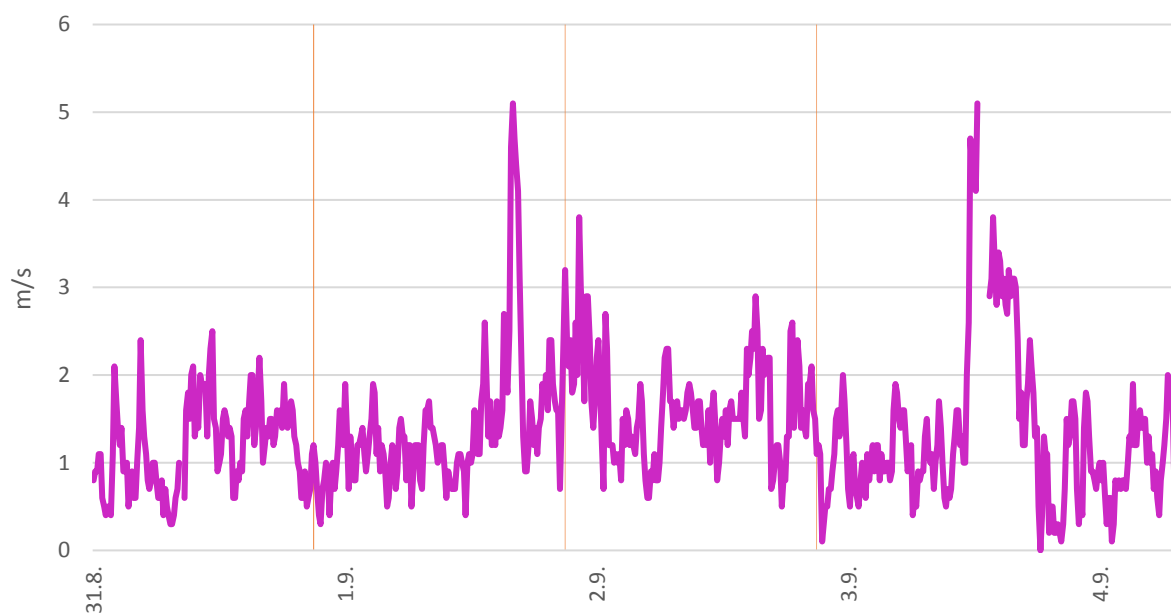
Absolutní maximum rychlosti větru bylo naměřeno 1. září v 16:00 a 3. září ve 12:20, a to 5,1 m/s (18,4 km/h). Úplné bezvětří (0 m/s) bylo naměřeno 3. září v 18:20. Rychlosti pod 1 m/s (3,6 km/h) byly naměřeny ve 28,9 % doby měření.

Tabulka 5 - Denní průměrné, maximální a minimální rychlosti větru a rozsah [m/s]. Oranžově zvýrazněné dny jsou dny konání ohňostroje.

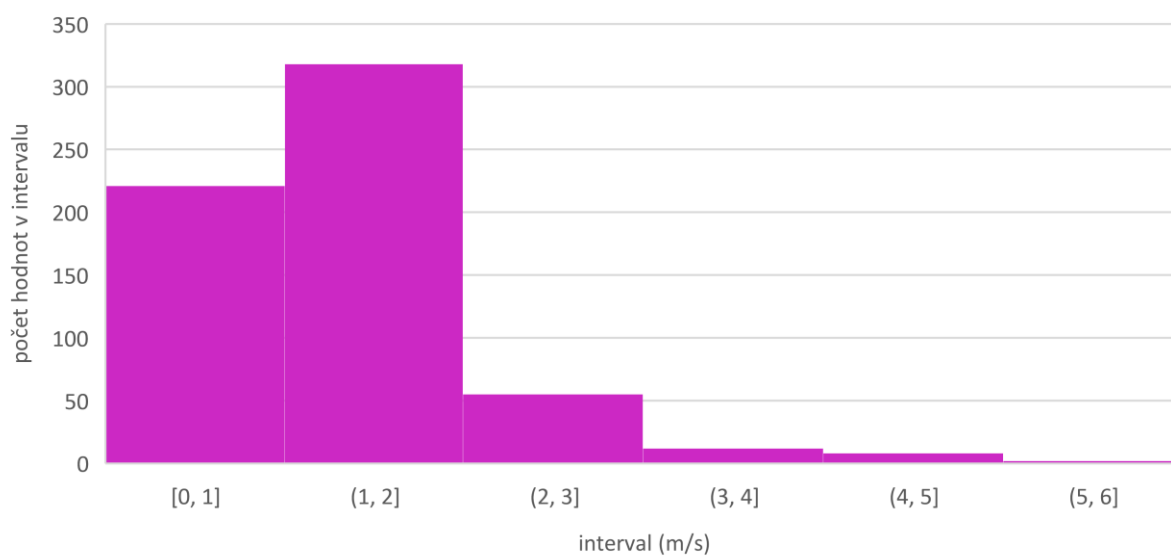
| Den                | Průměr | Max | Min | Rozsah |
|--------------------|--------|-----|-----|--------|
| <b>31. 8. 2018</b> | 1.15   | 2.5 | 0.3 | 2.2    |
| <b>1. 9. 2018</b>  | 1.56   | 5.1 | 0.4 | 4.7    |
| <b>2. 9. 2018</b>  | 1.47   | 2.9 | 0.1 | 2.8    |
| 3. 9. 2018         | 1.42   | 5.1 | 0.0 | 5.1    |



Obrázek 10 - Denní průměrné, maximální a minimální rychlosti větru



Obrázek 11 - Průběh rychlosti větru. Oranžově jsou vyšrafovány začátky ohňostrojů.



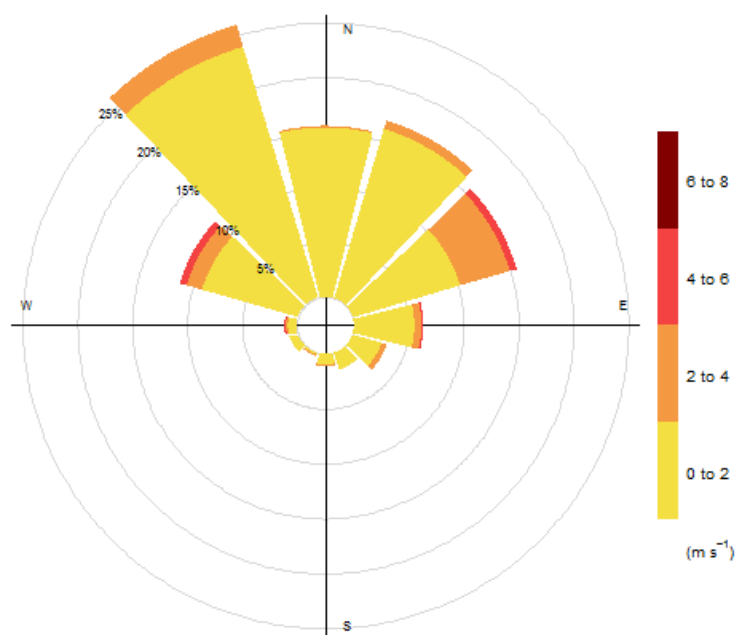
Obrázek 12 - Histogram rychlostí větru s krokem 1 m/s

### 3.4 SMĚR VĚTRU

Stejně jako rychlost větru je také směr větru klíčový při hodnocení kvality ovzduší. Tento parametr udává hlavní směr šíření látek v ovzduší od místa zdroje. Ze statistického hlediska vyplynulo, že v oblasti Hlučínského jezera převažuje západní a severozápadní vítr. S ohledem na to byla vybrána i lokalita měření tak, aby existovala co nejvyšší pravděpodobnost, že bude vítr foukat od odpalovacího pontonu směrem k měřicím zařízením.

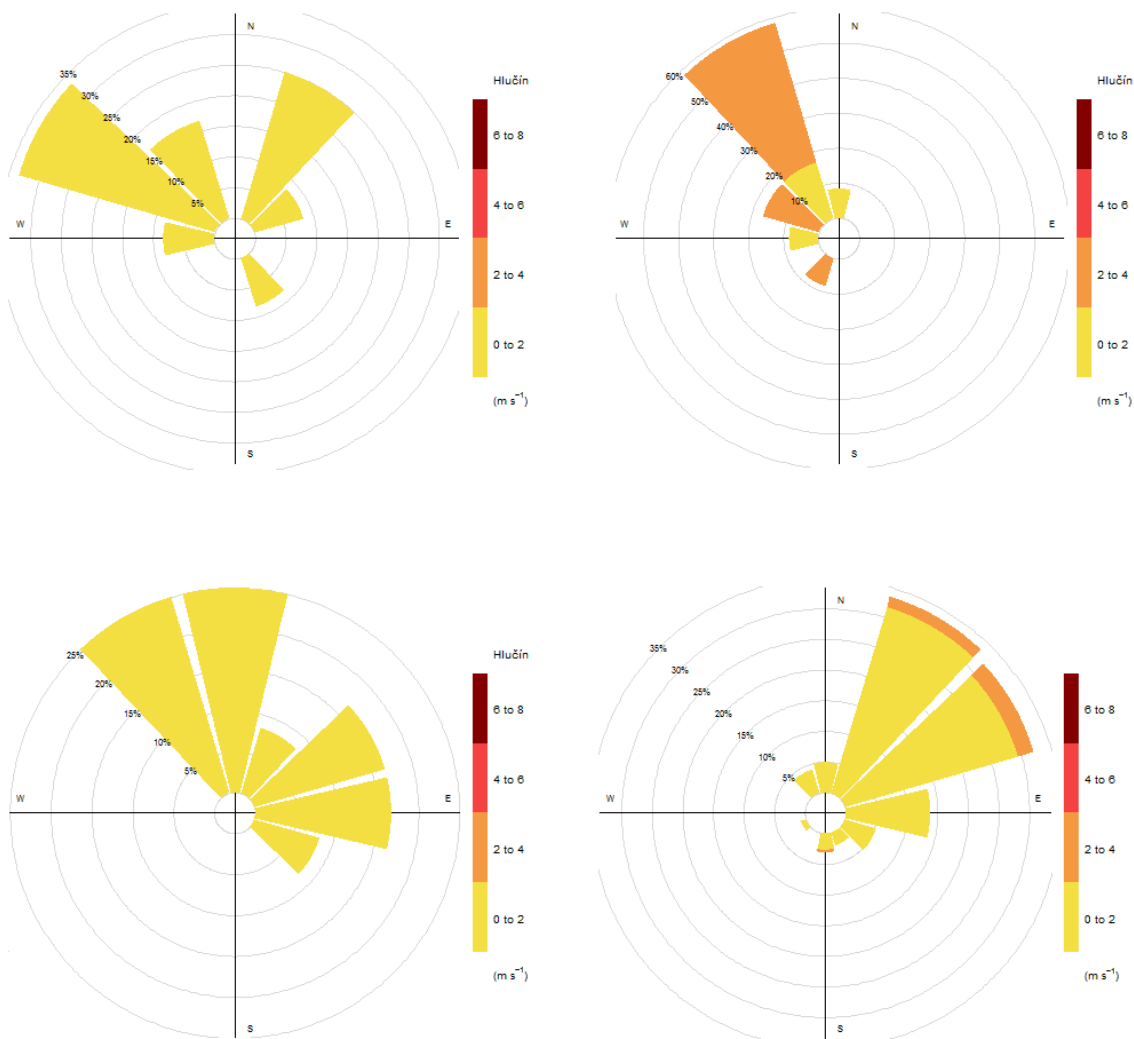
Na základě analýzy z období 31. srpna až 3. září lze říci, že dominantní bylo SZ proudění a téměř zcela vůbec nebylo naměřeno proudění z jižních směrů. Nejvyšších rychlostí bylo rovněž dosahováno ze SZ.

Obrázek 13 ukazuje převažující směr a příslušný podíl rychlostí větru v daném směru prostřednictvím větrné růžice v kroku 2 m/s.



Obrázek 13 - Větrná růžice za celé období měření

Pro srovnání byly vytvořeny také větrné růžice z období ohňostrojů a z období mimo ohňostroje. Období ohňostroje představuje na následujících růžicích interval 21-03 h, tedy 6 h bezprostředně po odpálení. Období mimo ohňostroj představuje také interval 21-03 h, ale v poslední den měření (3. 9. 2018), tedy v den, kdy již žádný ohňostroj odpalovaný nebyl.



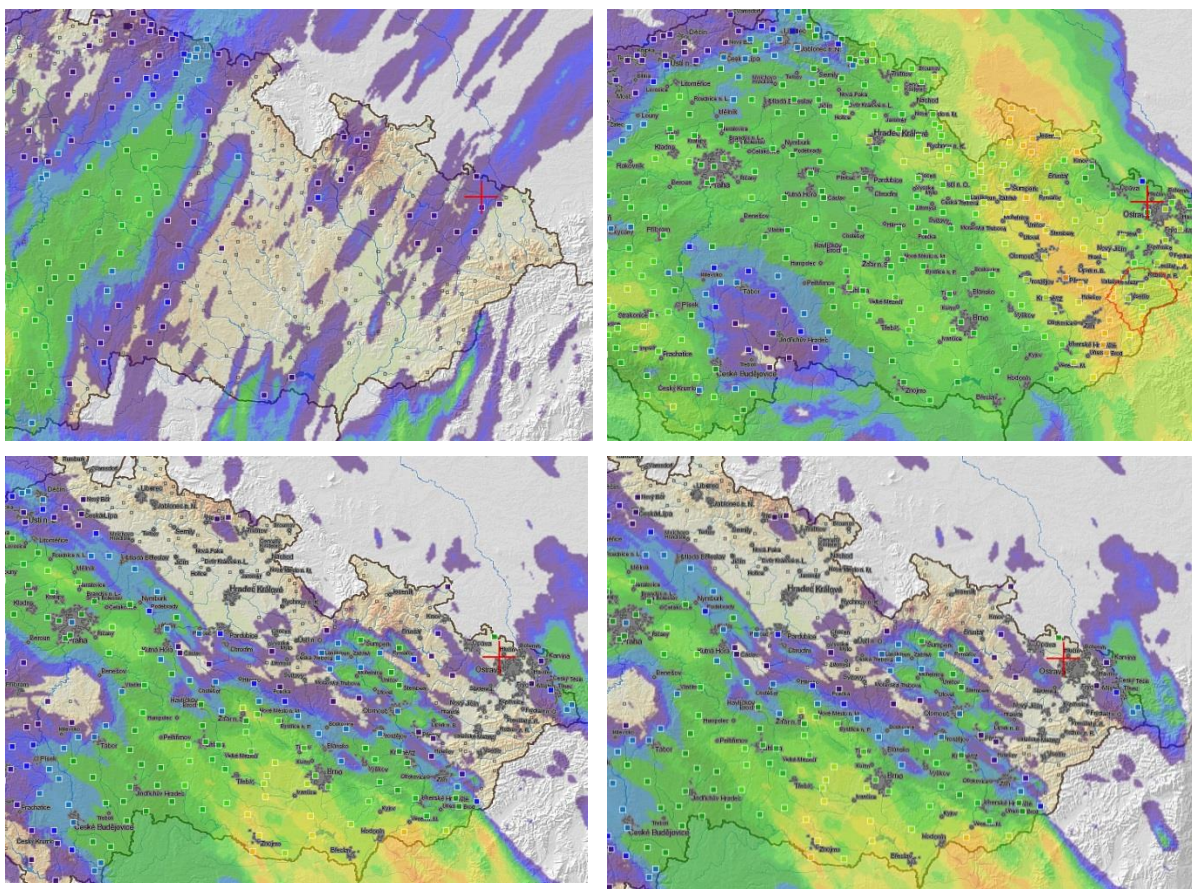
Obrázek 14 - Větrné růžice z období 31. 8. 21-03 h (vlevo nahoře), 1. 9. 21-03 h (vpravo nahoře), 2. 9. 21-03 (vlevo dole) a 3. 9. 21-03 h (vpravo dole) s rozložením rychlostí větru v intervalu 2 m/s.

Z výše uvedených větrných růžic je patrné, že vyšší rychlosti větru byly pozorovány pouze během druhého ohňostroje, v sobotu 1. září. Z radarovo-srážkových snímků a informací od pracovníka ČHMÚ v místě konání je známo, že krátce po skončení ohňostroje se v místě konání vyskytla silná bouřka a déšť. Vyšší rychlosti větru během ohňostroje souviseli právě s přicházející bouřkou z jihozápadu.

### 3.5 SRÁŽKY

Přímo v místě konání přehlídky v lokalitě Hlučín nemá ČHMÚ srážkoměr a množství srážek neměří ani měřicí vůz. Lze však vycházet z radarových snímků a z dat z některé z blízkých stanic.

Následující čtyři radarové snímky představují kombinovaný radarovo-srážkoměrný odhad srážek v 6h období pro území ČR, vždy od 21:00 do 03:00 následujícího dne, tedy 6 h od odpálení ohňostroje. Z grafu je patrné, že 1. září, tedy v den konání druhého ohňostroje, byl v lokalitě Hlučín a okolí pozorován intenzivní déšť s bouřkou.



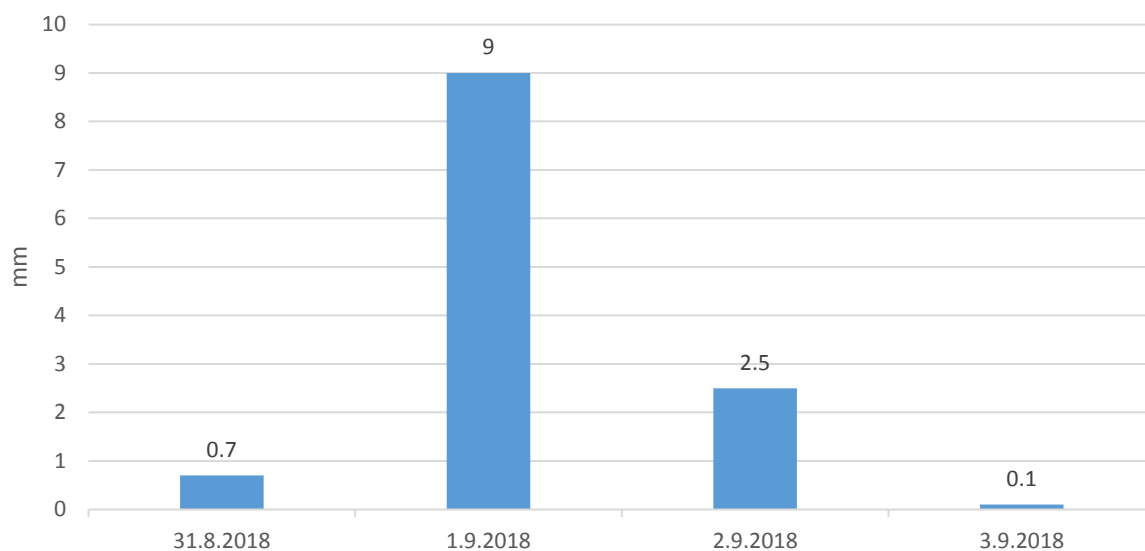
Obrázek 15 - Kombinovaný radarovo-srážkoměrný odhad srážek za 6h pro území ČR. Vlevo nahoře 31.8., vpravo nahoře 1.9., vlevo dole 2.9. a vpravo dole 3.9. Obrázek vždy odpovídá intervalu 21:00 až 03:00. Červený křížek odpovídá lokalitě zájmu..

Pro vyhodnocení přibližného množství srážek byla použita data z automatické stanice Ostrava-Poruba. Jedná se o stanici umístěnou v prostorách ostravské pobočky ČHMÚ, asi 8,0 km JJZ od místa odpalování ohňostroju.



Tabulka 6 - Denní srážkové úhrny [mm] ze stanice Ostrava-Poruba. Oranžově zvýrazněné dny jsou dny konání ohňostroje.

|                    | srážky (mm) |
|--------------------|-------------|
| <b>31. 8. 2018</b> | 0,7         |
| <b>1. 9. 2018</b>  | 9,0         |
| <b>2. 9. 2018</b>  | 2,5         |
| 3. 9. 2018         | 0,1         |
| <b>Celkem</b>      | <b>12,3</b> |



Obrázek 16 - Denní srážkové úhrny na stanici Ostrava-Poruba

### 3.6 CELKOVÝ RÁZ POČASÍ

Tabulka 7 - Souhrn počasí v lokalitě Hlučín v době od 31. 8. do 3. 9. 2018. Oranžově jsou zvýrazněny dny ohňostrojų.

|                    | Východ Slunce | Západ Slunce | Teploty<br>°C | Rychlost větru |      |
|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------|------|
|                    |               |              |               | m/s            | km/h |
| <b>31. 8. 2018</b> | 06:01         | 19:36        | 15 až 23      | 1,2            | 4,3  |
| <b>1. 9. 2018</b>  | 06:03         | 19:34        | 14 až 24      | 1,6            | 5,8  |
| <b>2. 9. 2018</b>  | 06:04         | 19:32        | 15 až 24      | 1,5            | 5,4  |
| 3. 9. 2018         | 06:06         | 19:29        | 14 až 25      | 1,4            | 5,0  |

## 4. PYROTECHNICKÉ SLOŽE A CHEMIE OHŇOSTROJŮ

### 4.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

Pyrotechnické složky jsou základem ohňostrojů, jedná se o velmi rozsáhlou řadu výrobků tvořených směsí několika základních složek a dalších příměsí pro dosažení konkrétního efektu. V podstatě se jedná o směs:

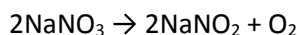
- hořlaviny (paliva)
- okysličovadla
- pojidla
- solí různých kovů, které vyvolávají různé zbarvení plamene
- jiných specifických přísad podle požadovaného výsledného efektu

Díky různým příměsím a jejich specifickým poměrům lze dosáhnout různých světelných, tepelných, zvukových, tlakových, dýmových a pohybových účinků (Válek, 2009).

