

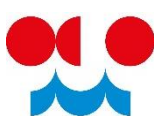
IGNIS BRUNENSIS 2019

měření kvality ovzduší během přehlídky ohňostrojů v Brně

ODBORNÁ ZPRÁVA



Mgr. Jáchym Brzezina, Mgr. Šárka Antošová



ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
ODDĚLENÍ KVALITY OVZDUŠÍ, POBOČKA BRNO



IGNIS BRUNENSIS 2019

měření kvality ovzduší během přehlídky ohňostrojů v Brně

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

STATUTÁRNÍ MĚSTO BRNO

zastoupen Ing. Martinem Vaněčkem, *vedoucím odboru životního prostředí*

Dominikánského náměstí 1, 601 67 Brno

IČ: 44992785

DIČ: CZ44992785

kontaktní osoba: Bc. Radek Kronovet

ZPRACOVATELÉ

Mgr. Jáchym Brzezina

Mgr. Šárka Antošová

DATUM PŘEDÁNÍ

23. 8. 2019

POČET STRAN

176



OBSAH

1. ÚVOD	6
2. METODIKA.....	7
2.1 LOKALITA MĚŘENÍ	7
2.2 MĚŘÍCÍ TECHNIKA.....	9
2.3 MĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY	9
2.3.1 Leckel SEQ 47/50 PM ₁₀	9
2.3.2 Leckel SEQ 47/50 PM _{2,5}	9
2.3.2 Leckel MVS6 + PM ₁₀	10
2.3.3 Měřicí vůz	10
2.4 PLÁN MĚŘENÍ.....	11
2.5 DOSTUPNOST DAT	12
2.6 POUŽITÝ SOFTWARE/TECHNOLOGIE	13
3. METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY.....	14
3.1 TEPLOTA VZDUCHU.....	15
3.2 RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU	17
3.3 RYCHLOST VĚTRU	19
3.4 SMĚR VĚTRU	22
3.5 SRÁŽKY	24
3.6 CELKOVÝ RÁZ POČASÍ	26
4. PYROTECHNICKÉ SLOŽE A CHEMIE OHŇOSTROJŮ.....	27
4.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE	27
4.2 OKYSLIČOVADLA	27
4.3 HOŘLAVINY (PALIVA)	28
4.4 POJIDLA	29
4.5 ZMĚKČOVADLA	30
4.6 STABILIZÁTORY	30
4.7 KATALYZÁTORY	30
4.8 PROTISPĚKAVÉ (ANTISPĚKAVÉ) LÁTKY	31
4.9 FLEGMATIZÁTORY	31
4.10 LÁTKY BARVÍCÍ PLAMEN	31
4.10.1 Základní rozdělení.....	31

4.10.2 Prvky používané pro zbarvení plamene	32
4.10.3 Barevný dým	34
5. KVALITA OVZDUŠÍ – PLYNY	35
5.1 OXID DUSIČITÝ (NO ₂)	37
5.2 OXID DUSNATÝ (NO)	43
5.3 OXIDY DUSÍKU (NO _x)	45
5.4 OXID SIŘIČITÝ (SO ₂)	48
5.5 OXID UHELNATÝ (CO)	51
6. KVALITA OVZDUŠÍ – SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE (PM)	53
6.1 ZÁKLADNÍ POPIS	53
6.2 MĚŘENÍ SUSPENDOVANÝCH ČÁSTIC	54
6.3 PM ₁₀	56
6.4 PM _{2,5}	61
6.5 PM ₁	65
7. KOVY	68
7.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE	68
7.2 ARSEN	70
7.3 KADMIUM	73
7.4 NIKL	76
7.5 OLOVO	79
7.6 SHRNUÍ	82
7.7 DALŠÍ KOVY	83
7.7.1 Draslík	83
7.7.2 Hořčík	86
7.7.3 Stroncium	89
7.7.4 Titan	92
7.7.5 Baryum	95
7.7.6 Hliník	98
7.7.7 Mangan	101
7.7.8 Rubidium	104
7.7.9 Železo	106
7.7.10 Bor	108
7.7.11 Zinek	111
7.7.12 Měď	114
7.7.13 Chrom	117
7.7.14 Bismut	120

7.7.15 Vápník.....	122
7.7.16 Antimon.....	125
7.8 SHRNUÍ KOVŮ.....	128
8. SEM ANALÝZA.....	132
8.1 TECHNICKÉ VYBAVENÍ.....	132
8.2 ZÁKLADNÍ INFORMACE.....	132
8.3 VÝSLEDKY ČÁSTICOVÉ ANALÝZY.....	133
8.4 SOUHRN VÝSLEDKŮ ČÁSTICOVÉ ANALÝZY.....	150
9. SROVNÁNÍ S DALŠÍMI STANICEMI V BRNĚ.....	151
9.1 ÚVOD.....	151
9.2 SROVNÁVANÉ STANICE.....	151
9.3 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE.....	152
9.3.1 Suspendované částice PM ₁₀	152
9.3.2 Suspendované částice PM _{2,5}	153
9.3.3 Suspendované částice PM ₁	155
9.4 OXID DUSIČITÝ (NO ₂).....	157
9.5 OSTATNÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY.....	160
10. ZÁVĚR.....	163
10.1 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE.....	165
10.2 OXID DUSIČITÝ (NO ₂).....	166
10.3 KOVY.....	166
10.4 DALŠÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY.....	167
10.5 ČÁSTICOVÁ ANALÝZA SKENOVACÍM ELEKTRONOVÝM MIKROSKOPEM.....	167
11. LITERATURA.....	169
PODĚKOVÁNÍ.....	176

SEZNAM ZKRATEK

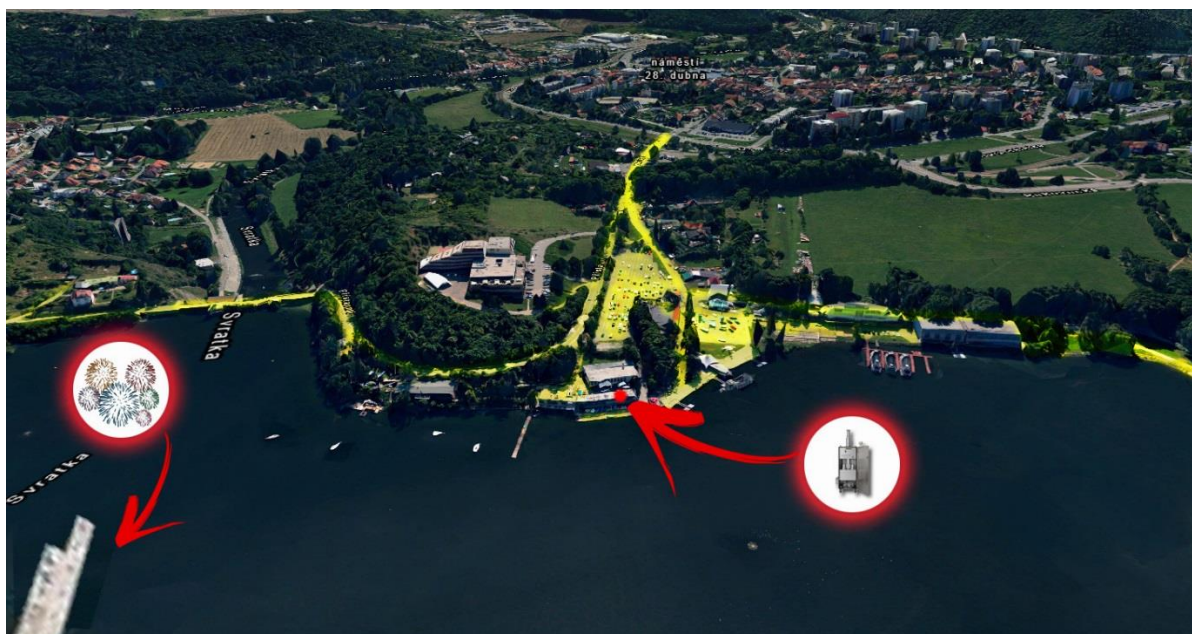
CO	<i>oxid uhelnatý</i>
ČHMÚ	<i>Český hydrometeorologický ústav</i>
ČIA	<i>Český institut pro akreditaci</i>
EPA	<i>Agentura pro ochranu životního prostředí (Environment Protection Agency)</i>
ICP-MS	<i>hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou</i>
max	<i>maximum</i>
min	<i>minimum</i>
MMB	<i>magistrát města Brna</i>
MS	<i>hmotnostní spektrometrie (mass spectrometry)</i>
MŽP	<i>Ministerstvo životního prostředí</i>
NO	<i>oxid dusnatý</i>
NO ₂	<i>oxid dusičitý</i>
NO _x	<i>oxidy dusíku</i>
PM	<i>suspendované částice (particulate matter)</i>
PM ₁₀	<i>suspendované částice s aerodynamickým průměrem do a včetně 10 μm</i>
PM _{2,5}	<i>suspendované částice s aerodynamickým průměrem do a včetně 2,5 μm</i>
RH	<i>relativní vlhkost</i>
SEM	<i>skenovací elektronový mikroskop</i>
SEM/EDX	<i>energiově-disperzní rentgenová spektroskopie skenovacím elektronovým mikroskopem</i>
SO ₂	<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>
Wt %	<i>hmotnostní procenta</i>

1. ÚVOD

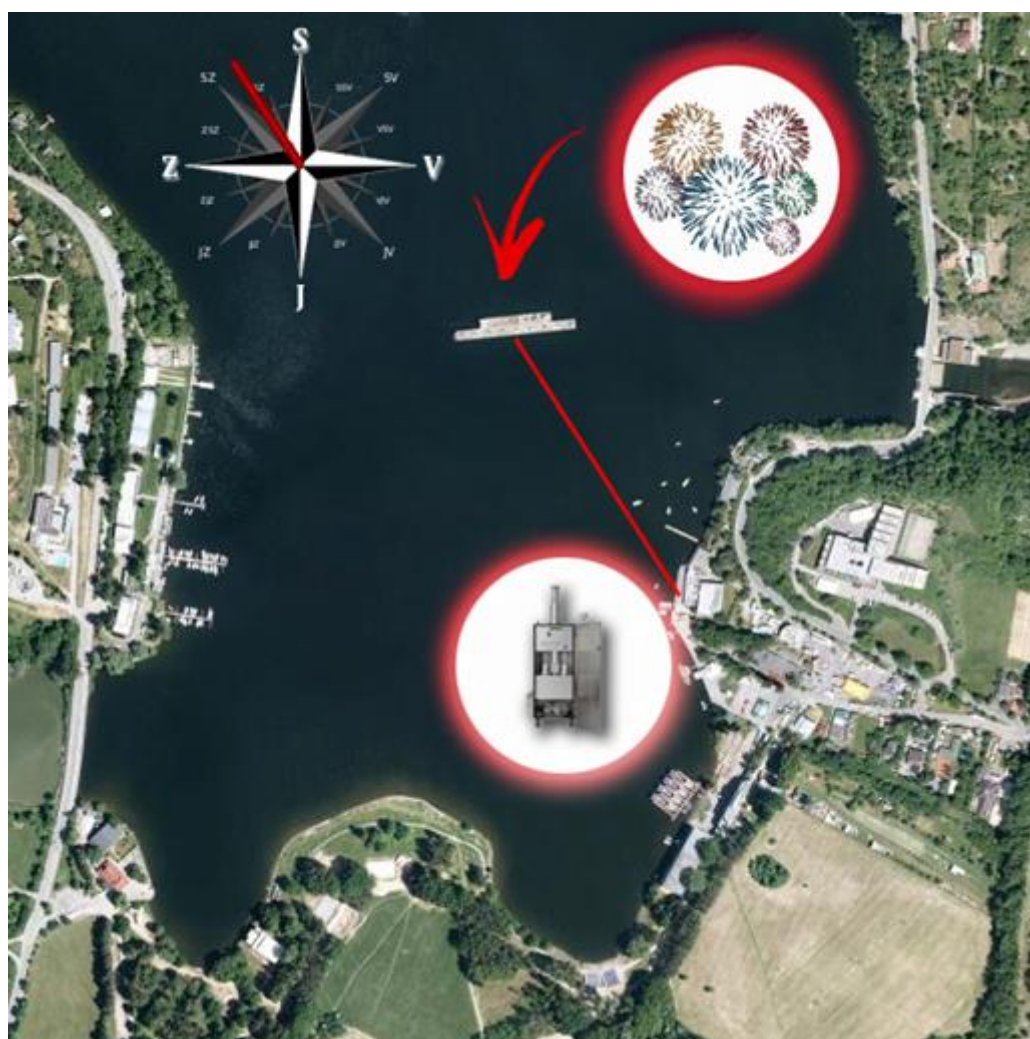
Měření kvality ovzduší během brněnské ohňostrojevé přehlídky Ignis Brunensis 2019 probíhalo v období od 30. května do 12. června 2019. Pro odběr vzorků byly použity vzorkovače suspendovaných částic frakcí PM_{10} a $PM_{2,5}$ (pro gravimetrii a analýzu kovů) a PM_{10} (pro částicovou analýzu). Navíc byl využit měřící vůz Statutárního města Brna, monitorující v 10minutových intervalech jak koncentrace vybraných znečišťujících látek v ovzduší, tak aktuální meteorologické podmínky.

Ohňostroje byly odpalovány z pontonu umístěného přímo na hladině brněnské přehrady, v její jižní části. Měřící technika byla situována hned u pobřeží jihovýchodně od odpalovací rampy s ohledem na to, že na přehradě statisticky převažuje vítr ze západního a severozápadního směru a byla tedy vyšší pravděpodobnost, že bude kouřová vlečka směřovat jihovýchodně směrem k měřicím zařízením.

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 kovů, které jsou součástí pyrotechnických složí.



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



Obrázek 3 - satelitní snímek lokality s vyznačením umístění vzorkovačů a odpalovací rampy. Zdroj: mapy.cz

2.2 MĚŘÍCÍ TECHNIKA

- sekvenční vzorkovač Leckel SEQ 47/50 + hlavice Digitel PM₁₀
- sekvenční vzorkovač Leckel SEQ 47/50 + hlavice Digitel PM_{2,5}
- nízkoobjemový vzorkovač Leckel MVS6 + hlava PM₁₀
- měřící vůz

Data použitá pro analýzu a vyhodnocení pochází z přístrojů ČHMÚ (vzorkovače) a z měřícího vozu provozovaného Statutárním městem Brno. Podmínku autorizace pro měření podle MŽP splňují obě organizace. ČHMÚ 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 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 PM₁₀

- PM₁₀ – gravimetrická metoda
- stanovení kovů s platným imisním limitem (As, Cd, Ni, Pb) metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou (ICP-MS)
- stanovení dalších kovů (ICP-MS)

Odběr byl prováděn po celou dobu konání přehlídky ve 24h intervalu, vždy od 8.00 do 8.00 následujícího dne občanského času (SELČ).

2.3.2 LECKEL SEQ 47/50 PM_{2,5}

- PM_{2,5} – gravimetrická metoda
- stanovení kovů s platným imisním limitem (As, Cd, Ni, Pb) metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou (ICP-MS)
- stanovení dalších kovů (ICP-MS)

Odběry byly v první části přehlídky prováděny ve 4h intervalu, a to vždy třikrát za sebou. První čtyřhodinový úsek byl měřen v den konání ohňostroje od 18:00 do 22:00 SELČ. Tento úsek zahrnoval část dne těsně před ohňostrojem. Další čtyřhodinový úsek v době od 22:00 do 02:00 SELČ byl intervalem, ve kterém probíhal samotný ohňostroj (začátek vždy ve 22:30, trvání 17 minut). Třetí čtyřhodinový úsek byl měřen od 02:00 do 06:00, tedy noc po konání ohňostroje.

2.3.2 LECKEL MVS6 + PM₁₀

- odběr na polykarbonátové filtry pro analýzu SEM

Nízkoobjemový vzorkovač Leckel MVS6 nemá zásobník filtrů, proto byly prováděny 4h odběry vždy v den konání ohňostroje od 22:00 do 02:00 (ohňostroje probíhaly od 22:30 přibližně do 22:50). Takto byly navzorkovány tři ohňostroje a také jeden den bez ohňostroje, jako referenční pozadí pro srovnání.

2.3.3 MĚŘÍCÍ VŮZ

- PM₁₀ – radiometrická metoda [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM_{2,5} – radiometrická metoda [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM₁ – radiometrická metoda [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- NO, NO₂, NO_x – chemiluminiscence [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- SO₂ – UV fluorescence [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- CO – IR absorpční spektrometrie [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- teplota vzduchu [°C]
- relativní vlhkost vzduchu [%]
- rychlost větru [m/s]
- směr větru [°]

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



Obrázek 4 – vlevo vzorkovače Leckel, vpravo vzorkovač Leckel MVS6 (částicová analýza)



Obrázek 5 - Měřicí vůz

2.4 PLÁN MĚŘENÍ

Začátek přehlídky:	30. 5. 2019
Konec přehlídky:	12. 6. 2019
Ohňostroje:	1. 6., 5. 6., 8. 6. a 12. 6. vždy od 22:30 do 22:47 + finální ohňostroj 15. 6. ve 22:30 na hradě Špilberk

Tabulka 1 - plán měření. Ve sloupci datum jsou oranžově vyznačeny dny konání ohňostroje. Žlutě vyznačená měření jsou tři po sobě jdoucí čtyřhodinové odběry na filtry pro analýzu TK. Zeleně vyznačená měření jsou 4h odběry na polykarbonátové filtry pro analýzu SEM. Modře jsou vyznačeny 24h odběry pro gravimetrickou analýzu a červeně 24h odběry pro gravimetrii a těžké kovy.

Datum	Leckel SEQ 47/50 + PM ₁₀	Leckel SEQ 47/50 + PM _{2,5}	Leckel MVS6 + PM ₁₀	Měřící vůz
st 29.5.				kontinuální měření
čt 30.5.				
pá 31.5.				
so 1.6.				
ne 2.6.				
po 3.6.				
út 4.6.				
st 5.6.				
čt 6.6.				
pá 7.6.				
so 8.6.				
ne 9.6.				
po 10.6.				
út 11.6.				
st 12.6.				
čt 13.6.				

2.5 DOSTUPNOST DAT

Požadavky na kvalitu dat ČHMÚ stanovují minimální dostupnost dat 90 %, aby bylo možné provádět analýzy. V tabulce níže jsou uvedeny dostupnosti dat pro jednotlivé parametry. Měření byla zahájena 30. května a ukončena 13. června v ranních hodinách.

Měřící vůz

30. 5. 2019 00:00 až 13. 6. 2019 06:00, 10minutový interval

Tabulka 2 - Dostupnost dat z měřicího vozu

Látka	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁	CO	T	RH	WS	WD
Platných dat	2043	2032	2042	2042	2041	2040	2040	2029	2043	2042	2043	2043
Dostupných dat (%)	99,5	99,0	99,5	99,5	99,4	99,4	99,4	98,8	99,5	99,5	99,5	99,5

Z tabulky je vidět, že dostupnost dat z měřicího vozu je pro všechny měřené veličiny nad nutných 90 % (podmínka ČHMÚ pro analýzu). Dostupnost znečišťujících látek se pohybovala od 98,8 % a 99,5 %.

Vzorkovače

V případě vzorkovačů SEQ 47/50 došlo k jednomu delšímu výpadku elektrického proudu 11. června 2019, proto tento den byl vyloučen z další analýzy.

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
- MIRA3 Control Software 4.2.26.0
- AZtec 3.3 SP1
- Airity 6.4
- Highcharts 7.1.2
- Highstock 7.1.2
- Microsoft Excel 2016
- SQL + PHP 7.2 + 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 a rychlost a směr větru. 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 na přehradě 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 akce Ignis Brunensis 2019 byla použita z 10minutová data z měřícího vozu. Data ze 13. června nelze brát v potaz pro průměrování, protože bylo měření ukončeno během dopoledních hodin, proto jsou veškeré statistiky založeny na datech od 30. 5. 2019 0:00 do 12. 6. 2019 23:50. Data jsou dále doplněna o srážkové úhrny z blízkých stanic ČHMÚ a o radarové snímky.

3.1 TEPLOTA VZDUCHU

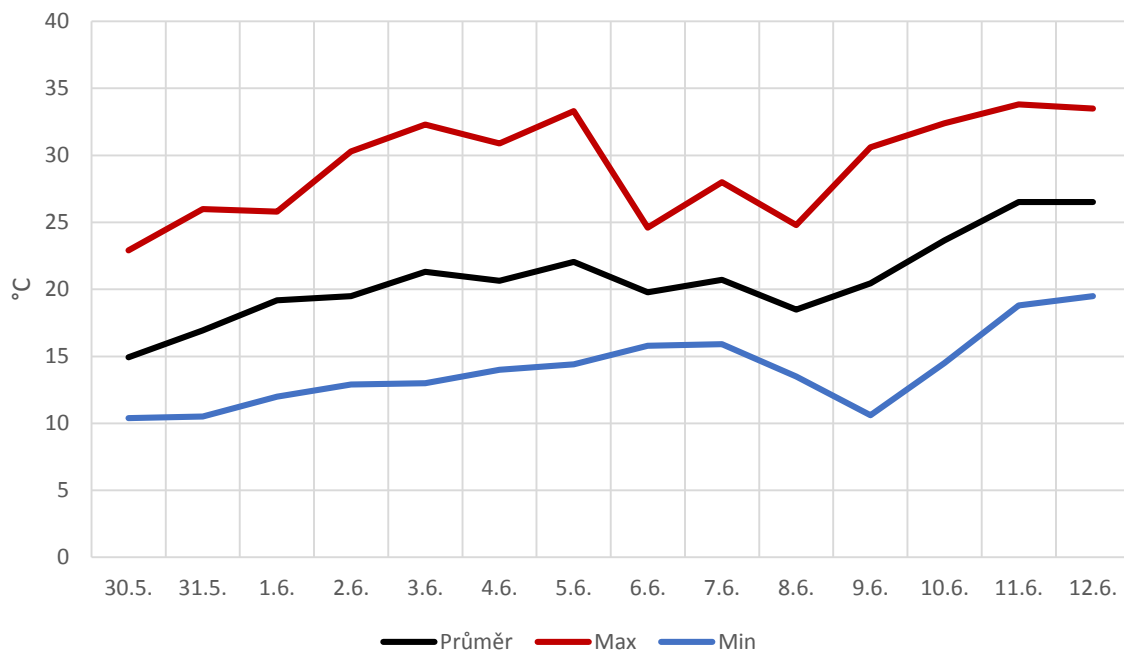
Průměrná denní teplota se v průběhu přehlídky pohybovala po celou dobu kolem 20 °C (celkový průměr 21,52 °C). Nejvyšší průměrná denní teplota vzduchu byla naměřena v den konání třetího ohňostroje, tedy 9. června, a to 23,58 °C. Naopak nejnižší průměrná denní teplota byla naměřena poslední měřený den 13. června a měla hodnotu 18,22 °C.

Absolutní maximum 31,4 °C bylo pozorováno 10. června přesně v poledne. Naopak absolutní minimum 13,7 °C bylo naměřeno 7. června ve 3:10 ráno. Nejvyšší denní rozsah teplot byl pozorován 7. června (17,1 °C; max 30,8 °C; min 13,7 °C), nejnižší 6. června (8,8 °C; max 24,4 °C; min 15,8 °C).

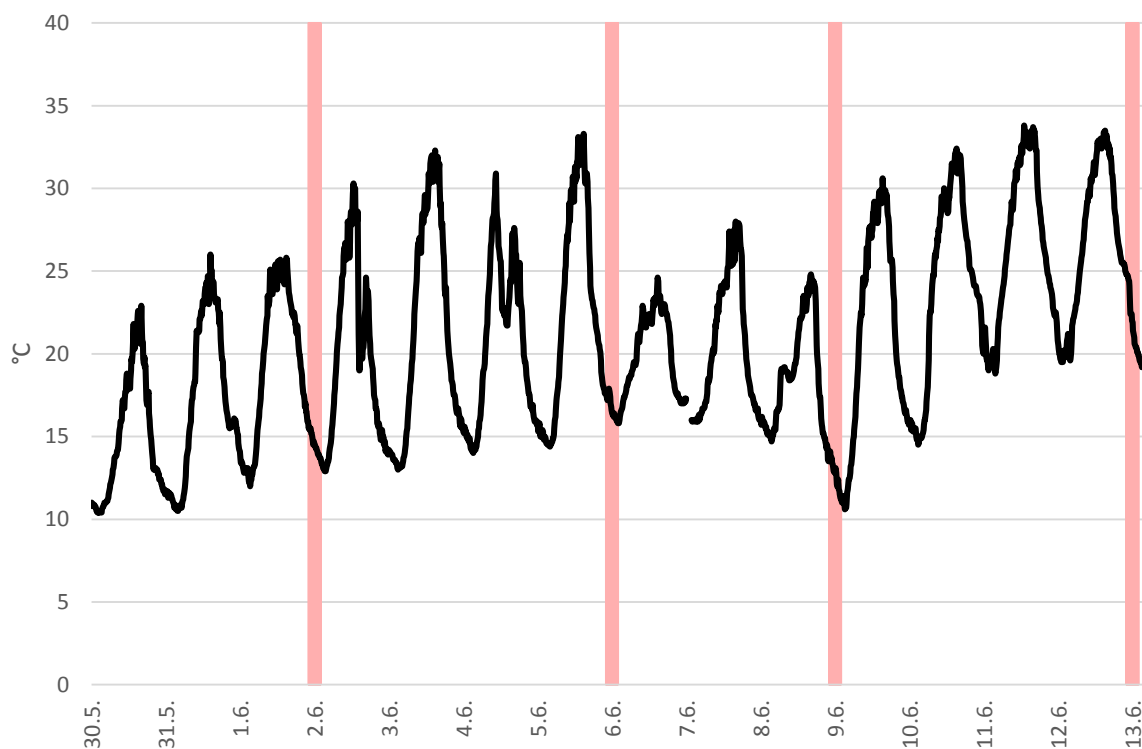
Z průběhu teplot (Obrázek 7) je patrné standardní denní a noční kolísání teplot. Ohňostroje, ani zvýšený pohyb osob v místě konání na teplotu vzduchu nemělo žádný vliv.

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

	Průměr	Max	Min	Rozsah
30. 5.	14.93	22.9	10.4	12.5
31. 5.	16.94	26	10.5	15.5
1. 6.	19.18	25.8	12	13.8
2. 6.	19.49	30.3	12.9	17.4
3. 6.	21.30	32.3	13	19.3
4. 6.	20.64	30.9	14	16.9
5. 6.	22.04	33.3	14.4	18.9
6. 6.	19.77	24.6	15.8	8.8
7. 6.	20.71	28	15.9	12.1
8. 6.	18.49	24.8	13.5	11.3
9. 6.	20.45	30.6	10.6	20
10. 6.	23.65	32.4	14.5	17.9
11. 6.	26.52	33.8	18.8	15
12. 6.	26.51	33.5	19.5	14



Obrázek 6 - Denní průměrné, maximální a minimální teploty vzduchu



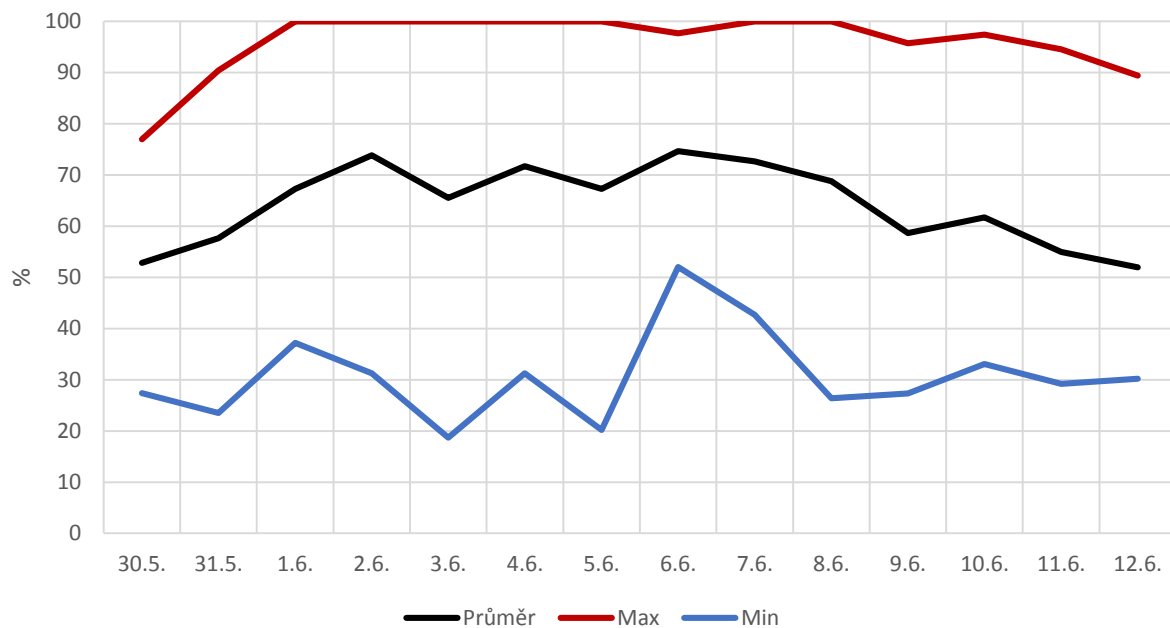
Obrázek 7 - Průběh teploty vzduchu během přehlídky. Růžově jsou vyšrafovaná období ohňostroje (22:00-02:00)

3.2 RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU

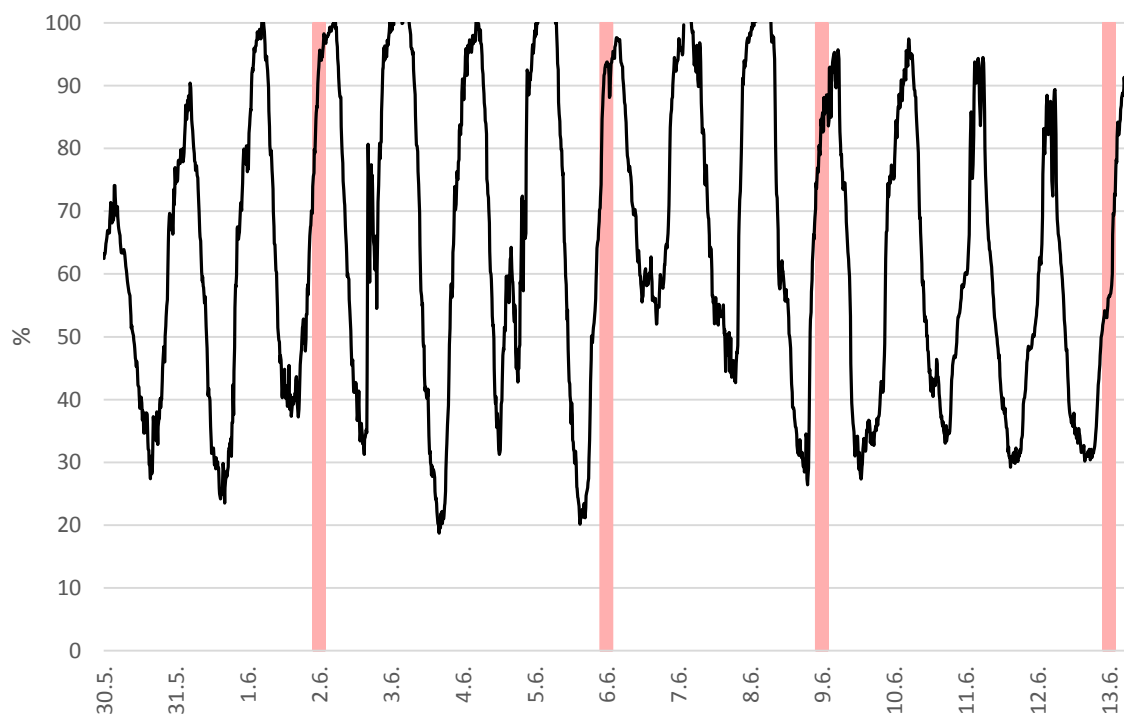
Průměrná relativní vlhkost od 30. května do 13. června včetně byla 64,5 %. Nejvyšší denní průměr byl naměřen 6. června (74,6 %). Naopak nejnižší denní průměr činil 51,9 % 12. června. Absolutně nejvyšší hodnota odpovídala teoretickému maximu 100 % a byla naměřena vícekrát. Absolutně nejnižší naměřenou hodnotou bylo 18,7 %, 3. června v 16:00.

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

	Průměr	Max	Min	Rozsah
30.5.	52.85	77.0	27.4	49.6
31.5.	57.64	90.4	23.5	66.9
1.6.	67.26	100.0	37.2	62.8
2.6.	73.83	100.0	31.3	68.7
3.6.	65.54	100.0	18.7	81.3
4.6.	71.72	100.0	31.2	68.8
5.6.	67.28	100.0	20.2	79.8
6.6.	74.63	97.6	52.0	45.6
7.6.	72.66	100.0	42.7	57.3
8.6.	68.79	100.0	26.4	73.6
9.6.	58.64	95.7	27.3	68.4
10.6.	61.69	97.4	33.1	64.4
11.6.	54.97	94.5	29.2	65.3
12.6.	51.94	89.4	30.2	59.2



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



Obrázek 9 - Průběh relativní vlhkosti vzduchu během přehlídky. Růžově jsou vyšrafovaná období ohňostroje (22:00-02:00)

3.3 RYCHLOST VĚTRU

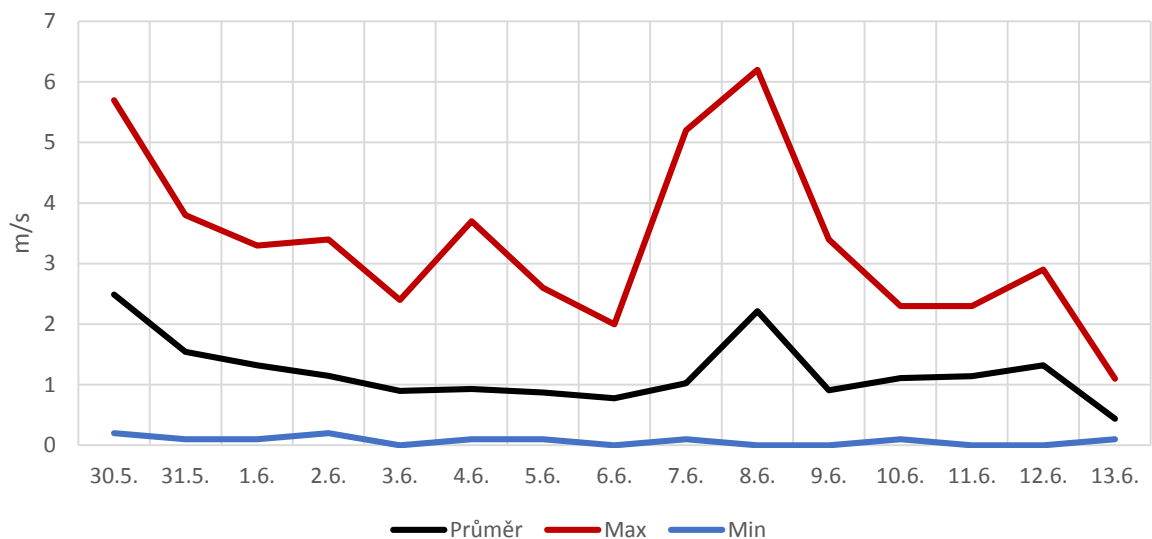
Jak již bylo zmíněno výše, je rychlost větru velmi důležitým parametrem při hodnocení kvality ovzduší. Proudění vzduchu udává rychlost a směr rozptylu v atmosféře. Obecně lze říci, že nízké rychlosti větru podporují nepříznivé rozptylové podmínky spojené s vyššími koncentracemi znečišťujících látek.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

Celková denní průměrná rychlost větru v době měření byla 1,25 m/s (4,5 km/h). Nejvyšší denní průměr byl zaznamenán první den měření, 2,49 m/s (8,96 km/h).

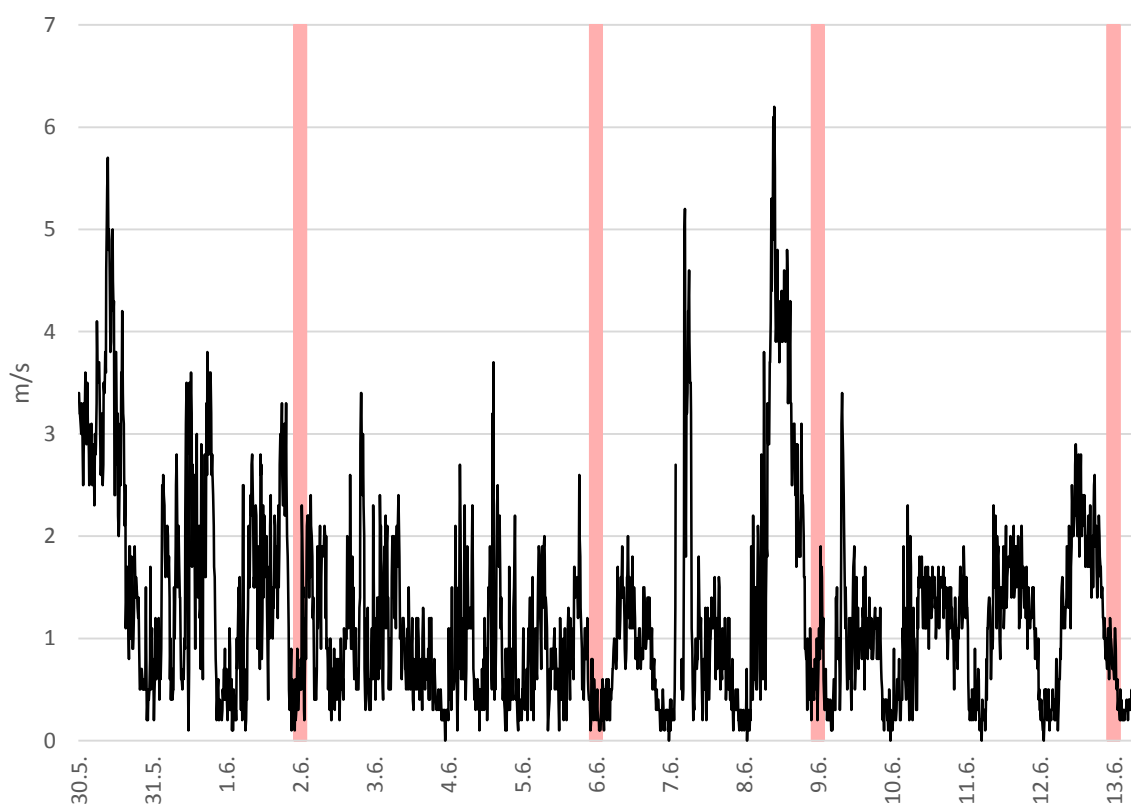
Absolutní maximum rychlosti větru bylo naměřeno 8. června v 9:50, a to 6,2 m/s (22,3 km/h). Lze tedy říci, že po celou dobu konání přehlídky byly rychlosti větru relativně nízké. Úplné bezvětrí (0 m/s) bylo naměřeno v šesti desetiminutových intervalech různé dny. Rychlosti pod 1 m/s (3,6 km/h) byly naměřeny ve 47,6 % doby měření.

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

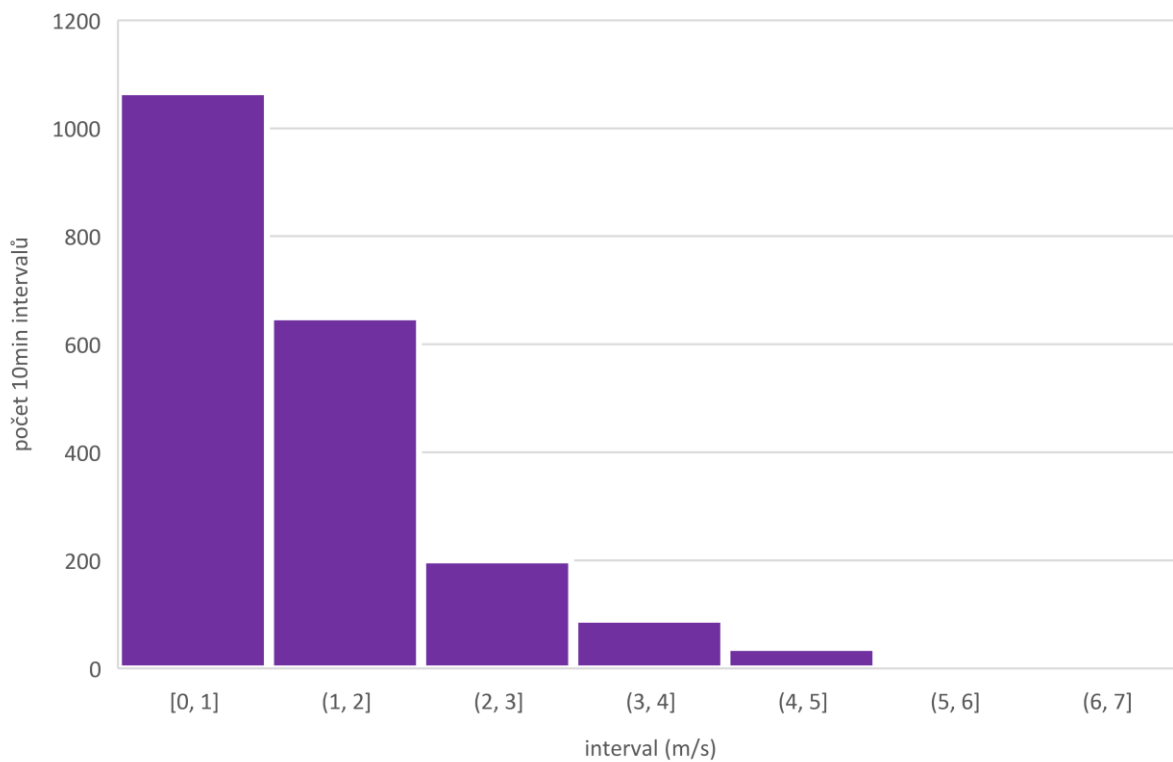
	Průměr	Max	Min	Rozsah
30.5.	2.49	5.7	0.2	5.5
31.5.	1.54	3.8	0.1	3.7
1.6.	1.32	3.3	0.1	3.2
2.6.	1.15	3.4	0.2	3.2
3.6.	0.90	2.4	0	2.4
4.6.	0.93	3.7	0.1	3.6
5.6.	0.87	2.6	0.1	2.5
6.6.	0.78	2	0	2
7.6.	1.02	5.2	0.1	5.1
8.6.	2.22	6.2	0	6.2
9.6.	0.91	3.4	0	3.4
10.6.	1.11	2.3	0.1	2.2
11.6.	1.14	2.3	0	2.3
12.6.	1.32	2.9	0	2.9



Obrázek 10 - Denní průměrné, maximální a minimální rychlosti větru



Obrázek 11 - Průběh rychlosti větru. Růžově jsou vyšrafovaná období ohňostroje (22:00-02:00)



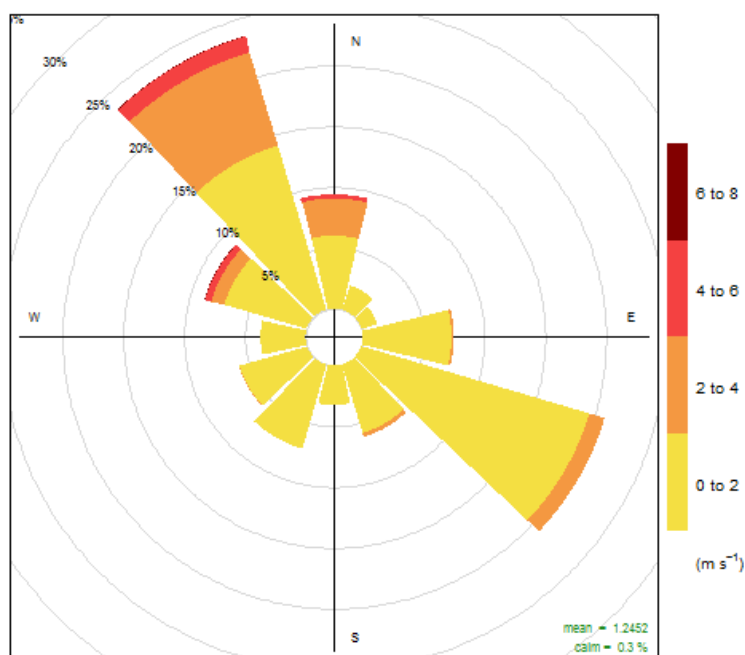
Obrázek 12 - Histogram rychlostí větru s krokem 1 m/s

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 brněnské přehrady 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 měřícím zařízením.

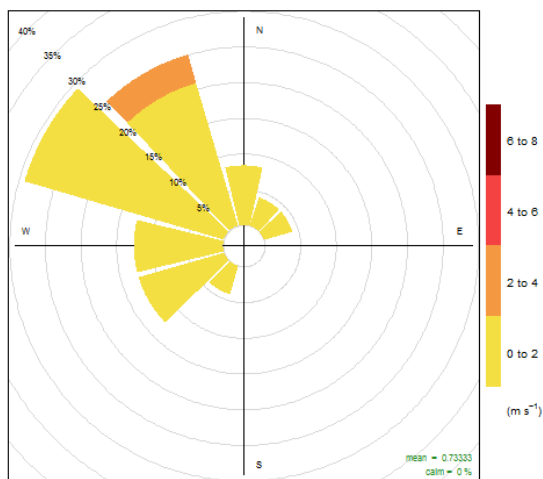
Na základě analýzy z období 30. května až 12. června lze říci, že se potvrdil předpoklad a směr větru byl v této době převážně S a SZ. Z tohoto směru také dosahoval nejvyšších rychlostí (které však byly vysoké pouze relativně v kontextu dat z tohoto období, během celé akce jinak nepřesáhly 7 m/s).

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

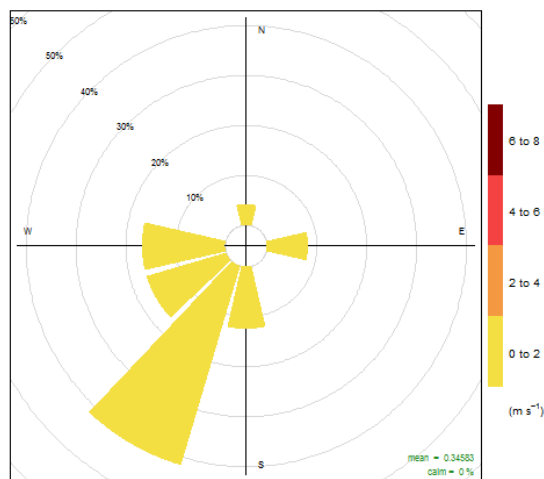


Obrázek 13 - Větrná růžice za celé období měření

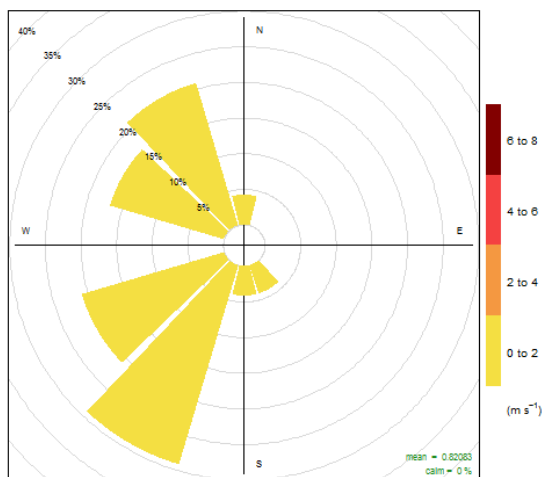
Následující větrné růžice jsou agregací pro vždy 4 h během a po ohňostroji (interval 22:00 až 02:00, se začátkem v den ohňostroje, který byl odpalován mezi 22:30 a 22:50).



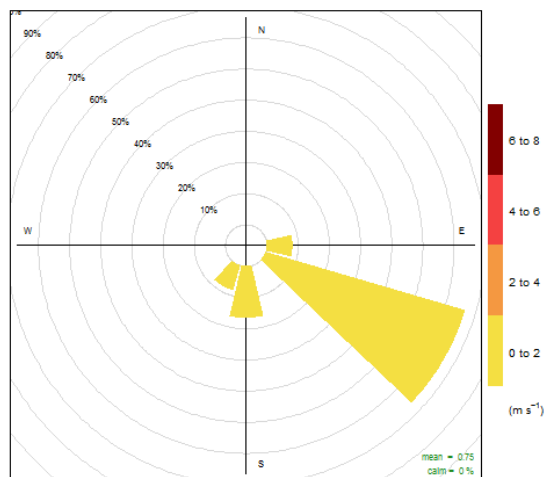
Frequency of counts by wind direction (%)



Frequency of counts by wind direction (%)



Frequency of counts by wind direction (%)



Frequency of counts by wind direction (%)

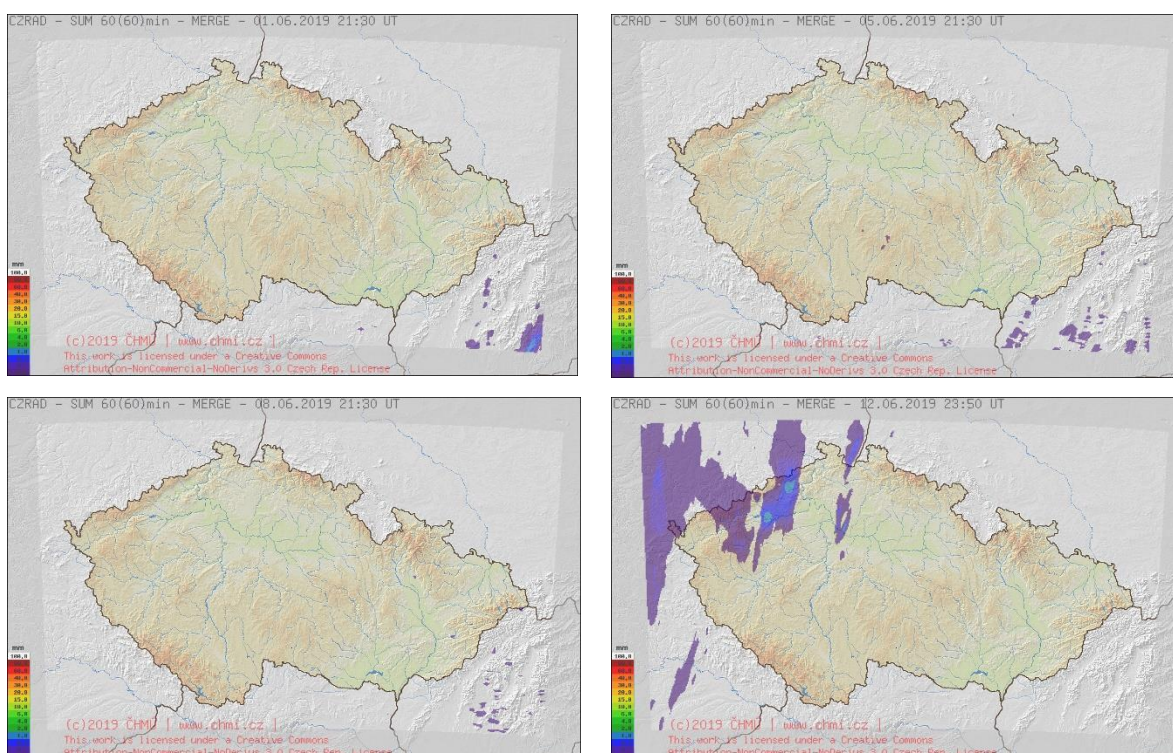
Obrázek 14 – větrné růžice ze 4h období odpálení a po odpálení ohňostroje (22:00 až 02:00). Vlevo nahoře ohňostroj 1. 6., vpravo nahoře 5. 6., vlevo dole 8. 6. a vpravo dole 12. 6.

Z výše uvedených růžic je patrné, že směrem od odpalovací rampy vůči vzorkovačům foukalo především během prvního ohňostroje 1. 6. a v určité míře také během třetího ohňostroje 8. 6. U zbylých dvou ohňostrojů váł vítr od jiného směru.

3.5 SRÁŽKY

Přímo v místě konání přehlídky v lokalitě přehrady nemá ČHMÚ srážkoměr a množství srážek neměří ani měřicí vůz. Lze však vycházet z radarových snímků v kombinaci s daty ze srážkoměrných stanic v okolí.

Následující čtyři radarové snímky představují kombinovaný radarovo-srážkoměrný odhad vždy pro 60minutové období od odpalu ohňostroje (tedy 22:30-23:30 občanského času, 20:30-21:30 UTC).

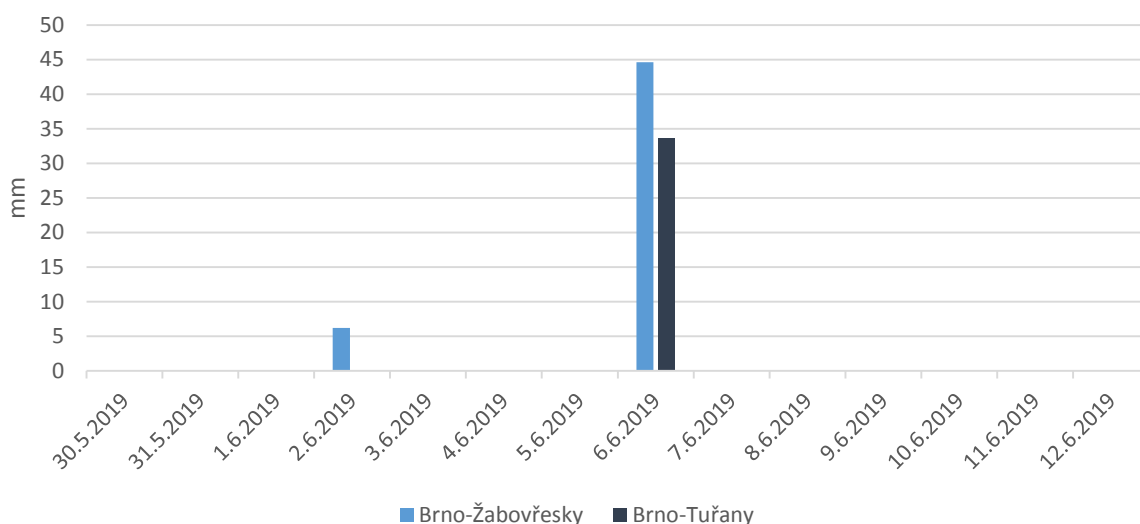


Obrázek 15 – srážkoměrné odhady za hodinové období odpálení a po odpálení ohňostroje (22:30-23:30). Vlevo nahoře ohňostroj 1. 6., vpravo nahoře 5. 6., vlevo dole 8. 6. a vpravo dole 12. 6.

