

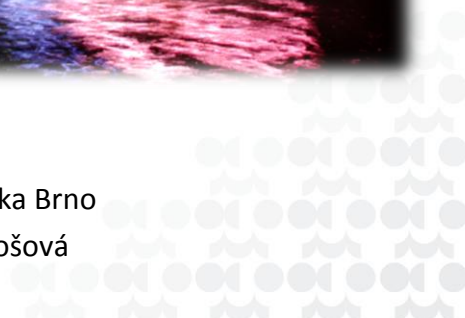
ČESKÝ
HYDROMETEOROLOGICKÝ
ÚSTAV

MĚŘENÍ KVALITY OVZDUŠÍ BĚHEM AKCE IGNIS BRUNENSIS 2017

ODBORNÁ ZPRÁVA



Datum: 30. 9. 2017
Pracoviště: Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno
Zpracoval: Mgr. Robert Skeřil, Ph.D., Mgr. Šárka Antošová
Místo: Brno



ÚDAJE O ZAKÁZCE

Zhotovitel:

Český hydrometeorologický ústav

zastoupen Ing. Václavem Dvořákem, Ph.D., ředitelem ČHMÚ

sídlo: Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4

IČ: 00020699

DIČ: CZ00020699, není plátce DPH

<http://www.chmi.cz/>

Ve věcech smluvních je oprávněn jednat: RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc., ředitel pobočky Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno

Ve věcech technických je oprávněn jednat: Mgr. Robert Skeřil, Ph.D., vedoucí oddělení ochrany čistoty ovzduší, tel: 541 421 046, e-mail: robert.skeril@chmi.cz

Objednatel:

Statutární město Brno

zastoupen: Ing. Martinem Vaněčkem, vedoucím odboru životního prostředí

sídlo: Dominikánské nám. 1, 601 67 Brno

IČ: 44992785

DIČ: CZ44992785

kontaktní osoba: Markéta Durnová, tel.: 542 174 558, e-mail: marketa.durnova@brno.cz

Zpracovatelé:

Mgr. Robert Skeřil, Ph.D.

Mgr. Štěpán Rychlík, Ph.D.

Mgr. Šárka Antošová

Datum předání zprávy: 30. 9. 2017

Počet výtisků: 2

Výtisk číslo: 1

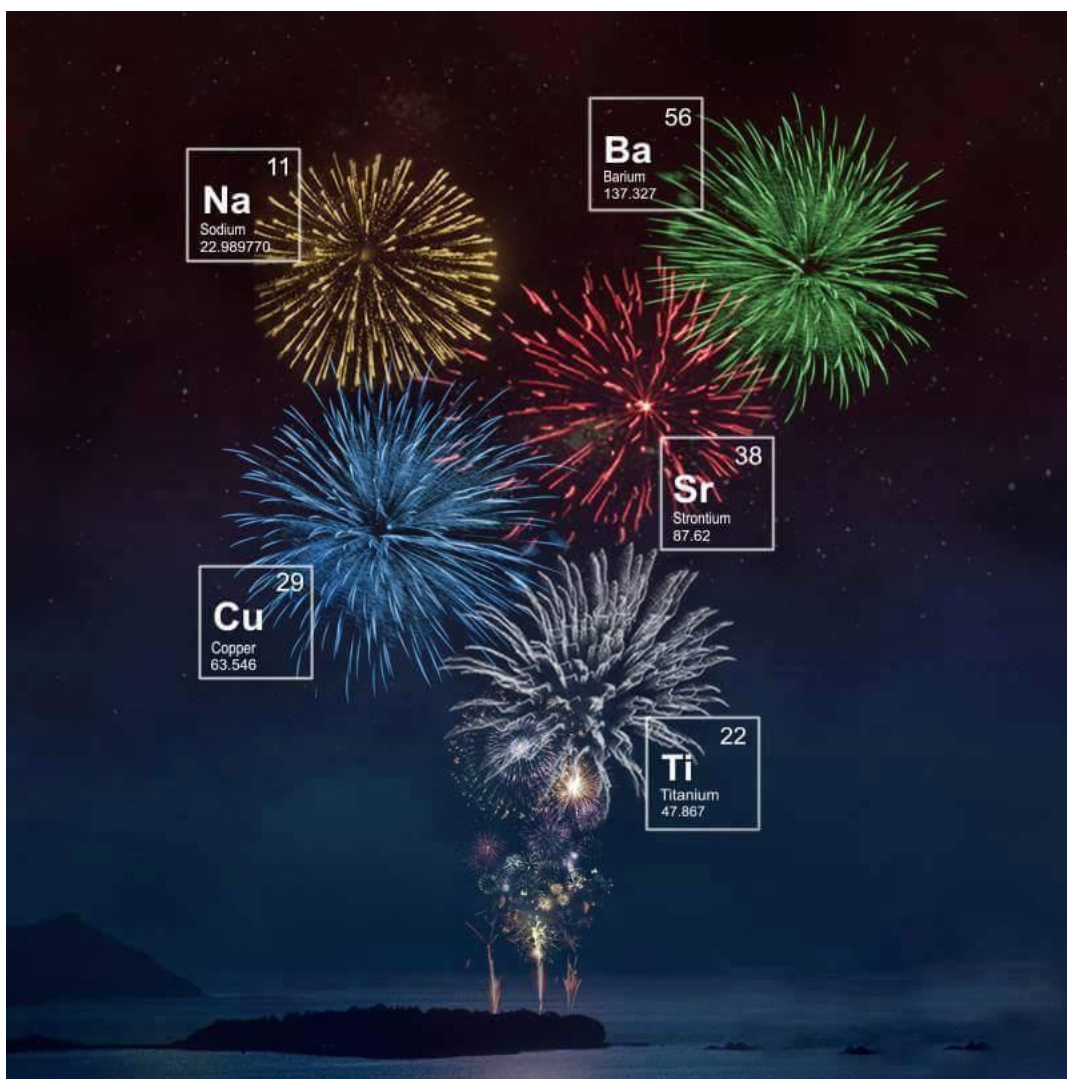
Obsah

1	ÚVOD	4
2	TECHNICKÉ PARAMETRY	5
2.1	LOKALITY MĚŘENÍ	5
2.2	MĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY	6
2.3	POUŽITÁ DATA	8
3	METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY	9
3.1	PŘEHLED POČASÍ	9
3.2	KRÁTKODOBÉ CHARAKTERISTIKY METEOROLOGICKÝCH VELIČIN V DEN OHŇOSTROJŮ	14
4	VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ	22
4.1	SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM ₁₀	22
4.2	TĚŽKÉ KOVY S PLATNÝM IMISNÍM LIMITEM	27
4.3	KONCENTRACE KOVŮ POUŽÍVANÝCH PRO ZABARVENÍ OHŇOSTROJŮ	29
4.3.1	<i>Sodík</i>	30
4.3.2	<i>Hořčík</i>	34
4.3.3	<i>Draslík</i>	39
4.3.4	<i>Stroncium</i>	44
4.3.5	<i>Baryum</i>	48
4.3.6	<i>Měď</i>	52
4.3.7	<i>Titan</i>	56
4.4	KONCENTRACE PLYNNÝCH ŠKODLIVIN NO-NO ₂ -NO _x A SO ₂	61
4.4.1	<i>Oxidy dusíku NO, NO₂ a NO_x</i>	61
4.4.2	<i>Oxid siřičitý SO₂</i>	65
5	ANALÝZA POMOCÍ ELEKTRONOVÉHO MIKROSKOPU	66
6	ZÁVĚR	75

1 Úvod

Měření kvality ovzduší proběhlo na popud rady města Brna ve dnech 2. – 18. 6. 2017 tak, aby byly zachyceny ohňostroje pro analýzy těžkých kovů a množství suspendovaných částic frakce PM₁₀ (ohňostroje dne 3. 6., 7. 6., 10. 6., 14. 6. a 17. 6). Měření probíhalo v součinnosti s měřicím vozem Statutárního města Brna v prostorách přístaviště na brněnské přehradě (VIP zóna při přehlídce ohňostrojů).

Z hlediska jednotlivých škodlivin byly sledovány ty, které mají dle platné legislativy¹ imisní limit (PM₁₀, Pb, As, Ni, Cd), a z hlediska jednotlivých prvků také ty, které jsou pro ohňostroje charakteristické (zejména díky obarvení ohně – viz. Obr. 1) a dále pak škodliviny, které vykazaly během dnů, kdy ohňostroje probíhaly, velmi výrazný nárůst koncentrací.



Obr. 1 – Typické prvky pro obarvení ohně při ohňostrojích

¹ Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší

2 Technické parametry

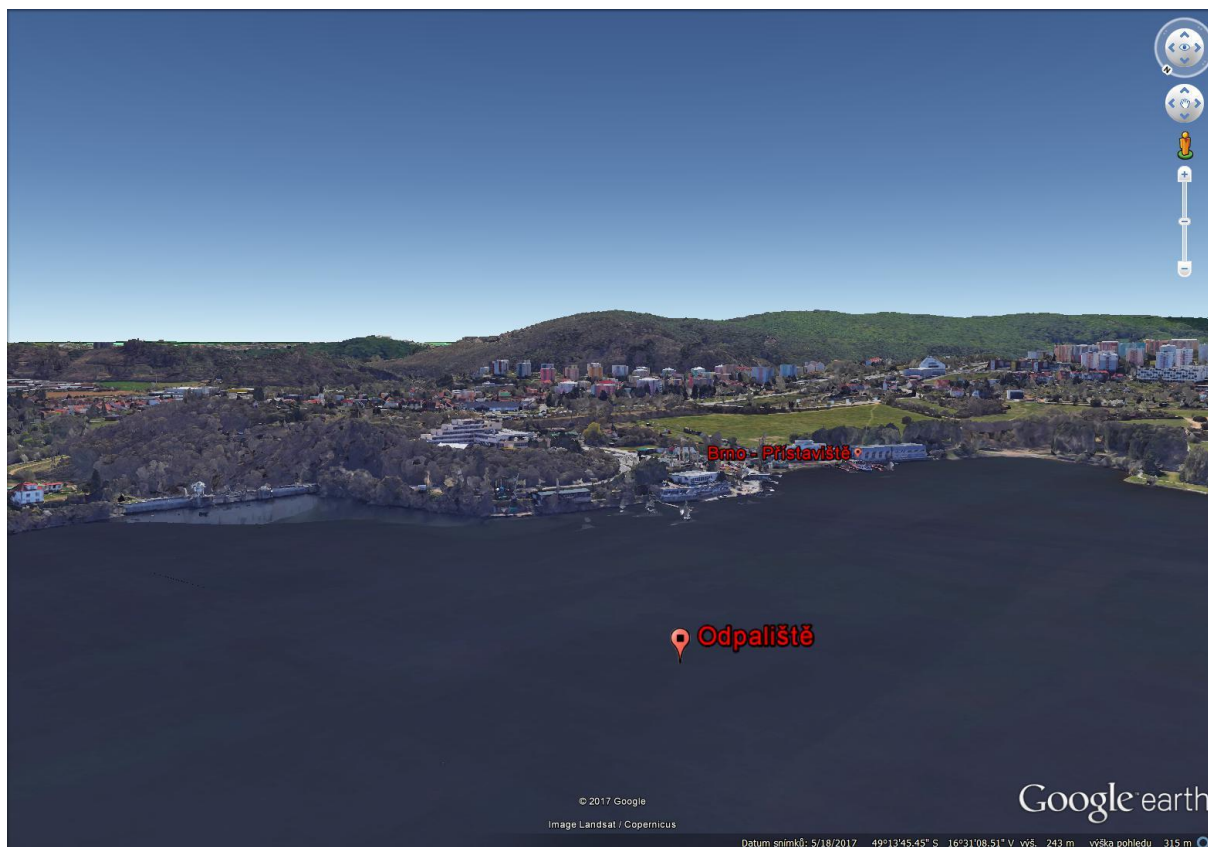
2.1 Lokality měření

Měření kvality ovzduší bylo měřeno v lokalitě Přístaviště, jak již bylo zmíněno v úvodu:

- Brno – Přístaviště (GPS: 49°13'44.22"S; 16°30'58.88"V; 230 m n. m.)



Obr. 2 - Umístění lokalit měření kvality ovzduší – letecký pohled



Obr. 3 - Umístění lokalit měření kvality ovzduší – pohled se zahrnutím terénu

2.2 Měřené charakteristiky

V lokalitě Brno – Přístaviště byl instalován měřicí vůz Statutárního města Brna a probíhal odběr suspendovaných částic frakce PM_{10} (nízko objemový vzorkovač FH95 KF) pro jejich následnou prvkovou analýzu metodou ICP-MS. Měření a odběr probíhaly od 2. do 18. 6. 2017.

Měřené charakteristiky (metody měření):

1. Měřicí vůz Statutárního města Brna:
 - a. PM_{10} (radiometrická metoda)
 - b. NO - NO_2 - NO_x (chemiluminiscence)
 - c. SO_2 (UV-fluorescence)
 - d. Meteorologické prvky: T, h, WD, WV
2. Vzorkovač Leckel 47/50 SEQ (ČHMÚ):
 - a. PM_{10} (gravimetrická metoda, SOP č. T 21 AA-015 a T 21 AA-027)
 - b. Stanovení Ni, As, Cd a Pb (ICP-MS, SOP č. T 21 AA-005)
 - c. Stanovení dalších prvků (ICP-MS, není akreditováno)
 - d. Pasivní odběr PM pro elektronový mikroskop



Obr. 4 - Lokalita Brno – Přístaviště – přehledová mapka



Obr. 5 – Lokalita Brno – Přístaviště – měřicí vůz a odběr suspendovaných částic

2.3 Použitá data

Pro vyhodnocení byla použita data Statutárního města Brna a Českého hydrometeorologického ústavu, která se mohou lišit stupněm kontroly kvality. Základní podmínku autorizace pro měření imisí od MŽP splňují obě organizace. Dále jsou již patrné rozdíly v QA/QC. Český hydrometeorologický ústav je akreditován dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 jako zkušební laboratoř č. 1460. Dle této normy jsou akreditovány odběry i zkoušky pro škodliviny měřené ze zákona a hodnocené v rámci této studie (PM₁₀, As, Cd, Ni a Pb). V případě laboratorních analýz je kromě návaznosti na certifikovaný referenční materiál zajištěna QA/QC mimo jiné i mezilaboratorním porovnáním. Informace o rozsahu akreditace je možné najít na stránkách Českého institutu pro akreditaci (www.cai.cz).

3 Meteorologické podmínky

3.1 Přehled počasí

Pátek 2. 6. 2017

Situace: Nad střední Evropou se udržovala oblast vyššího tlaku vzduchu.

Počasí: V noci skoro jasno, polojasno, zpočátku na jihu místy přeháňky a bouřky. K ránu na jihu oblačno, jinak polojasno, skoro jasno

Úhrn srážek: 0 mm

Minimální teplota: 12 až 8°C

Maximální teplota: 26 až 29°C

Sobota 3. 6. 2017

Situace: Před zvlněnou studenou frontou postupující ze západní do střední Evropy k nám vrcholil příliv velmi teplého vzduchu od jihu.

Počasí: Jasno až polojasno. Večer skoro jasno, od západu až polojasno – různě hustá vysoká oblačnost.

Úhrn srážek: 0 mm

Minimální teplota: 13 až 9 °C

Maximální teplota: 27 až 30 °C

Neděle 4. 6. 2017

Situace: Přes naše území během dne přecházela zvlněná studená fronta od západu.

Počasí: V noci a ráno většinou polojasno - různě hustá vysoká oblačnost. Kolem poledne přibývání oblačnosti a vznik nových přeháněk a bouřek na východě Vysočiny a na východě Znojemska/na Břeclavsku, postupně i jinde v JM kraji a v ZL kraji (postup od JZ). Srážky v různé formě přešly přes většinu území východu JM kraje. K večeru už po všem a od západu jen místy/ojedinele slabé přeháňky. Později večer od JZ ubývání oblačnosti a na východě ustávání srážek.

Za frontou i čerstvý nárazový SZ vítr – Sedlec 21 m/s.

Úhrn srážek: 0 – 14 mm

Minimální teplota: 18 až 13°C

Maximální teplota: 25 až 30 °C

Pondělí 5. 6. 2017

Situace: Počasí u nás přechodně ovlivňoval výběžek vyššího tlaku vzduchu od jihozápadu.

Počasí: V noci zpočátku polojasno, na východě oblačno až zataženo. Během noci postupně skoro jasno až jasno, jen na východě místy zvětšená oblačnost. Ráno od Z vysoká oblačnost – polojasno až skoro jasno, na východě Moravy zvětšená oblačnost. Během dne skoro jasno až polojasno.

Úhrn srážek: 0 mm

Minimální teplota: 13 až 8 °C

Maximální teplota: 23 až 26 °C

Úterý 6. 6. 2017

Situace: Ze západní do střední Evropy postupovala zvlněná studená fronta, která ovlivňovala počasí u nás. Před ní k nám přechodně pronikl teplý vzduch od jihozápadu.

Počasí: V noci oblačno až polojasno. Ráno a dopoledne většinou polojasno nebo i skoro jasno. Během dne polojasno až oblačno, po poledni ojediněle přeháňky nebo bouřky. Odpoledne dále přibývalo oblačnosti, silná bouřka vznikla na Hodonínsku s postupem nad západ Kroměřížska. Na Vysočině a Znojemsku postupně bouřky a přeháňky četnější. Večer od jihu srážky na většině území, lokálně i bouřky.

Úhrn srážek: 0-30 mm

Minimální teplota: 17 až 11 °C

Maximální teplota: 24 až 29 °C

Středa 7. 6. 2017

Situace: Za studenou frontou k nám proudil chladnější vzduch od západu.

Počasí: V noci převážně zataženo, na většině území déšť nebo přeháňky, na pomezí VY a JM, na BK a ve ZL kraji místy bouřky. K ránu ustávání srážek a během rána postupně většinou oblačno, místy přechodně i polojasno. Během dne oblačno, místy přechodně skoro zataženo, odpoledne od JZ místy přeháňky. Později odpoledne a k večeru od Z za pásem přeháněk na VY a v Z části JMK přechodně skoro jasno, postupně ale od JZ opět přibývání oblačnosti – večer oblačno až skoro zataženo.

Úhrn srážek: 0 - 5 mm

Minimální teplota: 14 až 9 °C

Maximální teplota: 17 až 22 °C

Čtvrtek 8. 6. 2017

Situace: Tlaková výše postupovala přes jihozápadní a střední Evropu zvolna k východu. Po její zadní straně k nám během dne začal proudit teplý vzduch od jihozápadu.

Počasí: Jasno až polojasno. Přes den převážně polojasno. K večeru rozpad oblačnosti a vyjasňování, později večer od Z úzký pás vysoké – přechodně skoro jasno.

Úhrn srážek: 0 mm

Minimální teplota: 9 až 5 °C

Maximální teplota: 21 až 25 °C

Pátek 9. 6. 2017

Situace: Na naše území proudil teplý vzduch od jihu. Večer začala počasí ovlivňovat studená fronta postupující od západu.

Počasí: Jasno, jen přechodně místy od západu pásy řídké vysoké – skoro jasno. Během dne jasno až polojasno. Večer od západu přibývání oblačnosti.

Úhrn srážek: 0 – 12 mm

Minimální teplota: 11 až 6 °C

Maximální teplota: 26 až 28 °C

Sobota 10. 6. 2017

Situace: Počasí u nás ovlivňovala studená fronta postupující k východu. Za ní se později během dne začala na naše území rozšiřovat tlaková výše od západu.

Počasí: V noci polojasno až oblačno, od západu postupně zataženo a na většině území déšť (na Moravě k ránu). Během dne zataženo, na celém území s deštěm, už dopoledne od západu ustávání srážek ubývání oblačnosti na polojasno, přechodně i skoro jasno. Odpoledne ojediněle přeháňky nebo bouřky. Večer beze srážek a rozpad oblačnosti.

Úhrn srážek: 0 – 6,6 mm

Minimální teplota: 15 až 12 °C

Maximální teplota: 22 až 25 °C

Neděle 11. 6. 2017

Situace: Po zadní straně tlakové výše, která přecházela přes střední Evropu k východu, k nám pronikl teplý vzduch od jihozápadu.

Počasí: V noci skoro jasno až jasno, v údolích postupně ojediněle mlhy (zejména ve ZL kraji). Během dne jasno až polojasno (stanice hlásily i skoro zataženo-vysoká oblačnost).

Úhrn srážek: 0 mm

Minimální teplota: 11 až 7 °C

Maximální teplota: 24 až 28 °C

Pondělí 12. 6. 2017

Situace: Před studenou frontou, která během odpoledne postupovala k jihovýchodu, k nám vrcholil příliv teplého vzduchu od jihozápadu.

Počasí: V noci skoro jasno až polojasno, k ránu oblačno a ojediněle přeháňky. Ráno od západu polojasno, přechodně místy i skoro jasno. Dopoledne od západu přibývání oblačnosti, většinou oblačno. Odpoledne od Z studená fronta - pás přeháněk v S části Moravy, přešel celkem rychle k východu. Večer ubývání oblačnosti.

Úhrn srážek: 0 až 2 mm

Minimální teplota: 14 až 9 °C

Maximální teplota: 26 až 32 °C

Úterý 13. 6. 2017

Situace: Počasí u nás ovlivňoval výběžek vyššího tlaku vzduchu od západu.

Počasí: V noci polojasno až jasno. Přes den jasno až polojasno, na severu Vysočiny, JMK a ve ZLK zpočátku místy přechodně oblačno. Večer s v noci skoro jasno až jasno.

Úhrn srážek: 0 mm

Minimální teplota: 15 až 8 °C

Maximální teplota: 23 až 27 °C

Středa 14. 6. 2017

Situace: Přes střední Evropu se zvolna přesouvala tlaková výše k východu.

Počasí: V noci jasno až skoro jasno, k ránu na jižním okraji Moravy přechodně lokálně zvětšená oblačnost a v SV cípu ZLK nízká oblačnost. Během dne většinou polojasno. Večer skoro jasno.

Úhrn srážek: 0 mm

Minimální teplota: 12 až 8 °C

Maximální teplota: 24 až 26 °C

Čtvrtek 15. 6. 2017

Situace: Na naše území proudil teplý vzduch od jihozápadu.

Počasí: Jasně nebo skoro jasno, během dne místy i polojasno. Večer jasno, později večer a v noci postupně od západu přibývání frontální oblačnosti - skoro jasno až polojasno.

Úhrn srážek: 0 až 4,1 mm

Minimální teplota: 11 až 7 °C

Maximální teplota: 23 až 27 °C

Pátek 16. 6. 2017

Situace: Přes naše území přecházela studená fronta k východu.

Počasí: V noci zpočátku skoro jasno až polojasno, postupně od západu přibývání další oblačnosti, k ránu od Z přes VY (i ojedinělé bouřky) a JMK pás deště, který během rána přešel nad ZLK. Za ním ráno proměnlivá, spíše velká oblačnost, od Z přes VY (hlavně S část) přeháňky, místy bouřky. Ráno a dopoledne od západu přechodně polojasno (za doznívajícími bouřkami-deštěm) – JMK bez Znojemska. Kolem poledne další vznik přeháněk i bouřek (možnost krup) postupujících od západu, postupně srážky na většině území. Oblačnost proměnlivá. Odpoledne lokálně i kroupy na Břeclavsku. Oblačno až zataženo, na většině území přeháňky, místy bouřky, Po 15. hodině se v Jihomoravském kraji vytvořila 4 jádra bouřek (Brno, jižně od Brna, východ Znojemska a Břeclav), ve kterých se vyskytovaly, nebo mohly vyskytovat kroupy. V Žabovřeskách o velikosti kolem 1 cm. Večer postupně přeháňky slably, srážky jen místy.

Úhrn srážek: 0 až 13,9 mm

Minimální teplota: 15 až 12 °C

Maximální teplota: 24 až 27 °C

Sobota 17. 6. 2017

Situace: Počasí u nás ovlivňovala tlaková níže ve vyšších vrstvách atmosféry, která postupovala přes Polsko a Slovensko dále k jihovýchodu.

Počasí: V noci oblačno nebo až zataženo, místy přeháňky. Postupně ustávání srážek a místy ubývání oblačnosti. Déšť zůstal na SV území. Ráno místy přechodně až polojasno. Odpoledne přeháňky hlavně v JM kraji a východě VY. Později odpoledne a večer oblačno až zataženo, pás srážek v JM kraji a na východě VY, ve ZL kraji srážky místy. V noci ubývání srážek od severu.

Úhrn srážek: 0 až 4 mm

Minimální teplota: 14 až 10 °C

Maximální teplota: 16 až 21 °C

Neděle 18. 6. 2017

Situace: Od západu k nám zasahoval okraj tlakové výše.

Počasí: V noci zataženo, doznívání slabých přeháněk, v JMK od severu protrhaná oblačnost. Během noci a rána místy přechodně polojasno. Přes den většinou oblačno nebo skoro zataženo, lokálně a přechodně i polojasno. Později odpoledne postupně rozpouštění kupovité oblačnosti. Večer polojasno až skoro jasno. V noci skoro jasno až polojasno.

Úhrn srážek: 0 mm

Minimální teplota: 13 až 9 °C

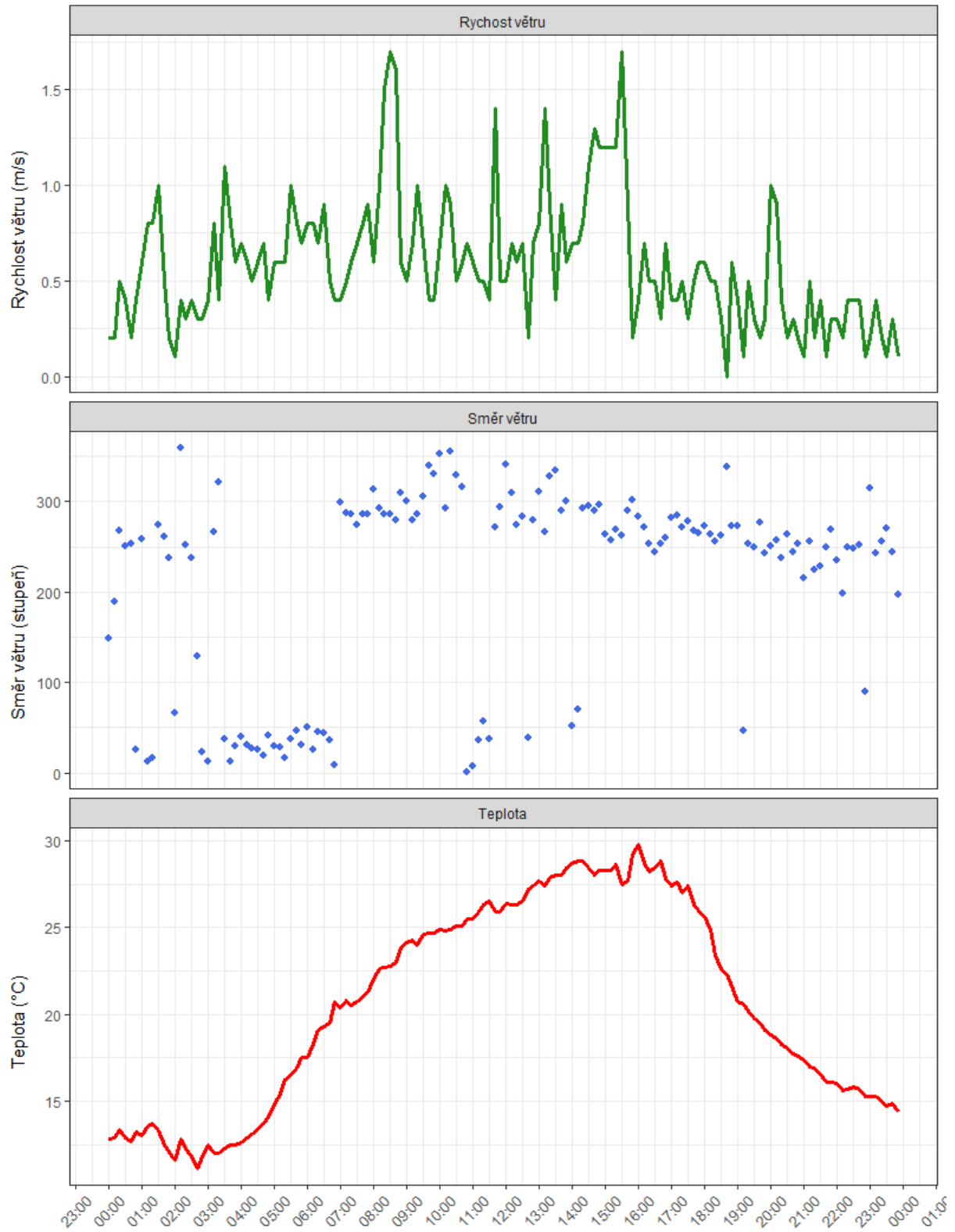
Maximální teplota: 21 až 25 °C

3.2 Krátkodobé charakteristiky meteorologických veličin v den ohňostrojí

V následujících grafech jsou zobrazeny 10minutové charakteristiky meteorologických prvků. Graficky je vývoj znázorněn ve 3 grafech. Horní graf zobrazuje vývoj rychlosti směru větru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), prostřední graf znázorňuje bodově směry větru (ve stupních) a spodní graf pak znázorňuje vývoj teploty. Na závěr je uvedena větrná růžice za celé měřené období, členěná dále dle měřených rychlostí větru.