### 4.2 OKYSLIČOVADLA

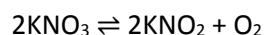
Okysličovadla v pyrotechnických složích jsou látky s vysokým obsahem kyslíku. Tyto sloučeniny jsou schopny při svém rozkladu uvolňovat kyslík potřebný pro hoření. Jedná se o pevné látky, které musí být chemicky stálé a co nejméně vázat vzdušnou vlhkost. Nejčastěji používané jsou dusičnany, chlorečnany, chloristany, peroxidy a oxidy (Posson, 2002).

- **dusičnany ( $\text{NO}_3$ )**
  - **dusičnan sodný ( $\text{NaNO}_3$ )** – někdy označovaný také jako chilský ledek. Bílé zbarvená látka velmi snadno rozpustná ve vodě. Kromě pyrotechnických složí se využívá také do hnojiv nebo jako potravinový konzervant (Gellings, 2016; Silva, 2016). Při vyšších teplotách dochází k jeho rozkladu na dusitan sodný a kyslík podle



Používání této látky jako okysličovadla v pyrotechnických složích je na ústupu, protože na sebe ve větší míře váže vzdušnou vlhkost.

- **dusičnan draselný ( $\text{KNO}_3$ )** – někdy také označovaný jako ledek draselný nebo salnytr. Používá se mj. jako dusíkaté hnojivo (Sharma, 2016), ale je také nedílnou součástí střelného prachu a dýmovnic (Conkling, 2010). Při teplotách mezi 550 a 790 °C dochází k rovnovážnému stavu



- **dusičnan barnatý ( $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ )** – bezbarvá anorganická látka, dobře rozpustná ve vodě. Při hoření se barví do zelena. V kombinaci s některými látkami jako například hliníkovým práškem je silně výbušný (Akhavan, 2011). Je velmi jedovatý a polknutí může být smrtelné (Bahlmann, 2005).
- **dusičnan strontnatý ( $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ )** – bílá, krystalická látka barvící plamen do ruda.
- **chlorečnany ( $\text{ClO}_3$ )**
  - **chlorečnan draselný ( $\text{KClO}_3$ )** – tzv. Bertholetova sůl, bílá krystalická látka s velmi explozivními účinky. Často se používá k vytvoření kouře a využívá se například při výrobě zápalek.
  - **chlorečnan barnatý ( $\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$ )** – bílá, krystalická látka vytvářející zeleně zbarvený plamen. Za tepla se rozkládá a uvolňuje kyslík
$$\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2 \rightarrow \text{BaCl}_2 + 3\text{O}_2$$
- **chloristany ( $\text{ClO}_4$ )**
  - **chloristan draselný ( $\text{KClO}_4$ )** – silné oxidační činidlo, patří mezi nejpoužívanější okysličovadla v pyrotechnice.
  - **chloristan amonný ( $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ )** – bílý prášek rozpustný ve vodě.

### 4.3 HOŘLAVINY (PALIVA)

Hořlaviny jsou organické i anorganické látky hořící s kyslíkem, který poskytuje okysličovadlo. Během hoření musí uvolňovat dostatečné množství tepla a ohřát celou slož na zápalnou teplotu. Může se jednat o látky velmi jednoduché (cukr, plasty, pryskyřice), ale i velmi speciální.

Hořlaviny uvolňující větší množství tepla se používají pro explozivní, světelné a zábleskové efekty, naopak látky uvolňující menší množství tepla se používají k tvorbě dýmu.

Většinou jsou hořlaviny založené na práškovém kovu. Některé z hořlavin fungují zároveň jako pojiva. Obecně se může jednat o kovy, polokovy, nekovové anorganické látky, organické látky a organické polymery a pryskyřice.

#### Příklady hořlavin:

- **hliník** – velmi často používaná hořlavina. Během hoření poskytuje méně energie na jednotku hmotnosti než uhlík, ale netvoří tolik plynu. Vločkovitá forma je snadněji zápalná než kulovité částičky. Velikost částic se volí podle požadované rychlosti hoření (Beckstead, 2005).

- **hořčík** – hořlavější než hliník, zároveň tak ale hrozí vyšší riziko spontánního vznícení při nevhodném skladování. V pyrotechnických složích se používá mj. ke zvýšení teploty hoření (Zhu, 2014).
- **magnalium** – slitina hliníku, obsahující 5 až 50 % hořčíku. Vyznačuje se vysokou pevností a zároveň nízkou hustotou a hmotností. V práškovém stavu se jedná o velmi reaktivní látku. Kombinuje v sobě reaktivitu hořčíku a stabilitu hliníku.
- **železo** – používáný v práškové formě například k vytváření jisker

Existuje rovněž velké množství možných organických hořlavin. Při výběru se hledí na několik aspektů:

- míra oxidace – nejdůležitější parametr, udává množství tepla produkovaného na jednotku hmotnosti
- bod tání – nižší bod tání představuje výhodu při vzněcování a reaktivitě. Na druhou stranu příliš nízký bod tání zvyšuje riziko při výrobě a skladování. Ideálním minimem je přibližně 100 °C.
- bod varu – pokud hořlavina snadno sublimuje nebo se vypařuje, výrazně se snižuje doba možného skladování
- chemická stabilita – ideální hořlavina by měla být snadno komerčně dostupná ve vysoké čistotě a tuto čistotu by si měla zachovat i během skladování. Z tohoto důvodu jsou nevhodné látky, které snadno oxidují na vzduchu (např. aldehydy).
- rozpustnost – organické hořlaviny často fungují zároveň jako pojiva. Pro účely dobré pojivosti je žádoucí určitá míra rozpustnosti ve vodě, acetonu nebo alkoholu.

Mezi často používané organické hořlaviny patří například **škrob**, **cukr**, **šelak**, **nitrocelulóza** nebo práškové plastové hmoty (**PVC**).

## 4.4 POJIDLA

Pojidla představují hořlavé látky s pojivým účinkem. Některé látky působící primárně jako hořlavina mají i funkci pojidla. Může se jednat jak o organické, tak anorganické látky. Pojivo slouží také jako ochrana, která na povrchu složky vytvoří ochranný film. Látky jsou buď v práškové formě, nebo ve formě roztoku. Některé (například nitrocelulóza, novolak nebo kalafuna) zároveň chrání před zvlhnutím.

Nejčastěji používanou anorganickou látkou je **síra**. Ta je také součástí střelného prachu a funguje zde jako hořlavina. Ve směsích zvyšuje míru hoření (Russel, 2009). V pyrotechnice se tento

prvek používá již více než tisíc let. Má relativně nízký bod tání (119 °C) a jako hořlavina neprodukuje příliš velké množství tepla. Za relativně nízkých teplot však reaguje exotermicky s řadou oxidačních činidel a právě toto uvolněné teplo může odstartovat energičtější reakce.

Z organických látek se používá například **šelak**, **škrob** (rýžový, kukuřičný), **dextrin**, **nitrocelulóza**, řada **gum** (arabská guma, červená guma, guarová guma), **polyetylen**, **antracen**.

## 4.5 ZMĚKČOVADLA

Změkčovadla jsou látky, sloužící ke zlepšení mechanických vlastností pyrotechnických složí. Ovlivňují ohebnost, pružnost a plastičnost celé směsi. Používá se například **dioktyladipád** (DOA), organická látka s chemickým vzorcem  $(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{C}_8\text{H}_{17})_2$ . Jedná se o bezbarvou, olejovitou kapalinu. Jiným používaným změkčovadlem je **dioktylfthalát** (DOP), **dinitrotoluen** (DNT), **nitroglycerin** (NG) používaný i jako aktivní složka při výrobě výbušnin, nebo například **nitropentaglycerin** (MTN, TMETN), vysoce výbušná organická látka s chemickým vzorcem  $\text{C}_5\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_9$ .

## 4.6 STABILIZÁTORY

Stabilizátory jsou obecně látky zvyšující a udržující fyzikálně-chemické vlastnosti směsí. Použít lze některé kovy, například **baryum** nebo **stroncium** (Rose, 2003). Další používané stabilizátory jsou různé **uhličitany**, **vazelína**, **lněný nebo ricinový olej**.

## 4.7 KATALYZÁTORY

Látky obecně označované jako katalyzátory jsou látky vstupující do chemických reakcí, které reakci urychlují (nebo zpomalují). S reaktanty tvoří málo stabilní komplex, který se následně rozpadá na požadované produkty a nezměněný katalyzátor.

V případě pyrotechniky se používají katalyzátory pro urychlení a stabilnější hoření. Často používanými látkami jsou například oxid železitý, oxid manganičitý, salicylát olova, salicylát mědi, fluorid lithný, dichroman amonný nebo dichroman draselný (Wang, 2007; Chen, 2012).

## 4.8 PROTISPÉKAVÉ (ANTISPÉKAVÉ) LÁTKY

Protispékavé látky jsou sloučeniny, které se využívají ke snížení spojování jednotlivých částic k sobě. Využívají se například také v potravinovém průmyslu. V případě pyrotechniky se přidávají například do střelného prachu v podobě grafitu, který slouží k rozptýlení statického náboje, obalení částic a jejich lubrikaci. Používá se také anorganická sůl uhličitán hořečnatý ( $\text{MgCO}_3$ ), bílá práškovitá

látky, nerozpustná ve vodě. Dalšími protispékavými látkami používanými v pyrotechnickém průmyslu jsou například parafín nebo dřevěná moučka (Hall, 1983).

## 4.9 FLEGMATIZÁTORY

Jako flegmatizátory se označují látky snižující citlivost celé slože na mechanické vlivy (názraz, tření apod.). Z toho vyplývá i jejich charakter – jedná se většinou o měkké a pružné látky. Jsou to ve skutečnosti hořlaviny, ale pro hoření vyžadují velké množství kyslíku. Typickými flegmatizátory v pyrotechnice jsou vosky, parafín, grafitový prášek nebo minerální olej (Cannavo, 1982).

## 4.10 LÁTKY BARVÍCÍ PLAMEN

Jedny z nejdůležitějších látek v pyrotechnických složích jsou látky barvící plamen, jsou to právě tyto látky, které určují, jakou barvu bude mít výsledný efekt. Nejčastěji se jedná o různé soli kovů, či přímo kovy samotné (Steinhauser, 2008).

### 4.10.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ

Tabulka 8 - Hlavní látky používané pro zbarvení plamene specifickou barvou

|                      |                                                        |
|----------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>červená</b>       | soli stroncia (Sr) a lithia (Li)                       |
| <b>zelená</b>        | soli barya (Ba)                                        |
| <b>žlutá</b>         | soli sodíku (Na)                                       |
| <b>bílá/stříbrná</b> | hliník (Al), hořčík (Mg), titan (Ti)                   |
| <b>oranžová</b>      | soli vápníku (Ca)                                      |
| <b>modrá</b>         | soli mědi (Cu)                                         |
| <b>fialová</b>       | sloučeniny cesia (Cs), rubidia (Rb), soli draslíku (K) |
| <b>zlatá</b>         | železo (Fe)                                            |

### 4.10.2 PRVKY POUŽÍVANÉ PRO ZBARVENÍ PLAMENE

- **stroncium** – soli stroncia dodávají plameni červenou barvu a stroncium jako takové slouží i jako stabilizátor v ohňostrojových směsích (Steinhauser, 2008b). Jasně rudý plamen produkuje chlorid strontnatý ( $\text{SrCl}_2$ ), stejně jako chlorečnan strontnatý ( $\text{Sr}(\text{ClO}_3)_2$ ). Nejčastěji používaný je dusičnan strontnatý ( $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ). Dále se používá také šťavelan strontnatý ( $\text{SrC}_2\text{O}_4$ ).
- **lithium** – lithium se, stejně jako stroncium, používá pro vytváření červeně zbarvených efektů (Koch, 2004). Konkrétní používané látky jsou například chlorid lithný (karmínová barva,  $\text{LiCl}$ ), dusičnan lithný ( $\text{LiNO}_3$ ) nebo uhličitan lithný ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ).



- **baryum** – soli barya se používají pro vytvoření zeleně zbarvených efektů (Loke, 1992). Baryum také slouží ke stabilizaci jiných těkavých prvků. Jasně zelené barvy lze docílit například pomocí chloridu barnatého ( $\text{BaCl}_2$ ), chlorečnanu barnatého ( $\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$ ), uhličitanu barnatého ( $\text{BaCO}_3$ ) nebo chromanu barnatého ( $\text{BaCrO}_4$ ).
- **vápník** – vápník se obecně používá ke zvýraznění barev ostatních. Vápníkové soli pak vytváří oranžově zbarvený plamen (Sekar, 2004). Používá se například chlorid vápenatý ( $\text{CaCl}_2$ ), uhličitan vápenatý ( $\text{CaCO}_3$ ) nebo síran vápenatý ( $\text{CaSO}_4$ ).
- **sodík** – sodík dodává ohňostrojem efektům žlutou barvu (Loke, 1992), zbarvení je často tak jasné, že přibíjí ostatní méně výrazné barvy (Drewnick, 2006). Krásně žlutého plamene lze dosáhnout i obyčejnou kuchyňskou solí (chlorid sodný,  $\text{NaCl}$ ). Dalšími příklady jsou uhličitan sodný ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), hydrogenuhličitan sodný ( $\text{NaHCO}_3$ ), dusičnan sodný ( $\text{NaNO}_3$ ), kryolit (hexafluorohlinitan,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) nebo šťavelan sodný ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ).
- **hliník** – v pyrotechnice dodává hliník stříbrné a bílé zbarvení (Grima, 2012). Používá se ve formě velmi jemného prášku do světlic a pro vytvoření efektivních stříbrných a bílých jisker.
- **hořčík** – hoření hořčíku způsobuje velmi jasně bílé zbarvené jiskry a celkově podporuje barevnost efektů (Brain, 2001). Je vysoce hořlavý.
- **titan** – jemný titanový prášek funguje jako zdroj jasně hořících bílých a stříbřitých jisker (Woodford, 2003).
- **měď** – díky mědi mají efekty modrozelenou barvu. Pro modré zbarvení se používají halogenidy mědi. Modrá barva obecně představuje nejsložitější zbarvení pro ohňostrůjce (Dolata, 2005; Cobb, 2006). Většina efektů má spíše modrozelené či modrofialové zbarvení. Jasně modré efekty byly velmi dlouho nedosažitelné. Při vysokých teplotách již barva není patrná, stejně jako při nízkých. Je tedy nutné dosáhnout naprosto přesného rozmezí teplot. U jiných prvků se se zvyšující se teplotou barva zvyrazňuje, u modré dosahované mědi, tomu tak není. V současnosti je nejlepších výsledků dosahováno použitím chloridu měďnatého ( $\text{CuCl}$ ), dále se používá například uhličitan měďnatý ( $\text{CuCO}_3$ ), síran měďnatý ( $\text{CuSO}_4$ ), oxid měďnatý ( $\text{CuO}$ ), oxid měďný ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), toxický arsenit měďnatý ( $\text{CuHAsO}_3$ ) nebo vysoce toxický acetoarsenitan měďnatý (Pařížská zeleň,  $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$ ).
- **cesium** – cesium napomáhá procesu oxidace. Sloučeniny obsahující cesium vytváří modrofialově a fialově zbarvené efekty (Palaneeswaria, 2012). Jedná se o nestálý a silně reaktivní alkalický kov. Používá se například dusičnan cesný ( $\text{CsNO}_3$ ).

- **draslík** – draslík obsahující sloučeniny napomáhají oxidačním procesům. Dodává efektům fialovorůžový nádech (Sanger, 2004). Barevný efekt ale není příliš výrazný.
- **rubidium** – sloučeniny rubidia napomáhají oxidaci a produkují fialovočervenou barvu (Jefferson, 2001). Do ohňostrojových směsí se přidávají málokdy, protože se jedná o lehce radioaktivní prvek.
- **železo** – železo se používá především pro vytváření jisker. Teplota kovu pak určuje jejich barevný nádech (Meyerriecks, 2003). Výsledné efekty mají zlatavé zbarvení, především při kombinaci s uhlíkem.
- **bor** – bor a jeho sloučeniny zbarvují plamen do intenzivní zelené. Jeho výhodou oproti baryu je netoxičita (Sabatini, 2011). Zatím se příliš nepoužívá, jako vhodná alternativa k baryu se jeví karbid boru ( $B_4C$ ), černá a velmi tvrdá chemicky odolná látka.
- **fosfor** – fosfor sám o sobě se ke zbarvení nepoužívá, ale slouží pro dodání větší záře tmavším efektům. Bývá také někdy součástí palivových směsí.
- **antimon** – dodává výsledným efektům větší třpyt a záři
- **zinek** – používá se k vytváření kouřových efektů

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| H  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     | He  |
| Li | Be |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     | B   | C   | N   | O   | F   | Ne  |
| Na | Mg |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     | Al  | Si  | P   | S   | Cl  | Ar  |
| K  | Ca | Sc | Ti | V  | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn  | Ga  | Ge  | As  | Se  | Br  | Kr  |
| Rb | Sr | Y  | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd  | In  | Sn  | Sb  | Te  | I   | Xe  |
| Cs | Ba |    | Hf | Ta | W  | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg  | Tl  | Pb  | Bi  | Po  | At  | Rn  |
| Fr | Ra |    | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Uub | Uut | Uuq | Uup | Uuh | Uus | Uuo |

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| Ac | Th | Pa | U  | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |

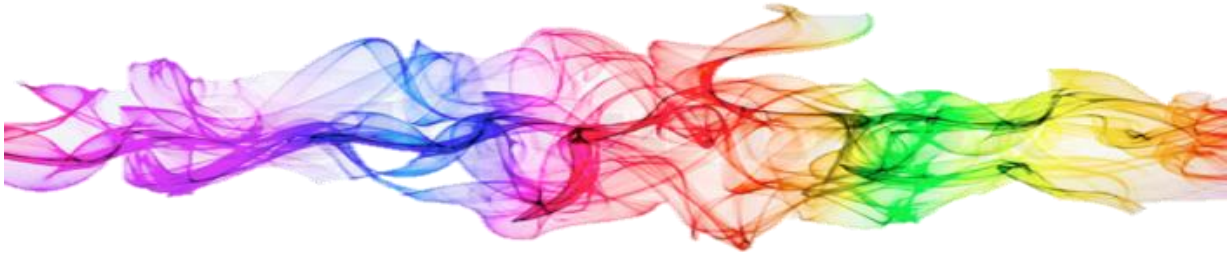
### 4.10.3 BAREVNÝ DÝM

U dýmu je žádoucí spíše pomalá rychlost hoření a nedokonalé hoření, vedoucí ke vzniku velkého množství kouře. Pro barvení dýmu se používají různá barviva.

**Příklady barviv používaných pro barvení dýmu:**

- **bílý dým** – antracen, chlorid amonný, umělý bílý dým (speciální pyrotechnická netoxická směs používaná například pro filmové efekty nebo na koncertech)

- **černý dým** – antracen s chloristanem draselným a sírou, naftalen, asfalt
- **červený dým** – rhodamin, paračerveň, Versálová červeň
- **modrý dým** – Versálová modř, Methylenová modř, barvivo Indigo
- **žlutý dým** – Auramin, Versálová žluť
- **oranžový dým** – Versálová oranž
- **fialový dým** – dimethylaminoantrachinon
- **zelený dým** – Malachitová zeleň, Auramin + Indigo



## 5. KVALITA OVZDUŠÍ – PLYNY

Koncentrace plynných znečišťujících látek byly sledovány automatickými analyzátory v měřícím voze v 10minutovém intervalu po celou dobu konání akce, tedy od 31. srpna do dopoledních hodin 4. září. Výběr sledovaných plynů odpovídá plynům, pro které je dán platný imisní limit v Zákoně o ochraně ovzduší.

### Měřené plyny:

- NO<sub>2</sub> oxid dusičitý
- NO oxid dusnatý
- NO<sub>x</sub> oxidy dusíku
- CO oxid uhelnatý
- SO<sub>2</sub> oxid siřičitý
- O<sub>3</sub> přízemní ozon

### Imisní limity pro ochranu zdraví

| Znečišťující látka | Doba průměrování                   | Imisní limit<br>μg/m <sup>3</sup> |
|--------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| NO <sub>2</sub>    | 1 hodina                           | 200<br>maximálně 18x za rok       |
|                    | kalendářní rok                     | 40                                |
| SO <sub>2</sub>    | 1 hodina                           | 350<br>maximálně 24x za rok       |
|                    | 24 hodin                           | 125<br>maximálně 3x za rok        |
| PM <sub>10</sub>   | 24 hodin                           | 50<br>maximálně 35x za rok        |
|                    | kalendářní rok                     | 40                                |
| PM <sub>2,5</sub>  | kalendářní rok                     | 25                                |
| CO                 | maximální denní 8h klouzavý průměr | 10 000                            |

### Imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace

| Znečišťující látka | Doba průměrování                    | Imisní limit<br>μg/m <sup>3</sup> |
|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| NO <sub>x</sub>    | kalendářní rok                      | 30                                |
| SO <sub>2</sub>    | rok a zimní období (říjen – březen) | 20                                |

## 5.1 OXID DUSIČITÝ (NO<sub>2</sub>)

Oxid dusičitý je v čisté plynné formě červenohnědý a silně agresivní a jedovatý.