Následující tabulka udává srážkové úhrny v daném období ze stanice ČHMÚ Brno-Žabovřesky, vzdálené 4,04 km od místa měření a profesionální automatické meteorologické stanice ČHMÚ na letišti Brno-Tuřany, která je však již vzdálená 15,68 km. Výhodou této stanice je, že se jedná o automatickou stanici, která měří srážky nikoliv v denním, ale 10minutovém kroku. Denní srážkové úhrny jsou standardně měřeny od 6:00 do 6:00 UTC (08:00-08:00 SELČ).

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

	Brno-Žabovřesky	Brno-Tuřany
30. 5. 2019	0.00	0.00
31. 5. 2019	0.00	0.00
1. 6. 2019	0.00	0.00
2. 6. 2019	6.20	0.00
3. 6. 2019	0.00	0.00
4. 6. 2019	0.00	0.00
5. 6. 2019	0.00	0.00
6. 6. 2019	44.60	33.60
7. 6. 2019	0.00	0.00
8. 6. 2019	0.00	0.00
9. 6. 2019	0.00	0.00
10. 6. 2019	0.00	0.00
11. 6. 2019	0.00	0.00
12. 6. 2019	0.00	0.00



Obrázek 16 - denní srážkové úhrny na stanicích Brno-Tuřany a Brno-Žabovřesky

Za celé sledované období byly zaznamenány výraznější srážky pouze 6. 6. 2019 (den mimo odpalování ohňostrojí), kdy na stanici v Žabovřeskách napršelo 44,6 mm a na stanici v Tuřanech 33,6 mm. Výraznější srážky tu noc a ráno spadly v celém okolí Brna, proto lze předpokládat podobný úhrn v Bystrci. V Žabovřeskách spadlo dalších 6,2 mm 2. června (rovněž den mimo odpalování ohňostroje), kdy se jednalo o lokální srážky a v Tuřanech nespady srážky žádné. Všechny zbylé dny byly zcela bezsrážkové (tedy všechny dny odpalování ohňostroje).

Z výše uvedeného je patrné, že v době ohňostrojí, ani bezprostředně před nimi či po nich, nepršelo.

3.6 CELKOVÝ RÁZ POČASÍ

Tabulka 7 - Souhrn počasí v lokalitě Brno-přehrada v době od 30. 5. do 12. 6. 2019. Oranžově jsou zvýrazněny dny ohňostrojí.

	Východ Slunce	Západ Slunce	Teploty °C	Rychlost větru	
				m/s	km/h
30. 5. 2019	04:55	20:46	10 až 23	2,5	9,0
31. 5. 2019	04:54	20:47	16 až 26	1,5	5,6
1. 6. 2019	04:54	20:48	15 až 26	1,3	4,8
2. 6. 2019	04:53	20:49	16 až 30	1,2	4,1
3. 6. 2019	04:52	20:50	15 až 32	0,9	3,2
4. 6. 2019	04:52	20:51	14 až 31	0,9	3,3
5. 6. 2019	04:41	20:52	17 až 33	0,9	3,1
6. 6. 2019	04:50	20:53	18 až 25	0,8	2,8
7. 6. 2019	04:50	20:54	17 až 28	1,0	3,7
8. 6. 2019	04:49	20:55	17 až 25	2,2	8,0
9. 6. 2019	04:49	20:55	18 až 31	0,9	3,3
10. 6. 2019	04:49	20:56	16 až 32	1,1	4,0
11. 6. 2019	04:48	20:57	19 až 34	1,1	4,1
12. 6. 2019	04:48	20:58	20 až 34	1,3	4,8

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:

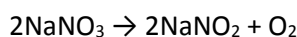
- hořlaviny (paliva)
- okysličovadla
- pojidla
- solí různých kovů, které vyvolávají různé zbarvení plamene
- jiných specifických přísad podle požadovaného výsledného efektu

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).

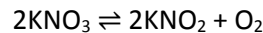
- **dusičnany (NO_3)**
 - **dusičnan sodný (NaNO_3)** – někdy označovaný také jako chilský ledek. Bíle zbarvená látka velmi snadno rozpustná ve vodě. Kromě pyrotechnických složí se využívá také do hnojiv nebo jako potravinový konzervant (Gellings, 2016; Silva, 2016). Při vyšších teplotách dochází k jeho 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 (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.
- **chlореčnany (ClO_3)**
 - **chlореčnan draselný (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.
 - **chlореčnan 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 (ClO_4)**
 - **chloristan draselný (KClO_4)** – silné oxidační činidlo, patří mezi nejpoužívanější okysličovadla v pyrotechnice.
 - **chloristan amonný (NH_4ClO_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 hořavin:

- **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 částice. 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 hořavin. 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 **dioktylfalát** (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. Použit 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 ($MgCO_3$), bílá práškovitá látka, 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 (náraz, 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

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

4.10.2 PRVKY POUŽÍVANÉ PRO ZBARVENÍ PLAMENE

- **stroncium** – soli stroncia dodávají plamenu červenou barvu a stroncium jako takové slouží i jako stabilizátor v ohňostrojevých směsích (Steinhauser, 2008b). Jasně rudý plamen produkuje chlorid strontnatý (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 (SrC_2O_4).
- **lithium** – lithium se, stejně jako stroncium, používá pro vytváření červeně zbarvených efektů (Koch, 2004). Konkrétní používané látky jsou například chlorid lithný (karmínová barva, LiCl), dusičnan lithný (LiNO_3) nebo uhličitan lithný (Li_2CO_3).
- **baryum** – soli barya se používají pro vytvoření zeleně zbarvených efektů (Loke, 1992). Baryum také slouží ke stabilizaci jiných těžkých prvků. Jasně zelené barvy lze docílit například pomocí chloridu barnatého (BaCl_2), chlorečnanu barnatého ($\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$), uhličitanu barnatého (BaCO_3) nebo chromanu barnatého (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 (CaCl_2), uhličitan vápenatý (CaCO_3) nebo síran vápenatý (CaSO_4).
- **sodík** – sodík dodává ohňostrojevým 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, NaCl). Dalšími příklady jsou uhličitan sodný (Na_2CO_3), hydrogenuhličitan sodný (NaHCO_3), dusičnan sodný (NaNO_3), kryolit (hexafluorohlinitan, Na_3AlF_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 jasné 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 výrazněji, u modré dosahované mědi, tomu tak není. V současnosti je nejlepších výsledků dosahováno použitím chloridu měďnatého (CuCl), dále se používá například uhličitan měďnatý (CuCO_3), síran měďnatý (CuSO_4), oxid měďnatý (CuO), oxid měďný (Cu_2O), toxický arsenit měďnatý (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 (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 ohňostrojevých 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 netoxicity (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 měřicím voze v 10minutovém intervalu po celou dobu konání akce, tedy od 30. května do dopoledních hodin 13. června 2019. Výběr sledovaných plynů odpovídá plynům, pro které je dán platný imisní limit v Zákoně o ochraně ovzduší, s výjimkou přízemního ozonu.

Měřené plyny:

- NO₂ oxid dusičitý
- NO oxid dusnatý
- NO_x oxidy dusíku
- CO oxid uhelnatý
- SO₂ oxid siřičitý

Imisní limity pro ochranu zdraví

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

Imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO_x	kalendářní rok	30
SO₂	rok a zimní období (říjen – březen)	20

5.1 OXID DUSIČITÝ (NO₂)

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

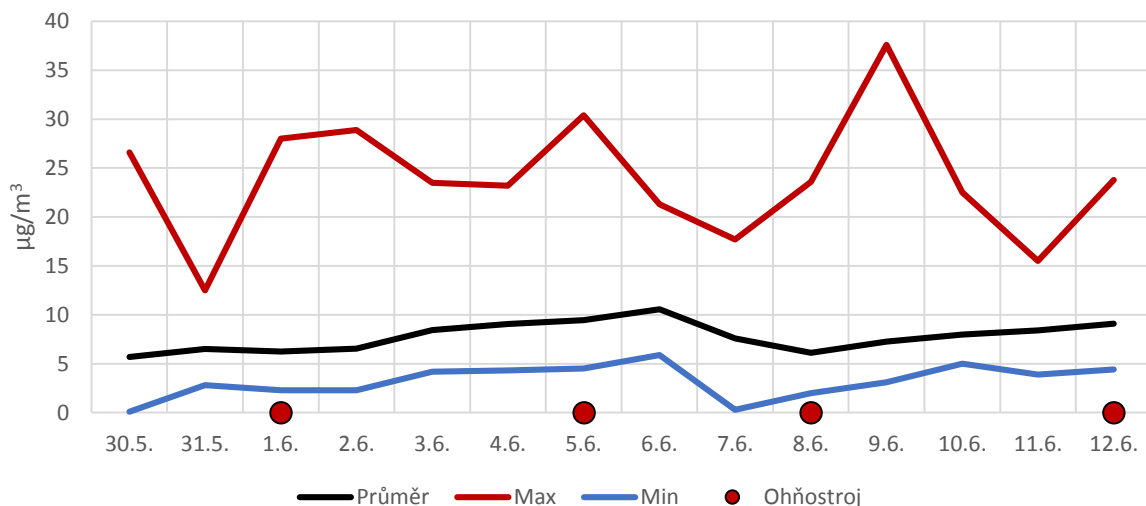
Měření oxidu dusičitého je založeno na chemiluminiscenci. Koncentrace tohoto plynu jsou zjišťovány sekundárně z rozdílu mezi koncentracemi oxidu dusnatého (NO) a oxidů dusíku (NO_x, = NO + NO₂). Hodinový imisní limit pro NO₂ je 200 µg/m³ a může být překročen maximálně 18x za rok. Roční imisní limit NO₂ je 40 µg/m³.

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 NO₂ bývá spojováno se zvýšením celkové, kardiovaskulární a respirační úmrtnosti (SZÚ, 2016).

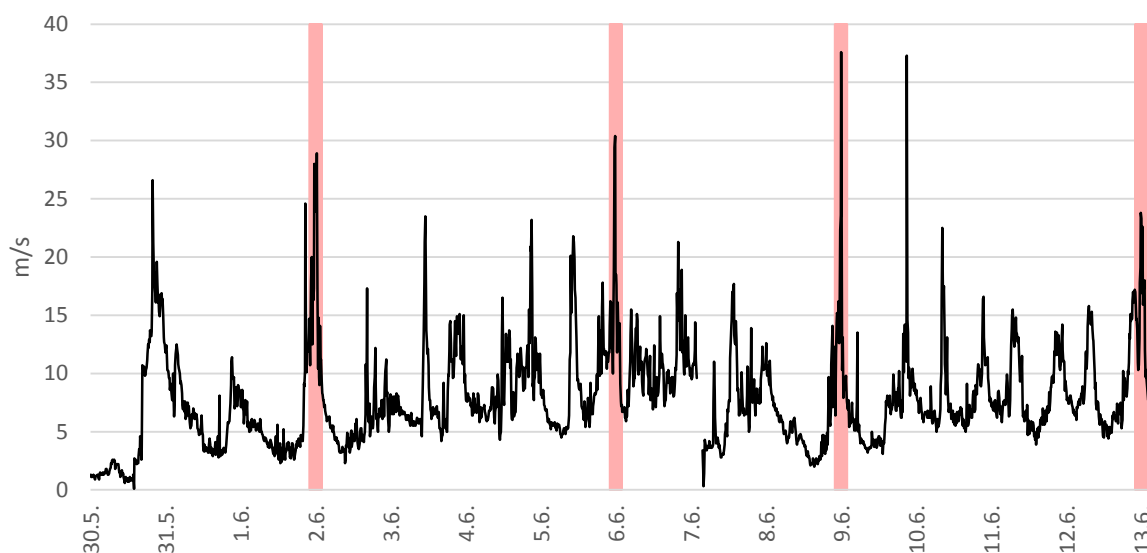
Za emisemi NO₂ v souvislosti s konáním ohňostrojevé přehlídky Ignis Brunensis stálo jak hoření pyrotechnických složí, tak i výrazně vyšší dopravní zatížení celé oblasti a přilehlých částí. To narůstalo především ve dnech konání ohňostrojů. Je však nutné poznamenat, že přímo do areálu přístaviště nebyl povolen vjezd (pouze s povolením), parkoviště byla obsazena pouťovými atrakcemi a parkoviště vyhrazená pro parkování osob přijíždějících na ohňostroje byla několik set metrů a více vzdálená od místa měření. Navíc leží Brno jihovýchodně od přehrady a místa měření, tedy přesně v opačném směru, než kudy převážně na přehradě fouká.

Tabulka 9 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace NO₂ [µg/m³]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

	Průměr	Max	Min	Rozsah
30.5.	5.69	26.6	0.1	26.5
31.5.	6.50	12.5	2.8	9.7
1.6.	6.24	28	2.3	25.7
2.6.	6.55	28.9	2.3	26.6
3.6.	8.43	23.5	4.2	19.3
4.6.	9.07	23.2	4.3	18.9
5.6.	9.44	30.4	4.5	25.9
6.6.	10.56	21.3	5.9	15.4
7.6.	7.58	17.7	0.3	17.4
8.6.	6.11	23.6	2	21.6
9.6.	7.25	37.6	3.1	34.5
10.6.	7.97	22.5	5	17.5
11.6.	8.39	15.5	3.9	11.6
12.6.	9.09	23.8	4.4	19.4



Obrázek 17 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace NO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny červeným bodem pod osou.



Obrázek 18 - Průběh koncentrací NO_2 za celé období měření z 10minutových hodnot. Růžově jsou vyšrafována období konání ohňostroje (22:00-02:00).

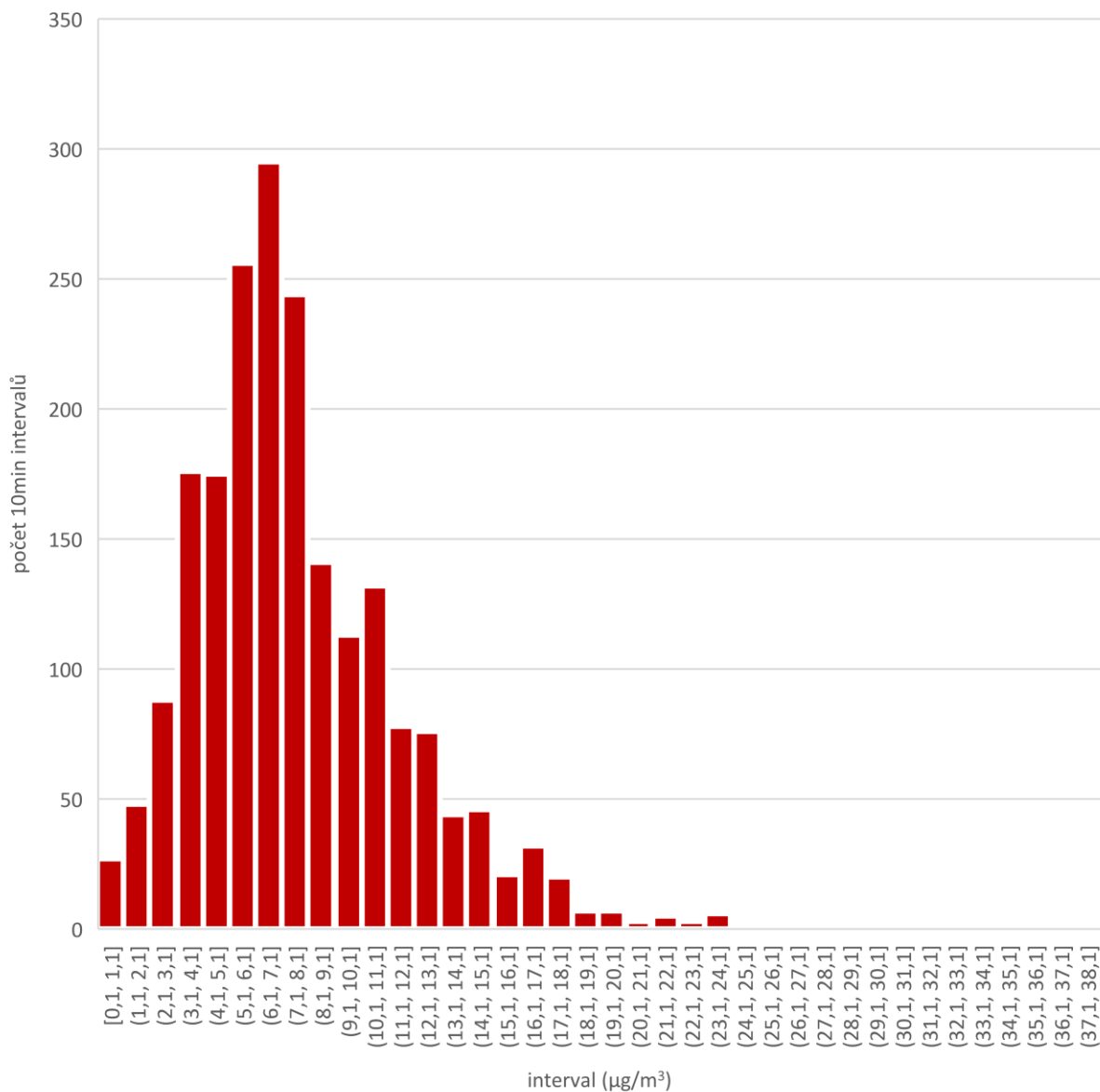
Nejvyšší denní průměrná koncentrace NO_2 byla naměřena 6. června, tedy v den, kdy se žádný ohňostroj nekonal. Je však nutné podívat se na kratší období. Ohňostrojová show trvá jen přibližně 20 minut, proto se dočasné zvýšené koncentrace můžou ve 24h průměru ztratit, roli zde totiž samozřejmě hrají i meteorologické podmínky – především směr a rychlost větru.

Více vypovídající hodnotou jsou denní maxima. Absolutně nejvyšší hodnota naměřená během měřicího období byla $37,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Toto maximum bylo naměřeno 9. června ve 00:00 – tedy přibližně hodinu a půl po skončení třetího ohňostroje. To odpovídá hypotéze, že jsou vyšší koncentrace NO_2

dány zvýšenou dopravou v okolí místa konání a právě na začátku a konci ohňostroje lze očekávat vyvrcholení postupného navyšování koncentrací s příjezdem a odjezdem návštěvníků do místa konání. Z grafu průběhu koncentrací NO₂ je vidět nárůst koncentrací při každém ze čtyř ohňostrojů. Kromě toho je však patrných ještě několik dalších nárůstů, které mohly být způsobené například pohybem vozidel v těsné blízkosti měřicího vozu přes den.

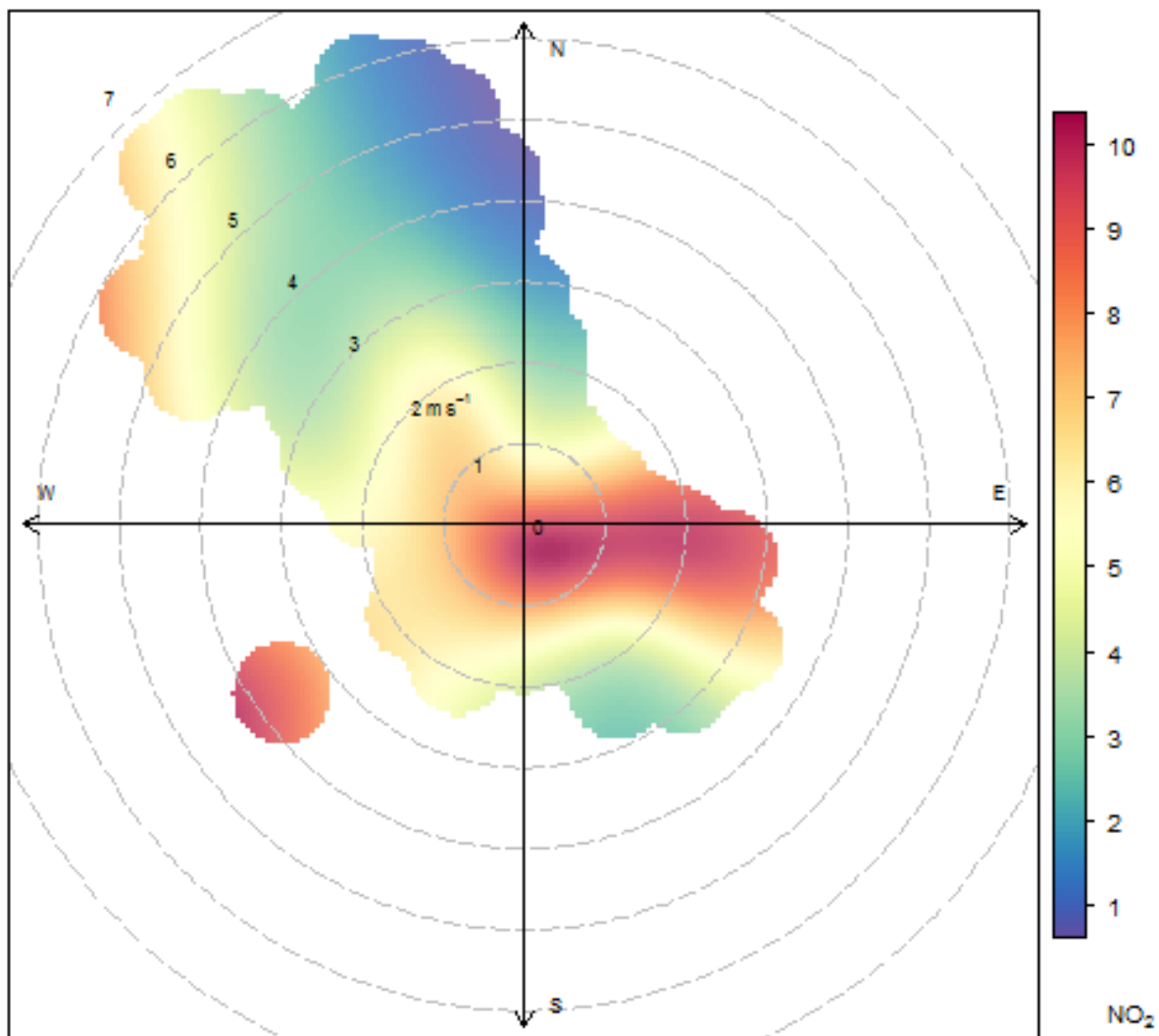
Celkově však lze říci, že hodnota 37,6 µg/m³ v absolutním maximu není nijak vysoké číslo. Podobné koncentrace jsou zcela běžné i na pozadových stanicích v Brně. Denní průměry pak byly až na jedinou výjimku vždy do 10 µg/m³ (6. 6. byla průměrná koncentrace NO₂ 10,6 µg/m³). Na škále indexu kvality ovzduší jsou koncentrace NO₂ v rozmezí 0 až 25 µg/m³ hodnoceny nejlepším možným stupněm „velmi dobrá“.

Z histogramu vyplývá, že nejčastěji se koncentrace NO₂ pohybovali v intervalu 6 až 7 µg/m³.



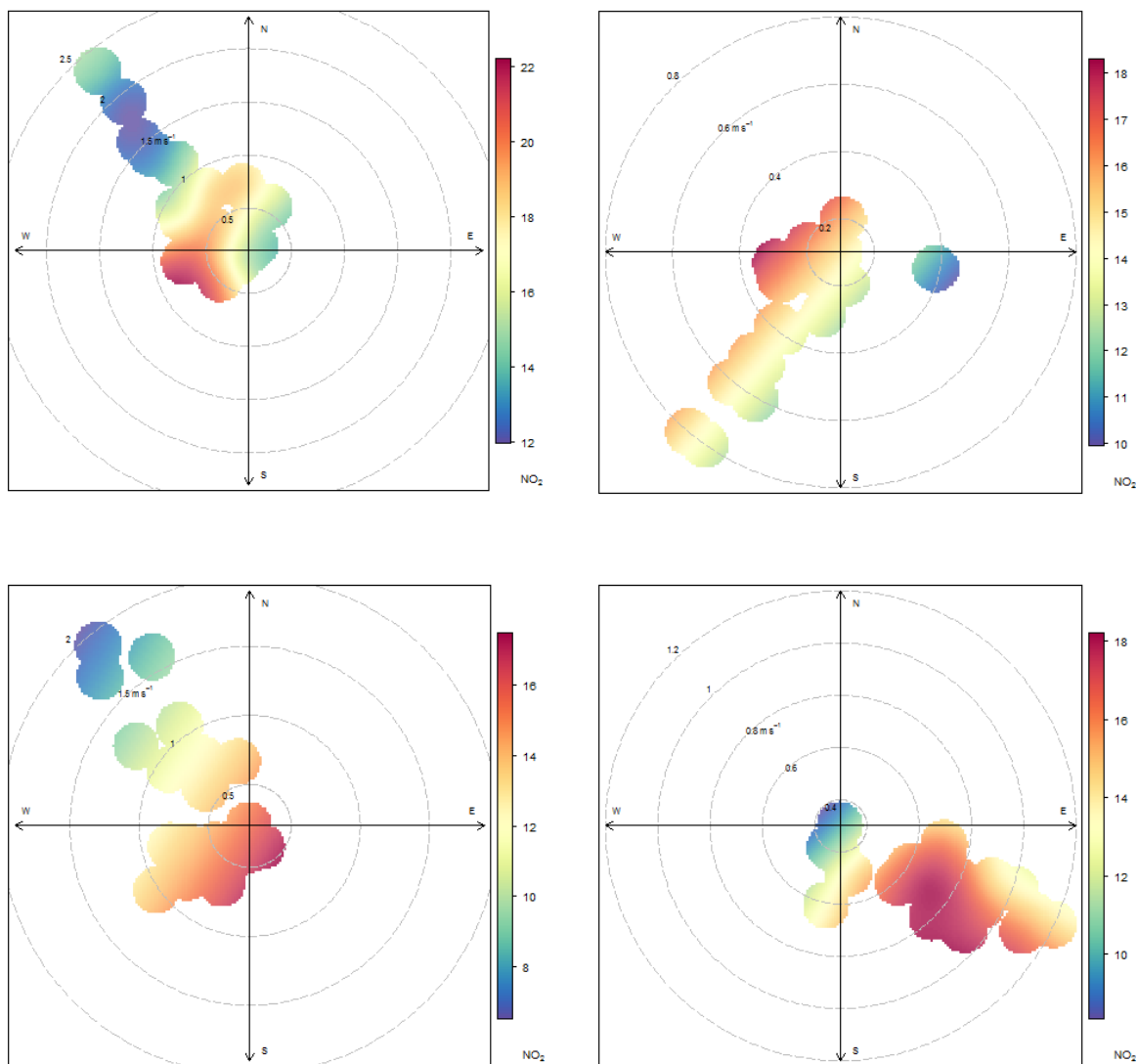
Obrázek 19 – histogram četnosti koncentrací NO_2 během celého sledovaného období

Následující koncentrační růžice NO_2 pro sledované období dobře ilustruje, že nejvyšší byly koncentrace při jihovýchodním až východním proudění. Právě v tomto směru bylo umístěno hlavní parkoviště a odstavná plocha na dočasně uzavřené staré dálnici. Na severozápad od vzorkovačů, v místě odpalové rampy, je vidět velmi slabě zvýšené znečištění, což mohlo být dáno právě odpalováním ohňostrojů, které může být zdrojem NO_2 také.



Obrázek 20 – koncentrační růžice NO₂ za sledované období od 30. května do 13. června 2019 na brněnské přehradě.

Podívat se můžeme i na koncentrační růžice zkonstruované pro 4h období od 22 do 02 h ve dnech, kdy byly odpalovány ve 22:30 ohňostroje.



Obrázek 21 – koncentrační růžice NO₂ ve 4h období odpalování ohňostrojí: 1.-2.6. (vlevo nahoře), 5.-6. 6. (vpravo nahoře), 8.-9. 6. (vlevo dole) a 12.-13. 6. (vpravo dole).

Jelikož jsou výše uvedené růžice konstruované z velmi omezeného časového období 4 hodin, vidíme vždy pouze jeden směr větru, který aktuálně převládá. Dobře patrné je, jak výrazně se podepsal jihovýchodní směr větru na koncentracích během posledního ohňostroje. Na předposledním ohňostroji rovněž vidíme nejvyšší hodnoty při nízké rychlosti a jihovýchodním směru větru. Naopak z místa odpaliště jsou koncentrace minimální, což ilustruje první a třetí ohňostroj, kdy ze severozápadu foukalo.

Celkově tedy můžeme říci, že hlavním zdrojem znečištění NO₂ během Ignis Brunensis 2019 nebylo odpalování ohňostrojí, ale zvýšená dopravní zátěž v této oblasti. Průměrné hodnoty

koncentrace NO₂ v jednotlivé dny lze popsat jako velmi nízké a absolutní maximum 37,6 µg/m³ rovněž není nijak vysoká hodnota, které je běžně dosahováno i na pozadových stanicích v Brně.

5.2 OXID DUSNATÝ (NO)

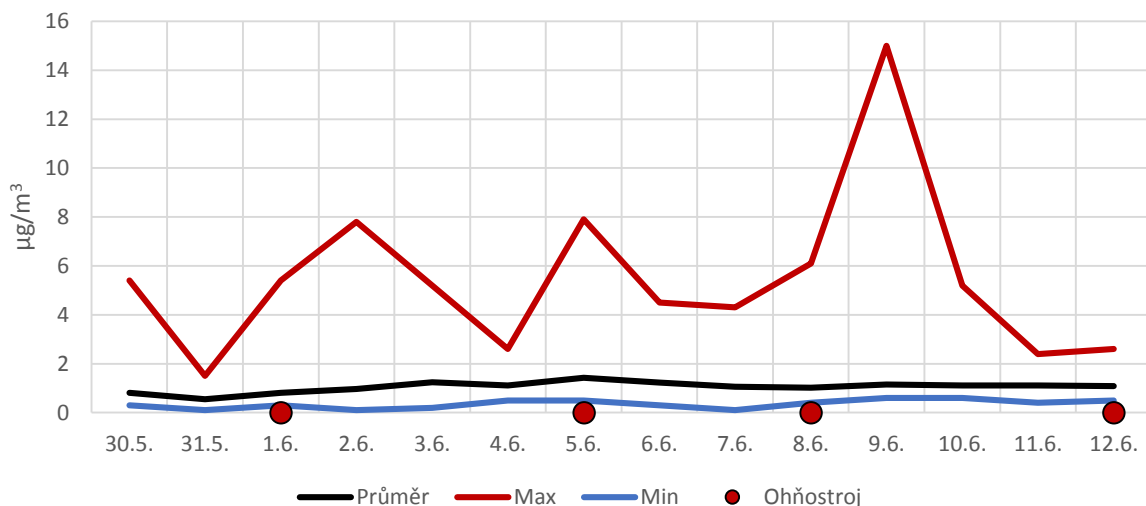
Oxid dusnatý je za normálních podmínek bezbarvý až nahnědlý plyn s velmi výrazným a specifickým zápachem. Jedná se o velmi reaktivní molekulu, která rychle reaguje na NO₂, tedy představuje dočasný intermediát v řadě chemických reakcí probíhajících jak v troposféře, tak ve stratosféře.

Měření oxidu dusnatého je založeno na chemiluminiscenci. Přímo pro NO není specifikován imisní limit, je však platný imisní limit pro NO_x pro ochranu ekosystémů a vegetace, tedy součet koncentrací oxidů dusičitého a právě dusnatého.

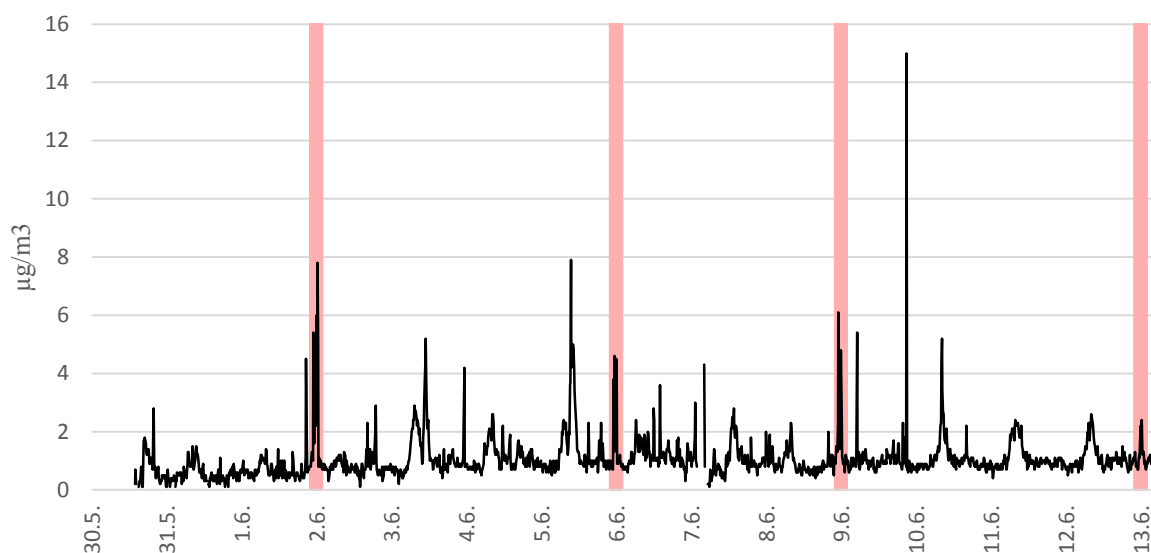
Stejně jako v případě NO₂, samotné pyrotechnické efekty oxid dusnatý neprodukuje. Jak již bylo popsáno v sekci o NO₂, je zdrojem oxidů dusíku především spalování ve spalovacích motorech. Byl tedy předpokládán stejný trend, jako v případě NO₂.

Tabulka 10 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace NO [µg/m³]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

	Průměr	Max	Min	Rozsah
30.5.	0.81	5.4	0.3	5.1
31.5.	0.55	1.5	0.1	1.4
1.6.	0.81	5.4	0.3	5.1
2.6.	0.96	7.8	0.1	7.7
3.6.	1.25	5.2	0.2	5
4.6.	1.11	2.6	0.5	2.1
5.6.	1.43	7.9	0.5	7.4
6.6.	1.23	4.5	0.3	4.2
7.6.	1.05	4.3	0.1	4.2
8.6.	1.02	6.1	0.4	5.7
9.6.	1.16	15	0.6	14.4
10.6.	1.11	5.2	0.6	4.6
11.6.	1.12	2.4	0.4	2
12.6.	1.08	2.6	0.5	2.1



Obrázek 22 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace NO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny červeným bodem pod osou.



Obrázek 23 - Průběh koncentrací NO za celé období měření z 10minutových hodnot. Růžově jsou vyšrafována období konání ohňostroje (22:00-02:00).

Z výše uvedené tabulky a grafů je patrné, že jisté navýšení během ohňostrojů sledovat lze, avšak celkově jsou koncentrace velmi nízké a jsou patrné i píky mimo konání ohňostrojů. Velmi záleží na meteorologických podmínkách a podmínkách pro oxidaci NO na NO_2 . NO jako takový nebezpečný pro zdraví není, na rozdíl od produktů, které může pomoci vytvářet.

Celkově byly koncentrace v průměru jen kolem $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, což je velmi nízká hodnota.

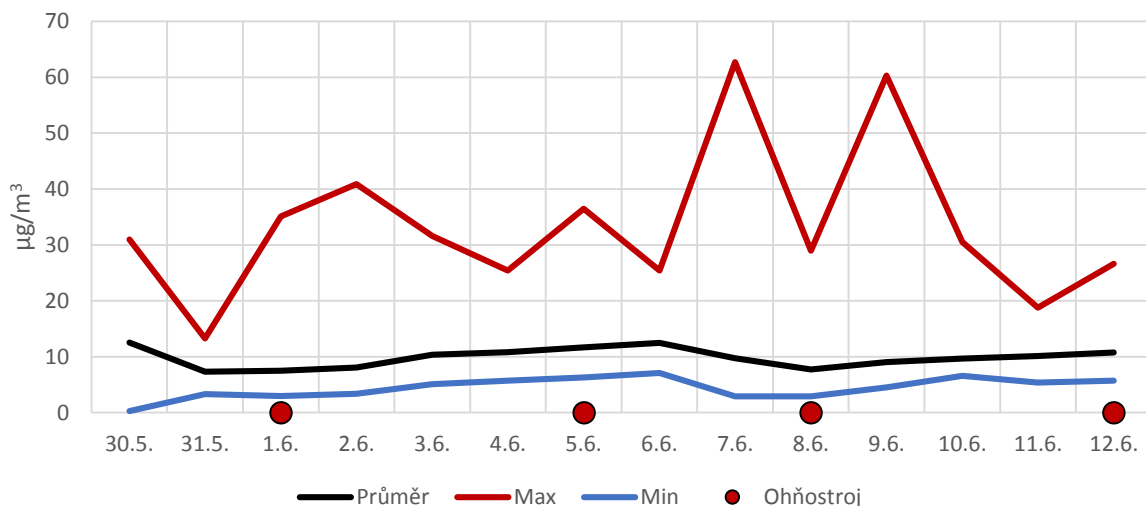
5.3 OXIDY DUSÍKU (NO_x)

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 NO₂, jsou koncentrace NO_x závislé především na koncentracích NO₂.

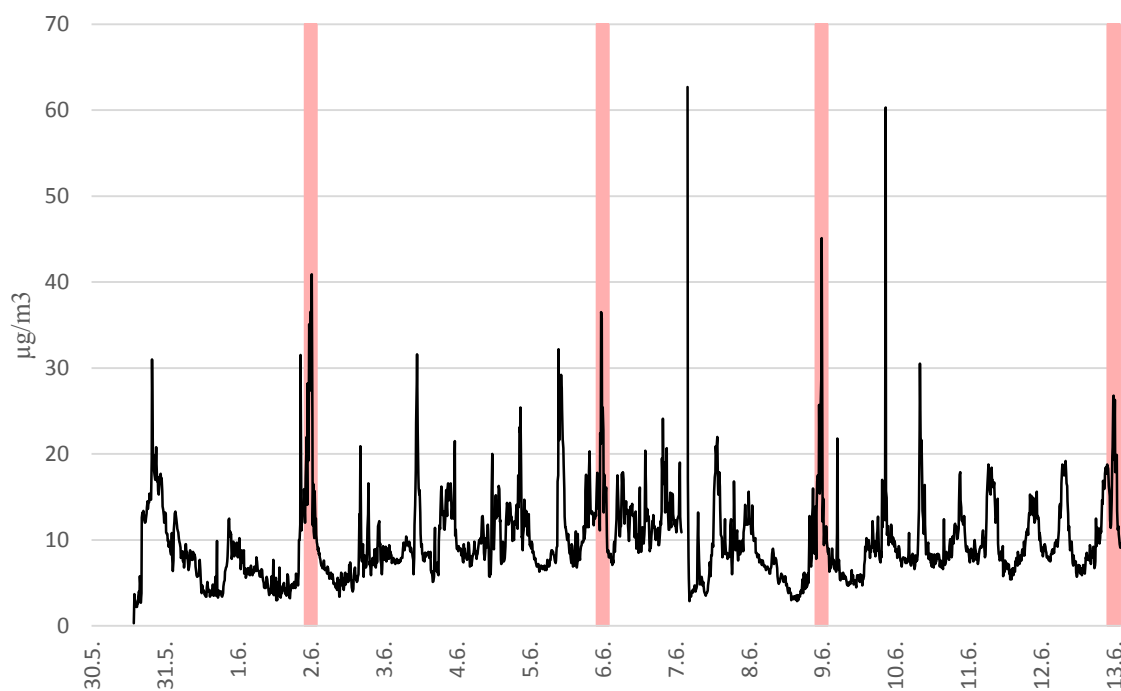
Mechanismy vzniku a působení těchto dvou plynů jsou popsány v předchozích podkapitolách tohoto textu. Následuje tedy pouze výčet statistických hodnot a grafů pro úplnost.

Tabulka 11 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace NO_x [μg/m³]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

	Průměr	Max	Min	Rozsah
30.5.	12.53	31	0.3	30.7
31.5.	7.35	13.3	3.3	10
1.6.	7.50	35.1	3	32.1
2.6.	8.05	40.9	3.4	37.5
3.6.	10.35	31.6	5.1	26.5
4.6.	10.79	25.4	5.7	19.7
5.6.	11.65	36.5	6.3	30.2
6.6.	12.46	25.4	7.1	18.3
7.6.	9.73	62.7	2.9	59.8
8.6.	7.70	29	2.9	26.1
9.6.	9.04	60.3	4.5	55.8
10.6.	9.67	30.5	6.6	23.9
11.6.	10.13	18.8	5.4	13.4
12.6.	10.78	26.6	5.7	20.9



Obrázek 24 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace NO_x [µg/m³]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny červeným bodem pod osou.



Obrázek 25 - Průběh koncentrací NO_x za celé období měření z 10minutových hodnot. Růžově jsou vyšrafována období konání ohňostroje (22:00-02:00).

Pro NO_x nebyl stanoven imisní limit pro ochranu zdraví, je však dán imisní limit pro ochranu ekosystémů a vegetace. Hodnota tohoto ročního imisního limitu je 30 µg/m³. Z výše uvedených dat vyplývá, že celková průměrná koncentrace NO_x za celou dobu měření je pod 10 µg/m³. Pouze jediný den byla průměrná koncentrace vyšší než je 12 µg/m³, tedy necelá polovina ročního imisního limitu

pro ekosystémy a vegetaci. Závěrem tedy lze říct, že koncentrace oxidů dusíku během akce Ignis Brunensis nepřekračují ani imisní limit pro ekosystémy a vegetace. Průměrné koncentrace po dobu konání přehlídky byly v průměru více než třikrát nižší, než je hodnota ročního imisního limitu NO_x pro ekosystémy a vegetaci.

5.4 OXID SIŘIČITÝ (SO₂)

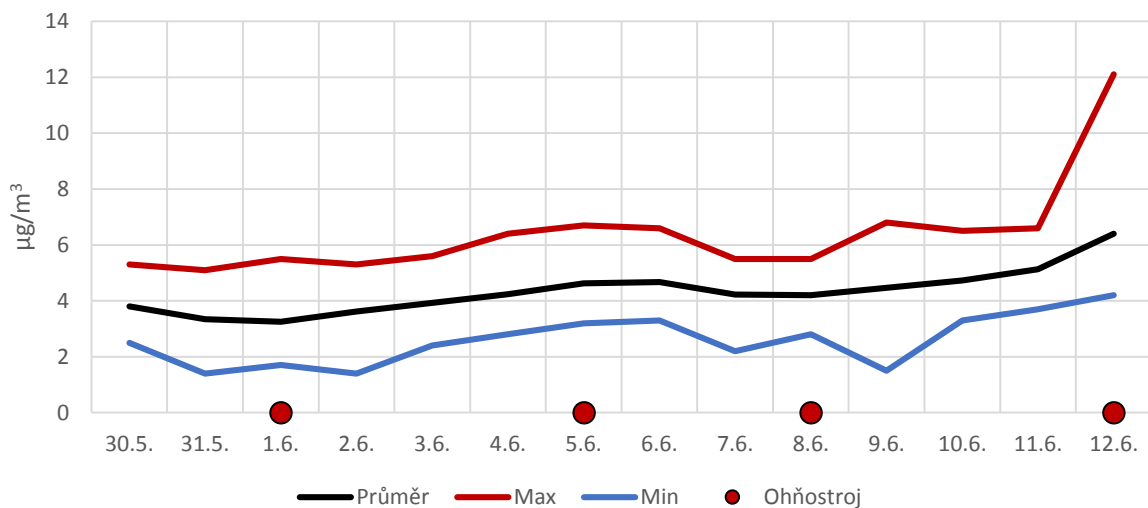
Oxid siřičitý je bezbarvý štiplavě zapáchající jedovatý plyn. V minulosti se jednalo o jeden z nejproblematictějších polutantů, co se týče kvality ovzduší. Přírodním zdrojem oxidu siřičitého v ovzduší je vulkanická činnost (Wallace, 1994), hlavním zdrojem je však lidská činnost (Smith, 2011). Do ovzduší 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 nepřekračují koncentrace SO₂ 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/m³ a může být překročen maximálně 24x za rok. 24h imisní limit pro ochranu zdraví byl stanoven na 125 µg/m³ 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/m³.

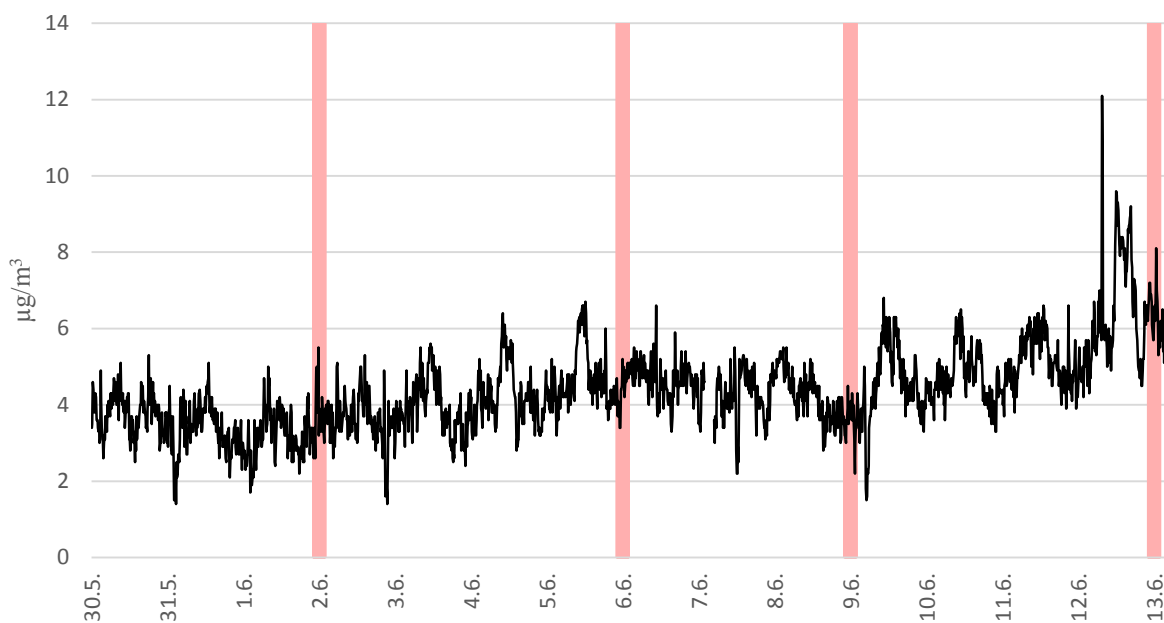
Oxid siřičitý je značně toxický plyn, který představuje velké riziko zejména pro rostliny, protože reakcí s chlorofylem narušuje fotosyntézu (Choi, 2014). U lidí působí dráždivě zejména na horní cesty dýchací, může podporovat vznik astmatu a dlouhodobá expozice vysokým koncentracím může narušovat krevní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

Tabulka 12 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace SO₂ [µg/m³]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

	Průměr	Max	Min	Rozsah
30.5.	3.80	5.3	2.5	2.8
31.5.	3.34	5.1	1.4	3.7
1.6.	3.25	5.5	1.7	3.8
2.6.	3.62	5.3	1.4	3.9
3.6.	3.93	5.6	2.4	3.2
4.6.	4.24	6.4	2.8	3.6
5.6.	4.63	6.7	3.2	3.5
6.6.	4.67	6.6	3.3	3.3
7.6.	4.23	5.5	2.2	3.3
8.6.	4.20	5.5	2.8	2.7
9.6.	4.46	6.8	1.5	5.3
10.6.	4.73	6.5	3.3	3.2
11.6.	5.12	6.6	3.7	2.9
12.6.	6.40	12.1	4.2	7.9

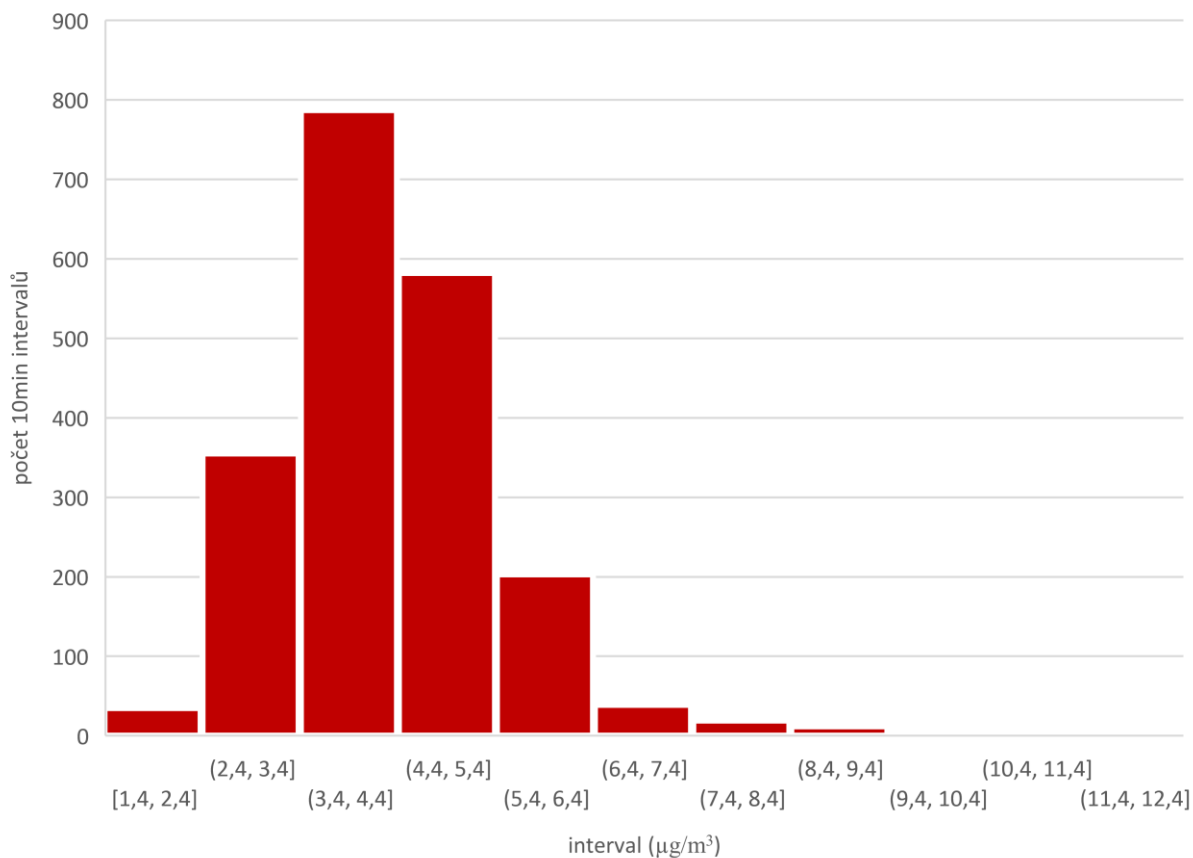


Obrázek 26 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny červeným bodem pod osou.



Obrázek 27 - Průběh koncentrací SO_2 za celé období měření z 10minutových hodnot. Růžově jsou vyšrafována období konání ohňostroje (22:00-02:00).

Jak ukazuje následující histogram, koncentrace se nejčastěji pohybovaly v intervalu mezi 3 a 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Obrázek 28 – histogram četnosti koncentrací SO_2 za celé sledované období

Během celé délky trvání měření nepřekročila koncentrace SO_2 ani jednu hranici $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Z grafu průměrných koncentrací je vidět, že se během celé show prakticky neměnily. 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 3 % limitu. Denní průměry jsou také hluboko pod 24h imisním limitem. Pohybovaly se pod, či nepatrně nad $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, což představuje hladinu 4 % 24h imisního limitu.

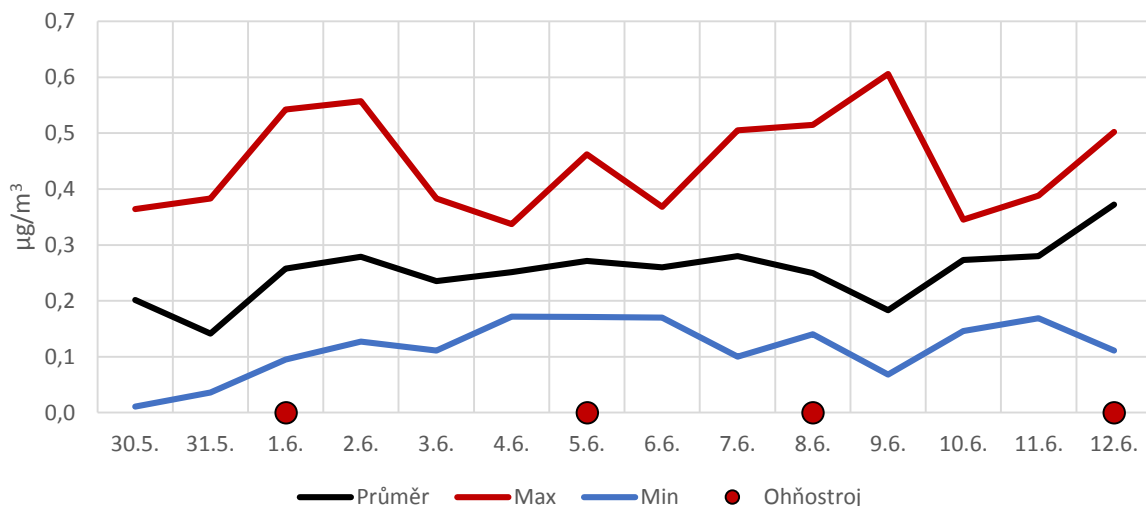
5.5 OXID UHELNATÝ (CO)

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 CO₂ 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.