Vývoj 10 minutových hodnot meteorologických prvků během Ignis Brunensis

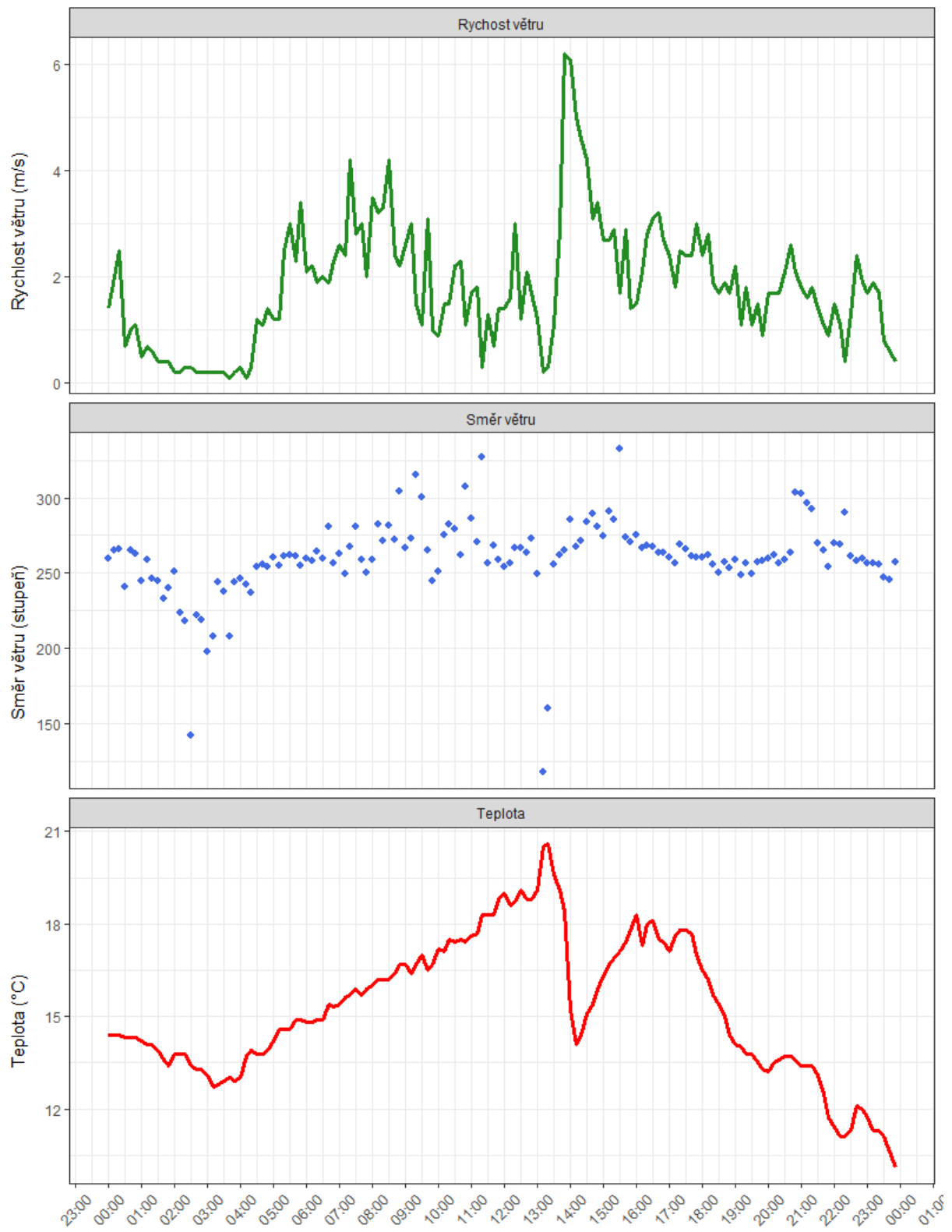
Brno - Přístaviště, 3. června 2017



Obr. 6 – Krátkodobé 10minutové charakteristiky, Brno – Přístaviště, 3. 6. 2017

Vývoj 10 minutových hodnot meteorologických prvků během Ignis Brunensis

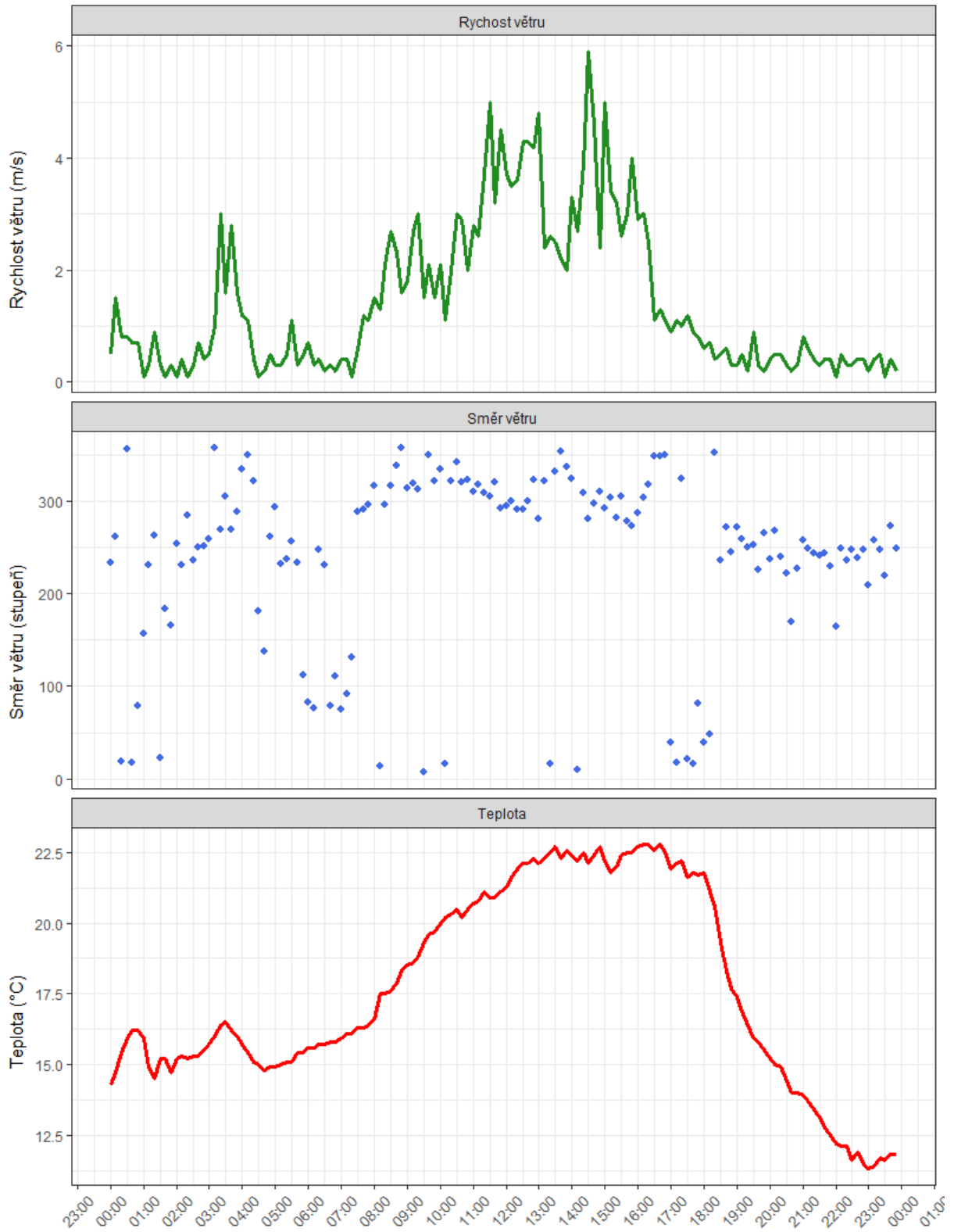
Brno - Přístaviště, 7. června 2017



Obr. 7 – Krátkodobé 10minutové charakteristiky, Brno – Přístaviště, 7. 6. 2017

Vývoj 10 minutových hodnot meteorologických prvků během Ignis Brunensis

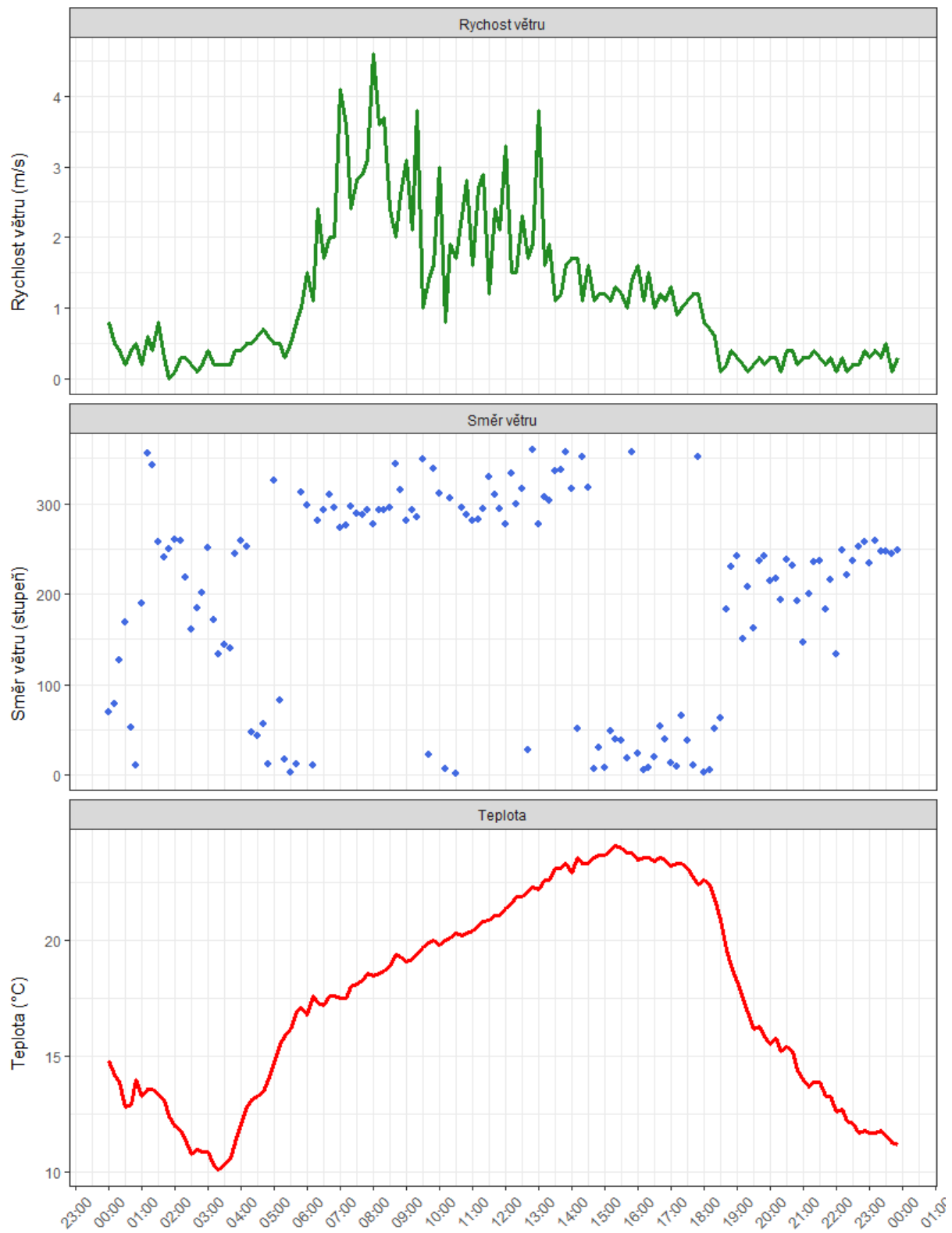
Brno - Přístaviště, 10. června 2017



Obr. 8 - Krátkodobé 10minutové charakteristiky, Brno – Přístaviště, 10. 6. 2017

Vývoj 10 minutových hodnot meteorologických prvků během Ignis Brunensis

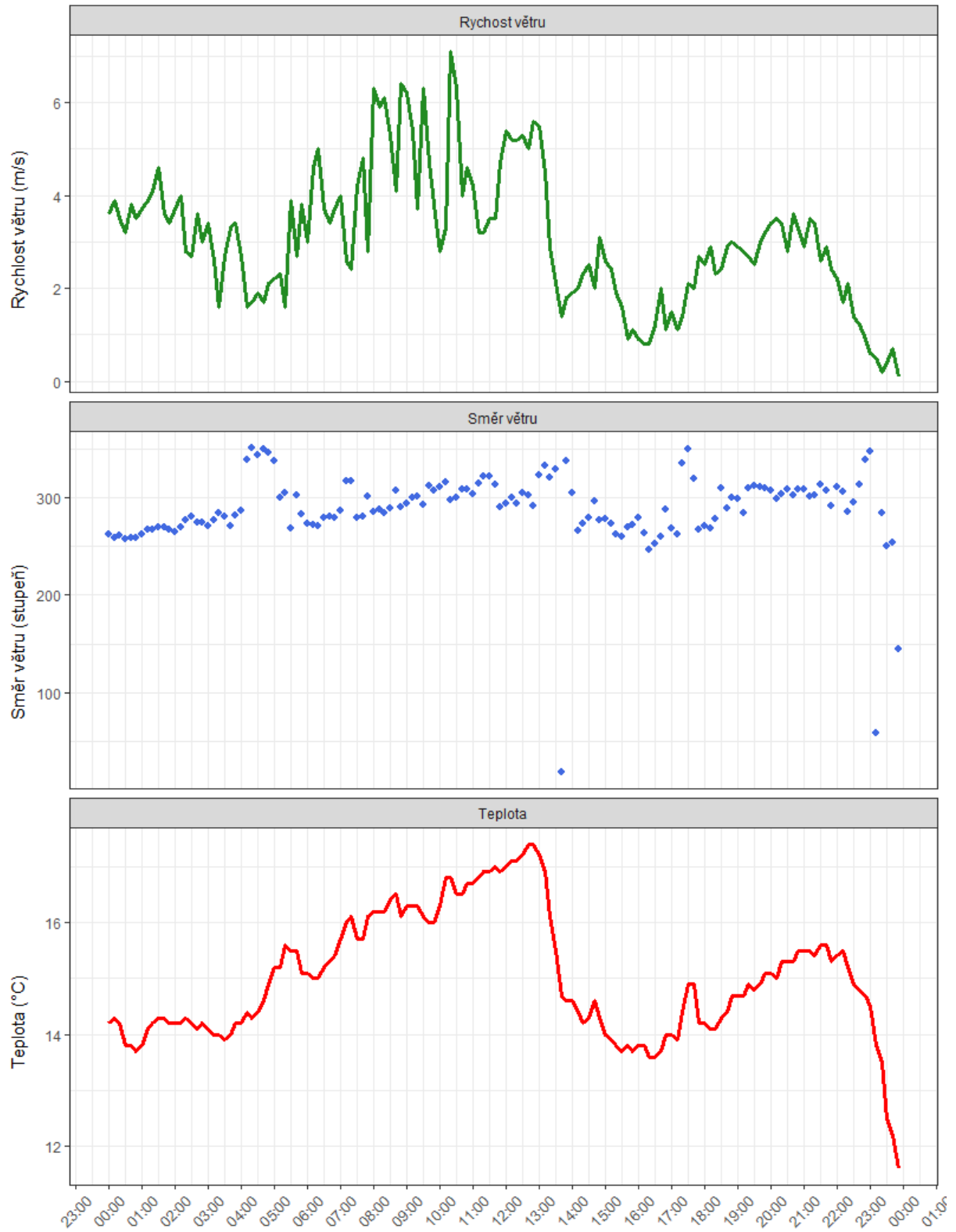
Brno - Přístaviště, 14. června 2017



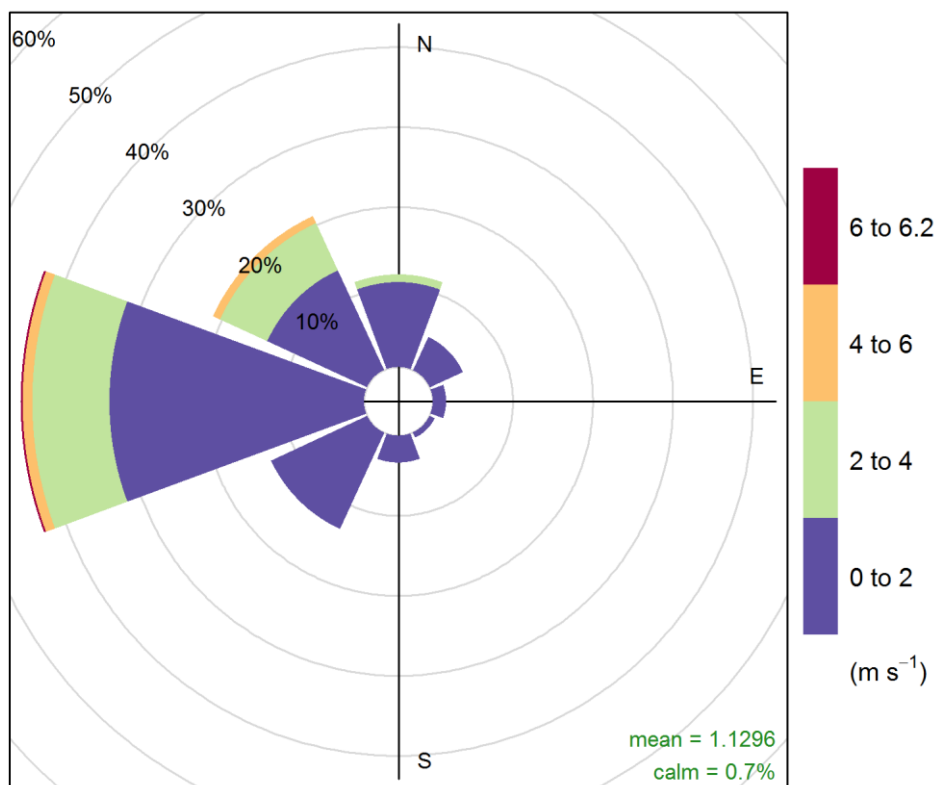
Obr. 9 - Krátkodobé 10minutové charakteristiky, Brno – Přístaviště, 14. 6. 2017

Vývoj 10 minutových hodnot meteorologických prvků během Ignis Brunensis

Brno - Přístaviště, 17. června 2017



Obr. 10 - Krátkodobé 10minutové charakteristiky, Brno – Přístaviště, 17. 6. 2017

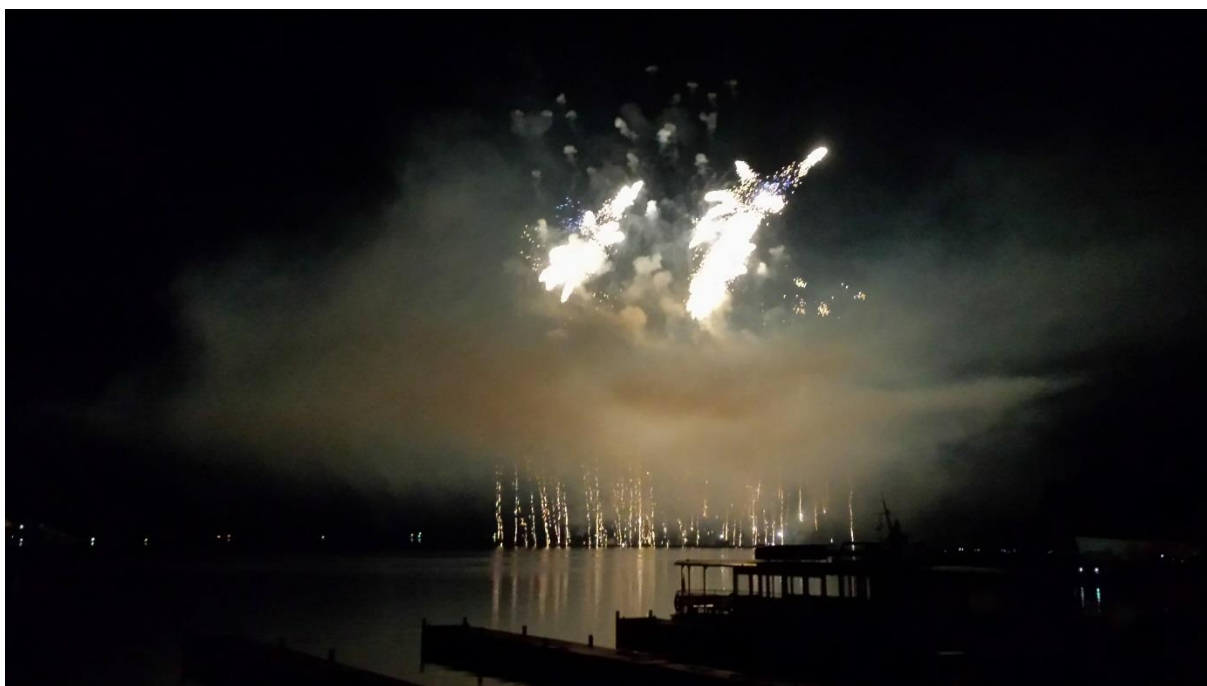


Obr. 11 – Větrná růžice, členěná dle rychlostí větru, Brno – Přístaviště, 2. - 19. 6. 2017

Z koncentrační růžice vyplývá, že v tomto období převládalo v lokalitě Brno – Přístaviště západní proudění. Ze západních a severozápadních směrů rovněž dosahoval vítr nejvyšších rychlostí.

Z grafů na Obr. 6 - Obr. 10 je pak patrné, že v případě konání ohňostroje dne 3. 6. 2017 byly měřeny velmi nízké rychlosti větru až bezvětří (do $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), proudil převážně západní vítr. Při druhém ohňostroji dne 7. 6. 2017 již byl vítr silnější, avšak ke konci dne jeho rychlost postupně klesala. Měřeny byly rovněž převážně západní směry proudění větru. Dne 10. 6. 2017 byly v čas konání ohňostroje opět velmi nízké rychlosti větru a západní až severozápadní proudění větru. Dne 14. 6. 2017 byly sice přes den měřeny poměrně vysoké rychlosti větru, avšak k večeru vítr utichal a v době konání ohňostroje již byly opět měřeny pouze velmi nízké rychlosti větru, který proudil ze západu. Obdobná situace panovala i dne 17. 6. 2017. Rovněž tento den byly večer rychlosti větru již nízké, tentokrát bylo proudění převážně severozápadní.

Tyto velmi nízké rychlosti větru, které byly po čas většiny ohňostrojů zaznamenány, se pak podílely na tom, že kouřová vlečka z ohňostrojů nebyla dobře rozptýlována, držela se v místě konání ohňostrojů a nejbližším okolí, jak ukazují fotky na Obr. 12.



Obr. 12 – Kouřová vlečka při konání ohňostrojů a nízkých rychlostech větru

4 Vyhodnocení kvality ovzduší

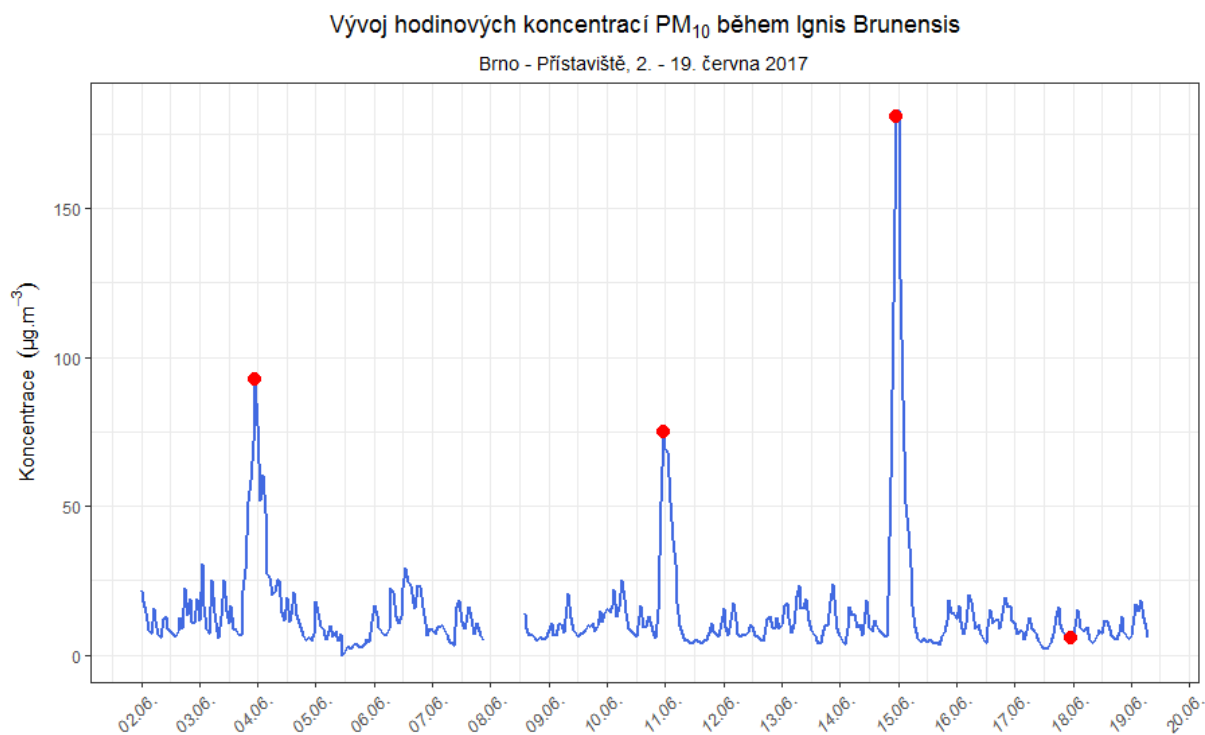
4.1 Suspendované částice PM₁₀

Suspendované částice jsou emitovány jak přírodními (např. sopky či prašné bouře), tak i antropogenními (např. elektrárny a průmyslové technologické procesy, doprava, spalování uhlí v domácnostech, spalování odpadu) zdroji. Většina těchto antropogenních emisních zdrojů je soustředěna v urbanizovaných oblastech, tj. v oblastech, ve kterých žije velká část populace.

Negativní zdravotní účinky PM₁₀ a PM_{2,5} se projevují již při velmi nízkých koncentracích bez zřejmé spodní hranice bezpečné koncentrace. Zdravotní rizika částic ovlivňují jejich koncentrace, velikost, tvar a chemické složení. Mohou se podílet na snížení imunity, způsobovat zánětlivá onemocnění plicní tkáně a oxidativní stres organismu. Při chronickém působení mohou způsobovat respirační onemocnění a snižovat funkci plic.

Jak již bylo uvedeno dříve, v Přístavišti byl k dispozici jednak měřicí vůz, poskytující i hodinové koncentrace, a dále vzorkovač pro odběr PM₁₀ na filtry (pouze denní koncentrace) a jejich následnou analýzu pomocí ICP-MS pro zjištění zastoupení jednotlivých prvků v PM₁₀.

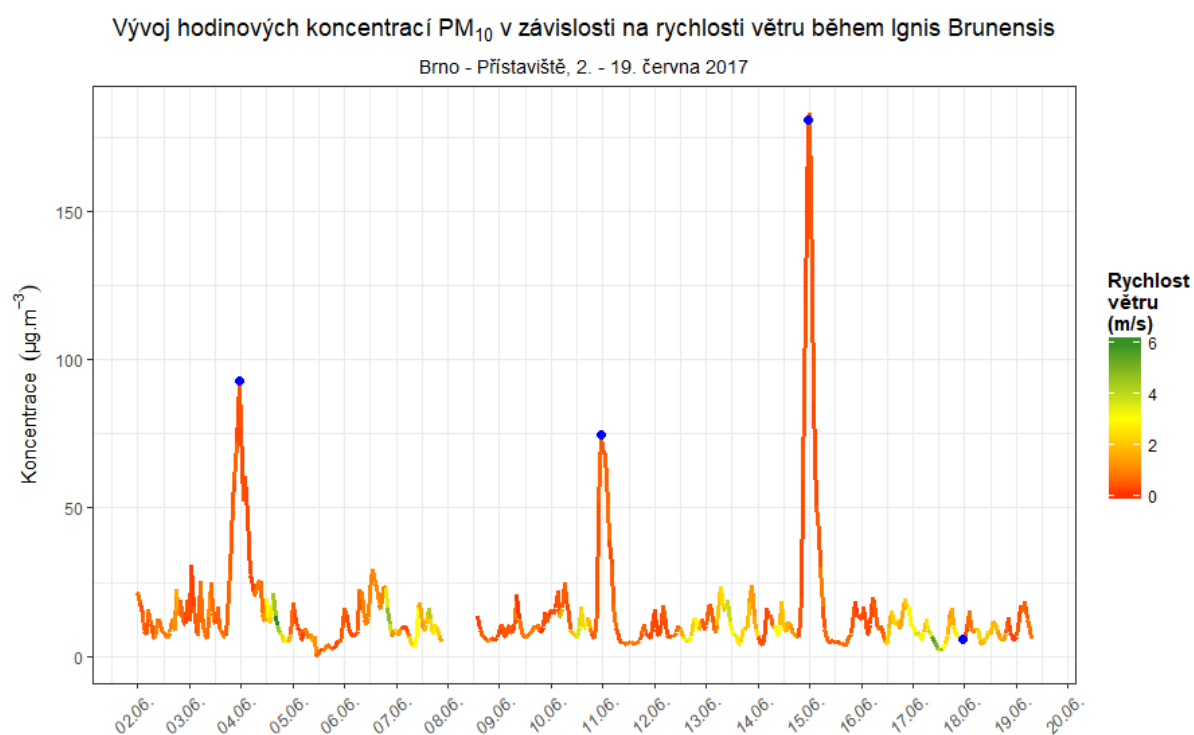
Graf na následujícím Obr. 13 zobrazuje průběh hodinových koncentrací PM₁₀ v lokalitě Brno – Přístaviště v období od 2. do 19. června 2017. Červenými body jsou vyznačeny hodiny, kdy se konaly ohňostroje. Z grafu je patrné, že těsně před druhým ohňostrojem došlo k výpadku analyzátoru pro PM₁₀ a chybí tak hodinová data (výpadek trval od 7. 6. 22:00 do 8. 6. 13:00). Jeden bod proto chybí. V grafu jsou tak 3 významné píky koncentrací, kulminující v čas konání ohňostroje.



Obr. 13 – Vývoj hodinových koncentrací PM₁₀, Brno – Přístaviště, 2. – 19. 6. 2017. Červeně vyznačené body značí hodinu, kdy byly pořádány ohňostroje

Během posledního ohňostroje a velmi pravděpodobně i během druhého ohňostroje by takto vysoké koncentrace nebyly měřeny. Je to patrné z toho, že koncentrace nerostly pouze v čas konání ohňostroje, ale již zhruba 2 – 3 hodiny předem. Nárůst koncentrací PM₁₀ tak není spojen pouze se samotným ohňostrojem, ale i s doprovodnými akcemi, vířením prachu kvůli pohybu lidí, kouření atp.

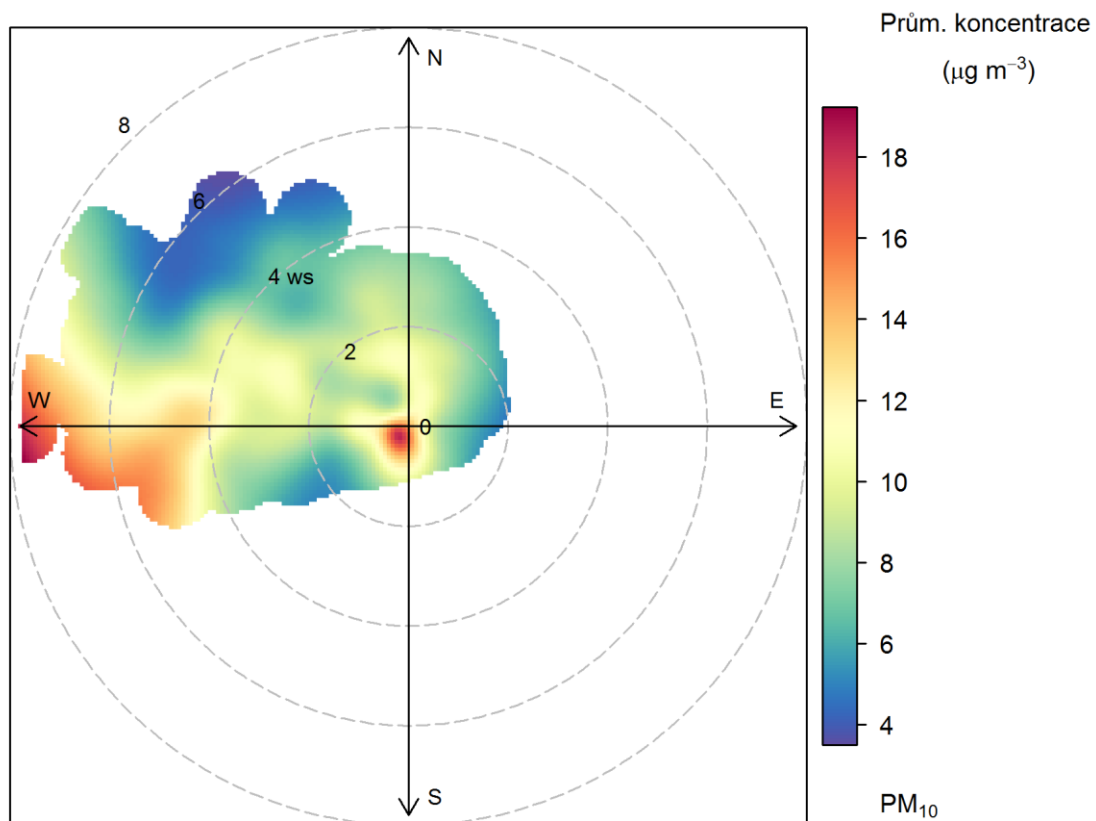
Rovněž je patrné, že některé ohňostroje jsou spojeny s vysokými koncentracemi PM₁₀ v ovzduší (3. 6., 10. 6. a 14. 6.). Během zbylých 2 ohňostrojů byly koncentrace výrazně nižší. Důvod těchto různě vysokých koncentrací PM₁₀ lze hledat v rozdílných meteorologických podmínkách, konkrétně v různé rychlosti větru. Již v kapitole o meteorologických podmínkách bylo zmíněno, že v případě některých ohňostrojů panovalo prakticky bezvětří a kouřová vlečka zůstávala nerozptýlena. To se potvrdilo i v koncentracích PM₁₀. Vývoj hodinových koncentrací PM₁₀ v závislosti na rychlosti proudění větru zobrazuje následující Obr. 14. Křivka koncentrací je zbarvena dle aktuální rychlosti větru (legenda vpravo od grafu).