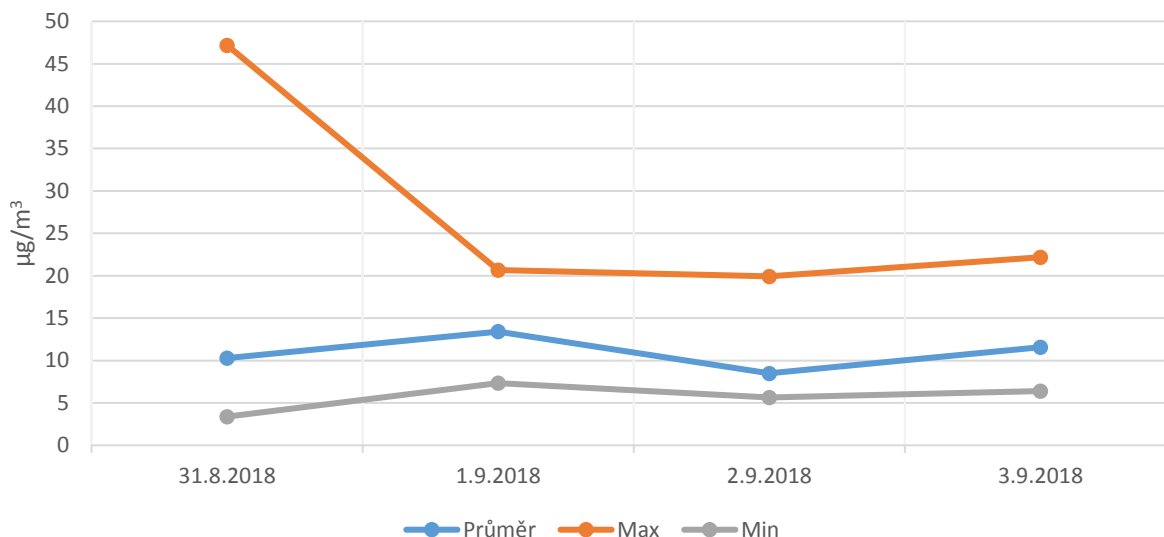
Měření oxidu dusičitého je založeno na chemiluminiscenci. Koncentrace tohoto plynu jsou zjišťovány sekundárně z rozdílu mezi koncentracemi oxidu dusnatého (NO) a oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>, = NO + NO<sub>2</sub>). Hodinový imisní limit pro NO<sub>2</sub> je 200 µg/m<sup>3</sup> a může být překročen maximálně 18x za rok. Roční imisní limit NO<sub>2</sub> je 40 µg/m<sup>3</sup>.

Nejvýznamnějším zdrojem oxidu dusičitého je doprava a v menší míře průmysl a domácnosti (WHO, 2006). Vzniká oxidací vzdušného dusíku za vysokých teplot ve spalovacích motorech. Patří na seznam plynů podílejících se na tvorbě nežádoucích kyselých dešťů (Kumar, S., 2017). Navíc spolu s kyslíkem a těkavými organickými látkami (VOC) reaguje za vzniku přízemního ozonu, polutantu, který může ve vysokých koncentracích vyvolat fotochemický smog. Působení NO<sub>2</sub> bývá spojováno se zvýšením celkové, kardiovaskulární a respirační úmrtnosti (SZÚ, 2016).

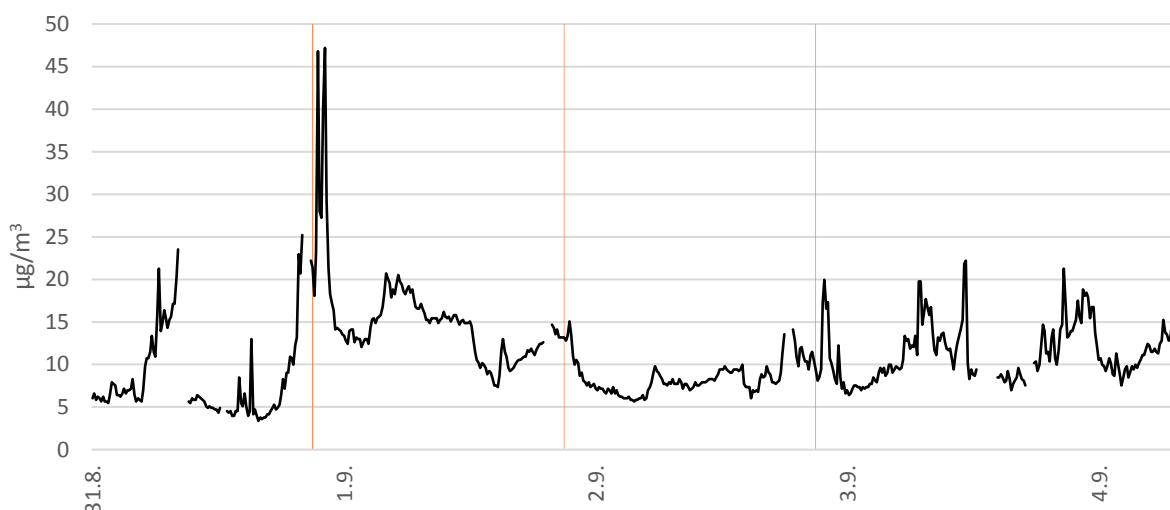
Za emisemi NO<sub>2</sub> v souvislosti s konáním Hlučínského festivalu stálo jak hoření pyrotechnických složí, tak i výrazně vyšší dopravní zatížení celé oblasti a přilehlých částí. To narůstalo především ve dnech konání ohňostrojů. Je však nutné poznamenat, že přímo do blízkosti měřicí techniky nebyl povolen vjezd.

Tabulka 9 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace NO<sub>2</sub> [µg/m<sup>3</sup>]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

| Den                | Průměr | Max  | Min | Rozsah |
|--------------------|--------|------|-----|--------|
| <b>31. 8. 2018</b> | 10.29  | 47.2 | 3.4 | 43.8   |
| <b>1. 9. 2018</b>  | 13.41  | 20.7 | 7.3 | 13.3   |
| <b>2. 9. 2018</b>  | 8.49   | 19.9 | 5.6 | 14.3   |
| 3. 9. 2018         | 11.59  | 22.2 | 6.4 | 15.8   |



Obrázek 17 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace  $\text{NO}_2$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].



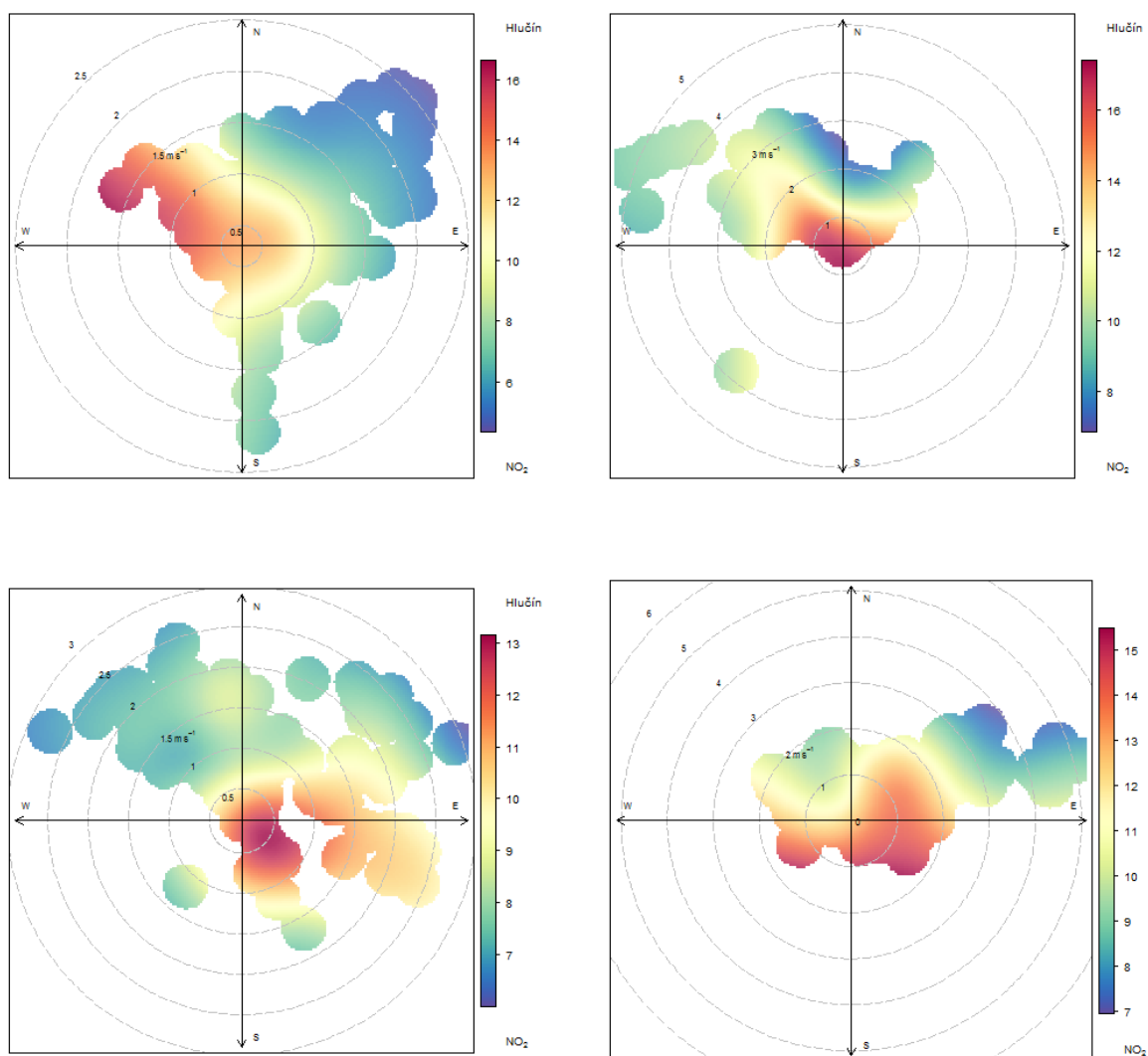
Obrázek 18 - Průběh koncentrací  $\text{NO}_2$  za celé období měření z 10minutových hodnot. Červená svislá čára značí čas konání ohňostroje.

Nejvyšší denní průměrná koncentrace  $\text{NO}_2$  byla naměřena 1. září, tedy v den konání druhého, sobotního, ohňostroje ( $13,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Z grafu průběhu koncentrace  $\text{NO}_2$  během celé délky měření je vidět, že k výraznějšímu nárůstu koncentrací došlo pouze krátce po první ohňostroji 31. srpna. Koncentrace začaly stoupat již od přibližně 19 h, což odpovídá přibližnému začátku příjezdu většiny návštěvníků. Koncentrace  $\text{NO}_2$  kulminovaly mezi 21 a 22 h, pak opět prudce klesaly.

Absolutně nejvyšší naměřená koncentrace byla  $47,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a to 31. srpna ve 22:10. Již v následujícím 10minutovém intervalu to však byl už jen  $29,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Jednalo se tedy o velmi krátký nárůst. Imisní limit pro průměrnou hodinovou koncentraci  $\text{NO}_2$  má hodnotu  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nedošlo tedy k překročení imisního limitu pro průměrnou hodinovou koncentraci.

Po zbytek doby měření se koncentrace  $\text{NO}_2$  pohybovaly do  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Na následujících čtyřech obrázcích jsou koncentrační růžice pro  $\text{NO}_2$  v jednotlivé dny.



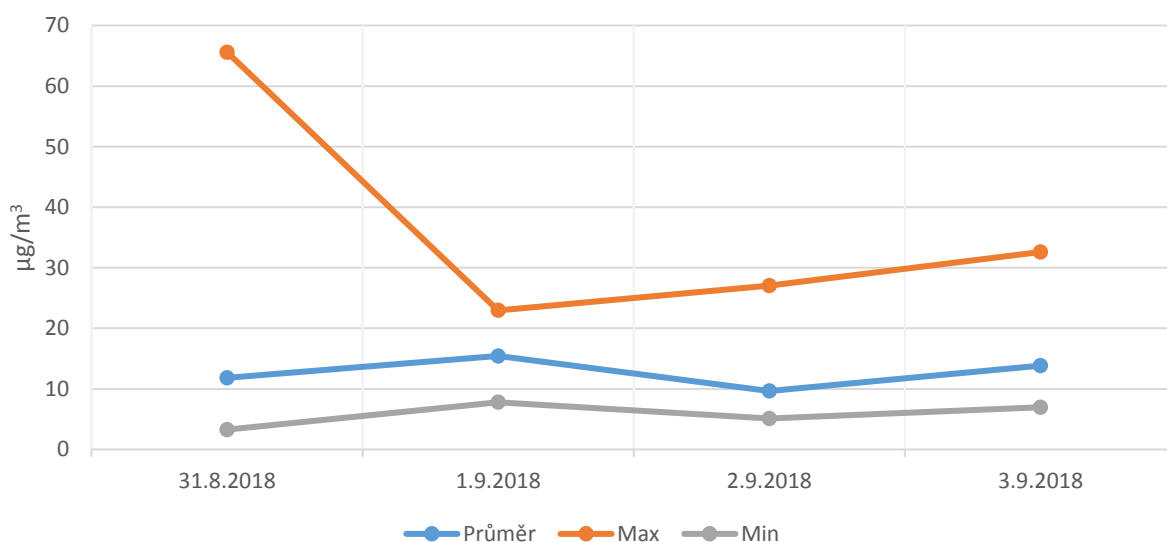
Obrázek 19 – Koncentrační růžice pro  $\text{NO}_2$ . Vlevo nahoře 31. 8., vpravo nahoře 1. 9., vlevo dole 2. 9. a vpravo dole 3. 9.

## 5.2 OXIDY DUSÍKU (NO<sub>x</sub>)

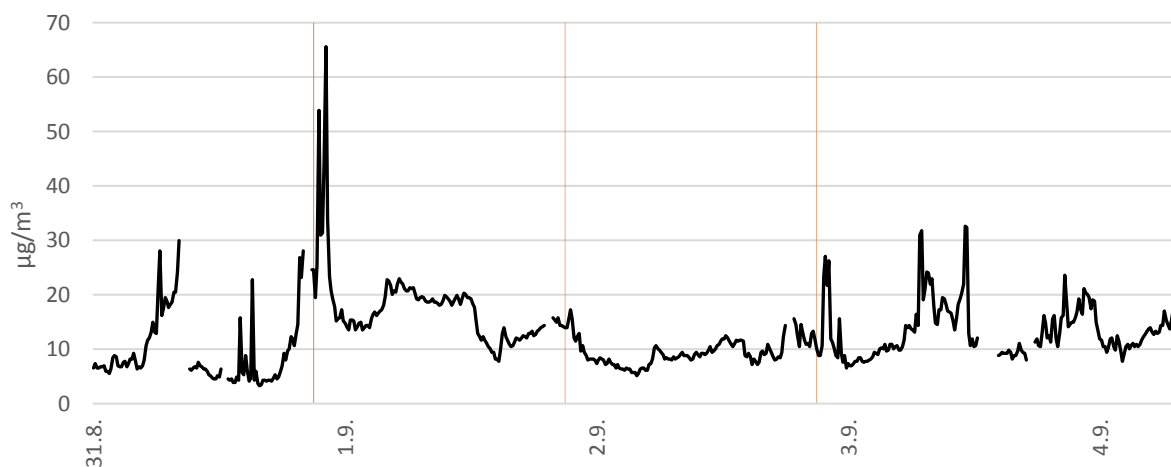
Jako oxidy dusíku je v oblasti kvality ovzduší považován součet koncentrací oxidu dusičitého a oxidu dusnatého. Vzhledem k faktu, že NO je přechodný meziprodukt a rychle oxiduje mj. na NO<sub>2</sub>, jsou koncentrace NO<sub>x</sub> závislé především na koncentracích NO<sub>2</sub>.

Tabulka 10 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace NO<sub>x</sub> [μg/m<sup>3</sup>]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

| Den         | Průměr | Max  | Min |
|-------------|--------|------|-----|
| 31. 8. 2018 | 11.83  | 65.6 | 3.3 |
| 1. 9. 2018  | 15.45  | 23.0 | 7.8 |
| 2. 9. 2018  | 9.65   | 27.1 | 5.1 |
| 3. 9. 2018  | 13.86  | 32.6 | 7.0 |

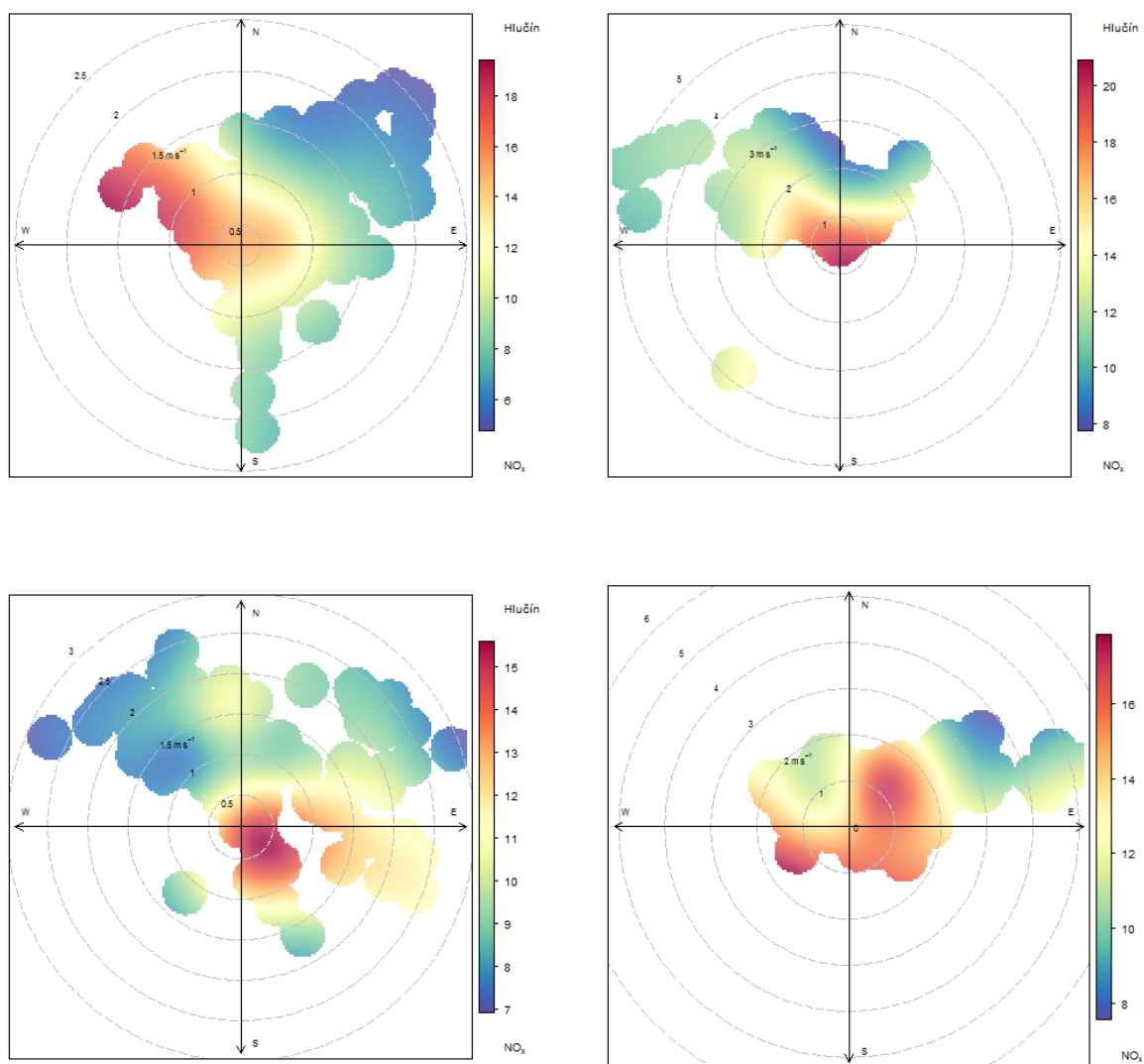


Obrázek 20 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace NO<sub>x</sub> [μg/m<sup>3</sup>].



Obrázek 21 - Průběh koncentrací NO<sub>x</sub> za celé období měření z 10minutových hodnot. Červená svislá čára značí čas konání ohňostroje.





Obrázek 22 - Koncentrační růžice pro  $\text{NO}_x$ . Vlevo nahoře 31. 8., vpravo nahoře 1. 9., vlevo dole 2. 9. a vpravo dole 3. 9.

Pro  $\text{NO}_x$  nebyl stanoven imisní limit pro ochranu zdraví, je však dán imisní limit pro ochranu ekosystémů a vegetace. Hodnota tohoto imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci je  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Z výše uvedených dat vyplývá, že celková průměrná koncentrace  $\text{NO}_x$  za celou dobu měření je přibližně  $12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pouze jediný den byla průměrná koncentrace vyšší než je  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tedy polovina ročního imisního limitu. Závěrem tedy lze říct, že koncentrace oxidů dusíku během festivalu v Hlučíně nepřekračují ani imisní limit pro ekosystémy a vegetace. Průměrné koncentrace po dobu konání přehlídky byly v průměru více než dvakrát nižší, než je hodnota imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci  $\text{NO}_x$ .

## 5.3 OXID SIŘIČITÝ (SO<sub>2</sub>)

Oxid siřičitý je bezbarvý štiplavě zapáchající jedovatý plyn. V minulosti se jednalo o jeden z nejproblematictějších polutantů, co se týče kvality ovzduší. Přírodním zdrojem oxidu siřičitého v ovzduší je vulkanická činnost (Wallace, 1994), hlavním zdrojem je však lidská činnost (Smith, 2011). Do ovzduší se dostává spalováním fosilních paliv během průmyslových procesů i v domácnostech z lokálních topenišť. Vzniká jako vedlejší produkt spalování hnědého uhlí. Díky využívání kvalitnějších paliv a technologických procesů včetně odsiřování kouře z elektráren již dnes v drtivé většině případů<sup>1</sup> nepřekračují koncentrace SO<sub>2</sub> platné imisní limity.