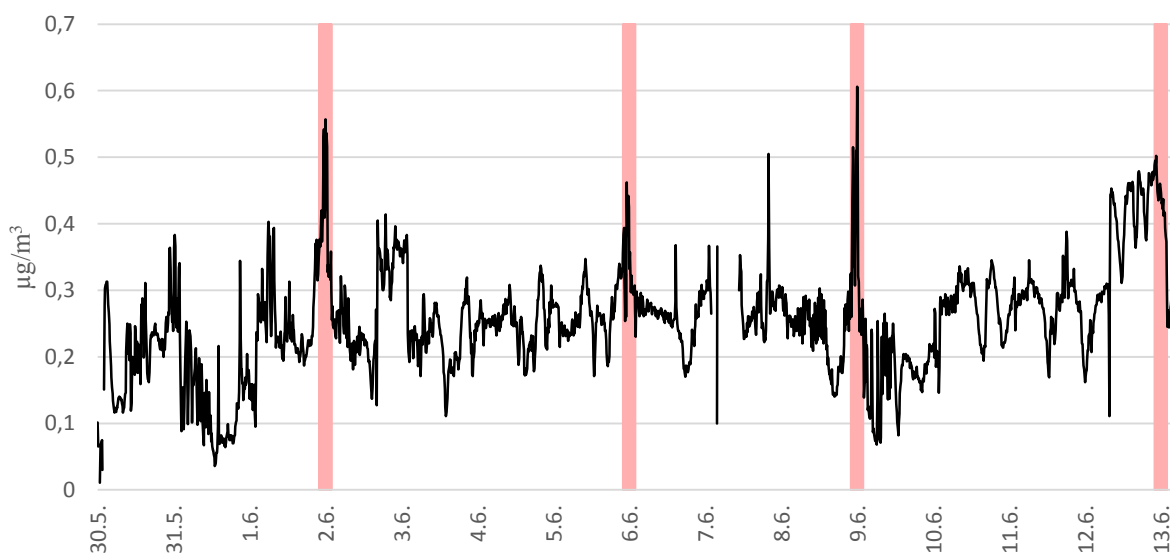
Imisní limit pro oxid uhelnatý je 10 mg/m³ jako maximální denní 8h klouzavý průměr.

Tabulka 13 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace CO [mg/m³]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

	Průměr	Max	Min	Rozsah
30.5.	0.20	0.364	0.011	0.353
31.5.	0.14	0.383	0.036	0.347
1.6.	0.26	0.542	0.095	0.447
2.6.	0.28	0.557	0.127	0.43
3.6.	0.24	0.383	0.111	0.272
4.6.	0.25	0.337	0.172	0.165
5.6.	0.27	0.462	0.171	0.291
6.6.	0.26	0.368	0.17	0.198
7.6.	0.28	0.505	0.1	0.405
8.6.	0.25	0.515	0.14	0.375
9.6.	0.18	0.606	0.068	0.538
10.6.	0.27	0.345	0.146	0.199
11.6.	0.28	0.388	0.169	0.219
12.6.	0.37	0.502	0.111	0.391



Obrázek 29 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace CO [mg/m³]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny červeným bodem pod osou.



Obrázek 30 - Průběh koncentrací CO za celé období měření z 10minutových hodnot. Růžově jsou vyšrafována období konání ohňostroje (22:00-02:00).

Absolutně maximální naměřená hodnota CO byla pouhých 0,606 mg/m³. To neodpovídá ani 10 % imisního limitu. Průměrné denní koncentrace pak byly ještě přibližně třikrát nižší (okolo 0,25 µg/m³). Lze tedy říci, že ohňostrojová 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 μm) se mohou dostávat až do krevního oběhu.

Částice PM samy o sobě mohou působit dráždivě. Zároveň však na ně mohou 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 mohou 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 Ignis Brunensis lze předpokládat zvýšené koncentrace PM, a to jak v důsledku pyrotechnických efektů, tak velmi vysokého počtu osob na malém prostoru.

6.2 MĚŘENÍ SUSPENDOVANÝCH ČÁSTIC

V rámci tohoto měření byly měřeny koncentrace tří frakcí suspendovaných částic – částic označovaných jako PM_{10} (aerodynamický průměr do $10\ \mu\text{m}$), jemnější frakce $PM_{2,5}$ (částice s aerodynamickým průměrem do $2,5\ \mu\text{m}$) a frakce nejmenších částic označovaná jako PM_1 (částice s aerodynamickým průměrem do $1\ \mu\text{m}$). S ohledem na lidské zdraví jsou potenciálně nebezpečnější částice PM_1 , 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 můžou 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ v ovzduší. Další možností měření PM je využití radiometrie, s použitím automatických β -prachoměrů. Částice jsou v tomto případě zachycovány na filtrační pásku a ta se odvíjí mezi β -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 nejpřesnější, navíc lze exponované filtry využít následně k dalším analýzám a stanovit například koncentrace kovů. Naopak výhodou automatických prachoměrů je, že poskytují data v reálném čase v mnohem kratším intervalu.

Během akce Ignis Brunensis byly měřeny koncentrace částic PM_{10} radiometricky měřícím vozem v 10minutovém intervalu. Tato měření tak umožňují monitorovat dynamiku koncentrací PM_{10} v průběhu dne.

Kromě PM_{10} částic byly sledovány i částice $PM_{2,5}$ a PM_1 . Jak již bylo zmíněno, 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 produkuje ve větší míře jemnější frakci, proto data o koncentracích PM_1 a $PM_{2,5}$ můžou lépe odhalit vliv samotných pyrotechnických efektů (Tian, 2014). Částice PM_{10} a $PM_{2,5}$ byly rovněž měřeny gravimetricky sekvenčním vzorkovačem. Ohňostroje samotné trvaly vždy jen přibližně 17 až 18 minut každý, proto pohled na 24h průměr může být zkreslující a zahrnoval by celou řadu dalších vlivů. Z tohoto důvodu bylo zvoleno vzorkování ve 4h intervalech, vždy tak, aby první čtyřhodinový interval zahrnoval dobu těsně před ohňostrojem, druhý

interval dobu ohňostroje a čas bezprostředně po něm a třetí interval následnou noc. Ohňostroje začínaly vždy ve 22:30, první interval byl zvolen od 18 do 22 h, druhý od 22 do 2 h následujícího dne a poslední navazující interval od 2 do 6 h v noci.

Některé z filtrů ze sekvenčních vzorkovačů byly určeny pro následnou analýzu koncentrací kovů (viz dále). V ideálním případě by mohla být tato analýza provedena na všech vzorcích, z finančních důvodů však bylo vybráno jen několik měření a to vždy tak, aby byly kovy analyzovány vícekrát z ohňostroje i z dne mimo ohňostroj.

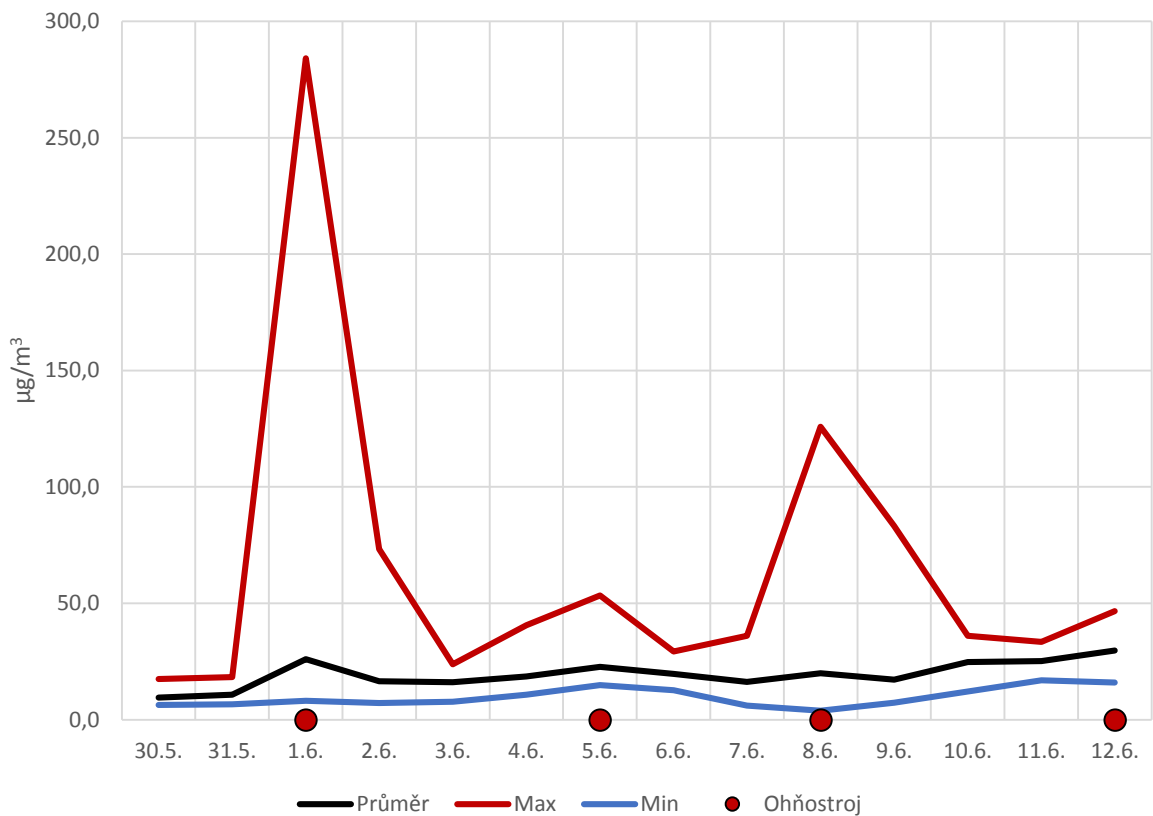
6.3 PM₁₀

Koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ byla měřena v 10minutových intervalech měřicím vozem. Legislativa udává pro PM₁₀ dva imisní limity. 24h limit má hodnotu 50 µg/m³ a smí být překročen maximálně 35x za rok. Roční imisní limit PM₁₀ je 40 µg/m³.

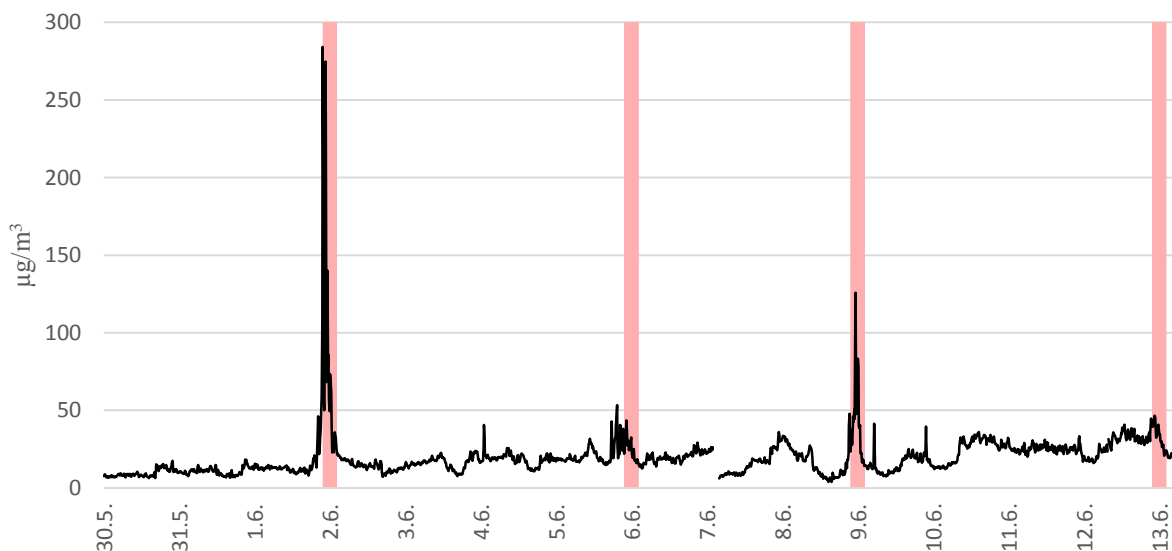
PM₁₀ jsou znečišťující látkou, jejíž koncentrace je ovlivňována přehlídkou a to hned kvůli několika faktorům. Prvním z nich jsou samotné pyrotechnické efekty. Exploze pyrotechnických složí ve vzduchu produkuje a šíří do okolí větší množství částic. Stejně tak jsou koncentrace PM₁₀ zvyšovány vysokou intenzitou pohybu lidí. Statisíce 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. Vzorkovače byly umístěny 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 14 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace PM₁₀ [µg/m³]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

	Průměr	Max	Min	Rozsah
30.5.	9.49	17.5	6.3	11.2
31.5.	10.67	18.3	6.6	11.7
1.6.	26.05	284.1	8.1	276
2.6.	16.50	73.3	7.2	66.1
3.6.	16.09	23.8	7.7	16.1
4.6.	18.51	40.6	10.8	29.8
5.6.	22.71	53.4	14.9	38.5
6.6.	19.61	29.3	12.6	16.7
7.6.	16.25	36.1	6.1	30
8.6.	19.99	125.8	3.9	121.9
9.6.	17.18	83.2	7.3	75.9
10.6.	24.73	36.1	12.1	24
11.6.	25.14	33.4	16.9	16.5
12.6.	29.72	46.6	16	30.6



Obrázek 31 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny červeným bodem pod osou.



Obrázek 32 - Průběh koncentrací PM_{10} za celé období měření z 10minutových hodnot. Růžově jsou vyšrafována období konání ohňostroje (22:00-02:00).

Výše uvedená data na rozdíl od většiny plyných znečišťujících látek ukazují, že dny konání ohňostroje se od ostatních velmi lišily – konkrétně pak zejména během prvního a třetího ohňostroje,

což byly dva ohňostroje, během kterých byl směr větru severozápadní, tudíž kouřová vlečka z ohňostrojů postupovala směrem ke vzorkovačům a měřicímu vozu.

Celková průměrná koncentrace PM₁₀ ze dní mimo ohňostroje byla 17,42 µg/m³. Průměr ze čtyř dní s ohňostroji činil 24,62 µg/m³, navíc je ale třeba říci, že zvýšené koncentrace se mohly projevit i následující den krátce po půlnoci.

Následující tabulka ukazuje průměrnou koncentraci PM₁₀ ve 6hodinovém intervalu 20.00 až 02.00 v období, kdy ve 22.30 byl odpálen ohňostroj.

Období	Průměr PM ₁₀ µg/m ³
1. 6. 22:00 – 2. 6. 02:00	75,42
5. 6. 22:00 – 6. 6. 02:00	27,18
8. 6. 22:00 – 9. 6. 02:00	38,38
12. 6. 22:00 – 13. 6. 02:00	34,66

Celkový průměr za čtyři výše uvedená 6hodinová období představuje 43,91 µg/m³. Jestliže tedy celkový průměr koncentrací PM₁₀ za celé sledované období činil 19,56 µg/m³, jednalo se o více než dvojnásobek.

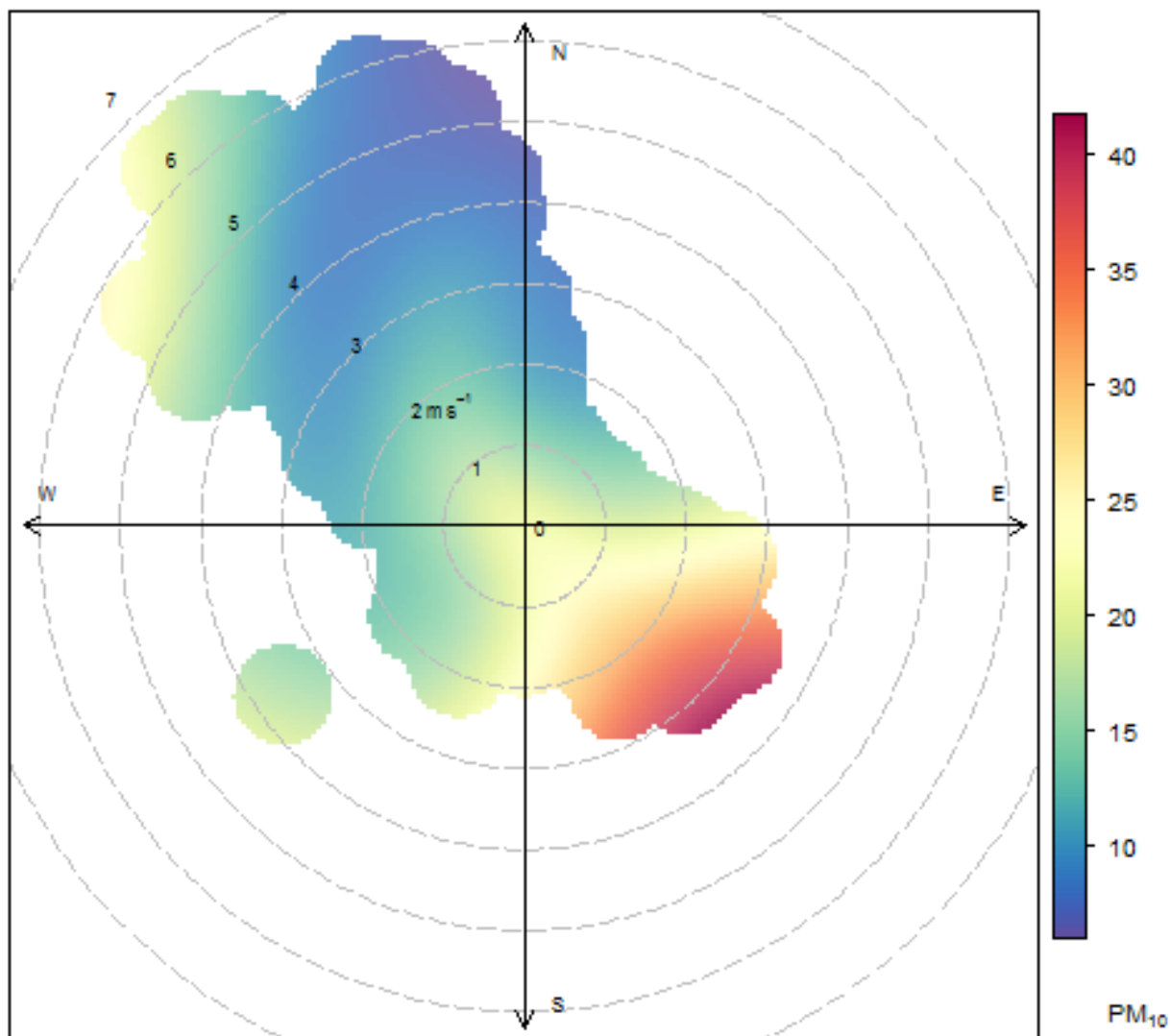
Nejvíce se zvýšení koncentrací projevilo během prvního ohňostroje, kdy v maximech dosahovala koncentrace až 284,1 µg/m³. Takto vysoká koncentrace však byla paradoxně naměřena ještě před začátkem ohňostroje, konkrétně ve 21:40. V tu chvíli foukalo od severovýchodu, v tomto směru byl umístěn stánek s občerstvením v areálu Jachtklubu a rovněž řada přihlížejících. Je tedy vysoce pravděpodobné, že důvodem takto vysokých koncentrací byla v tomto případě těsná blízkost k těmto zdrojům. Ve 22:00 se otočil směr větru na západ a koncentrace se jen během 20 minut snížila z více než 280 na 50 µg/m³. Následně kolem 22:30 se opět vítr stočil a foukalo od severovýchodu, což mělo za následek další prudký nárůst na 274,6 µg/m³. Kolem 23 h se vítr stočil tak, že proudilo ke vzorkovači směrem od odpaliště a to vedlo okamžitě ke zvýšení z 68 na 140 µg/m³. Z výše uvedeného tedy lze usuzovat na dvě hlavní oblasti znečištění a to na severovýchod od vzorkovačů (pravděpodobně blízký stánek s grilováním a vliv velkého počtu lidí přihlížejících ohňostroji – resuspenze, kouření apod.) a další směr severozápadní, tedy místo odpaliště. Rychlost větru byla po celou tuto dobu velmi nízká, pod 1 m/s. Kouřová vlečka od odpaliště se tedy pohybovala velmi pomalu, o čemž svědčí i fakt, že ještě po půlnoci byly koncentrace při severozápadním proudění kolem 70 µg/m³.

Odlišná situace panovala během druhého ohňostroje. V době jeho konání foukalo převážně od jihovýchodu a koncentrace se tak pohybovaly jen kolem $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Následně po 23h proudil vítr dominantně z jihozápadu, kde rovněž nebyl žádný významnější zdroj a koncentrace se tak následně pohybovaly kolem $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Během třetího ohňostroje foukalo mezi 20 a 23 h primárně od jihozápadu, koncentrace se tak pohybovaly do 22 h většinou jen kolem $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ve 23:20 došlo ke stočení směru větru na severozápad, místo odpaliště a to vedlo k velmi rychlému nárůstu koncentrací PM_{10} na $125,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Následné stočení zpět na jihozápad zase vedlo k okamžitému poklesu na $47,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v následujícím 10minutovém intervalu. Z těchto rychlých změn můžeme dobře vidět, že koncentrace v různých směrech od vzorkovače se velmi markantně lišily.

Během čtvrtého ohňostroje 12. 6. foukalo mezi 20 h a půlnocí takřka výhradně od jihovýchodu. Rychlost větru dosahovala kolem 1 m/s . Po celé období 20:00-02:00 se koncentrace PM_{10} pohybovaly mezi 20 a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V maximu to bylo ve 22:30 $46,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Koncentrační růžice pro celé období pro PM_{10} ukazuje, že nejvyšší byly koncentrace při jihovýchodním proudění. Tato růžice však hodnotí celé období, v takovém případě lze toto očekávat, jelikož právě v tomto směru od vzorkovačů a měřicího vozu leží město Brno, odkud v této oblasti standardně proudí hlavní proud znečištění. Patrná je však i oblast vyššího znečištění na severozápad a to i při vyšších rychlostech větru. V této oblasti se rozprostírá hladina přehrady a okolní lesy, je proto pravděpodobné, že právě tady je vidět vliv ohňostrojů, který logicky vzhledem ke své časové délce nemůže výrazněji do průměru za celé období zasáhnout.



Obrázek 33 – koncentrační růžice PM_{10} za celé sledované období.

Obecně tedy lze shrnout situaci následovně. V kontextu celého období se v dané oblasti nejvíce projevuje znečištění z jihovýchodu, což odpovídá směru města Brna a přilehlým komunikacím. Průměrné 24h koncentrace na přehradě v době konání akce Ignis Brunensis se pohybovaly mezi 9,5 a 29,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, imisní limit o hodnotě 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tedy překročen nebyl. V krátkodobých maximech se koncentrace vyšplhaly až na více 284 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ v jednom desetiminutovém intervalu. Zdrojem takto vysokých koncentrací byl pravděpodobně lokální zdroj v okolí vozu (stánek s grilováním, davy lidí) a projevil se také vliv odpalování ohňostroje, což ilustruje zvýšení při severozápadním proudění. Vyšší koncentrace jsou tedy v dané oblasti během akce obecně dány kombinací pohybu a činnosti návštěvníků a samotného odpalování pyrotechnických složí.

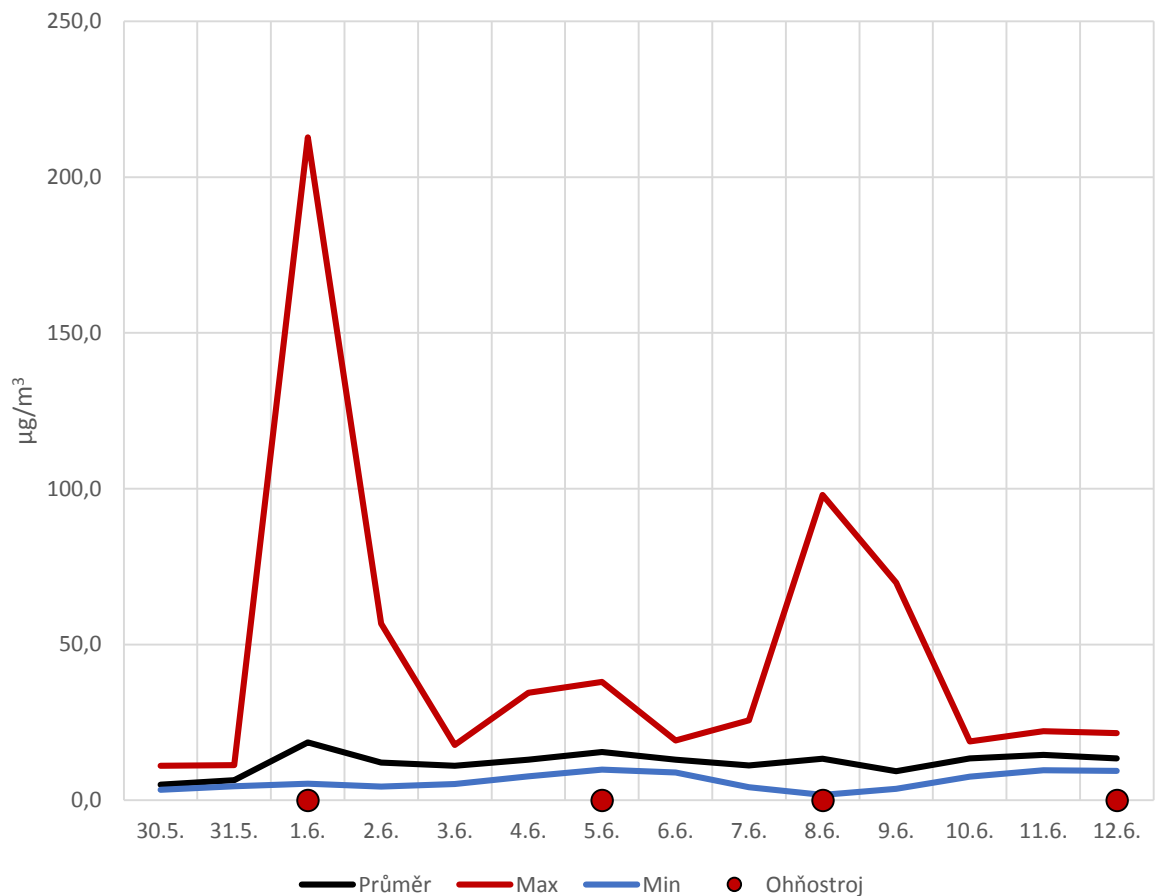
6.4 PM_{2,5}

Menší částice frakce PM_{2,5} vznikají především spalovacími procesy. Jedná se o zdravotně potenciálně nebezpečnější částice, protože pronikají hlouběji do dýchacího systému. Vzhledem charakteru ohňostrojů, které nepředstavují nic jiného než soustavu řízeně odpalovaných výbušnin, lze očekávat, že většina částic z nich produkovaných bude spíše menších, protože nevznikají mechanicky.

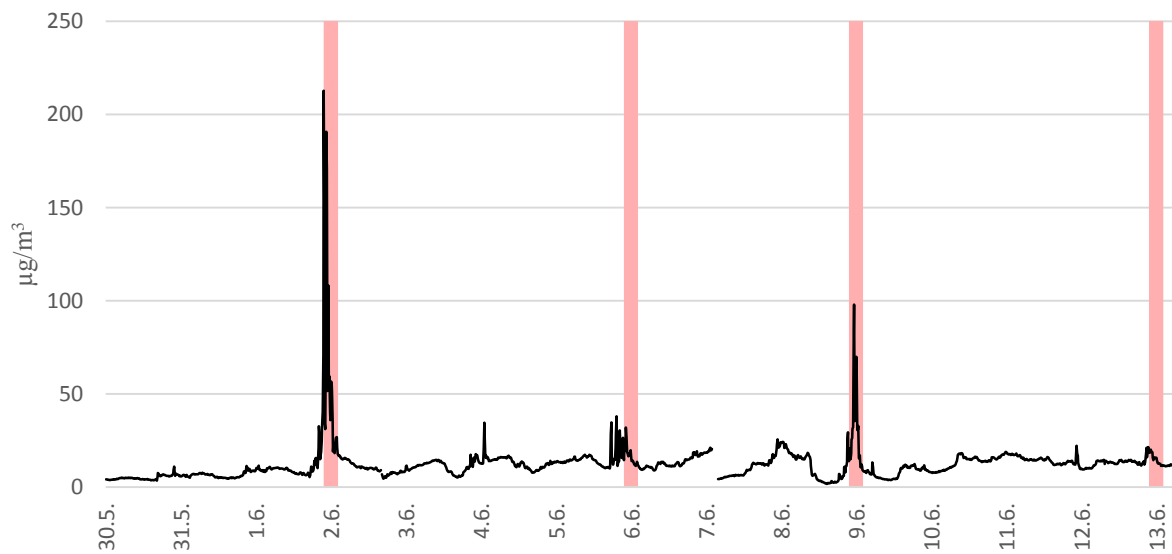
Imisní limit pro PM_{2,5} je stanoven pouze pro roční průměr a má hodnotu 25 µg/m³, od ledna roku 2020 to pak bude hodnota 20 µg/m³.

Tabulka 15 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace PM_{2,5} [µg/m³]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

	Průměr	Max	Min	Rozsah
30.5.	4.99	11.038	3.388	7.65
31.5.	6.40	11.289	4.505	6.784
1.6.	18.60	212.78	5.332	207.448
2.6.	12.11	56.718	4.379	52.339
3.6.	11.04	17.752	5.171	12.581
4.6.	13.03	34.486	7.673	26.813
5.6.	15.54	38.032	9.866	28.166
6.6.	13.04	19.152	8.869	10.283
7.6.	11.13	25.668	4.216	21.452
8.6.	13.32	97.942	1.72	96.222
9.6.	9.34	69.866	3.71	66.156
10.6.	13.42	18.91	7.613	11.297
11.6.	14.60	22.192	9.59	12.602
12.6.	13.43	21.532	9.407	12.125



Obrázek 34 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace $PM_{2,5}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny červeným bodem pod osou.

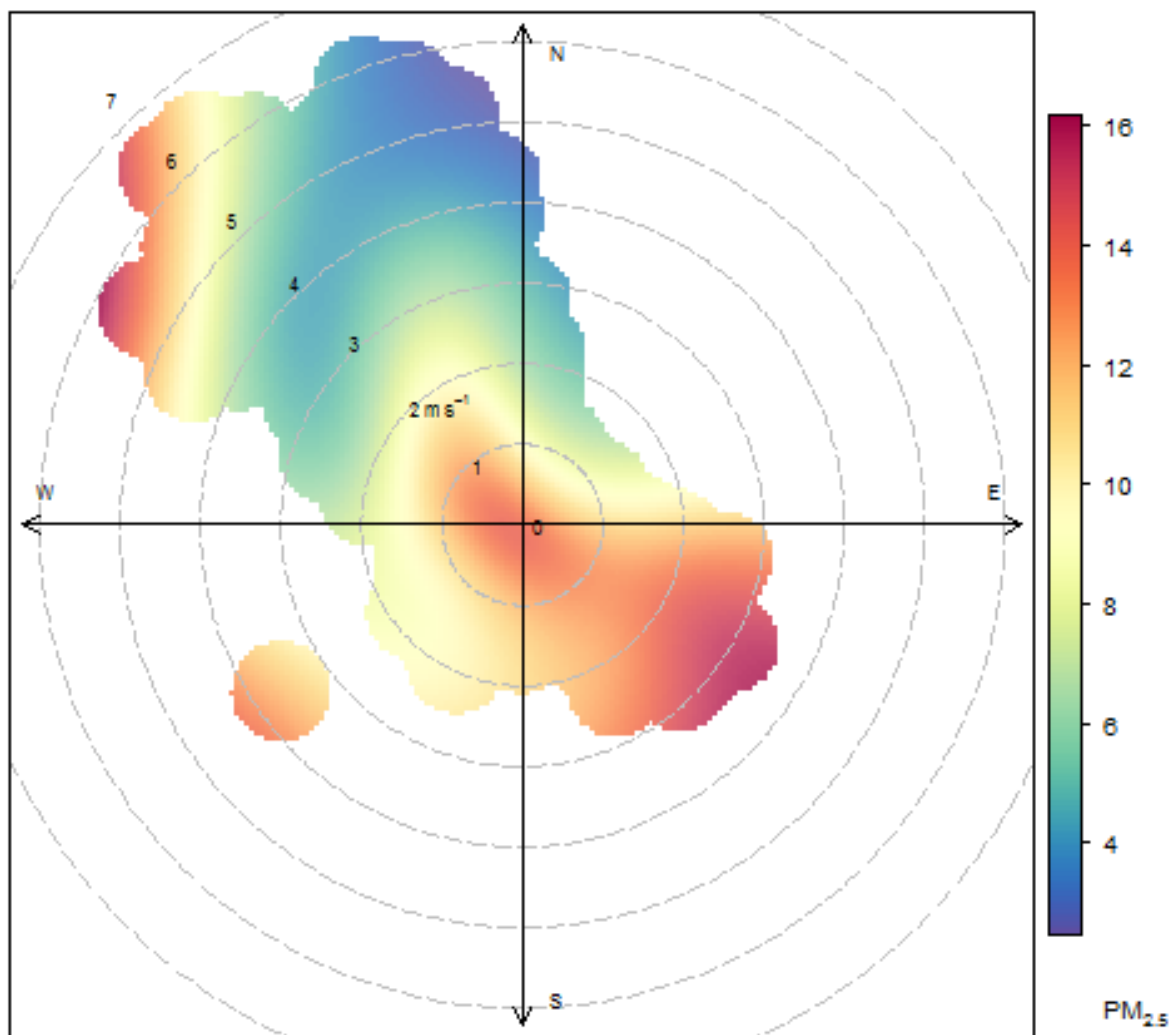


Obrázek 35 - Průběh koncentrací $PM_{2,5}$ za celé období měření z 10minutových hodnot. Růžově jsou vyšrafována období konání ohňostroje (22:00-02:00).

Průběh koncentrací $PM_{2,5}$ se velmi podobá tomu u PM_{10} . Opět jsou patrné výrazné nárůsty a to zejména během prvního ohňostroje 1. 6. a následně také třetího 8. 6. Pravděpodobné příčiny jednotlivých nárůstů byly popsány v předchozí kapitole PM_{10} . Absolutního maxima dosáhly koncentrace $PM_{2,5}$ 1.6. a to $212,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tohoto maxima bylo dosaženo shodně s dosažením absolutního maxima PM_{10} 1. 6. ve 21:40. Fakt, že koncentrace $PM_{2,5}$ svým průběhem při špičkách v podstatě kopírují trend PM_{10} svědčí o faktu, že tato výrazná navýšení lze připsat na vrub právě především částicím $PM_{2,5}$. Poměr $PM_{2,5}$ ku PM_{10} byl během nejvyšší špičky 1. 6. kolem 0,75. Jinými slovy, přibližně 75 % částic PM_{10} byly částice menší než $2,5 \mu\text{m}$ (tedy částice $PM_{2,5}$). Celkově byl však průměrný poměr $PM_{2,5}/PM_{10}$ za celé sledované období pouze kolem 0,6.

Tento fakt dále podporuje hypotézu, že za navýšením stojí nějaký spalovací proces, spíše než mechanický zdroj (například resuspenze z pohybu velkého počtu lidí). Tímto spalovacím zdrojem může být jak odpalování ohňostroje, tak například grilování v nedalekých stáncích s občerstvením.

Na koncentrační růžici je pak patrný podobný trend jako na růžici PM_{10} , je zde však výrazněji patrné ohnisko znečištění na severozápad od měřícího vozu – v místě odpaliště. To podporuje hypotézu, že ohňostroje měly v tomto případě vyšší vliv než u koncentrací PM_{10} , vycházející z faktu, že se jedná o spalovací procesy.



Obrázek 36 – koncentrační růžice pro $PM_{2,5}$ za celé sledované období

24h imisní limit pro $PM_{2,5}$ není stanoven, existuje pouze imisní limit pro roční průměrnou koncentraci. Celkový průměr koncentrace $PM_{2,5}$ za sledované období byl $12,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, což je necelá polovina hodnoty ročního imisního limitu. Takovéto hodnoty nijak nevybočují od hodnot na pozadových stanicích – je ale nutné zmínit, že ve velmi krátkodobých špičkách, byly naměřené hodnoty velmi vysoké ($>200 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

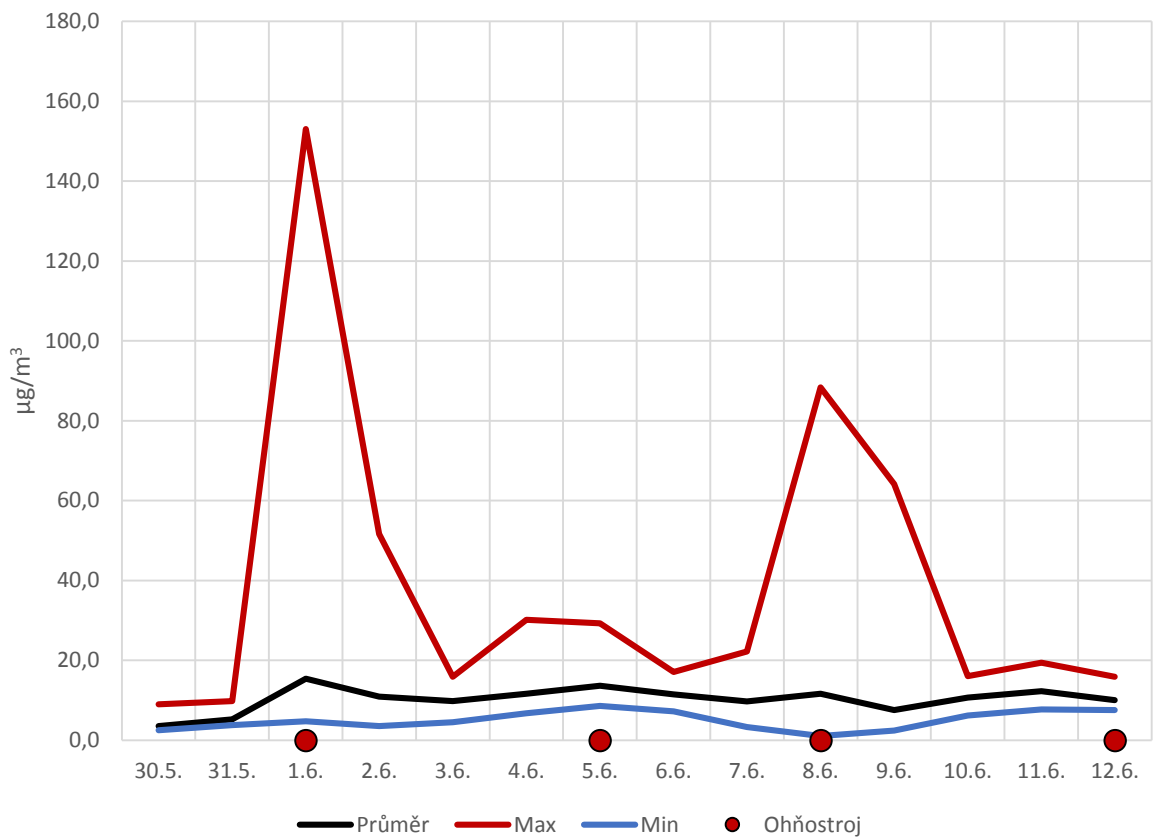
6.5 PM₁

Měření frakce PM₁, tedy částic ještě menších než PM_{2,5}, bylo v letošním roce v rámci sledování kvality ovzduší během odpalování ohňostrojů Ignis Brunensis novinkou. Koncentrace této frakce jsou velmi důležité, protože platí pravidlo, čím menší částice je, tím potenciálně nebezpečnější je pro lidské zdraví (dostává se hlouběji do dýchacího systému či až přímo do krevního oběhu).

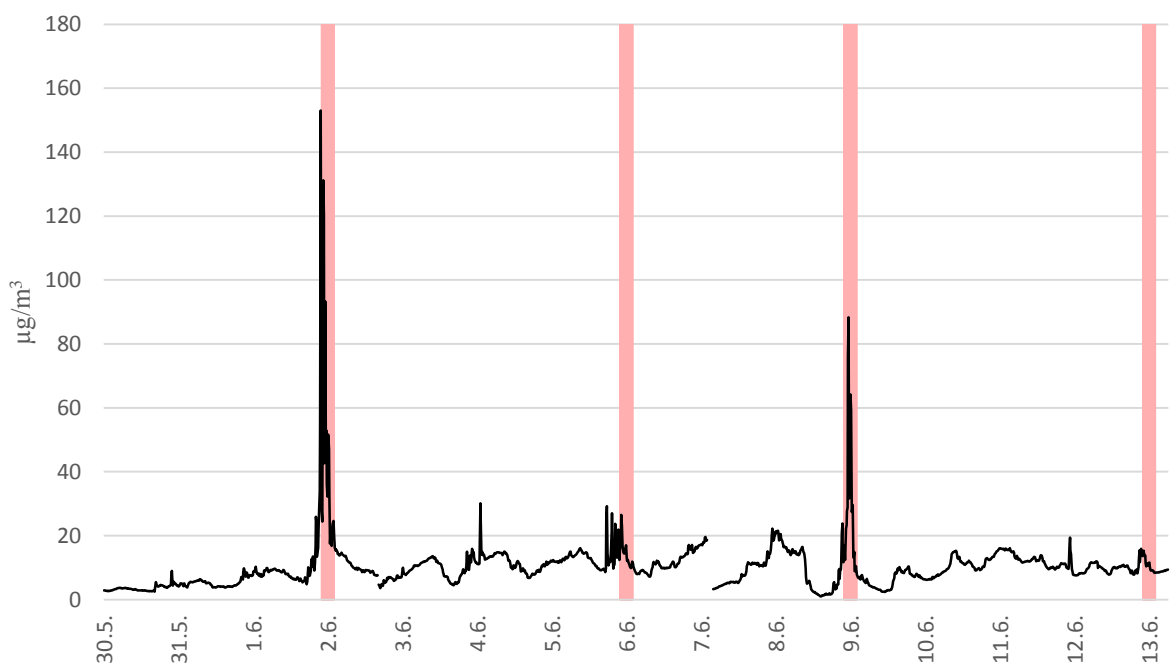
V minulosti se tato frakce neměřila, příčinou nebyl fakt, že by nebyla tato měření zajímavá, ale spíše technická a finanční náročnost takového měření. Seznam stanic, které jsou schopny monitorovat koncentraci PM₁ se neustále rozšiřuje a přístrojem schopným tuto frakci sledovat je od letošního roku vybaven i měřicí vůz magistrátu města Brna. Jelikož se však stále jedná o relativně nestandardní měření, probíhající z celkového počtu stanic imisního monitoringu v ČR na velmi malé části, není pro tuto znečišťující látku zatím v legislativě stanoven žádný imisní limit.

Tabulka 16 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace PM₁ [μg/m³]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny oranžově.

	Průměr	Max	Min	Rozsah
30.5.	3.56	8.962	2.482	6.48
31.5.	5.24	9.775	3.765	6.01
1.6.	15.37	153.01	4.78	148.23
2.6.	10.94	51.619	3.563	48.056
3.6.	9.82	15.905	4.534	11.371
4.6.	11.64	30.137	6.755	23.382
5.6.	13.64	29.26	8.575	20.685
6.6.	11.50	17.11	7.198	9.912
7.6.	9.70	22.204	3.292	18.912
8.6.	11.66	88.371	1.037	87.334
9.6.	7.58	64.17	2.436	61.734
10.6.	10.71	16.048	6.206	9.842
11.6.	12.32	19.395	7.701	11.694
12.6.	10.01	15.92	7.554	8.366



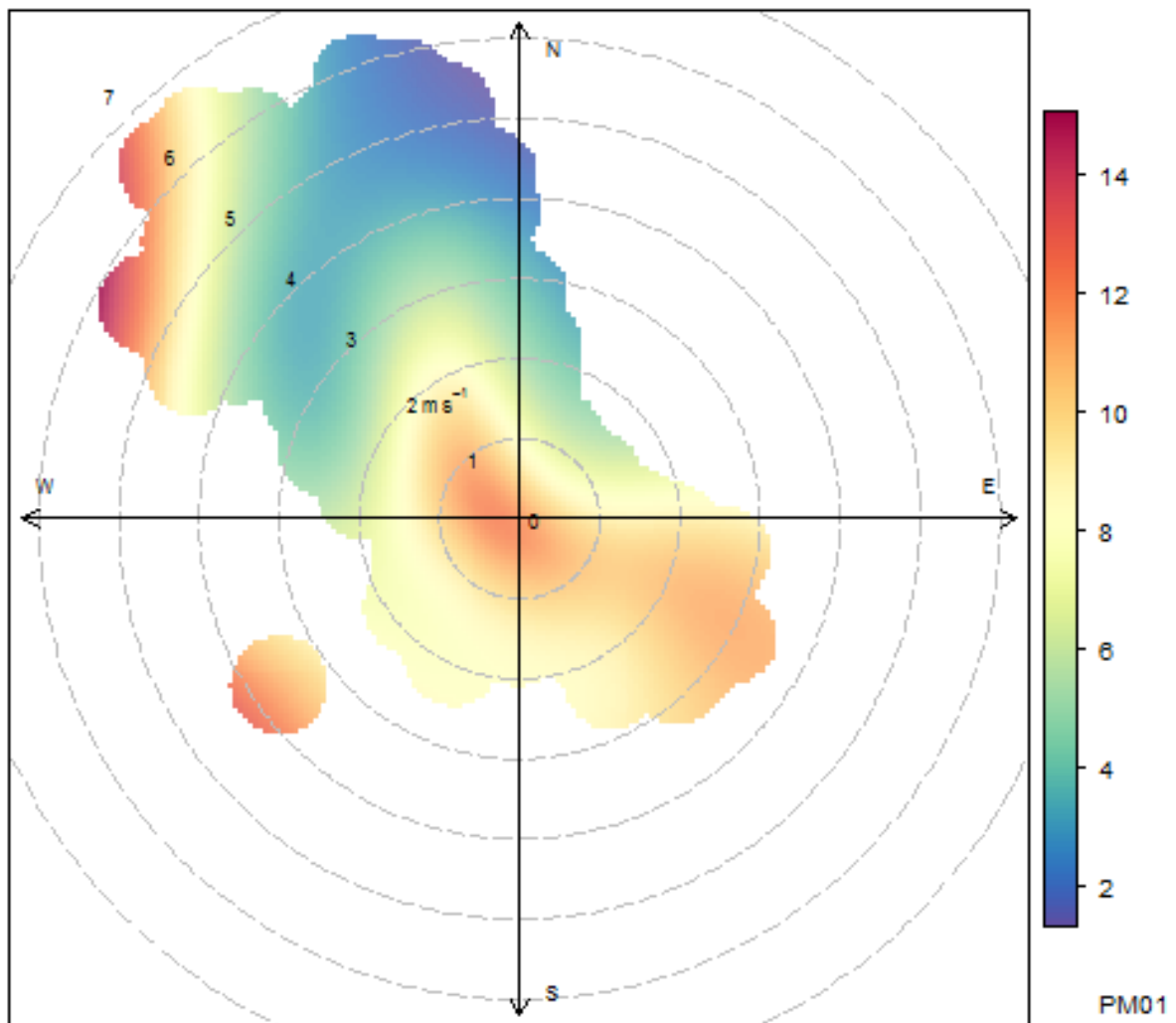
Obrázek 37 - Denní průměrné, maximální a minimální koncentrace PM_1 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Dny s ohňostrojem jsou zvýrazněny červeným bodem pod osou.



Obrázek 38 - Průběh koncentrací PM_1 za celé období měření z 10minutových hodnot. Růžově jsou vyznačována období konání ohňostroje (22:00-02:00).

Průběh koncentrací PM_{10} se velmi podobá tomu u $PM_{2,5}$. Opět jsou patrné výrazné nárůsty a to zejména během prvního ohňostroje 1. 6. a následně také třetího 8. 6. Pravděpodobné příčiny jednotlivých nárůstů byly popsány v předchozí kapitole PM_{10} . Absolutního maxima dosáhly koncentrace $PM_{2,5}$ 1.6. a to $153,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tohoto maxima bylo dosaženo shodně s dosažením absolutního maxima PM_{10} a $PM_{2,5}$ 1. 6. ve 21:40. Fakt, že koncentrace PM_{10} svým průběhem při špičkách v podstatě kopírují trend PM_{10} a $PM_{2,5}$ svědčí o faktu, že tato výrazná navýšení lze připsat na vrub právě především částicím PM_{10} .

Na koncentrační růžici je pak patrný podobný trend jako na růžici $PM_{2,5}$, je zde rovněž výrazněji patrné ohnisko znečištění na severozápad od měřícího vozu – v místě odpaliště. To podporuje hypotézu, že ohňostroje měly v tomto případě vyšší vliv než u koncentrací PM_{10} , vycházející z faktu, že se jedná o spalovací procesy.



Obrázek 39 – koncentrační růžice pro PM_{10} za celé sledované období

7. 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 můžou být vysoce toxické, a proto jsou sledovány nejen v ovzduší, ale i ve vodních a suchozemských ekosystémech a potravinách (Jaishankar, 2014).

Expozice některým kovům může mít řadu negativních zdravotních účinků – můžou být karcinogenní, způsobovat poruchy nervové soustavy nebo poškozovat oběhovou soustavu apod. (Kim H.S., 2015; Zeng, 2016; Lamas, 2016). Koncentrace vybraných 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 17). Tyto limity jsou platné pro roční průměrné koncentrace v suspendovaných částicích frakce PM_{10} .

Tabulka 17 - Imisní limity pro ochranu zdraví pro těžké kovy v částicích PM_{10} (roční průměr)

Těžký kov		Doba průměrování	Imisní limit
As	arsen	kalendářní rok	6 ng/m^3
Cd	kadmium	kalendářní rok	5 ng/m^3
Ni	nikl	kalendářní rok	20 ng/m^3
Pb	olovo	kalendářní rok	500 ng/m^3

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

Kromě těžkých kovů s imisním limitem byly během ohňostrojové přehlídky stanoveny koncentrace také dalších kovů, pro které není dán imisní limit, a běžně se jejich koncentrace nesledují. Je tomu tak mj. proto, že nemají žádný významný zdroj, nejsou toxické či jsou jejich koncentrace v ovzduší běžně zanedbatelné (Tian, 2014). Během odpalování ohňostrojů je však v pyrotechnických efektech celá řada dalších kovů, které se během výbuchu dostávají do ovzduší. Cílem této analýzy tedy bylo tyto prvky v ovzduší detekovat a kvantifikovat.

V níže uvedených tabulkách koncentrací je v případě koncentrací pod mez detekce uvedena polovina této hodnoty (pokud je tedy mez detekce například $1,0 \text{ ng/m}^3$, v případě koncentrace pod mezí detekce bylo počítáno s hodnotou $0,5 \text{ ng/m}^3$). Tyto hodnoty jsou v tabulkách označeny hvězdičkou. Rovněž průměry počítají v takovém případě s polovinou meze detekce.

V rámci této kampaně byly těžké kovy vzorkovány následovně:

- PM_{10} – bylo provedeno celkem sedm 24h odběrů PM_{10} , ve kterých byly analyzovány koncentrace kovů. Těchto sedm dní zahrnovalo 4 dny, během kterých byl odpálen ohňostroj a 3 dny mimo ohňostroj, aby bylo možné posoudit nejen absolutní koncentrace, ale provést rovněž srovnání mezi dny bez a s ohňostrojem (vzorkování probíhalo od 8:00 do 8:00 následujícího dne, proto den s ohňostrojem zahrnuje i období po něm po půlnoci).
- $\text{PM}_{2,5}$ – bylo provedeno celkem 12 odběrů frakce $\text{PM}_{2,5}$ (u které očekáváme vyšší podíl částic z ohňostrojů). Tyto odběry byly provedeny vždy 3 v rámci dne s ohňostrojem a to následovně:
 - před ohňostrojem – tento interval zahrnoval období 18:00-22:00, tedy období před odpálením ohňostroje
 - ohňostroj – tento interval zahrnoval období 22:00-02:00. Ohňostroj byl odpálen ve 22:30, proto toto období zahrnuje období těsně před odpalem, během odpalu a bezprostředně po něm.
 - po ohňostroji – tento interval zahrnoval období 02:00-06:00 – tedy období po ohňostroji, kdy však teoreticky mohly být koncentrace ještě zvýšené při velmi nízkých rychlostech větru a tudíž pomalému šíření kouřové vlečky.

7.2 ARSEN

	Atomové číslo: 33 Hustota: 5,727 g/cm ³ Teplota tání: 614 °C Teplota varu: 817 °C	
---	---	---

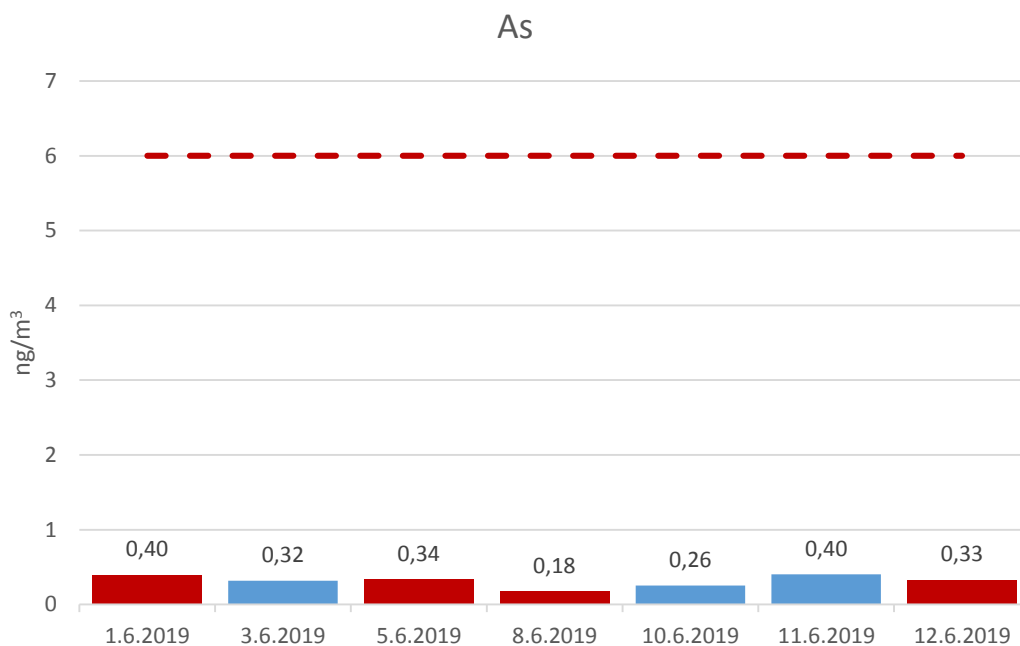
Arsen představuje toxický kov přítomný v řadě organických i anorganických látkách. Přírodní zdroje arsenu jsou vulkanický popel, vymývání hornin nebo mineralizovaná podzemní voda (Keshavarzi, 2011). Pokud se vyskytuje v půdě, dostává se do rostlinných těl a jejich konzumace pak může být velmi nebezpečná (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 As^{3+} jsou asi 60x jedovatější než As^{5+} (Ratnaik, 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/m³ v průměru za kalendářní rok. Hodnoty imisního limitu nejsou v současnosti v Jihomoravském kraji běžně překračovány. V Brně je tento prvek měřen na dvou lokalitách – v Brně-Lišni a na stanici Brno-Masná. Roční průměr v roce 2018 byl 0,8 ng/m³ (Brno-Líšeň) a 0,7 (Brno-Masná). Vyšší koncentrace bývají měřeny v zimním období.