Obr. 14 – Vývoj hodinových koncentrací PM₁₀ v závislosti na rychlosti proudění větru, Brno – Přístaviště, 2. – 19. 6. 2017. Modře vyznačené body značí hodinu, kdy byly pořádány ohňostroje

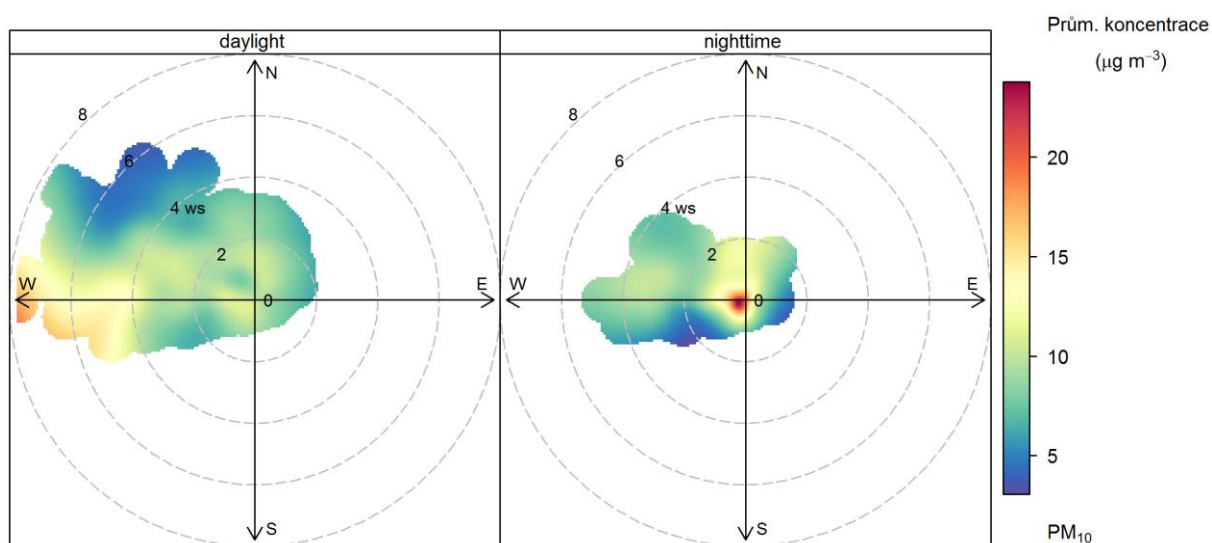
Z grafu na Obr. 14 jasně vyplývá, že při nízkých rychlostech větru, resp. při bezvětří, byly měřeny velmi vysoké koncentrace v čase konání ohňostrojů. Naopak při vyšších rychlostech větru (zhruba okolo 3 m·s⁻¹, žluté zbarvení) byly i v době konání ohňostrojů či krátce předtím koncentrace PM₁₀ pouze nízké (7. 6. a 17. 6.).

Následující koncentrační růžice pro PM₁₀ dotváří informaci rovněž z hlediska směru větru. Z koncentrační růžice vyplývá, že vysoké koncentrace byly měřeny při bezvětří a nízkých rychlostech větru do 0,5 m·s⁻¹ a dále při vyšších rychlostech větru ze západu.



Obr. 15 - Koncentrační růžice PM₁₀, Brno – Přístaviště, 2. – 19. 6. 2017, 10minutové hodnoty

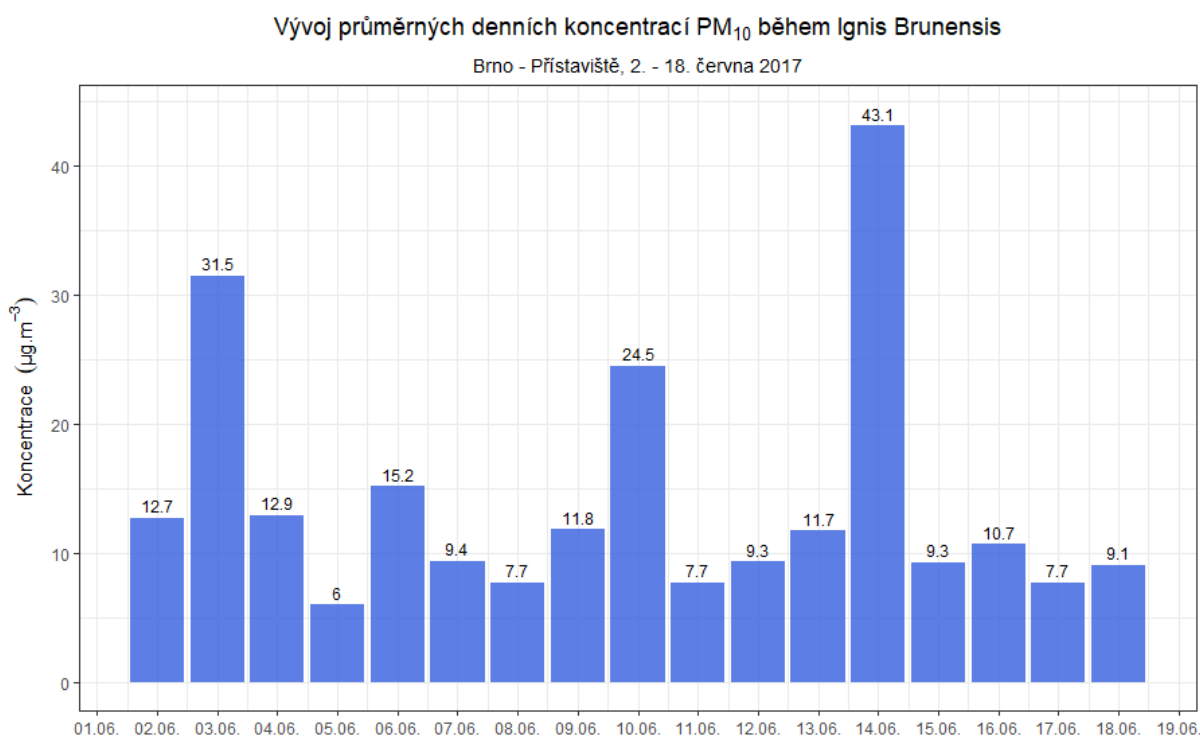
Následující koncentrační růžice je rozdělena podle denní doby na denní (daylight) a noční (nighttime). Na základě tohoto rozkladu je pak patrné, že ohňostroje se podílí především na oněch vysokých koncentracích při velmi nízkých rychlostech větru. Naopak zvýšené koncentrace při vyšších rychlostech větru ze západu se vyskytují přes den a lze je přičíst větrné erozi, stavební činnosti či doprovodným programům přes den, západně od přístaviště.



Obr. 16 - Koncentrační růžice PM₁₀, Brno – Přístaviště, 2. – 19. 6. 2017, 10minutové hodnoty, rozdělení na denní (daylight) a noční (nighttime) část dne

Z koncentrační růžice rovněž vyplývá, že maxima při nízkých rychlostech větru jsou posunuta k jižním směrům. Je tedy možné, že na vysokých koncentracích PM₁₀ během přehlídky ohňostrojí se výrazně podíleli také diváci a doprovodné aktivity. Nasvědčuje tomu postupný nárůst koncentrací již několik hodin před samotnou přehlídkou (Obr. 13). Koncentrace prašnosti nevzrostly až v hodinu konání ohňostroje, ale již o několik hodin dřív. Je tedy velmi pravděpodobné, že koncentrace PM₁₀ byly zvýšeny pohybem velkého počtu lidí v lokalitě (víření prachu při pohybu, kouření), a rovněž doprovodnými aktivitami – grilování, stánky s občerstvením atd. Svůj vliv na koncentrace tak mohly mít i srážky – pokud byla v den ohňostroje půda dostatečně proschlá, mohlo spíše docházet k víření prachu vlivem pohybu lidí než v dny, kdy byla půda navlhá.

V grafu na Obr. 17 jsou uvedeny průměrné denní koncentrace PM₁₀ v lokalitě Přístaviště. Průměrné denní koncentrace byly vypočteny shodně jako ve státní síti imisního monitoringu, průměr byl tedy počítán vždy od 06:00 UTC daného dne do 05:00 UTC následujícího dne. Dne 19. 6. již nebyl dostatek dat pro výpočet průměrné denní koncentrace PM₁₀, proto jsou denní průměry uváděny pouze za období 2. – 18. 6. 2017.

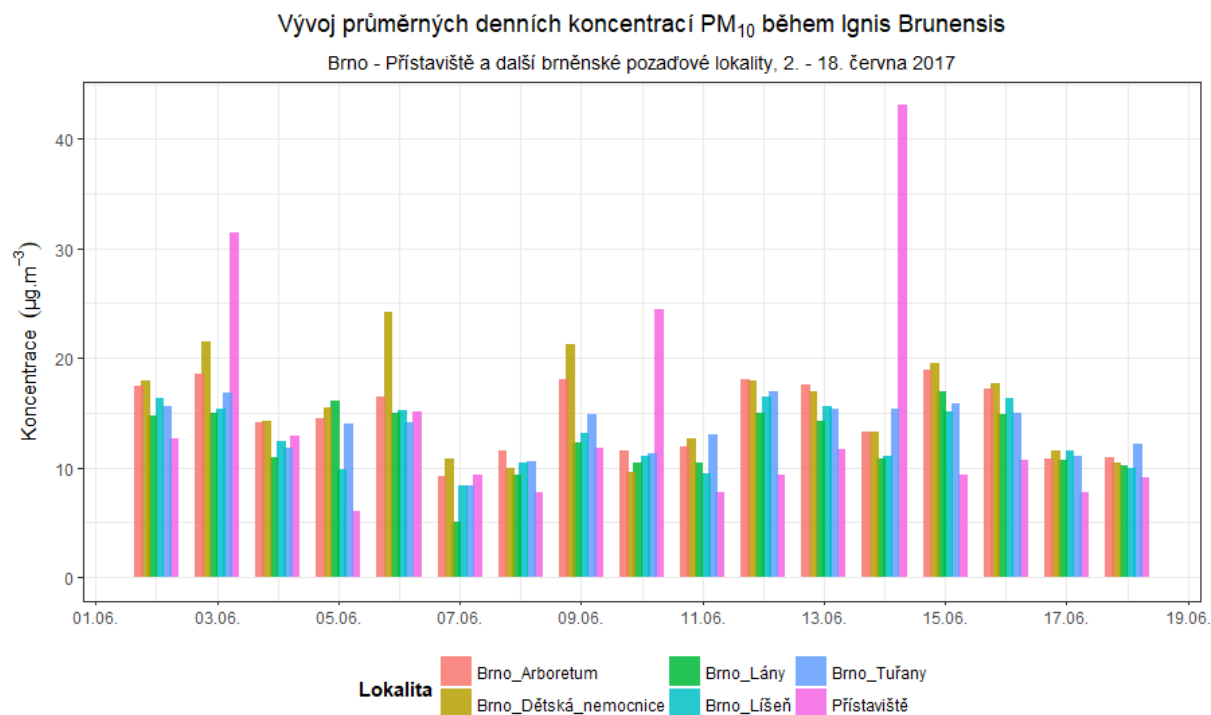


Obr. 17 – Průměrné denní koncentrace PM₁₀, Brno – Přístaviště, 2. – 18. 6. 2017

Z grafu vyplývá, že ve dnech, kdy byly z výše uvedených důvodů měřeny vysoké hodinové koncentrace PM₁₀ během přehlídky ohňostrojí Ignis Brunensis, dochází rovněž k navýšení průměrných denních koncentrací PM₁₀. Nejvíce znatelný nárůst průměrné denní koncentrace PM₁₀ byl zaznamenán při ohňostroji dne 14. 6. 2017. Před tímto dnem několik dní vůbec nepršelo, což mohlo mít vliv na větší víření prašnosti v blízkém okolí. Rovněž vítr k večer utichl na téměř úplné bezvětrí. Tyto podmínky zřejmě přispěly k tomu, že byla v Přístavišti naměřena

průměrná denní koncentrace PM₁₀ rovna 43,1 µg·m⁻³. Hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ nebyla ani jednou překročena.

V následujícím grafu na Obr. 18 je zobrazeno srovnání průměrných denních koncentrací s dalšími brněnskými pozadovými lokalitami státní sítě imisního monitoringu.



Obr. 18 - Průměrné denní koncentrace PM₁₀ v lokalitě Přístaviště a dalších brněnských měřicích lokalitách státní sítě imisního monitoringu

Z grafu opět vyplývá, že v již zmíněné 3 dny s ohňostroji (3., 10. a 14. 6.) byly v lokalitě Přístaviště měřeny vyšší hodnoty než ve zbývajících brněnských lokalitách. V ostatních dnech jsou koncentrace srovnatelné či nižší než další brněnské lokality, a to i ve dnech konání dalších dvou ohňostrojů (7. a 17. 6.).

4.2 Těžké kovy s platným imisním limitem

V platné legislativě mají imisní limit 4 těžké kovy – arsen (As), kadmium (Cd), nikl (Ni) a olovo (Pb).

Arsen se vyskytuje v mnoha formách anorganických i organických sloučenin. Z antropogenních činností jsou významné hlavně spalovací procesy, výroba železa a oceli a výroba mědi a zinku. Arsen je vázán převážně na částice jemné frakce ($PM_{2,5}$), která může být v ovzduší transportována na delší vzdálenost a může rovněž hlouběji do dýchací soustavy. Kritickým účinkem expozice arsenu vdechováním je vyvolání rakoviny plic.

Přirozené zdroje kadmia tvoří v globálním pohledu pouze asi 10 % a patří mezi ně více než z poloviny vulkanická činnost. Převážnou část, plných 90 %, tvoří antropogenní zdroje, převážně výroba železa, oceli, metalurgie neželezných kovů, spalování odpadu a fosilních paliv. Méně významným zdrojem emisí kadmia je doprava. Kadmium je navázáno převážně na částice jemné frakce ($PM_{2,5}$). Dlouhodobá expozice kadmia nepříznivě ovlivňuje funkci ledvin. Kadmium je prokazatelně karcinogenní pro zvířata, důkazy karcinogenity kadmia pro člověka jsou zatím omezené.

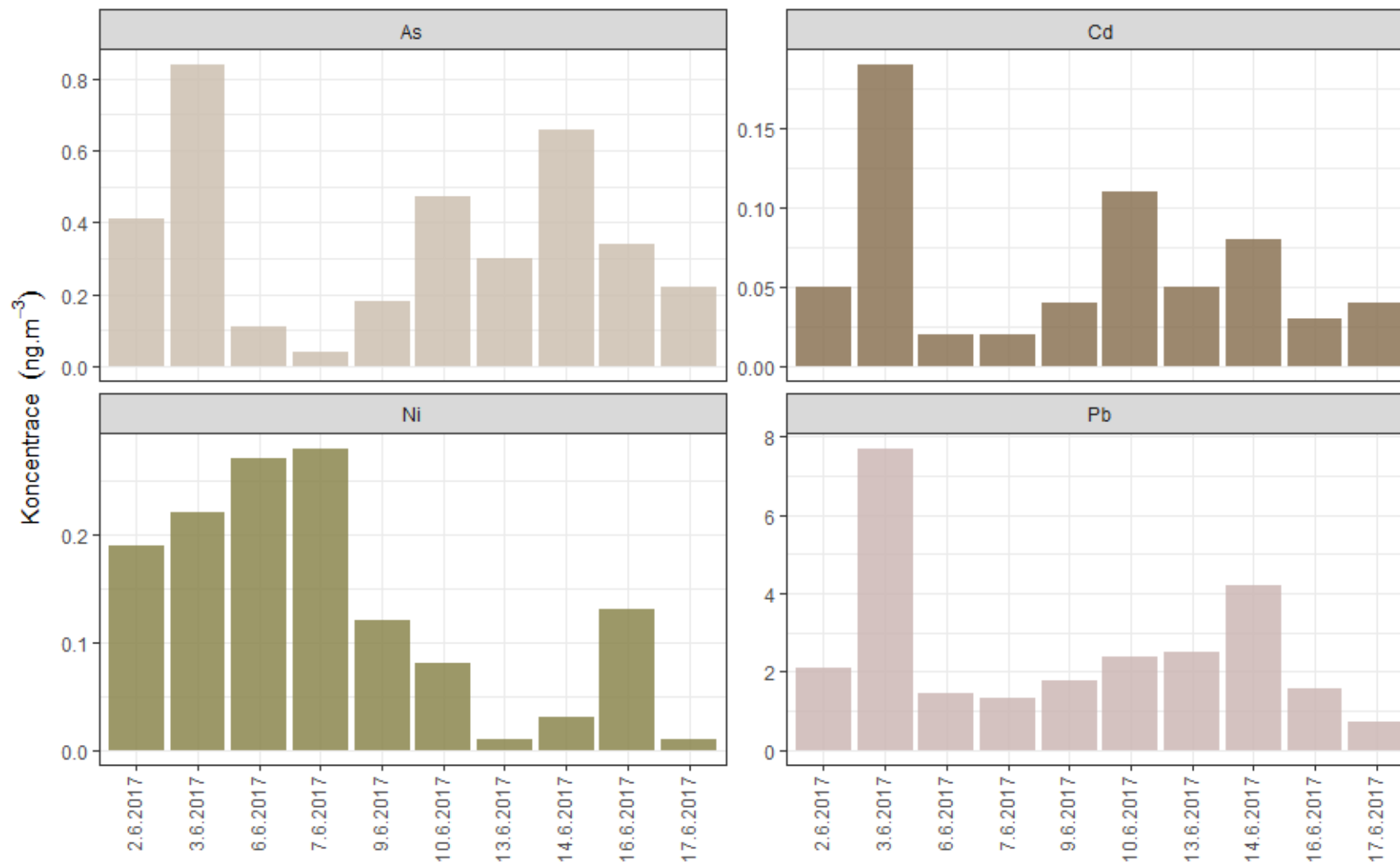
Nikl je pátý nejhojnější prvek zemského jádra, i když v zemské kůře je jeho zastoupení nižší. Z globálního hlediska je produkován z 26 % přirozenými zdroji (kontinentální prach a vulkanická činnost). Mezi hlavní antropogenní zdroje lze řadit spalování těžkých topných olejů, těžbu niklových rud a rafinaci niklu, spalování odpadu a výrobu železa a oceli. Ze zdravotního hlediska způsobuje alergické kožní reakce a je klasifikován jako lidský karcinogen.

Většina olova obsaženého v atmosféře pochází z antropogenních emisí, především ze spalování fosilních paliv, výroby železa a oceli a metalurgie neželezných kovů. Z přirozených zdrojů je významné zvětrávání hornin a vulkanická činnost. Olovo se v ovzduší vyskytuje ve formě jemných částic s četnostním rozdělením velikosti charakterizovaným středním aerodynamickým průměrem menším než $1 \mu m$. Při dlouhodobé expozici lidského organismu se projevují účinky na biosyntézu krevního barviva, nervový systém a krevní tlak. Důkazy karcinogenity olova a jeho sloučenin pro člověka jsou klasifikovány jako nedostatečné.

Graf na Obr. 19 zobrazuje naměřené koncentrace v lokalitě Brno – Přístaviště ve dnech 2. – 18. 6. 2017. Kromě dnů s ohňostroji byly proměřeny vždy i předešlé dny bez ohňostrojů. Dny s ohňostroji se nijak výrazně neliší od ostatních dní, přesto je patrný mírný nárůst koncentrací dne 3. 6. 2017. Tento nárůst nemusí souviset přímo s ohňostroji, ale např. s doprovodným programem, popř. mohly být ten den vyšší koncentrace plošněji. Avšak celkově jsou koncentrace těchto prvků velmi nízké. Proti imisním limitům ($Pb = 500 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, $As = 6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, $Cd = 5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a $Ni = 20 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) se jedná o velmi nízké koncentrace pod dolní mezí pro posuzování.

Průměrné denní koncentrace prvků s imisním limitem během Ignis Brunensis

Brno - Přístaviště, 2. - 18. června 2017



Obr. 19 – Koncentrace těžkých kovů majících imisní limit v platné legislativě, Brno – Přístaviště, 2. – 18. 6. 2017

4.3 Koncentrace kovů používaných pro zbarvení ohňostrojí

Jak již bylo uvedeno v úvodu, pro barvení ohňostrojí se používají především sloučeniny sodíku, draslíku, hořčíku, stroncia, barya, mědi a titanu. Tyto sloučeniny byly důkladněji sledovány i v lokalitě Brno – Přístaviště. Hodnoty koncentrací jednotlivých prvků, měřených vždy v den ohňostroje a v den předcházející ohňostroji, uvádí následující Tab. 1.

Tab. 1 – Průměrné denní koncentrace vybraných prvků (ng.m⁻³), Brno – Přístaviště, 2. – 18. 6. 2017

Datum	²³ Na	²⁴ Mg	³⁹ K	⁴⁷ Ti	⁶⁵ Cu	⁸⁸ Sr	¹³⁷ Ba
2.6.2017	215,79	65,54	172,48	5,00	9,21	0,98	7,01
3.6.2017	204,23	226,27	471,53	19,75	9,51	5,98	19,08
6.6.2017	75,27	71,48	136,75	4,11	0,91	0,89	5,19
7.6.2017	176,15	46,03	84,11	2,94	0,03	0,63	4,76
9.6.2017	190,23	87,81	134,96	4,33	< MD	1,09	6,58
10.6.2017	122,85	272,96	2259,21	8,25	19,65	39,19	170,38
13.6.2017	682,67	109,88	99,47	3,60	5,55	1,09	4,54
14.6.2017	359,61	1012,88	7699,23	30,98	168,38	88,46	424,86
16.6.2017	306,07	55,15	153,36	1,76	5,53	0,63	5,27
17.6.2017	373,69	53,45	134,32	1,05	0,03	4,97	9,36

* < MD = hodnota nižší, než je mez detekce

Z tabulky vyplývá, že během některých dní s ohňostroji jsou měřeny výrazně vyšší koncentrace prvků. Souvisí to podobně jako v případě PM₁₀ s meteorologickými podmínkami. Proto i v případě těchto prvků jsou koncentračně významné zejména dny 3. 6., 10. 6. a 14. 6.

V následující Tab. 2 jsou uvedeny relativní nárůsty koncentrací jednotlivých kovů (v %) v den ohňostroje proti dnu předcházejícímu. Nárůst/pokles koncentrací je doplněn o hodnoty z měření v letech 2015 a 2016. Grafické znázornění bude uvedeno v podkapitolách věnovaných jednotlivým prvkům.

Tab. 2 – Relativní nárůst koncentrací jednotlivých kovů, Brno - Přístaviště, 2015 - 2017

Datum	²³ Na	²⁴ Mg	³⁹ K	⁴⁷ Ti	⁶⁵ Cu	⁸⁸ Sr	¹³⁷ Ba
10.6.2015	167,7%	189,5%	357,1%	131,6%	179,1%	3650,9%	414,5%
13.6.2015	96,5%	134,2%	842,6%	127,2%	200,6%	2586,5%	1607,5%
4.6.2016	392,5%	1904,3%	16710,1%	64,6%	326,2%	484,1%	716,5%
8.6.2016	687,0%	2113,5%	11250,0%	99,9%	186,3%	299,1%	484,7%
11.6.2016	996,6%	796,3%	1621,5%	63,5%	22,8%	18,1%	83,3%
15.6.2016	118,5%	316,1%	2131,9%	15,2%	31,0%	17,9%	77,7%
3.6.2017	94,6%	345,2%	273,4%	394,9%	103,3%	608,7%	272,0%
7.6.2017	234,0%	64,4%	61,5%	71,6%	2,9%	70,2%	91,6%
10.6.2017	64,6%	310,8%	1674,0%	190,4%	NA	3585,2%	2591,1%
14.6.2017	52,7%	921,8%	7740,5%	859,8%	3033,5%	8117,2%	9365,6%
17.6.2017	122,1%	96,9%	87,6%	59,5%	0,5%	791,4%	177,6%

Z tabulky je patrné, že ve všech letech jsou výrazné nárůsty koncentrací draslíku (K), stroncia (Sr) a barya (Ba). Podstatně méně reaguje např. sodík (Na) a titan (Ti).

Je také nutné brát v potaz, že tento nárůst je pouze relativní a u stroncia tak výrazný vzhledem k velmi nízkým koncentracím ve dnech bez ohňostrojí (Tab. 2). Koncentračně se jedná

v exponovaných dnech maximálně o desítky ng v m³ vzduchu, naproti tomu v případě draslíku se jednalo o tisíce ng, tedy v řádu µg K v m³ vzduchu. I tak jsou v běžných pozadových koncentracích v jednotlivých letech patrné rozdíly. K těm dochází v důsledku rozdílných meteorologických podmínek (zejména rychlost a směr větru, ale také přítomnost srážek) – v závislosti na proudění mohlo být vzorkování během dnů bez ohňostrojí ovlivněno různými zdroji. Rozdílné meteorologické podmínky se významně projevují i v rámci jednoho roku.

4.3.1 Sodík

Sodík je měkký, lehký a stříbrolesklý kov. Dobře vede elektrický proud i teplo. V parách sodíku se kromě jednoatomových částic můžeme setkat i s dvouatomovými molekulami, páry mají purpurovou barvu.

Sodné soli barví plamen intenzivně žlutě².

Ionty sodíku jsou pro člověka prakticky netoxické. Smrtelná dávka chloridu sodného pro člověka se udává 150 až 280 g³.

Celkový obsah sodíku v organismu je asi 70 – 100 g a vyskytuje se z 50% v extracelulárním prostoru, ze 40% v kostní tkáni a z 10% se nalézá v intracelulární tekutině. Je přítomen ve zcela disociované formě jako ion. Sodík představuje 92% všech kationtů a 46% všech extracelulárně aktivních látek⁴.

Velíšek (2002) uvádí, že pro dospělého člověka je minimální denní dávka sodíku 500 mg. Pro děti do jednoho roku je to 120 – 200 mg a pro děti od 1 – 9 let je vhodná dávka 225 – 400 mg sodíku. Skutečné dávky sodíku přijímané potravou v našich podmínkách jsou však podstatně vyšší⁴. Obsah sodíku ve vybraných surovinách a potravinách je uveden v následující Tab. 3.

Tab. 3 - Obsah sodíku ve vybraných surovinách a potravinách

Potravina	Obsah Na (mg.kg ⁻¹)	Potravina	Obsah Na (mg.kg ⁻¹)
banány	10	maso vepřové	450 - 600
brambory	30 - 280	mléko plnotučné	480 - 500
cibule	100 - 260	mouka pšeničná	20 - 30
čaj černý	450	pomeranče	14 - 30
čočka	40 - 550	pšenice	80
čokoláda mléčná	2800	rajčata	30 - 60
fazole	20 - 400	ryby	650 - 1200
hlávkový salát	30 - 100	rýže loupaná	60
hrách	20 - 380	sója	60
hrášek	20	sýry	450 - 14100
chléb celozrnný	4000 - 6000	špenát	600 - 1200
jablka	16 - 30	tvaroh	-
jahody	15 - 30	vaječný bílek	1920
játra vepřová	770	vaječný žloutek	500
jogurt	-	vejce slepičí	1350
káva pražená	740	vlašské ořechy	30
maso hovězí	580 - 690	zelí	130
maso kuřecí	460		

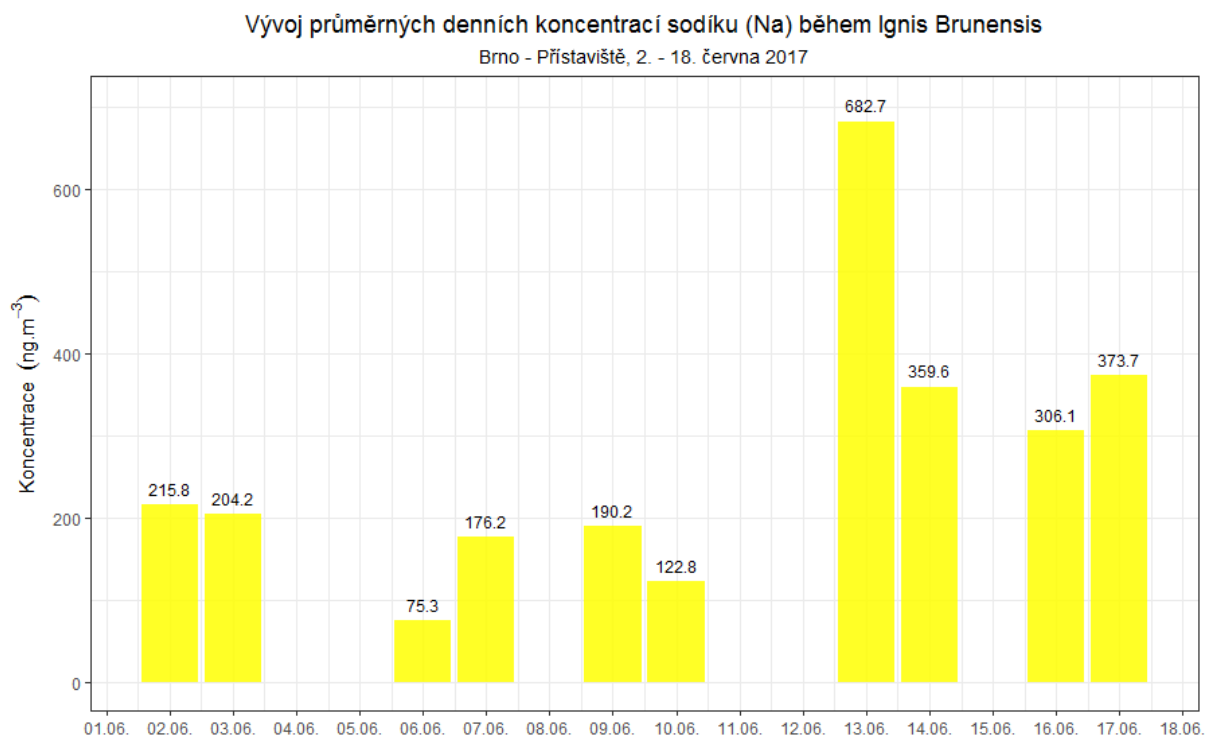
² Greenwood N.N., Earnshaw A.: Chemie prvků, Oxford 1993.

³ Tichý M.: Toxikologie pro chemiky. Karolinium, Praha 2004

⁴ VELÍŠEK, J. Chemie potravin 2. Tábor: Osis, 2002. 344 s. ISBN 86659-00-3.

4.3.1.1 Koncentrace

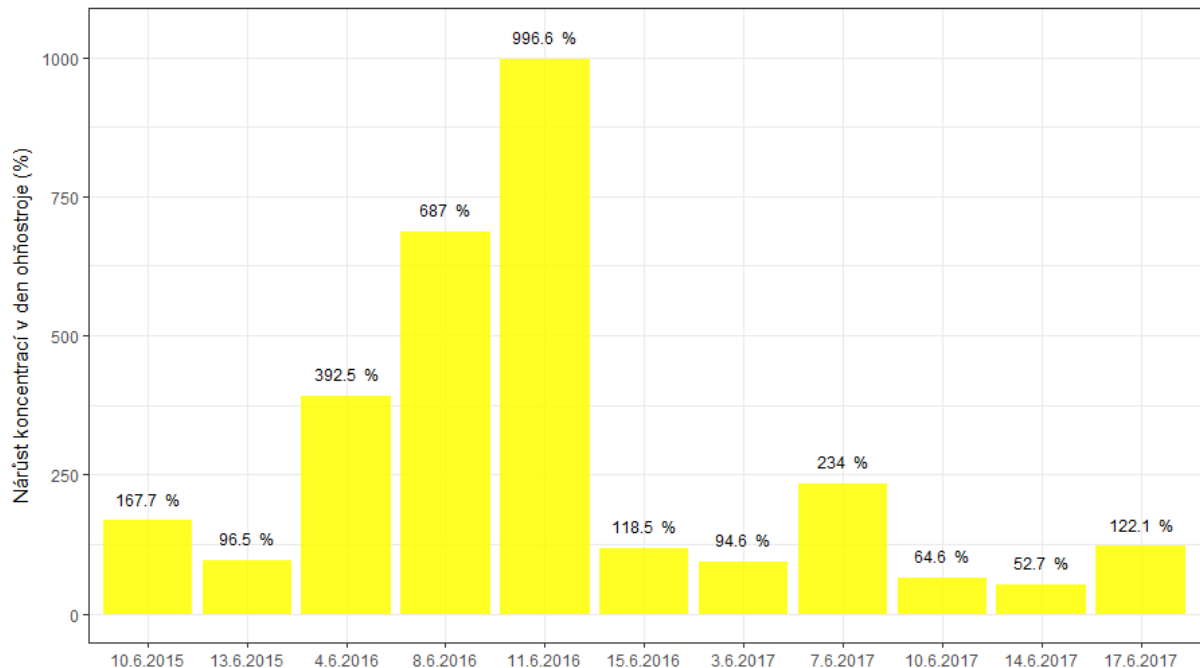
Z grafu uvedeného na Obr. 20 vyplývá, že nejvyšší koncentrace sodíku byly v roce 2017 během 24hodinového odběru naměřeny v Brně – Přístavišti mimo den konání ohňostroje – 13. 6. 2017. V některé dny s ohňostroji jsou koncentrace sodíku vyšší, než v předchozí den, ale rozdíly nejsou nijak výrazné. Koncentrace sodíku tedy ohňostroji nejsou příliš ovlivněny, větší vliv budou mít meteorologické podmínky a hodnoty aktuálních pozadřových koncentrací.