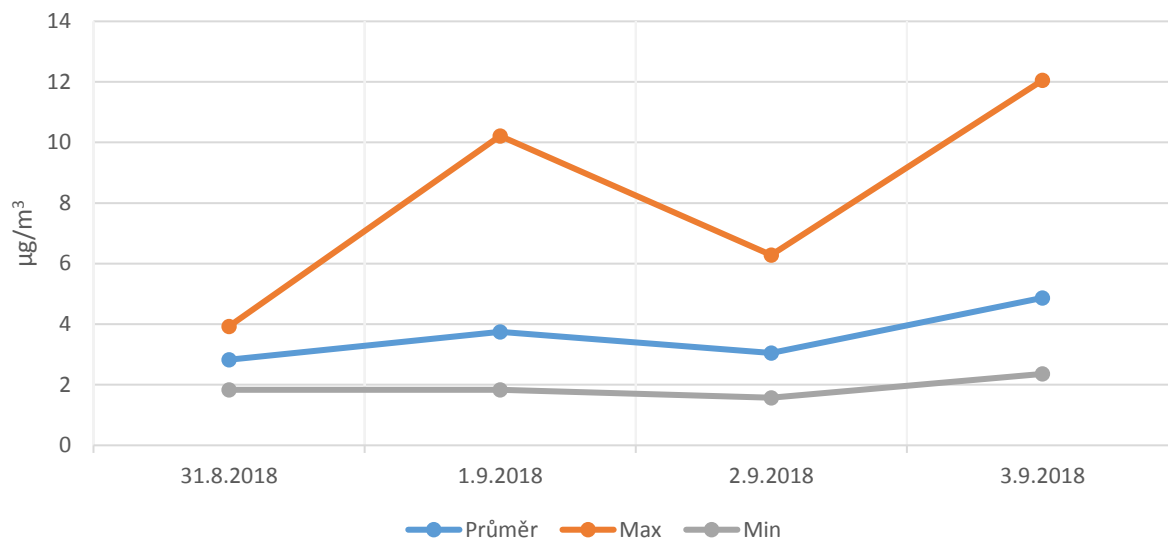
Pro oxid siřičitý jsou platné imisní limity jak pro ochranu zdraví, tak pro ochranu ekosystémů a vegetace. Hodinový imisní limit pro ochranu zdraví je rovný 350 µg/m<sup>3</sup> a může být překročen maximálně 24x za rok. 24h imisní limit pro ochranu zdraví byl stanoven na 125 µg/m<sup>3</sup> a může být překročen maximálně 3x za rok. Imisní limit pro ochranu ekosystému a vegetace je platný pro rok a zimní období (říjen-březen) a má hodnotu 20 µg/m<sup>3</sup>.

Oxid siřičitý je značně toxický plyn, který představuje velké riziko zejména pro rostliny, protože reakcí s chlorofylem narušuje fotosyntézu (Choi, 2014). U lidí působí dráždivě zejména na horní cesty dýchací, může podporovat vznik astmatu a dlouhodobá expozice vysokým koncentracím může narušovat krevní oběh a poškožovat srdeční sval (Kermani, 2016; Geravandi, 2015; Lewis, 2016).

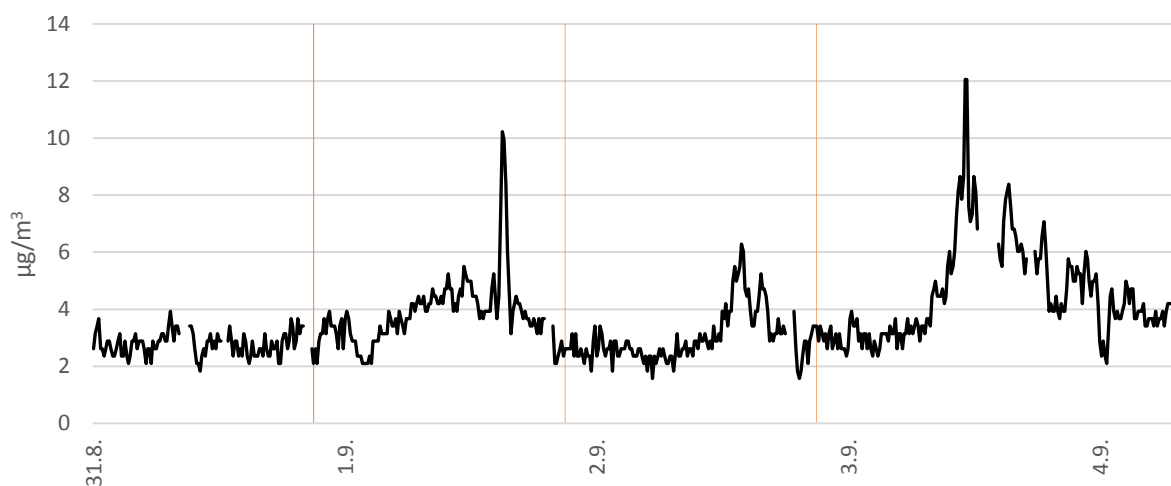
Tabulka 11 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace SO<sub>2</sub> [µg/m<sup>3</sup>]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

| Den         | Průměr | Max  | Min | Rozsah |
|-------------|--------|------|-----|--------|
| 31. 8. 2018 | 2.83   | 3.9  | 1.8 | 2.1    |
| 1. 9. 2018  | 3.75   | 10.2 | 1.8 | 8.4    |
| 2. 9. 2018  | 3.04   | 6.3  | 1.6 | 4.7    |
| 3. 9. 2018  | 4.87   | 12.1 | 2.4 | 9.7    |

<sup>1</sup> v roce 2017 nebyl 24h imisní limit překročen ani jednou na žádné ze stanic Státní sítě imisního monitoringu. Hodinová maximální koncentrace 350 µg/m<sup>3</sup> byla v roce 2017 překročena na celkem 4 stanicích (Ostrava-Přívoz, Plzeň-Lochotín, Pardubice-Rosice a Ostrava-Mariánské Hory), za překročení limitu se však považuje, až pokud dojde k překročení 24x za rok, k čemuž na žádné ze čtyř stanic nedošlo (Ostrava-Přívoz 2x, zbylé jednou).

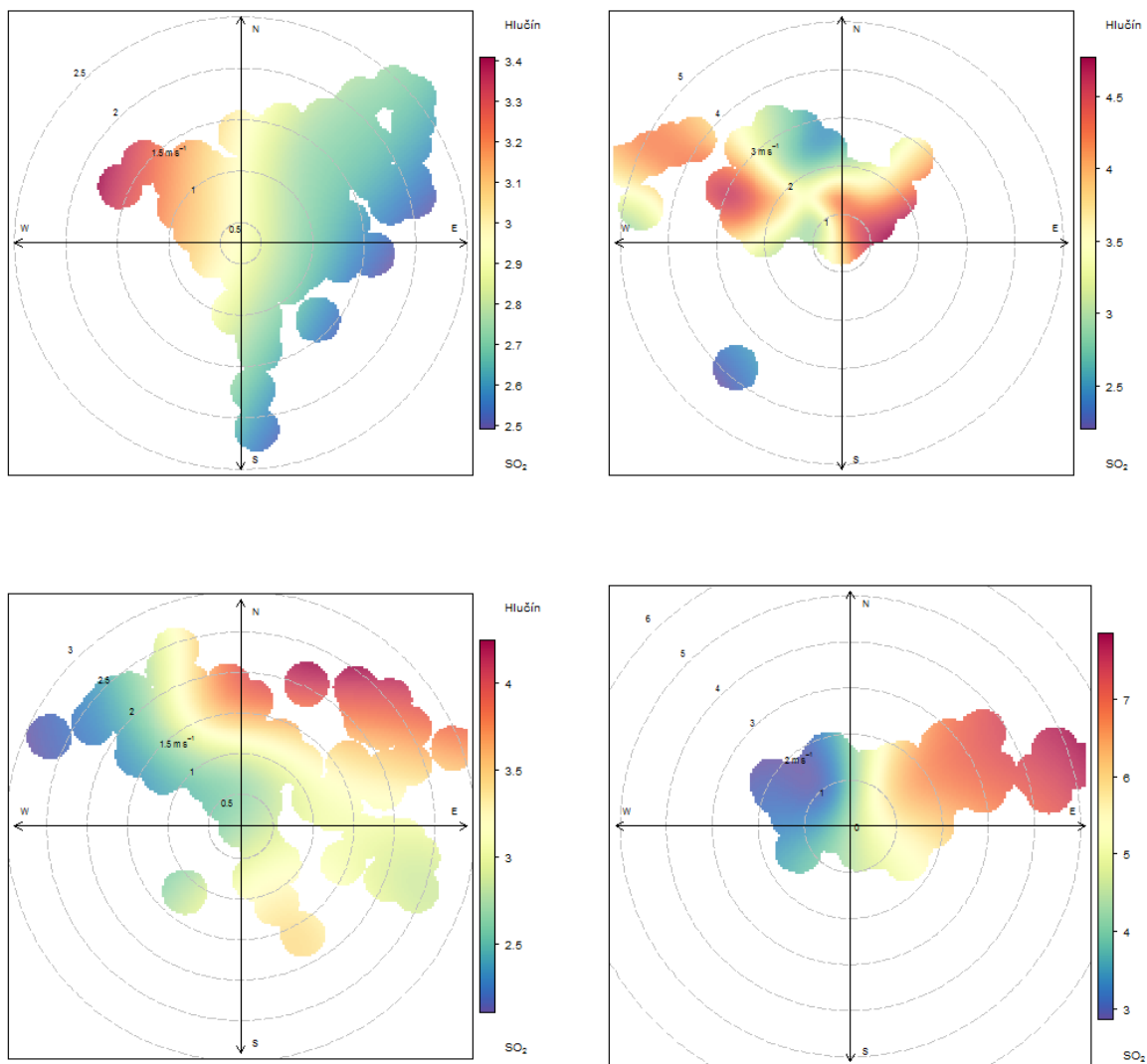


Obrázek 23 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace  $\text{SO}_2$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].



Obrázek 24 - Průběh koncentrací  $\text{SO}_2$  za celé období měření z 10minutových hodnot. Červená svislá čára značí čas konání ohňostroje.

Během celé délky trvání měření nepřekročila koncentrace  $\text{SO}_2$  ani jednu hranici  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Absolutní naměřené maximum mělo hodnotu pouhých  $12,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pokud tuto hodnotu srovnáme s hodinovým imisním limitem ( $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), jedná se o hodnotu necelých 4 % limitu. Denní průměry jsou také hluboko pod 24h imisním limitem. Pohybovaly se pod  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , což představuje hladinu 4 % 24h imisního limitu.



Obrázek 25 - Koncentrační růžice pro  $\text{SO}_2$ . Vlevo nahoře 31. 8., vpravo nahoře 1. 9., vlevo dole 2. 9. a vpravo dole 3. 9.

Z koncentračních růžic pro  $\text{SO}_2$  je patrné, že ohňostroje koncentrace  $\text{SO}_2$  neovlivňovaly a ty byly hluboko pod mezí imisního limitu, jak hodinového, tak 24h.

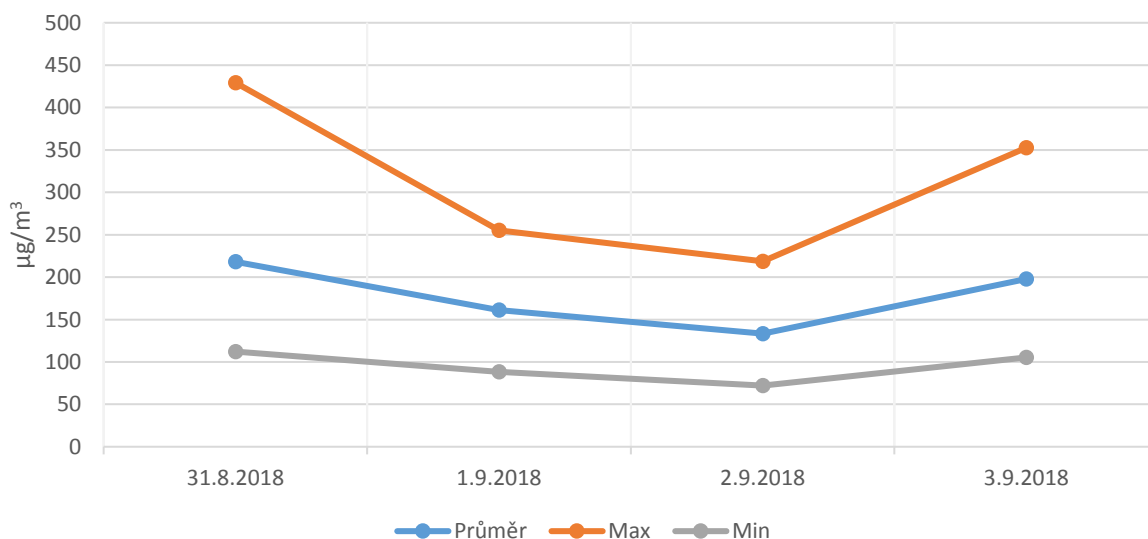
## 5.4 OXID UHELNATÝ (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý jedovatý plyn, bez zápachu. Vzhledem ke své toxicitě se jedná o jednu ze sledovaných látek znečišťujících ovzduší. Hlavním antropogenním zdrojem CO je především nedokonalé spalování fosilních paliv, kdy je teplota příliš nízká, není k dispozici dostatečné množství kyslíku nebo není čas hoření dostatečný, a namísto úplné oxidace na CO<sub>2</sub> se uvolňuje právě oxid uhelnatý (Ergin, 2016). Toxicita tohoto plynu spočívá v jeho vazbě na krevní barvivo hemoglobin a následný vznik karboxyhemoglobinu (Rose, 2017). Tato reakce značně omezí přenos kyslíku do buněk.

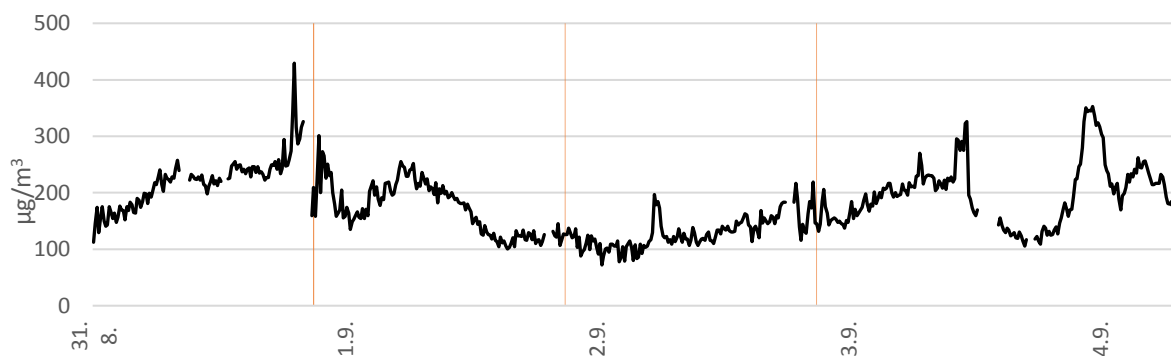
Imisní limit pro oxid uhelnatý je 10 mg/m<sup>3</sup> jako maximální denní 8h klouzavý průměr.

Tabulka 12 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace CO [mg/m<sup>3</sup>]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

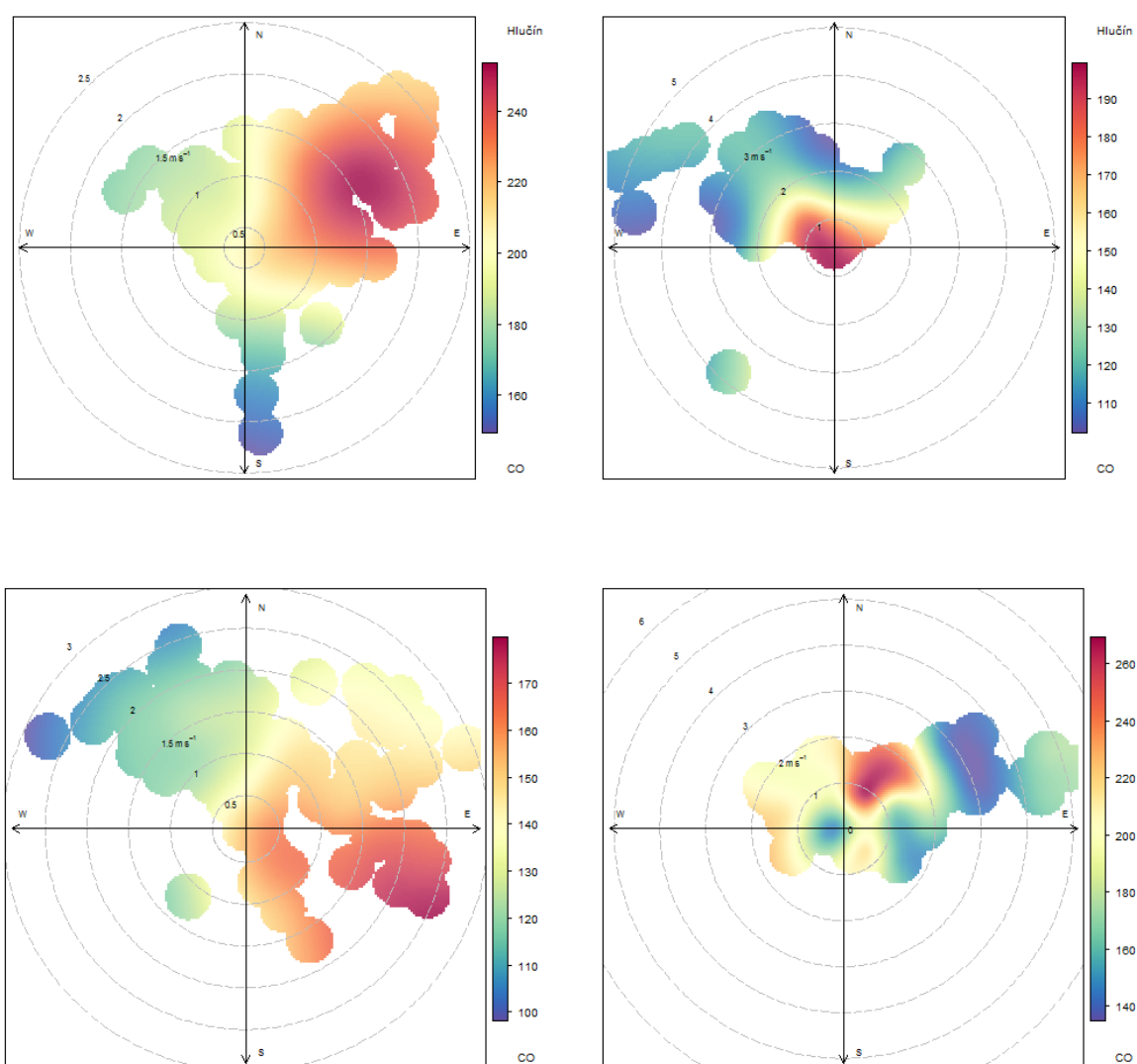
| Den                | Průměr | Max   | Min   | Rozsah |
|--------------------|--------|-------|-------|--------|
| <b>31. 8. 2018</b> | 218.12 | 429.4 | 112.2 | 317.2  |
| <b>1. 9. 2018</b>  | 161.27 | 255.3 | 88.2  | 167.2  |
| <b>2. 9. 2018</b>  | 133.40 | 218.7 | 72.1  | 146.6  |
| 3. 9. 2018         | 197.61 | 352.7 | 105.3 | 247.3  |



Obrázek 26 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace CO [mg/m<sup>3</sup>].



Obrázek 27 - Průběh koncentrací CO za celé období měření z 10minutových hodnot. Červená svíslá čára značí čas konání ohňostroje.



Obrázek 28 - Koncentrační růžice pro CO. Vlevo nahoře 31. 8., vpravo nahoře 1. 9., vlevo dole 2. 9. a vpravo dole 3. 9.

Absolutně maximální naměřená hodnota CO byla pouhých 0,429 mg/m<sup>3</sup>. To neodpovídá ani 5 % imisního limitu. Průměrné denní koncentrace pak byly ještě nižší. Lze tedy říci, že ohňostrojevá

přehlídka nemá na koncentrace CO dle předpokladů žádný vliv a naměřené koncentrace jsou hluboko pod imisním limitem pro ochranu zdraví.

## 6. KVALITA OVZDUŠÍ – SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE (PM)

### 6.1 ZÁKLADNÍ POPIS

Suspendované částice (particulate matter, PM) představují komplexní směs extrémně malých pevných částic a kapiček v ovzduší. Základní dělení PM je založeno na jejich aerodynamickém průměru. Právě jejich velikost je totiž klíčová pro dopady na zdraví (Kim, 2015). Čím menší je velikost částic, tím hlouběji pronikají do dýchacího systému a ultrajemné částice ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ) se můžou dostávat až do krevního oběhu.

Částice PM samy o sobě můžou působit dráždivě. Zároveň však na ně můžou být přichyceny různé další zdraví škodlivé látky, jako například těžké kovy. Kromě velikosti hraje roli také jejich morfologie a chemické složení. Neexistuje bezpečná spodní hranice a negativní zdravotní účinky můžou být zaznamenány i při velmi nízkých koncentracích (Trasande, 2016).