V rámci celé České republiky byla v roce 2018 nejvyšší průměrná roční koncentrace naměřena v lokalitě Kladno-Švermov a to 3,9 ng/m³, tedy stále výrazně méně, než činí hodnota imisního limitu. Druhá nejvyšší hodnota byla 3,4 ng/m³ (Tanvald-školka). V roce 2018 nebyl imisní limit překročen nikde v České republice.

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace arsenu během 24h odběru ve vybrané dny, kdy byly koncentrace těžkých kovů monitorovány. Tyto dny zahrnují jak dny zahrnující odpal ohňostroje (červený sloupec), tak dny bez ohňostroje (modrý sloupec).



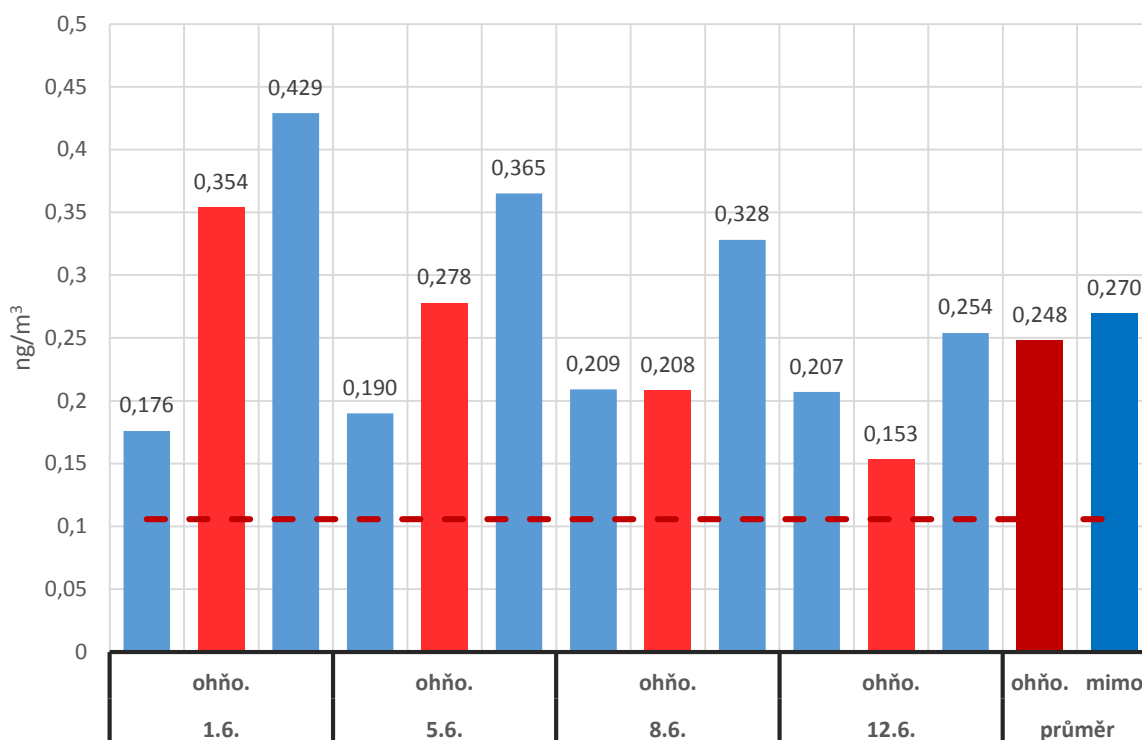
Obrázek 40 – průměrné 24h koncentrace arsenu ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým. Přerušovaná červená čára zobrazuje hodnotu ročního imisního limitu.

Z grafu jsou patrné dvě skutečnosti:

- odpalování ohňostrojů nemá na koncentrace arsenu žádný vliv
- koncentrace se pohybovaly hluboko pod hodnotou ročního imisního limitu (přibližně 5 % hodnoty)

Následující graf pak ukazuje hodnoty naměřené během 4h vzorkování ve dny s ohňostrojem. Červeně jsou zobrazeny intervaly „ohňostroj“ (22:00-02:00). Poslední dva tmavší sloupce jsou pak celkovým průměrem ze všech intervalů „ohňostroj“ a ze všech intervalů „mimo ohňostroj“.

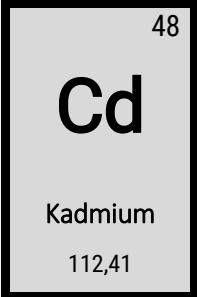

As



Obrázek 41 – koncentrace arsenu v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

Podobně jako v případě 24h odběrů, ani v případě 4h odběrů nebylo zaznamenáno žádné navýšení koncentrací arsenu během odpalování ohňostroje či po něm. To ani není překvapením, jelikož se tento jedovatý prvek v pyrotechnice nepoužívá. Koncentrace se pohybovaly hluboko pod hladinou ročního imisního limitu.

7.3 KADMIUM

	Atomové číslo: 48
	Hustota: 8,65 g/cm ³
	Teplota tání: 321 °C
	Teplota varu: 767 °C
	

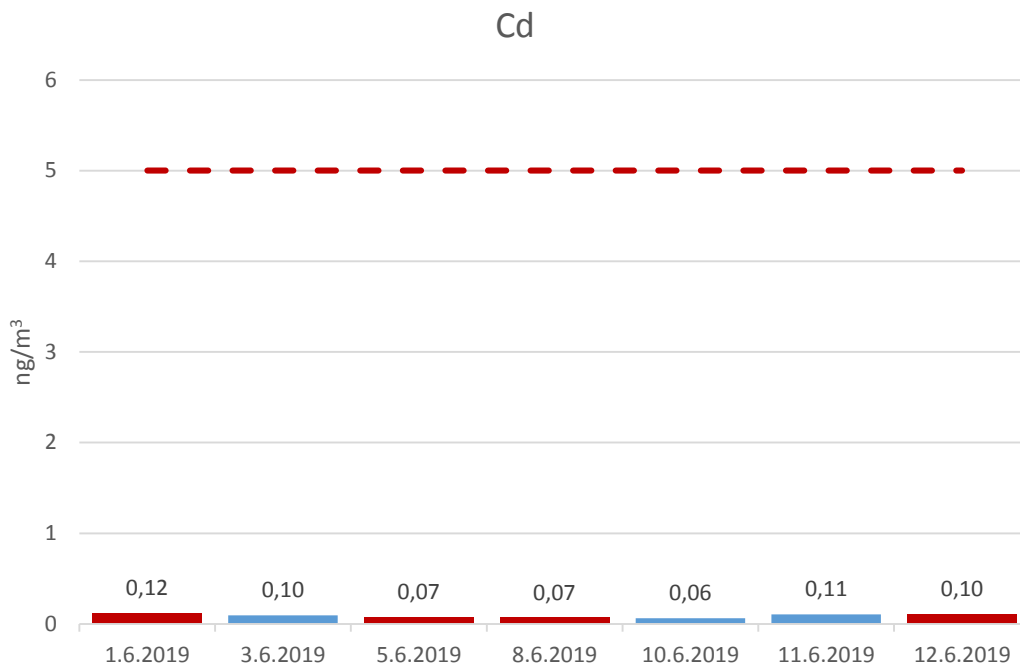
Kadmium je měkký modrobílý kov nepodléhající korozi. Běžně se používá jako součást baterií, pigmentů nebo například při výrobě televizorů (Linden, 1984; Nordberg, 2015). V lidském těle nemá kadmium žádnou známou funkci (Takeuchi, 2011). Jeho inhalace však může být velmi nebezpečná.

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/m³. V Brně jsou koncentrace kadmia sledovány na stanicích Brno-Líšeň a Brno-Masná, průměrné roční koncentrace v roce 2018 zde byly 0,2, respektive 0,2 ng/m³, tedy hluboko pod imisním limitem. Ani v rámci ČR nebyl v roce 2018 imisní limit nikde překročen a s výjimkou stanice Tanvald-školka (3,2 ng/m³) a Ostrava-Radvanice ZÚ (1,0 ng/m³) se koncentrace pohybovaly do 1,0 ng/m³.

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace kadmia během 24h odběru ve vybrané dny, kdy byly koncentrace těžkých kovů monitorovány. Tyto dny zahrnují jak dny zahrnující odpal ohňostroje (červený sloupec), tak dny bez ohňostroje (modrý sloupec).

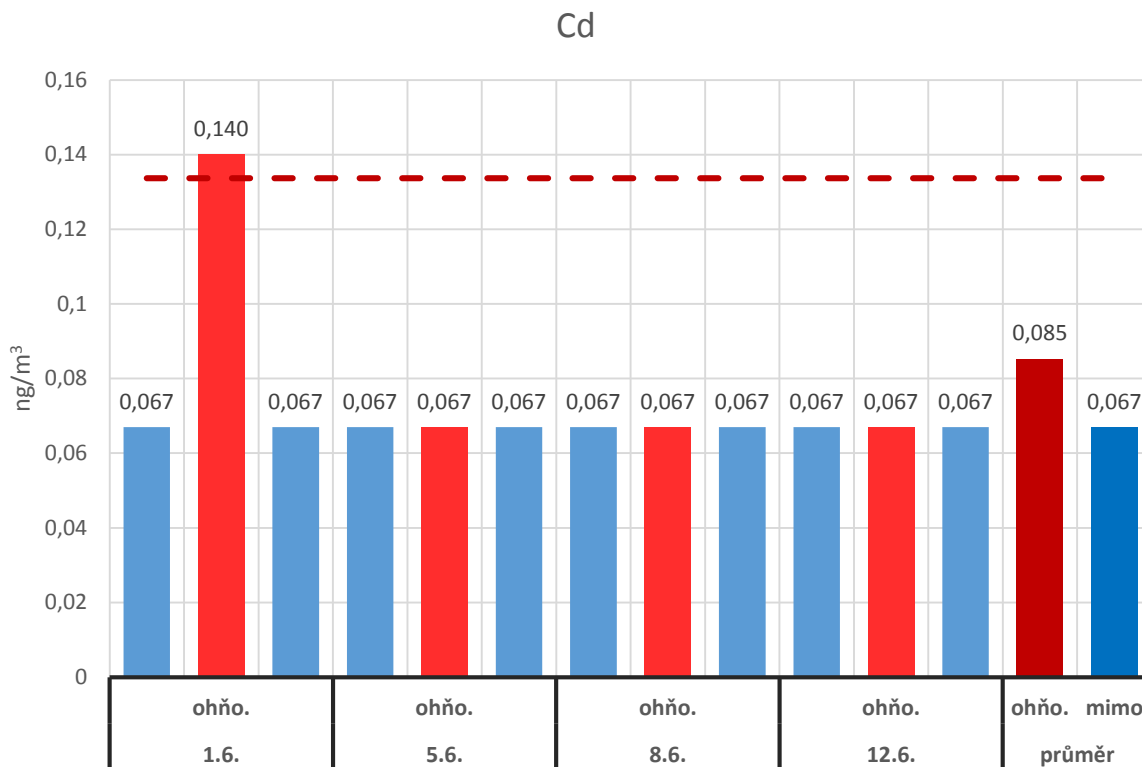


Obrázek 42 - průměrné 24h koncentrace kadmia ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým. Přerušovaná červená čára zobrazuje hodnotu ročního imisního limitu.

Z grafu jsou patrné dvě skutečnosti:

- odpalování ohňostrojů nemá na koncentrace arsenu žádný vliv
- koncentrace se pohybovaly hluboko pod hodnotou ročního imisního limitu (přibližně 2 % hodnoty)

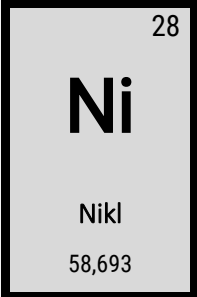
Následující graf pak ukazuje hodnoty naměřené během 4h vzorkování ve dny s ohňostrojem. Červeně jsou zobrazeny intervaly „ohňostroj“ (22:00-02:00). Poslední dva tmavší sloupce jsou pak celkovým průměrem ze všech intervalů „ohňostroj“ a ze všech intervalů „mimo ohňostroj“.




Obrázek 43 - koncentrace kadmia v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

Jak ukazuje graf, koncentrace byly s výjimkou období ohňostroje během prvního ohňostroje pod mezí detekce (a proto byly stanoveny jako polovina meze detekce). V ohňostrojovém intervalu 1. 6. byla koncentrace těsně nad mez detekce a stále velmi nízká. Lze tedy říci, že ohňostrojová přehlídka nemá na koncentrace kadmia v ovzduší žádný vliv a ty jsou velmi nízké (často zcela pod mezí detekce).

7.4 NIKL

	Atomové číslo: 28
	Hustota: 8,908 g/cm ³
	Teplota tání: 1455 °C
	Teplota varu: 2730 °C

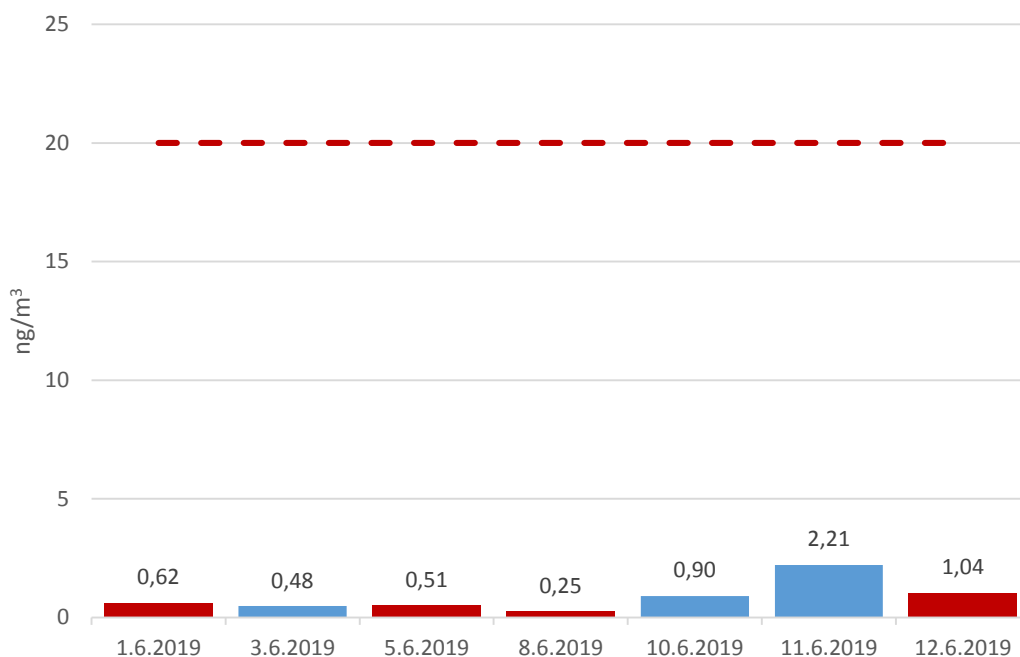


Nikl je stříbrobílý lesklý kov patřící do přechodných kovů, pátý nejhojněji zastoupený prvek na Zemi (po železu, kyslíku, silikonu a hořčíku). Téměř 70 % se používá do nerezové oceli a ocelářský průmysl je jeho největším odběratelem (Reck, 2012). Je odolný vůči korozi, proto se často v jemné vrstvičce 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/m³. V lokalitě Brna jsou koncentrace niklu měřeny na stanici Brno-Líšeň a Brno-Masná. V roce 2018 byly průměrné koncentrace 0,5 ng/m³ (Brno-Líšeň) a 1,5 ng/m³ (Brno-Masná), tedy více než desetinásobně nižší, než kolik činí imisní limit. Nejvyšší koncentrace za rok 2018 v rámci celé České republiky byla 4,0 ng/m³ v lokalitě Ostrava-Mariánské Hory. Vysoké koncentrace niklu tedy v České republice nejsou zaznamenávány.

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace niklu během 24h odběru ve vybrané dny, kdy byly koncentrace těžkých kovů monitorovány. Tyto dny zahrnují jak dny zahrnující odpal ohňostroje (červený sloupec), tak dny bez ohňostroje (modrý sloupec).

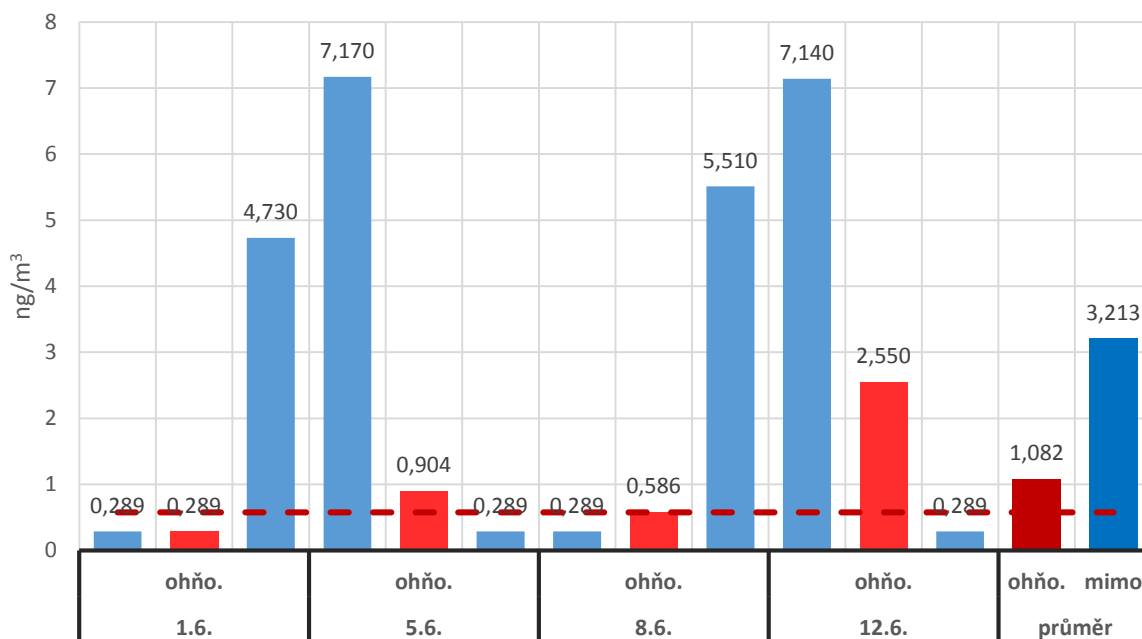


Obrázek 44 - průměrné 24h koncentrace niklu ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým. Přerušená červená čára zobrazuje hodnotu ročního imisního limitu.

Jak ukazuje výše uvedený graf, nemají ohňostroje na koncentrace kadmia ve 24h intervalu žádný vliv. Stejně tak je vidět, že jsou koncentrace hluboko pod imisními limitem, v souladu s hodnotami běžnými po zbytek roku v České republice.

Následující graf pak ukazuje hodnoty naměřené během 4h vzorkování ve dny s ohňostrojem. Červeně jsou zobrazeny intervaly „ohňostroj“ (22:00-02:00). Poslední dva tmavší sloupce jsou pak celkovým průměrem ze všech intervalů „ohňostroj“ a ze všech intervalů „mimo ohňostroj“.

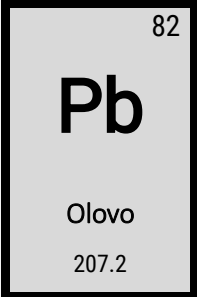

Ni



Obrázek 45 koncentrace niklu v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

Graf hodnot koncentrací niklu během 4h intervalu ukazuje, že na koncentrace niklu nemělo odpalování ohňostrojů žádný vliv. Maximální naměřená hodnota ze všech intervalů byla 7,17 ng/m³. V přesně polovině případů byla koncentrace niklu pod mezí detekce.

7.5 OLOVO

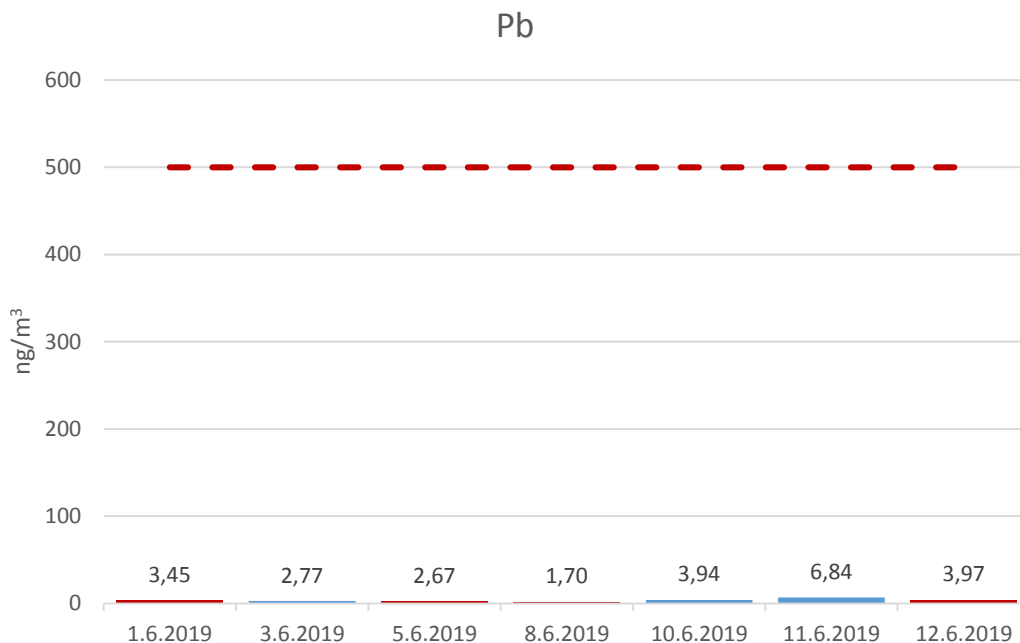
	Atomové číslo:	82
	Hustota:	11,34 g/cm ³
	Teplota tání:	327,5 °C
	Teplota varu:	1749 °C
		

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/m³ (0,5 µg/m³). Na stanici Brno-Líšeň byla v roce 2018 naměřena průměrná koncentrace pouhých 6 ng/m³, na stanici Brno-Masná 7 ng/m³, tedy jedna setina imisního limitu. V České republice pak byla nejvyšší průměrná koncentrace za rok 2018 naměřena v lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ (47 ng/m³). V dnešní době tak lze říct, že jsou koncentrace olova o řád nebo dva nižší, než je imisní limit.

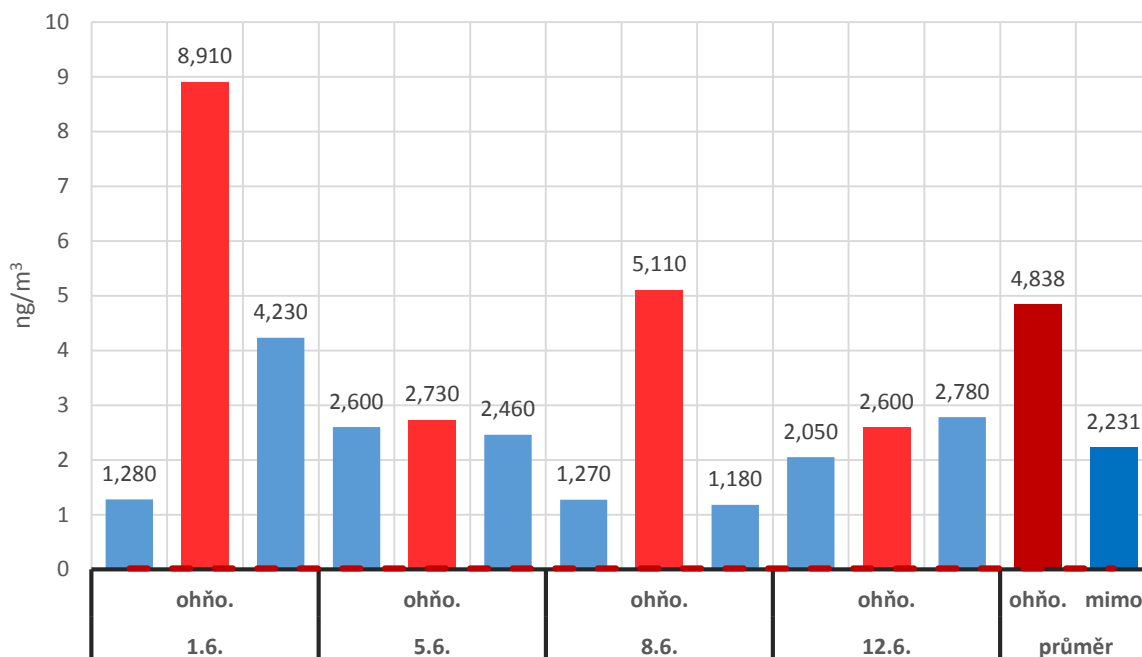
Na rozdíl od předchozích těžkých kovů s imisním limitem, je olovo prvkem, který se používá při odpalování ohňostrojí. Následující graf ukazuje průměrné koncentrace olova během 24h odběru ve vybrané dny, kdy byly koncentrace těžkých kovů monitorovány. Tyto dny zahrnují jak dny zahrnující odpal ohňostroje (červený sloupec), tak dny bez ohňostroje (modrý sloupec).



Obrázek 46 - průměrné 24h koncentrace olova ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým. Přerušovaná červená čára zobrazuje hodnotu ročního imisního limitu.

Jak ukazuje graf, na 24h koncentracích se odpalování ohňostroje nijak nepodepsalo. Koncentrace jsou o více než dva řády nižší, než je hodnota ročního imisního limitu. Případný krátkodobý nárůst by zde však vidět nebyl, pokud by nebyl příliš výrazný. O tomto lépe vypovídá následující graf zkonstruovaný z hodnot z jednotlivých 4h intervalů.

Pb



Obrázek 47 - koncentrace olova v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

Na výše uvedeném grafu již vliv ohňostrojů patrný je a to hlavně ve dnech 1. 6. a 8. 6. – tedy ve dnech, kdy vzhledem ke směru větru lze očekávat potenciální vliv odpalování ohňostrojů. V obou případech došlo k viditelnému nárůstu koncentrací a celkový průměr za všechny 4 ohňostroje je v tomto období přibližně dvojnásobný ve srovnání s průměrem pro období mimo ohňostroje.

Na druhou stranu je však nutné opět zmínit, že hodnota imisního limitu pro roční průměr je 500 ng/m^3 , zatímco nejvyšší naměřená hodnota ze všech 4 intervalů nedosahovala ani 10 ng/m^3 .

7.6 SHRnutí


Z naměřených dat vyplývá, že v důsledku odpalování ohňostrojů v rámci ohňostrojové přehlídky Ignis Brunensis 2019 nedošlo k žádnému překročení hodnoty ročního imisního limitu pro těžké kovy (arsen, kadmium, nikl a olovo – těžko kovy s platným imisním limitem podle Zákonu o ochraně ovzduší).


U všech těchto legislativou sledovaných těžkých kovů byly ve všech případech koncentrace hluboko pod hodnotou imisního limitu. Jediný z těchto čtyř kovů, na jehož koncentrace mělo vliv odpalování ohňostrojů, bylo olovo. I zde však se koncentrace v naměřeném 4h maximu pohybovaly o dva řády níže, než je hodnota limitu.

7.7 DALŠÍ KOVY

Během odpalování ohňostrojů se vzhledem k prvkům používaným v pyrotechnických složích dostávají do ovzduší i další kovy, které se běžně v ovzduší nevyskytují, nebo vyskytují ve velmi malých množstvích. Za tímto účelem byla provedena analýza koncentrací i dalších kovů a to opět jak ve 24h intervalu, tak ve 4h intervalech v době konání ohňostrojů a mimo něj pro srovnání.

7.7.1 DRASLÍK

	Atomové číslo: 19
	Hustota: 0,862 g/cm ³
	Teplota tání: 63,5 °C
	Teplota varu: 759 °C

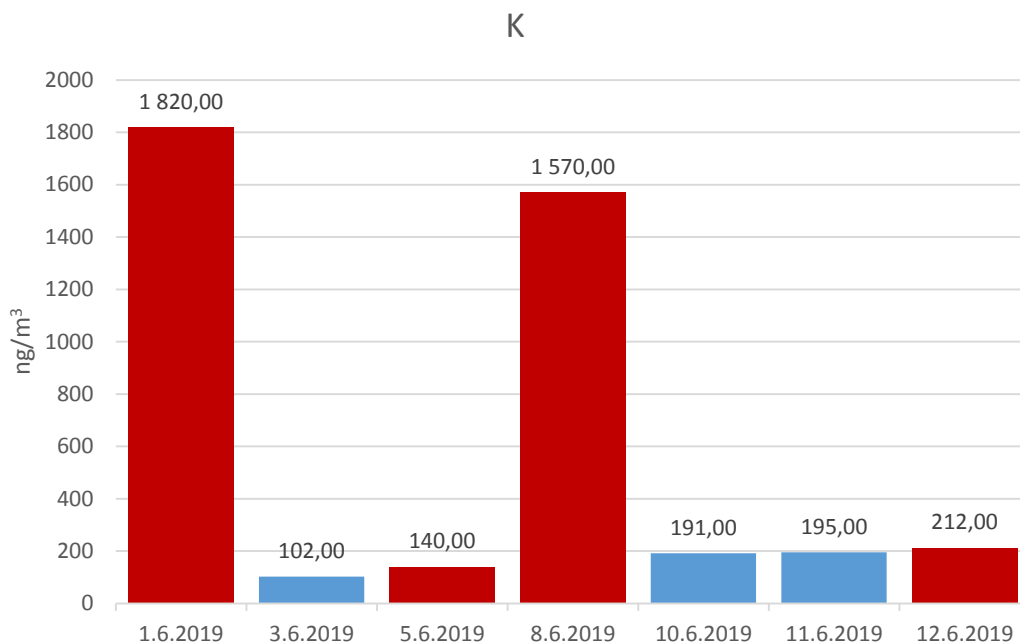


Draslík je lesklý, stříbřitě bílý a velmi měkký kov, který řadíme mezi alkalické kovy. V přírodě se volný draslík nevyskytuje a je vždy vázaný ve sloučeninách jako jednomocný kation K^+ . Jedná se o esenciální prvek pro lidské tělo. Podílí se na přenosu nervových vzruchů a regulaci vody v buňkách. Má ale vliv i na svalovou činnost.

Draslík v ovzduší může mít pozitivní vliv, jelikož zvyšuje alkalitu a tím tlumí a neutralizuje účinky kyselého prostředí vyvolávaného sírou a dusíkem, často v důsledku například kyselých dešťů. Uvádí se, že největším zdrojem draslíku v ovzduší jsou právě ohňostroje (Wang, 2007), z dalších zdrojů můžeme jmenovat lokální topeniště nebo ocelárny. Vždy však záleží, v jaké sloučenině se draslík v ovzduší nachází, podle toho pak můžeme usuzovat na jeho potenciální účinky na lidské zdraví.

Stejně jako v případě studie Do (Do, 2012) byl v případě draslíku naměřen vysoký relativní nárůst koncentrací v periodě během konání ohňostrojů. Jedná se o prvek zastoupený ve střelném prachu, proto se vyskytuje v podstatě ve všech pyrotechnických složích, spolu se sírou.

Následující graf ukazuje, jak se projevilo odpalování ohňostroje na 24h koncentrace tohoto kovu.

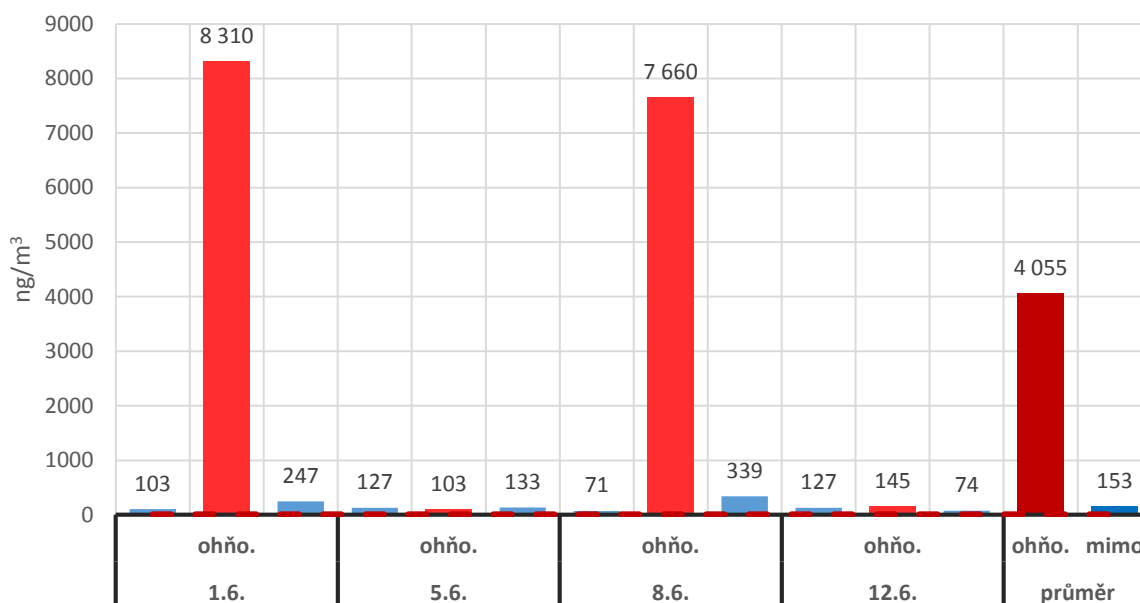


Obrázek 48 - průměrné 24h koncentrace draslíku ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.

Již z tohoto grafu je patrné, jak výrazně se odpalování ohňostrojů na koncentracích i ve 24h intervalu. Zaměřit se musíme především na dny 1. 6. a 8. 6., kdy během ohňostroje foukalo ve směru vzorkovače. V obou dnech vidíme velmi vysoké hodnoty, například 1. 6. byla průměrná 24h koncentrace více než 18x vyšší, než v následující den bez ohňostroje.

Následující graf pak ukazuje, jak se koncentrace pohybovaly v krátkodobém 4h hledisku.


K




Obrázek 49 - koncentrace draslíku v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

Na krátkodobém grafu vidíme ještě výraznější rozdíl, zároveň je dobře vidět, že se jednalo o velmi krátkodobý nárůst. Těsně před, ale i necelé 4 h po ohňostroji již byly koncentrace téměř 40násobně nižší. Podobné výsledky byly zaznamenány i v rámci měření v loňském roce, je tedy jisté, že toto navýšení je plně dáno odpalováním pyrotechniky. Zároveň z těchto výsledků dobře vidíme, že během ohňostroje 5. 6. a 12. 6. foukalo zcela odlišným směrem a kouřová vlečka od výbuchů se pohybovala v jiném směru. Na datech není vidět ani sebemenší náznak zvýšení koncentrací K během těchto ohňostrojů. Maximální naměřená koncentrace byla 8310 ng/m³ a to během 4h intervalu během prvního ohňostroje 1. 6.

7.7.2 Hořčík

	Atomové číslo: 12
	Hustota: 1,738 g/cm ³
	Teplota tání: 650 °C
	Teplota varu: 1091 °C

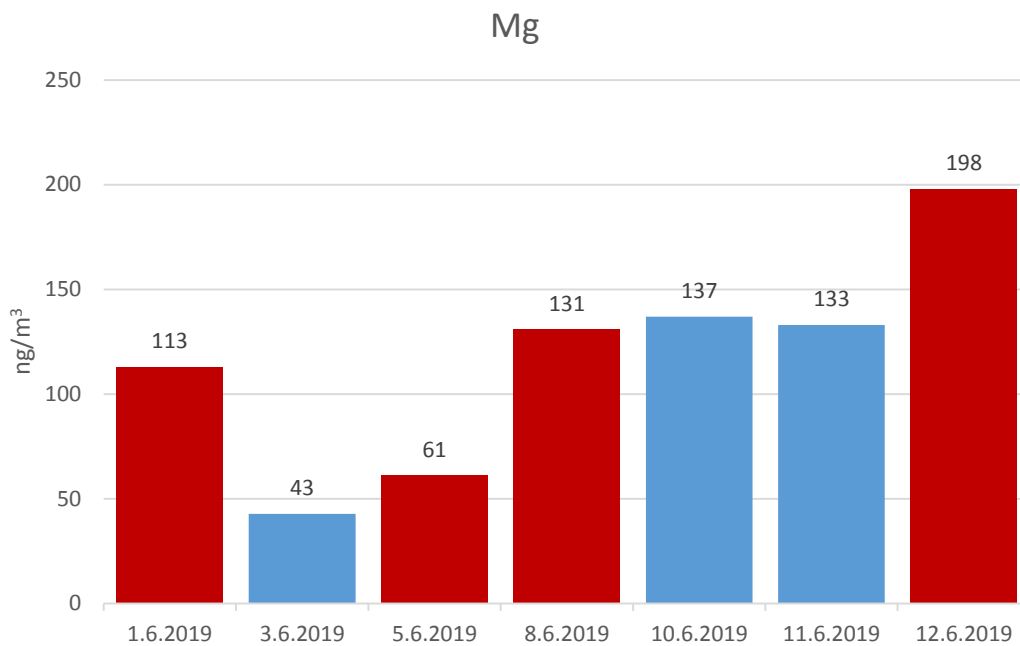


Hořčík je středně tvrdý a lehký kov, který za normální teploty reaguje s kyslíkem a s vodou. Svými vlastnostmi je podobný hliníku a právě sloučeniny hořčíku s hliníkem mají velmi rozmanitá využití pro svoji pevnost, nízkou hmotnost například v automobilovém, leteckém nebo vojenském průmyslu.

Jemný prášek hořčíku je relativně reaktivní. V přírodě se vždy vyskytuje ve sloučeninách, například ve formě magnezitu, dolomitu nebo jiných minerálů.

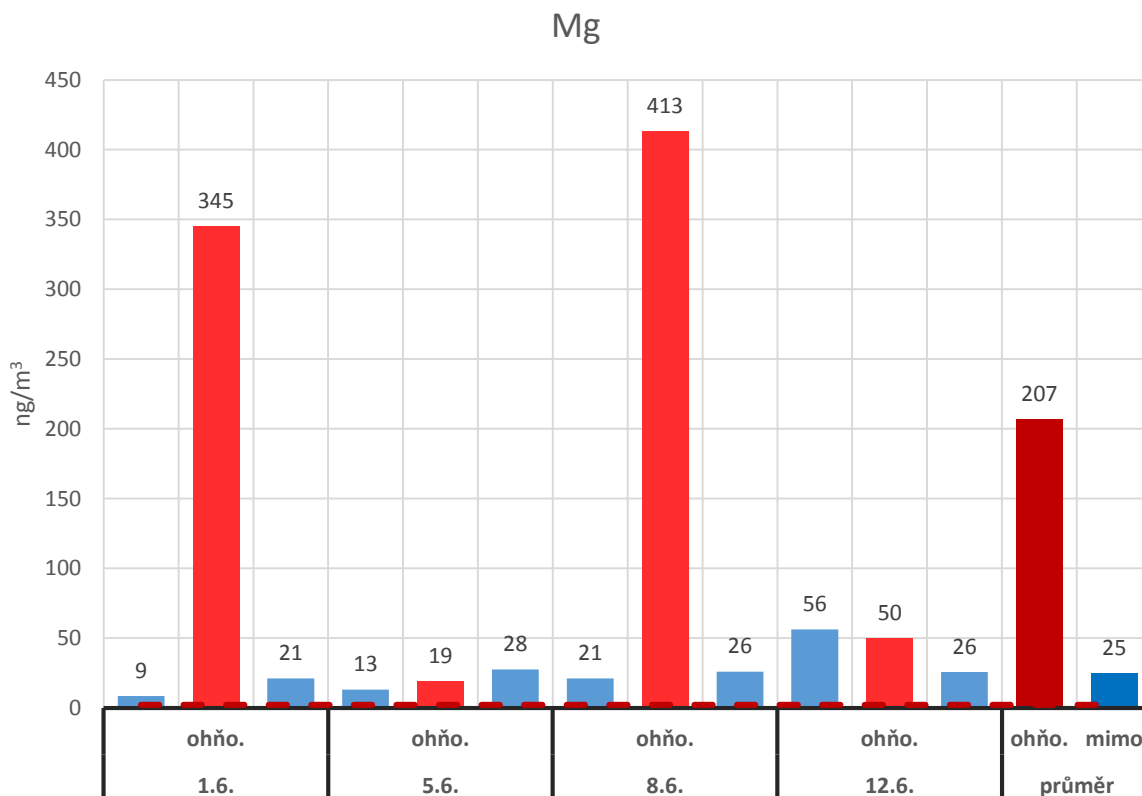
Podobně jako v případě draslíku napomáhají ionty hořčíku neutralizovat kyselé prostředí, zvyšují pH a přispívají tak k mírnění nežádoucích projevů vysoké kyselosti prostředí. Podle britské National Atmospheric Emissions Inventory byl nejvýznamnějším zdrojem hořčíku v ovzduší ve Spojeném království v roce 2016 stavební průmysl (24 %) a právě ohňostroje (18 %) (http://naei.beis.gov.uk/overview/pollutants?pollutant_id=117).

Hořčík bývá součástí některých pyrotechnických složí (viz kapitola o složení pyrotechnických složí). Na grafu dat o 24h koncentracích není vliv odpalování ohňostrojů patrný, jak ukazuje následující graf.



Obrázek 50 - průměrné 24h koncentrace hořčiku ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.


Jak však ukazuje graf dat ze 4h vzorkování, je zde již vliv velmi patrný – a to opět během dvou ohňostrojů 1. 6. a 8. 6., kdy foukalo směrem ke vzorkovačům od odpalovací rampy.




Obrázek 51 - koncentrace hořčíku v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

Z grafu 4h koncentrací je vidět u prvního ohňostroje nárůst přibližně 35násobný, u třetího 20násobný. Maximální naměřená koncentrace během 4h intervalu byla 413 ng/m³ a to během ohňostroje 8. 6.

7.7.3 STRONCIUM

	Atomové číslo: 38
	Hustota: 2,64 g/cm ³
	Teplota tání: 777 °C
	Teplota varu: 1377 °C

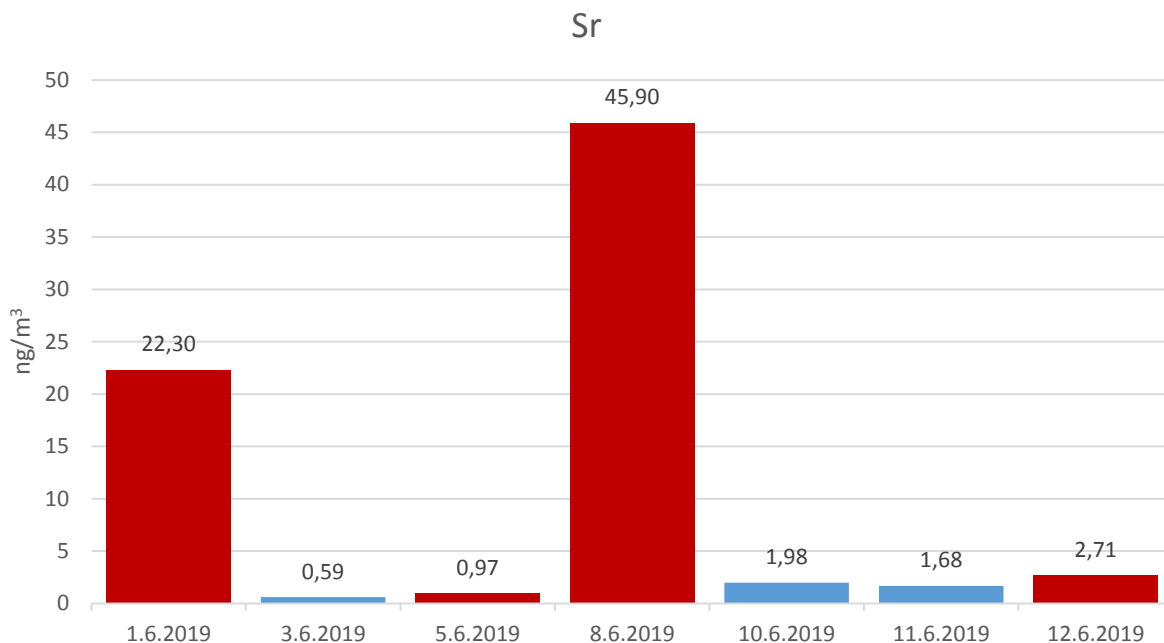


Stroncium představuje velmi reaktivní měkký stříbřitý kov. Na vzduchu oxiduje a na povrchu se tvoří tmavá vrstva oxidu. Fyzikální a chemické vlastnosti jsou blízké vápníku a baryu. V přírodě se nejčastěji vyskytuje v minerálech celestin a stroncianit.

Tento vysoce reaktivní kov prudce reaguje se vzduchem i vodou. Na vzduchu hoří jasně červeným plamenem, při reakci s vodou je vylučován vodík a hydroxid stroncia (silně dráždivá látka). Jeden z izotopů stroncia, ⁹⁰Sr, je radioaktivní a tedy potenciálně velmi nebezpečný. Jeho koncentrace můžou být zvýšené například během jaderných nehod či při použití jaderných zbraní (Steinhauser, 2013). Níže uvedené koncentrace se však týkají izotopu ⁸⁸Sr, tedy izotopu neradioaktivního.

Stroncium je hojně využívaným kovem při odpalování ohňostrojů a používá se k dosažení červeně zbarvených efektů. Jedná se tedy o jeden z typických „ohňostrojových markerů“ v ovzduší (Licudine, 2012).

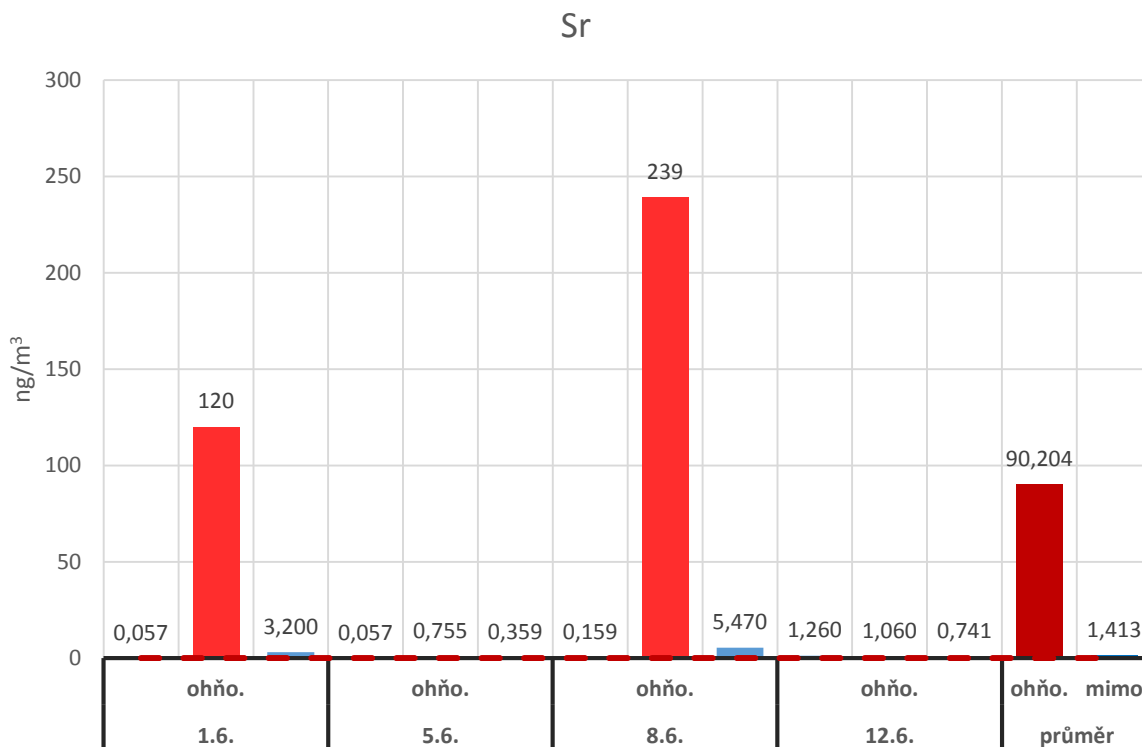
Předpoklad zvýšených koncentrací stroncia v intervalu konání ohňostroje se potvrdil. Tento prvek je v pyrotechnických složích hojně využíván. Na grafu 24h koncentrací stroncia ve vybrané dny jasně vyčnívají dny 1. 6. a 8. 6., tedy dny s odpalem ohňostroje a posunem kouřové vlečky směrem ke vzorkovačům.



Obrázek 52 - průměrné 24h koncentrace stroncia ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.

Z grafu je patrný relativně velký rozdíl i mezi koncentrací 1. 6. a 8. 6. To však může být dáno konkrétním charakterem ohňostroje. Stroncium barví plamen intenzivně červeně, proto ohňostroje s vyšším podílem červené barvy budou mít vyšší množství odpálené pyrotechniky obsahující stroncium.

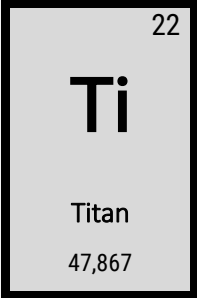

Na následujícím grafu je pak vidět, jak to vypadalo s koncentracemi stroncia v jednotlivé čtyřhodinové intervaly. Opět lze velmi dobře pozorovat rozdíl mezi ohňostrojem 1. 6. a 8. 6., kdy v intervalu ohňostroj došlo k velmi významnému nárůstu.



Obrázek 53 - koncentrace stroncia v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

V průměru se koncentrace stroncia zvýšila během ohňostrojů přibližně 60x, pokud bychom však počítali průměr pouze z ohňostrojů, kdy opravdu foukalo směrem ke vzorkovači, byl by nárůst přibližně 120násobný.

7.7.4 TITAN

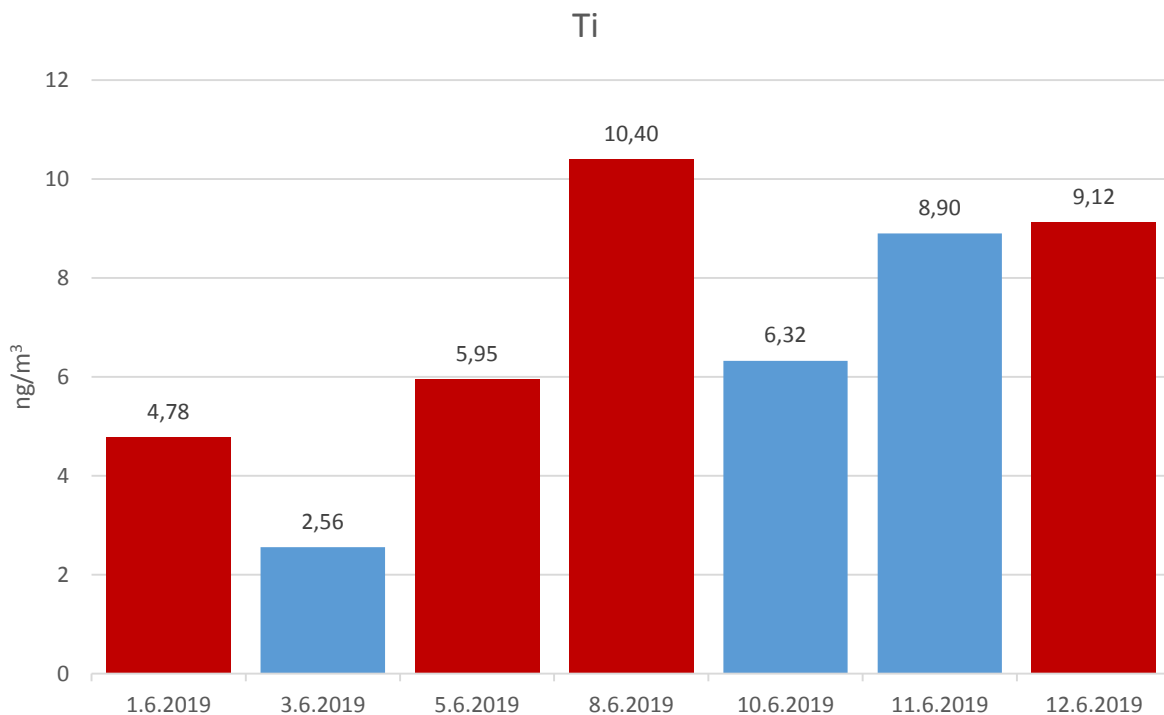
	Atomové číslo: 22 Hustota: 4,506 g/cm ³ Teplota tání: 1668 °C Teplota varu: 3287 °C	
---	---	---

Titan je nízkohustotní, stříbrný a velmi pevný kov rezistentní proti korozi. Patří mezi neušlechtilé kovy a tvoří hojně komplexní sloučeniny, kde se nejčastěji vyskytuje jako čtyřmocný.