Obr. 20 – Koncentrace sodíku (Na) v 24hodinovém odběru, Brno – Přístaviště, 2. – 18. 6. 2017

Vliv ohňostroje na koncentrace sodíku je tedy možné vyjádřit relativně jako podíl koncentrací v den konání ohňostroje a dne předešlého. Tyto hodnoty zobrazuje následující Obr. 21. Kromě hodnot z roku 2017 je graf doplněn o měření z předcházejících let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že k výraznějšímu ovlivnění sodíkem docházelo pouze v roce 2016, kdy během některých ohňostrojů vzrostly koncentrace sodíku v ovzduší na 4 – 10ti násobky koncentrací předcházejícího dne. Jeden ohňostroj v roce 2016 a všechny z let 2015 a 2017 se pak pohybují maximálně do dvojnásobku koncentrací předešlého dne. Často je také hodnota nižší než 100 % a tedy v den ohňostroje byly měřeny nižší koncentrace než v předcházející den. Ve většině případů tedy k významnému ovlivnění nedochází a je otázkou, zda výraznější vliv v roce 2016 lze přičítat pouze ohňostrojům nebo také dalším zdrojům a doprovodnému programu – viz rok 2017, kdy byla nejvyšší hodnota naměřena v den bez konání ohňostroje.

Relativní vztah koncentrací sodíku (Na) v den ohňostroje a předešlého dne
Ignis Brunensis, Brno - Přístaviště, 2015 - 2017



Obr. 21 – Relativní vztah koncentrací sodíku (Na) v den konání ohňostroje a v předešlý den, Brno – Přístaviště, 2015 - 2017

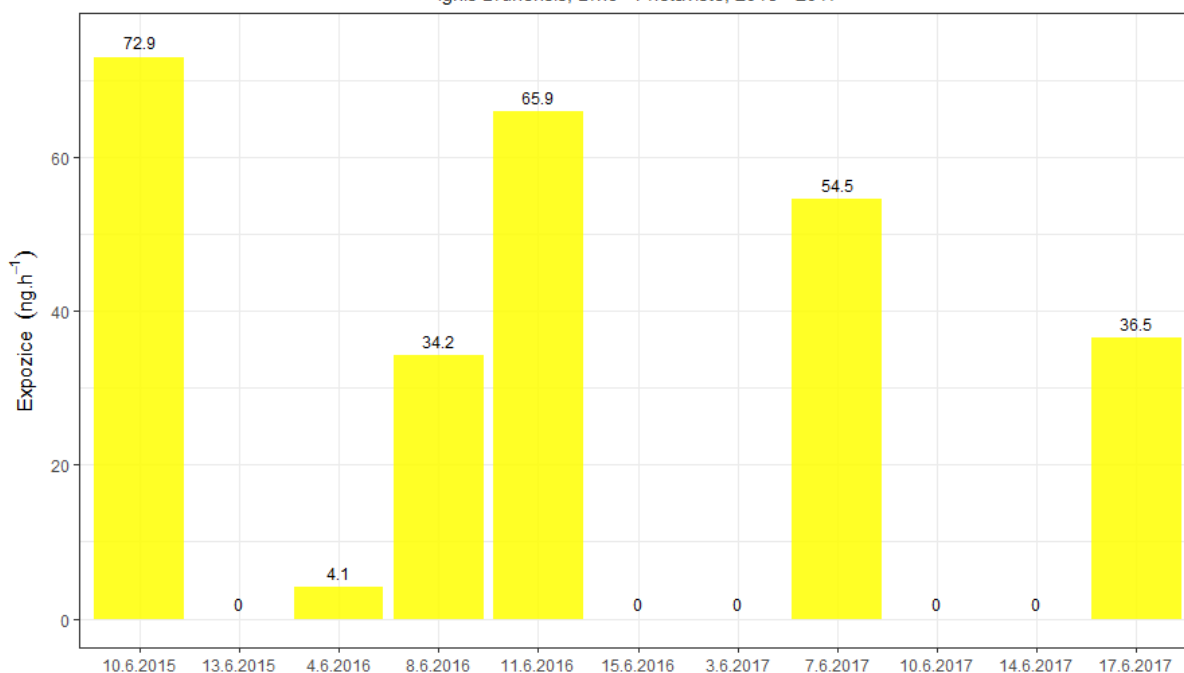
4.3.1.2 Expozice

Expozice sodíku byla vypočtena následovně: Předpoklad je, že na jeden nádech vdechne dospělý člověk 0,5 l vzduchu, za minutu se nadechne 18x. Za hodinu tedy člověk vdechne cca 0,54 m³ vzduchu. Ohňostroje trvaly cca 30 min a dalších zhruba 30 min ještě trvalo, než lidé odjeli z Přístaviště. Expozice vlivu ohňostroje tedy trvala zhruba hodinu, během které lidé vdechli 0,54 m³ vzduchu. Dále se předpokládá, že ohňostroje jsou odpovědné za celý rozdíl koncentrací mezi dnem konání ohňostroje a dnem předcházejícím ohňostroji, a že veškeré toto množství bylo v ovzduší právě během zmiňované hodiny.

Takto vypočtenou expozici během jedné hodiny zobrazuje Obr. 22. Graf je opět doplněn o hodnoty expozice z let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že maximální expozice se pohybovala okolo 70 ng sodíku vdechnutého za 1 hodinu. Nulové hodnoty expozice jsou uvedeny v případech, že ve dnech před ohňostroji byly naměřeny vyšší koncentrace sodíku než v den konání ohňostroje.

Expozice sodíku (Na) během jednotlivých ohňostrojí

Ignis Brunensis, Brno - Přístaviště, 2015 - 2017



Obr. 22 – Expozice sodíku (v ng.h⁻¹) během konání ohňostrojí v letech 2015 - 2017

Množství sodíku vdechnutého během ohňostrojí a vztah k **minimální doporučené dávce** Na (500 mg) uvádí následující Tab. 4.

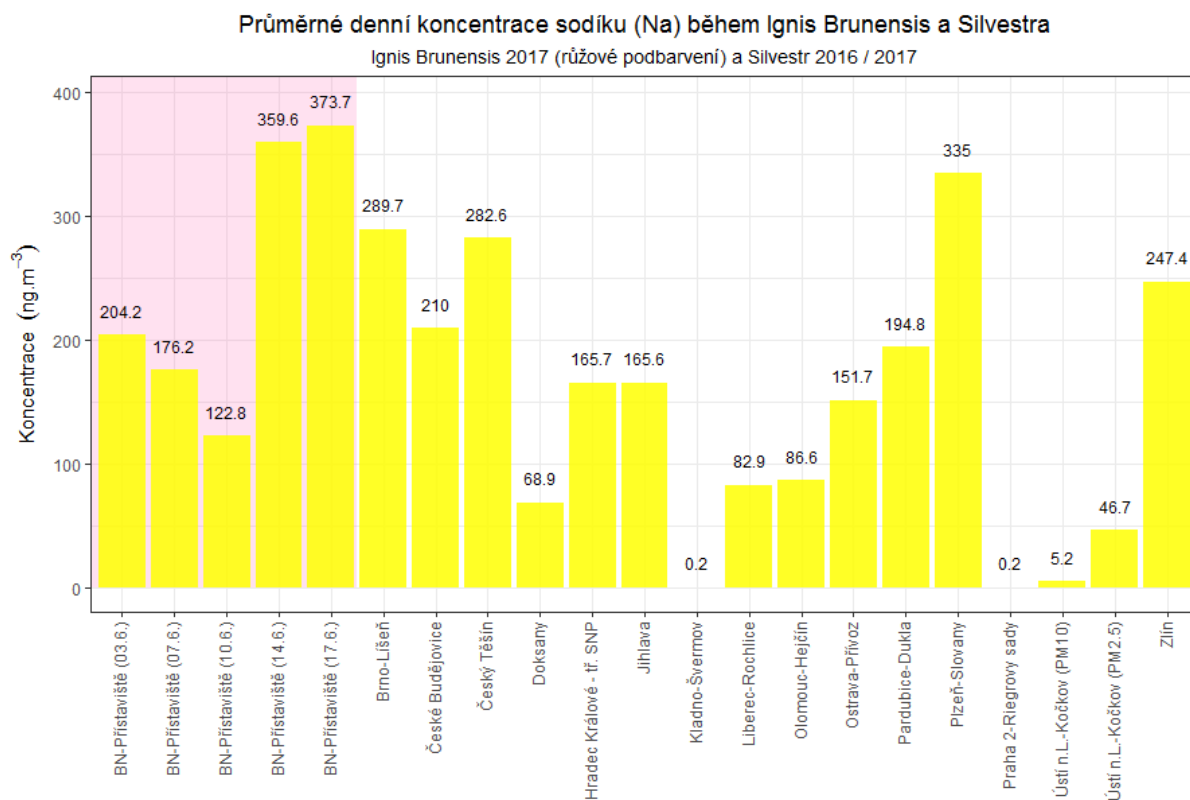
Tab. 4 – Expozice sodíku (Na) během ohňostrojí a vztah k minimální doporučené dávce

Datum	Na (ng.h ⁻¹)	Vztah k denní dávce
10.6.2015	72,93	0,000015%
13.6.2015	0,00	0,000000%
4.6.2016	4,07	0,000001%
8.6.2016	34,21	0,000007%
11.6.2016	65,91	0,000013%
15.6.2016	0,00	0,000000%
3.6.2017	0,00	0,000000%
7.6.2017	54,48	0,000011%
10.6.2017	0,00	0,000000%
14.6.2017	0,00	0,000000%
17.6.2017	36,51	0,000007%

Z Tab. 4 vyplývá, že ve všech letech byl příjem sodíku vdechnutím během ohňostrojí zanedbatelný. Vzhledem k minimálně doporučené dávce se jednalo o miliontiny procenta. Rovněž ze srovnání dávky a množství sodíku v různých potravinách vyplývá, že se jedná o nižší či srovnatelná množství, jako člověk sní v jídle.

4.3.1.3 Srovnání se silvestrovskými oslavami

Pokud srovnáme koncentrace měřené v Brně - Přístavišti s koncentracemi naměřenými během silvestrovských ohňostrojů v různých částech ČR, je patrné, že koncentrace se příliš neliší (Obr. 23). Výrazněji nižší koncentrace zaznamenaly pouze některé lokality (Kladno-Švermov, Praha2 – Riegrovy sady).



Obr. 23 – Koncentrace sodíku v Brně - Přístavišti během ohňostrojů 2. - 18. 6. 2017 (růžové podbarvení) ve srovnání s koncentracemi naměřenými ve státní síti imisního monitoringu během silvestrovských ohňostrojů 2016/2017

4.3.2 Hořčík

Hořčík je středně tvrdý, lehký, tažný kov, má vyšší hustotu než voda, vede hůře elektrický proud a teplo.

Hořčík je v přírodě poměrně dost rozšířen – tvoří cca 2% zemské kůry a je osmým nejrozšířenějším prvkem na Zemi. Je obsažen v horninách, minerálech (dolomit) a podzemních, minerálních a mořských vodách.

Hmotnost hořčíku v těle dospělého člověka činí asi 25 – 40 g (1 000 mmol, tj. cca 12 – 16 mmol/kg hmotnosti člověka)⁵. Z toho připadá asi 60% na hořčík vázaný v kostře.

Hořčík je nezbytný k sekreci parathormonu a tím se stává nezbytným pro správný metabolismus vápníku. Dále je hořčík důležitý pro asimilaci fosforu, sodíku, draslíku a vitamínu

⁵ DOSTÁL, J., PAVLOVÁ, H., SLANINA, J., TÁBORSKÁ, E. Biochemie pro bakaláře. Brno: Vydavatelství MU, 2003. 174 s. ISBN 80-210-3232-4.

C. Mezi další vlastnosti hořčíku se řadí pomoc při spalování tuků a uvolňování energie, potlačování depresivních stavů, pomoc při udržování správné hladiny cholesterolu, prevence vzniku ledvinových a žlučnickových kamenů a pomoc při premenstruačním syndromu⁶.

Pro novorozence činí denní dávka hořčíku 50 mg, do jednoho roku by se měla postupně zvyšovat na 70 mg, pro děti v předškolním věku je optimální dávka v rozmezí 150 - 250 mg denně a v adolescenci se doporučuje 250 - 350 mg denně. V dospělosti se doporučuje 300 - 450 mg hořčíku denně⁷.

Ve stáří je denní doporučená dávka 300 – 400 mg. Vyšší dávka je dána nedostatkem hořčíku v tomto období, který je způsobován nejčastěji malnutricí, požíváním antibiotik, diuretik a dalších léků⁸.

Obsah hořčíku ve vybraných surovinách a potravinách je uveden v následující Tab. 5.

Tab. 5 - Obsah hořčíku ve vybraných surovinách a potravinách

Potravina	Obsah Mg (mg.kg-1)	Potravina	Obsah Mg (mg.kg-1)
banány	310 - 420	maso vepřové	80 - 220
brambory	200 - 320	mléko plnotučné	110 - 140
cibule	70 - 160	mouka pšeničná	210 - 1300
čaj černý	770	pomeranče	110 - 140
čočka	2500	pšenice	700 - 1500
čokoláda mléčná	590 - 710	rajčata	110 - 180
fazole	230 - 1800	ryby	140 - 310
hlávkový salát	150 - 290	rýže loupaná	260 - 430
hrách	1100 - 1300	sója	2400 - 2500
hrášek	380 - 410	sýry	170 - 550
chléb celozrnný	230 - 550	špenát	420 - 770
jablka	35 - 70	tvaroh	90
jahody	120 - 170	vaječný bílek	110
játra vepřová	220 - 260	vaječný žloutek	140 - 150
jogurt	140	vejce slepičí	120 - 140
káva pražená	2400	vlašské ořechy	1300
maso hovězí	170 - 250	zelí	120 - 230
maso kuřecí	130 - 290		

4.3.2.1 Koncentrace

Z grafu uvedeného na Obr. 24 vyplývá, že nejvyšší koncentrace hořčíku byly v roce 2017 během 24hodinového odběru naměřeny v Brně – Přístavišti v den konání ohňostroje 14. 6. 2017. Ve dnech s ohňostroji, kdy panovalo téměř bezvětří, a byly měřeny zvýšené koncentrace PM₁₀ (viz předchozí kapitoly), byly naměřeny rovněž zvýšené koncentrace hořčíku (3. 6., 10. 6., 14. 6.). Ve dnech s ohňostroji, kdy docházelo k lepšímu rozptylu, byly naměřeny srovnatelné hodnoty koncentrací hořčíku jako v den před konáním ohňostroje.

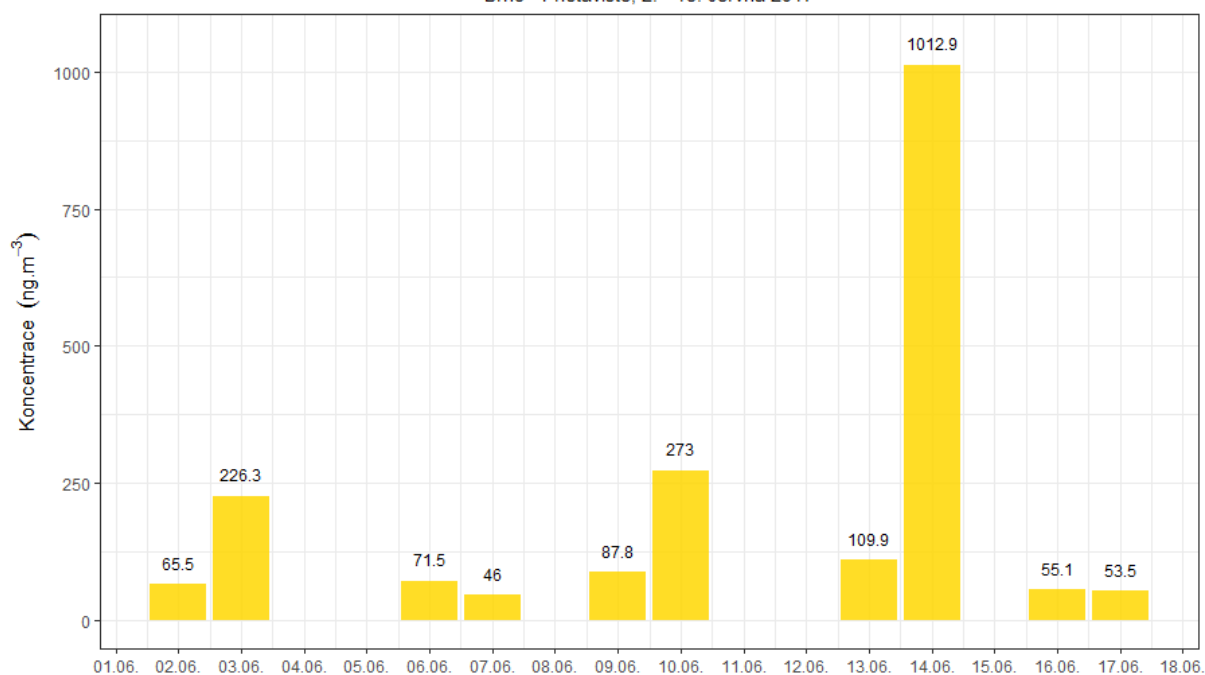
⁶ MINDELL, E., MUNDIS, H. Nová vitaminová bible. Praha: Ikar, 2004. 572 s. ISBN 80-249-0744-5.

⁷ RACEK, J. Klinická biochemie. Praha: Galén, 2006. 329 s. ISBN 978-80-247-2256-6.

⁸ KELLER, U., MEIER, R., BERTOLI, S. Klinická výživa. 1. vyd. Praha: Scientia medica, 1993. 236 s. ISBN 80-85526-08-5.

Vývoj průměrných denních koncentrací hořčíku (Mg) během Ignis Brunensis

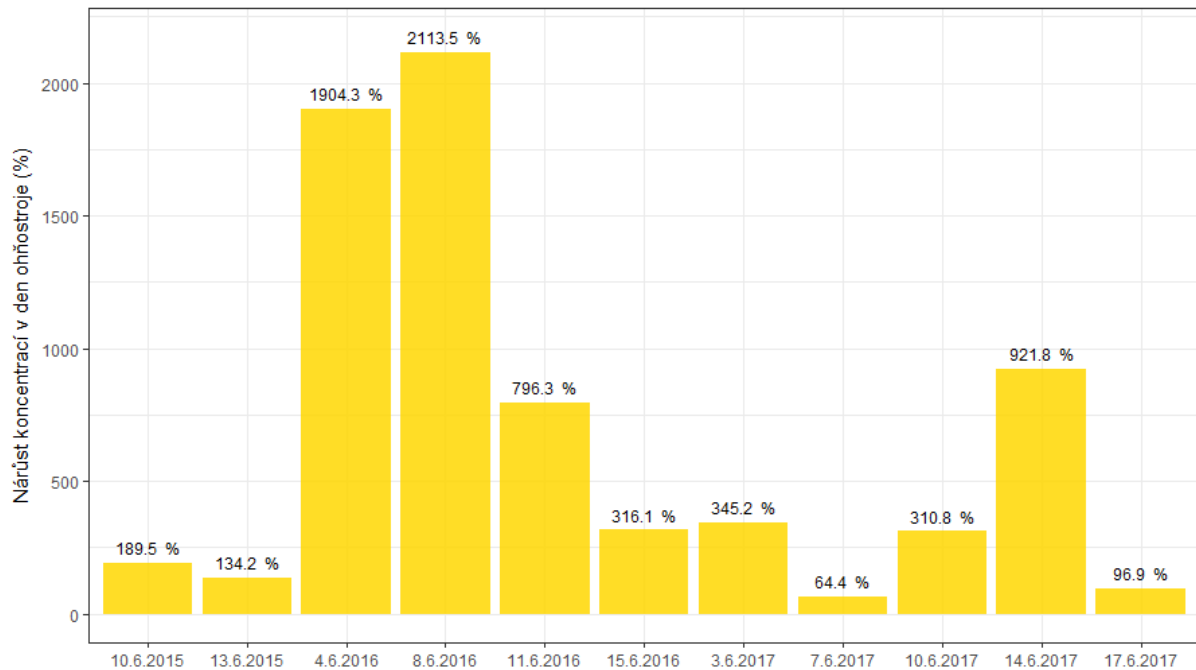
Brno - Přístaviště, 2. - 18. června 2017



Obr. 24 – Koncentrace hořčíku (Mg) v 24hodinovém odběru, Brno – Přístaviště, 2. – 18. 6. 2017

Vliv ohňostroje na koncentrace hořčíku je tedy možné vyjádřit relativně jako podíl koncentrací v den konání ohňostroje a dne předešlého. Tyto hodnoty zobrazuje následující Obr. 25. Kromě hodnot z roku 2017 je graf doplněn o měření z předcházejících let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že k výraznějšímu ovlivnění hořčíkem došlo při dvou ohňostrojích v roce 2016, kdy během některých ohňostrojů vzrostly koncentrace hořčíku v ovzduší až na 20ti násobky koncentrací předcházejícího dne. Nejvyšší nárůst v roce 2017 zaznamenal ohňostroj dne 14. 6., kdy koncentrace vzrostly zhruba desetinásobně. Častěji jsou během ohňostrojů naměřeny trojnásobky koncentrací měřených v předchozí den. I v případě hořčíku lze naměřit hodnoty nižší než 100 % nebo v blízkosti 100 %. Jedná se pravděpodobně o dny s příhodnými podmínkami pro rozptyl, kdy byly měřeny hodnoty na úrovni dnů bez konání ohňostroje. Meteorologické podmínky tak mají významný vliv na měřené koncentrace.

Relativní vztah koncentrací hořčíku (Mg) v den ohňostroje a předešlého dne
Ignis Brunensis, Brno - Přístaviště, 2015 - 2017



Obr. 25 – Relativní vztah koncentrací hořčíku (Mg) v den konání ohňostroje a v předešlý den, Brno – Přístaviště, 2015 - 2017

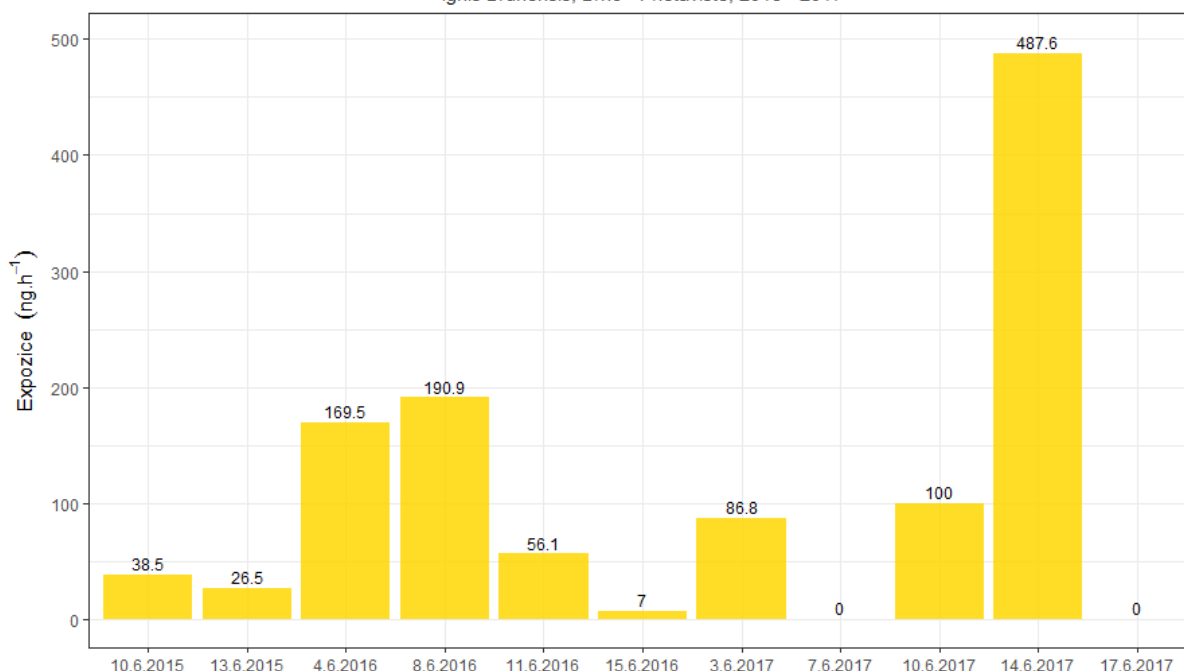
4.3.2.2 Expozice

Expozice hořčíku byla vypočtena následovně: Předpoklad je, že na jeden nádech vdechne dospělý člověk 0,5 l vzduchu, za minutu se nadechne 18x. Za hodinu tedy člověk vdechne cca 0,54 m³ vzduchu. Ohňostroje trvaly cca 30 min a dalších zhruba 30 min ještě trvalo, než lidé odjeli z Přístaviště. Expozice vlivu ohňostroje tedy trvala zhruba hodinu, během které lidé vdechli 0,54 m³ vzduchu. Dále se předpokládá, že ohňostroje jsou odpovědné za celý rozdíl koncentrací mezi dnem konání ohňostroje a dnem předcházejícím ohňostroji, a že veškeré toto množství bylo v ovzduší právě během zmiňované hodiny.

Takto vypočtenou expozici během jedné hodiny zobrazuje Obr. 26. Graf je opět doplněn o hodnoty expozice z let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že maximální expozice se pohybovala okolo 0,5 µg hořčíku vdechnutého za 1 hodinu. Takto vysoká hodnota je pouze ojedinělá, většinou se hodnoty pohybují do 200 ng hořčíku za hodinu. Nulové hodnoty expozice jsou uvedeny v případech, že ve dnech před ohňostroji byly naměřeny vyšší koncentrace hořčíku než v den konání ohňostroje.

Expozice hořčíku (Mg) během jednotlivých ohňostrojí

Ignis Brunensis, Brno - Přístaviště, 2015 - 2017



Obr. 26 – Expozice hořčíku (v ng.h⁻¹) během konání ohňostrojí v letech 2015 - 2017

Množství hořčíku vdechnutého během ohňostrojí a vztah k **doporučené dávce Mg pro děti** (50 mg) a **dospělé** (300 mg) uvádí následující Tab. 6.

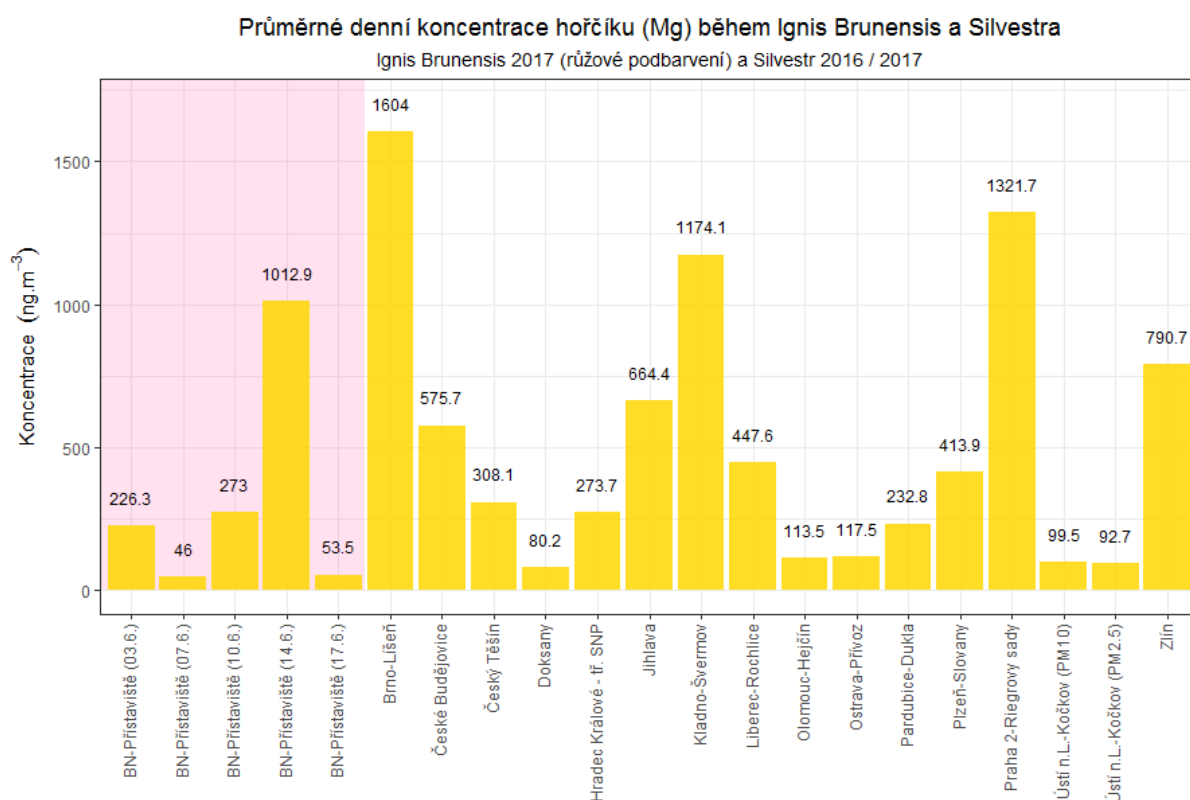
Tab. 6 – Expozice hořčíku (Mg) během ohňostrojí a vztah k minimální doporučené dávce

Datum	Mg (ng.h ⁻¹)	Vztah k denní dávce děti	Vztah k denní dávce dospělí
10.6.2015	38,49	0,000077%	0,000013%
13.6.2015	26,46	0,000053%	0,000009%
4.6.2016	169,53	0,000339%	0,000057%
8.6.2016	190,95	0,000382%	0,000064%
11.6.2016	56,11	0,000112%	0,000019%
15.6.2016	6,95	0,000014%	0,000002%
3.6.2017	86,79	0,000174%	0,000029%
7.6.2017	0,00	0,000000%	0,000000%
10.6.2017	99,98	0,000200%	0,000033%
14.6.2017	487,62	0,000975%	0,000163%
17.6.2017	0,00	0,000000%	0,000000%

Z Tab. 6 vyplývá, že ve všech letech byl příjem hořčíku vdechnutím během ohňostrojí zanedbatelný. Vzhledem k doporučené denní dávce se u dětí jednalo o desetitisíciny, maximálně tisíciny procenta, v případě dospělých pak stotisíciny až desetitisíciny procenta. Rovněž ze srovnání dávky a množství hořčíku v různých potravinách vyplývá, že se jedná o srovnatelná množství, jaká člověk sní v jídle.