Zdrojem suspendovaných částic v ovzduší jsou jak přírodní procesy, tak antropogenní činnost. Z přirozených procesů je to například větrná eroze nebo vulkanická činnost. Z lidských zdrojů je to celá řada technologických procesů, spalování odpadu, doprava, vytápění atd. (Vierkötter, 2017). Nezanedbatelným zdrojem suspendovaných částic je i víření prachu, tzv. resuspenze (Hetem, 2016). To se týká nejen dopravy, ale například i chodců.

Během ohňostrojevé přehlídky v Hlučíně byly předpokládány zvýšené koncentrace PM, a to jak v důsledku pyrotechnických efektů, tak resuspenze v důsledku zvýšeného pohybu osob v okolí.



## 6.2 MĚŘENÍ SUSPENDOVANÝCH ČÁSTIC

V rámci tohoto měření byly měřeny koncentrace dvou frakcí suspendovaných částic – částic označovaných jako  $PM_{10}$  (aerodynamický průměr do  $10\ \mu m$ ) a jemnější frakce  $PM_{2,5}$  (částice s aerodynamickým průměrem do  $2,5\ \mu m$ ). S ohledem na lidské zdraví jsou potenciálně nebezpečnější částice  $PM_{2,5}$ , protože vzhledem ke své menší velikosti pronikají po vdechnutí hlouběji do dýchacího systému (Kim JY, 2015). Suspendované částice jsou v současnosti jedním z hlavních problémů znečištění ovzduší v České republice, protože v některých místech bývají překračovány imisní limity, v topné sezóně mohou být kvůli PM vyhlášovány smogové situace.

Existuje více možných způsobů, jak koncentrace suspendované částic měřit. Za referenční metodu je považována gravimetrie. Ta spočívá v navzorkování na filtr a následném zvážení exponovaného filtru a porovnání s váhou filtru čistého. Rozdíl hmotnosti odpovídá množství PM, což lze při znalosti průtoku a délky měření převést na koncentraci v  $\mu g/m^3$  v ovzduší. Další možností měření PM je využití radiometrie, s použitím automatických  $\beta$ -prachoměrů. Částice jsou v tomto případě zachycovány na filtrační pásku a ta se odvíjí mezi  $\beta$ -zářičem a Geiger-Müllerovým počítačem. Rozdíl mezi radiací před a po zachycení částic představuje množství prašných aerosolových částic zachycených na filtru. Výhodou gravimetrie je fakt, že se jedná o referenční metodu a proto je považována za nejpresnější, navíc lze exponované filtry využít následně k dalším analýzám a stanovit například koncentrace těžkých kovů. Naopak výhodou automatických prachoměrů je, že poskytují data v reálném čase v mnohem kratším intervalu.

Během hlučínského festivalu byly měřeny koncentrace částic  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  radiometricky měřícím vozem v 10minutovém intervalu. Tato měření tak umožňují monitorovat dynamiku koncentrací v průběhu dne.

Na zvýšených koncentracích se podílí nejen pyrotechnické efekty, ale i další lidské vlivy jako obecně pohyb vysokého počtu lidí na malém prostoru (resuspenze) či jejich činnost (kouření, grilování apod.). Mechanické vlivy produkují ve větší míře hrubší frakci. Chemické reakce a spalování produkují ve větší míře jemnější frakci, proto data o koncentracích  $PM_{2,5}$  mohou lépe odhalit vliv samotných pyrotechnických efektů (Tian, 2014).

Filtry ze sekvenčního vzorkovače  $PM_{10}$  byly určeny pro následnou analýzu koncentrací těžkých kovů (viz dále).

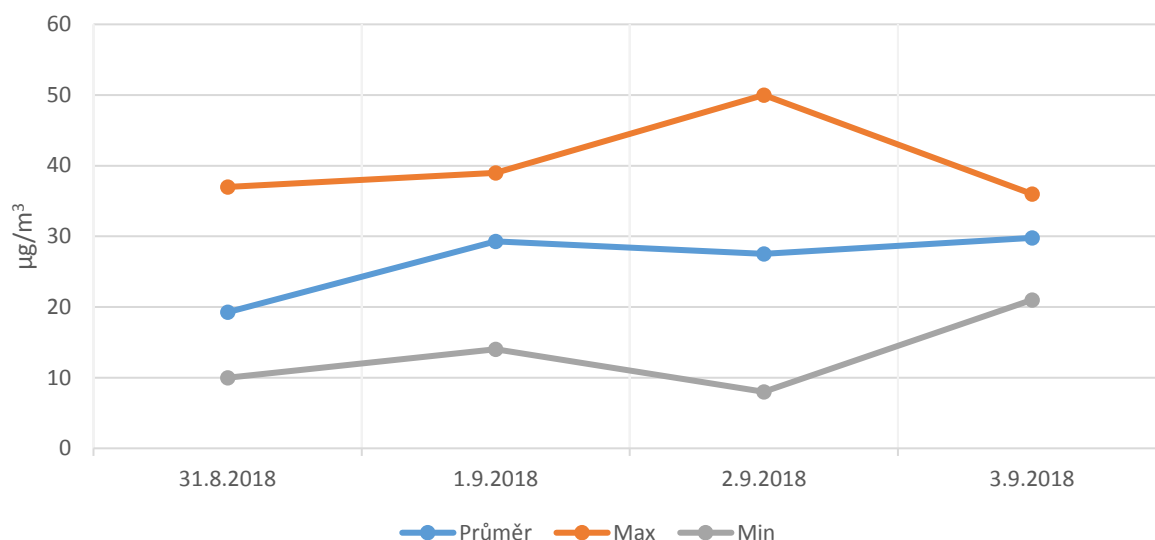
### 6.3 PM<sub>10</sub> – RADIOMETRICKY

Koncentrace suspendovaných částic PM<sub>10</sub> byla měřena v 10minutových intervalech měřícím vozem. Legislativa udává pro PM<sub>10</sub> dva imisní limity. 24h limit má hodnotu 50 µg/m<sup>3</sup> a smí být překročen maximálně 35x za rok. Roční imisní limit PM<sub>10</sub> je 40 µg/m<sup>3</sup>.

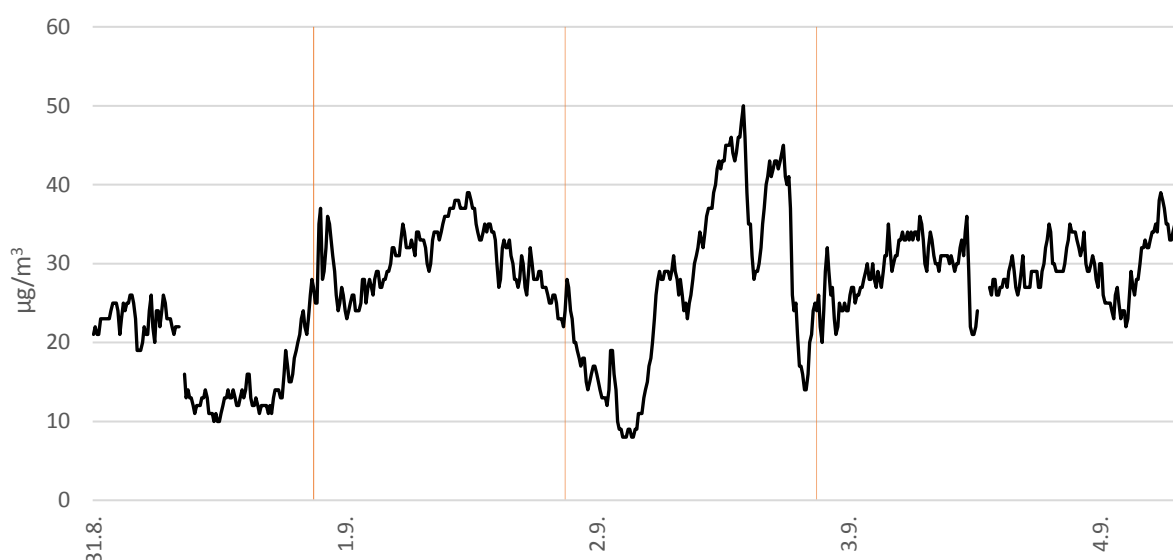
PM<sub>10</sub> jsou znečišťující látkou, jejíž koncentrace je ovlivňována přehlídkou a to hned kvůli několika faktorům. Prvním z nich jsou samotné pyrotechnické efekty. Exploze pyrotechnických složí ve vzduchu produkuje a šíří do okolí větší množství částic. Stejně tak jsou koncentrace PM<sub>10</sub> zvyšovány vysokou intenzitou pohybu lidí. Desetitisíce návštěvníků, které každoročně ohňostroj navštíví, se podílí na zvýšené prašnosti – mechanickým vířením prachu chůzí, cigaretovým kouřem, zvýšenou intenzitou dopravy, emisemi ze stánků s občerstvením (grily) atd. Vzorkovač byl umístěn tak, aby nedocházelo k hyperlokálnímu zkreslení – tzn. tak, aby v jejich bezprostřední blízkosti nebyly žádné osoby. Stačilo by totiž, aby si jedna osoba zapálila cigaretu přímo vedle vzorkovače a došlo by k výraznému zkreslení výsledků. Na druhou stranu však bylo měřící místo umístěno stále dostatečně blízko davům lidí na to, aby tento faktor byl zaznamenán. Znalost koncentrace sama o sobě neumožňuje zjistit podíl, jakým se tyto faktory na výsledné koncentraci podílí.

Tabulka 13 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace PM<sub>10</sub> [µg/m<sup>3</sup>]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

| Den                | Průměr | Max  | Min  | Rozsah |
|--------------------|--------|------|------|--------|
| <b>31. 8. 2018</b> | 19.26  | 37.0 | 10.0 | 27.0   |
| <b>1. 9. 2018</b>  | 29.27  | 39.0 | 14.0 | 25.0   |
| <b>2. 9. 2018</b>  | 27.52  | 50.0 | 8.0  | 42.0   |
| 3. 9. 2018         | 29.78  | 36.0 | 21.0 | 15.0   |



Obrázek 29 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace  $PM_{10}$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].



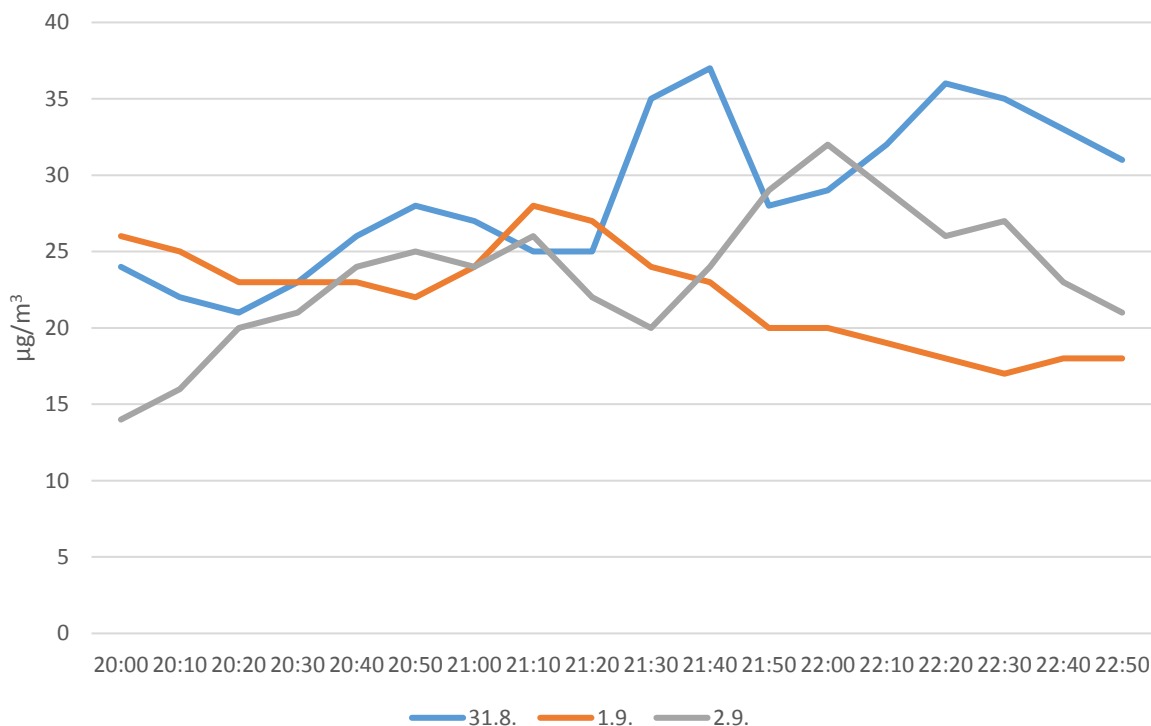
Obrázek 30 - Průběh koncentrací  $PM_{10}$  za celé období měření z 10minutových hodnot. Červená svislá čára značí čas konání ohňostroje.

Z tabulky průměrných denních koncentrací je vidět, že maximální denní koncentrace suspendovaných částic  $PM_{10}$  byla naměřena poslední den měření, tedy 3. září. Jak bylo již uvedeno výše, imisní limit pro 24h koncentraci suspendovaných částic  $PM_{10}$  má hodnotu  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nejvyšší denní průměr naměřený během festivalu byl pod hranicí  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tedy o  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  méně, než činí i 24h imisní limit.

Absolutně nejvyšší koncentrace byla naměřena 2. září ve 14:00. Tato hodnota je na hranici 24h imisního limitu, jednalo se však jen o jeden výskyt, zbytek hodnot byl pod touto hranicí, takže celkový

denní průměr ten den byl jen 27,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Navíc vzhledem k denní době je jasné, že příčinou tohoto nárůstu nemohlo být odpalování ohňostrojů.

Pokud se zaměříme na svislé oranžové čáry v grafu, značící moment odpálení, je vidět, že k výraznějšímu nárůstu došlo pouze během prvního ohňostroje 31. 8. Nejlépe toto ilustruje graf níže, zobrazující koncentrace  $\text{PM}_{10}$  mezi 20:00 a 22:00 ve dny, kdy byly odpalovány ohňostroje (vždy ve 21 h).



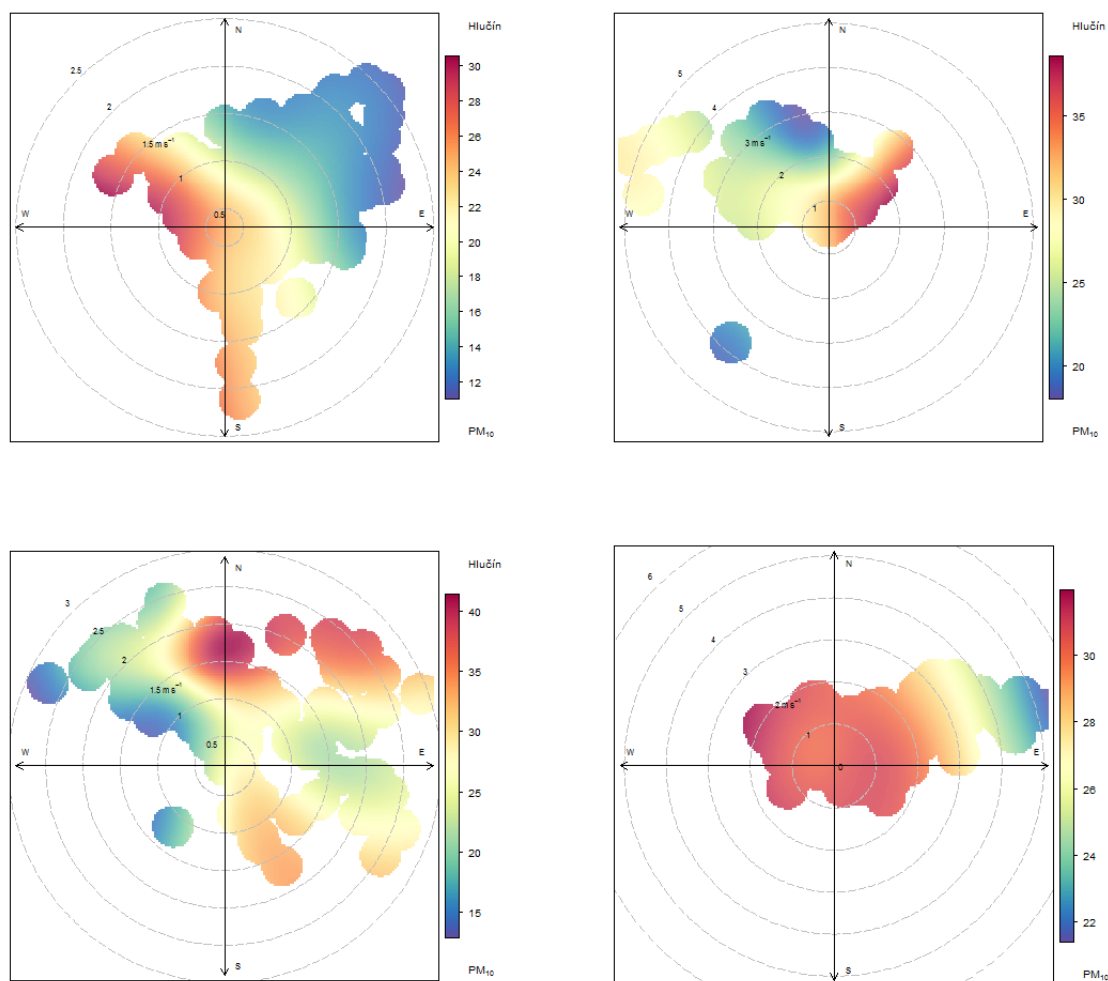
Obrázek 31 - koncentrace suspendovaných částic  $\text{PM}_{10}$  mezi 20:00 a 23:00 ve dny odpalování ohňostrojů

Je vidět, že v pátek 31. 8. došlo k rychlému nárůstu z 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  na 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , stejně rychle ale zase došlo k poklesu, takže už ve 21:50 byly koncentrace pod 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Následoval pak ještě jeden pík, který může souviset s odjezdem aut z Hlučína.

Během druhého ohňostroje došlo k vzestupu z přibližně 22 na 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tento vzestup je patrný již od 20:50, což ovšem odpovídá, protože byl tento ohňostroj odpálen přibližně o 13 minut dříve. Následně došlo k rychlému návratu a dalšímu poklesu, který souvisel s intenzivním deštěm během bouřky, která přišla krátce po konci ohňostroje.

Třetí ohňostrojový den, tedy 2. 9., je pozorován nárůst přibližně z 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  na 32  $\text{mg}/\text{m}^3$ , ale do 23 h již byly hodnoty na své původní hodnotě.

Lze tedy říci, že došlo jen k velmi malým nárůstům a ty byly pod imisním limitem.



Obrázek 32 - Koncentrační růžice pro  $PM_{10}$ . Vlevo nahoře 31. 8., vpravo nahoře 1. 9., vlevo dole 2. 9. a vpravo dole 3. 9.

Jediným dnem, kdy byl krátce po ohňostroji pozorován dočasný nárůst koncentrací suspendovaných částic  $PM_{10}$  byl pátek 31. 8. Na růžici je patrné, že nejvyšší koncentrace byly zaznamenány ze SZ směru, tedy přesně z místa odpalu, ale i přímo z jihu, odkud přicházeli a sledovali ohňostroj návštěvníci.

Během druhého ohňostroje 1. 9. není z prostoru odpalování vidět vyšší koncentrace, tento den byla nejvyšší rychlost větru ze všech tří ohňostrojů. Nejvyšší míru znečištění zde vidíme ze SV směru, kde stála budova s restaurací. Jak také dokládá graf průběhu koncentrací  $PM_{10}$ , nejvyšší koncentrace ten den nebyly naměřeny večer, ale odpoledne a tak se mohlo jednat buď o nějaký lokální zdroj v tomto směru, či přenos z větší dálky z okolí.

U koncentrační růžice z 2. 9. jsou vidět nejvyšší koncentrace v SZ a SV směru. Je možné, že část měla zdroj v ohňostrojích a část opět buď z nějakého lokálního zdroje SV, či z větší dálky.

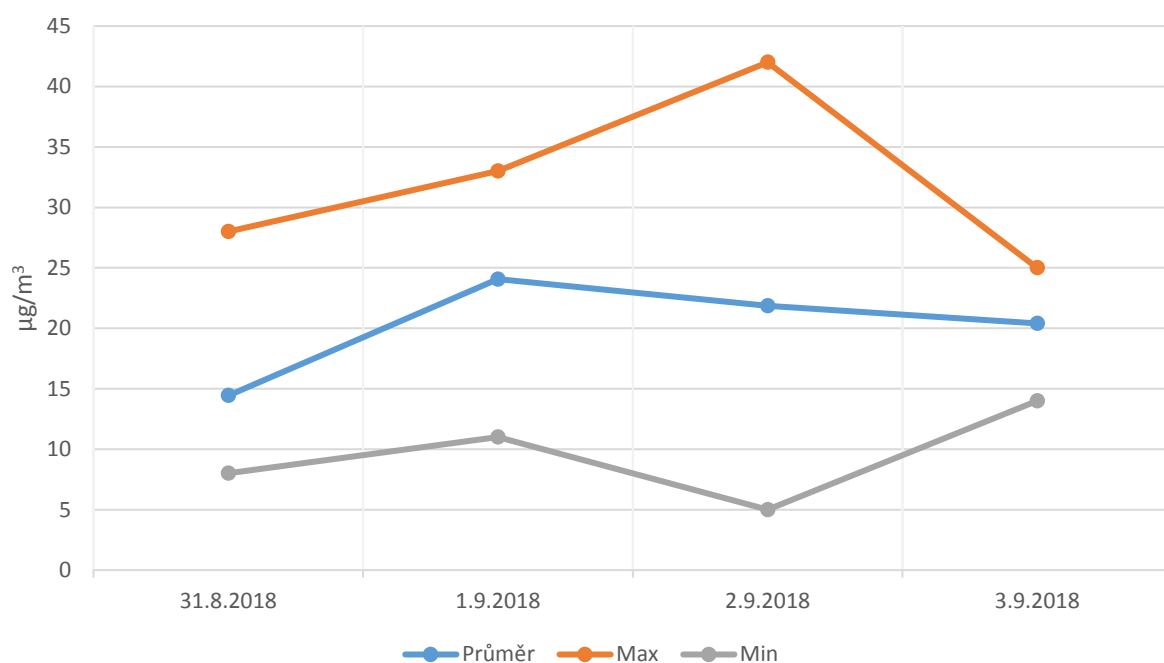
Poslední koncentrační růžice ze dne bez ohňostroje 3. 9. je koncentrovaná relativně blízko středu. Po většinu dne nebyla rychlost větru vysoká a není zde patrný žádný konkrétní směr, ze kterého by bylo znečištění vyšší. Pouze kolem poledne se krátce rychlost větru zvýšila a foukalo z východu, jak je však vidět na koncentrační růžici, nedocházelo tím ke zvýšení koncentrací.