V přírodě se vyskytuje v půdách téměř výhradně ve formě minerálů (např. osbornit) (Czyrska-Filemonowicz, 2005). Nejčastěji se využívá jako přísada do slitin, což těmto slitinám dává některé žádoucí vlastnosti (chemická odolnost, nízká hmotnost).

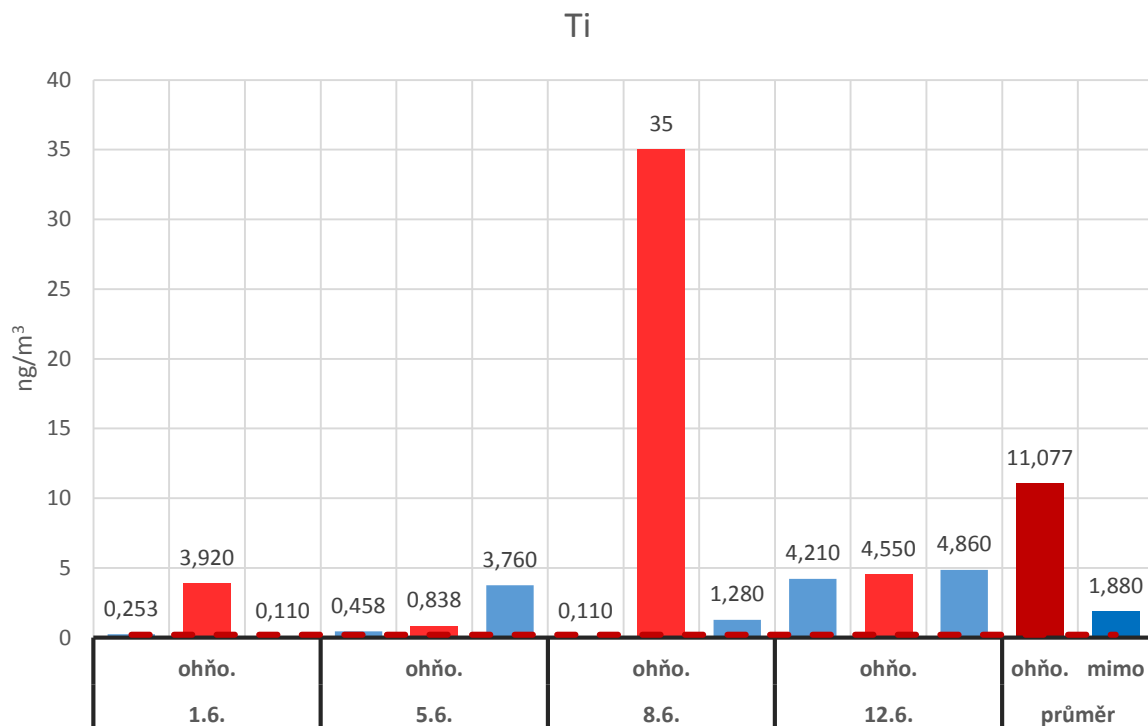
Pyrotechnické efekty titan často využívají pro dosažení jasných a bílých zářivých efektů (Woodford, 2003). Jedná se tedy opět o jeden z prvků, o kterém lze předpokládat, že jeho koncentrace budou v průběhu ohňostrojů vyšší.

Z grafu 24h koncentrací není nárůst během ohňostrojů tak patrný, ačkoliv během ohňostroje 8.6. byla denní průměrná koncentrace nejvyšší. Příčinu tohoto lze pravděpodobně hledat ve faktu, že nárůst byl velmi krátký a tudíž se v denním průměru ztratil.



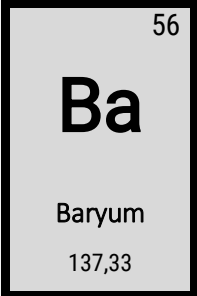
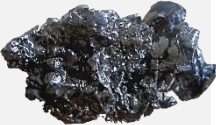
Obrázek 54 - průměrné 24h koncentrace titanu ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.

Situace u 4h koncentrací ve dny s ohňostrojem však už vypadá jinak. Zde je patrný nárůst zejména u třetího ohňostroje 8. 6., v menší míře pak i 1. 6. a 12. 6. Celkový ohňostrojevý průměr je asi 5x vyšší než v intervalech před a po ohňostroji.



Obrázek 55 - koncentrace titanu v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

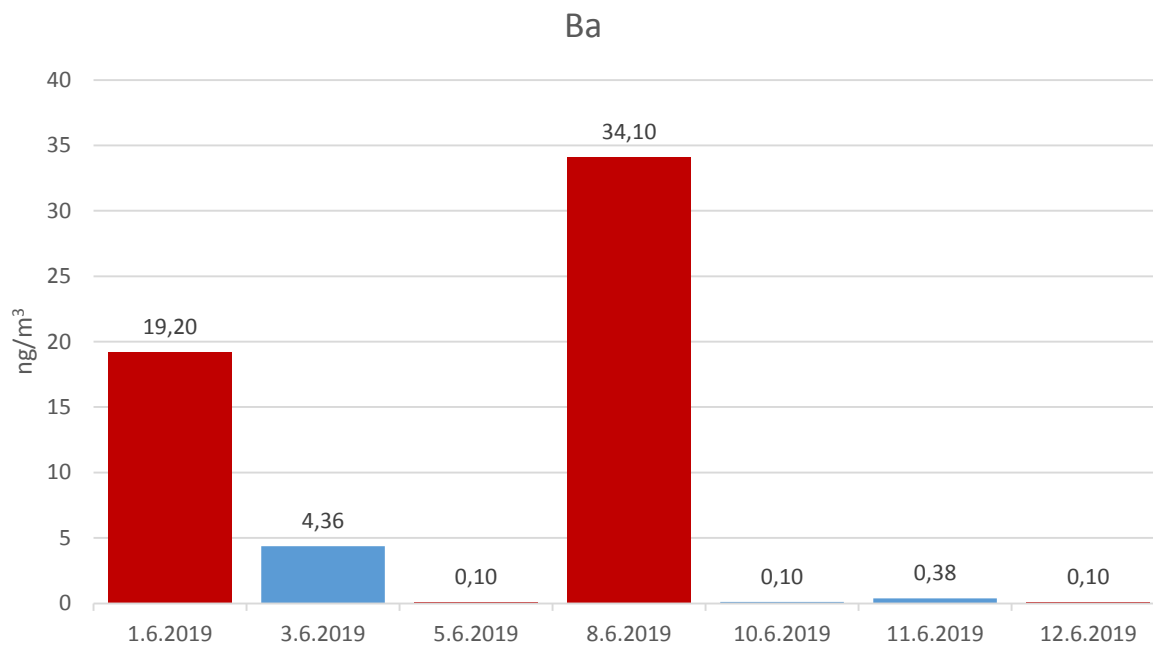
7.7.5 BARYUM

	Atomové číslo: 56 Hustota: 3,51 g/cm ³ Teplota tání: 727 °C Teplota varu: 1845 °C	
---	---	---

Šedobílé, lesklé baryum je měkký kov, značně reaktivní, který se v elementární podobě v přírodě nevyskytuje – pouze ve sloučeninách ve formě Ba²⁺. Nejznámějším minerálem je baryt (BaSO₄) V přírodě se slučuje s prvky jako síra nebo uhlík a kyslík.

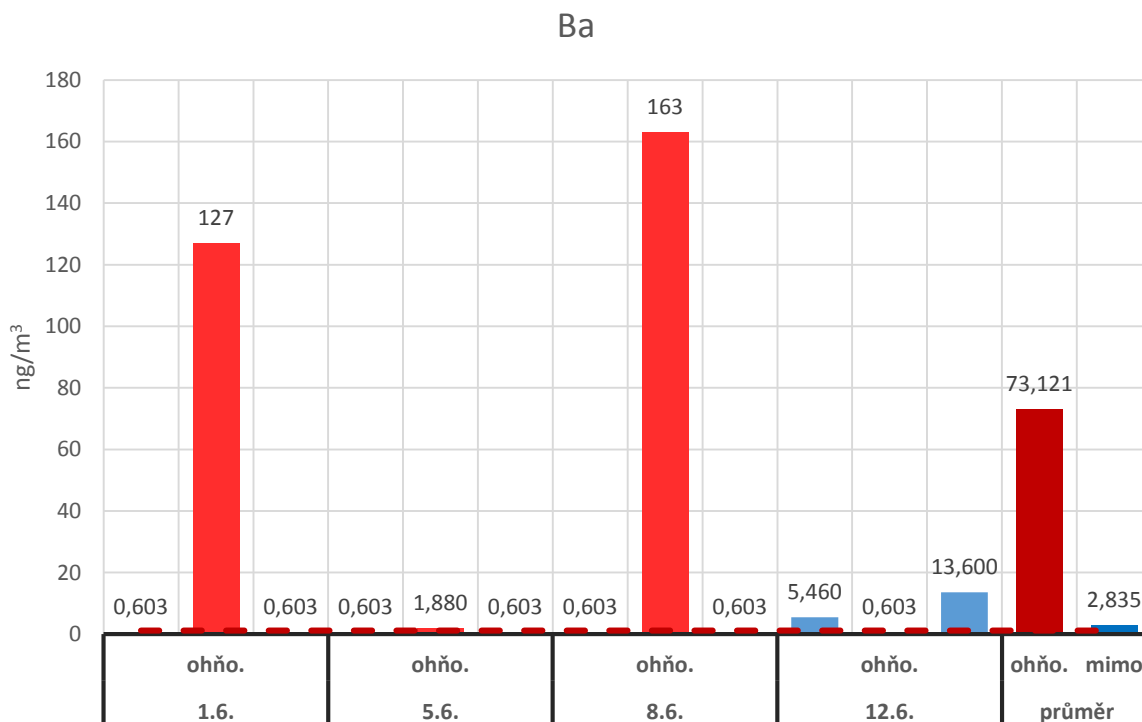
V pyrotechnice se využívá pro vytváření zeleně zbarvených efektů (barví plamen zeleně). Dalo se tedy předpokládat, že budou koncentrace tohoto kovu, které jsou za normálních okolností velmi nízké, zvýšené. Steinhauser (Steinhauser, 2008b) ve své studii naměřil 11násobné zvýšení koncentrací barya při ohňostroji.

Baryum barví plamen do zelena a v pyrotechnice se používá velmi hojně. To se konce konců projevilo i během tohoto měření. Ve dny s ohňostrojem a směrem větru ke vzorkovačům byly koncentrace barya řádově vyšší. Vidět je to jak na grafu 24h koncentrací, tak ještě více na grafu 4h koncentrací.



Obrázek 56 - průměrné 24h koncentrace barya ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.

Zatímco v některé dny byla průměrná 24h koncentrace barya pod mezí detekce $0,2 \text{ ng/m}^3$, 8. 6. byl denní průměr $34,1 \text{ ng/m}^3$. Během prvního ohňostroje 1. 6. činil denní průměr $19,2 \text{ ng/m}^3$. Jak ukazuje následující graf, nárůst byl ve 4h intervalu více než stonásobný.



Obrázek 57 - koncentrace barya v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

Maximální pozorovaný 4h průměr byl 163 ng/m³. Ve 4h interval před tímto i ve 4h intervalu po tomto intervalu s maximem však již byly koncentrace opět pod mezí detekce (v tomto případě byla mez detekce 1,21 ng/m³). Jednalo se tedy o velmi krátkodobý výrazný nárůst.

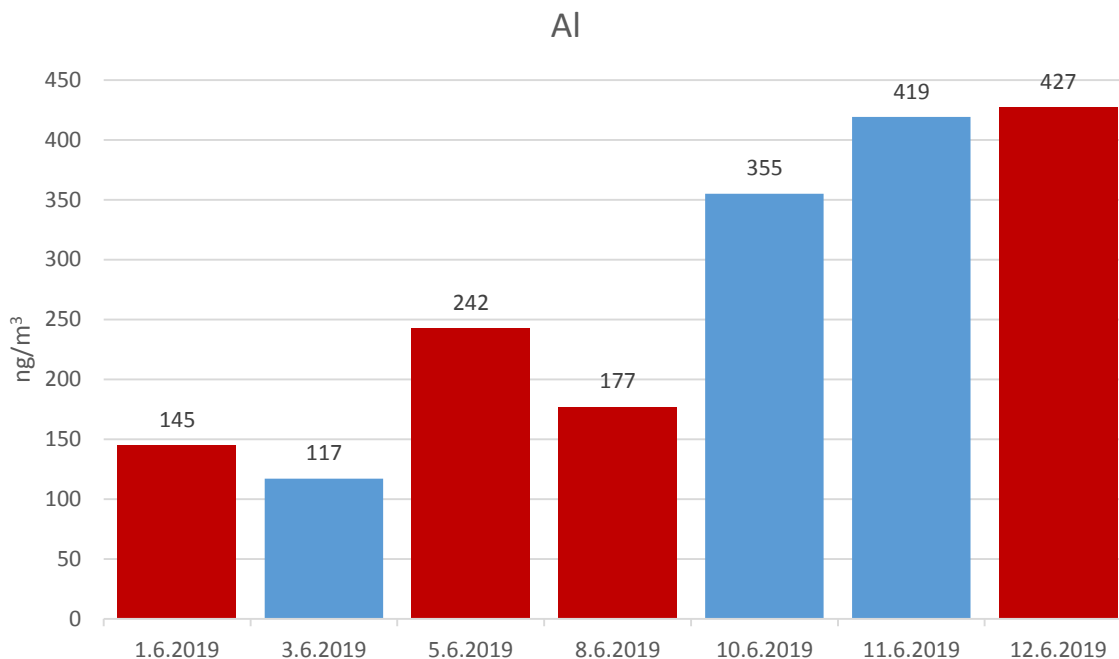
7.7.6 HLINÍK

	Atomové číslo: 13 Hustota: 2,70 g/cm ³ Teplota tání: 660,3 °C Teplota varu: 2470 °C	
---	---	---

Hliník, stříbřitě-bílý měkký kov je velmi reaktivní a v přírodě se vyskytuje ve sloučeninách, často s kyslíkem, křemíkem či fluorem. Je třetím nejzastoupenějším prvkem v zemské kůře (cca 8 %). Z významných minerálů obsahujících vápník lze jmenovat bauxit a kryolit. Používá se například k výrobě plechovek, folií, nádobí, v leteckém průmyslu a často se používají jeho sloučeniny, které kombinují žádané vlastnosti vícero kovů dohromady.

Do ovzduší se hliník dostává například prostřednictvím některých průmyslových procesů (Dolara, 2014), ale také půdní erozí. Hliníkový prášek je jedním z nejčastěji používaných paliv v pyrotechnice. Jemnější prášek se používá pro dosažení zábleskových efektů, hrubší prášek pro vytváření jiskřivých efektů.

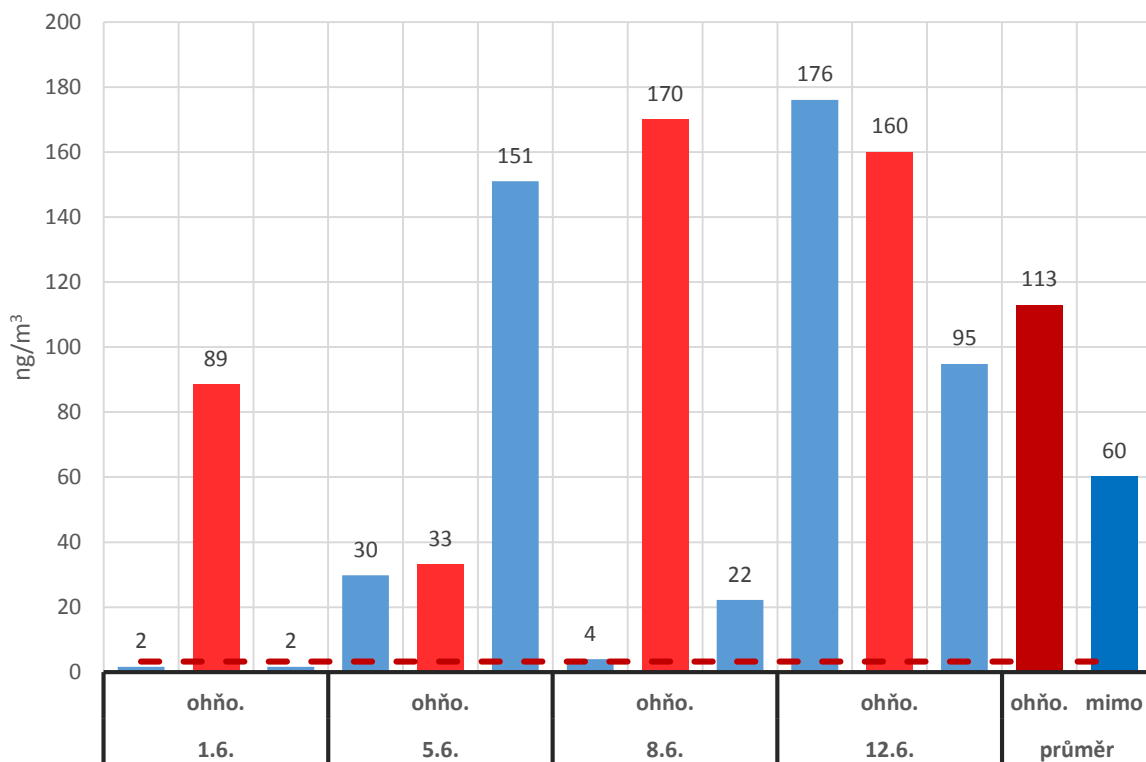
Hliník je prvkem, který se v pyrotechnice využívá, zároveň je však prvkem s velmi hojnými přirozenými zdroji. Graf 24h koncentrací nepotvrdil nárůst koncentrace ve dnech s odpalováním ohňostrojů.



Obrázek 58 - průměrné 24h koncentrace hliníku ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.


U koncentrací ze 4h intervalů je velmi složitý trend. Během prvního ohňostroje 1. 6. došlo k výraznému navýšení během ohňostroje. U druhého ohňostroje se nárůst projevil až v intervalu po ohňostroji. 8. 6. kopíroval trend ten z prvního ohňostroje a poslední den s ohňostrojem byly koncentrace nejvyšší už před samotným odpalem.


Al



Obrázek 59 - koncentrace barya v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

7.7.7 MANGAN

	Atomové číslo: 25
	Hustota: 7,21 g/cm ³
	Teplota tání: 1246 °C
	Teplota varu: 2061 °C

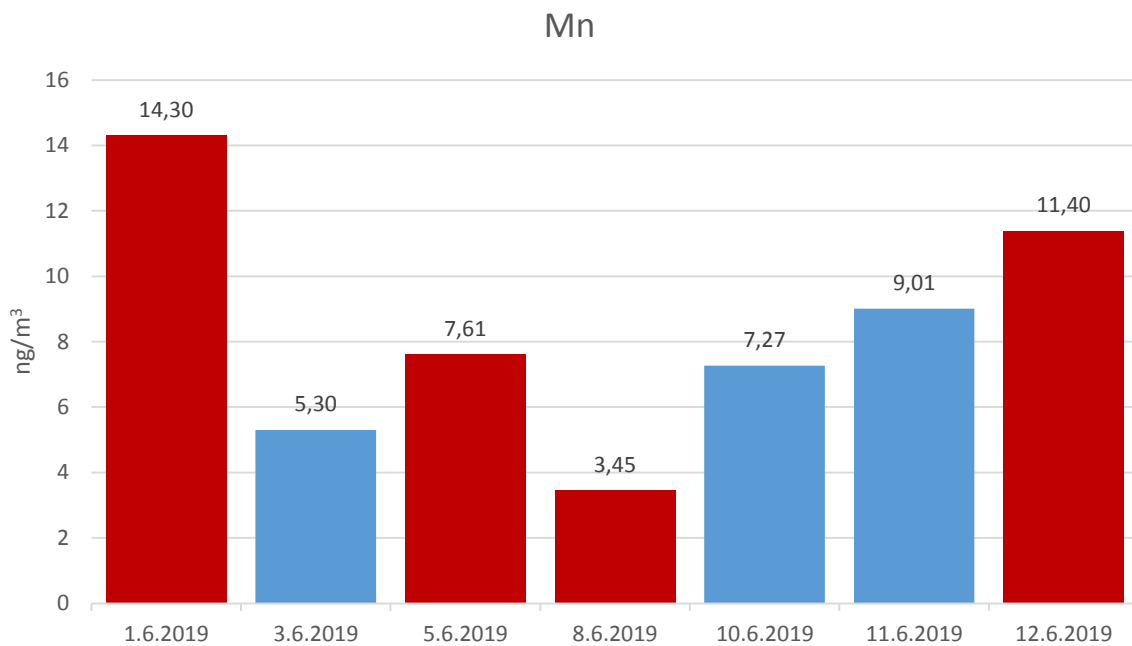


Světle šedý, křehký a tvrdý mangan se v přírodě vyskytuje takřka výhradně spolu s rudami železa. Má významné průmyslové využití jako součást řady slitin, především v nerezové oceli. Dále se používá do různých pigmentů, jako katoda v zinko-uhlíkových článcích, ale jedná se také o důležitý prvek pro lidský organismus, esenciální pro správný vývoj a správnou funkci metabolismu.

Požítí manganu nepředstavuje velké riziko, avšak jeho inhalace ve vysokých koncentracích může být značně toxická a způsobovat různé psychiatrické a pohybové poruchy (Air Quality Guidelines, WHO). Důkazy o jeho karcinogenitě nejsou dostatečné. WHO dále uvádí jako bezpečnou dlouhodobou koncentraci v ovzduší 150 ng/m³.

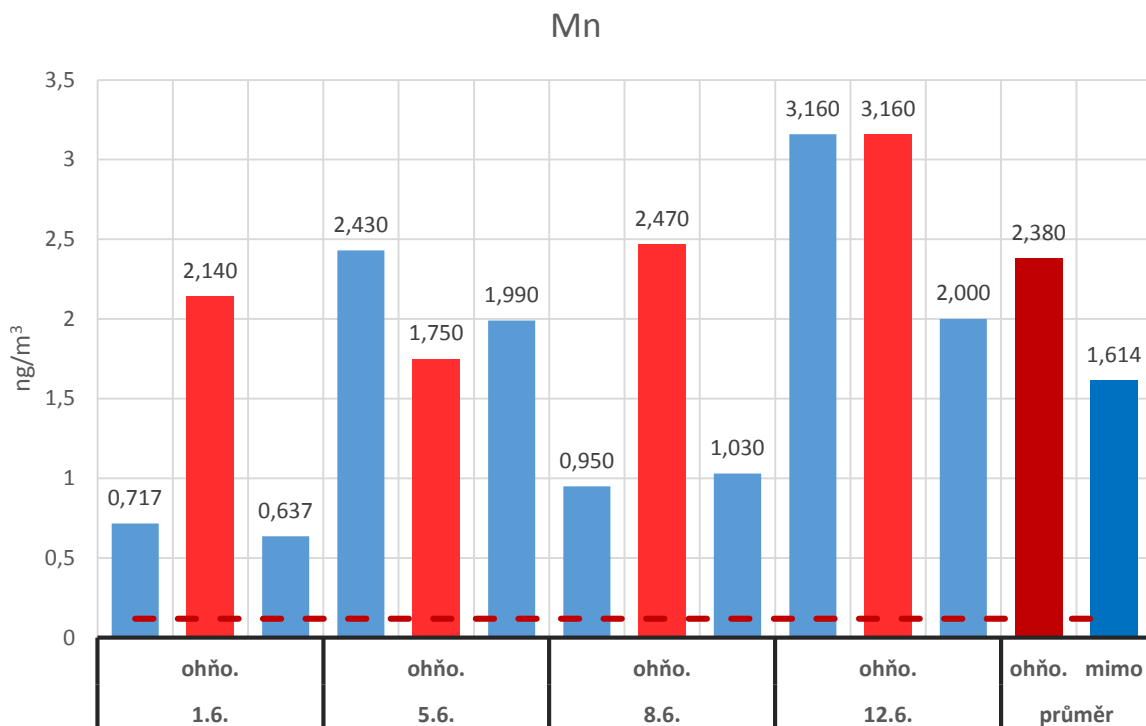
Přestože mangan nepatří k nejpoužívanějším chemickým prvkům v pyrotechnice, některé jeho sloučeniny se používají. Patří sem především oxid manganičitý (MnO₂). Jeho využití během ohňostroje je však velmi individuální a závisí na volbě odpalované pyrotechniky.

Z grafu 24h koncentrací manganu během několika dní je vidět, že nejvyšší byl denní průměr v den konání prvního ohňostroje. Nejnižší pak byl naopak v den konání třetího ohňostroje.



Obrázek 60 - průměrné 24h koncentrace manganu ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.

V případě 4h koncentrací už je lépe vidět, že se pravděpodobně ohňostroje na určitém navýšení podílely – dobře je to vidět u prvního a třetího ohňostroje 1. a 8. 6., kdy foukalo směrem ke vzorkovačům. V obou případech byla koncentrace během ohňostroje přibližně třikrát vyšší, než ve 4h intervalu před a po ohňostroji.



Obrázek 61 - koncentrace manganu v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

7.7.8 RUBIDIUM

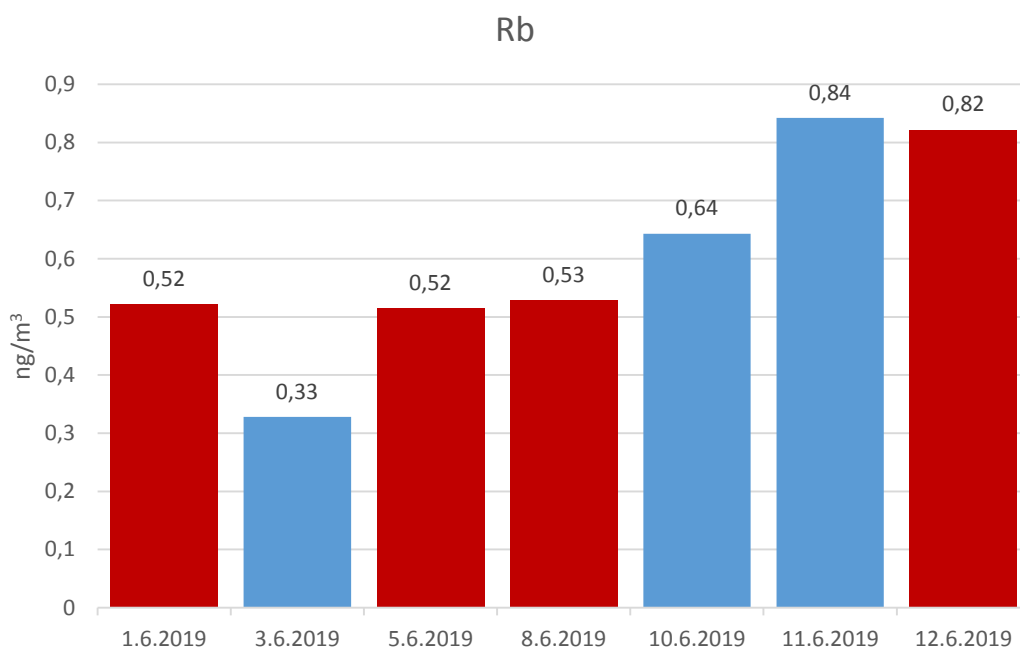
37
Rb
Rubidium
85,468

Atomové číslo:	37
Hustota:	1,532 g/cm ³
Teplota tání:	39,3 °C
Teplota varu:	688 °C



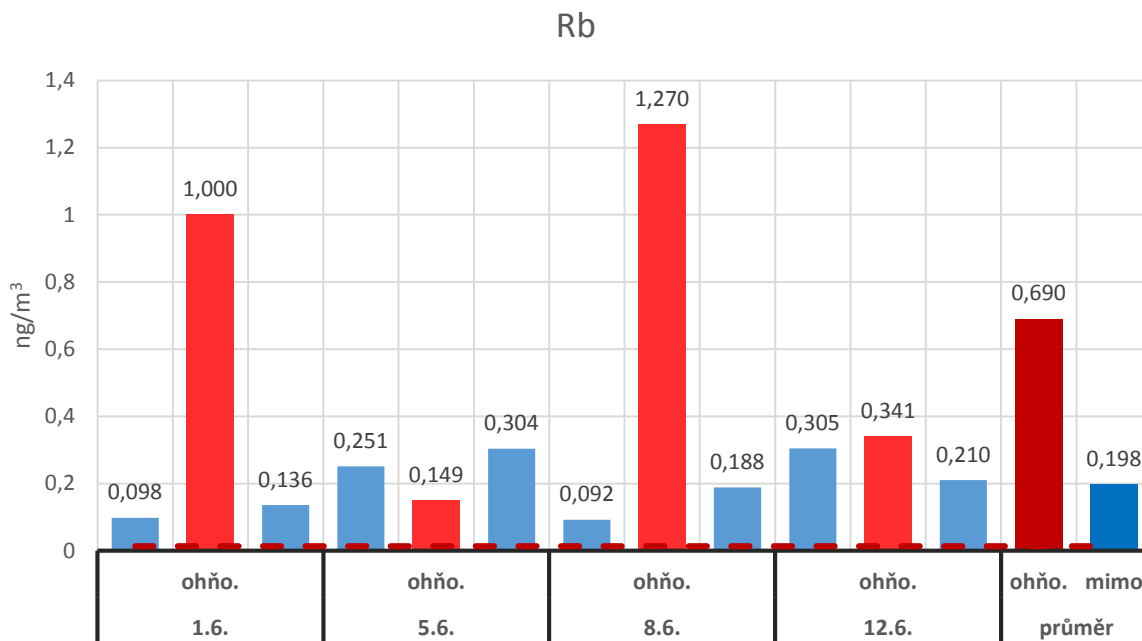
Rubidium je stříbrný, měkký a lehký kov patřící do skupiny alkalických kovů. Jedná se o velmi reaktivní prvek, na vzduchu nestálý (pokrývá se vrstvou hydroxidu). Rubidium má dva přirozeně se vyskytující izotopy – ⁸⁵Rb a radioaktivní ⁸⁷Rb. Ve stopových množstvích se rubidium vyskytuje v minerálech, ale žádný z nich nemá rubidium jako nejvíce zastoupený prvek.

Sloučeniny rubidia hoří jasným fialovým plamenem a bývají proto využívány při ohňostrojích. Na grafu 24h koncentrací není nárůst během ohňostrojů patrný, nejvyšší 24h hodnotou bylo 0,84 ng/m³. Naopak nejnižší 0,33 ng/m³.





Obrázek 62 - průměrné 24h koncentrace rubidia ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.

V případě 4h koncentrací je však vliv ohňostroje jasně patrný. Během prvního a třetího ohňostroje, kdy foukalo od odpaliště, byly koncentrace ve 4h intervalu s ohňostrojem na první pohled vyšší, než ve 4h intervalech před a po ohňostroji. Krátkodobé navýšení bylo přibližně desetinásobné.



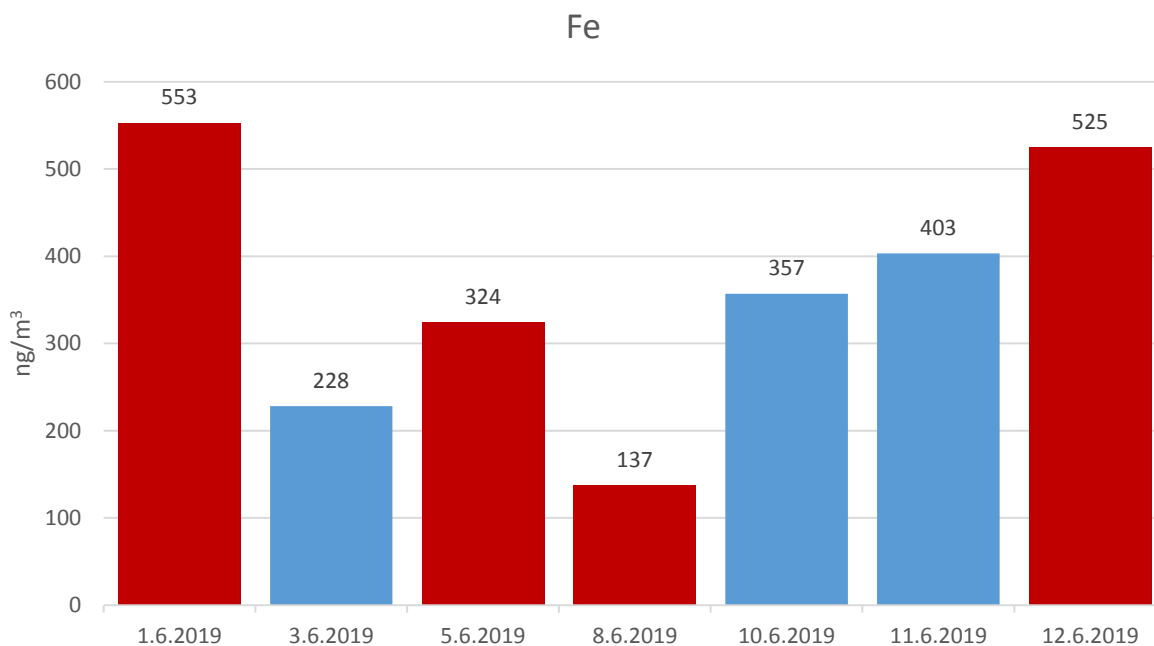
Obrázek 63 - koncentrace rubidia v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

7.7.9 ŽELEZO

	Atomové číslo:	26
	Hustota:	7,874 g/cm ³
	Teplota tání:	1538 °C
	Teplota varu:	2862 °C
		

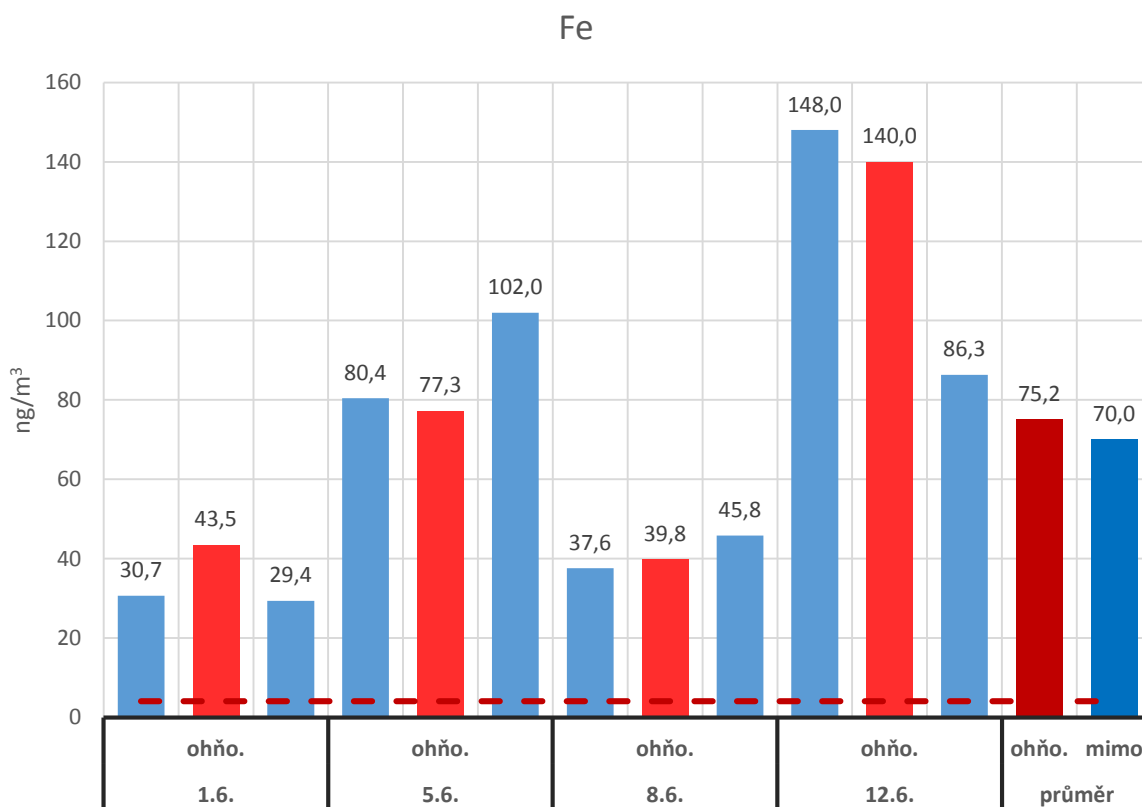
Železo je šedobílý, lesklý a středně tvrdý kov. Ve vlhkém vzduchu se pokrývá vrstvou hydroxidu. Jedná se o druhý nejrozšířenější kov na Zemi a přirozeně se vyskytuje ve čtyřech izotopech. Rudy s nejvyšším podílem železa jsou magnetit a hematit. V čisté formě se téměř nepoužívá, avšak tzv. technické železo (slitina Fe s C, P, Si a dalšími prvky) patří k nejdůležitějším materiálům ve stavebním průmyslu. Jedná se také o esenciální prvek pro lidský organismus – je nezbytnou součástí hemoglobinu (krevní barvivo) a celé řady enzymů.

V ohňostrojevých složích se železo používá pro vytvoření jasných jisker (Brain, 2001). Z měření během akce se však navýšení koncentrací v důsledku odpalu pyrotechniky nepotvrdilo. U 24h koncentrací není vidět jasný trend.





Obrázek 64 - průměrné 24h koncentrace železa ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.

Graf 4h koncentrací ukazuje, že průměr z období ohňostroje a období mimo ohňostroj je takřka totožný. V obou případech se průměrná koncentrace pohybovala kolem 70-75 ng/m³. Železo je hojně zastoupeno i v půdách a má řadu dalších zdrojů.



Obrázek 65 - koncentrace železa v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroje (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

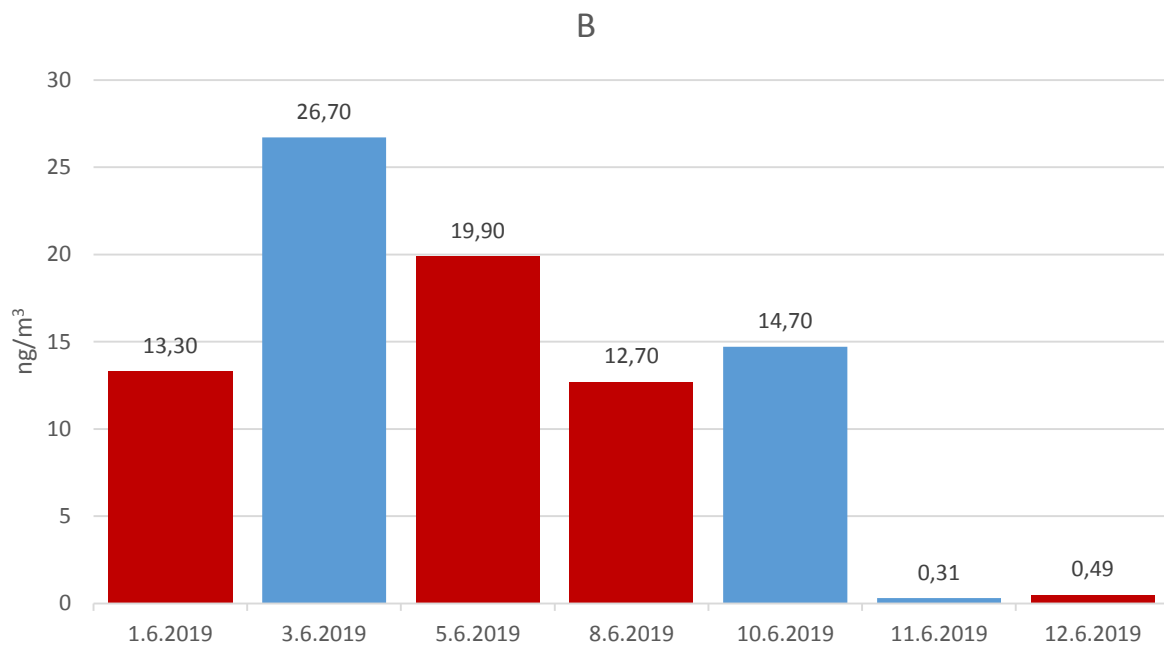
7.7.10 Bor

	Atomové číslo: 5	
	Hustota: 2,08 g/cm ³	
	Teplota tání: 2076 °C	
	Teplota varu: 3927 °C	

Bor řadíme mezi polokovy a svými vlastnostmi je někde na pomezí kovu a nekovu. Je v přírodě zastoupen téměř výhradně ve sloučeninách, z nichž řada je rozpuštěná v mořské vodě. V lidském těle má bor podíl na několika fyziologických procesech. Využívá se například ve sklářském průmyslu, keramice, metalurgii, jako insekticid a je například také součástí neodymových magnetů.

Hoří zeleným plamenem, a proto se v současnosti začíná používat čím dál víc a nahrazuje tradičně používané baryum. Hlavní výhodou je jeho velmi nízká toxicita i při zvýšených koncentracích (Sabatini, 2011).

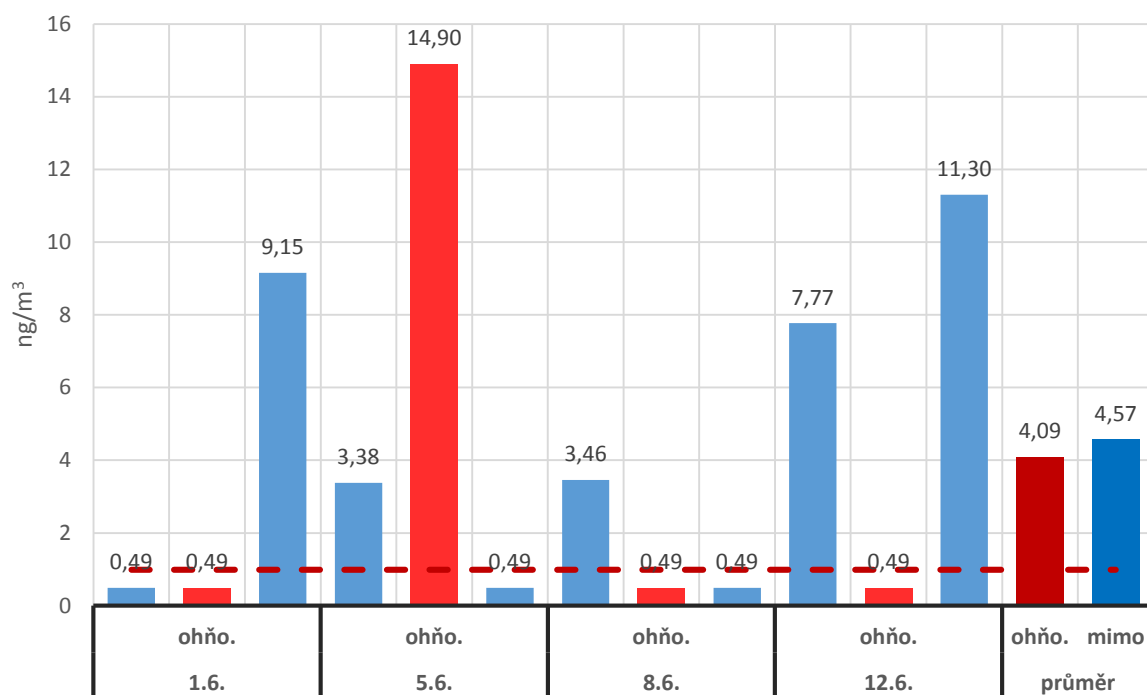
U výsledků z měření 24h koncentrací není patrný žádný trend při odpalování ohňostrojů. Poslední dva dny, 11. a 12. 6. jsou koncentrace velmi nízké, s vysokou pravděpodobností se jedná o chybu měření.



Obrázek 66 - průměrné 24h koncentrace boru ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.



V případě 4h intervalů došlo k výraznému nárůstu během druhého ohňostroje 5. 6. V polovině případů byly koncentrace boru během 4h intervalu pod mezí detekce.

B



Obrázek 67 - koncentrace boru v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

7.7.11 ZINEK

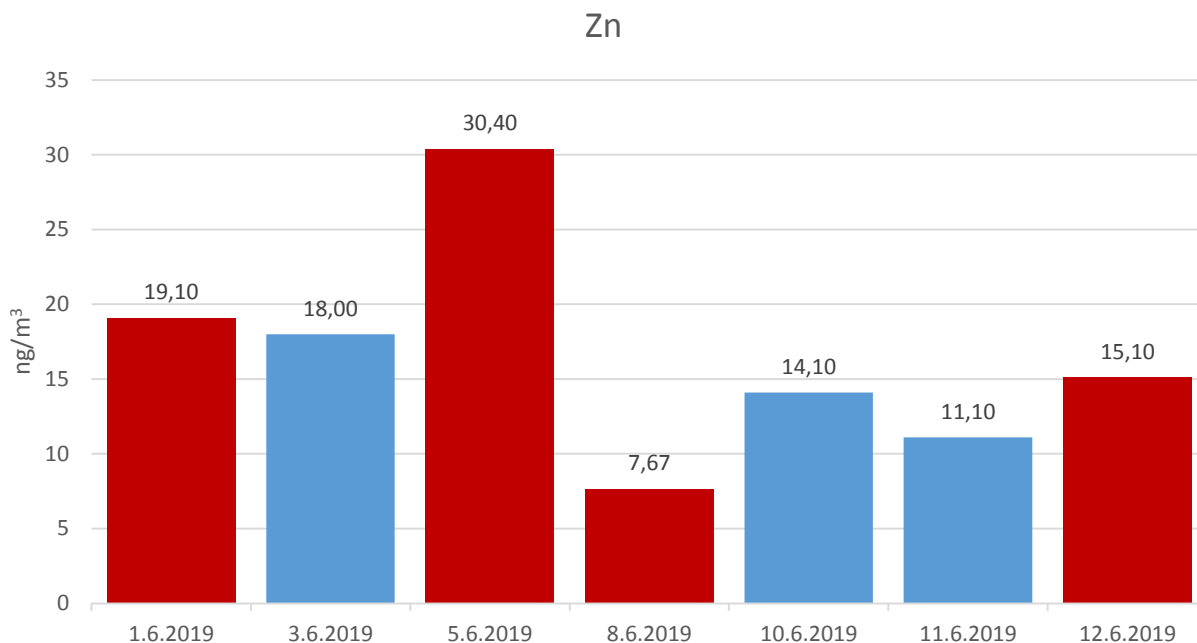
	Atomové číslo: 30	
	Hustota: 7,14 g/cm ³	
	Teplota tání: 419,5 °C	
	Teplota varu: 907 °C	

Zinek je modrobílý, měkký kov využívaný v řadě slitin. Ve sloučeninách se vyskytuje výhradně ve formě Zn²⁺. Jedná se o středně reaktivní prvek a silné redukční činidlo. Na vzduchu hoří modrozeleným plamenem. Jedná se o čtvrtý nejvyužívanější kov (po železe, hliníku a mědi) (Tolcin, 2015).

Používá se velmi často jako anti-korozivní agens a pro galvanizaci. Ze slitin je pravděpodobně nejvýznamnější mosaz (slitina Zn a Cu), používaná již od středověku. Zinek jako takový se používá i jako součást barev, pigmentů nebo jako protektant gumy a plastů před UV zářením. Jedná se také o velmi důležitý prvek pro správné fungování lidského organismu. Považuje se obecně za antioxidant (Powell, 2000) a podílí se na řadě enzymatických reakcí.

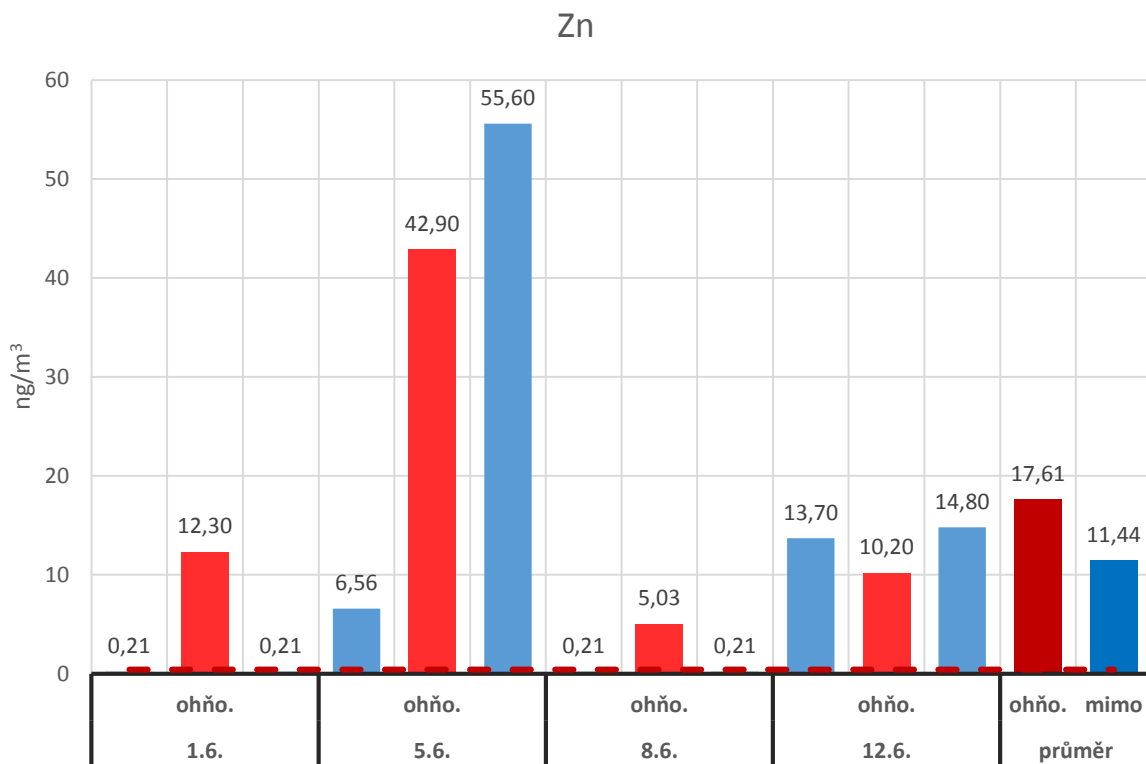
Zinek v ovzduší nemá žádné známé zdravotní rizika (http://naei.beis.gov.uk/overview/pollutants?pollutant_id=20). Ohňostrůjci používají zinek k vytvoření jasných, zářících jisker (Brain, 2001) a v dýmových efektech (Sekar, 2004).

Naměřená data o výraznějším nárůstu během odpalování ohňostrojů nesvědčí. S výjimkou 5. 6., kdy byly jediný ze sledovaných dní koncentrace mírně vyšší, byly koncentrace podobné, kolem 10 ng/m³.




Obrázek 68 - průměrné 24h koncentrace zinku ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.

V případě 4h intervalů již nárůst pozorován je. Během prvního i třetího ohňostroje jsou koncentrace zinku vyšší. U druhého ohňostroje jsou pak výrazněji zvýšené a to už před ohňostrojem a nárůst pokračoval po ohňostroji. Vzhledem k faktu, že z výsledků meteorologie a koncentrací jiných kovů víme, že 5. 6. pravděpodobně kouřová vlečka vzorkovače nezasáhla a vzhledem k faktu, že během ohňostrojů, kdy kouřová vlečka vzorkovače zasáhla se koncentrace nenavýšily, lze předpokládat, že zdrojem vyšších koncentrací zinku 5. 6. nebylo odpalování ohňostrojů.



Obrázek 69 - koncentrace zinku v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

7.7.12 MĚĎ

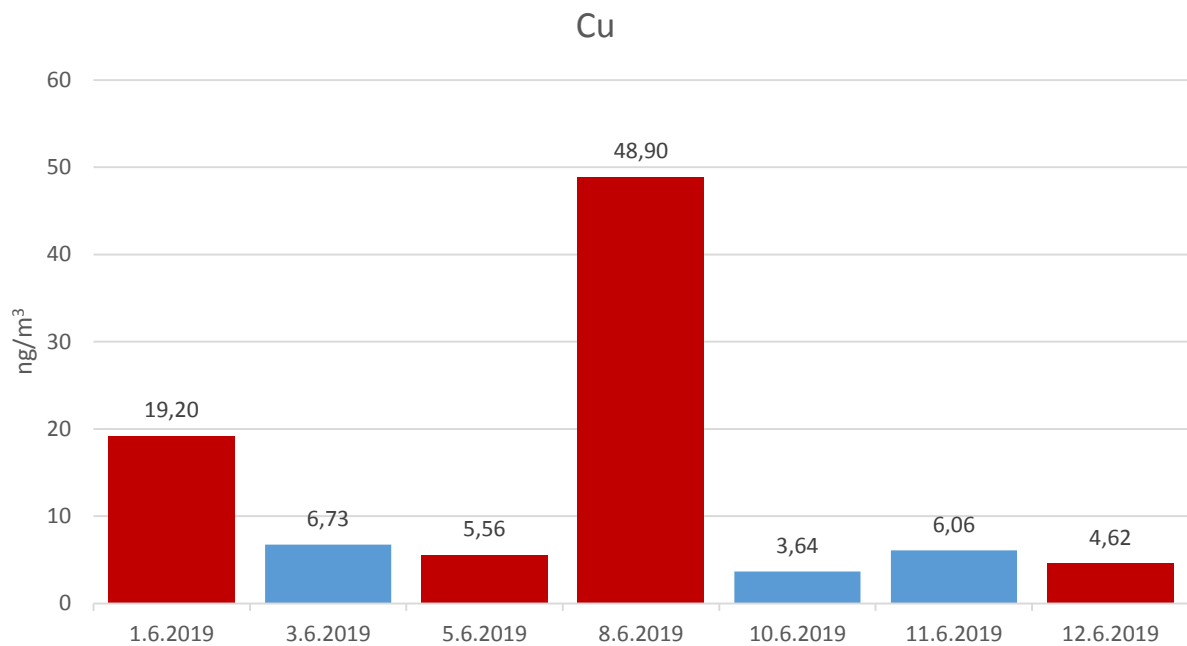
	Atomové číslo: 29 Hustota: 8,96 g/cm ³ Teplota tání: 1084,6 °C Teplota varu: 2562 °C	
---	--	---

Měď je měkký kov s velmi dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí a červenooranžovým zbarvením. Je součástí řady slitin, používá se ve stavebním průmyslu, jako vodič, vyrábí se z něj často například mince či termočlánky.