4.3.2.3 Srovnání se silvestrovskými oslavami

Pokud srovnáme koncentrace měřené v Brně - Přístavišti s koncentracemi naměřenými během silvestrovských ohňostrojů v různých částech ČR, je patrné, že koncentrace se příliš neliší (Obr. 27). Maximální hodnota během Ignis Brunensis ze dne 14. 6. patří k vyšším koncentracím, není však nejvyšší. Ta byla naměřena během silvestrovských oslav v Brně – Líšni. Obdobně vysoké koncentrace byly měřeny v lokalitách Kladno – Švermov, Praha – Riegrovy sady nebo Zlín.



Obr. 27 – Koncentrace hořčičku v Brně - Přístavišti během ohňostrojů 2. - 18. 6. 2017 (růžové podbarvení) ve srovnání s koncentracemi naměřenými ve státní síti imisního monitoringu během silvestrovských ohňostrojů 2016/2017

4.3.3 Draslík

Draslík je měkký, lehký a stříbrolesklý kov. Vede velmi dobře elektrický proud a teplo. Má nízký bod tání a varu ve srovnání s ostatními kovy. V jeho parách se kromě jednoatomových částic vyskytují i dvouatomové molekuly. **Soli draslíku barví plamen intenzivně fialově**, ale i při stopách sodné sloučeniny ve vzorku se plamen barví do žluta, proto je nutné se na takový plamen dívat skrz modré kobaltové sklo⁹.

⁹ Greenwood N.N., Earnshaw A.: Chemie prvků, Oxford 1993.

Ionty draslíku jsou rovněž málo toxické, avšak šestkrát toxičtější, než ionty sodíku. Požití chloridu draselného způsobuje křeče a nepravidelnou srdeční činnost. Asi 15 g již způsobí otravu¹⁰.

Keller a kol. (1993) doporučují pro dospělého člověka denní dávku v rozmezí 1 875 – 5 625 mg¹¹. Pro děti do jednoho roku je denní potřeba udávána v rozmezí 500 – 700 mg a pro děti od 1 do 9 let 1 000 – 1 600 mg¹².

Obsah draslíku ve vybraných surovinách a potravinách je uveden v následující Tab. 7.

Tab. 7 - Obsah draslíku ve vybraných surovinách a potravinách

Potravina	Obsah K (mg.kg ⁻¹)	Potravina	Obsah K (mg.kg ⁻¹)
banány	3500	maso vepřové	2600 - 4000
brambory	4400 - 5700	mléko plnotučné	1550 - 1600
cibule	1300	mouka pšeničná	1100 - 1300
čaj černý	21600	pomeranče	1800 - 2000
čočka	6700 - 8100	pšenice	3500 - 5000
čokoláda mléčná	3500	rajčata	2900
fazole	12000	ryby	2200 - 3600
hlávkový salát	2200	rýže loupaná	1000
hrách	2900 - 9900	sója	16000
hrášek	3000	sýry	1070 - 1100
chléb celozrnný	2300 - 2500	špenát	4900 - 7700
jablka	900 - 1400	tvářoh	1000
jahody	1500	vaječný bílek	1480
játra vepřová	3500	vaječný žloutek	1230
jogurt	1700 - 2200	vejce slepičí	1380
káva pražená	20200	vlašské ořechy	6900
maso hovězí	3400	zelí	2300
maso kuřecí	4100		

4.3.3.1 Koncentrace

Z grafu uvedeného na Obr. 28 vyplývá, že nejvyšší koncentrace draslíku byly v roce 2017 během 24hodinového odběru naměřeny v Brně – Přístavišti v den konání ohňostroje 14. 6. 2017. Výrazněji zvýšené hodnoty byly naměřeny ještě 10. 6. 2017. Ve dny, kdy panovaly příhodné meteorologické podmínky pro dobrý rozptyl (7. a 17. 6.) byly koncentrace v den konání ohňostroje srovnatelné s hodnotami naměřenými o den dříve.

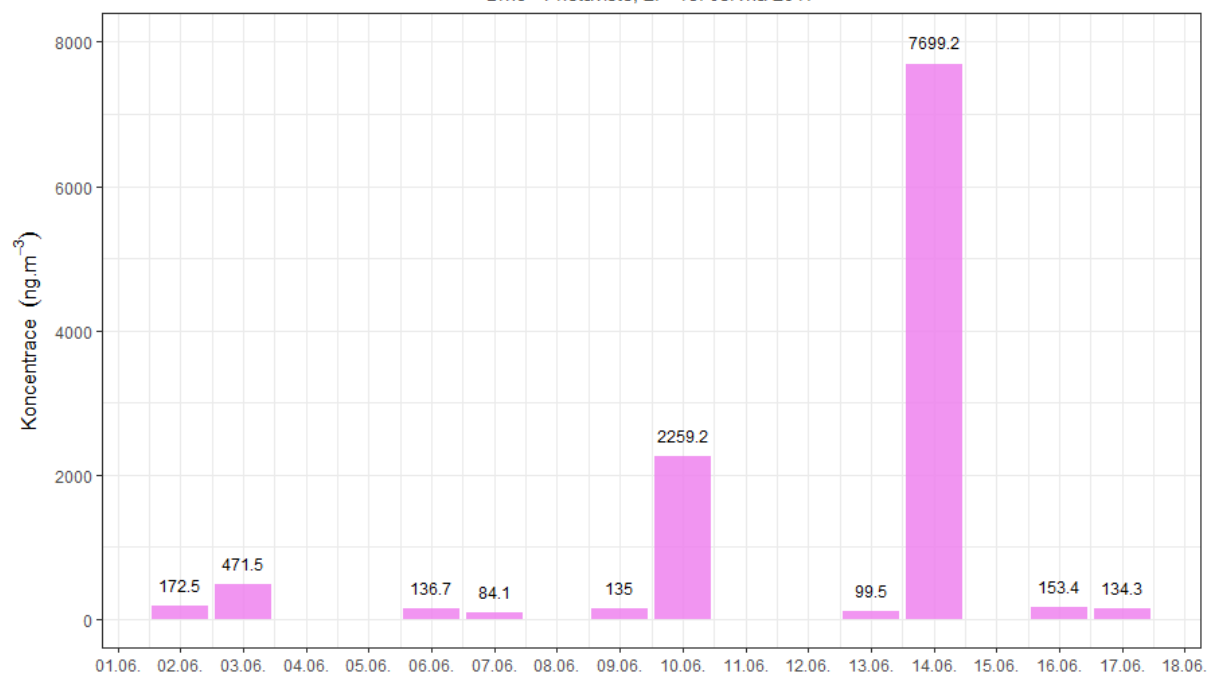
¹⁰ Tichý M.: Toxikologie pro chemiky. Karolinium, Praha 2004

¹¹ KELLER, U., MEIER, R., BERTOLI, S. Klinická výživa. 1. vyd. Praha: Scientia medica, 1993. 236 s. ISBN 80-85526-08-5.

¹² VELÍŠEK, J. Chemie potravin 2. Tábor: Osis, 2002. 344 s. ISBN 86659-00-3.

Vývoj průměrných denních koncentrací draslíku (K) během Ignis Brunensis

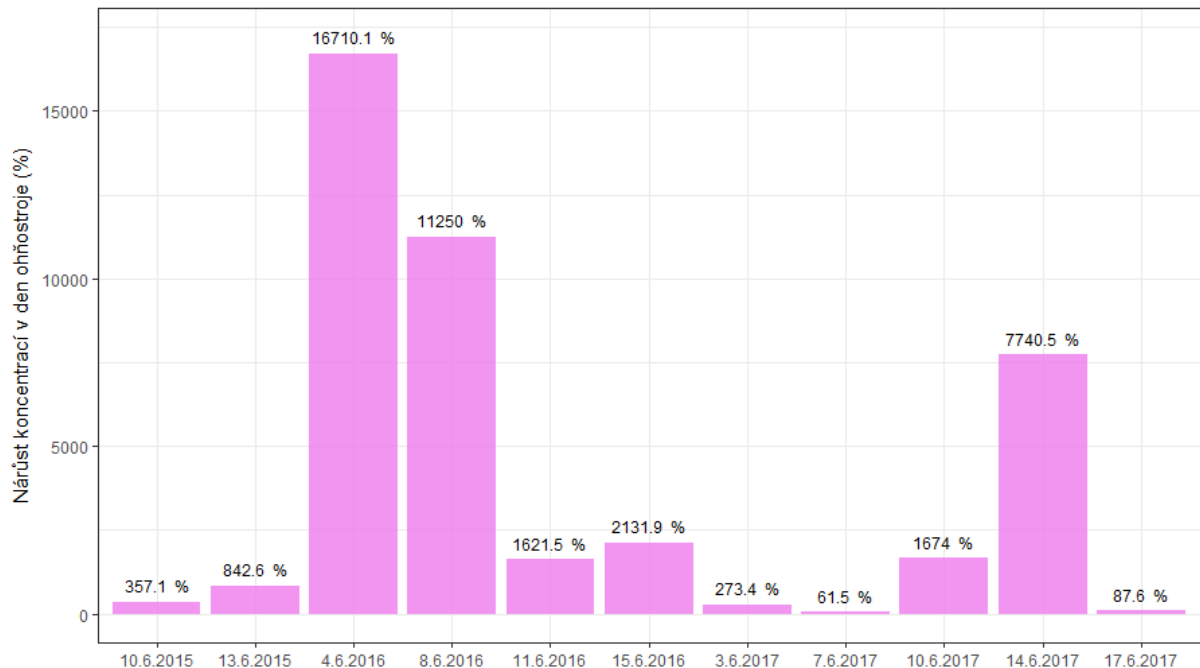
Brno - Přístaviště, 2. - 18. června 2017



Obr. 28 – Koncentrace draslíku (K) v 24hodinovém odběru, Brno – Přístaviště, 2. – 18. 6. 2017

Vliv ohňostroje na koncentrace draslíku je tedy možné vyjádřit relativně jako podíl koncentrací v den konání ohňostroje a dne předešlého. Tyto hodnoty zobrazuje následující Obr. 29. Kromě hodnot z roku 2017 je graf doplněn o měření z předcházejících let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že k výraznějšímu ovlivnění draslíkem došlo při dvou ohňostrojích v roce 2016, kdy během některých ohňostrojů vzrostly koncentrace draslíku v ovzduší až na 16ti násobky koncentrací předcházejícího dne. Nejvyšší nárůst v roce 2017 zaznamenal ohňostroj dne 14. 6., kdy koncentrace vzrostly zhruba osminásobně. Častěji jsou během ohňostrojů naměřeny dvojnásobky koncentrací měřených v předchozí den. I v případě draslíku lze naměřit hodnoty nižší než 100 % nebo v blízkosti 100 %. Jedná se pravděpodobně o dny s příhodnými podmínkami pro rozptyl, kdy byly měřeny hodnoty na úrovni dnů bez konání ohňostroje. Meteorologické podmínky tak mají významný vliv na měřené koncentrace.

Relativní vztah koncentrací draslíku (K) v den ohňostroje a předešlého dne
Ignis Brunensis, Brno - Přístaviště, 2015 - 2017



Obr. 29 – Relativní vztah koncentrací draslíku (K) v den konání ohňostroje a v předešlý den, Brno – Přístaviště, 2015 - 2017

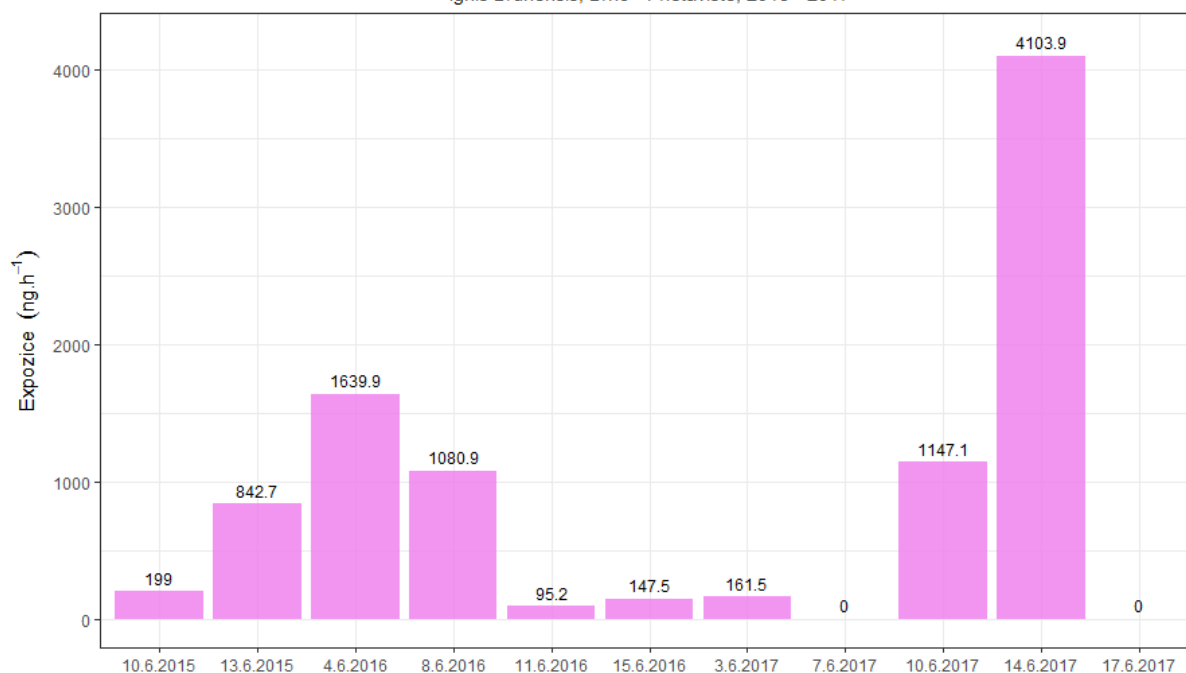
4.3.3.2 Expozice

Expozice draslíku byla vypočtena následovně: Předpoklad je, že na jeden nádech vdechne dospělý člověk 0,5 l vzduchu, za minutu se nadechne 18x. Za hodinu tedy člověk vdechne cca 0,54 m³ vzduchu. Ohňostroje trvaly cca 30 min a dalších zhruba 30 min ještě trvalo, než lidé odjeli z Přístaviště. Expozice vlivu ohňostroje tedy trvala zhruba hodinu, během které lidé vdechli 0,54 m³ vzduchu. Dále se předpokládá, že ohňostroje jsou odpovědné za celý rozdíl koncentrací mezi dnem konání ohňostroje a dnem předcházejícím ohňostroji, a že veškeré toto množství bylo v ovzduší právě během zmiňované hodiny.

Takto vypočtenou expozici během jedné hodiny zobrazuje Obr. 30. Graf je opět doplněn o hodnoty expozice z let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že maximální expozice se pohybovala okolo 4 µg draslíku vdechnutého za 1 hodinu. Takto vysoká hodnota je pouze ojedinělá, většinou se hodnoty pohybují do 1,5 µg draslíku za hodinu. Nulové hodnoty expozice jsou uvedeny v případech, že ve dnech před ohňostroji byly naměřeny vyšší koncentrace draslíku než v den konání ohňostroje.

Expozice draslíku (K) během jednotlivých ohňostrojí

Ignis Brunensis, Brno - Přístaviště, 2015 - 2017



Obr. 30 – Expozice draslíku (v ng.h⁻¹) během konání ohňostrojí v letech 2015 - 2017

Množství draslíku vdechnutého během ohňostrojí a vztah k **doporučené dávce K pro děti** (500 mg) a **dospělé** (3750 mg) uvádí následující Tab. 8.

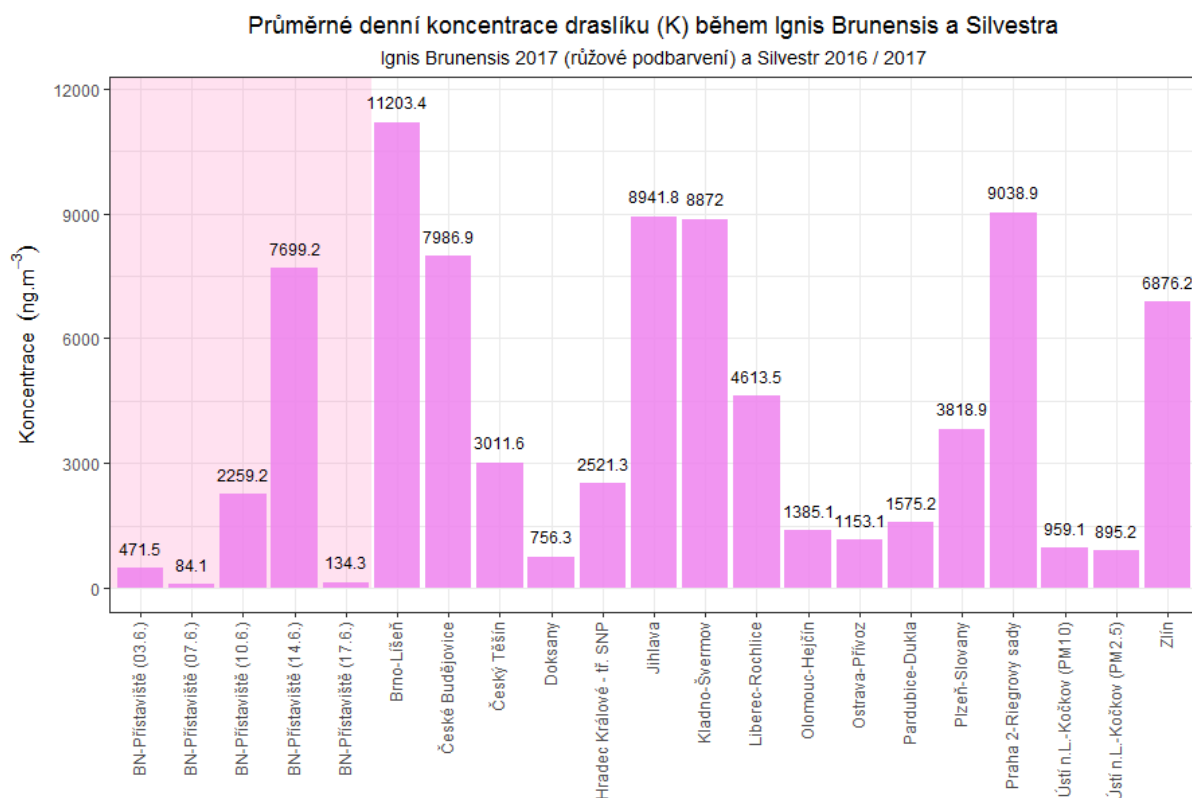
Tab. 8 – Expozice draslíku (K) během ohňostrojí a vztah k minimální doporučené dávce

Datum	K (ng.h ⁻¹)	Vztah k denní dávce děti	Vztah k denní dávce dospělí
10.6.2015	198,96	0,000040%	0,000005%
13.6.2015	842,71	0,000169%	0,000022%
4.6.2016	1639,86	0,000328%	0,000044%
8.6.2016	1080,90	0,000216%	0,000029%
11.6.2016	95,22	0,000019%	0,000003%
15.6.2016	147,47	0,000029%	0,000004%
3.6.2017	161,49	0,000032%	0,000004%
7.6.2017	0,00	0,000000%	0,000000%
10.6.2017	1147,10	0,000229%	0,000031%
14.6.2017	4103,87	0,000821%	0,000109%
17.6.2017	0,00	0,000000%	0,000000%

Z Tab. 8 vyplývá, že ve všech letech byl příjem draslíku vdechnutím během ohňostrojí zanedbatelný. Vzhledem k doporučené denní dávce se u dětí i dospělých jednalo o desetitisíciny, maximálně tisíciny procenta. Rovněž ze srovnání dávky a množství draslíku v různých potravinách vyplývá, že se jedná o srovnatelná množství, jaká člověk sní v jídle.

4.3.3.3 Srovnání se silvestrovskými oslavami

Pokud srovnáme koncentrace měřené v Brně - Přístavišti s koncentracemi naměřenými během silvestrovských ohňostrojů v různých částech ČR, je patrné, že koncentrace se příliš neliší (Obr. 31). Maximální hodnota během Ignis Brunensis ze dne 14. 6. patří k vyšším koncentracím, není však nejvyšší. Ta byla naměřena během silvestrovských oslav v Brně – Líšni. Obdobně vysoké koncentrace byly měřeny v lokalitách České Budějovice, Jihlava, Kladno – Švermov, Praha – Riegrovy sady nebo Zlín.



Obr. 31 – Koncentrace draslíku v Brně - Přístavišti během ohňostrojů 2. - 18. 6. 2017 (růžové podbarvení) ve srovnání s koncentracemi naměřenými ve státní síti imisního monitoringu během silvestrovských ohňostrojů 2016/2017

4.3.4 Stroncium

Poměrně měkký, lehký, reaktivní kov, který se svými vlastnostmi více podobá vlastnostem alkalických kovů (především vápníku). Stroncium patří k lepším vodičům elektrického proudu a tepla. **Soli stroncía barví plamen červeně**¹³.

Běžné izotopy stroncía se v živých organizmech chovají podobně jako atomy vápníku a jsou tedy naprosto neškodné. Zdravotní rizika spojená se stronciem jsou spojena s radioaktivním

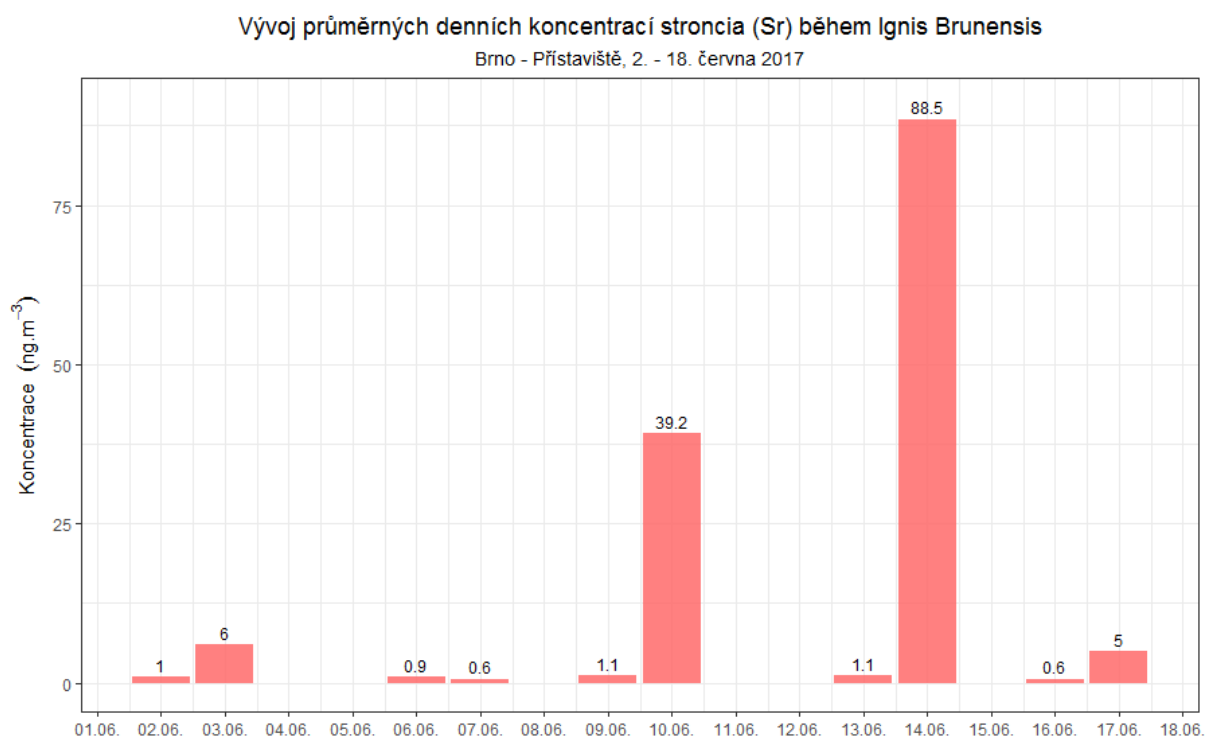
¹³ Greenwood N.N., Earnshaw A.: Chemie prvků, Oxford 1993.

izotopem ^{90}Sr , který vzniká při radioaktivním rozpadu uranu, tedy při výbuchu atomové bomby i v jaderných reaktorech. Izotop ^{90}Sr je poměrně silný beta zářič s poločasem rozpadu 29,1 let.

Stroncium se vyskytuje přirozeně v našich potravinách. Lidské tělo absorbuje a využije stroncium stejně jako vápník. Průměrná spotřeba se odhaduje u dospělého člověka na 1 až 5 mg stroncium za den. Stroncium se nachází v relativně vysoké koncentraci v kořeni, celozrnném pečivu, listové zelenině, jako je špenát či kapusta, v mořských plodech, mrkvi a luštěninách.

4.3.4.1 Koncentrace

Z grafu uvedeného na Obr. 32 vyplývá, že nejvyšší koncentrace stroncium byly v roce 2017 během 24hodinového odběru naměřeny v Brně – Přístavišti v den konání ohňostroje 14. 6. 2017. Výrazněji zvýšené hodnoty byly naměřeny ještě 10. 6. 2017. Ve dny, kdy panovaly příhodné meteorologické podmínky pro dobrý rozptyl (7. a 17. 6.) byly koncentrace v den konání ohňostroje srovnatelné s hodnotami naměřenými o den dříve.

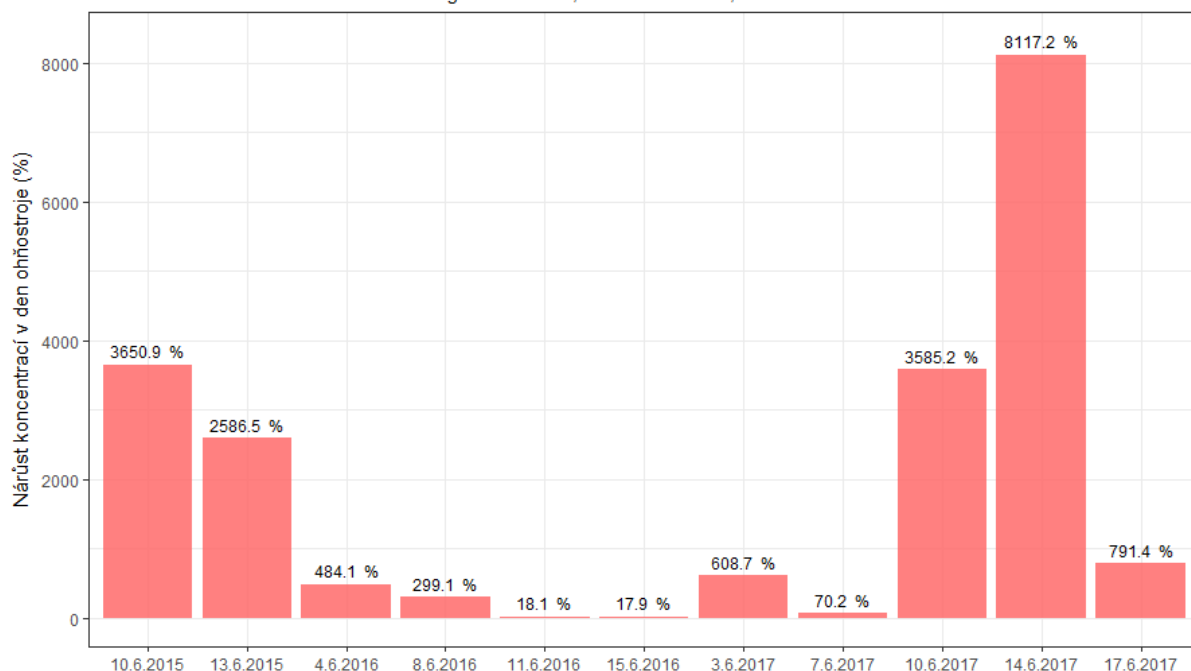


Obr. 32 – Koncentrace stroncium (Sr) v 24hodinovém odběru, Brno – Přístaviště, 2. – 18. 6. 2017

Vliv ohňostroje na koncentrace stroncium je tedy možné vyjádřit relativně jako podíl koncentrací v den konání ohňostroje a dne předešlého. Tyto hodnoty zobrazuje následující Obr. 33. Kromě hodnot z roku 2017 je graf doplněn o měření z předcházejících let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že k výraznějšímu ovlivnění stroncium došlo vždy při dvou ohňostrojích v roce 2015 a 2017, kdy během dnů s ohňostrojemi vzrostly koncentrace stroncium v ovzduší až na 40ti násobky koncentrací předcházejícího dne, 14. 6. 2017 dokonce na 80ti násobek. Takto vysoká čísla u Stroncium jsou z toho důvodu, že ve dnech bez ohňostrojů jsou koncentrace v ovzduší pouze velmi nízké. Jakékoliv navýšení je tedy významné. K nárůstu proto dochází velmi často, pouze ve 3 případech došlo během dne s ohňostrojemi k poklesu proti předešlému dni.

Relativní vztah koncentrací stroncia (Sr) v den ohňostroje a předešlého dne

Ignis Brunensis, Brno - Přístaviště, 2015 - 2017



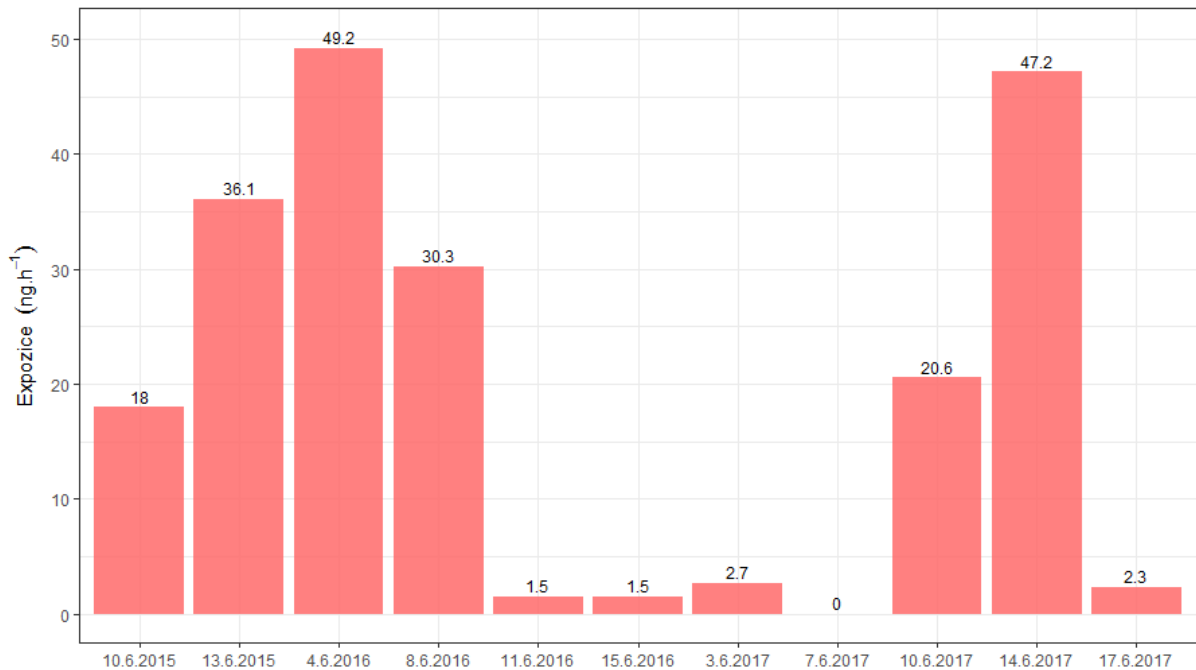
Obr. 33 – Relativní vztah koncentrací stroncia (Sr) v den konání ohňostroje a v předešlý den, Brno – Přístaviště, 2015 - 2017

4.3.4.2 Expozice

Expozice stroncia byla vypočtena následovně: Předpoklad je, že na jeden nádech vdechne dospělý člověk 0,5 l vzduchu, za minutu se nadechne 18x. Za hodinu tedy člověk vdechne cca 0,54 m³ vzduchu. Ohňostroje trvaly cca 30 min a dalších zhruba 30 min ještě trvalo, než lidé odjeli z Přístaviště. Expozice vlivu ohňostroje tedy trvala zhruba hodinu, během které lidé vdechli 0,54 m³ vzduchu. Dále se předpokládá, že ohňostroje jsou odpovědné za celý rozdíl koncentrací mezi dnem konání ohňostroje a dnem předcházejícím ohňostroji, a že veškeré toto množství bylo v ovzduší právě během zmiňované hodiny.