## 6.4 PM<sub>2,5</sub> – RADIOMETRICKY

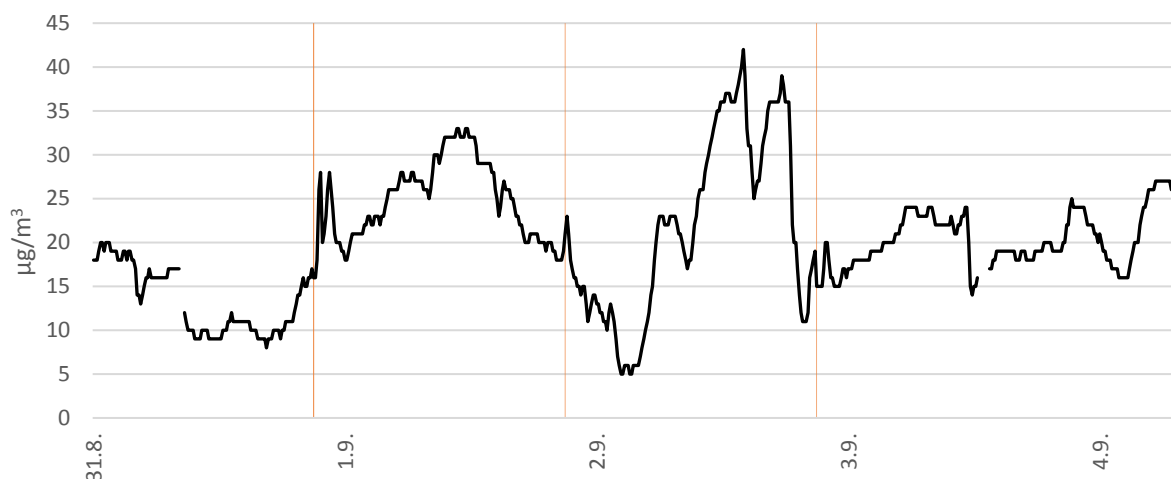
Koncentrace suspendovaných částic PM<sub>2,5</sub> byla měřena v 10minutových intervalech měřícím vozem. Roční imisní limit suspendovaných částic PM<sub>2,5</sub> pro ochranu zdraví má hodnotu 25 µg/m<sup>3</sup>.

Tabulka 14 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace PM<sub>2,5</sub> [µg/m<sup>3</sup>]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

| Den                | Průměr | Max  | Min  | Rozsah |
|--------------------|--------|------|------|--------|
| <b>31. 8. 2018</b> | 14.44  | 28.0 | 8.0  | 20.0   |
| <b>1. 9. 2018</b>  | 24.07  | 33.0 | 11.0 | 22.0   |
| <b>2. 9. 2018</b>  | 21.86  | 42.0 | 5.0  | 37.0   |
| 3. 9. 2018         | 20.41  | 25.0 | 14.0 | 11.0   |

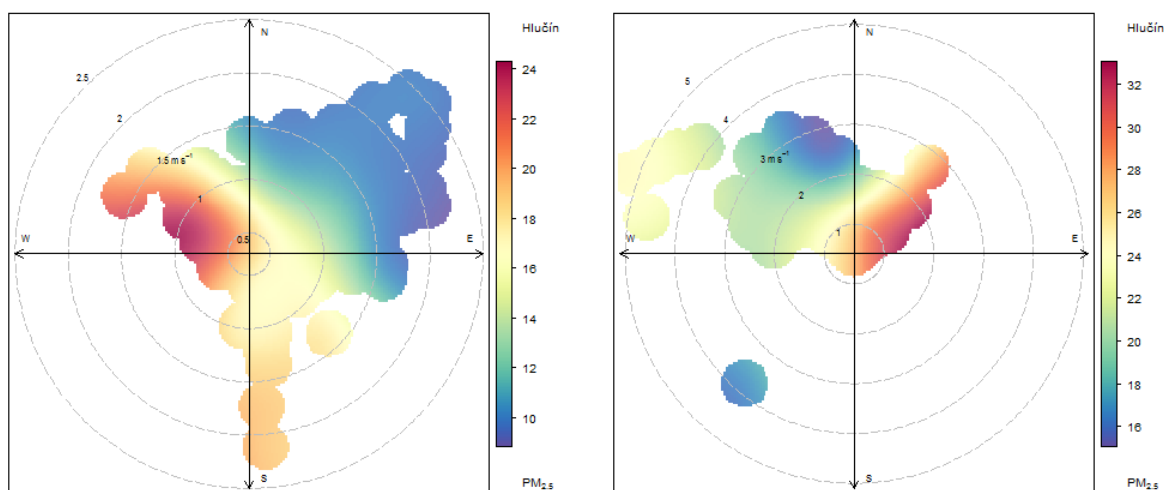


Obrázek 33 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace PM<sub>2,5</sub> [µg/m<sup>3</sup>].

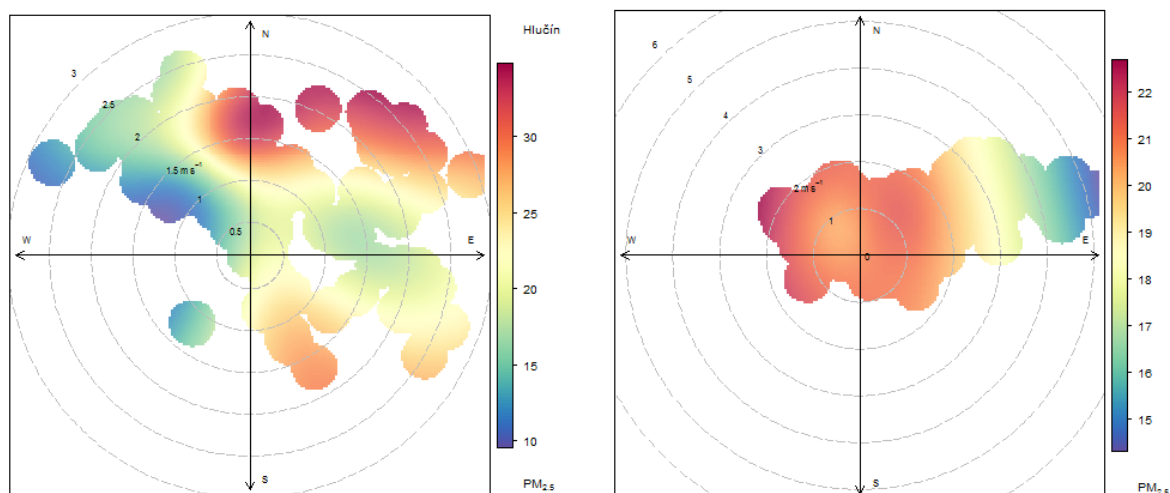


Obrázek 34 - Průběh koncentrací  $PM_{2,5}$  za celé období měření z 10minutových hodnot. Červená svislá čára značí čas konání ohňostroje.

Průběh koncentrací suspendovaných částic  $PM_{2,5}$  je velmi podobný tomu u  $PM_{10}$ . Nejvyšší denní průměr byl naměřen 1. 9., absolutně nejvyšší hodnota pak 2. 9. Nejvyšší denní průměr má hodnotu  $24,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tedy nedošlo k překročení imisního limitu. Navíc je z koncentrací patrné, že se navzájem nijak výrazně nelišily a to ani v den, kdy žádný ohňostroj odpálen nebyl. Vůbec nejnižší denní průměr byl zaznamenán hned první den měření, tedy 31. 8., kdy byl ve večerních hodinách odpálen první ohňostroj. Během něho došlo ke zvýšení koncentrací, jak je vidět z grafu výše, podobně jako u  $PM_{10}$ . Emise z ohňostrojů vznikají hořením a lze proto předpokládat, že se bude jednat primárně o částice jemnější frakce, tedy  $PM_{2,5}$ .







Obrázek 35 - Koncentrační růžice pro PM<sub>2.5</sub>. Vlevo nahoře 31. 8., vpravo nahoře 1. 9., vlevo dole 2. 9. a vpravo dole 3. 9.

Koncentrační růžice pro PM<sub>2.5</sub> jsou takřka shodné s těmi pro PM<sub>10</sub>.

## 7. TĚŽKÉ KOVY

### 7.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

Těžké kovy obecně představují skupinu kovů a polokovů s relativně vysokou hustotou a atomovou hmotností (většinou se uvádí  $> 4 \text{ g/cm}^3$ , ale přesná definice není jednotná). Některé z těžkých kovů jsou pro lidské tělo esenciální a je potřeba je v malých nebo stopových množstvích přijímat. Na druhou stranu jejich vysoké koncentrace mohou být vysoce toxické, a proto jsou sledovány nejen v ovzduší, ale i ve vodních a suchozemských ekosystémech a potravinách (Jaishankar, 2014).

Expozice některým těžkým kovům může mít řadu negativních zdravotních účinků – mohou být karcinogenní, způsobovat poruchy nervové soustavy nebo poškozovat oběhovou soustavu apod. (Kim H.S., 2015; Zeng, 2016; Lamas, 2016). Koncentrace vybraných těžkých kovů jsou proto pravidelně monitorovány a jsou pro ně dané imisní limity.

V současnosti jsou v Zákoně o ochraně ovzduší definovány imisní limity pro celkem čtyři těžké kovy (Tabulka 15). Tyto limity jsou platné pro roční průměrné koncentrace v suspendovaných částicích frakce  $\text{PM}_{10}$ .

Tabulka 15 - Imisní limity pro ochranu zdraví pro těžké kovy v částicích  $\text{PM}_{10}$  (roční průměr)

| Těžký kov |         | Doba průměrování | Imisní limit         |
|-----------|---------|------------------|----------------------|
| As        | arsen   | kalendářní rok   | $6 \text{ ng/m}^3$   |
| Cd        | kadmium | kalendářní rok   | $5 \text{ ng/m}^3$   |
| Ni        | nikl    | kalendářní rok   | $20 \text{ ng/m}^3$  |
| Pb        | olovo   | kalendářní rok   | $500 \text{ ng/m}^3$ |

Těžké kovy, s výjimkou olova, nejsou v pyrotechnických složích používány.

## 7.2 ARSEN

|                                                                  |                                                                                                                                         |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>33</div> <div>As</div> <div>Arsen</div> <div>74,92160</div> | <div>Atomové číslo: 33</div> <div>Hustota: 5,727 g/cm<sup>3</sup></div> <div>Teplota tání: 614 °C</div> <div>Teplota varu: 817 °C</div> |  |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

Arsen představuje toxický kov přítomný v řadě organických i anorganických látkách. Přírodní zdroje arsenu jsou vulkanický popel, vymývání hornin nebo mineralizovaná podzemní voda (Keshavarzi, 2011). Pokud se vyskytuje v půdě, dostává se do rostlinných těl a jejich konzumace pak může být velmi nebezpečná (Zhao, 2010). Stejně tak byly zaznamenány případy, kdy byly koncentrace arsenu vysoké ve vodě (atmosférickým spadem), a došlo k otravě osob (Uddin, 2011). Toxicita závisí do velké míry na způsobu, jakým je arsen ve sloučenině navázán. Sloučeniny  $\text{As}^{3+}$  jsou asi 60x jedovatější než  $\text{As}^{5+}$  (Ratnaike, 2003). Na lidský organismus působí arsen jako karcinogen, vyvolává rakoviny plic a kůže a může zvyšovat pravděpodobnost vzniku nádorů jater, ledvin a močového měchýře (Tokar, 2010; Hosseini, 2013; Letašiová, 2012).

Do ovzduší se arsen dostává spalováním fosilních paliv nebo dřeva konzervovaného přípravky obsahujícími arsen. Vyšší koncentrace se můžou vyskytovat i v okolí metalurgických závodů, které zpracovávají například měď nebo olovo (Yang, 2015).

Imisní limit pro arsen má hodnotu 6 ng/m<sup>3</sup> v průměru za kalendářní rok. Hodnoty imisního limitu nejsou v současnosti v Moravskoslezském kraji běžně překračovány. V níže uvedené tabulce jsou roční průměry koncentrací arsenu na vybraných stanic Moravskoslezského kraje za rok 2017.

Tabulka 16 – průměrné roční koncentrace arsenu na vybraných stanicích v Moravskoslezském kraji za rok 2017 v ng/m<sup>3</sup>

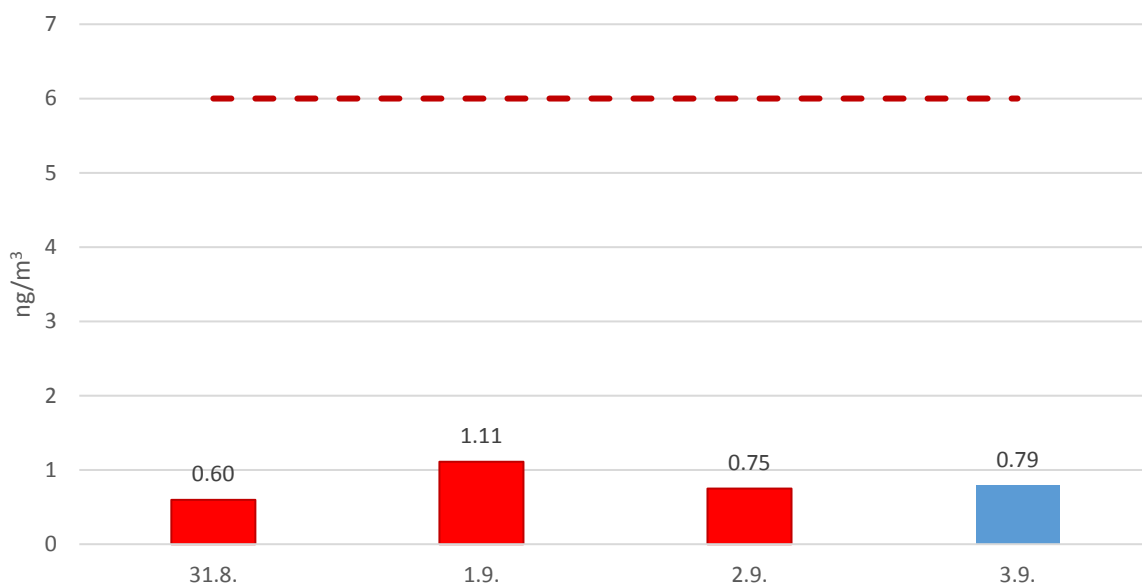
| Ostrava-Poruba | Ostrava-Přívoz | Ostrava-Mariánské Hory | Červená hora | Opava-univerzitní zahrada | Český Těšín | Karviná |
|----------------|----------------|------------------------|--------------|---------------------------|-------------|---------|
| 1,5            | 2,5            | 1,7                    | 0,7          | 1,0                       | 1,6         | 1,0     |

V rámci celé České republiky byla v roce 2017 nejvyšší průměrná roční koncentrace naměřena v lokalitě Kladno-Švermov a to 6,0 ng/m<sup>3</sup>, tedy přesně hodnota imisního limitu. Druhá nejvyšší hodnota byla 4,2 ng/m<sup>3</sup> (Tanvald-školka). V Moravskoslezském kraji byla nejvyšší naměřený průměr na stanici Ostrava-Přívoz, 2,5 ng/m<sup>3</sup>, tedy přibližně jedna třetina imisního limitu.

V níže uvedené tabulce jsou naměřené koncentrace arsenu v PM<sub>10</sub> v ng/m<sup>3</sup> ve 3 dny, kdy probíhaly ohňostroje a jeden den mimo ohňostroj (3. září).

Tabulka 17 – průměrné koncentrace arsenu během jednotlivých dní v ng/m<sup>3</sup>. Dny s ohňostrojem jsou vyznačeny červeným podbarvením.

| den         | koncentrace |
|-------------|-------------|
| 31. 8. 2018 | 0,60        |
| 1. 9. 2018  | 1,10        |
| 2. 9. 2018  | 0,75        |
| 3. 9. 2018  | 0,79        |
| mez detekce | 0,03        |



Obrázek 36 - Koncentrace arsenu v ovzduší [ng/m<sup>3</sup>] v jednotlivých dnech během konání tří ohňostrojů. Červeně jsou vyznačeny sloupce dne konání ohňostroje. Červená přerušovaná čára značí imisní limit.

Z výsledků je patrné, že koncentrace arsenu se pohybovaly pod imisním limitem, který je navíc stanoven pro roční průměr. Vůbec nejvyšší naměřená koncentrace byla během druhého ohňostroje a to 1,11 ng/m<sup>3</sup>. Tato hodnota je nižší, než jaký je roční průměr na řadě stanic v Moravskoslezském kraji (viz tabulka výše). Arsen se do pyrotechnických efektů nepoužívá, proto nárůst nebyl předpokládán, což se potvrdilo. Lze tedy říci, že z hlediska ochrany zdraví byly koncentrace arsenu během festivalu pod imisním limitem.

## 7.3 KADMIUM

|                                                                                 |                                                                                                                                        |                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <div><div>48</div><div><b>Cd</b></div><div>Kadmium</div><div>112,41</div></div> | <div>Atomové číslo: 48</div> <div>Hustota: 8,65 g/cm<sup>3</sup></div> <div>Teplota tání: 321 °C</div> <div>Teplota varu: 767 °C</div> |  |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

Kadmium je měkký modrobílý kov nepodléhající korozi. Běžně se používá jako součást baterií, pigmentů nebo například při výrobě televizorů (Linden, 1984; Nordberg, 2015). V lidském těle nemá kadmium žádnou známou funkci (Takeuchi, 2011). Jeho inhalace však může být velmi nebezpečná.

Přírodními zdroji kadmia v ovzduší je především vulkanická činnost, avšak přibližně 90 % tvoří zdroje antropogenní (Lane, 2015). Hlavními zdroji kadmia v ovzduší je těžba, metalurgie, spalování fosilních paliv a odpadů nebo například využívání hnojiv na fosfátové bázi (Grant, 2010). Kadmium se váže na částice v ovzduší a dálkovým přenosem se může přenášet na velké vzdálenosti, kde se následně vyskytuje nejen v ovzduší, ale depozicí se dostává i do vody a půdy.

Jedná se o velmi toxický prvek, který v největší míře poškozuje ledviny, kde dochází k jeho nejvýraznější akumulaci. Podle EPA se jedná o pravděpodobný lidský karcinogen a teratogen. Kromě ledvin vede i k poškození jater, kostí, plic, kardiovaskulárního systému a gastrointestinálního traktu (Friberg, 2017).

Imisní limit pro roční průměrnou koncentraci kadmia v ovzduší je 5 ng/m<sup>3</sup>. Hodnoty imisního limitu nejsou v současnosti v Moravskoslezském kraji běžně překračovány. V níže uvedené tabulce jsou roční průměry koncentrací kadmia na vybraných stanic Moravskoslezského kraje za rok 2017.

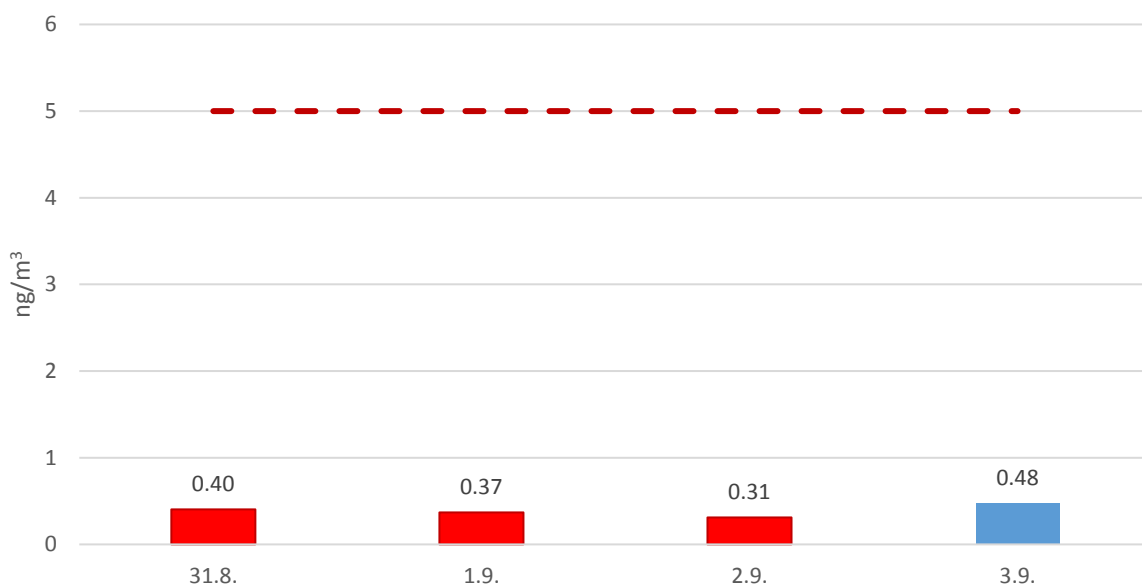
Tabulka 18 – průměrné roční koncentrace kadmia na vybraných stanicích Moravskoslezského kraje za rok 2017 v ng/m<sup>3</sup>

| Ostrava-Poruba | Ostrava-Přívoz | Ostrava-Mariánské Hory | Červená hora | Opava-univerzitní zahrada | Český Těšín | Karviná |
|----------------|----------------|------------------------|--------------|---------------------------|-------------|---------|
| 0,3            | 0,3            | 0,2                    | 0,1          | 0,2                       | 0,4         | 0,2     |

Nejvyšší průměrnou roční koncentrací kadmia v Moravskoslezském kraji v roce 2017 bylo 1,1 ng/m<sup>3</sup> na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ. Tato hodnota byla v tomto roce druhá nejvyšší po stanici Tanvald-školka (3,0 ng/m<sup>3</sup>). Stále však jen přibližně jedna pětina imisního limitu.