Pro lidské tělo se jedná o esenciální prvek. Napomáhá správné funkci metabolismu především prostřednictvím řady enzymů, které právě měď obsahují. Podílí se na tvorbě hemoglobinu, myelinu, melaninu a umožňuje správnou funkci štítné žlázy (Osredkar, 2011).

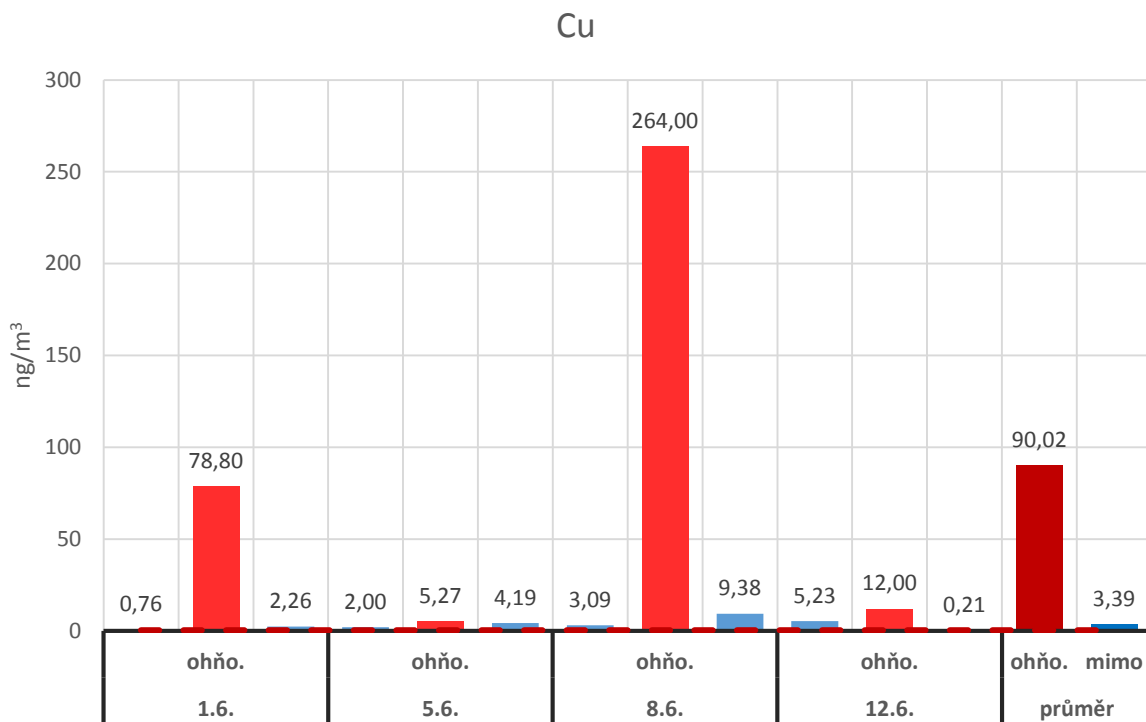
Krátkodobé zvýšené koncentrace mědi v ovzduší mohou vést k podráždění očí, nosu a krku a vést ke kašly, krvácení z nosu a kýchání. Chronická expozice může vést ke snížené plodnosti u mužů i žen (http://naei.beis.gov.uk/overview/pollutants?pollutant_id=13). Právě ohňostroje jsou jedním z nejvýznamnějších zdrojů mědi v ovzduší. V ohňostrojových složích se používá k docílení modrozelené barvy a některé sloučeniny umožňují dosáhnout i nejsložitější barvy pro ohňostrůjce – modré (například CuCl).

Určitý nárůst koncentrací mědi během odpalování ohňostrojů se z výsledků potvrdil. U 24h odběrů je patrný vyšší průměr u hodnot z 1. a 8. 6., tedy dní s ohňostrojem, kdy foukalo směrem ke vzorkovačům. Nejvyšší 24h průměr byl pozorován 8. 6. a to 48,9 ng/m³.




Obrázek 70 - průměrné 24h koncentrace mědi ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.


Ještě výrazněji je patrný nárůst u 4h intervalů. Během ohňostroje 8. 6. došlo v porovnání s obdobím 4 h před ohňostrojem k téměř 90násobnému zvýšení až na 264 ng/m³. Rovněž u prvního ohňostroje 1. 6. byl nárůst velmi markantní.



Obrázek 71 - koncentrace mědi v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

7.7.13 CHROM

	Atomové číslo: 24
	Hustota: 7,19 g/cm ³
	Teplota tání: 1907 °C
	Teplota varu: 2671 °C

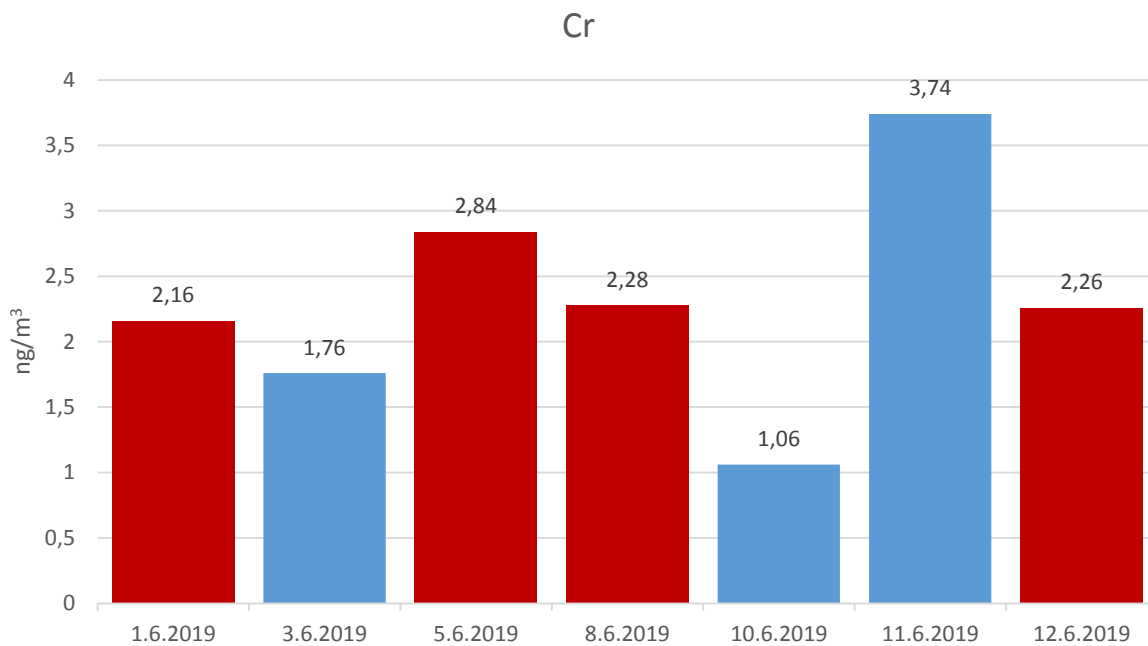


Chrom je lesklý, bílý a křehký kov, který vyniká zejména svojí neobvykle vysokou tvrdostí – jedná se o vůbec nejtvrdší kov (Singh, 2005). Jedná se o relativně nereaktivní kov, který za vyšších teplot reaguje s halogeny.

V přírodě se chrom nejčastěji vyskytuje v rudách chromit a krokoit. Má celou řadu využití, je jednou ze součástí nerezové oceli, používá se především v metalurgickém průmyslu, chrání kovové povrchy před korozí a je využíván i pro svůj atraktivní vzhled (matný stříbrný leštěný povrch). Ion Cr(III) patří mezi esenciální prvky pro lidský organismus. Má nezastupitelnou roli v metabolismu tuků a sacharidů (Vincent, 2000), umožňuje správné fungování insulinu (Park, 2004). Naopak Cr(VI) je vysoce karcinogenní (Air Quality Guidelines. WHO, 2000).

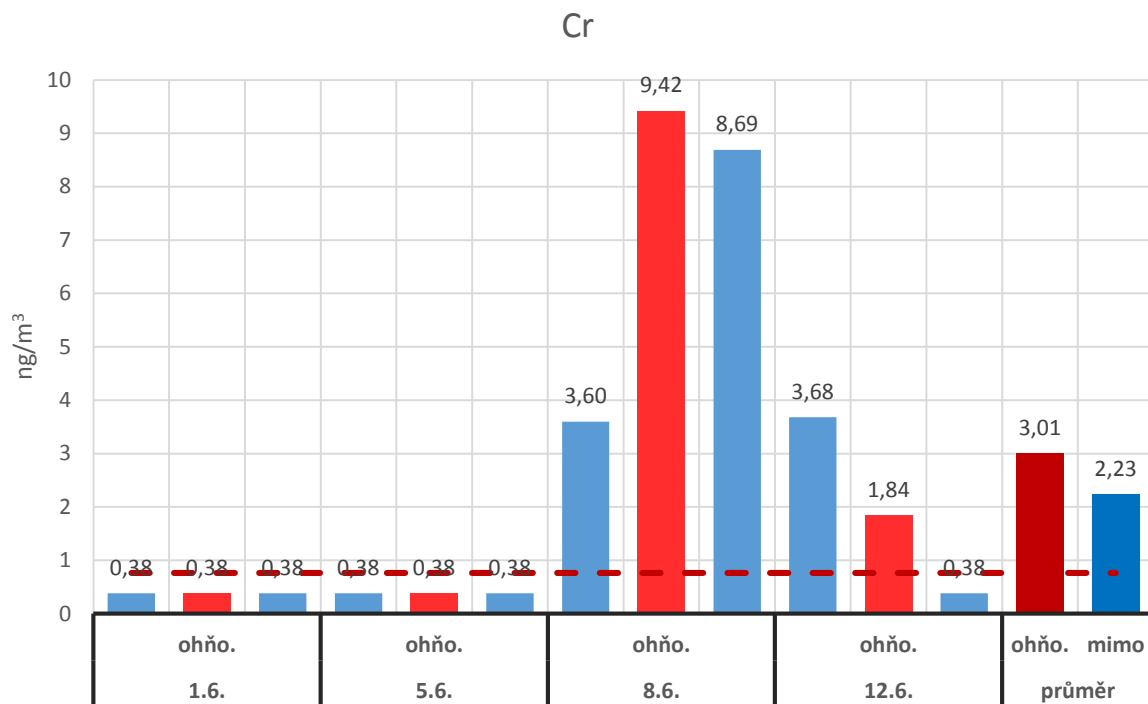
Jedním z nejvýznamnějších zdrojů chromu v ovzduší je pálení dřeva a dále lokální topeniště. V pyrotechnických efektech se používá jako oxidační činidlo (Niragu, 1988), ale od jeho používání se upouští.

U 24h odběrů není patrná korelace mezi odpalováním ohňostrojů a koncentracemi chromu.



Obrázek 72 - průměrné 24h koncentrace chromu ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.


Naopak u 4h intervalů již navýšení vidět je, konkrétně pak u třetího ohňostroje 8. 6., kdy došlo k nárůstu ze 3,6 ng/m³ na 9,4 ng/m³ během odpálení ohňostroje. Během prvních dvou ohňostrojů byly koncentrace chromu pod mezí detekce.



Obrázek 73 - koncentrace chromu v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

7.7.14 BISMUT

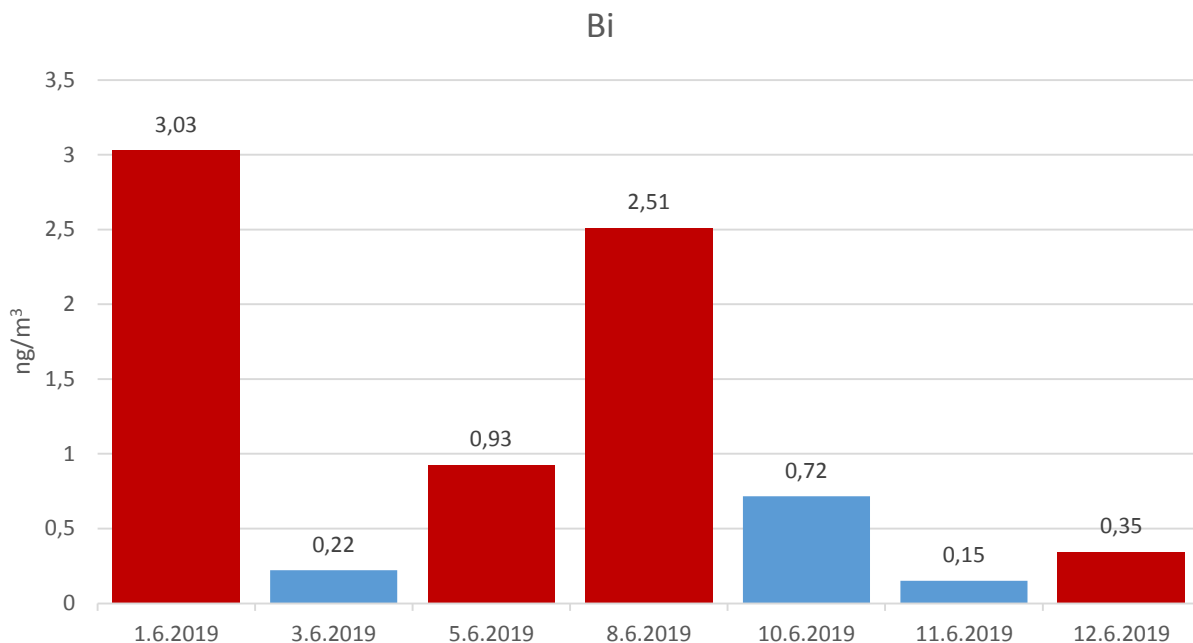
<table border="1"><tr><td>83</td></tr><tr><td>Bi</td></tr><tr><td>Bismut</td></tr><tr><td>208,98</td></tr></table>	83	Bi	Bismut	208,98	Atomové číslo: 83
83					
Bi					
Bismut					
208,98					
	Hustota: 9,78 g/cm ³				
	Teplota tání: 271,5 °C				
	Teplota varu: 1564 °C				



Bismut je křehký kov s bílým až stříbřitorůžovým nádechem a krystalickou strukturou. V přírodě se vyskytuje jak v čisté formě, tak ve sloučeninách, ale jedná se o relativně vzácný prvek. Nejdůležitějším minerálem obsahujícím bismut je bismutin (Bi₂S₃).

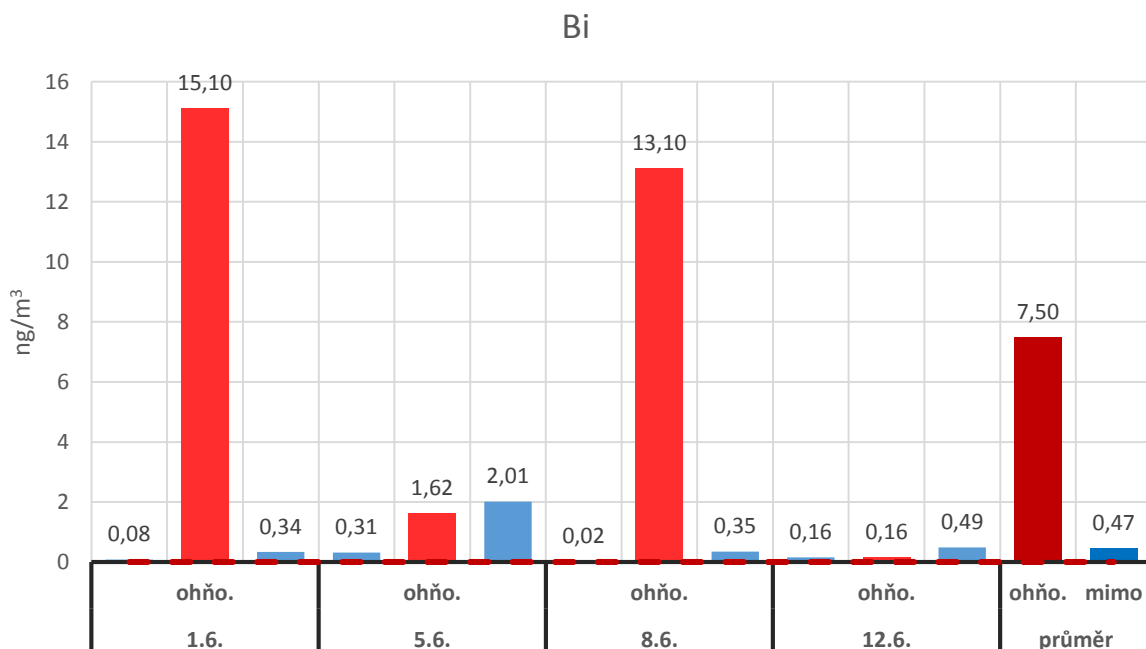
Sloučeniny bismutu se používají ve sklářském průmyslu, k výrobě pigmentů, ve farmacii, kosmetickém průmyslu nebo jako částečná náhrada olova ve střelivu (kvůli toxicitě olova). Právě jeho nízká toxicita z něj dělá atraktivní kov pro řadu využití. V ohňostrojových složích se bismut používá k vytvoření praskajícího efektu (Bi₂O₃) a zastupuje tak dříve používaný Pb₃O₄.

Používání bismutu během ohňostrojové přehlídky potvrdila i data z monitoringu kvality ovzduší. U obou ohňostrojů, kdy se kouřová vlečka táhla ve směru vzorkovačů (1. a 8. 6.) došlo k výraznému nárůstu bismutu.




Obrázek 74 - průměrné 24h koncentrace bismutu ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.

U 4h intervalů je nárůst velmi výrazný a to jak u ohňostroje 1. 6., tak u ohňostroje 8. 6. V obou případech se jednalo o nárůst více než stonásobný ve srovnání se 4h intervalem před ohňostroji.



Obrázek 75 - koncentrace bismutu v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

7.7.15 VÁPNIK

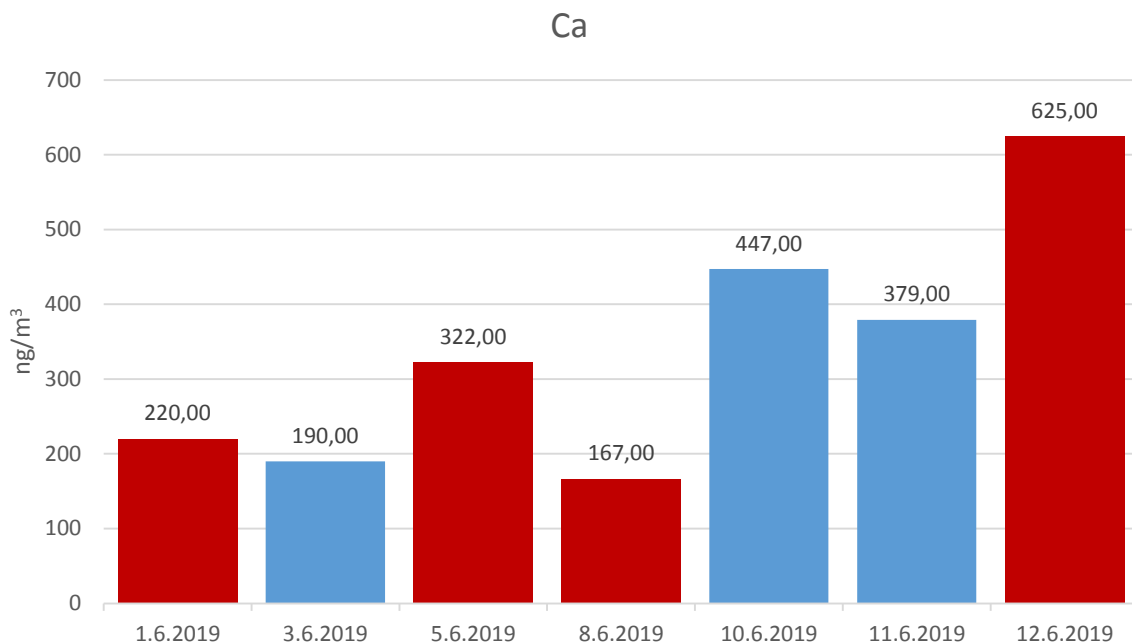
<table border="1"><tr><td>20</td></tr><tr><td>Ca</td></tr><tr><td>Vápník</td></tr><tr><td>40,078</td></tr></table>	20	Ca	Vápník	40,078	Atomové číslo: 20	
20						
Ca						
Vápník						
40,078						
	Hustota: 1,55 g/cm ³					
	Teplota tání: 842 °C					
	Teplota varu: 1484 °C					
						

Vápník je zástupce ze skupiny kovů alkalických zemin. Jedná se o lehký a zároveň velmi reaktivní prvek, svými vlastnostmi velmi podobný hořčíku. V přírodě se vyskytuje pouze ve sloučeninách a to vždy jako Ca²⁺. Pro lidské tělo představuje naprosto esenciální prvek, který je naprosto nezbytný například pro tvorbu kostí, zubů apod. Nejzastoupenější formou vápníku v přírodě je vápenec (uhličitan vápenatý, CaCO₃).

V životním prostředí vyvolává vápník zvýšení pH, tedy alkality a to napomáhá neutralizaci nežádoucích účinků kyselého prostředí. Významným zdrojem vápníku v ovzduší jsou jak přírodní zdroje (např. půdní eroze), tak antropogenní zdroje (těžba, spalovací procesy).

V pyrotechnice se vápník využívá k dosažení oranžově zbarvených efektů. Nejčastěji se používá CaCl₂ nebo CaSO₄·xH₂O.

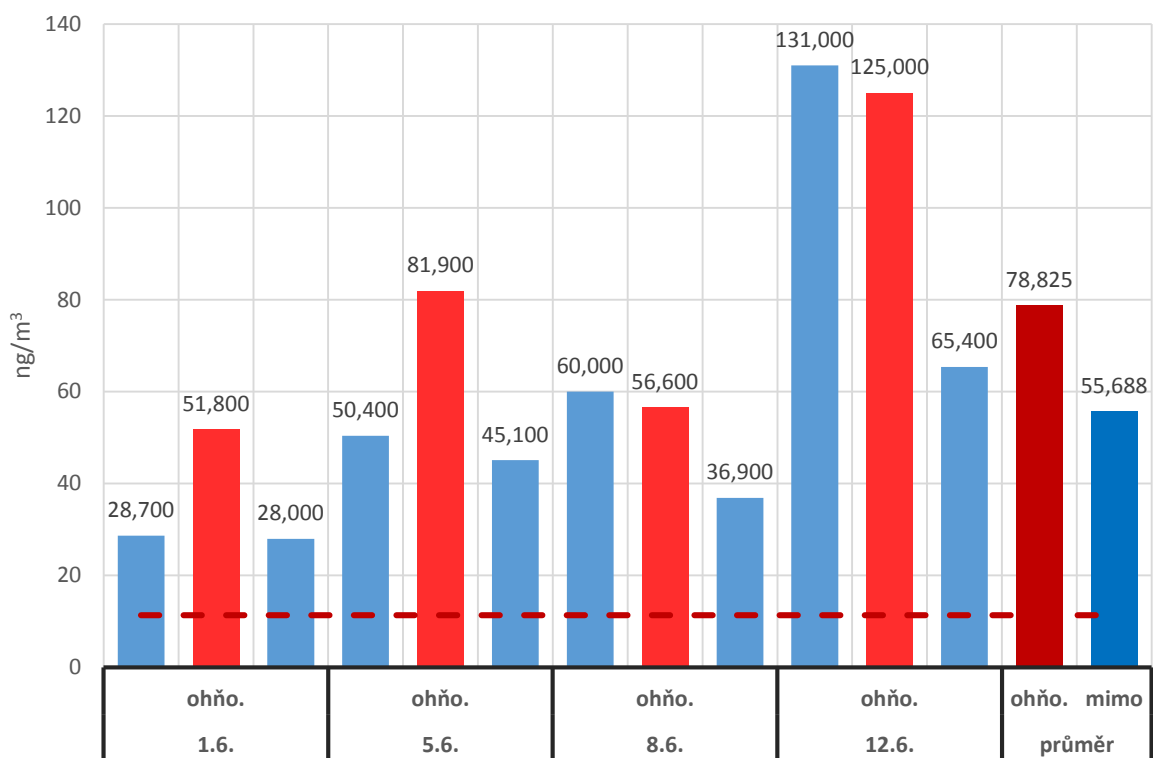
Z dat 24h koncentrací vápníku ve vybraných dnech nelze říci, že by byl patrný vztah mezi odpalováním ohňostrojů a koncentrací.



Obrázek 76 - průměrné 24h koncentrace vápníku ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.


Z výsledků 4h intervalů je vidět, že mohlo dojít během odpalování k mírnému nárůstu, ten však obzvláště ve srovnání s dalšími kovy není příliš výrazný. Vzhledem k faktu, že z výsledků meteorologie a koncentrací jiných kovů víme, že 12. 6. pravděpodobně kouřová vlečka vzorkovače nezasáhla a vzhledem k faktu, že během ohňostrojů, kdy kouřová vlečka vzorkovače zasáhla se koncentrace nenavýšily, lze předpokládat, že zdrojem vyšších koncentrací vápníku 12. 6. nebylo odpalování ohňostrojů.

Ca



Obrázek 77 - koncentrace vápníku v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

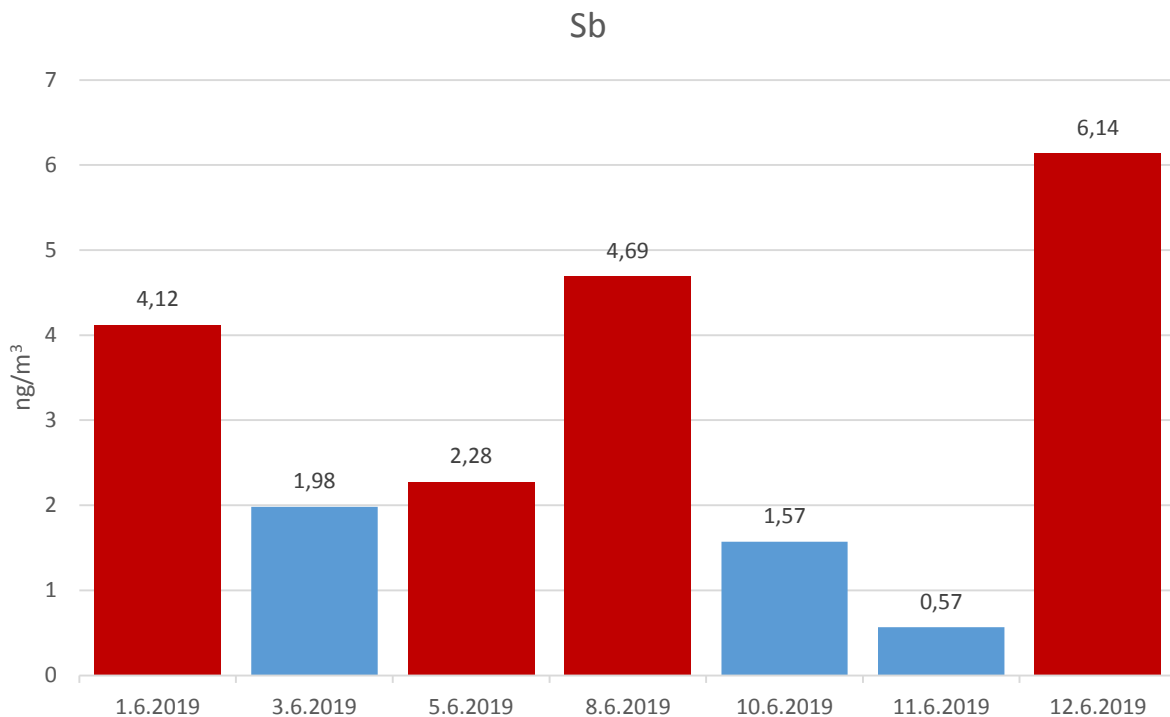
7.7.16 ANTIMON

<table border="1"><tr><td>51</td></tr><tr><td>Sb</td></tr><tr><td>Antimon</td></tr><tr><td>121,76</td></tr></table>	51	Sb	Antimon	121,76	<p>Atomové číslo: 51</p> <p>Hustota: 6,697 g/cm³</p> <p>Teplota tání: 630,6 °C</p> <p>Teplota varu: 1635 °C</p>	
51						
Sb						
Antimon						
121,76						

Antimon je stříbrný, lesklý, vysoce křehký kov až polokov krystalické struktury. V přírodě se vyskytuje i ryzí, většinou však v rudách spolu s olovem, mědí nebo stříbrem. Využívá se ke zlepšení vlastností některých slitin nebo při výrobě kaučuku. Dále se používá například v akumulátorech, jako aditivum do textilií a plastů, kde snižuje jejich hořlavost.

Jedním z významných zdrojů antimonu v ovzduší je otěr brzdových destiček (Iijima, 2008). Z dalších zdrojů lze jmenovat právě ohňostroje. Antimon se používá v řadě pyrotechnických efektů ke zvýraznění třpytu a záře (Russel, 2009).

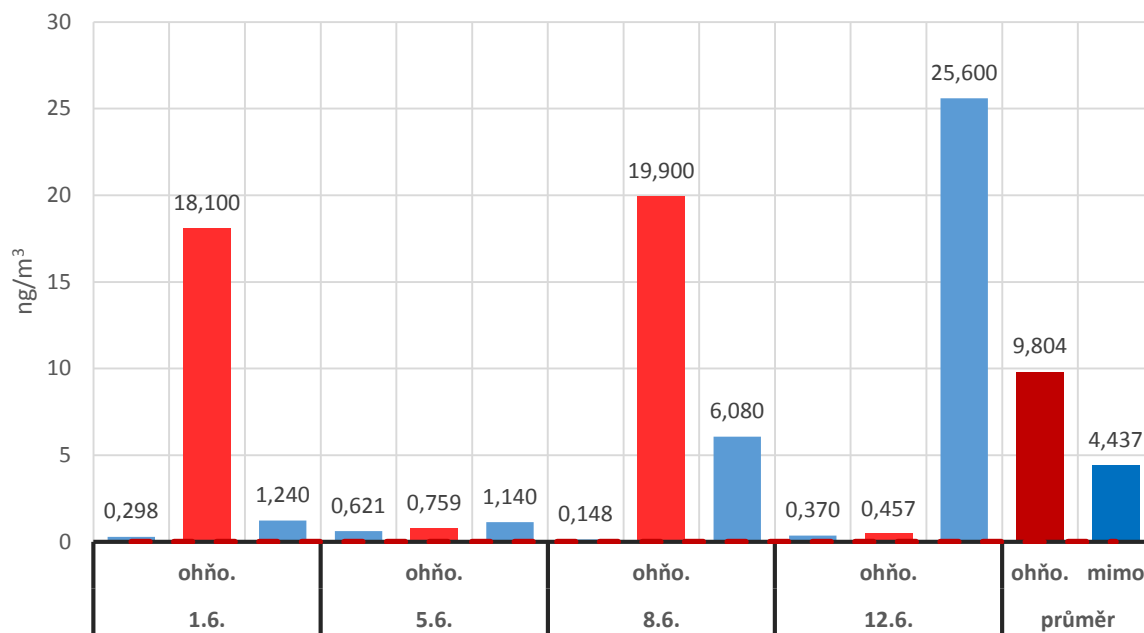
Z výsledků 24h odběrů lze vidět, že koncentrace antimonu ve dnech ohňostrojů pravděpodobně rostly, ale nárůst nebyl tak výrazný jako u jiných kovů, jako například draslík, stroncium či baryum.



Obrázek 78 - průměrné 24h koncentrace antimonu ve vybrané dny. Dny s ohňostrojem jsou zobrazeny červeným sloupcem, dny bez ohňostroje modrým.

Z grafu a dat o 4h koncentracích však již nárůst patrný je a to relativně výrazný, zejména pak právě ve dny, kdy během ohňostroje proudil vítr směrem ke vzorkovačům (tedy 1. a 8. 6.). V obou těchto případech došlo k řádovému nárůstu koncentrací antimonu.

Sb



Obrázek 79 - koncentrace antimonu v jednotlivé 4h intervaly ve čtyři dny a v poslední části průměry ze všech intervalů ohňostroj (červeně) a mimo ohňostroj (modře). Přerušovaná červená čára značí mez detekce.

7.8 SHRNU TÍ KOVŮ

Z výsledků meteorologických parametrů a koncentrací některých vybraných kovů lze usuzovat, že vlečka z ohňostrojí byla vzorkovači zachycena především během ohňostroje 1. a 8. 6. Následující tabulka ukazuje srovnání následujících průměrných koncentrací z hodnot 4h odběrů:

- σ_{total} - celkový průměr ze všech 4h intervalů
- σ_{allfire} - celkový průměr ze všech intervalů „ohňostroj“ (22:00-02:00)
- $\sigma_{\text{non-fire}}$ - celkový průměr ze všech intervalů mimo ohňostroj (18:00-22:00 a 02:00-06:00)
- σ_{fire} - celkový průměr z ohňostrojí 1. a 8. 6.

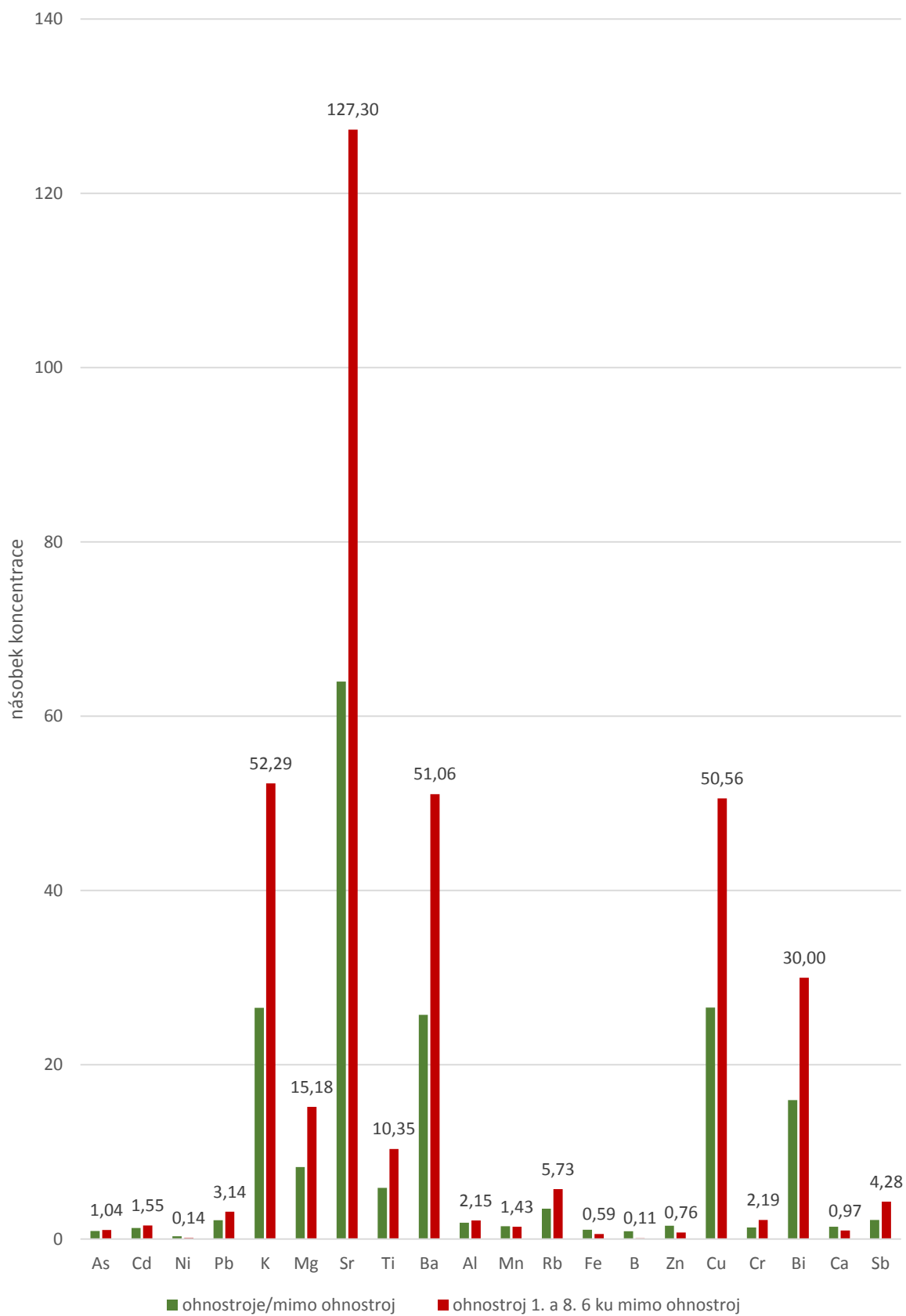
Tabulka 18 – průměrné koncentrace z vybraných intervalů (viz výše)

Kov	σ_{total}	σ_{allfire}	$\sigma_{\text{non-fire}}$	σ_{fire}
As	0,263	0,248	0,270	0,281
Cd	0,073	0,085	0,067	0,104
Ni	2,503	1,082	3,213	0,438
Pb	3,100	4,838	2,231	7,010
K	1453,3	4054,5	152,7	7985,0
Mg	85,52	206,60	24,97	379,00
Sr	31,01	90,20	1,41	179,50
Ti	4,946	11,077	1,880	19,460
Ba	26,26	73,12	2,84	145,00
Al	77,75	112,95	60,14	129,30
Mn	1,870	2,380	1,614	2,305
Rb	0,362	0,690	0,198	1,135
Fe	71,73	75,15	70,03	41,65
B	4,410	4,095	4,567	0,493
Zn	13,49	17,61	11,44	8,67
Cu	32,27	90,02	3,39	171,40
Cr	2,491	3,006	2,234	4,901
Bi	2,812	7,496	0,470	14,100
Ca	63,40	78,83	55,69	54,20
Sb	6,226	9,804	4,437	19,000

Následující tabulka ukazuje poměry mezi vybranými výše uvedenými hodnotami. První sloupec ukazuje poměr celkového průměru ze všech 4h intervalů s ohňostrojem ku celkovému poměru všech 4h intervalů bez ohňostroje. Druhý sloupec pak ukazuje totožný poměr, ale ohňostrojevý průměr je počítán pouze z ohňostrojů 1. a 8. 6., kdy přes vzorkovače prošla kouřová vlečka z ohňostrojů.

Tabulka 19 – poměry vybraných průměrných koncentrací

Kov	$\sigma_{\text{allfire}} / \sigma_{\text{non-fire}}$	$\sigma_{\text{fire}} / \sigma_{\text{non-fire}}$
As	0,92	1,04
Cd	1,27	1,55
Ni	0,34	0,14
Pb	2,17	3,14
K	26,55	52,29
Mg	8,27	15,18
Sr	63,97	127,30
Ti	5,89	10,35
Ba	25,75	51,06
Al	1,88	2,15
Mn	1,47	1,43
Rb	3,48	5,73
Fe	1,07	0,59
B	0,90	0,11
Zn	1,54	0,76
Cu	26,55	50,56
Cr	1,35	2,19
Bi	15,95	30,00
Ca	1,42	0,97
Sb	2,21	4,28



Obrázek 80 – násobek koncentrace během ohňostroje ku průměru mimo ohňostroj (průměr ze všech ohňostrojů zeleně, průměr z ohňostrojů 1. a 8. 6. červeně).

Výše uvedená data jasně ilustrují, jak výrazné byly nárůsty některých kovů a naopak žádný efekt u kovů jiných. Z dat jasně vyplývá, že nejvyšší nárůsty v důsledku odpalování ohňostrojů (zde je nejrelevantnější poměr průměru intervalu ohňostrojů 1. a 8. 6. a průměru ze všech intervalů mimo ohňostroj) byly pozorovány právě u kovů, u nichž byl předpoklad, že budou koncentrace vyšší, jelikož se hojně v pyrotechnice využívají.

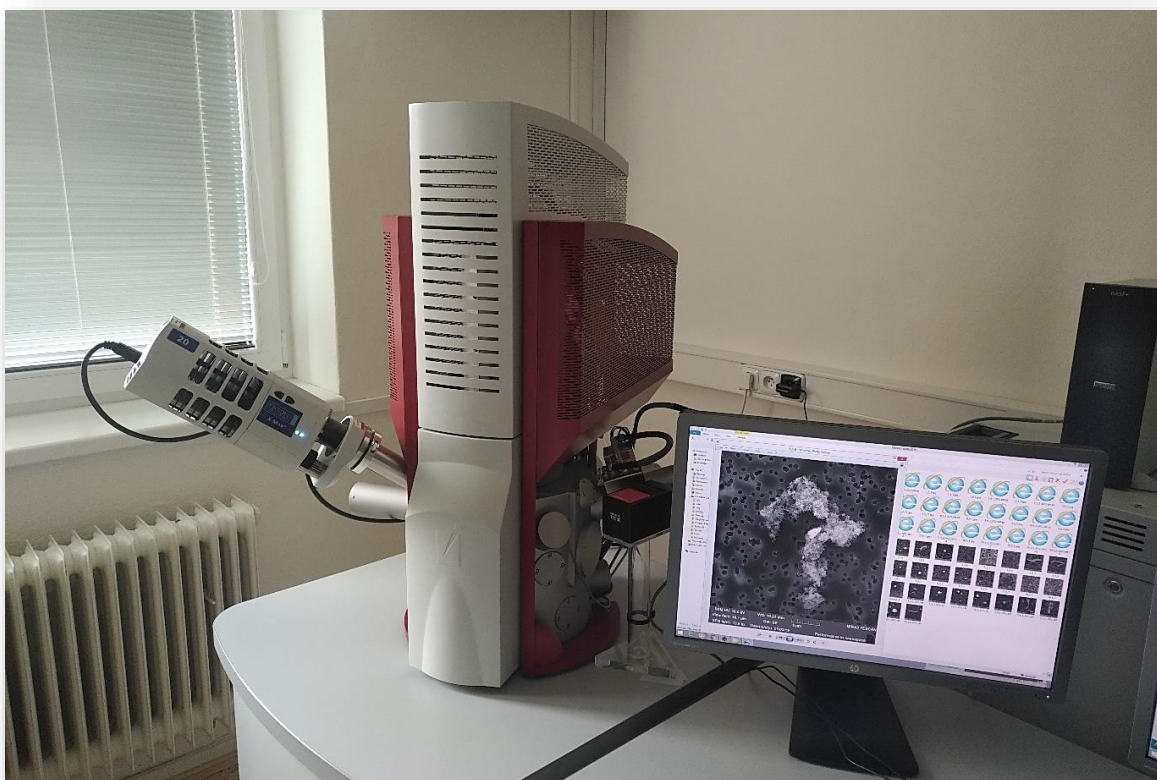
Absolutně nejvíce se nárůst koncentrací projevil u stroncia, kde byl průměr z intervalu dvou ohňostrojů, kdy kouřová vlečka prošla přes vzorkovače, více než 125násobný ve srovnání s mimoohňostrojovým průměrem. Více než desetinásobný nárůst dále zaznamenaly kovy draslík, baryum, měď, bismut, hořčík a titan.

Z kovů pro které je stanoven imisní limit (As, Cd, Ni a Pb) byl vliv ohňostrojů patrnější pouze u olova, ale koncentrace byly stále řádově nižší, než kolik činí hodnota pro imisní limit průměrné roční koncentrace.

8. SEM ANALÝZA

8.1 TECHNICKÉ VYBAVENÍ

- skenovací elektronový mikroskop Mira3 od firmy Tescan
- EDX detektor X-MaxN 20 od firmy Oxford Instruments
- Airity 6.4 – vlastní software pro částicovou analýzu



Obrázek 81 - SEM TESCAN Mira3 v laboratoři ČHMÚ na pobočce Brno

8.2 ZÁKLADNÍ INFORMACE

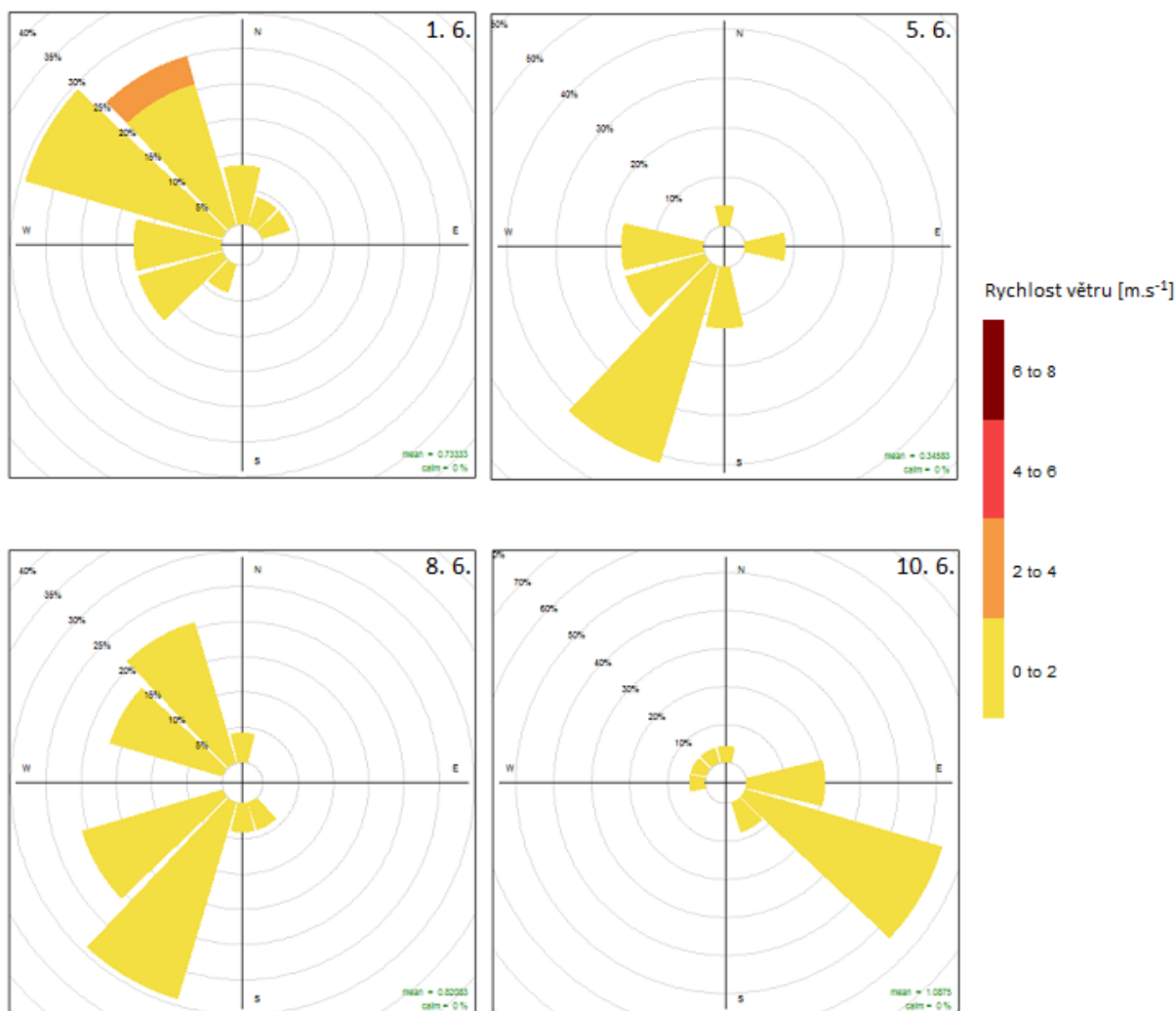
Elektronová mikroskopie využívá interakce tzv. primárních elektronů s atomy vzorku v jeho povrchové vrstvě, jedním z výsledků této interakce je emise fotonů RTG záření. Energie fotonů RTG záření je charakteristická pro daný prvek a tak detekce těchto fotonů poskytne informaci o prvkovém složení vzorku v místě analýzy. Kvantitativní resp. v tomto případě semikvantitativní analýza byla založena na bezstandardové metodě se ZAF korekcí a normalizací (dopočetem obsahu jednotlivých prvků do 100 %). Automatickou analýzou bylo analyzováno několik tisíc částic z každého ze 4 vzorků.

Výstupem částicové analýzy jsou kvalitativní (prvkové složení), semikvantitativní (odhad váhového podílu prvků [hm. %]) a morfologická informace o všech analyzovaných částicích.

K odběru vzorků bylo použito nízkoobjemového vzorkovače Leckel MVS6 v kombinaci s polykarbonátovými filtry (IsoporeTM, velikost pórů 0,8 μm). Odběry byly prováděny po dobu 4 h při průtoku 1m³/h, vždy od 22 h do 2 h ráno. Tři ze čtyř odběrů byly provedeny v den konání ohňostroje (cca 22:30-22:50). Jeden z odběrů byl proveden ve stejnou denní dobu, ale v den bez ohňostroje a sloužil jako referenční srovnání.

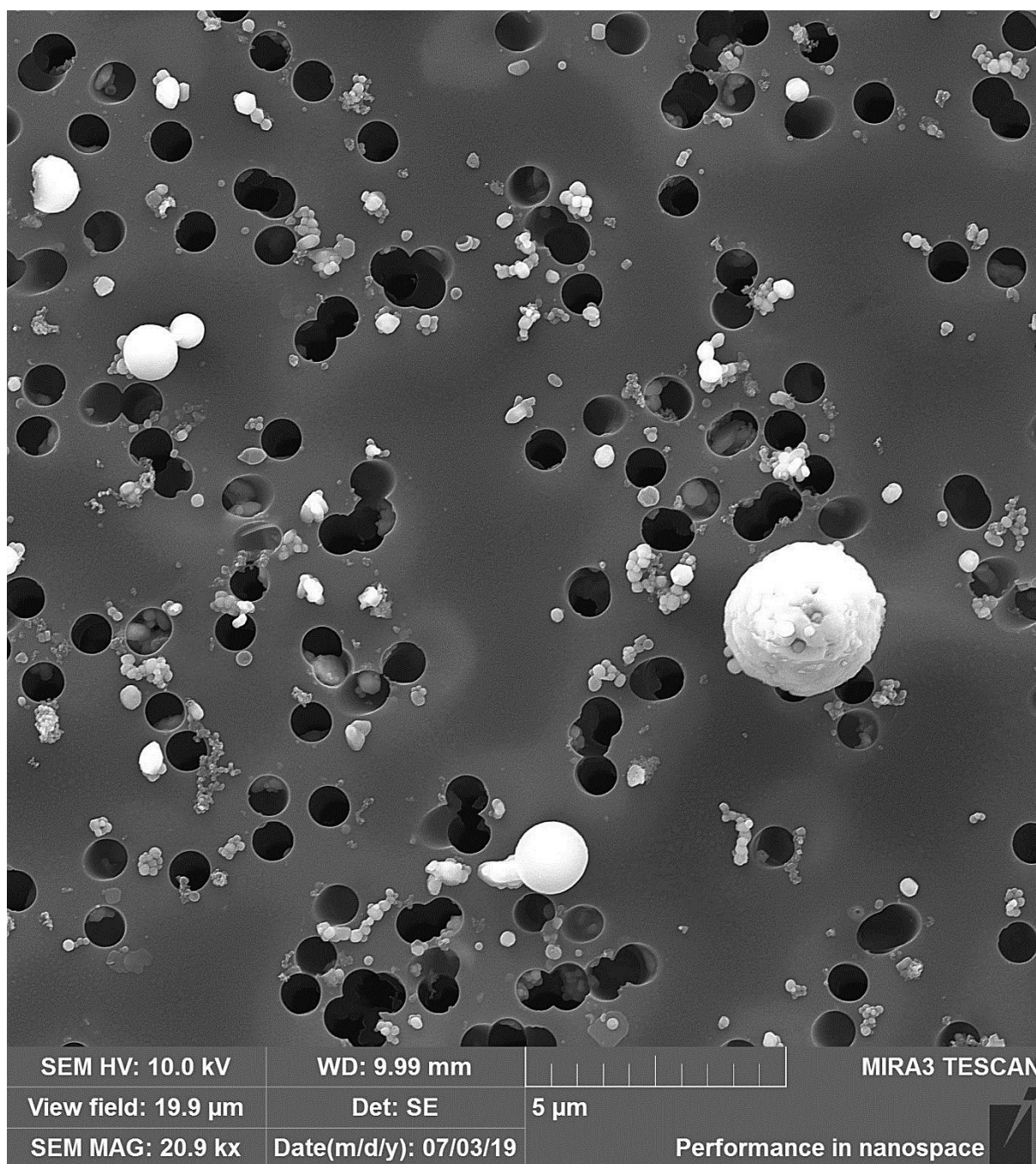
8.3 VÝSLEDKY ČÁSTICOVÉ ANALÝZY

Vzorkovač Leckel MVS6 byl umístěn asi 500 m jihovýchodně od odpalovací rampy. Rychlost a směr větru byly měřeny ve výšce 10 m. Kouřová vlečka se dle zkonstruovaných větrných růžic šířila směrem ke vzorkovači zejména během ohňostrojů 1. 6. a 8. 6. (dá se předpokládat, že ve výšce odpalu (100 m i výše) docházelo ke stáčení větru k severozápadu). Rychlost větru byla v případě všech ohňostrojů na úrovni vánku, tedy nízká, kouřová vlečka se tak od zdroje rozptylovala pomalu.