Takto vypočtenou expozici během jedné hodiny zobrazuje Obr. 30. Graf je opět doplněn o hodnoty expozice z let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že maximální expozice se pohybovala okolo 50 ng stroncia vdechnutého za 1 hodinu. Nulové hodnoty expozice jsou uvedeny v případech, že ve dnech před ohňostroji byly naměřeny vyšší koncentrace stroncia než v den konání ohňostroje.

Expozice stroncia (Sr) během jednotlivých ohňostrojí
Ignis Brunensis, Brno - Přístaviště, 2015 - 2017



Obr. 34 – Expozice stroncia (v ng.h⁻¹) během konání ohňostrojí v letech 2015 - 2017

Množství stroncia vdechnutého během ohňostrojí a vztah k **průměrné spotřebě stroncia** (3 mg) uvádí následující Tab. 9.

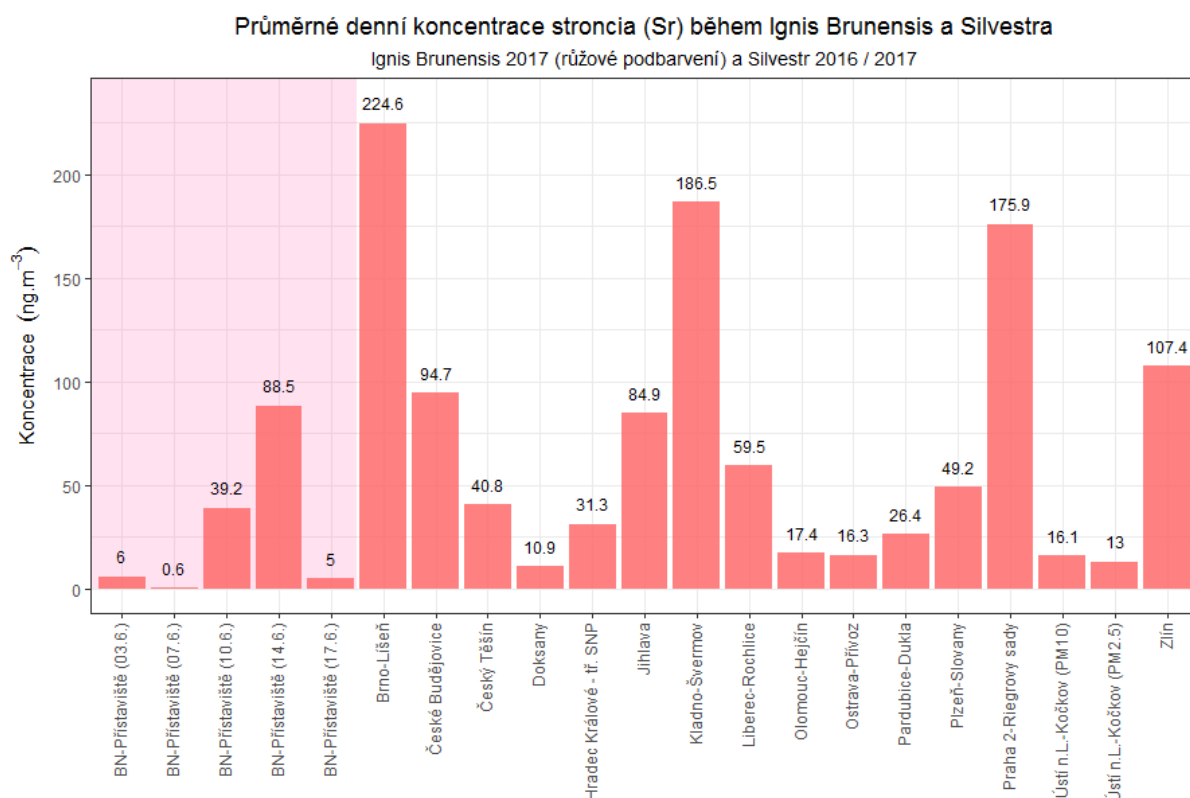
Tab. 9 – Expozice stroncia (Sr) během ohňostrojí a vztah k minimální doporučené dávce

Datum	Sr (ng.h ⁻¹)	Vztah k průměrné spotřebě
10.6.2015	18,00	0,00060%
13.6.2015	36,11	0,00120%
4.6.2016	49,20	0,00164%
8.6.2016	30,26	0,00101%
11.6.2016	1,49	0,00005%
15.6.2016	1,48	0,00005%
3.6.2017	2,70	0,00009%
7.6.2017	0,00	0,00000%
10.6.2017	20,57	0,00069%
14.6.2017	47,18	0,00157%
17.6.2017	2,34	0,00008%

Z Tab. 9 vyplývá, že ve všech letech byl příjem stroncia vdechnutím během ohňostrojí zanedbatelný. Vzhledem k průměrné spotřebě se jednalo o desetitisíciny resp. tisíciny procenta.

4.3.4.3 Srovnání se silvestrovskými oslavami

Pokud srovnáme koncentrace měřené v Brně - Přístavišti s koncentracemi naměřenými během silvestrovských ohňostrojů v různých částech ČR, je patrné, že koncentrace se příliš neliší (Obr. 31). Maximální hodnota během Ignis Brunensis ze dne 14. 6. patří ke středním hodnotám koncentrací. Nejvyšší koncentrace stroncia byla naměřena během silvestrovských oslav v Brně – Líšni. Obdobně vysoké koncentrace byly měřeny v lokalitách Kladno – Švermov, Praha – Riegrovy sady nebo Zlín. Hodnoty podobné koncentracím naměřeným během Ignis Brunensis naměřily např. lokality České Budějovice a Jihlava.



Obr. 35 – Koncentrace stroncia v Brně - Přístavišti během ohňostrojů 2. - 18. 6. 2017 (růžové podbarvení) ve srovnání s koncentracemi naměřenými ve státní síti imisního monitoringu během silvestrovských ohňostrojů 2016/2017

4.3.5 Baryum

Poměrně měkký, lehký, reaktivní kov, který se svými vlastnostmi více podobá vlastnostem alkalických kovů. Baryum patří k lepším vodičům elektrického proudu a tepla. Je nejreaktivnější z kovů alkalických zemin a reaktivitou se podobá alkalickým kovům. **Soli barya barví plamen zeleně**¹⁴.

V lidském organismu je baryum obsaženo průměrně v 0,23 mg/kg tělesné váhy.

K akutním otravám baryem dochází relativně často především požitím jeho rozpustných sloučenin. Příznaky: dráždění trávicího ústrojí, slinění, zvracení, krvácení trávicího ústrojí,

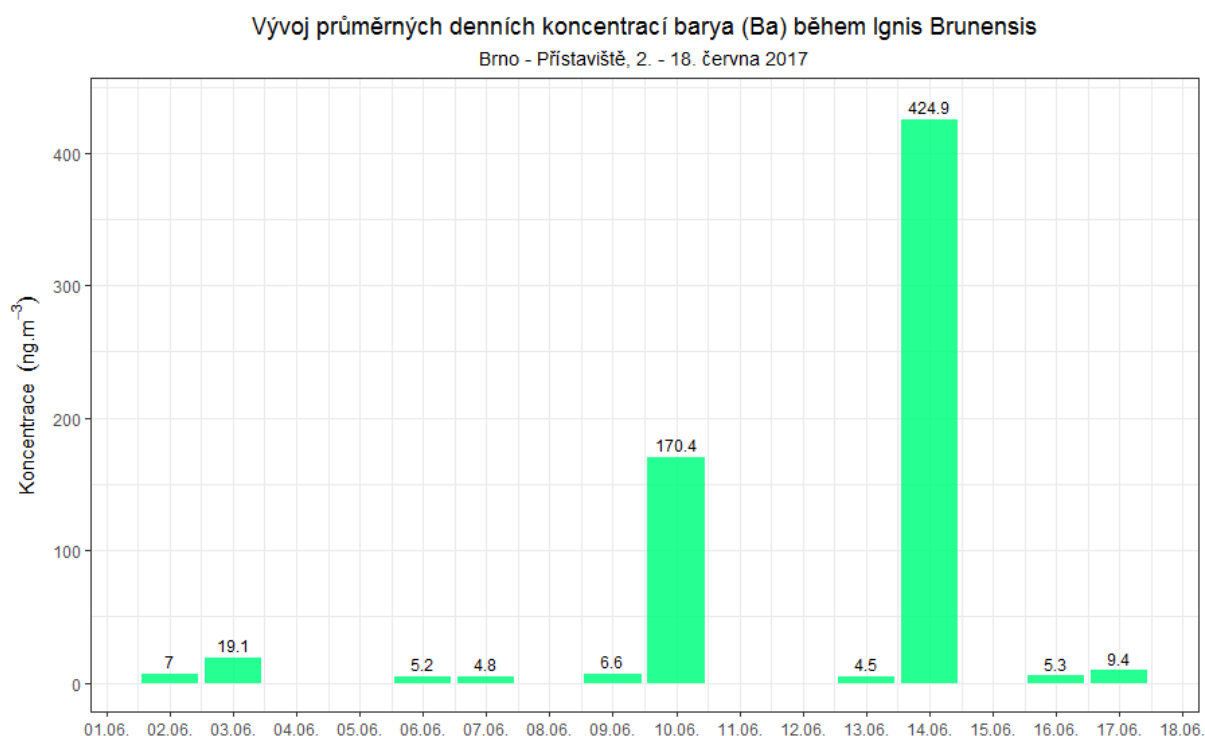
¹⁴ Greenwood N.N., Earnshaw A.: Chemie prvků, Oxford 1993.

působí na nervový systém a na buňky kosterního a srdečního svalstva, třes, dýchací potíže, bolesti v celém těle, později pak cyanóza, vznik obrn, poškození jater až k selhání srdce. Oxid, hydroxid a chlorid barya vyvolávají vyrážky a mohou těžce poškodit oči. Zhruba stejně toxický je dusičnan barnatý, méně pak siřník (působí leptavě) a fluorokřemičitan. K otravě chloridem barnatým (v bezvodém stavu bílá krystalická látka) stačí asi 0,2 g. Smrtelná dávka je 0,8 až 2 g¹⁵. Chronická otrava baryem se projevuje slabostí, hubnutím, záněty ústní sliznice, průjmy, hypertenzí, vypadáváním vlasů a zánětem spojivek. Vdechováním prachových částic barya může dojít k zánětům průdušek a plic.

Podstatnější část příjmu barya do lidského těla jde ovšem potravní cestou, menší pak pitnou vodou a zlomek z ovzduší. Jeho denní příjem v ČR činil 0,8 mg, z toho 0,605 mg potravou, 0,19 mg pitnou vodou a 0,005 vzduchem. Tento příjem byl pod odhadovaným celosvětovým průměrem 1,33 mg Ba/den¹⁶.

4.3.5.1 Koncentrace

Z grafu uvedeného na Obr. 36 vyplývá, že nejvyšší koncentrace barya byly v roce 2017 během 24hodinového odběru naměřeny v Brně – Přístavišti v den konání ohňostroje 14. 6. 2017. Výrazněji zvýšené hodnoty byly naměřeny ještě 10. 6. 2017. Ve dny, kdy panovaly příhodné meteorologické podmínky pro dobrý rozptyl (7. a 17. 6.) byly koncentrace v den konání ohňostroje srovnatelné s hodnotami naměřenými o den dříve.

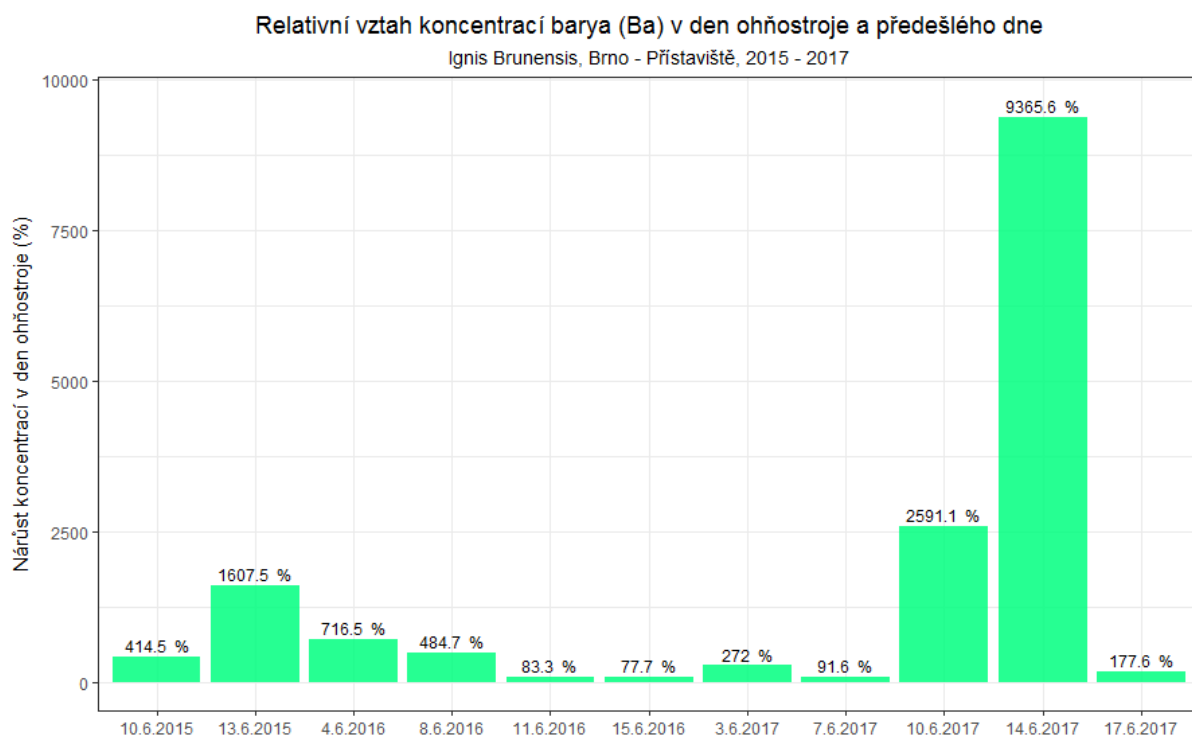


Obr. 36 – Koncentrace barya (Ba) v 24hodinovém odběru, Brno – Přístaviště, 2. – 18. 6. 2017

¹⁵ Trebichavský, J., D. Havrdová, et al. (1998). Škodliviny I. Toxické kovy. Kutná Hora, NSO.

¹⁶ <http://arnika.org/baryum>

Vliv ohňostroje na koncentrace barya je tedy možné vyjádřit relativně jako podíl koncentrací v den konání ohňostroje a dne předešlého. Tyto hodnoty zobrazuje následující Obr. 37. Kromě hodnot z roku 2017 je graf doplněn o měření z předcházejících let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že k výraznějšímu ovlivnění baryem došlo při ohňostroji 14. 6. 2017, kdy byl v ovzduší naměřen stonásobek koncentrace z předešlého dne. V ostatních dnech nebylo navýšení tak výrazné, maximálně se jednalo o 26ti násobek. Svůj vliv mohly sehrát nepříznivé rozptylové podmínky.



Obr. 37 – Relativní vztah koncentrací barya (Ba) v den konání ohňostroje a v předešlý den, Brno – Přístaviště, 2015 - 2017

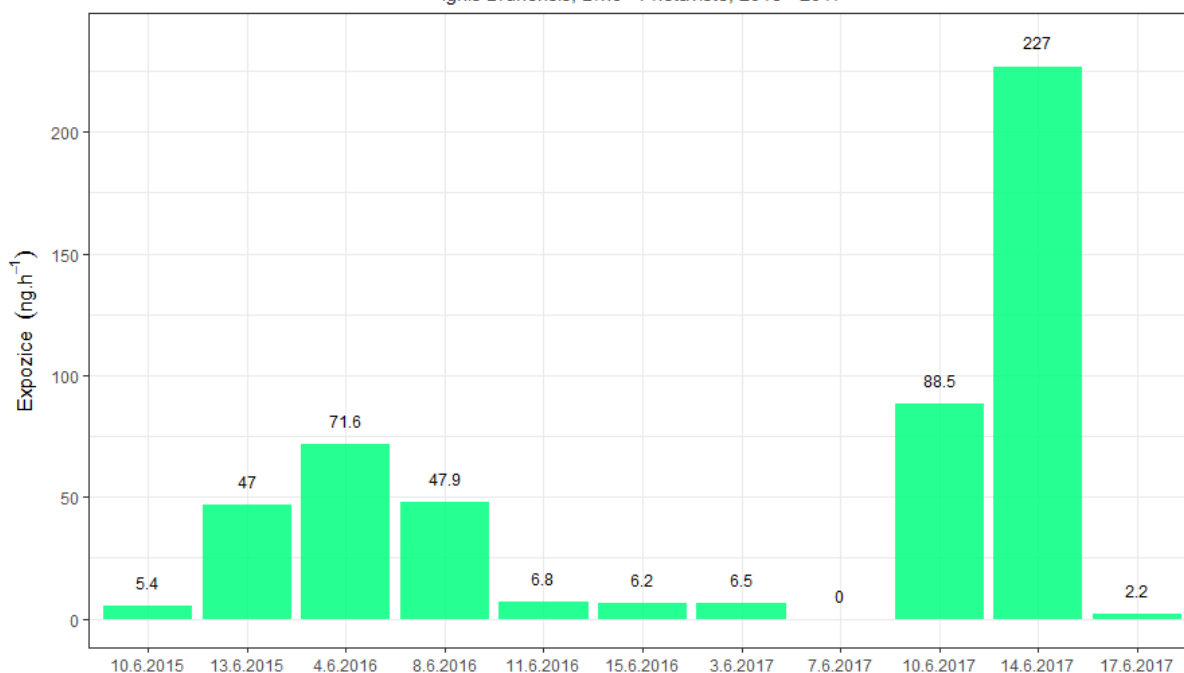
4.3.5.2 Expozice

Expozice barya byla vypočtena následovně: Předpoklad je, že na jeden nádech vdechne dospělý člověk 0,5 l vzduchu, za minutu se nadechne 18x. Za hodinu tedy člověk vdechne cca 0,54 m³ vzduchu. Ohňostroje trvaly cca 30 min a dalších zhruba 30 min ještě trvalo, než lidé odjeli z Přístaviště. Expozice vlivu ohňostroje tedy trvala zhruba hodinu, během které lidé vdechli 0,54 m³ vzduchu. Dále se předpokládá, že ohňostroje jsou odpovědné za celý rozdíl koncentrací mezi dnem konání ohňostroje a dnem předcházejícím ohňostroji, a že veškeré toto množství bylo v ovzduší právě během zmiňované hodiny.

Takto vypočtenou expozici během jedné hodiny zobrazuje Obr. 38. Graf je opět doplněn o hodnoty expozice z let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že maximální expozice ze dne 14. 6. 2017 se pohybovala okolo 230 ng barya vdechnutého za 1 hodinu. V ostatních případech hodnoty nepřekročily 100 ng barya za hodinu. Nulové hodnoty expozice jsou uvedeny v případech, že ve dnech před ohňostroji byly naměřeny vyšší koncentrace barya než v den konání ohňostroje.

Expozice barya (Ba) během jednotlivých ohňostrožů

Ignis Brunensis, Brno - Přístaviště, 2015 - 2017



Obr. 38 – Expozice barya (v ng.h⁻¹) během konání ohňostrožů v letech 2015 - 2017

Množství barya vdechnutého během ohňostrožů a vztah k **průměrnému dennímu příjmu barya** (0,8 mg) uvádí následující Tab. 10.

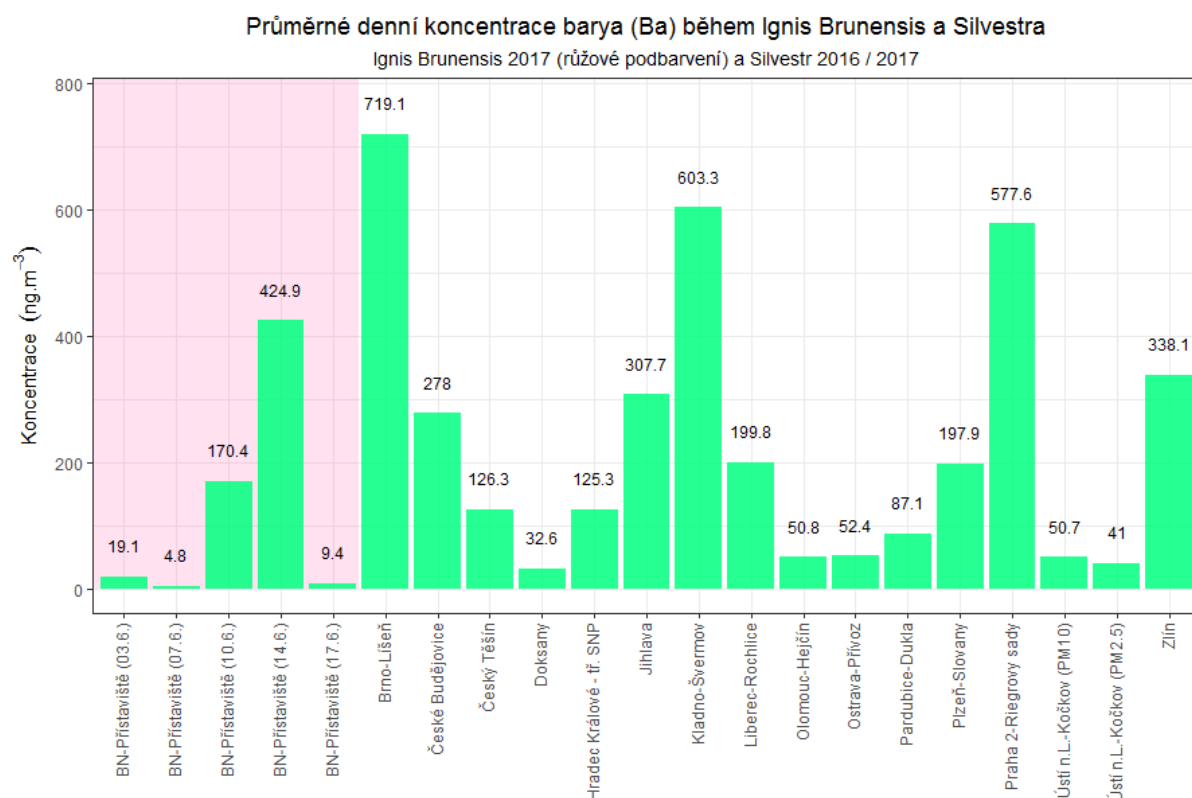
Tab. 10 – Expozice barya (Ba) během ohňostrožů a vztah k minimální doporučené dávce

Datum	Ba (ng.h ⁻¹)	Vztah k průměrnému dennímu příjmu
10.6.2015	18,00	0,0007%
13.6.2015	36,11	0,0059%
4.6.2016	49,20	0,0090%
8.6.2016	30,26	0,0060%
11.6.2016	1,49	0,0009%
15.6.2016	1,48	0,0008%
3.6.2017	2,70	0,0008%
7.6.2017	0,00	0,0000%
10.6.2017	20,57	0,0111%
14.6.2017	47,18	0,0284%
17.6.2017	2,34	0,0003%

Z Tab. 10 vyplývá, že ve všech letech byl příjem barya vdechnutím během ohňostrožů zanedbatelný. Vzhledem k průměrnému dennímu příjmu se jednalo o desetitisíciny až setiny procenta.

4.3.5.3 Srovnání se silvestrovskými oslavami

Pokud srovnáme koncentrace měřené v Brně - Přístavišti s koncentracemi naměřenými během silvestrovských ohňostrojů v různých částech ČR, je patrné, že koncentrace se příliš neliší (Obr. 39). Maximální hodnota během Ignis Brunensis ze dne 14. 6. patří ke středním hodnotám koncentrací. Nejvyšší koncentrace barya byla naměřena během silvestrovských oslav v Brně – Líšni. Obdobně vysoké koncentrace byly měřeny v lokalitách Kladno – Švermov, Praha – Riegrovy sady nebo Zlín. Hodnoty podobné koncentracím naměřeným během Ignis Brunensis naměřily např. lokality České Budějovice a Jihlava.



Obr. 39 – Koncentrace barya v Brně - Přístavišti během ohňostrojů 2. - 18. 6. 2017 (růžové podbarvení) ve srovnání s koncentracemi naměřenými ve státní síti imisního monitoringu během silvestrovských ohňostrojů 2016/2017

4.3.6 Měď

Měď je načervenalý kujný kov s výbornou elektrickou a tepelnou vodivostí. Velmi dobře se zpracovává a je odolná proti atmosférické korozi. **Měď barví plamen modře**¹⁷.

Měď je ve stopové koncentraci pro živé organismy nesmírně důležitá. Doporučená denní dávka je pro člověka přibližně 1-2 mg. Nicméně nepřiměřeně vysoký příjem mědi může vést ke vzniku závažných zdravotních problémů, jako je poškození jater a ledvin, nebo vznik anemie. Extrémně vysoké dávky mědi mohou způsobit i smrt.

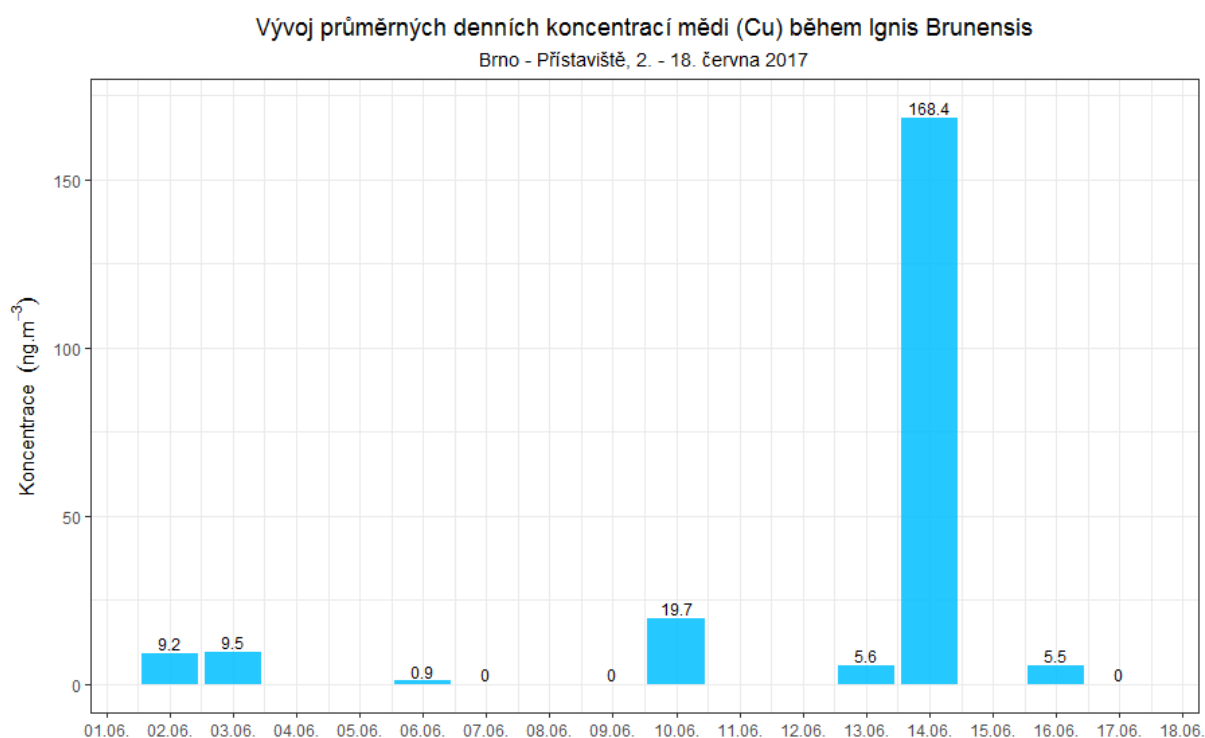
¹⁷ Greenwood N.N., Earnshaw A.: Chemie prvků, Oxford 1993.

Mezi potraviny bohaté na měď patří játra, kakao, ořechy, houby, vařená hovězí játra, slunečnicová semínky, mandle, vařená čočka, čokoláda, korýši a měkkýši. Měď je také například i součástí amalgamových výplní, které máme v zubech. Potravinové doplňky obsahující měď je třeba užívat ve stejnou denní dobu, pokud možno při jídle, aby nedošlo k podráždění žaludku¹⁸.

Doporučená denní dávka mědi je 1 mg¹⁹.

4.3.6.1 Koncentrace

Z grafu uvedeného na Obr. 40 vyplývá, že nejvyšší koncentrace mědi byly v roce 2017 během 24hodinového odběru naměřeny v Brně – Přístavišti v den konání ohňostroje 14. 6. 2017. Mírně zvýšené hodnoty byly naměřeny ještě 10. 6. 2017. Ve dny, kdy panovaly příhodné meteorologické podmínky pro dobrý rozptyl (7. a 17. 6.) byly koncentrace v den konání ohňostroje srovnatelné s hodnotami naměřenými o den dříve.



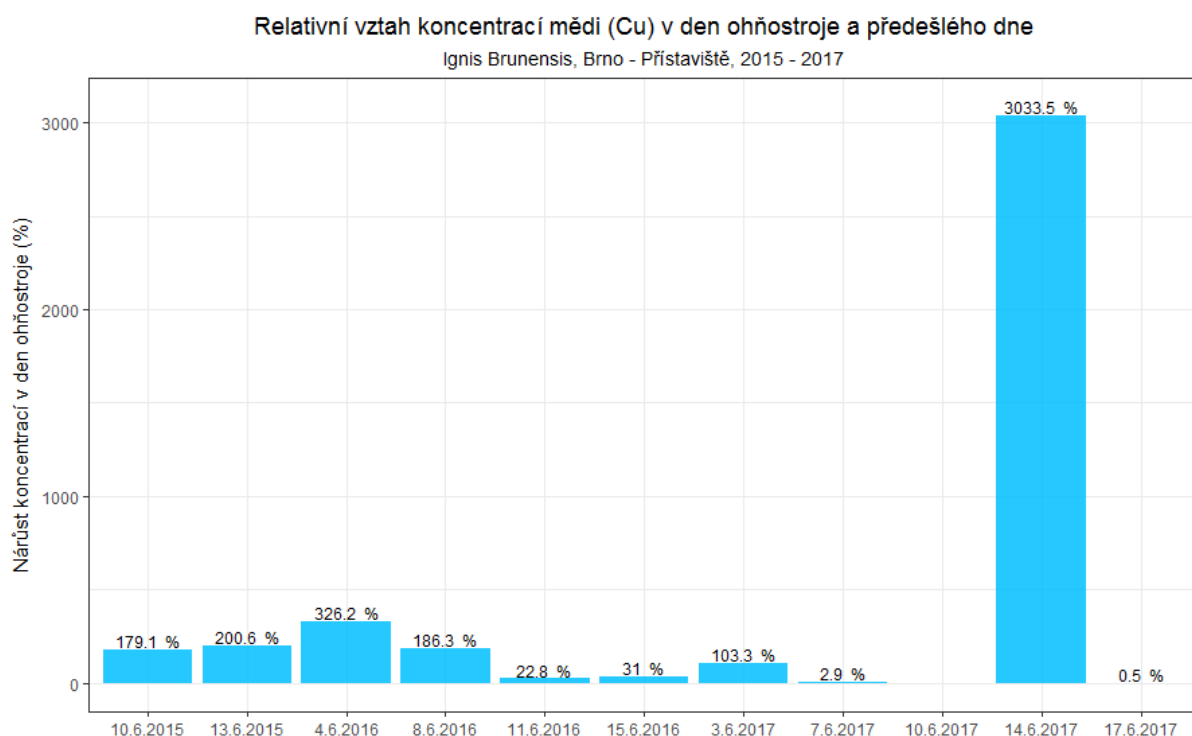
Obr. 40 – Koncentrace mědi (Cu) v 24hodinovém odběru, Brno – Přístaviště, 2. – 18. 6. 2017

Vliv ohňostroje na koncentrace mědi je tedy možné vyjádřit relativně jako podíl koncentrací v den konání ohňostroje a dne předešlého. Tyto hodnoty zobrazuje následující Obr. 41. Kromě hodnot z roku 2017 je graf doplněn o měření z předcházejících let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že k výraznějšímu ovlivnění mědi došlo při ohňostroji 14. 6. 2017, kdy byl v ovzduší naměřen třicetinasobek koncentrace z předešlého dne. V ostatních dnech nebylo navýšení tak

¹⁸ <http://www.celostnimediceina.cz/med.htm>

¹⁹ https://cs.wikipedia.org/wiki/Doporu%C4%8Den%C3%A1_denn%C3%AD_d%C3%A1vka

výrazné, maximálně se jednalo o trojnásobek. Svůj vliv mohly sehrát nepříznivé rozptylové podmínky.