Tabulka 19 - průměrné koncentrace kadmia během jednotlivých dní v  $\text{ng}/\text{m}^3$ . Dny s ohňostrojem jsou vyznačeny červeným podbarvením

| den         | koncentrace |
|-------------|-------------|
| 31. 8. 2018 | 0,40        |
| 1. 9. 2018  | 0,37        |
| 2. 9. 2018  | 0,31        |
| 3. 9. 2018  | 0,48        |
| mez detekce | 0,0014      |



Obrázek 37 - Koncentrace kadmia v ovzduší [ $\text{ng}/\text{m}^3$ ] v jednotlivých dnech během konání tří ohňostrojů. Červeně jsou vyznačeny sloupce dne konání ohňostroje. Červená přerušovaná čára značí imisní limit.

Jak je vidět z výše uvedené tabulky a grafu, koncentrace kadmia se pohybovaly během celé doby konání festivalu hluboko pod imisním limitem. Vzhledem k tomu, že se kadmium do pyrotechnických efektů nepoužívá, nebyl předpokládán nárůst oproti dnům bez ohňostroje, což se i potvrdilo, poslední den měření, v den bez ohňostroje, který sloužil jako referenční hodnota, byla dokonce koncentrace ze všech čtyř dní nejvyšší,  $0,48 \text{ ng}/\text{m}^3$ , tedy necelých 10 % ročního imisního limitu pro ochranu zdraví.

## 7.4 NIKL

|                                                          |                                                                                                                                           |                                                                                     |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <div><div>Ni</div><div>Nikl</div><div>58,693</div></div> | <div>Atomové číslo: 28</div> <div>Hustota: 8,908 g/cm<sup>3</sup></div> <div>Teplota tání: 1455 °C</div> <div>Teplota varu: 2730 °C</div> |  |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

Nikl je stříbrobílý lesklý kov patřící do přechodných kovů, pátý nejhojněji zastoupený prvek na Zemi (po železu, kyslíku, silikonu a hořčíku). Téměř 70 % se používá do nerezové oceli a ocelářský průmysl je jeho největším odběratelem (Reck, 2012). Je odolný vůči korozi, proto se často v jemné vrstvičce nanáší na méně odolné kovy, jako je například železo.

V lidském těle je nikl součástí několika metaloenzymů, včetně ureázy, je důležitou součástí metabolismu lidského těla i rostlin (Yusuf, 2011). Ve vyšších koncentracích je však toxický jak pro lidi, tak pro ostatní organizmy a jedná se o karcinogen (Chervona, 2012). Do prostředí se dostává jak z přírodních, tak antropogenních zdrojů – jedná se například o dopravu, průmysl, fosilní paliva či odpady (Harasim, 2015).

Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci niklu je 20 ng/m<sup>3</sup>. Hodnoty imisního limitu nejsou v současnosti v Moravskoslezském kraji běžně překračovány. V níže uvedené tabulce jsou roční průměry koncentrací niklu na vybraných stanic Moravskoslezského kraje za rok 2017.

Tabulka 20 - průměrné roční koncentrace niklu na vybraných stanicích Moravskoslezského kraje za rok 2017 v ng/m<sup>3</sup>

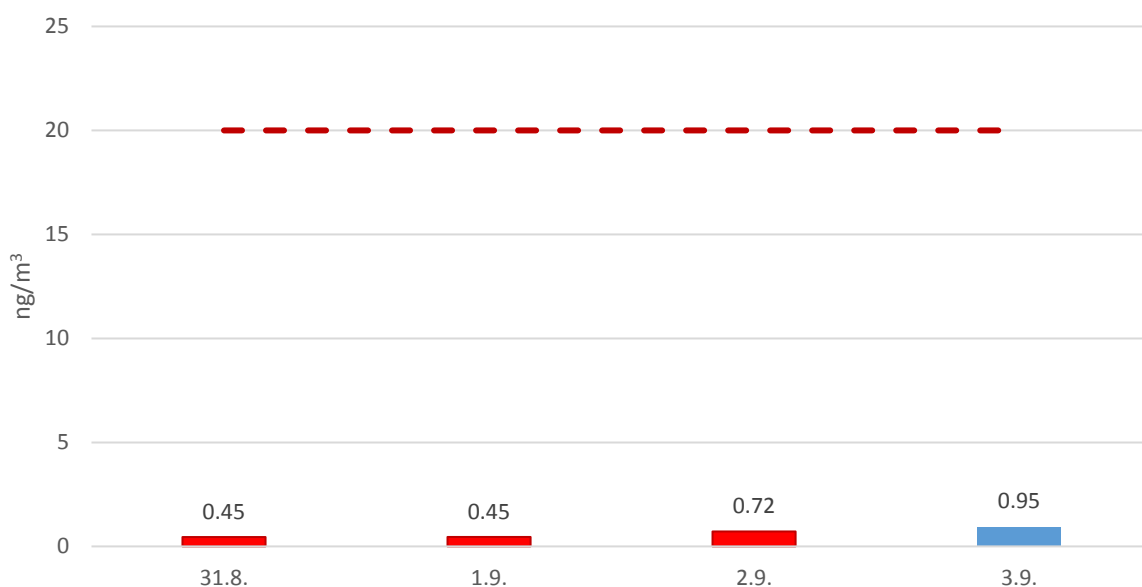
| Ostrava-Poruba | Ostrava-Přívoz | Ostrava-Mariánské Hory | Červená hora | Opava-univerzitní zahrada | Český Těšín | Karviná |
|----------------|----------------|------------------------|--------------|---------------------------|-------------|---------|
| 0,8            | 2,5            | 2,7                    | 0,4          | 0,9                       | 1,1         | 0,8     |

Hodnota 2,7 ng/m<sup>3</sup> jako roční průměr koncentrací niklu za rok 2017 na stanici Ostrava-Mariánské Hory je vůbec nejvyšším ročním průměrem v roce 2017 v celé České republice. Stále je to však hodnota přibližně 14 % imisního limitu pro ochranu zdraví.

V níže uvedené tabulce jsou uvedeny průměrné koncentrace niklu během jednotlivých dní festivalu – tří dnů s ohňostrojem a jednoho dne bez ohňostroje jako reference.

Tabulka 21 - průměrné koncentrace niklu během jednotlivých dní v ng/m<sup>3</sup>. Dny s ohňostrojem jsou vyznačeny červeným podbarvením

| den         | koncentrace |
|-------------|-------------|
| 31. 8. 2018 | 0,45        |
| 1. 9. 2018  | 0,45        |
| 2. 9. 2018  | 0,72        |
| 3. 9. 2018  | 0,95        |
| mez detekce | 0,15        |



Obrázek 38 - Koncentrace niklu v ovzduší [ng/m<sup>3</sup>] v jednotlivých dnech během konání tří ohňostrojů. Červeně jsou vyznačeny sloupce dne konání ohňostroje. Červená přerušovaná čára značí imisní limit.

Z výsledků je jasné vidět, že jsou koncentrace niklu velmi nízké a to během celé doby festivalu. Nejvyšší koncentrace byla naměřena v referenční den, tedy den bez ohňostroje, stále se ale nejedná ani o 5 % imisního limitu a hodnoty méně než poloviční ve srovnání s ročním průměrem na některých moravskoslezských stanicích.



## 7.5 OLOVO

|                                                                       |                                                                                                                                            |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <div><div>82</div><div>Pb</div><div>Olovo</div><div>207.2</div></div> | <div>Atomové číslo: 82</div> <div>Hustota: 11,34 g/cm<sup>3</sup></div> <div>Teplota tání: 327,5 °C</div> <div>Teplota varu: 1749 °C</div> |  |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

Olovo je dobře kujný, měkký a velmi těžký kov. Díky svým mechanickým vlastnostem (nízký bod tání, duktilita, vysoká hustota, vysoká stálost) má olovo široké využití. Používá se ve stavebním průmyslu, je součástí řady slitin, v protihlukových stěnách a ve 21. století především při výrobě akumulátorů (Pavlov, 2011).

Není známo, že by plnilo olovo nějakou biologickou funkci, naopak se jedná o toxický prvek (Alizadeh, 2011). Pro lidský organizmus je jedovatý jak při inhalaci, tak při pozření a nežádoucí účinky se můžou projevit téměř na všech orgánech – způsobuje mj. poruchy nervové soustavy, reprodukční soustavy, vývoje, imunitního systému, kardiovaskulárního systému, poruchy ledvin (US Food and Drug Administration, 2015).

Na přelomu tisíciletí došlo k výraznému zlepšení a snížení koncentrací olova v ovzduší, mj. díky zákazu používání olovnatého benzínu (v EU od roku 2000) (O'Brien, 2011). Imisní limit pro ochranu zdraví pro roční průměrnou koncentraci olova byl stanoven na 500 ng/m<sup>3</sup> (0,5 µg/m<sup>3</sup>). Hodnoty imisního limitu nejsou v současnosti v Moravskoslezském kraji běžně překračovány. V níže uvedené tabulce jsou roční průměry koncentrací olova na vybraných stanic Moravskoslezského kraje za rok 2017.

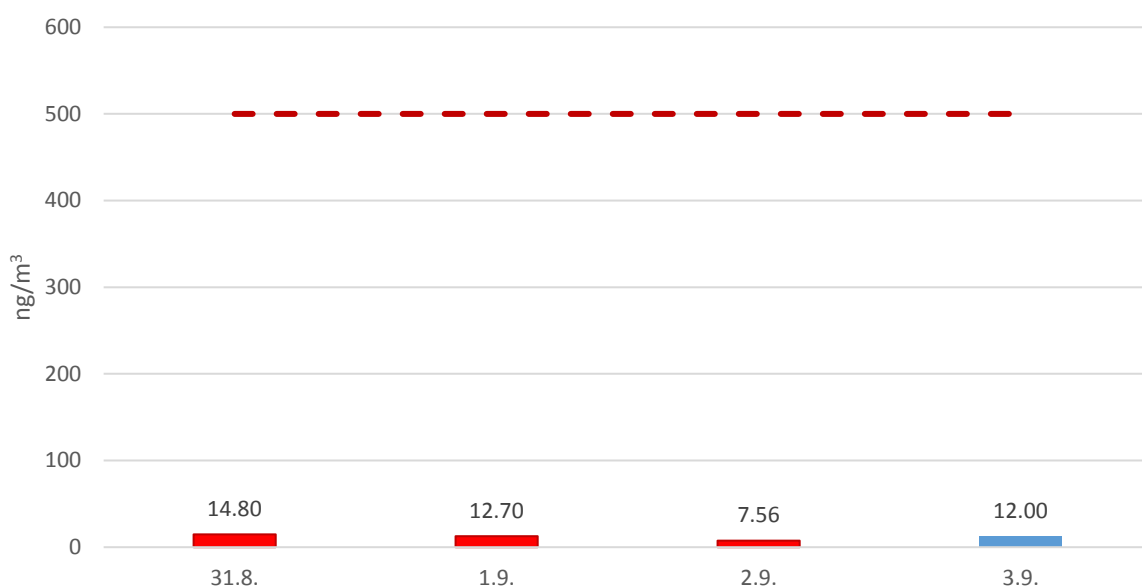
| Ostrava-Poruba | Ostrava-Přívoz | Ostrava-Mariánské Hory | Červená hora | Opava-univerzitní zahrada | Český Těšín | Karviná |
|----------------|----------------|------------------------|--------------|---------------------------|-------------|---------|
| 9,0            | 16,6           | 12,0                   | 4,4          | 6,8                       | 23,5        | 13,4    |

Nejvyšší roční průměrná koncentrace olova v roce 2017 byla v České republice naměřena na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ a to 52 ng/m<sup>3</sup>. Druhá nejvyšší na stanici Český Těšín-autobusové nádraží (25 ng/m<sup>3</sup>) a třetí na stanici Český Těšín (23 ng/m<sup>3</sup>). Je tedy vidět, že jsou nejvyšší koncentrace olova v rámci České republiky právě v Moravskoslezském kraji, stále se však pohybují na maximálně jedné desetíně imisního limitu pro ochranu zdraví (500 ng/m<sup>3</sup>).

V níže uvedené tabulce jsou průměrné koncentrace olova v jednotlivé dny měření festivalu, tři dny s ohňostrojem a jeden den bez ohňostroje.

Tabulka 22 - průměrné koncentrace olova během jednotlivých dní v  $\text{ng}/\text{m}^3$ . Dny s ohňostrojem jsou vyznačeny červeným podbarvením

| den         | koncentrace |
|-------------|-------------|
| 31. 8. 2018 | 14,8        |
| 1. 9. 2018  | 12,7        |
| 2. 9. 2018  | 7,6         |
| 3. 9. 2018  | 12,0        |
| mez detekce | 0,01        |



Obrázek 39 - Koncentrace olova v ovzduší [ $\text{ng}/\text{m}^3$ ] v jednotlivých dnech během konání tří ohňostrojů. Červeně jsou vyznačeny sloupce dne konání ohňostroje. Červená přerušovaná čára značí imisní limit.

Z výše uvedené tabulky a grafu je vidět, že nedošlo k překročení imisního limitu pro ochranu zdraví pro olovo. Navíc je vidět, že jsou koncentrace velmi nízké a neliší se nijak dny s ohňostrojem a den bez ohňostroje. Nejvyšší naměřená denní průměrná koncentrace ( $14,8 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) je výrazně nižší, než jaké jsou roční průměry na některých jiných stanicích v širším okolí (Ostrava-Radvanice, Český Těšín).

## 7.6 SHRnutí

Z naměřených dat vyplývá, že v důsledku odpalování ohňostrojů v rámci festivalu nedošlo k žádnému překročení imisního limitu pro těžké kovy (arsen, kadmium, nikl a olovo – těžké kovy s platným imisním limitem podle Zákonu o ochraně ovzduší).

V níže uvedené tabulce je souhrn koncentrací jednotlivých prvků. V tabulce je vždy uvedena průměrná koncentrace ze všech tří dní konání ohňostroje a dále maximální naměřená hodnota ze všech čtyř dní.

*Tabulka 23 – průměrné koncentrace těžkých kovů během dní s konáním ohňostroje, maximum ze všech měřicích dní a procentuální podíl z imisního limitu pro ochranu zdraví. Všechny koncentrace v  $\text{ng}/\text{m}^3$ . Poslední dva sloupce v %.*

|                | koncentrace ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) |         | imisní limit | % z imisního limitu |         |
|----------------|----------------------------------------|---------|--------------|---------------------|---------|
|                | průměr                                 | maximum |              | průměr              | maximum |
| <b>Arsen</b>   | 0,82                                   | 1,11    | 6            | 13,6                | 18,5    |
| <b>Kadmium</b> | 0,36                                   | 0,48    | 5            | 7,2                 | 9,6     |
| <b>Nikl</b>    | 0,54                                   | 0,95    | 20           | 2,7                 | 4,8     |
| <b>Olovo</b>   | 11,68                                  | 14,80   | 500          | 2,3                 | 3,0     |

Z tabulky je vidět, že u žádného s těžkých kovů s platným imisním limitem pro ochranu zdraví nedošlo k jeho překročení. Procentuálně nejvyšší hodnoty byly naměřeny pro arsen, absolutně maximální hodnota odpovídala necelé pětině imisního limitu pro ochranu zdraví, která je navíc stanovena pro roční průměr. U ostatních kovů (kadmium, nikl, olovo) byly průměrné koncentrace za všechny tři dny festivalu pod 10 % z imisního limitu pro roční průměr, v případě niklu a olova dokonce pod 5 %. Lze tedy říci, že koncentrace těžkých kovů s platným imisním limitem nepředstavovaly během konání festivalu žádné riziko pro ochranu zdraví.

## 8. SOUHRN

V rámci festivalu v Hlučíně, jehož součástí je i odpalování ohňostrojů, konaného mezi 31. 8. až 2. 9. 2018 v Hlučíně, bylo provedeno měření kvality ovzduší za účelem ověření, zda nejsou překračovány imisní limity stanovené Zákonem o ochraně ovzduší.

Poblíž odpalovacího prostoru byl instalován vzorkovač pro odběr suspendovaných částic  $PM_{10}$  pro následnou analýzu koncentrací těžkých kovů a měřicí vůz pro kontinuální měření koncentrací znečišťujících látek v ovzduší ( $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ) a meteorologických parametrů v 10minutových intervalech.

### 8.1 METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY

Průměrná denní teplota vzduchu se během celé doby konání festivalu pohybovala kolem 16 °C až 18°C. Absolutní rozsah teplot byl 11,1 °C (13,8 °C až 24,9 °C).

Důležitým meteorologickým parametrem pro kvalitu ovzduší je směr a rychlost větru. Obecně lze říci, že byly rychlosti větru po celou dobu konání akce relativně nízké. V některé dny nepřesahovala denní maximální rychlost větru 3 m/s (11 km/h). Absolutní maximum rychlosti větru bylo 5,1 m/s (18,4 km/h).

Během celé doby měření převládal vítr SZ, S a SV. První tři dny (31. 8. až 2. 9.) měření, převládal vítr SZ, poslední den, 3. 9. pak SV.

Výraznější srážkový úhrn napadl krátce po skončení druhého ohňostroje, 1. 9. 2018. Již přibližně 20 minut po skončení odpalu byla v lokalitě bouřka s intenzivním deštěm.

### 8.2 PLYNNÉ ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY

Měření koncentrací plynů probíhalo v 10minutových intervalech měřicím vozem. Konkrétně se jednalo o plyny, pro které je stanoven imisní limit v Zákoně o ochraně ovzduší.

Oxid dusičitý ( $NO_2$ ) může částečně být produktem odpalování pyrotechnických efektů, jeho koncentrace jsou však v největší míře ovlivňovány silniční dopravou. Vzhledem ke zvýšené intenzitě dopravy před a po konání ohňostrojů v lokalitě konání bylo sledováno, zda nedochází k nadlimitnímu zvyšování koncentrací  $NO_2$  v ovzduší. Na grafu průběhu koncentrací  $NO_2$  během období měření (Obrázek 18) jsou dle předpokladu vidět nárůsty koncentrací  $NO_2$  během prvního ohňostroje. U druhého ohňostroje nárůst pozorován nebyl, což je pravděpodobně dáno vyšší rychlostí větru během samotného ohňostroje, faktem, že kouřová vlečka se nepohybovala zcela směrem ke vzorkovači (byl

zachycen pouze minoritní podíl a navíc krátce po odpalu intenzivně pršelo, což vedlo k rychlé depozici látek z ovzduší. U třetího ohňostroje menší nárůst zaznamenán byl, ale nebyl nijak výrazný a podobně vysoké koncentrace byly zaznamenány i během dne v jinou dobu. Absolutně nejvyšší naměřená koncentrace NO<sub>2</sub> během čtyřdenního měření byla 47,2 µg/m<sup>3</sup>, 31. srpna ve 22:10, tedy přesně v momentě ukončení odpalu prvního ohňostroje. Nejvyšší denní průměr byl naměřen druhý den měření 1. 9. a to 13,4 µg/m<sup>3</sup>. Pro srovnání, hodinový imisní limit pro NO<sub>2</sub> má hodnotu 200 µg/m<sup>3</sup>, roční imisní limit pro ochranu zdraví pro průměrnou koncentraci NO<sub>2</sub> má hodnotu 40 µg/m<sup>3</sup>. Imisní limity jsou tedy výrazně vyšší, než naměřené hodnoty a koncentrace naměřené během celé doby měření nepředstavují zdravotní riziko.

Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) mají stanoven limit pro ochranu ekosystémů pro roční průměr. Ten má hodnotu 30 µg/m<sup>3</sup>. Během celé doby měření kromě jednoho dne, nepřesáhly koncentrace NO<sub>x</sub> v denním průměru 20 µg/m<sup>3</sup>. Absolutně nejvyšší naměřená koncentrace byla 65,6 µg/m<sup>3</sup>, jednalo se však o jedinou desetiminutovou hodnotu. Průběh koncentrací NO<sub>x</sub> koreluje s koncentracemi NO<sub>2</sub> (NO<sub>x</sub> je kombinací NO<sub>2</sub> a NO).

Koncentrace oxidu siřičitého v posledních letech nepředstavují kromě naprosto výjimečných situací ani v celé České republice problém. Imisní limit pro ochranu zdraví pro průměrnou roční koncentraci SO<sub>2</sub> má hodnotu 125 µg/m<sup>3</sup>, 24h imisní limit pro ochranu zdraví pak 350 µg/m<sup>3</sup>. Denní průměrné koncentrace SO<sub>2</sub> v době konání festivalu se pohybovaly mezi 2,83 a 4,87 µg/m<sup>3</sup> (absolutní maximum 12,1 µg/m<sup>3</sup>). Nejvyšší denní průměr tedy představuje jen téměř jednu sedmdesátinu 24h imisního limitu. Ač je síra jednou z hlavních součástí střílného prachu používaného téměř ve všech pyrotechnických efektech, na koncentracích SO<sub>2</sub> v ovzduší se toto nijak neprojevovalo a nedošlo k překročení ani k významnému zvýšení koncentrací SO<sub>2</sub> v ovzduší. Z grafu průběhu SO<sub>2</sub> jsou patrná dvě zvýšení, avšak zcela mimo dobu konání ohňostroje a mají tedy jiný zdroj.