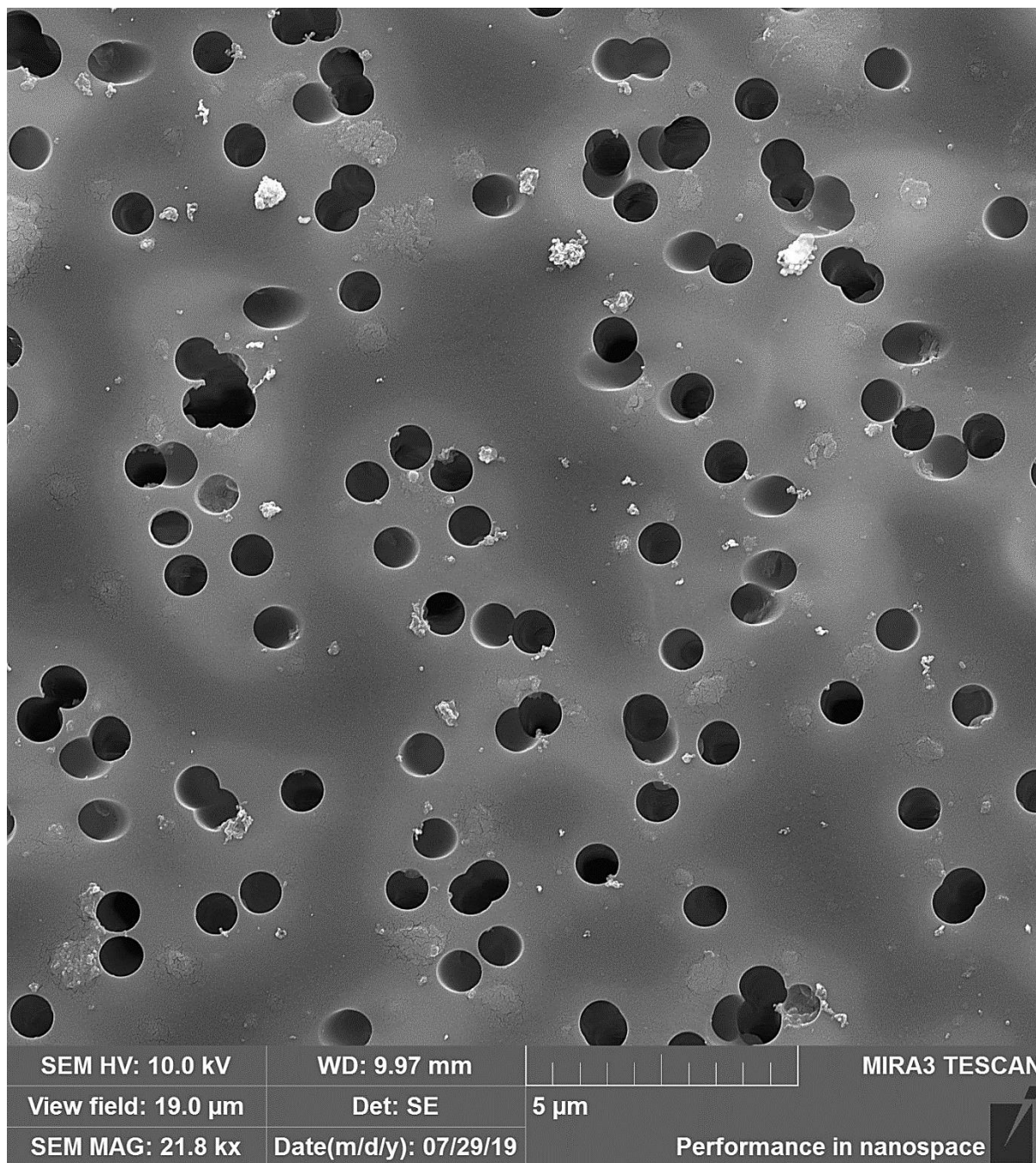


Obrázek 82 - větrné růžice zobrazující četnost jednotlivých směrů větru z období ohňostrojí (1. 6., 5. 6., 8. 6.) a období mimo ohňostroje (10. 6.).

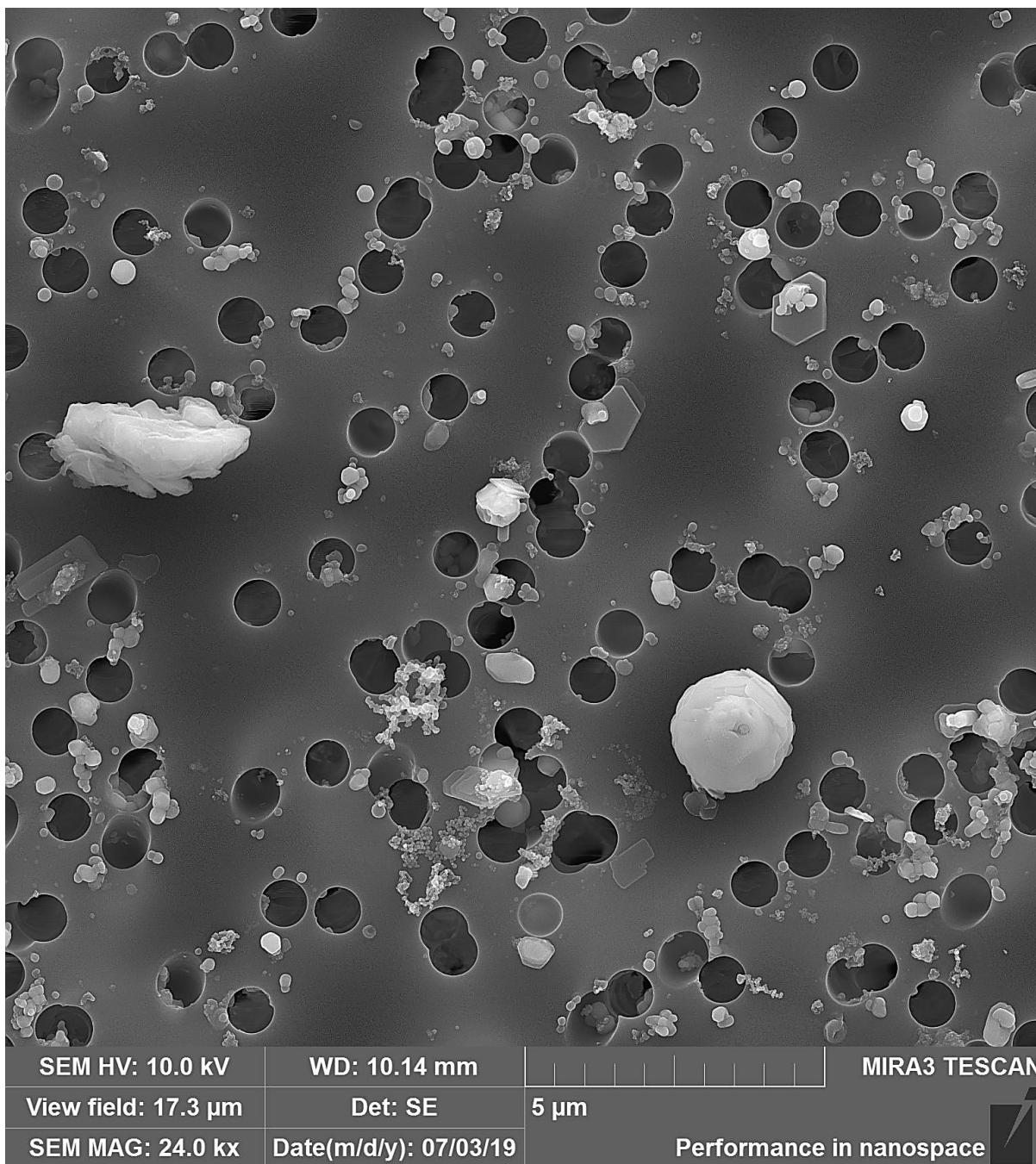
Manuální analýza SEM s využitím detektoru sekundárních elektronů poskytla snímky částic odebraných během ohňostrojí (Obr. 3, 4 a 5) a mimo ohňostroj (Obr. 6). Je vidět rozdíl v množství částic zachycených na jednotlivých filtrech. Během ohňostroje 5. 6., kdy převládalo jihozápadní proudění větru, je na filtru výrazně méně částic.



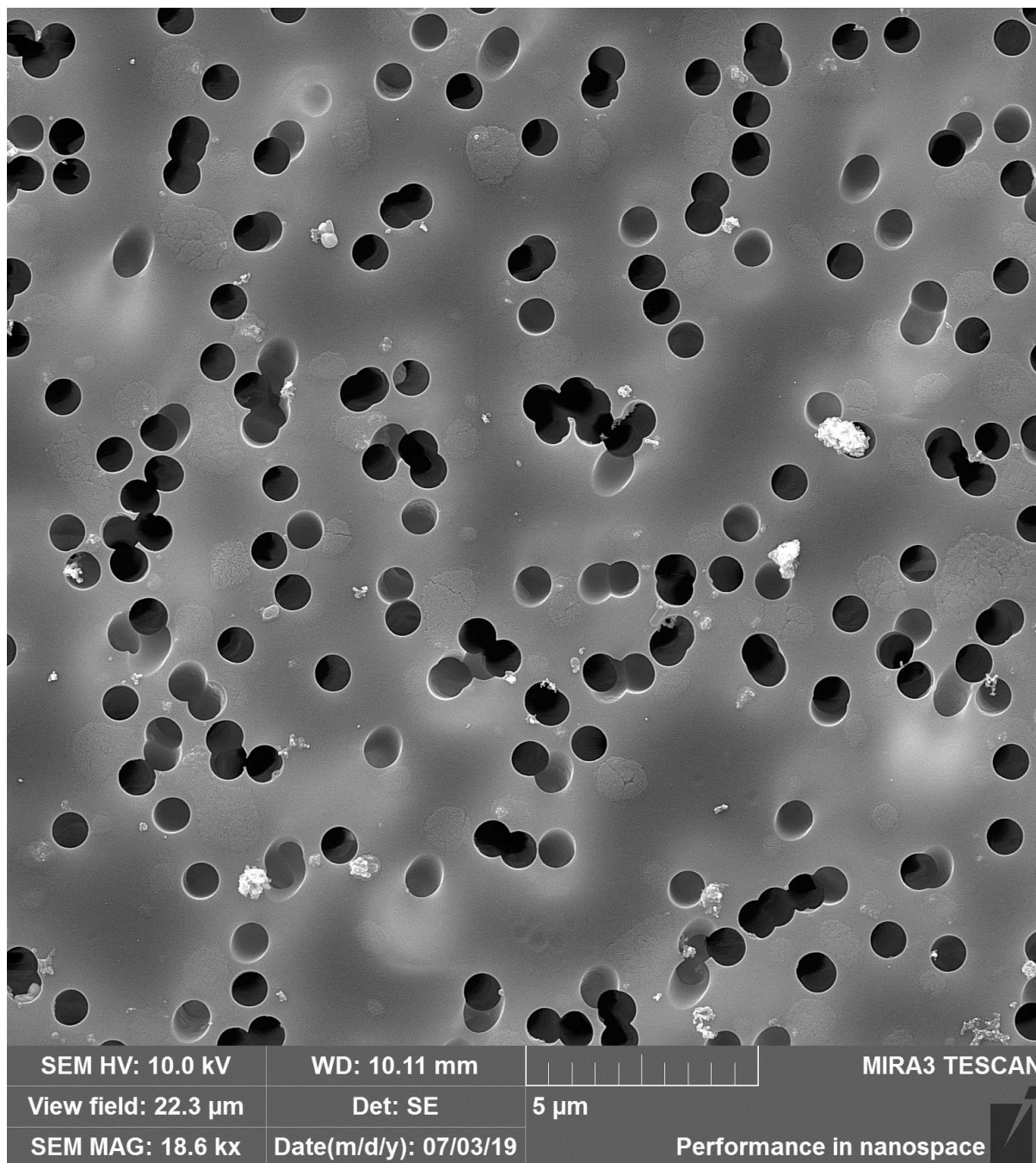
Obrázek 83 - Částice frakce PM_{10} odebrané během ohňostroje 1. 6. 2019 na polykarbonátový filtr.



Obrázek 84 - Částice frakce PM_{10} odebrané během ohňostroje 5. 6. 2019 na polykarbonátový filtr.



Obrázek 85 - Částice frakce PM_{10} odebrané během ohňostroje 8. 6. 2019 na polykarbonátový filtr.



Obrázek 86 - Částice frakce PM_{10} odebrané 10. 6. 2019 (pozadí) na polykarbonátový filtr.

Na každém filtru bylo analyzováno více než 2000 částic. Za účelem roztřídění částic do tříd byla vytvořena klasifikační kritéria, díky kterým bylo možné částice na základě obsahu konkrétních prvků, popřípadě ve spojení s jejich tvarem zařadit. V případě, že částice splnila klasifikační kritéria více než jedné třídy, byla přiřazena do více tříd. Z toho také plyne, že součet procentuálního zastoupení jednotlivých tříd z celku je v součtu vyšší než 100 %.

Níže uvedená klasifikace je založena na klasifikačním systému EPA (Willis, 2002), je však mírně modifikována s ohledem na účel hodnocení. Byly přidány některé třídy obsahující prvky používané v ohňostrojevých složích a byla vytvořena třída „Ohňostroje“, která zahrnuje právě částice obsahující prvky pro ohňostroje typické, navíc bere v potaz i jejich tvar.

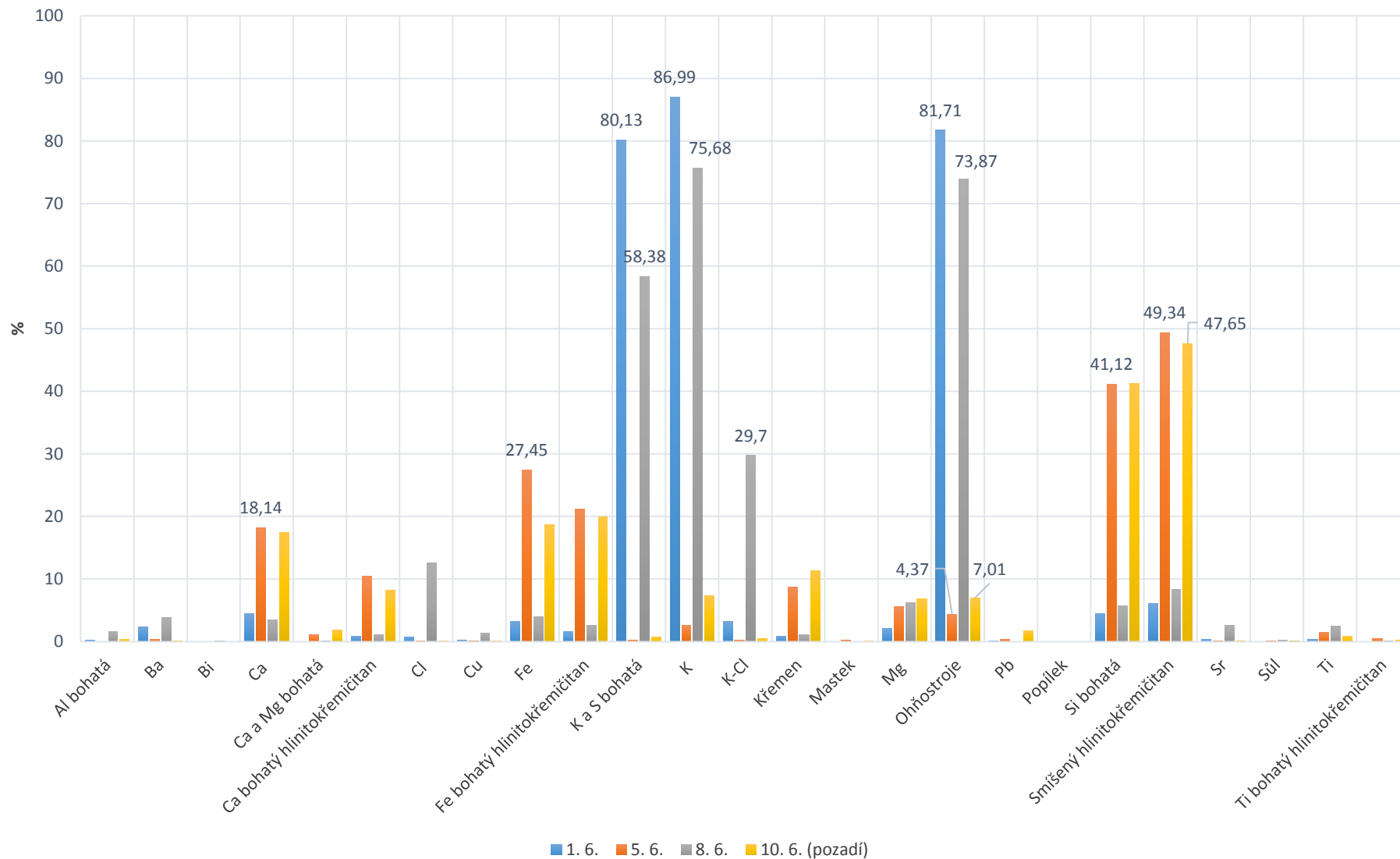
Tabulka 20 - Tabulka klasifikačních tříd a definice jejich kritérií. Hodnoty představují hmotnostní procenta (Wt %).

Al bohatá	Al \geq 50	částice bohatá na hliník
Ba	Ba \geq 10 Ba > Fe	částice obsahující baryum
Bi	Bi \geq 10	částice obsahující bismut
Ca	Ca \geq 20	částice obsahující vápník
Ca a Mg bohatá	Mg \geq 10 Ca \geq 25 Mg > S Mg > Si Ca > Si	částice bohatá na vápník a hořčík
Ca bohatý hlinitokřemičitan	Al \geq 10 Si \geq 20 Ca \geq 10 Si \geq Ca	hlinitokřemičitan bohatý na vápník
Cl	Cl \geq 20	částice bohatá na chlor
Cu	Cu \geq 20	částice obsahující měď
Fe	Fe \geq 20	částice obsahující železo
Fe bohatý hlinitokřemičitan	Al \geq 10 Si \geq 20 Fe \geq 10 Si > Fe Fe > Ca	hlinitokřemičitan bohatý na železo
K a S bohatá	S \geq 10 S > P K + S \geq 40 K \geq 20	částice bohatá na draslík a síru
K	K \geq 20	částice obsahující draslík

K-Cl	$K + Cl > 40$	částice obsahující draslík a chlor
Křemen	$Si \geq 75$ $Al < 10$	částice obsahující křemík
Mastek	$Mg \geq 10$ $Al < 10$ $Si \geq 40$ $Ca < 10$ $Fe < 10$	částice obsahující hořčík, hliník, křemík, vápník a železo
Mg	$Mg \geq 10$	částice obsahující hořčík
Ohňostroje	$tvar < 1.6$ dále splňuje některou z podmínek: <ul style="list-style-type: none"> ▪ $Ba > 10$ ▪ $Sr > 10$ ▪ $K + S > 40$ ▪ $Mg > 20$ a $Al < 10$ ▪ $Ti > 10$ ▪ $K + Cl > 40$ ▪ $Bi > 10$ 	
Pb	$Pb \geq 20$	částice obsahující olovo
Popílek	$20 < Al < 50$ $40 < Si < 60$ $2 \leq K < 8$ $Mg \leq 5$ $Na < 3$ $Cl < 3$ $Fe \geq 1,15$	částice obsahující hliník, křemík a železo
Smíšený hlinitokřemičitan	$Al \geq 10$ $Si \geq 20$	částice obsahující křemík a hliník
Sr	$Sr \geq 10$	částice obsahující stroncium
Sůl	$Na + Cl \geq 40$	
Ti	$Ti \geq 20$ $Ti > Ca$ $Ti > Fe$	částice obsahující titan

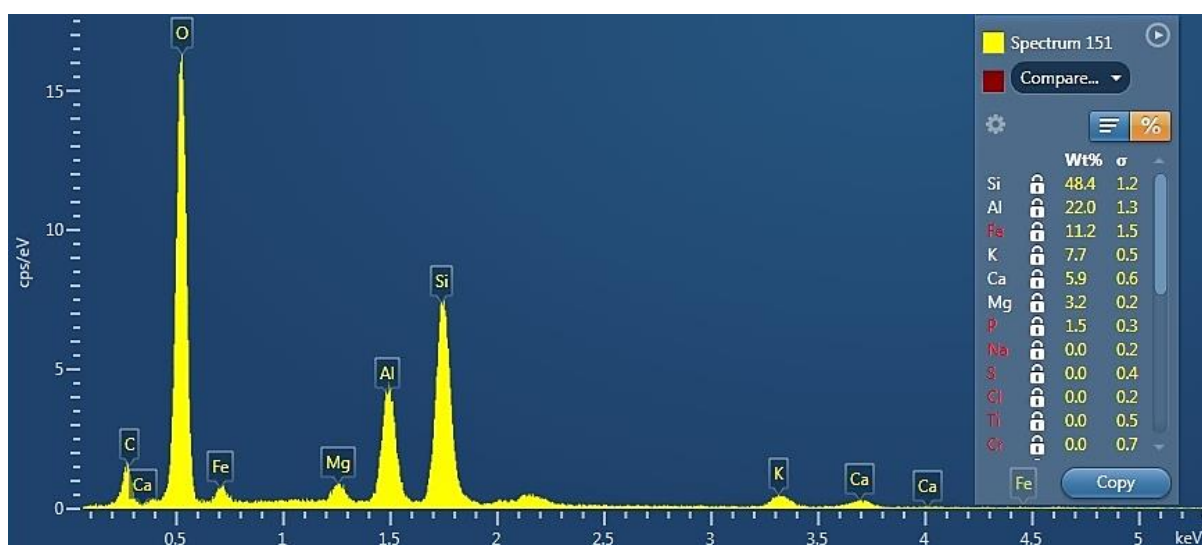
Ti bohatý hlinitokřemičitan	Al ≥ 10 Si ≥ 20 Ti ≥ 10 SI ≥ Ti	hlinitokřemičitan bohatý na titan
------------------------------------	--	-----------------------------------

Výsledky automatické analýzy (Obr. 7) prokázaly u vzorků odebraných 1. 6. a 8. 6. zvýšené množství částic obsahujících draslík v kombinaci se sírou. Důvodem je fakt, že jako hnací “motor”, který vynese ohňostrokové těleso vysoko do vzduchu, se obvykle používá směs dusičnanu draselného (KNO₃), síry (S) a dřevěného uhlí (C), tzv. černý prach (angl. black powder, gun powder). Vyšší zastoupení částic obsahujících draslík a chlor ve vzorku odebraném 8. 6. bylo pravděpodobně dáno použitím chlorečnanu (KClO₃) či chloristanu (KClO₄) draselného, které jsou vedle dusičnanu draselného (KNO₃) nejpoužívanějšími oxidací (hoření pyrotechnických složek není závislé na vzdušném kyslíku). Zdrojem chloru jsou také chloridy kovů např. chlorid barnatý (BaCl₂), vápenatý (CaCl₂) nebo měďnatý (CuCl₂), které se používají k barvení plamene nebo organické polymerní sloučeniny jako např. PVC ((C₂H₃Cl)_n) či Parlon ((C₄H₆Cl₂)_n). Tyto sloučeniny jsou donory atomů chloru (Cl) a jejich použití je nezbytné k dosažení barevného efektu v případě použití kovu (např. sodík, stroncium, baryum či měď) ve formě štavelanu, uhličitanu či dusičnanu.



Obrázek 87 - Procentuální zastoupení jednotlivých tříd. Ohňostroje 1., 5. a 8. 6., referenční vzorek (den bez ohňostroje) 10. 6

Software Airity umožnil sestavení párových diagramů (Obr. 9 a 10), které ukázaly, v jaké kombinaci prvků se vybraný prvek v částici vyskytoval. V případě částic obsahujících hořčík (Mg) je zřejmé, že ve vzorcích odebraných 1. 6. a 8. 6., tedy během ohňostrojí, kdy vítr nesl kouřovou vlečku nad vzorkovač, se částice s Mg vyskytovaly převážně v kombinaci s prvky typickými pro pyrotechnické slože, jako jsou draslík (K), síra (S) a chlor (Cl). V případě vzorku odebraném 5. 6. a 10. 6. (pozadí) byly výrazněji zastoupeny hliník (Al), křemík (Si), železo (Fe) a draslík (K) a vápník (Ca), které mohou pocházet z minerálů, jako jsou dolomit či illit (Obr. 8). Hořčík se v pyrotechnických složích uplatňuje jako hořlavina nebo v pyrotechnických výrobcích typu „fontán“, jejichž odpálením se na obloze objevují gejzíry zářivě bílých jisker. Hořčík ve spojení se sloučeninou, která je donorem atomu Cl, také zvyšuje intenzitu ostatních barev.

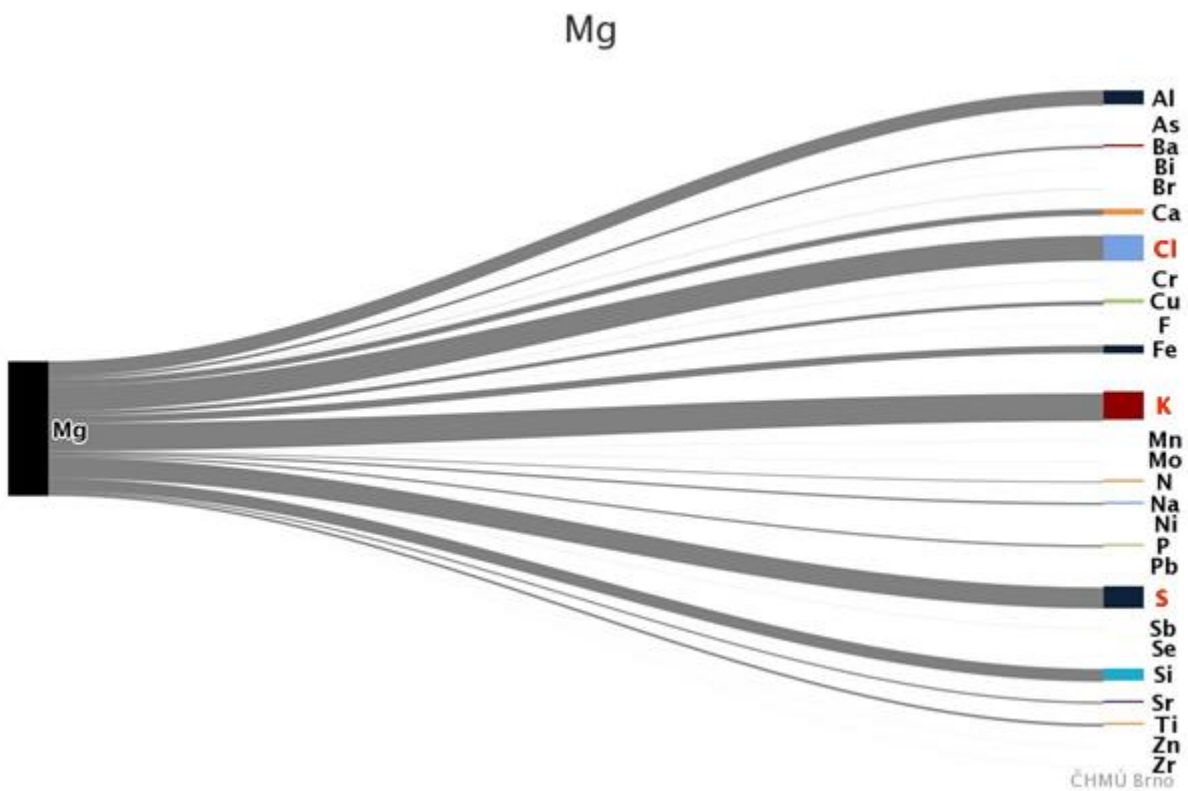
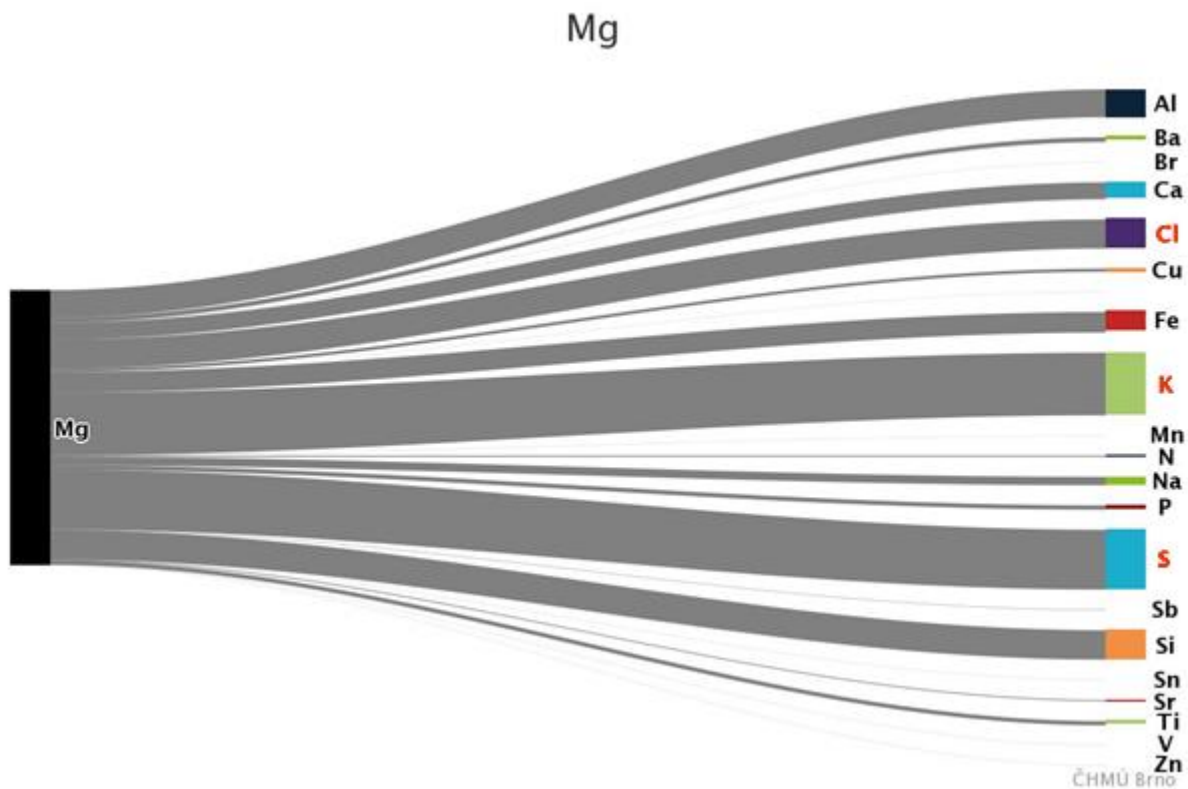


Obrázek 88 - RTG spektrum půdní částice, pravděpodobně illitu.

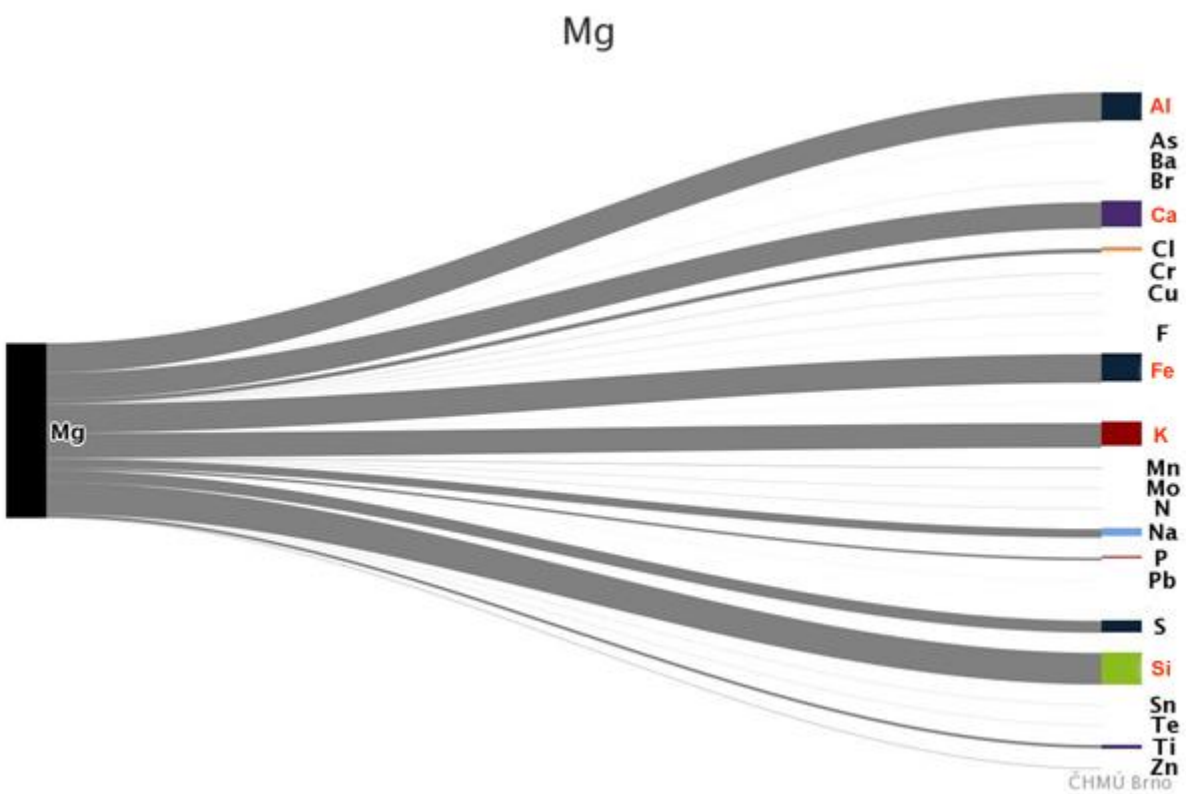
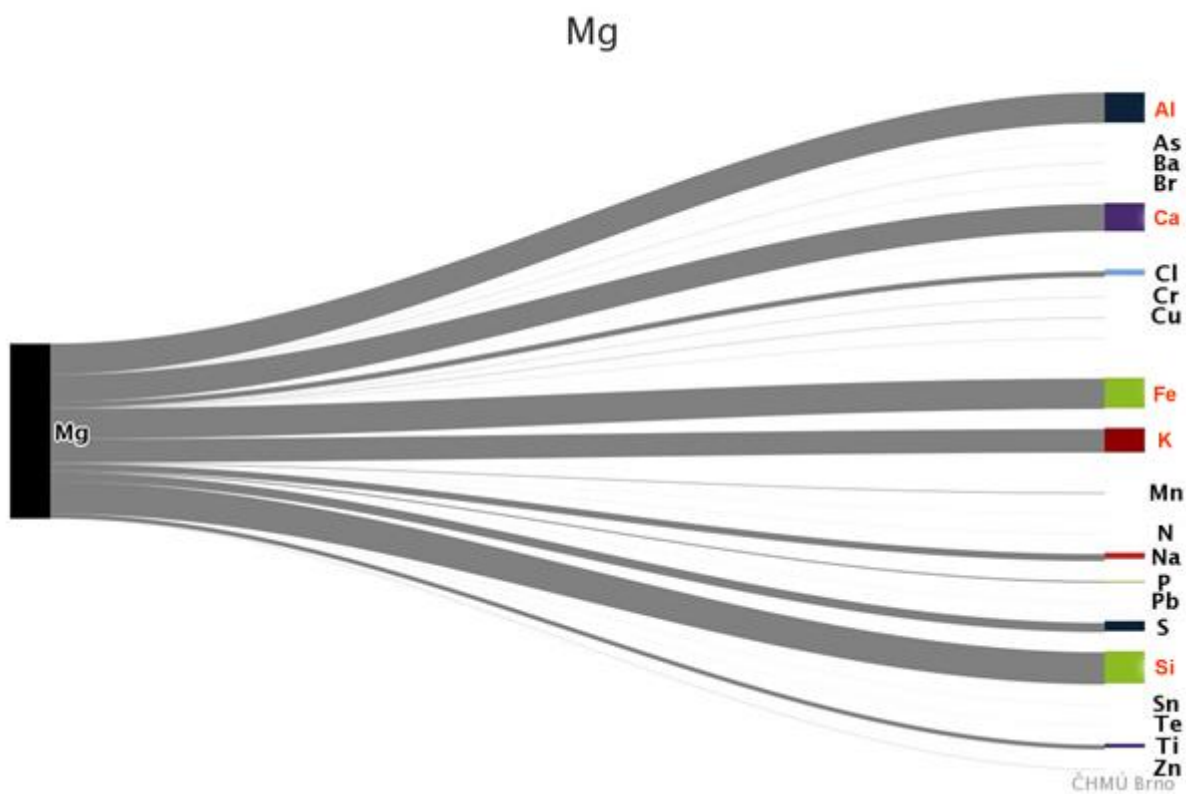
Párový diagram pro baryum (Ba) (Obr. 11) ukázal, že se tento prvek v částicích odebraných v den bez ohňostroje (pozadí) vyskytoval především v kombinaci se železem, křemíkem a sírou a jedná se tak pravděpodobně o částice, které vznikly otěrem brzdových destiček, kde se baryum ve formě síranu (baryt, BaSO_4) používá jako plnivo. Součástí brzdových destiček jsou také titan (Ti), měď (Cu), hliník (Al) a zinek (Zn). V případě vzorku odebraného během ohňostroje 8. 6. (Obr. 12) obsahovala většina částic Ba jako majoritně zastoupený prvek (barví plamen zeleně), zatímco v případě vzorku z 10. 6. bylo baryum především příměsí železa.

Stroncium (Sr), které se používá k červenému zbarvení plamene, bylo výrazněji zastoupeno pouze ve vzorku odebraném 8. 6. a v částicích se vyskytovalo především v kombinaci s prvky typickými pro pyrotechnické slože jako jsou draslík (K), síra (S), chlor (Cl) a hořčík (Mg), jak ukazuje párový diagram na Obr. 12. Vzorek odebraný 1. 6. obsahoval jen malý podíl částic obsahujících Sr, což může

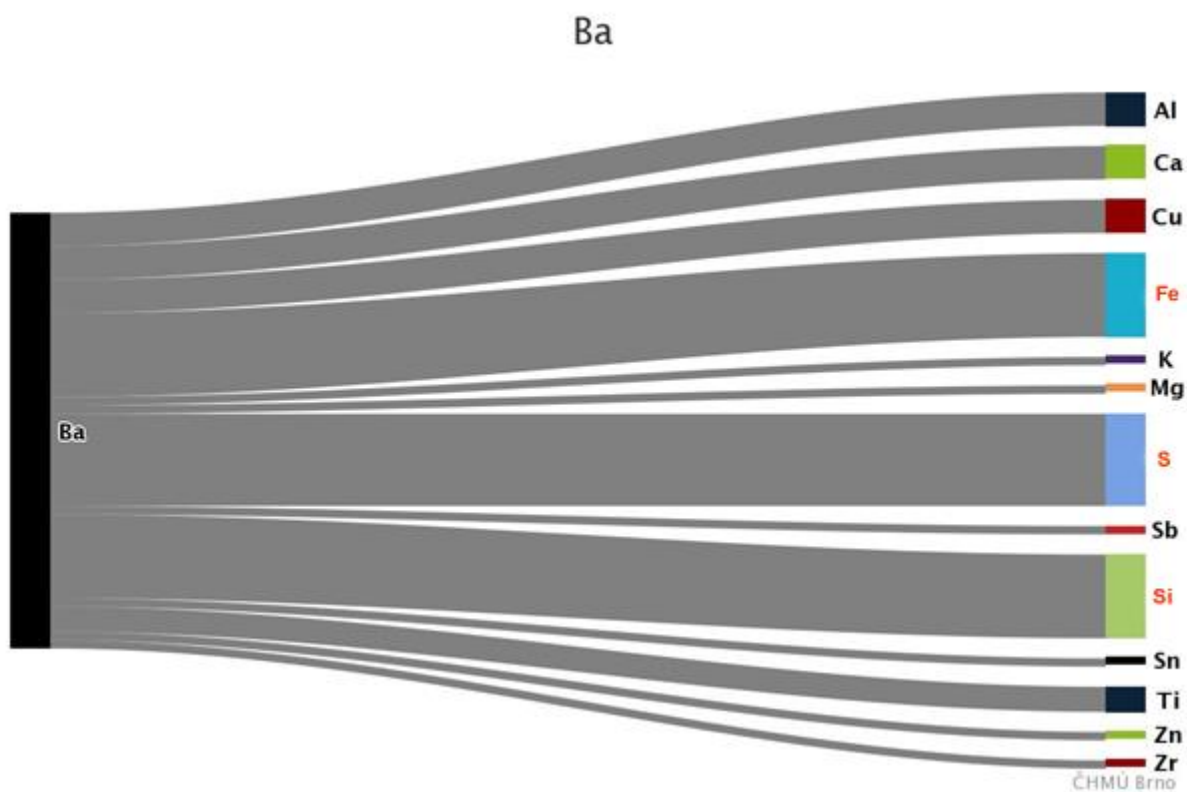
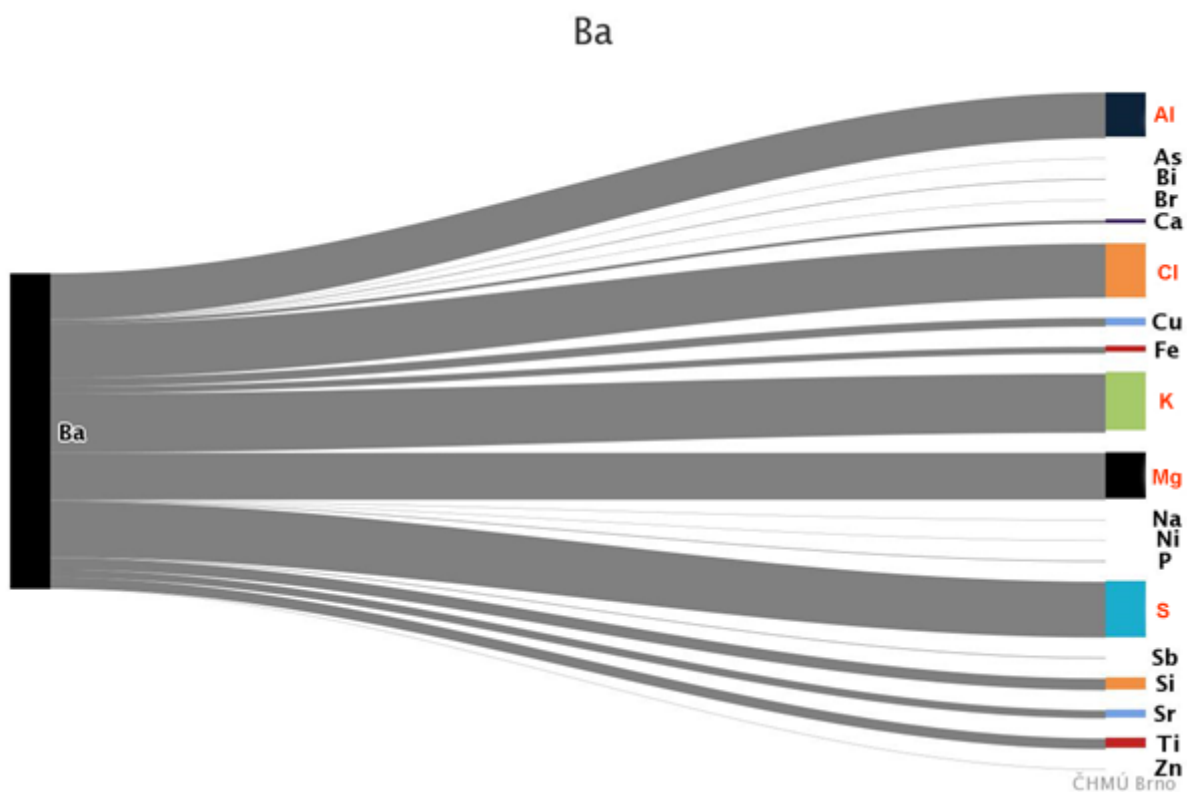
být dáno konkrétním barevným laděním ohňostroje, kdy červená barva mohla být nahrazena oranžovou (vápenaté soli).



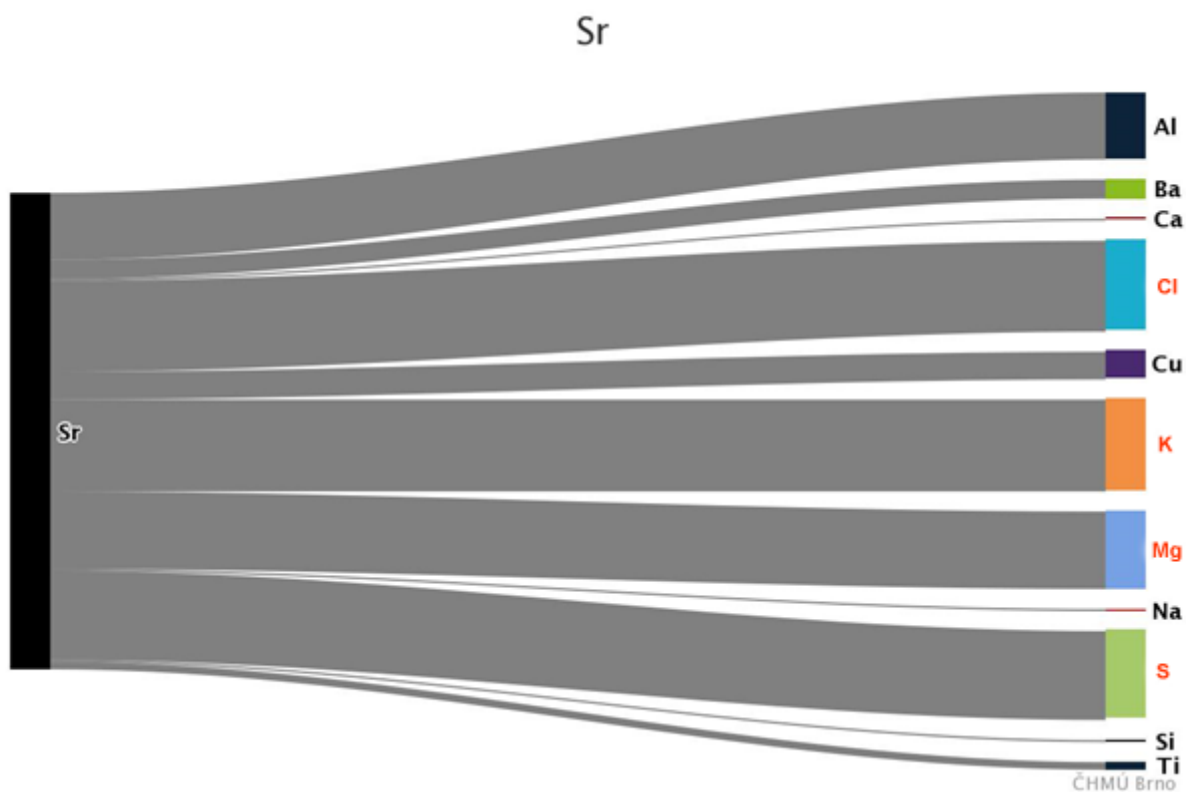
Obrázek 89 - Párový diagram, hořčík (Mg), 1. 6. (nahore) a 8. 6. (dole).



Obrázek 90 - Párový diagram, hořčík (Mg), 5. 6. (nahore) a 10. 6. (dole).

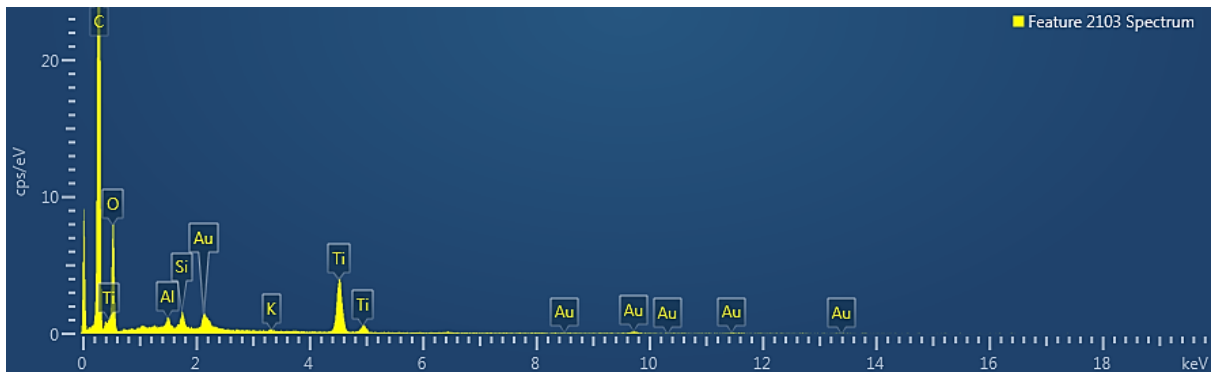
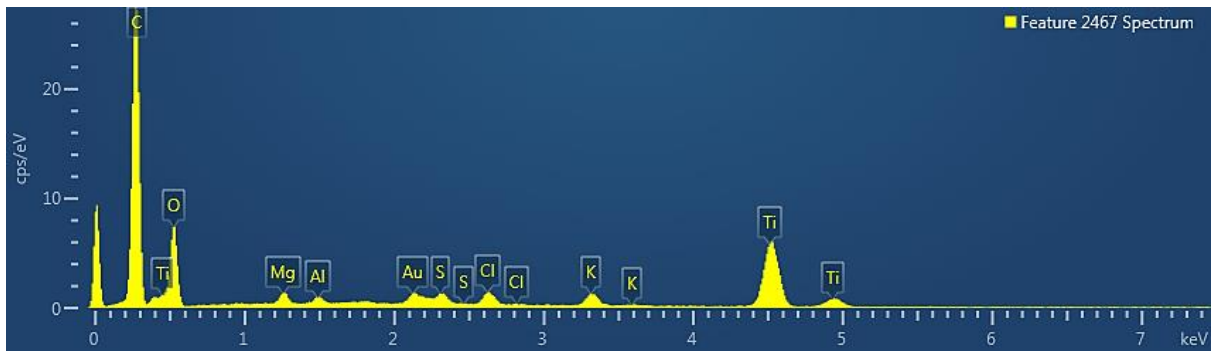


Obrázek 91 - Párový diagram, baryum (Ba), 8. 6. (nahore) a 10. 6. (dole).



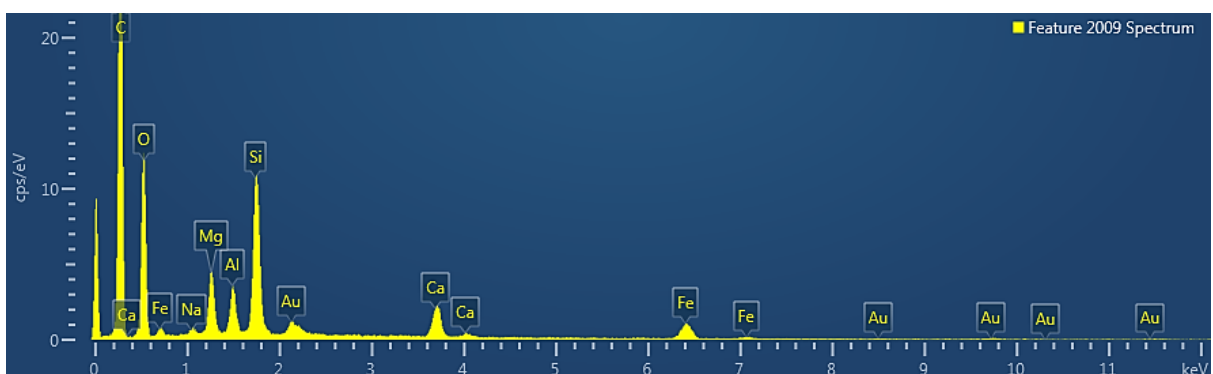
Obrázek 92 - Párový diagram, stroncium (Sr), 8. 6.

Titan (Ti), který se v pyrotechnických složích používá k produkci zářivě bílých jisker (alternativa k Al a Mg), byl v částicích, ve kterých byl zastoupen více jak 70 hm. %, v kombinaci s K, S, případně Cl, Al a Mg a to v případě vzorku odebraného během ohňostroje 8. 6., zatímco částice vzorku odebraného v den bez ohňostroje (10. 6.) obsahovaly Ti pouze v kombinaci s Si a Al (Obr. 13).



Obrázek 93 - RTG spektra částic obsahujících majoritně Ti (více než 70 hm. %), 8. 6. (nahore), 10. 6. (dole).

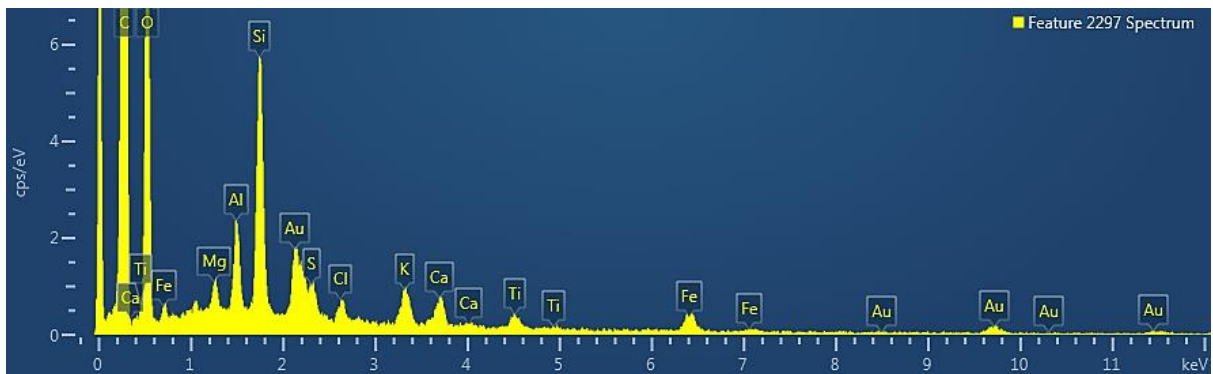
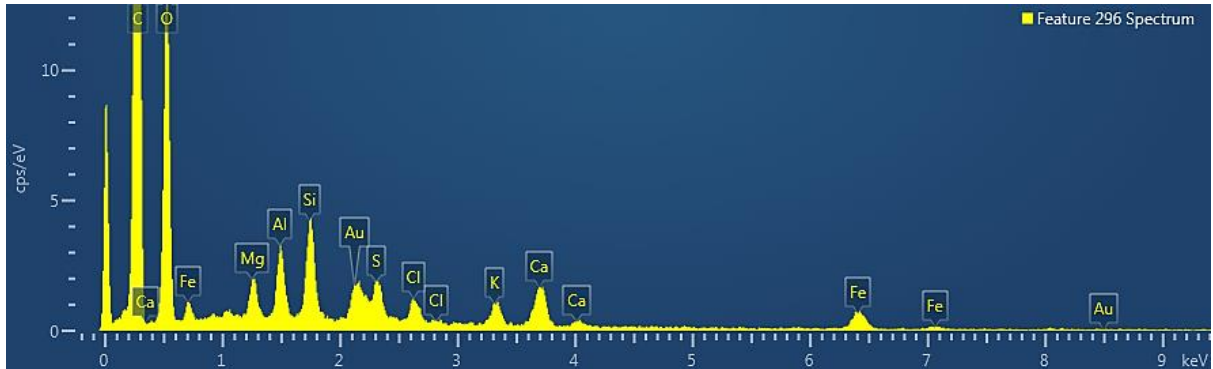
Železo (Fe) se v případě vzorků odebraných 5. 6., kdy převažovalo jihozápadní proudění větru, a 10. 6., tedy dne bez ohňostroje, vyskytovalo především ve formě na železo bohatých hlinitokřemičitanů (Obr. 14).