Obr. 41 – Relativní vztah koncentrací mědi (Cu) v den konání ohňostroje a v předešlý den, Brno – Přístaviště, 2015 - 2017

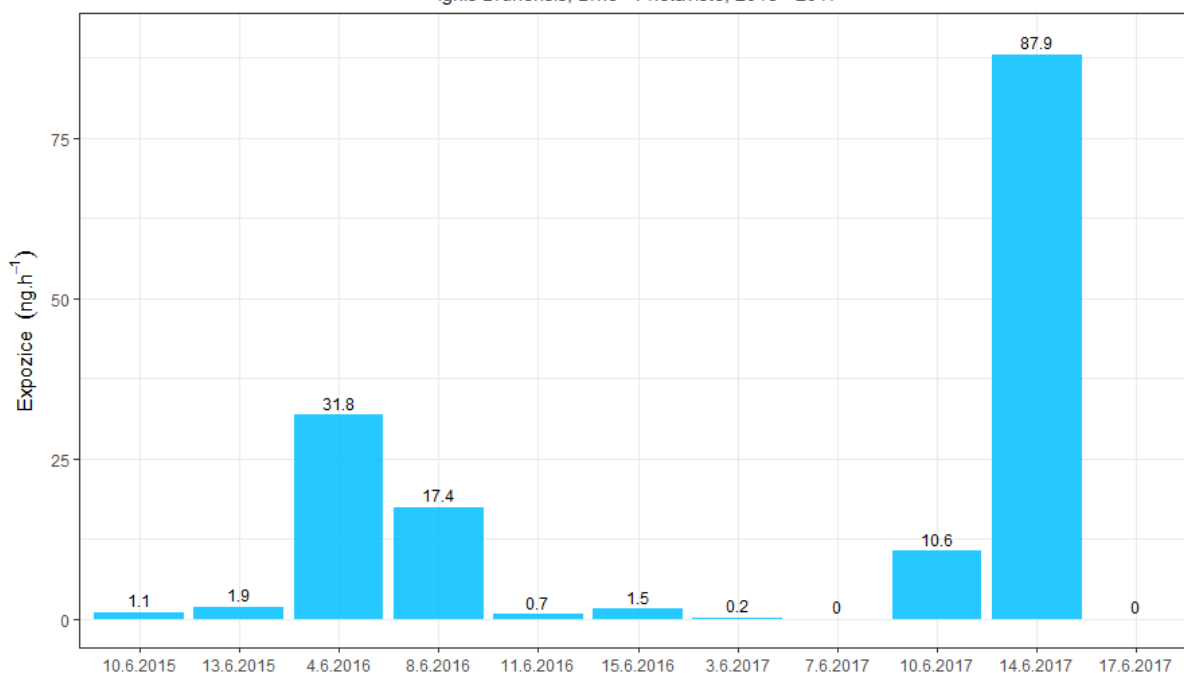
4.3.6.2 Expozice

Expozice mědi byla vypočtena následovně: Předpoklad je, že na jeden nádech vdechne dospělý člověk 0,5 l vzduchu, za minutu se nadechne 18x. Za hodinu tedy člověk vdechne cca 0,54 m³ vzduchu. Ohňostroje trvaly cca 30 min a dalších zhruba 30 min ještě trvalo, než lidé odjeli z Přístaviště. Expozice vlivu ohňostroje tedy trvala zhruba hodinu, během které lidé vdechli 0,54 m³ vzduchu. Dále se předpokládá, že ohňostroje jsou odpovědné za celý rozdíl koncentrací mezi dnem konání ohňostroje a dnem předcházejícím ohňostroji, a že veškeré toto množství bylo v ovzduší právě během zmiňované hodiny.

Takto vypočtenou expozici během jedné hodiny zobrazuje Obr. 42. Graf je opět doplněn o hodnoty expozice z let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že maximální expozice ze dne 14. 6. 2017 se pohybovala okolo 90 ng mědi vdechnutého za 1 hodinu. V ostatních případech dosáhly hodnoty maximálně 30 ng mědi za hodinu. Nulové hodnoty expozice jsou uvedeny v případech, že ve dnech před ohňostroji byly naměřeny vyšší koncentrace mědi než v den konání ohňostroje.

Expozice mědi (Cu) během jednotlivých ohňostrožů

Ignis Brunensis, Brno - Přístaviště, 2015 - 2017



Obr. 42 – Expozice mědi (v ng.h⁻¹) během konání ohňostrožů v letech 2015 - 2017

Množství mědi vdechnutého během ohňostrožů a vztah k **doporučené denní dávce mědi** (0,8 mg) uvádí následující Tab. 11.

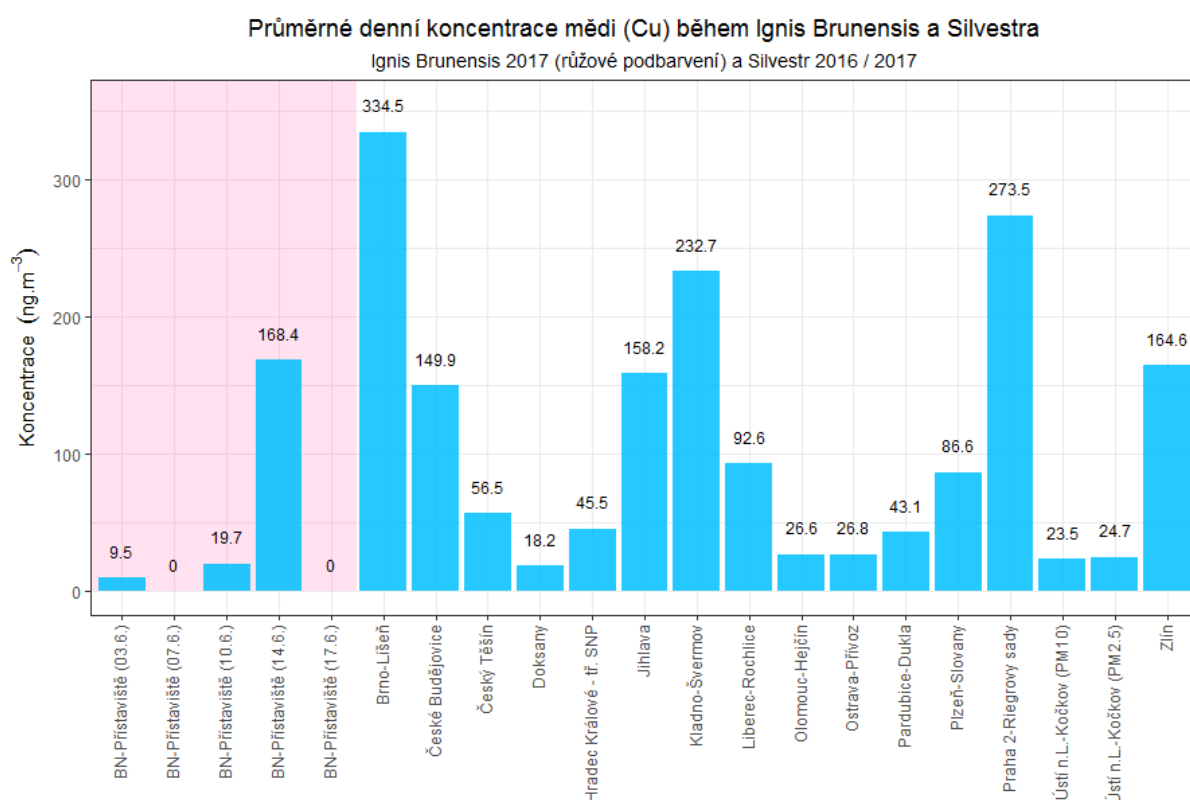
Tab. 11 – Expozice mědi (Cu) během ohňostrožů a vztah k minimální doporučené dávce

Datum	Cu (ng.h ⁻¹)	Vztah k doporučené denní dávce
10.6.2015	1,05	0,0001%
13.6.2015	1,89	0,0002%
4.6.2016	31,76	0,0032%
8.6.2016	17,44	0,0017%
11.6.2016	0,70	0,0001%
15.6.2016	1,53	0,0002%
3.6.2017	0,16	0,0000%
7.6.2017	0,00	0,0000%
10.6.2017	10,61	0,0011%
14.6.2017	87,93	0,0088%
17.6.2017	0,00	0,0000%

Z Tab. 11 vyplývá, že ve všech letech byl příjem mědi vdechnutím během ohňostrožů zanedbatelný. Vzhledem k doporučené denní dávce se jednalo o desetitisíciny až tisícin procenta.

4.3.6.3 Srovnání se silvestrovskými oslavami

Pokud srovnáme koncentrace měřené v Brně - Přístavišti s koncentracemi naměřenými během silvestrovských ohňostrojů v různých částech ČR, je patrné, že koncentrace se příliš neliší (Obr. 43). Maximální hodnota během Ignis Brunensis ze dne 14. 6. patří k vyšším hodnotám koncentrací. Nejvyšší koncentrace mědi byla naměřena během silvestrovských oslav v Brně – Líšni. Obdobně vysoké koncentrace byly měřeny v lokalitách Kladno – Švermov, Praha – Riegrovy. Hodnoty podobné koncentracím naměřeným během Ignis Brunensis naměřily např. lokality České Budějovice, Jihlava a Zlín.



Obr. 43 – Koncentrace mědi v Brně - Přístavišti během ohňostrojů 2. - 18. 6. 2017 (růžové podbarvení) ve srovnání s koncentracemi naměřenými ve státní síti imisního monitoringu během silvestrovských ohňostrojů 2016/2017

4.3.7 Titan

Titan je šedý až stříbřitě bílý, lehký kov, poměrně hojně zastoupený v zemské kůře. Je poměrně tvrdý a mimořádně odolný proti korozi i ve slané vodě.

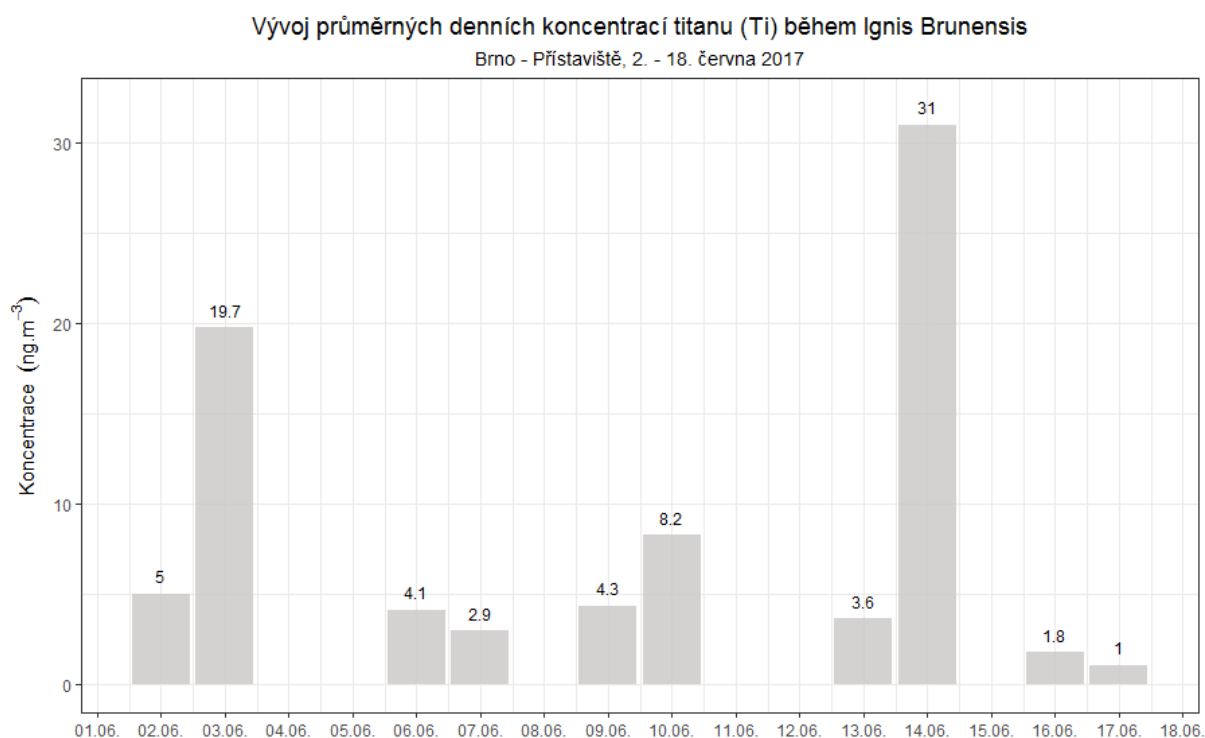
Titan hoří za vzniku prachu a jisker s relativně dlouhou životností. Takto dlouho nehoří žádný jiný materiál²⁰.

²⁰ Shimizu T.: Fireworks – The Art, Science and Technique. Pyrotechnica Publications, Austin, Texas 1981.

Titan je netoxický dokonce i ve velkých dávkách a nehraje žádnou přirozenou roli v lidském těle. Odhaduje se, že člověk přijme každý den množství 0,8 miligramů titanu, ale většina prochází, aniž by byla absorbována.

4.3.7.1 Koncentrace

Z grafu uvedeného na Obr. 44 vyplývá, že nejvyšší koncentrace titanu byly v roce 2017 během 24hodinového odběru naměřeny v Brně – Přístavišti v den konání ohňostroje 14. 6. 2017. Výrazněji zvýšené hodnoty byly naměřeny ještě 3. 6. 2017. Ve dny, kdy panovaly příhodné meteorologické podmínky pro dobrý rozptyl (7. a 17. 6.) byly koncentrace v den konání ohňostroje srovnatelné s hodnotami naměřenými o den dříve.

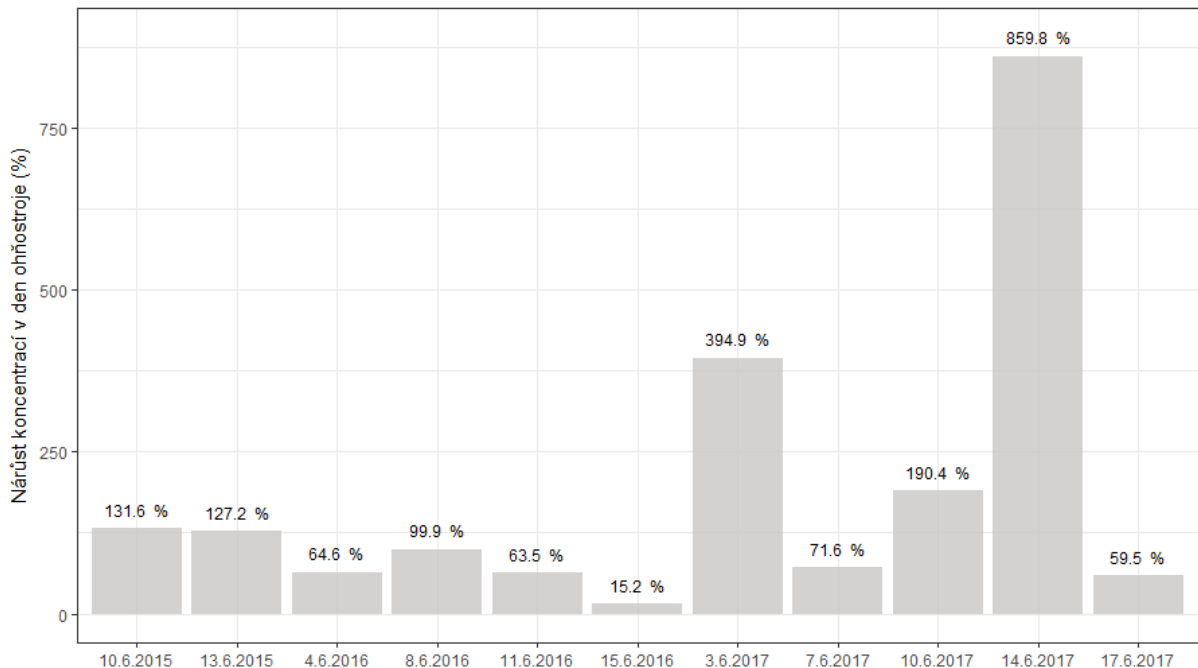


Obr. 44 – Koncentrace titanu (Ti) v 24hodinovém odběru, Brno – Přístaviště, 2. – 18. 6. 2017

Vliv ohňostroje na koncentrace titanu je tedy možné vyjádřit relativně jako podíl koncentrací v den konání ohňostroje a dne předešlého. Tyto hodnoty zobrazuje následující Obr. 45. Kromě hodnot z roku 2017 je graf doplněn o měření z předcházejících let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že k výraznějšímu ovlivnění titanem došlo při ohňostroji 14. 6. 2017, kdy byl v ovzduší naměřen devítinásobek koncentrace z předešlého dne. V ostatních dnech nebylo navýšení tak výrazné, maximálně se jednalo o čtyřnásobek. Svůj vliv mohly sehrát nepříznivé rozptylové podmínky.

Relativní vztah koncentrací titanu (Ti) v den ohňostroje a předešlého dne

Ignis Brunensis, Brno - Přístaviště, 2015 - 2017



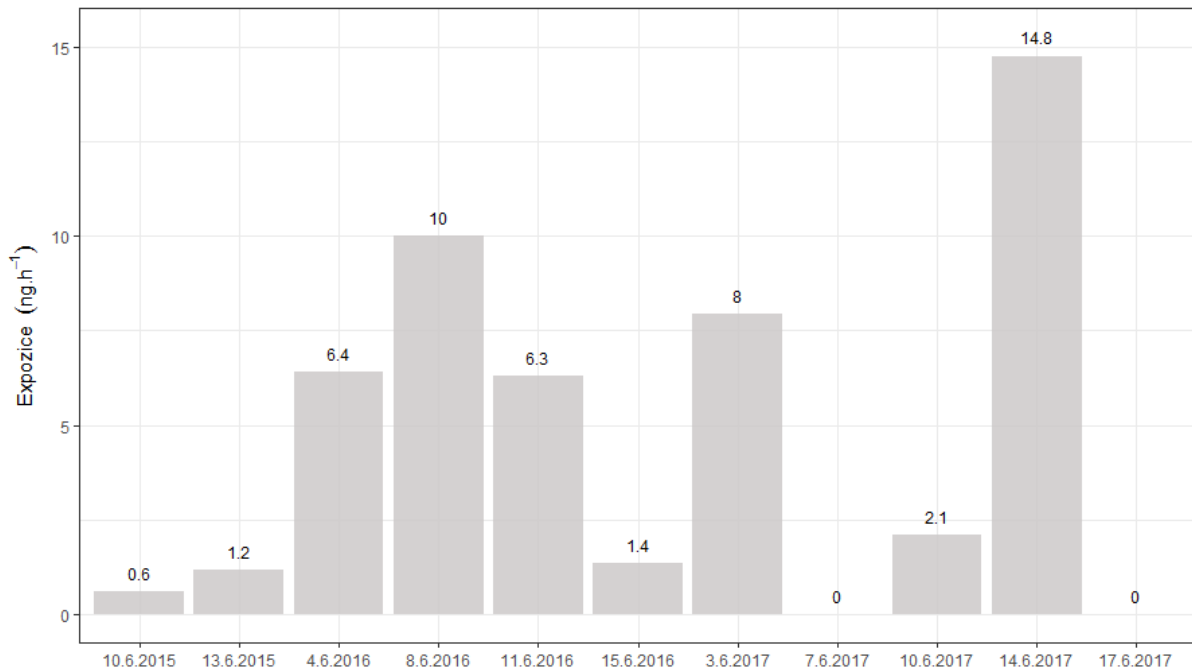
Obr. 45 – Relativní vztah koncentrací titanu (Ti) v den konání ohňostroje a v předešlý den, Brno – Přístaviště, 2015 - 2017

4.3.7.2 Expozice

Expozice titanu byla vypočtena následovně: Předpoklad je, že na jeden nádech vdechne dospělý člověk 0,5 l vzduchu, za minutu se nadechne 18x. Za hodinu tedy člověk vdechne cca 0,54 m³ vzduchu. Ohňostroje trvaly cca 30 min a dalších zhruba 30 min ještě trvalo, než lidé odjeli z Přístaviště. Expozice vlivu ohňostroje tedy trvala zhruba hodinu, během které lidé vdechli 0,54 m³ vzduchu. Dále se předpokládá, že ohňostroje jsou odpovědné za celý rozdíl koncentrací mezi dnem konání ohňostroje a dnem předcházejícím ohňostroji, a že veškeré toto množství bylo v ovzduší právě během zmiňované hodiny.

Takto vypočtenou expozici během jedné hodiny zobrazuje Obr. 46. Graf je opět doplněn o hodnoty expozice z let 2015 a 2016. Z grafu vyplývá, že maximální expozice ze dne 14. 6. 2017 se pohybovala okolo 15 ng titanu vdechnutého za 1 hodinu. V ostatních případech nepřesáhly hodnoty expozice 10 ng titanu za hodinu. Nulové hodnoty expozice jsou uvedeny v případech, že ve dnech před ohňostroji byly naměřeny vyšší koncentrace titanu než v den konání ohňostroje.

Expozice titanu (Ti) během jednotlivých ohňostrojí
Ignis Brunensis, Brno - Přístaviště, 2015 - 2017



Obr. 46 – Expozice titanu (v ng.h⁻¹) během konání ohňostrojí v letech 2015 - 2017

Množství titanu vdechnutého během ohňostrojí a vztah k **dennímu příjmu titanu** (0,8 mg) uvádí následující Tab. 12.

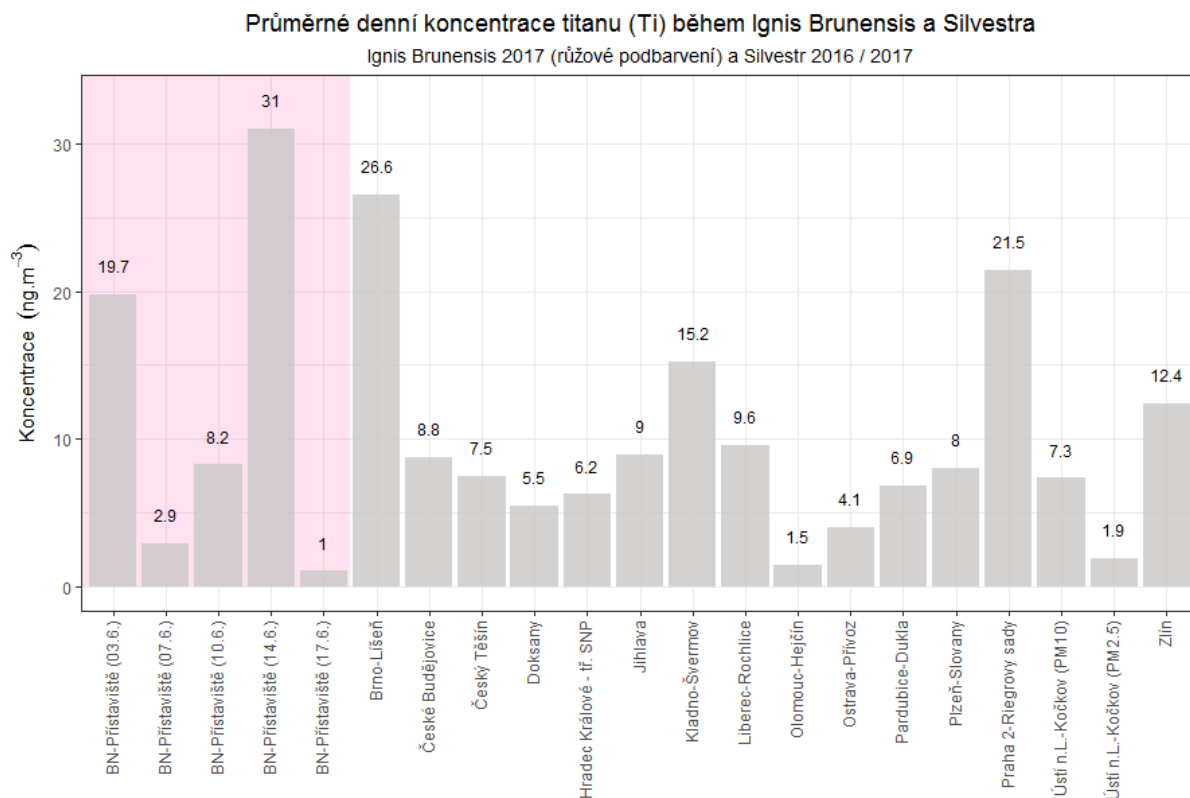
Tab. 12 – Expozice titanu (Ti) během ohňostrojí a vztah k minimální doporučené dávce

Datum	Ti (ng.h ⁻¹)	Vztah k dennímu příjmu
10.6.2015	0,59	0,0001%
13.6.2015	1,17	0,0001%
4.6.2016	6,42	0,0008%
8.6.2016	10,03	0,0013%
11.6.2016	6,31	0,0008%
15.6.2016	1,36	0,0002%
3.6.2017	7,96	0,0010%
7.6.2017	0,00	0,0000%
10.6.2017	2,11	0,0003%
14.6.2017	14,78	0,0018%
17.6.2017	0,00	0,0000%

Z Tab. 12 vyplývá, že ve všech letech byl příjem titanu vdechnutím během ohňostrojí zanedbatelný. Vzhledem k dennímu příjmu se jednalo o desetitisíciny až tisíciny procenta.

4.3.7.3 Srovnání se silvestrovskými oslavami

Pokud srovnáme koncentrace měřené v Brně - Přístavišti s koncentracemi naměřenými během silvestrovských ohňostrojů v různých částech ČR, je patrné, že koncentrace se příliš neliší (Obr. 47). Maximální hodnota během Ignis Brunensis ze dne 14. 6. je nejvyšší hodnotou koncentrace. Obdobně vysoké koncentrace byly měřeny v lokalitách Brno – Líšeň, Kladno – Švermov, Praha – Riegrovy.



Obr. 47 – Koncentrace titanu v Brně - Přístavišti během ohňostrojů 2. - 18. 6. 2017 (růžové podbarvení) ve srovnání s koncentracemi naměřenými ve státní síti imisního monitoringu během silvestrovských ohňostrojů 2016/2017

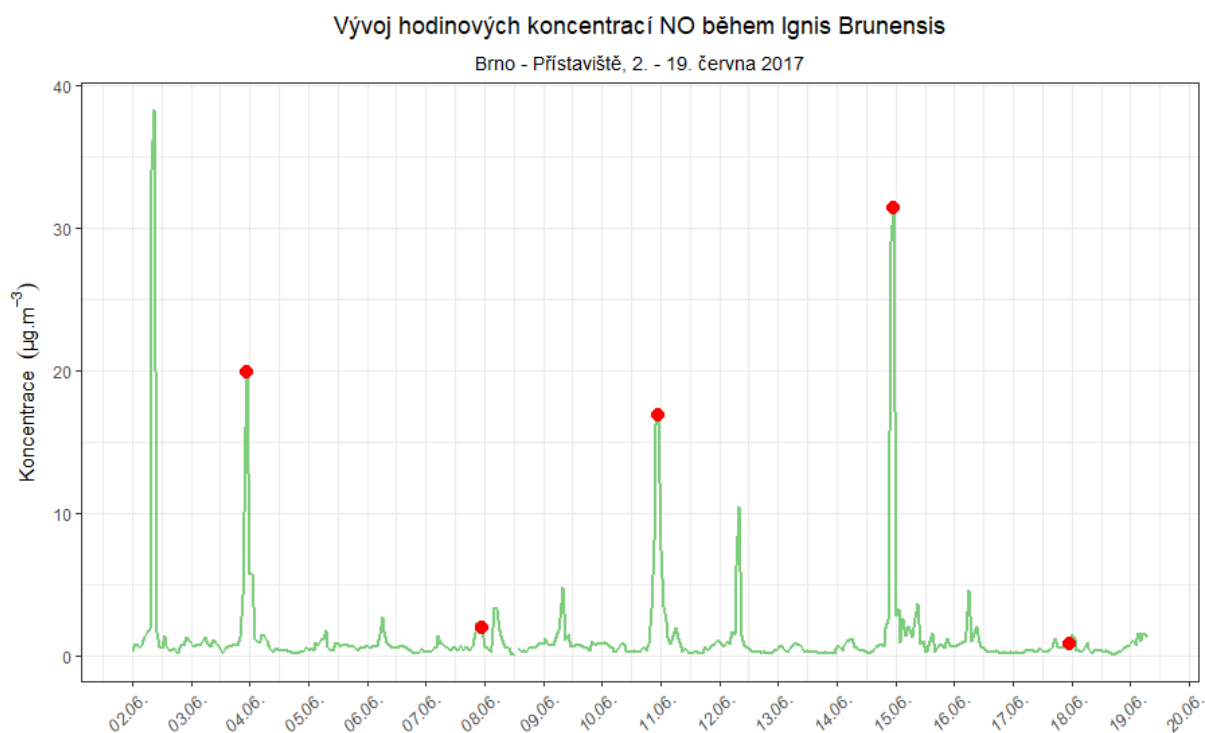
4.4 Koncentrace plynných škodlivin NO-NO₂-NO_x a SO₂

Ve voze s automatickými analyzátoři byly měřeny rovněž plynné škodliviny. Na ohňostroje reagovaly pouze oxidy dusíku, avšak zvýšené koncentrace byly měřeny i v některé dny mimo ohňostroje. Koncentrace oxidu siřičitého na ohňostroje nereagovaly vůbec.

4.4.1 Oxidy dusíku NO, NO₂ a NO_x

Vývoj hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x zobrazují následující 3 grafy na Obr. 48 - Obr. 50. Podobně jako v případě PM₁₀ jsou patrné píky zvýšených koncentrací NO, NO₂ i NO_x během konání ohňostrojů ve dnech 3. 6., 10. 6. a 14. 6. Naproti tomu během konání ohňostrojů ve dnech 7. a 17. 6. byly koncentrace jen velmi nízké. Projevil se tak zřejmě obdobný vliv rychlosti větru jako v případě koncentrací PM₁₀. Při nízkých rychlostech větru až bezvětří jsou měřeny zvýšené koncentrace, při vyšších rychlostech proudění větru jen nízké.

V případě koncentrací NO jsou píky velmi úzké a pravděpodobně přímo souvisí se samotným ohňostrojem. Paradoxně však byl nejvyšší pík naměřen mimo den konání ohňostroje. Významným zdrojem NO je doprava, mohlo se tedy jednat o ovlivnění koncentrací právě tímto faktorem např. při navážení zásob, potravin, materiálu atp. v blízkosti měření.