Posledním sledovaným plynem byl oxid uhelnatý (CO). Zákonem o ochraně ovzduší stanovený imisní limit pro maximální 8h klouzavou průměrnou koncentraci CO pro ochranu zdraví má hodnotu 10 mg/m<sup>3</sup>. Průměrná denní koncentrace CO se během měření pohybovala od 0,13 do 0,22 mg/m<sup>3</sup>, tedy hluboko pod hranicí imisního limitu. Absolutně nejvyšší koncentrace CO byla naměřena v den konání prvního ohňostroje (0,43 mg/m<sup>3</sup>). Lze tedy říci, že v důsledku ohňostrojů nedochází k překračování ani významnému zvyšování koncentrací CO v ovzduší.

### 8.3 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE

V rámci měření kvality ovzduší byla sledována frakce suspendovaných částic PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>.

Hrubší frakce byla měřena kontinuálně radiometricky měřícím vozem v 10minutovém intervalu po celou dobu konání přehlídky. Potenciálním zdrojem zvýšené koncentrace  $PM_{10}$  v době konání ohňostrojů mohou být jak samotné pyrotechnické efekty, tak pohyb osob (resuspenze) a další s akcí spojené činnosti (emise ze spalování dřevěného uhlí v grilech stánků s občerstvením apod.). Vzorkovače a měřící vůz byly během měření umístěny tak, aby nedocházelo k hyperlokálnímu ovlivnění z okolních zdrojů, které by mohly výrazně zkreslit měření (prostor přibližně v okruhu 20 m kolem měřících zařízení nebyl přístupný veřejnosti). Z grafu časového průběhu koncentrací suspendovaných částic  $PM_{10}$  (Obrázek 30) je vidět, že během každého ze tří ohňostrojů došlo k nárůstu koncentrací  $PM_{10}$ . V případě prvního ohňostroje je nárůst relativně markantní, pravděpodobně díky směru větru, kdy kouřová vlečka postupovala směrem ke vzorkovači a měřícímu vozu. U druhého ohňostroje je vidět velmi krátké zastavení typického večerního poklesu, ale vzápětí opět pokračování v poklesu, dáno především intenzivním deštěm a bouřkou. U třetího ohňostroje byl nárůst viditelnější, ale menší než při prvním ohňostroji. Celkově však nebyla tato zvýšení nijak významná. Nejvyšší koncentrace  $PM_{10}$  za čtyři dny měření byly naměřeny třetí den měření, 2. září, v odpoledních hodinách a zdrojem tohoto znečištění nebyly ohňostroje.

Imisní limit pro denní průměrnou koncentraci  $PM_{10}$  pro ochranu zdraví je  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Absolutně nejvyšší koncentrace během celého měření byla přesně na hladině denního imisního limitu, tedy  $50,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Jednalo se však o pouze jeden desetiminutový údaj, naměřený navíc v odpoledních hodinách, zcela mimo dobu konání ohňostroje. Denní průměrné koncentrace byly vždy pod  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tedy pod denním imisním limitem.

Jemnější frakce  $PM_{2,5}$  byla rovněž měřena měřícím vozem v 10minutovém kroku. Pro  $PM_{2,5}$  je platný pouze roční imisní limit, který má hodnotu  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Všechny čtyři dny měření byly průměrné denní koncentrace pod  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Průběh koncentrací  $PM_{2,5}$  dobře kopíruje průběh koncentrací  $PM_{10}$ .

## 8.4 TĚŽKÉ KOVY

Zákon o ochraně ovzduší stanovuje imisní limity pro celkem čtyři těžké kovy – arsen, kadmium, nikl a olovo. Koncentrace těžkých kovů byly stanoveny metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou ze 24h odběrů suspendovaných částic  $PM_{10}$ .

Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci arsenu v ovzduší má hodnotu  $6 \text{ ng}/\text{m}^3$ . Během všech čtyř dní měření se průměrné denní koncentrace arsenu pohybovaly pod, nebo těsně nad  $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ . Tyto koncentrace jsou nižší, než činí roční průměr na většině stanic v moravskoslezském kraji (mezi  $1$  až  $2 \text{ ng}/\text{m}^3$ ).

Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci kadmia v ovzduší má hodnotu 5 ng/m<sup>3</sup>. Z výsledků analýzy těžkých kovů vyplývá, že byly koncentrace ve všechny čtyři dny pod 0,5 ng/m<sup>3</sup>, tedy pod jednou desetinou imisního limitu.

Pro průměrnou roční koncentraci niklu je v Zákoně o ochraně ovzduší stanoven imisní limit 20 ng/m<sup>3</sup>. Nejvyšší denní průměrná koncentrace niklu byla naměřena v mimořádně vysokém den, 3. září a to 0,95 ng/m<sup>3</sup>, tedy necelá dvacetina imisního limitu.

Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci olova v ovzduší je stanoven na 500 ng/m<sup>3</sup>. Koncentrace olova se v průměru ve všechny čtyři dny pohybovaly pod 15 ng/m<sup>3</sup>.

Z výsledků analýzy těžkých kovů lze vyvodit, že se koncentrace pohybovaly hluboko pod imisním limitem a nijak nevybočovaly od koncentrací totožných látek v ovzduší běžně během roku v dané lokalitě.

## 8.5 ZÁVĚR

V rámci měření kvality ovzduší byly sledovány znečišťující látky, pro které je v Zákoně o ochraně ovzduší stanoven imisní limit (plyny a těžké kovy). Z výsledků kontinuálního měření plyných znečišťujících látek a analýzy koncentrací těžkých kovů a suspendovaných částic vyplynulo, že **ač v některých případech dochází k prokazatelnému mírnému zvýšení koncentrací konkrétní látky (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>), nedošlo k překročení žádného imisního limitu.**

## 9. LITERATURA

Akhavan J. *The chemistry of explosives*. Royal Society of Chemistry; 2011.

Alizadeh T, Amjadi S. *Preparation of nano-sized Pb<sup>2+</sup> imprinted polymer and its application as the chemical interface of an electrochemical sensor for toxic lead determination in different real samples*. Journal of hazardous materials. 2011 Jun 15;190(1-3):451-9.

Beckstead MW. *Correlating aluminum burning times*. Combustion, Explosion and Shock Waves. 2005 Sep 1;41(5):533-46.

Brain, Marshall. "How fireworks work." (2001).

Cannavo CG, Riffault ML, inventors; *Direction General pour l Armement (DGA), assignee. Hot-wire ignition initiator for propellant charges*. United States patent US 4,354,432. 1982 Oct 19.

Cobb V. *Fireworks*. LernerClassroom; 2006.

Conkling JA, Mocella C. *Chemistry of pyrotechnics: basic principles and theory*. CRC press; 2010 Dec 23.

Czyska-Filemonowicz A, Buffat PA, Łucki M, Moskalewicz T, Rakowski W, Lekki J, Wierzchoń T. *Transmission electron microscopy and atomic force microscopy characterisation of titanium-base alloys nitrified under glow discharge*. Acta Materialia. 2005 Sep 1;53(16):4367-77.

Do TM, Wang CF, Hsieh YK, Hsieh HF. *Metals present in ambient air before and after a firework festival in Yanshui, Tainan, Taiwan*. Aerosol Air Qual. Res. 2012 Oct 1;12(5):981-93.

Dolara P. *Occurrence, exposure, effects, recommended intake and possible dietary use of selected trace compounds (aluminium, bismuth, cobalt, gold, lithium, nickel, silver)*. International journal of food sciences and nutrition. 2014 Dec 1;65(8):911-24.

Dolata DP. *Reassessment of the Identity of the Blue Light Emitter in Copper-Containing Pyrotechnic Flames – Is it really CuCl?*. Propellants, Explosives, Pyrotechnics: An International Journal Dealing with Scientific and Technological Aspects of Energetic Materials. 2005 Feb;30(1):63-6.

Drewnick F, Hings SS, Curtius J, Eerdekens G, Williams J. *Measurement of fine particulate and gas-phase species during the New Year's fireworks 2005 in Mainz, Germany*. Atmospheric Environment. 2006 Jul 1;40(23):4316-27.



Ergin M, Caliskanturk M, Senat A, Akturk O, Erel O. *Disulfide stress in carbon monoxide poisoning. Clinical biochemistry.* 2016 Nov 1;49(16-17):1243-7.

Friberg L. *Cadmium in the Environment*: O. CRC press; 2017 Dec 22.

Gellings, C.W. and Parmenter, K.E., 2016. *Energy efficiency in fertilizer production and use.*

Geravandi S, Goudarzi G, Babaei AA, Akbar A, Takdastan A, Mohammadi MJ, Vosoughi Niri M, Salmanzadeh S, Shirbeigi E. *Health endpoint attributed to sulfur dioxide air pollutants.* Jundishapur Journal of Health Sciences.. 2015;7(3).

Grant CA. *Influence of phosphate fertilizer on cadmium in agricultural soils and crops.* Pedologist. 2010;54(3 Special Issue):143-55.

Grima M, Butler M, Hanson R, Mohameden A. *Firework displays as sources of particles similar to gunshot residue.* Science & Justice. 2012 Mar 1;52(1):49-57.

Hall Jr HH, Bouchard AC, Shaffer JW, Gavenonis TL, inventors; Ledvance LLC, assignee. *Method of making a heat-sealed pyrotechnic cap.* United States patent US 4,374,073. 1983 Feb 15.

Harasim P, Filipek T. *Nickel in the environment.* Journal of Elementology. 2015;20(2).

Hetem IG, Andrade MD. *Characterization of fine particulate matter emitted from the resuspension of road and pavement dust in the metropolitan area of São Paulo, Brazil.* Atmosphere. 2016 Feb 23;7(3):31.

Hosseini MJ, Shaki F, Ghazi-Khansari M, Pourahmad J. *Toxicity of arsenic (III) on isolated liver mitochondria: a new mechanistic approach.* Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR. 2013;12(Suppl):121.

Chen X, Zhang X, Feng MH, Pang GP, Lv HP. *The influences of catalysts in the thermal decomposition of barium nitrate as pyrotechnic oxidants.* In Applied Mechanics and Materials 2012 (Vol. 217, pp. 766-769). Trans Tech Publications.

Chervona Y, Arita A, Costa M. *Carcinogenic metals and the epigenome: understanding the effect of nickel, arsenic, and chromium.* Metallomics. 2012;4(7):619-27.

Choi D, Toda H, Kim Y. *Effect of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) on growth and physiological activity in Alnus sieboldiana at Miyakejima Island in Japan.* Ecological research. 2014 Jan 1;29(1):103-10.

Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. *Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals.* Interdisciplinary toxicology. 2014 Jun 1;7(2):60-72.

Kermani M, Jokandan SF, Aghaei M, Asl FB, Karimzadeh S, Dowlati M. *Estimation of the number of excess hospitalizations attributed to sulfur dioxide in six major cities of Iran*. Health Scope. 2016;5(4).

Keshavarzi B, Moore F, Mosaferi M, Rahmani F. *The source of natural arsenic contamination in groundwater, west of Iran*. Water Quality, Exposure and Health. 2011 Dec 1;3(3-4):135-47.

Kim HS, Kim YJ, Seo YR. *An Overview of Carcinogenic Heavy Metal: Molecular Toxicity Mechanism and Prevention*. Journal of Cancer Prevention. 2015;20(4):232-240. doi:10.15430/JCP.2015.20.4.232.

Kim JY, Lee EY, Choi I, Kim J, Cho KH. *Effects of the particulate matter 2.5 (PM<sub>2.5</sub>) on lipoprotein metabolism, uptake and degradation, and embryo toxicity*. Molecules and cells. 2015 Dec 31;38(12):1096.

Kim KH, Kabir E, Kabir S. *A review on the human health impact of airborne particulate matter*. Environment international. 2015 Jan 1;74:136-43.

Koch EC. *Special Materials in Pyrotechnics: III. Application of Lithium and its Compounds in Energetic Systems. Propellants, Explosives*, Pyrotechnics: An International Journal Dealing with Scientific and Technological Aspects of Energetic Materials. 2004 Apr;29(2):67-80.

Kumar S. *Acid Rain-The Major Cause of Pollution: Its Causes, Effects*. International Journal of Applied Chemistry. 2017;13(1):53-8.

Lamas GA, Navas-Acien A, Mark DB, Lee KL. *Heavy metals, cardiovascular disease, and the unexpected benefits of chelation therapy*. Journal of the American College of Cardiology. 2016 May 24;67(20):2411-8.

Lane EA, Canty MJ, More SJ. *Cadmium exposure and consequence for the health and productivity of farmed ruminants*. Research in veterinary science. 2015 Aug 1;101:132-9.

Letašiová S, Medved'ová A, Šovčíková A, Dušínská M, Volkovová K, Mosoiu C, Bartonová A. *Bladder cancer, a review of the environmental risk factors*. Environmental Health. 2012 Jun;11(1):S11.

Lewis TC, Robins TG, Batterman SA, Mukherjee B, Mentz GB, Parker EA, Israel BA. *Daily 1-hour peak levels of sulfur dioxide are associated with increased respiratory symptoms in detroit children with asthma*. In A16. EPIDEMIOLOGY AND HEALTH CARE COSTS OF PEDIATRIC AND ADULT ASTHMA 2016 May (pp. A1030-A1030). American Thoracic Society.

Licudine JA, Yee H, Chang WL, Whelen AC. *Hazardous metals in ambient air due to New Year fireworks during 2004–2011 celebrations in Pearl City, Hawaii*. Public Health Reports. 2012 Jul;127(4):440-50.

Linden D. *Handbook of batteries and fuel cells*. New York, McGraw-Hill Book Co., 1984, 1075 p.

Loke TS, Tan D, Seah HS, Er MH. *Rendering fireworks displays*. IEEE Computer Graphics and Applications. 1992 May 1(3):33-43.

Meyerriecks W, Kosanke KL. *Color values and spectra of the principal emitters in colored flames*. J. Pyrotechnics. 2003;18:1-22.

Nordberg GF, Nogawa K, Nordberg M. Cadmium. In *Handbook on the Toxicology of Metals* (Fourth Edition) 2015 (pp. 667-716).

O'Brien E, Partner UN. *Chronology of leaded gasoline/leaded petrol history*. Lead Education and Abatement Design Group. 2011 Dec 23.

Palaneeswaria T. *A study on attitude of fireworks manufacturers in Sivakasi towards eco-friendly fireworks*. International Journal of Trade and Commerce. 2012 Jul.

Pavlov D. *Lead-acid batteries: science and technology*. Elsevier; 2011 May 31.

Posson PL, Baggett Jr AJ, inventors; BAE Systems Integrated Defense Solutions Inc, assignee. *Pyrotechnic compositions and uses therefore*. United States patent US 6,427,599. 2002 Aug 6.

Ratnaike RN *Acute and chronic arsenic toxicity* Postgraduate Medical Journal 2003;79:391-396.

Reck BK, Rotter VS. *Comparing growth rates of nickel and stainless steel use in the early 2000s*. Journal of Industrial Ecology. 2012 Aug 1;16(4):518-28.

Rose JE, Elstrodt D, Puszynski JA, inventors; US Secretary of Navy, assignee. *Lead-free pyrotechnic composition*. United States patent US 6,663,731. 2003 Dec 16.

Rose JJ, Wang L, Azarov I, Xu Q, Huang XN, Corey CG, Guimaraes D, McTiernan CF, O'Donnell CP, Tejero J, Shiva S. *Reversal Of The Toxic Effects Of Carbon Monoxide (CO) Poisoning On Tissue Respiration Through A Co Scavenging Molecule*. InB80-A. MECHANISMS AND MODELS OF ACUTE LUNG INJURY 2017 May (pp. A4394-A4394). American Thoracic Society.

Russell MS. *The chemistry of fireworks*. Royal Society of Chemistry; 2009.

Sabatini JJ, Poret JC, Broad RN. *Boron Carbide as a Barium-Free Green Light Emitter and Burn-Rate Modifier in Pyrotechnics*. Angewandte Chemie International Edition. 2011 May 9;50(20):4624-6.

Sanger MJ. *Flame Tests: Which Ion Causes the Color?*. Journal of Chemical Education. 2004 Dec;81(12):1776A.

Sekar, T. and Ramaswamy, S.N., 2004. *Explosion Resistant Buildings for Fireworks and Match Works Industries—Issues and Challenges Ahead*.

Sharma PP, Gahlot S, Rajput A, Patidar R, Kulshrestha V. *Efficient and cost effective way for the conversion of potassium nitrate from potassium chloride using electrodialysis*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2016 May 3;4(6):3220-7.

Silva MM, Lidon F. *Food preservatives—An overview on applications and side effects*. Emirates Journal of Food and Agriculture. 2016 Jan 7:366-73.

Singh VP. *Toxic metals and environmental issues*. Sarup & Sons; 2005.

Smith SJ, Aardenne JV, Klimont Z, Andres RJ, Volke A, Delgado Arias S. *Anthropogenic sulfur dioxide emissions: 1850–2005*. Atmospheric Chemistry and Physics. 2011 Feb 9;11(3):1101-16.

Steinhauser G, Klapötke TM. *“Green” pyrotechnics: a chemists’ challenge*. Angewandte Chemie International Edition. 2008 Apr 21;47(18):3330-47.

Steinhauser G, Sterba JH, Foster M, Grass F, Bichler M. *Heavy metals from pyrotechnics in New Years Eve snow*. Atmospheric Environment. 2008b Dec 1;42(37):8616-22.

SZÚ; *Zdravotní důsledky a rizika znečištění, Odborná zpráva za rok 2015*, Státní zdravotní ústav, Praha, září 2016

Takeuchi CY, Corrêa-Afonso AM, Pedrazzi H, Dinelli W, Palma-Dibb RG. *Deposition of lead and cadmium released by cigarette smoke in dental structures and resin composite*. Microscopy Research and Technique. 2011 Mar 1;74(3):287-91.

Tokar EJ, Diwan BA, Ward JM, Delker DA, Waalkes MP. *Carcinogenic effects of “whole-life” exposure to inorganic arsenic in CD1 mice*. Toxicological sciences. 2010 Oct 11;119(1):73-83.

Trasande L, Malecha P, Attina TM. *Particulate matter exposure and preterm birth: estimates of US attributable burden and economic costs*. Environmental health perspectives. 2016 Dec;124(12):1913.

Uddin R, Huda NH. *Arsenic poisoning in Bangladesh*. Oman medical journal. 2011 May;26(3):207.

US Food and Drug Administration. *Q3D Elemental Impurities Guidance for Industry*. US Department of Health and Human Services. 2015:41.

Válek L., *Pyrotechnika tajemství zbavená*, 2009, Válek Leo-vlastní náklad, ISBN 978-80-254-6106-8, 128s.

Vierkötter A, Krutmann J, Schikowski T. 9.1 *Ambient Particulate Matter and Its Health Effects*. *Environment and Skin*. 2017 Nov 20:105.

Wallace PJ, Gerlach TM. *Magmatic vapor source for sulfur dioxide released during volcanic eruptions: evidence from Mount Pinatubo*. *Science*. 1994 Jul 22;265(5171):497-9.

Wang Y, Zhuang G, Xu C, An Z. *The air pollution caused by the burning of fireworks during the lantern festival in Beijing*. *Atmospheric Environment*. 2007 Jan 1;41(2):417-31.

WHO, 2016; *Air Quality Guidelines, Global Update 2005*; World Health Organization, 2006

Yang H, He M, Wang X. *Concentration and speciation of antimony and arsenic in soil profiles around the world's largest antimony metallurgical area in China*. *Environmental geochemistry and health*. 2015 Feb 1;37(1):21-33.

Yusuf M, Fariduddin Q, Hayat S, Ahmad A. *Nickel: an overview of uptake, essentiality and toxicity in plants*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2011 Jan 1;86(1):1-7.

Zeng X, Xu X, Boezen HM, Huo X. *Children with health impairments by heavy metals in an e-waste recycling area*. *Chemosphere*. 2016 Apr 1;148:408-15.

Zhao FJ, McGrath SP, Meharg AA. *Arsenic as a food chain contaminant: mechanisms of plant uptake and metabolism and mitigation strategies*. *Annual review of plant biology*. 2010 Jun 2;61:535-59.

Zhu CG, Wang HZ, Min L. *Ignition temperature of magnesium powder and pyrotechnic composition*. *Journal of Energetic Materials*. 2014 Jul 3;32(3):219-26.

Ahmaruzzaman M. *A review on the utilization of fly ash*. *Progress in energy and combustion science*. 2010 Jun 1;36(3):327-63.

Li W, Shi Z, Yan C, Yang L, Dong C, Wang W. *Individual metal-bearing particles in a regional haze caused by firecracker and firework emissions*. *Science of the Total Environment*. 2013 Jan 15;443:464-9.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Autoři zprávy by rádi poděkovali laborantce ČHMÚ Ivě Bajerkové za přípravu vzorků, technikům ČHMÚ Miroslavu Komárkovi a Radku Krymlákovi za technické zajištění vzorkovačů ČHMÚ, Mgr. Elišce Žabkové za provedení ICP-MS analýzy a ostravské pobočce ČHMÚ za spolupráci během měření a technické zajištění měřícího vozu.