Obrázek 94 - RTG spektrum půdní částice, vzorek z 10. 6. (pozadí).

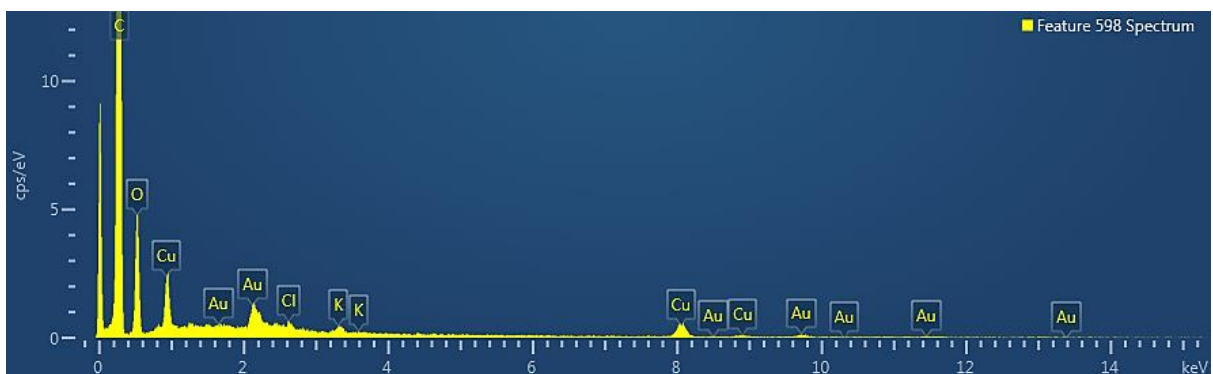
Ve vzorku z 8. 6. obsahovalo 97 % částic a ve vzorku z 1. 8. 81 % částic na železobohatých hlinitokřemičitanů chlor (Cl) a draslík (K), často ještě v kombinaci s titanem (Ti) (Obr. 15). V případě

vzorku z 5. 6. to bylo 10 % částic, 10. 6. byl podíl těchto částic na celkovém počtu částic na železobohatých hlinitokřemičitanů pouze 5 %.



Obrázek 95 - RTG spektra částic hlinitokřemičitanů bohatých na železo s v pyrotechnických složích používanými prvky K, Cl a Ti.

Ve vzorku odebraném během ohňostroje 8. 6. byly také detekovány částice obsahující měď (Obr. 16), která barví plamen modře.



Obrázek 96 - RTG spektrum částice obsahující v pyrotechnických složích používané prvky Cu, K a Cl.

8.4 SOUHRN VÝSLEDKŮ ČÁSTICOVÉ ANALÝZY

Výsledky částicové analýzy ukázaly významný rozdíl ve složení částic vzorků odebraných během ohňostrojí a vzorku referenčním (mimoohňostrojovým). Zatímco vzorky odebrané během ohňostrojí obsahovaly vysoký podíl částic zařazených do kategorie “Ohňostroje”, vzorek referenční obsahoval těchto částic jen několik % a většinu částic tvořily částice zařazené do kategorie hlinitokřemičitanů, tedy částice hornin a minerálů, které jsou jednou ze složek půdy.

CCSEM/EDX se ukázala jako vhodná doplňková metoda k chemické analýze v objemu (ICP/MS), která poskytla informaci o koncentracích vybraných prvků ve vzorku, ale nepřinesla informace o jednotlivých částicích.

9. SROVNÁNÍ S DALŠÍMI STANICEMI V BRNĚ

9.1 Úvod

V kapitolách o plynných znečišťujících látkách a suspendovaných částicích bylo ukázáno na nárůsty některých polutantů během odpalování ohňostrojí. V této kapitole se podíváme na srovnání těchto koncentrací s koncentracemi na dalších stanicích imisního monitoringu v Brně, což dané hodnoty lépe uvede do kontextu a srovnání.

9.2 SROVNÁVANÉ STANICE

Do srovnání byly zařazeny automatizované stanice imisního monitoringu patřící do Státní sítě imisního monitoringu (SSIM) spravované ČHMÚ. Tyto stanice jsou ve správě buď ČHMÚ nebo Magistrátu města Brna. Pro srovnání byly vybrány jak dopravní, tak pozadřové stanice a také jediná průmyslová stanice v regionu, stanice Brno-Zvonařka. Je také třeba říci, že charakter lokality odpaliště na brněnské přehradě odpovídá pozadřové lokalitě. Do srovnání byla zahrnuta také regionální pozadřová stanice Mikulov-Sedlec.

Tabulka 21 – Přehled stanic zahrnutých ve srovnání a jejich charakteristika

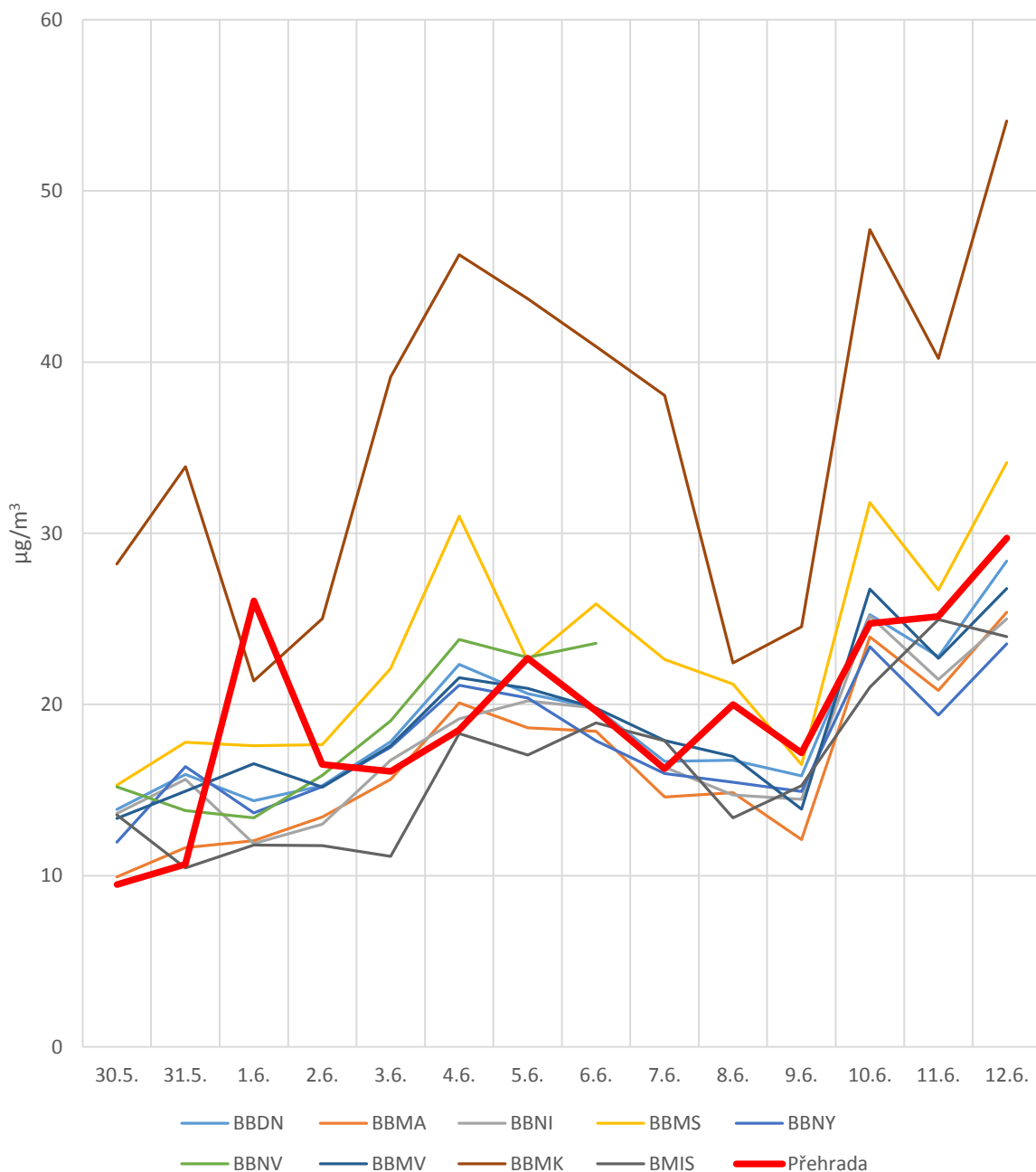
Stanice	ID	Typ stanice	Typ zóny	Charakteristika zóny
Brno – Dětská nemocnice	BBDN	pozadřová	městská	obytná, obchodní
Brno – Arboretum	BBMA	pozadřová	městská	obytná, přírodní
Brno – Líšeň	BBNI	pozadřová	městská	obytná
Brno – Svatoplukova	BBMS	dopravní	městská	obytná
Brno – Tuřany	BBNY	pozadřová	předměstská	obytná
Brno – Úvoz (hot spot)	BBNV	dopravní	městská	obytná
Brno – Výstaviště	BBMV	dopravní	městská	obchodní
Brno – Zvonařka	BBMK	průmyslová	městská	obchodní
Mikulov-Sedlec	BMIS	pozadřová	venkovská	zemědělská

Je dále třeba zmínit, že ne všechny stanice monitorují všechny znečišťující látky.

9.3 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE

9.3.1 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀

Následující graf ukazuje průběh průměrných denních koncentrací PM₁₀ za sledované období 30. 5. až 12. 6. Data z měřicího vozu na přehradě jsou zobrazena tučnou červenou čarou.



Obrázek 97 – průměrné denní koncentrace PM₁₀ na vybraných stanicích imisního monitoringu a na přehradě.

Z grafu je dobře patrná odchylka průmyslové stanice Brno-Zvonařka (BBMK), kde jsou hodnoty PM_{10} výrazně vyšší než na jakékoliv jiné stanici (o příčinách této anomálie vypracoval ČHMÚ Brno odbornou zprávu na jaře 2019, která jasně prokázala, že za zvýšeným znečištěním stojí intenzivní stavební práce probíhající všude v okolí stanice).

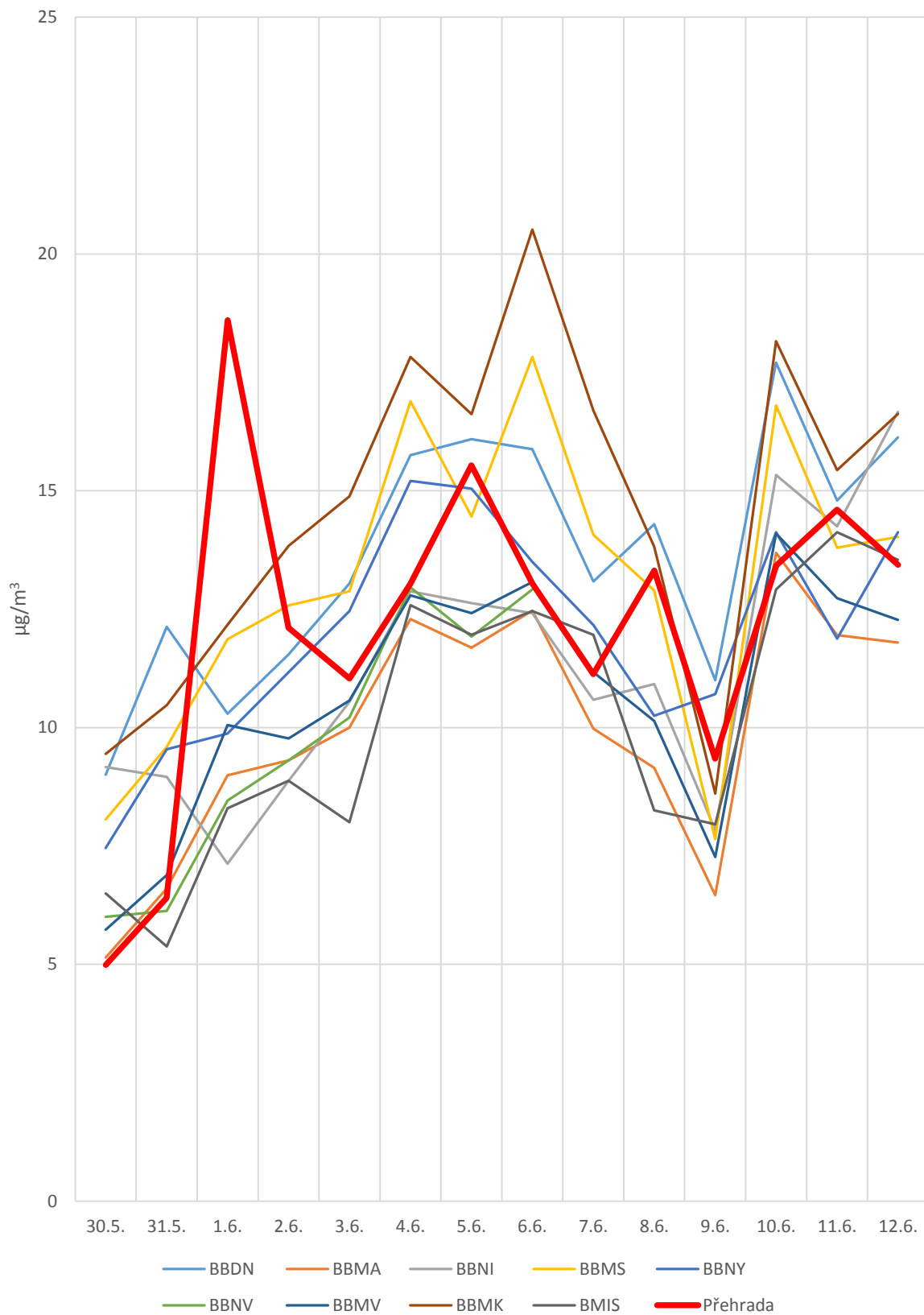
Nejvyšší celkový průměr koncentrace PM_{10} za toto období tedy byl zcela jasně pozorován na stanici Brno-Zvonařka ($36,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Druhý nejvyšší průměr byl zaznamenán na dopravní stanici Brno-Svatoplukova, která dlouhodobě patří ke stanicím s nejvyššími koncentracemi prachových částic a oxidů dusíku v Brně.

Celkový průměr na přehradě byl za dané období $19,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tato hodnota víceméně odpovídá například hodnotě naměřené na pozadřové stanici Brno-Dětská nemocnice ($19,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Je však mírně vyšší než například na stanici Brno-Líšeň ($17,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), předměstské stanici Brno-Tuřany ($17,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nebo regionální pozadřové stanici Mikulov-Sedlec ($16,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Pokud se podíváme na hodnoty ze dvou dní, kdy byl odpalován ohňostroj a kouřová vlečka přešla přes vzorkovače, tedy 1. 6. a 8. 6., pak je vidět, že krátkodobé velmi vysoké hodnoty (až kolem $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dokáží výrazněji zvýšit celkový denní průměr. 1. června byl nejvyšší denní průměr ze srovnávaných stanic právě v lokalitě přehrady (viz graf). 8. června už hodnoty na přehradě v maximum nedosahovaly během ohňostrojů tak vysokých čísel a vyšší denní průměr byl naměřen na stanicích Brno-Zvonařka a Brno-Svatoplukova.

9.3.2 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE $PM_{2,5}$

Následující graf ukazuje průběh průměrných denních koncentrací $PM_{2,5}$ za sledované období 30. 5. až 12. 6. Data z měřicího vozu na přehradě jsou zobrazena tučnou červenou čarou.



Obrázek 98 - průměrné denní koncentrace PM_{2.5} na vybraných stanicích imisního monitoringu a na přehradě.

Podobně jako v případě částic PM₁₀ také v tomto případě byl naměřen celkově nejvyšší průměr koncentrací na stanici Brno-Zvonařka (14,6 µg/m³). Následovaly stanice Brno-Dětská nemocnice (13,6 µg/m³), Brno-Svatoplukova (13,1 µg/m³) a právě lokalita přehrada (12,1 µg/m³).

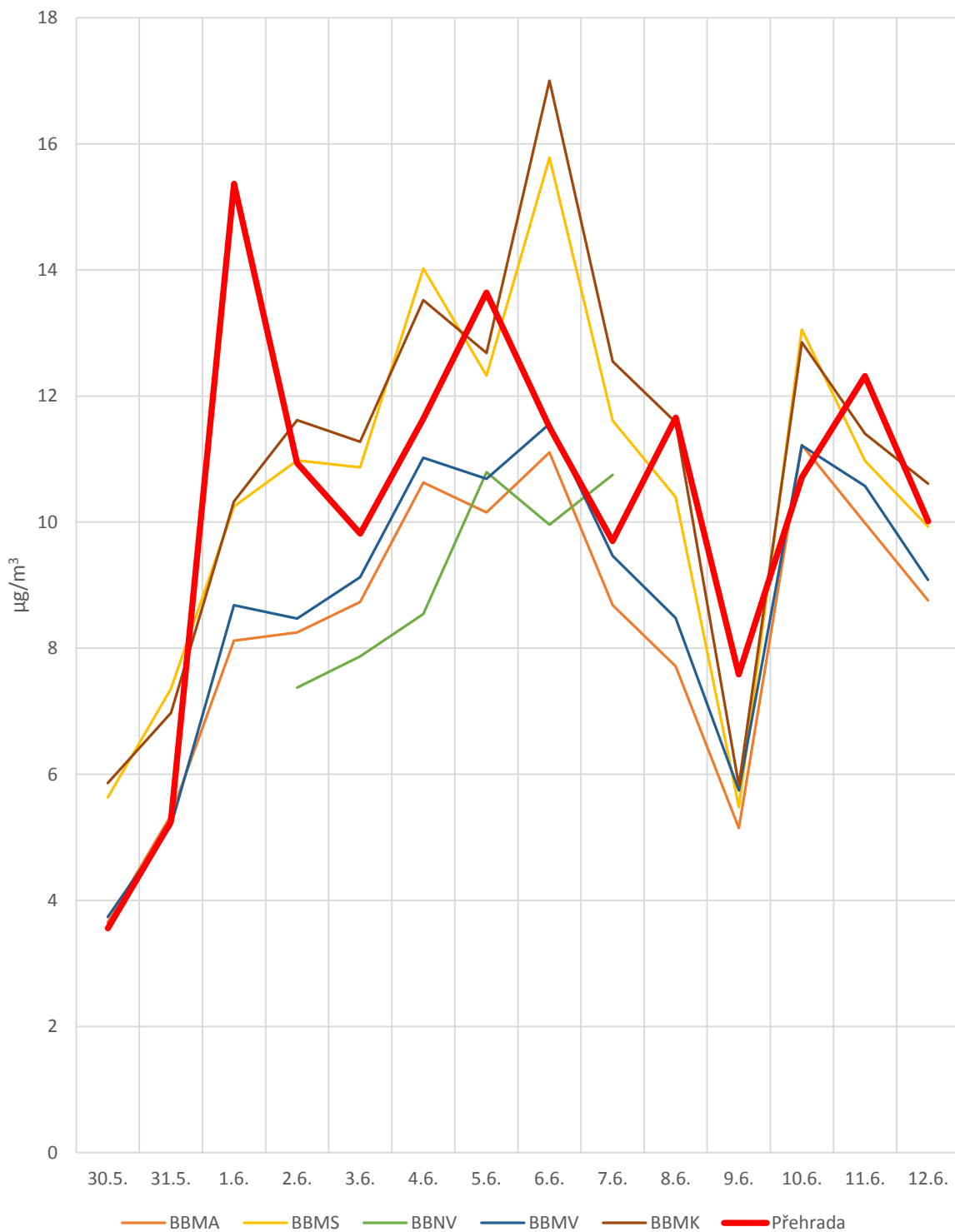
V den konání prvního ohňostroje 1. června vedla krátkodobé špičky koncentrací PM_{2,5} k celkovému výraznějšímu navýšení denního průměru, který je pro tento den ze všech srovnávaných stanic nejvyšší (18,6 µg/m³). I přes velmi vysoké hodnoty PM_{2,5} v některých desetiminutových intervalech (překračující 200 µg/m³) se nejednalo o celkově nejvyšší denní průměr ve sledovaném období. Ten byl naměřen na stanici Brno-Zvonařka 6. června (20,5 µg/m³).

Celkově lze říci, že mezi naměřenými hodnotami v dané období v celkovém průměru nejsou velké rozdíly. Za celé sledované období byl nejnižší průměr koncentrací PM_{2,5} pozorován na stanici Brno-Arboretum (10,0 µg/m³), nejvyšší na stanici Brno-Zvonařka (14,6 µg/m³). Hodnota ročního imisního limitu je podle stávající legislativy 25 µg/m³, podle nové legislativy, platné od 1. ledna 2020, to bude 20 µg/m³.

9.3.3 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁

Jak již bylo zmíněno v kapitole o suspendovaných částicích, monitoring frakce PM₁ je relativní novinkou a počet stanic monitorujících tuto velikostní frakci není vysoký.

Následující graf ukazuje průběh průměrných denních koncentrací PM₁ za sledované období 30. 5. až 12. 6. Data z měřicího vozu na přehradě jsou zobrazena tučnou červenou čarou.

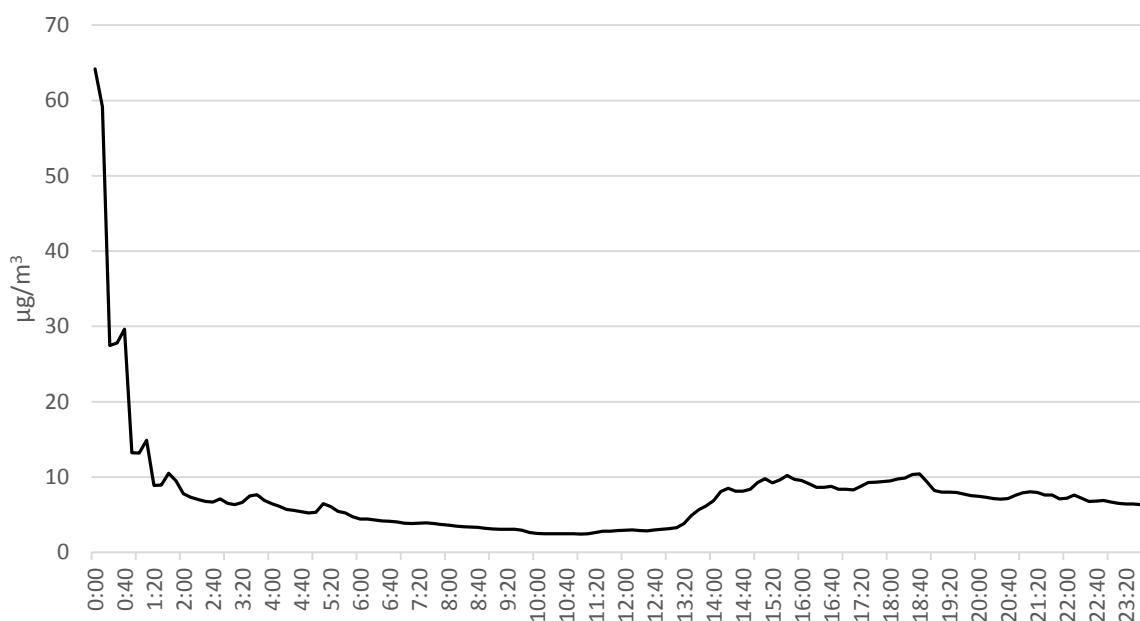


Obrázek 99 - průměrné denní koncentrace PM₁ na vybraných stanicích imisního monitoringu a na přehradě.

Tak jako v případě frakcí PM₁₀ a PM_{2,5}, i v případě frakce PM₁ byl naměřen za celé období nejvyšší průměr na průmyslové stanici Brno-Zvonařka (BBMK) a to 11,0 µg/m³. Druhý nejvyšší průměr pak byl pozorován na stanici Brno-Svatoplukova (10,6 µg/m³). V lokalitě brněnské přehrady byl

pozorován celkový průměr koncentrace PM_{10} $10,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tento průměr je zvýšen zejména vzhledem k vyšší koncentraci PM_{10} 1. června 2019, která souvisí s krátkodobými velmi vysokými hodnotami v období odpalu ohňostroje. Tento den byl průměr v této lokalitě nejvyšší ze všech sledovaných stanic ($15,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Zajímavé je také povšimnout si hodnot 9. června. Tento den byly koncentrace PM_{10} na všech stanicích relativně nízké, i v tento den byl nejvyšší průměr ze všech stanic pozorován právě v lokalitě přehrady. Příčinou jsou zvýšené koncentrace krátce po půlnoci. Jen o pár hodin předtím byl odpálen třetí ohňostroj a zdroje přímo (pyrotechnické výbuchy) i nepřímo (pohyb lidí, grilování, kouření, zvýšená doprava) související s akcí Ignis Brunensis byly stále patrné vzhledem k velmi nízkým rychlostem větru. Tuto situaci nejlépe popisuje níže uvedený graf průběhu koncentrací PM_{10} 9. června 2019 v lokalitě brněnské přehrady.



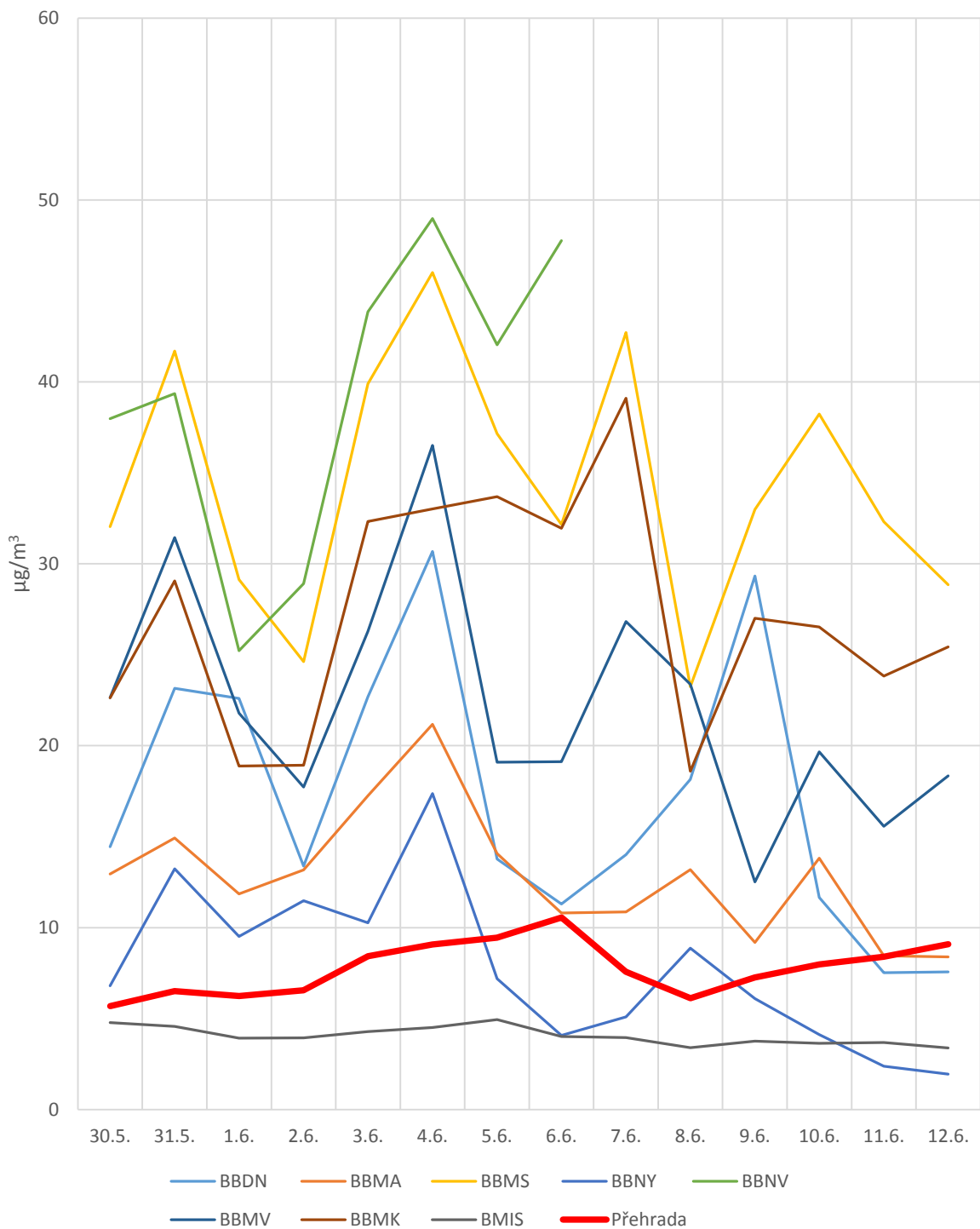
Obrázek 100 – průběh koncentrací PM_{10} v lokalitě brněnské přehrady 9. června 2019

9.4 OXID DUSIČITÝ (NO_2)

Jak bylo ukázáno v kapitole o NO_2 , docházelo na přehradě ke krátkodobým nárůstům i této látky a to především v důsledku zvýšené dopravní zátěže v oblasti brněnské přehrady, která souvisela s odpalováním ohňostrojů. Samotné pyrotechnické složky pak na základě naměřených koncentrací a meteorologických veličin měly rovněž na koncentraci NO_2 vliv, avšak ve výrazně menší míře.

Obecně lze říci, že hlavním zdrojem NO₂ v ČR je především doprava. Nejvyšší koncentrace NO₂ jsou tedy dlouhodobě jednoznačně pozorovány na dopravních stanicích. V Brně patří k nejzatíženějším stanice Brno-Svatoplukova, Brno-Úvoz (hot spot) a stanice Brno-Zvonařka (která před překlasifikací na průmyslovou byla stanicí dopravní).

Následující graf ukazuje průběh průměrných denních koncentrací NO₂ za sledované období 30. 5. až 12. 6. Data z měřicího vozu na přehradě jsou zobrazena tučnou červenou čarou.



Obrázek 101 - průměrné denní koncentrace NO₂ na vybraných stanicích imisního monitoringu a na přehradě.

Z grafu je jasně patrné, že nejvyšší koncentrace jsou pozorovány na dopravně velmi zatížených lokalitách Brno-Svatoplukova a Brno-Úvoz (hot spot). Naopak jednoznačně nejnižší jsou na regionální pozadřové stanici Mikulov-Sedlec, kde je dopravní zátěž minimální.

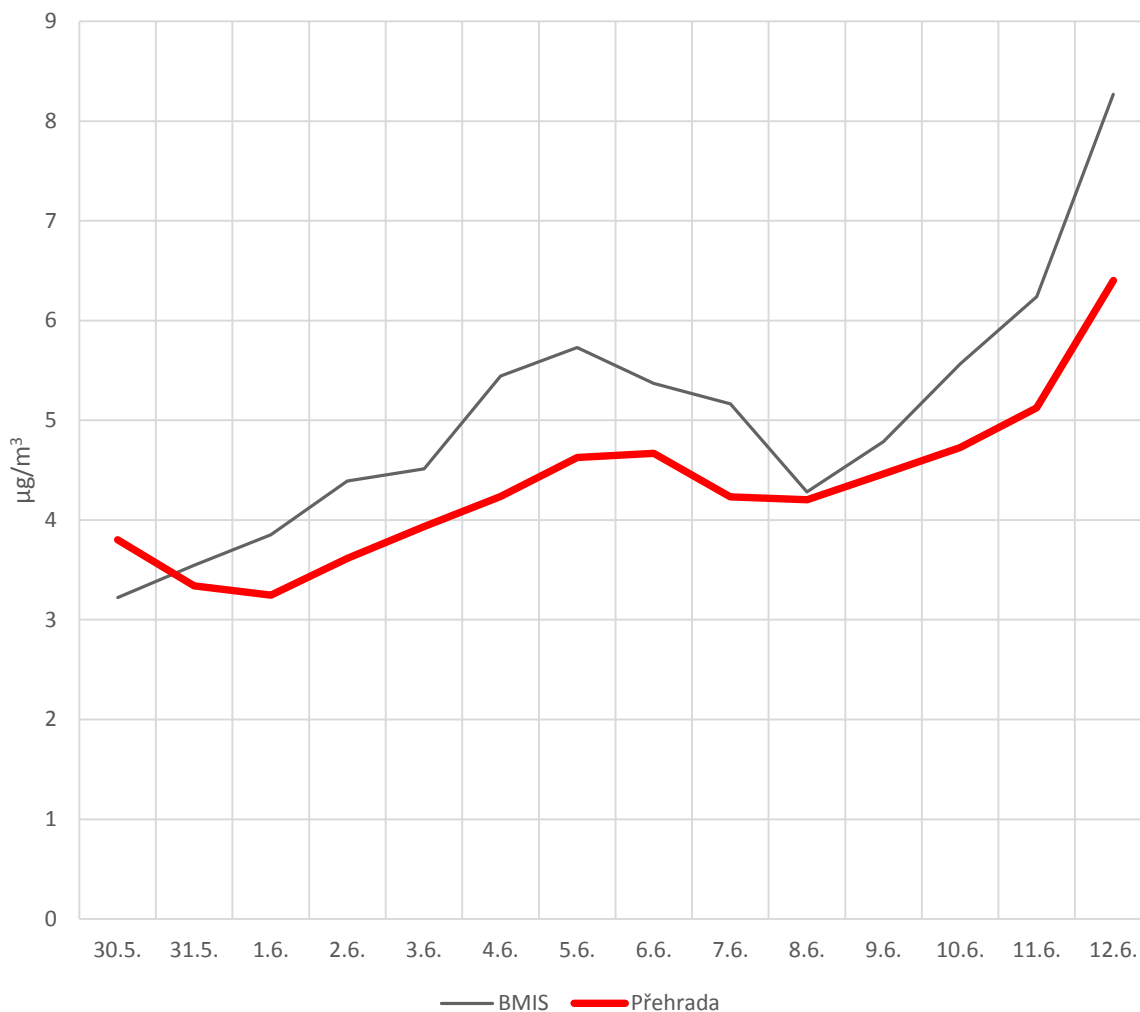
Krátkodobá zvýšení koncentrací NO_2 během odpalování ohňostrojů nebyla natolik výrazná, aby se významněji promítla do průměrných denních koncentrací. Celkový průměr koncentrace NO_2 za sledované období je v lokalitě přehrady totožný s průměrnou koncentrací na pozadové předměstské stanici Brno-Tuřany, umístěné přímo v areálu brněnského letiště na periferii města. Na obou těchto stanicích se tento celkový průměr pohyboval kolem $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Čtvrtý nejnižší celkový průměr byl pozorován na stanici Brno-Arboretum, pozadové stanici, a jeho hodnota činila téměř dvojnásobek hodnoty na přehradě ($12,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Pokud se podíváme pouze na data z brněnské přehrady, je patrné, že nejvyšší denní průměrná koncentrace byla naměřena 6. června, tedy v den, kdy nebyl odpalován žádný ohňostroj.

9.5 OSTATNÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY

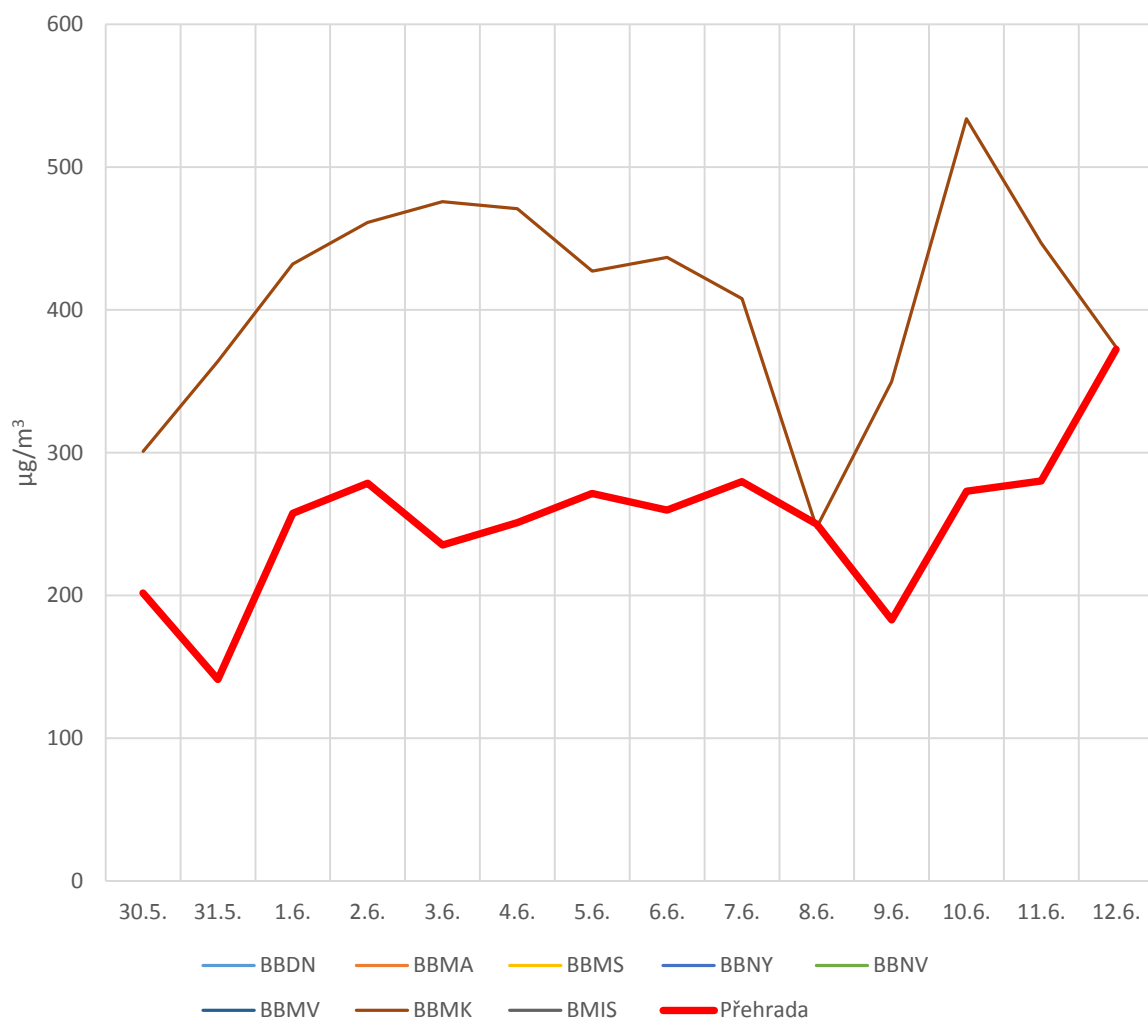
U oxidu siřičitého (SO_2) a oxidu uhelnatého (CO) nebyla pozorována žádná korelace s odpalováním ohňostrojů.

Jak ukazuje následující graf, koncentrace SO_2 se na přehradě po celou sledovanou dobu pohybovaly na úrovni venkovské regionální pozadové stanice Mikulov-Sedlec.



Obrázek 102 - průměrné denní koncentrace SO_2 na stanici Mikulov-Sedlec a na přehradě.

Nápodobně v případě CO byly hodnoty velmi nízké, tak jako je tomu dnes v celé České republice. Níže uvedený graf ukazuje srovnání denních průměrných koncentrací CO na stanici Brno-Zvonařka a v lokalitě přehrady. Vzhledem výrazně odlišné dopravní zátěži jsou koncentrace na Zvonařce výrazně vyšší, ale v kontextu imisního limitu ($10\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ v ročním průměru) se stále jedná o hodnoty více než 10× nižší, než činí imisní limit.



Obrázek 103 - průměrné denní koncentrace CO na stanici Brno-Zvonařka a na přehradě.

10. ZÁVĚR

V roce 2019 bylo v rámci ohňostrojevé přehlídky, podobně jako v minulých letech, provedeno **měření kvality ovzduší zahrnující kontinuální monitoring suspendovaných částic frakcí PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁, a plyných znečišťujících látek** – oxidu dusičitého (NO₂), oxidu dusnatého (NO), oxidů dusíku (NO_x), oxidu siřičitého (SO₂) a oxidu uhelnatého (CO). Paralelně bylo provedeno vzorkování frakce PM₁₀ a PM_{2,5} a exponované filtry analyzovány z pohledu **koncentrací kovů** a to nejen těžkých kovů s platným imisním limitem, ale také dalších kovů, jelikož jsou některé z nich nedílnou součástí pyrotechnických složí. Nad rámec těchto relativně běžných měření a vzorkování bylo provedeno také vzorkování **nízkoobjemovým vzorkovačem na polykarbonátové filtry a ty následně podrobeny komplexní částicové analýze skenovacím elektronovým mikroskopem**. Tato analýza dokáže poskytnout výrazně bohatší informaci, než představuje prosté číslo hodnotící koncentraci – umožňuje získat informaci o jednotlivých částicích – jejich tvaru a velikosti a prvkovém složení.

Z naměřených dat, ať už koncentrací znečišťujících látek, tak meteorologických podmínek, se ukázalo, že **z hlediska vlivu odpalování pyrotechniky je relevantní zabývat se zejména daty naměřenými během prvního (1. 6.) a třetího (8. 6.) ohňostroje**, kdy kouřová vlečka z odpalové rampy putovala směrem ke vzorkovačům. Zbylé dva ohňostroje (5. 6. a 12. 6.) foukalo v lokalitě přehrady jiným směrem a nárůst koncentrací kterékoliv znečišťující látky tak nelze dávat na vrub odpalování. Dobře je to patrné zejména na koncentracích draslíku. Ten jako nedílná součást střelného prachu vykazuje vysoký nárůst koncentrace při odpalech pyrotechniky a proto lze považovat za vhodný marker. Během prvního i třetího ohňostroje narostly koncentrace K řádově, zatímco během zbylých dvou vůbec.



Obrázek 104 – kouřová vlečka tvořící se v místě odpalové rampy během ohňostroje 8. 6. 2019.

10.1 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE

Během akce byly monitorovány frakce PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁. **Denní průměrné koncentrace PM₁₀ se pohybovaly mezi 9,5 a 29,7 µg/m³.** V maximech však dosahovaly výrazně vyšších hodnot – a to právě v době odpalování ohňostrojí.

Absolutně nejvyšší koncentrace PM₁₀ byla naměřena krátce před první ohňostrojem 1. 6. 2019 a to **284,1 µg/m³**. Na jednu stranu lze říci, že takováto koncentrace odpovídá zhruba stavům během výrazných smogových situací, na druhou stranu se jednalo o hodnotu naměřenou během jednoho desetiminutového intervalu a následoval rychlý pokles. Koncentrace se vyšplhaly nahoru také během třetího ohňostroje, tentokrát však pouze na 125,8 µg/m³.

Paradoxně však byla absolutně nejvyšší koncentrace PM₁₀ naměřena **ještě před začátkem samotného ohňostroje**. Zdrojem takto vysokých koncentrací pravděpodobně budou **činnosti spojené s přehlídkou jako takovou** – ohňostroj zde tedy nemá přímý vliv (znečištění výbuchy pyrotechnických složí), ale spíše nepřímý vliv (pohyb velkého počtu osob, aut a jejich aktivita – resuspenze chůzí, stánky s grilováním, cigaretový kouř apod.).

Imisní limit pro 24h koncentraci PM₁₀, tedy 50 µg/m³, překročen nebyl ani v jeden den.

V případě částic frakce PM_{2,5} se průměrné 24h koncentrace pohybovaly mezi 5,0 a 18,6 µg/m³. Průběh koncentrace PM_{2,5} velmi dobře koreloval s průběhem koncentrace PM₁₀ – **nejvyšší hodnota 212,8 µg/m³** byla pozorována těsně před prvním ohňostrojem 1. 6., během třetího ohňostroje se koncentrace vyšplhaly na 97,9 µg/m³ v maximálním 10minutovém průměru.

Průměrné denní koncentrace PM₁ se pohybovaly mezi 3,6 a 15,4 µg/m³, v 10minutových intervalech pak mezi 1,0 a 153,0 µg/m³. Průběh koncentrací PM₁ odpovídá průběhu koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5}.

Koncentrační růžice pro suspendované částice vypadají pro všechny frakce velmi podobně. Jsou zde patrná **dvě ohniska** – jedno přibližně jihovýchodně od měřícího místa a jedno na severozápad (odpalová rampa). Vysoké koncentrace suspendovaných částic během ohňostroje tak jsou dány jak samotnými pyrotechnickými výrobky a jejich výbuchy, tak nepřímými vlivy spojenými s konáním přehlídky (viz výše).

10.2 OXID DUSIČITÝ (NO₂)

Koncentrace oxidu dusičitého se v denním průměru pohybovaly mezi 5,7 a 10,6 µg/m³. Absolutně maximální naměřená hodnota v jednotlivé 10minutové intervaly byla 37,6 µg/m³. Při pohledu na průběh koncentrací NO₂ během sledovaného období od 30. 5. do 13. 6. lze na grafu vidět několik špiček, kdy koncentrace dosahovaly hodnot mezi přibližně 30 a 40 µg/m³. Jednalo se jak o období konání ohňostroje, tak některé časy mimo ohňostroj.

Koncentrační růžice jasně ukázala, že hlavním zdrojem NO₂ byl jihovýchodní až východní směr. Příčinou zvýšených koncentrací tak byla výrazně intenzivnější dopravní zátěž v areálu přehrady a jejím okolí, než je pro tuto lokalitu běžné. Samotné odpalování ohňostrojů se může také podílet na vzniku NO₂, z koncentrační růžice to je mírně patrné na severozápad od vzorkovače, tedy v místě odpalovací rampy.

Hodinový imisní limit pro NO₂ (200 µg/m³) nebyl překročen ani jednou a absolutně maximální 10minutová hodnota 37,6 µg/m³ je stále nižší, než činí i hodnota imisního limitu pro roční průměr (40 µg/m³).

10.3 Kovy

Co se týče čtyř těžkých kovů s platným imisním limitem, tedy arsenu, niklu, kadmia a olova, lze říci, že byly koncentrace po celou dobu měření hluboko pod hodnotou imisního limitu (řádově nižší). Nepatrný vliv ohňostrojů byl zaznamenán pouze v případě olova. I tady je však nutné podotknout, že maximální koncentrace pro 4h interval během prvního ohňostroje byla 8,9 ng/m³. Imisní limit pro roční průměr má hodnotu 500 ng/m³.

Výrazný vzestup koncentrací však byl pozorován zejména u některých dalších kovů, které nemají stanoven imisní limit, v ovzduší se řada z nich běžně nevyskytuje a zdrojem jsou zde jednoznačně právě výbuchy pyrotechnických složí. Řada těchto kovů se vyznačuje konkrétní barvou plamene, čehož je právě využíváno k docílení barevných efektů ohňostrojů.

Z naměřených dat vyplývá, že největší poměrový nárůst byl zaznamenán u stroncia (hojně používaný kov barvící plamen jasně červeně). Další velmi významný rozdíl byl zaznamenán u draslíku, barya a mědi. Více než 10násobné koncentrace během ohňostrojů ve srovnání s referenční periodou byly dále pozorovány u bismutu, hořčíku a titanu. Všechny výše jmenované kovy jsou kovy běžně používané v pyrotechnických složích.

10.4 DALŠÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY

Měřicí vůz kromě oxidů dusíku a suspendovaných částic kontinuálně monitoroval také koncentrace **oxidu siřičitého (SO₂)** a **oxidu uhelnatého (CO)**. Obě tyto znečišťující látky již dnes v celé České republice nepředstavují problém a jsou trvale hluboko pod hodnotou imisního limitu (až na naprosto výjimečné situace v několika málo lokalitách v ČR).

Dle naměřených dat nebyl pozorován žádný vliv odpalování pyrotechniky a konání přehlídky jako takové na koncentrace těchto dvou látek. Imisní limit pro roční průměr SO₂ činí 125 µg/m³. Absolutně maximální hodnota naměřená v jednom z 10minutových intervalů byla 12,1 µg/m³. Denní průměry se pohybovaly mezi 3 a 6,5 µg/m³. U oxidu uhelnatého je hodnota imisního limitu pro maximální denní 8h klouzavý průměr 10 mg/m³ (10 000 µg/m³). Vůbec nejvyšší pozorovaná hodnota během přehlídky v jednom z 10minutových intervalů byla 0,606 mg/m³, tedy ani ne desetina imisního limitu pro 8h klouzavý průměr.

10.5 ČÁSTICOVÁ ANALÝZA SKENOVACÍM ELEKTRONOVÝM MIKROSKOPEM

Částicová analýza SEM potvrdila rozdíly mezi vzorky odebranými během odpalování ohňostrojů či krátce po něm a referenčním obdobím mimo odpalovací periodu. Vlastní software ČHMÚ Brno Airity potvrdil, že **vzorky odebrané během ohňostrojů obsahovaly částice s vysokým podílem prvků odpovídajících prvkům používaným v pyrotechnických složích** – například draslík, chlor či síru. Naopak referenční vzorek obsahoval výrazně vyšší podíl částic klasifikovaných jako smíšené hlinitokřemičitany a další třídy typické pro částice hornin a minerálů, které jsou jednou ze složek půdy.

V účelově vytvořené klasifikační třídě „ohňostroje“ (předpokládané částice vzniklé výbuchem pyrotechnické složky na základě chemického složení a tvaru) bylo během prvního a třetího ohňostroje (tedy ohňostrojů, kdy kouřová vlečka směřovala směrem ke vzorkovači) přiřazeno 81,7 % veškerých analyzovaných částic (1. 6.) respektive 73,9 % veškerých klasifikovaných částic (8. 6.). Během referenčního vzorkování 10. 6. byl počet takto zařazených částic více než desetinásobně nižší.

Velmi vysoký byl také podíl částic obsahujících draslík (během ohňostroje 1. 6. až 87,0 % částic) a částic obsahujících kombinaci draslíku a síry (během prvního ohňostroje více než 80 %, během třetího téměř 60 %, tyto dva prvky představují součást střelného prachu používaného takřka ve všech pyrotechnických výrobcích). Naopak během dní mimo ohňostroj, případně ve dnech ohňostroje za

směru větru mimo vzorkovače, byly vysoké koncentrace hlinitokřemičitanů a částic obsahujících křemík (téměř 50 %). Vysoký byl mimo ohňostroje také podíl částic obsahujících vápník a železo.

CCSEM/EDX je tedy vhodnou doplňkovou metodou k standardním analýzám poskytujícím informaci pouze o absolutní hodnotě koncentrace určité znečišťující látky. Analýza jednotlivých částic umožňuje sledovat také morfologii daných částic (přibližnou velikost a tvar) a hlavně chemické složení a kombinace prvků v jednotlivých částicích.

Příkladem je prvek hořčík – vyskytuje se běžně v půdě, ale používá se i v pyrotechnice. Samotná informace o vyšší koncentraci Mg není průkazná pro stanovení typu zdroje. Analýza SEM však ukázala, že částice obsahující Mg během ohňostrojů byly nejčastěji v částicích v kombinaci s prvky jako chlor, draslík či síra – prvky typickými pro ohňostroje, zatímco během referenčního období se hořčík v částicích vyskytoval spolu s prvky jako křemík, hliník, železo či vápník – prvky typickými pro půdy a obecně přírodní zdroje.

11. LITERATURA

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

Alizadeh T, Amjadi S. *Preparation of nano-sized Pb²⁺ 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.

Bahlmann H, Lindwall R, Persson H. *Acute barium nitrate intoxication treated by hemodialysis*. Acta anaesthesiologica scandinavica. 2005 Jan;49(1):110-2.

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.

Czyrska-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 nitrated 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 (SO₂) on growth and physiological activity in Alnus sieboldiana at Miyakejima Island in Japan*. Ecological research. 2014 Jan 1;29(1):103-10.

Iijima A, Sato K, Yano K, Kato M, Kozawa K, Furuta N. *Emission factor for antimony in brake abrasion dusts as one of the major atmospheric antimony sources*. Environmental science & technology. 2008 Mar 12;42(8):2937-42.

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.

Jefferson R. *Alkaline Materials: Sodium, Potassium, Cesium, Rubidium, Francium, and Lithium*. Patty's Toxicology. 2001 Apr 16:935-48.

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_{2.5}) 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, Dušinská 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).

Nriagu JO. *Production and uses of chromium. Chromium in the natural and human environments*. 1988 Mar 31;20:81-104.

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

Osredkar J, Sustar N. *Copper and zinc, biological role and significance of copper/zinc imbalance*. J. Clinic. Toxicol. S. 2011;3:2161-0495.

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

Park HS, Kang YH. *The Role of trivalent chromium as a supplement*. Journal of The Korean Society of Food Science and Nutrition. 2004.

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.

Powell SR. *The antioxidant properties of zinc.* The Journal of nutrition. 2000 May 1;130(5):1447S-54S.

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, Schauer V, Shozugawa K. *Concentration of strontium-90 at selected hot spots in Japan*. *PLoS one*. 2013 Mar 7;8(3):e57760.

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.

Tian YZ, Wang J, Peng X, Shi GL, Feng YC. *Estimation of the direct and indirect impacts of fireworks on the physicochemical characteristics of atmospheric PM 10 and PM 2.5*. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2014 Sep 16;14(18):9469-79.

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.

Tolcin, A. C. (2015). *Mineral Commodity Summaries 2015: Zinc*. United States Geological Survey. Archived (PDF) from the original on May 25, 2015. Retrieved May 27, 2015.

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.

Vincent JB. *Elucidating a biological role for chromium at a molecular level*. Accounts of chemical research. 2000 Jul 18;33(7):503-10.

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

Willis, R., Blanchard, F., Conner, T., 2002. *Guidelines for the application of SEM/EDX analytical techniques to particulate matter samples*. EPA Report No. 600/R-02/070.

Woodford C. *Titanium*. Marshall Cavendish; 2003.

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 Svobodové za provedení ICP-MS analýzy, Mgr. Lucii Sedlákové za gravimetrické stanovení, dále Bc. Radku Kronovetovi z MMB za pomoc s organizací měření a technikům Jaroslavu Appeltauerovi a Radku Jordanovi za technické zajištění měřicího vozu. Dík patří také Ing. Ivu Slámovi a Aleši Kaloudovi z Jachtklubu za vstřícnost a spolupráci s umístěním měřicí techniky.