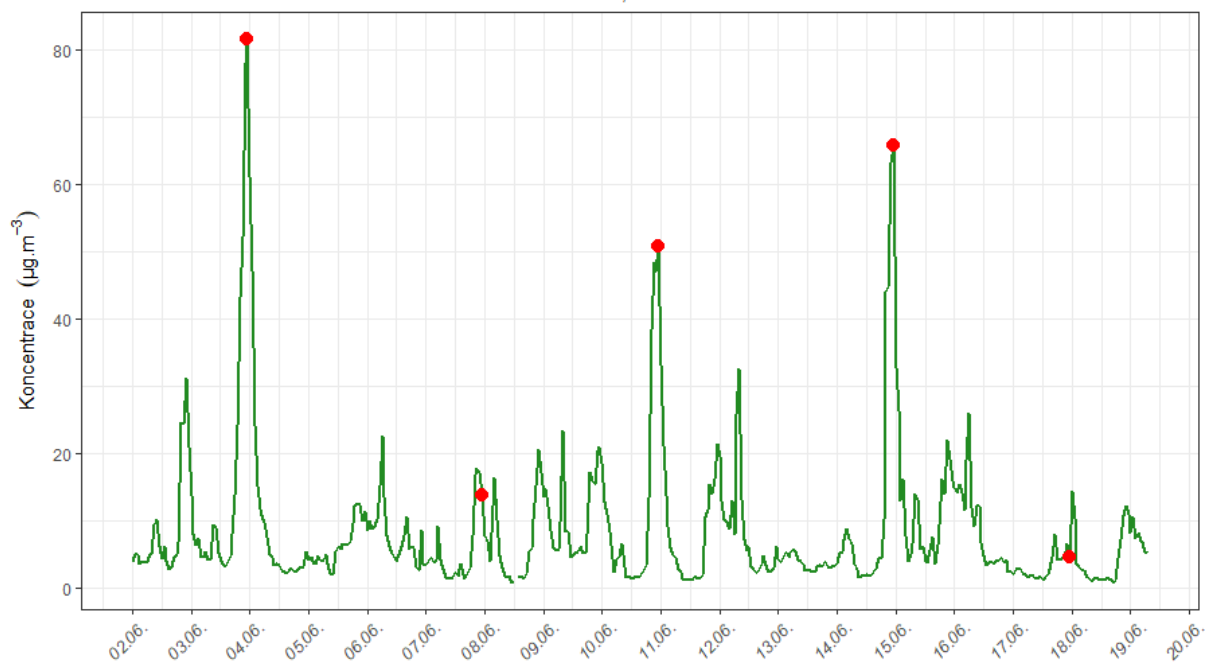
Obr. 48 – Vývoj průměrných hodinových koncentrací NO, Brno – Přístaviště, 2. – 19. 6. 2017. Červeně vyznačené body značí hodinu, kdy byly pořádány ohňostroje

V případě koncentrací NO₂ jsou píky podstatně širší, podobně jako v případě PM₁₀. Na koncentracích NO₂ (a tedy i NO_x) se tedy pravděpodobně kromě samotných ohňostrojů podílí

i další prvky. Bude se jednat především o grilování a stánky s občerstvením (grily atp.), kde dochází k přípravě potravin na ohni.

Vývoj hodinových koncentrací NO₂ během Ignis Brunensis

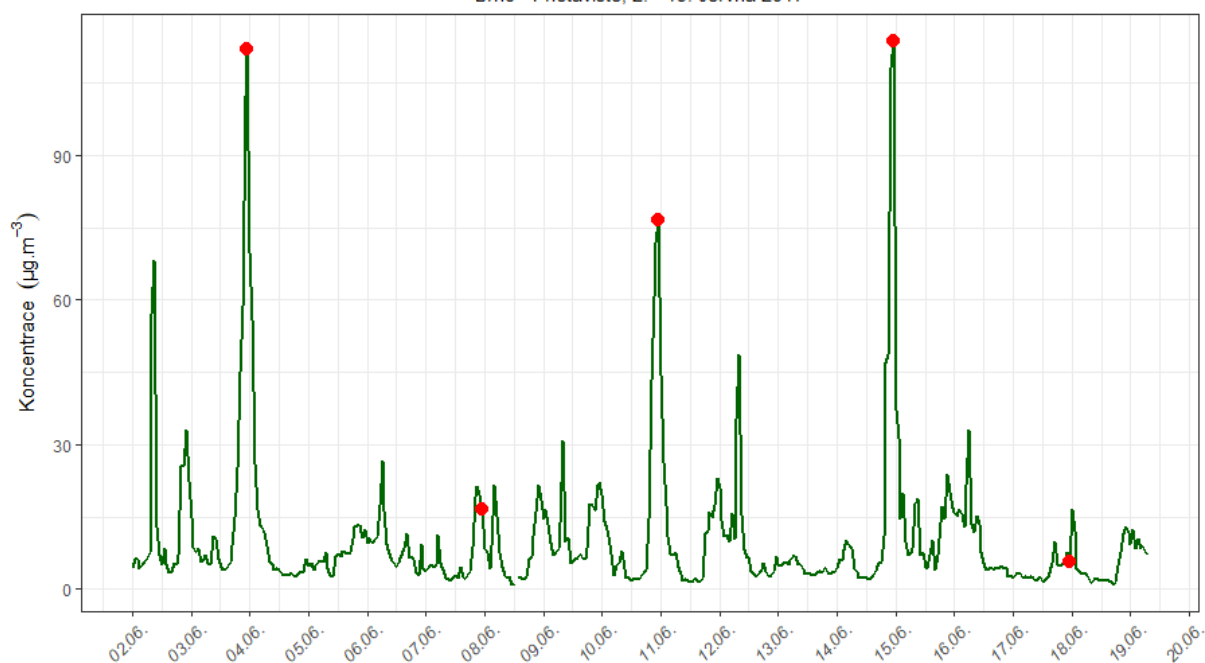
Brno - Přístaviště, 2. - 19. června 2017



Obr. 49 - Vývoj průměrných hodinových koncentrací NO₂, Brno – Přístaviště, 2. – 19. 6. 2017. Červeně vyznačené body značí hodinu, kdy byly pořádány ohňostroje

Vývoj hodinových koncentrací NO_x během Ignis Brunensis

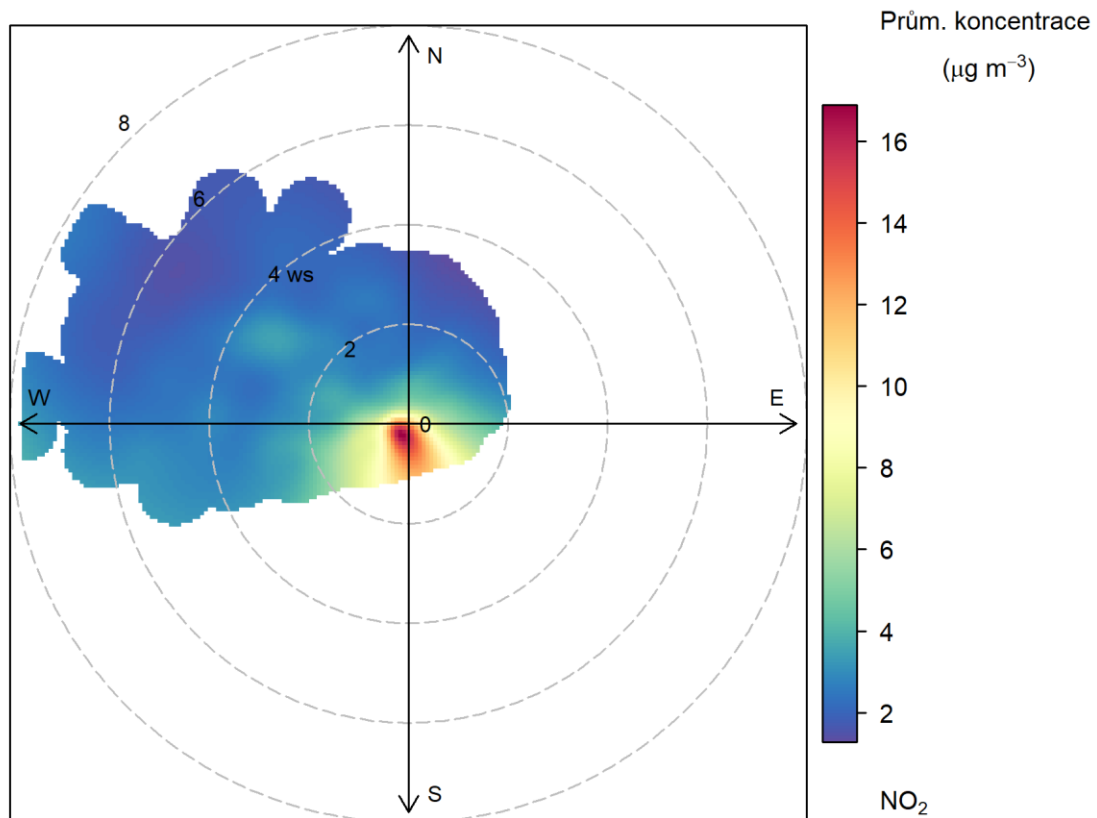
Brno - Přístaviště, 2. - 19. června 2017



Obr. 50 - Vývoj průměrných hodinových koncentrací NO_x, Brno – Přístaviště, 2. – 19. 6. 2017. Červeně vyznačené body značí hodinu, kdy byly pořádány ohňostroje

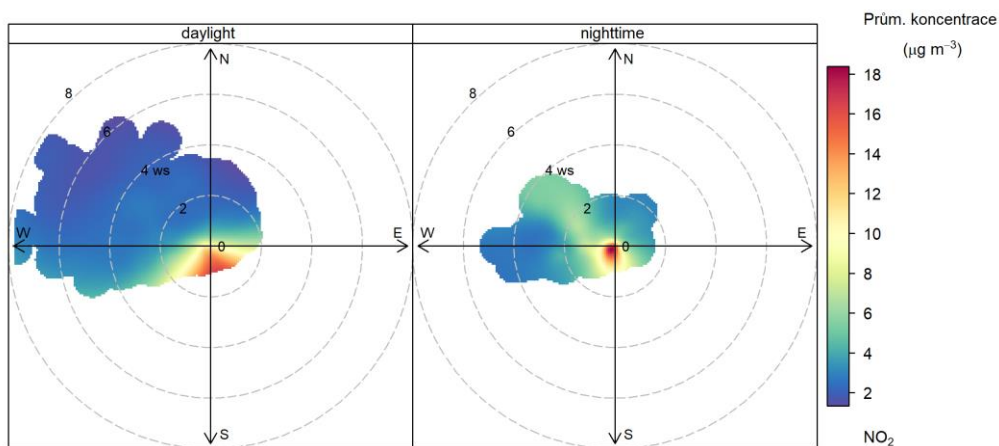
Z grafů je patrné, že i v některé další dny byly měřeny zvýšené koncentrace oxidů dusíku. To opět potvrzuje tezi, že na zvýšených koncentracích se nepodílí pouze samotný ohňostroj, ale výrazně k tomu přispívá doprovodný program a zázemí. Zvýšené koncentrace pak byly zaznamenány zejména o víkendech (pátek – neděle).

Z koncentrační růžice pro NO₂ pak vyplývá, že koncentrační maxima jsou opět při velmi nízkých rychlostech proudění větru až bezvětrí. Ovšem výrazněji koncentrace také ovlivňuje proudění z jižních směrů, což potvrzuje výrazný vliv i doprovodných akcí (občerstvení atp.).



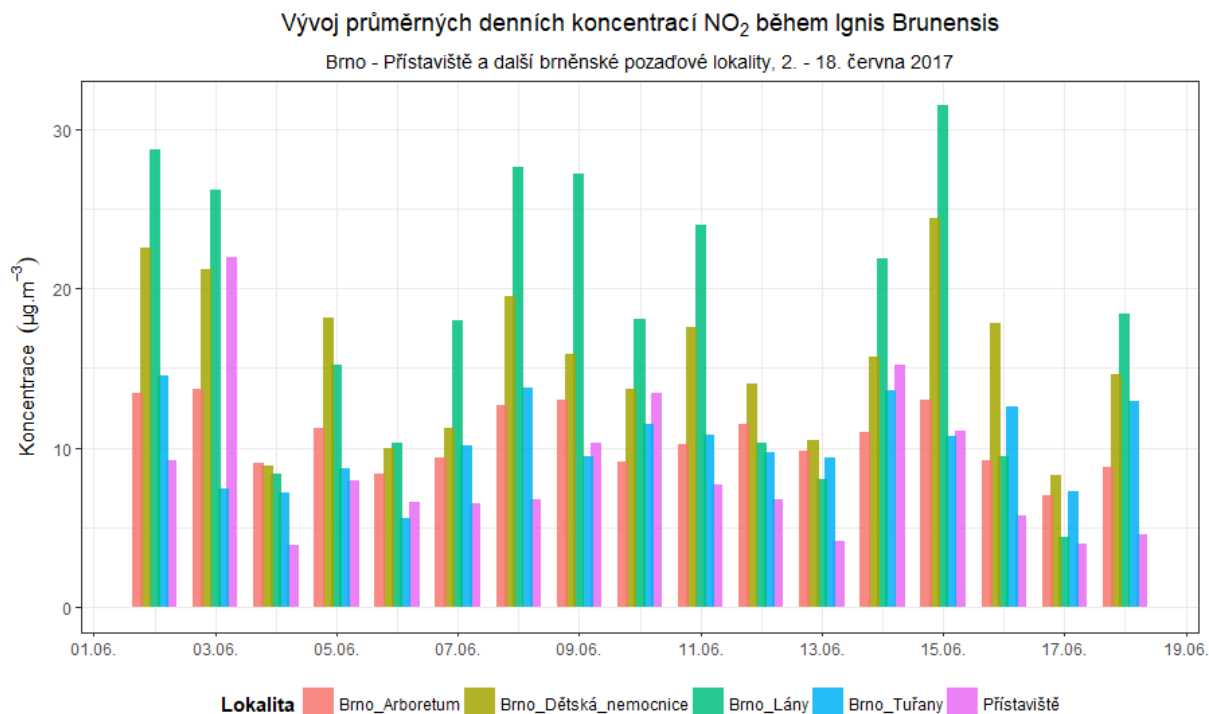
Obr. 51 - Koncentrační růžice NO₂, Brno – Přístaviště, 2. – 19. 6. 2017, 10minutové hodnoty

Pokud se koncentrační růžice opět rozdělí na denní a noční část dne, je opět možné částečně separovat oba vlivy. V noční části jsou maxima měřena při těch nejnižších rychlostech větru. Mírně zvýšené koncentrace jsou v nočních hodinách měřeny i severních až severozápadních směrů. Naopak ve dne jasně dominují jižní směry.



Obr. 52 - Koncentrační růžice NO₂, Brno – Přístaviště, 2. – 19. 6. 2017, 10minutové hodnoty, rozdělení na denní (daylight) a noční (nighttime) část dne

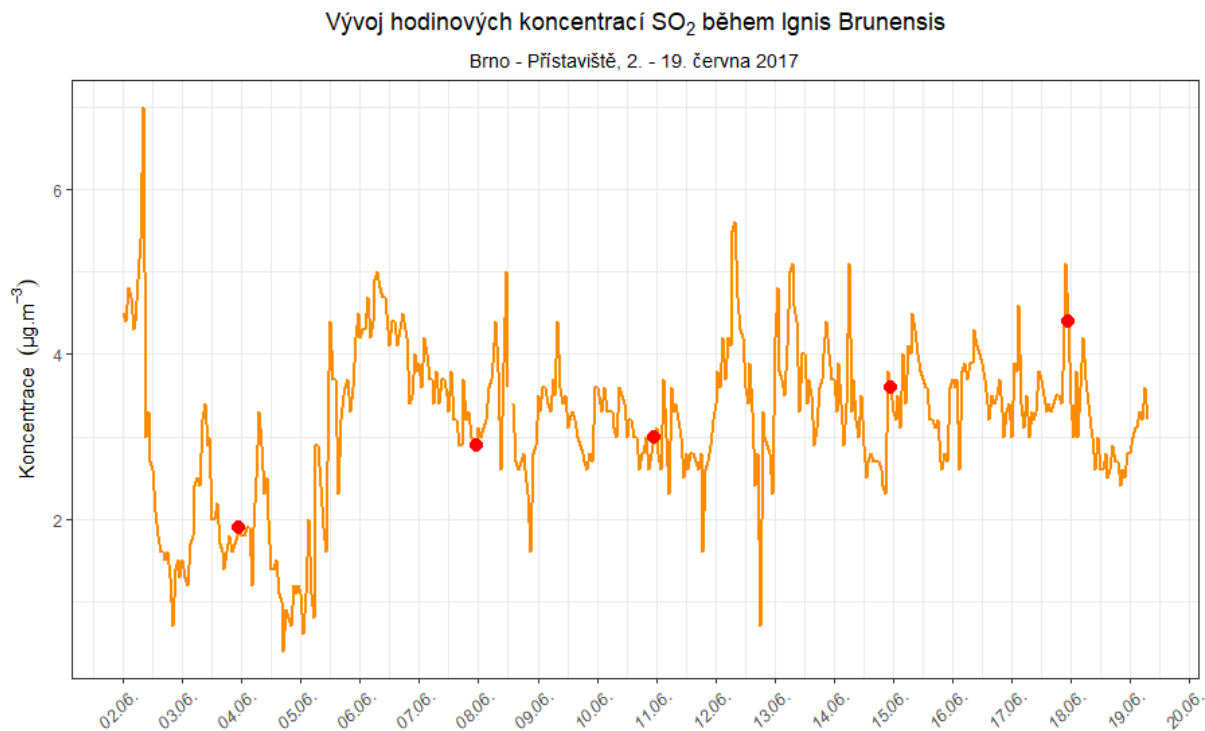
Ze srovnání průměrných denních koncentrací NO₂ v lokalitě Přístaviště s dalšími lokalitami v Brně vyplývá, že koncentrace jsou v lokalitě Přístaviště velmi nízké, většinou nižší než předměstská pozadová lokalita Brno – Tuřany. Pouze ve výše zmíněných dnech, kdy probíhala přehlídka ohňostrojů a zároveň nebyly dobré rozptylové podmínky (3., 10. a 14. 6.), se dokázaly koncentrace NO₂ přiblížit hodnotám v centru Brna.



Obr. 53 – Průměrné denní koncentrace NO₂ v lokalitě Přístaviště a dalších brněnských měřicích lokalitách státní sítě imisního monitoringu

4.4.2 Oxid siřičitý SO₂

V případě velmi nízkých koncentrací SO₂ není patrný žádný vliv probíhající přehlídky ohňostrojí Ignis Brunensis na měřené koncentrace. Koncentrace se po celou dobu pohybovaly v blízkosti meze detekce.



Obr. 54 – Vývoj průměrných hodinových koncentrací SO₂, Brno – Přístaviště, 2. – 19. 6. 2017. Červeně vyznačené body značí hodinu, kdy byly pořádány ohňostroje

5 Analýza pomocí elektronového mikroskopu

Analýzy byly prováděny pomocí skenovacího elektronového mikroskopu Tescan MIRA3, doplněného o EDX detektor firmy Oxford Instruments (Obr. 55).

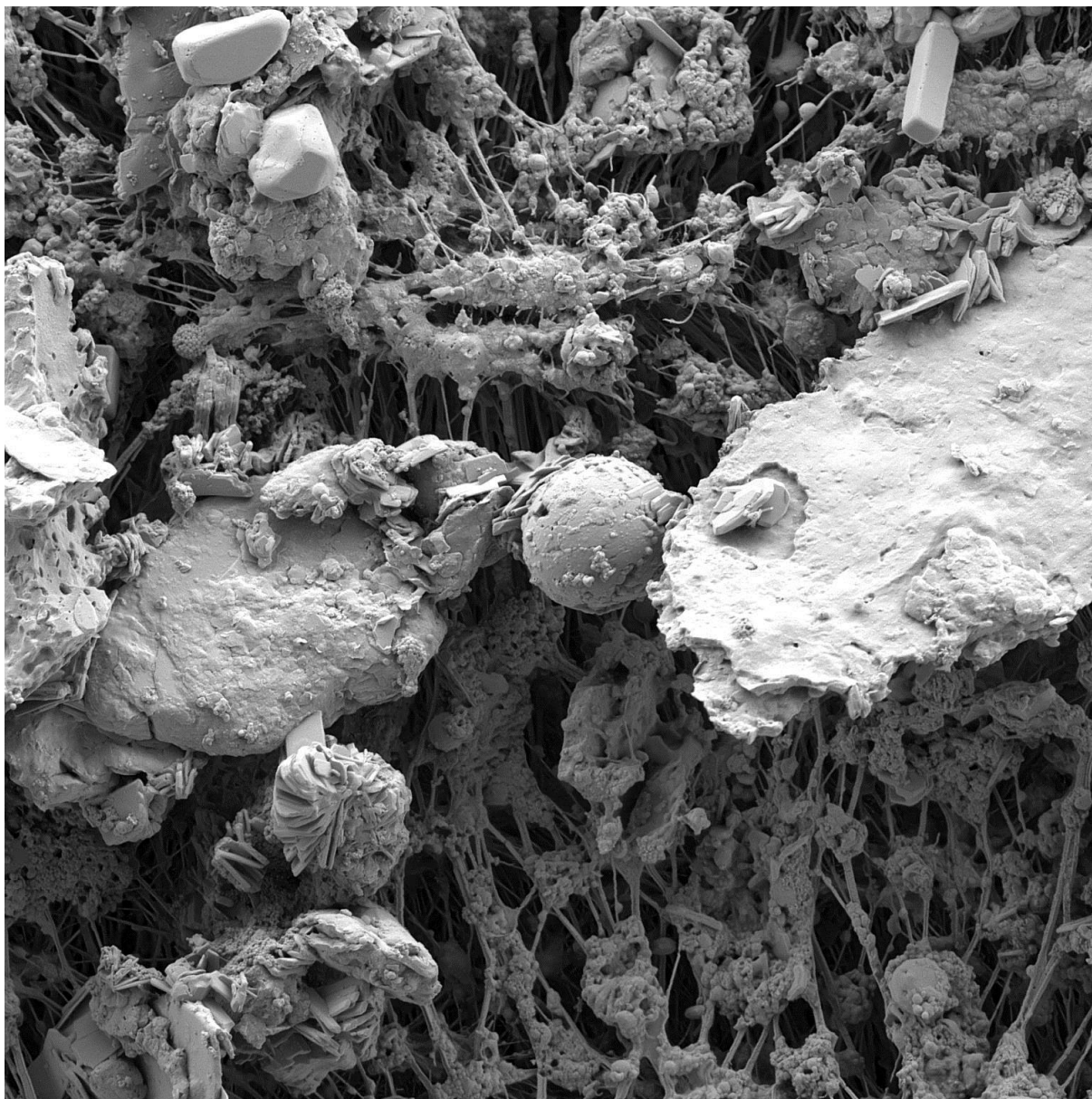


Obr. 55 – Skenovací elektronový mikroskop Tescan Mira 3, ČHMÚ Brno

Pro analýzu byl na teflonový filtr odebrán dne 14. 6. 2017, tedy v den konání ohňostroje, vzorek. V tento den byly naměřeny obzvláště vysoké koncentrace PM_{10} a také vybraných kovů.

Ukázku částic pohledem elektronového mikroskopu zobrazuje následující Obr. 56. Zejména v horní části obrázku jsou patrné krystalky pravděpodobně chloridu draselného (KCl). Ten může být právě produktem ohňostrojů – součástí náplně ohňostrojů je chloristan draselný. Jedná se o silné oxidační činidlo a za běžných podmínek je to bezbarvá krystalická látka. V ohňostrojích použit do explozivních, světelných složí a rozbušek, ale je používán i ve střelivech, zápalných prášcích a v prskavkách. K vytvoření bílých záblesků a zvukových efektů se používá směs se sírou a hliníkem. Chloristan draselný se pak za vyšších teplot rozloží na KCl a O_2 .

Kulatá částice uprostřed obsahuje rovněž významné množství draslíku spolu se sírou. Dále bylo ve vzorcích identifikováno vyšší množství hliníku a křemíku – může se jednat o hlinitokřemičitany pocházející z půdního podloží, ale může se také jednat o produkty spalování uhlí či dřeva.



SEM HV: 2.0 kV	WD: 7.02 mm		MIRA3 TESCAN
View field: 29.6 μm	Det: SE	5 μm	
SEM MAG: 14.0 kx	Date(m/d/y): 09/08/17	Performance in nanospace	

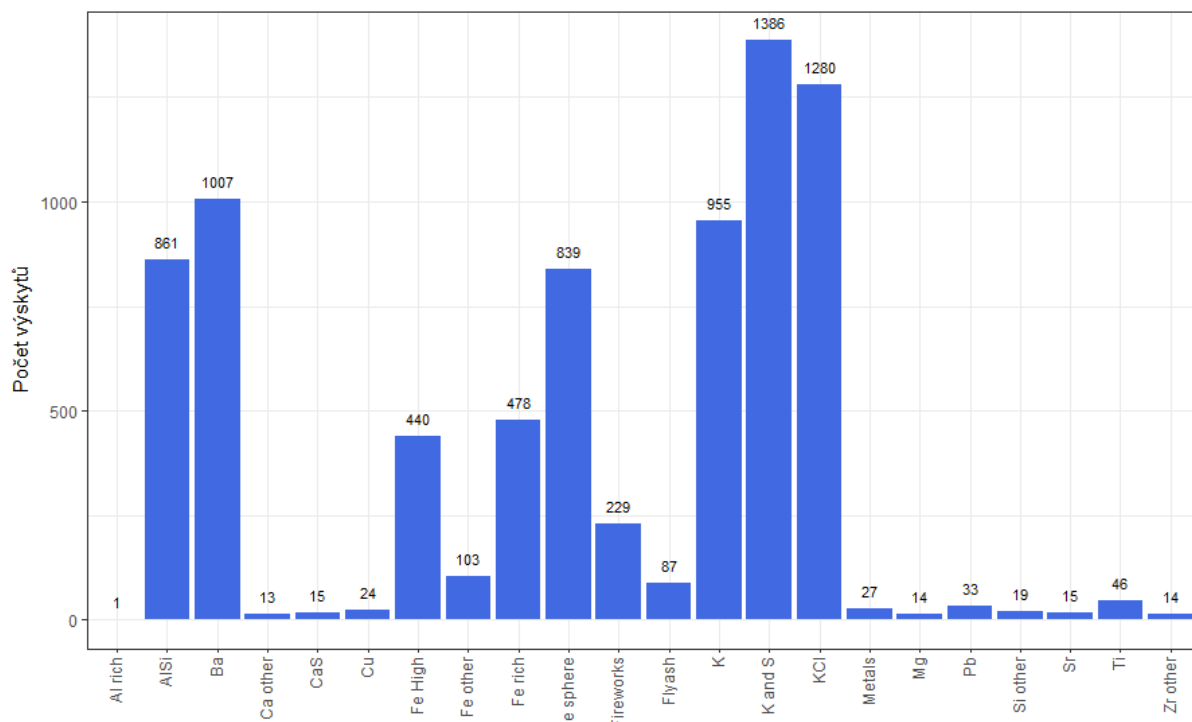
Obr. 56 – Snímek z elektronového mikroskopu, částice frakce PM₁₀ odebrané dne 14. 6. 2017

Vzorek byl následně podroben částicové analýze. Během této analýzy bylo v části vzorku identifikováno a analyzováno 7886 částic. Ty byly podrobeny analýze fyzikálních vlastností (průměr, tvar, poměr stran) a chemické analýze. Do analýzy nebyly započteny prvky uhlík a fluór, a to z toho důvodu, že z těchto prvků se skládá teflonový filtr. Dále nebyl do zpracování zařazen kyslík, který se vyskytuje téměř všude.

Na základě výsledků těchto analýz byly částice seskupeny pomocí tzv. pravidel do několika skupin, které reprezentují podstatnou část vzorku (metodika US EPA). V prvním kroku byly identifikovány tyto skupiny:

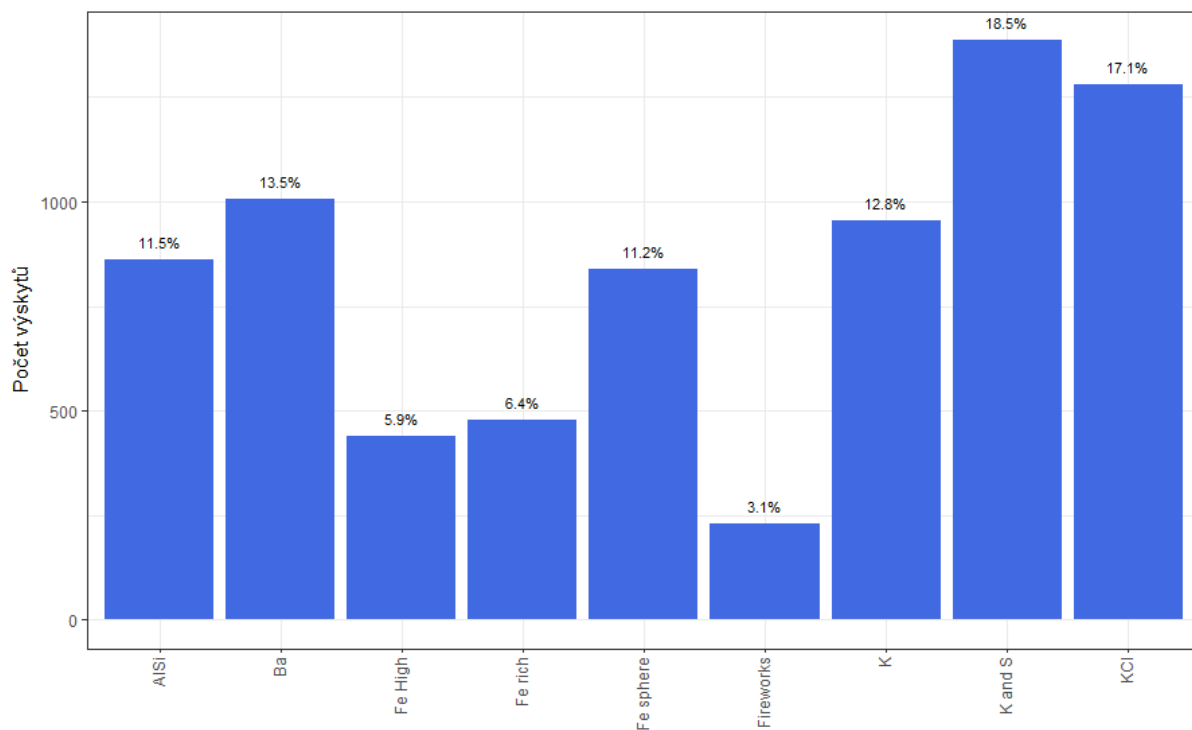
- Al rich – částice bohaté na hliník
- AlSi – částice obsahující vysoké množství hliníku a křemíku
- Ba – částice s významným zastoupením barya – pravděpodobně z ohňostrojů
- Ca other – částice obsahující vápník
- CaS – částice obsahující vápník a síru
- Cu - částice s významným zastoupením mědi – mohou pocházet z ohňostrojů
- Fe High – částice s vysokým zastoupením železa
- Fe sphere – sférické (kulaté) částice železa
- Fe rich - částice s významným zastoupením železa
- Fe other – ostatní částice obsahující železo
- Fireworks – částice obsahující K, Cl, Mg a Al ve vysokém množství – pravděpodobně z ohňostrojů
- Flyash - popílek
- KCl – částice s vysokým obsahem K a Cl, pravděpodobně z ohňostrojů
- K and S – částice s vysokým obsahem K a S
- K - ostatní částice s významným obsahem K, může pocházet z ohňostrojů
- Metals – částice obsahující vybrané kovy, nespádající do samostatné kategorie
- Mg - částice s významným zastoupením hořčíku
- Pb - částice s významným zastoupením olova
- Si other – jiné částice s obsahem křemíku
- Sr - částice s významným zastoupením stroncia, pravděpodobně z ohňostrojů
- Ti - částice s významným zastoupením titanu, pravděpodobně z ohňostrojů
- Zr other - částice s významným zastoupením zirkonia

Zastoupení jednotlivých kategorií ve vzorku zobrazuje Obr. 57. Z grafu je patrné, že některé kategorie se vyskytují pouze ojediněle, naopak některé kategorie jsou zastoupeny významně. Z kategorií, které by mohly mít svůj původ v ohňostrojích, jsou pouze málo zastoupeny skupiny Sr, Ti, Cu a Mg. Nižší absolutní množství odpovídá i analýze kovů pomocí ICP-MS, kde je významný zejména nárůst proti dnům bez ohňostroje, kdy jsou koncentrace téměř nulové. Naopak draslík, který dosahoval významných koncentrací, se výrazně projevil i v analýze pomocí elektronového mikroskopu, a to jak ve spojení s chlórem, tak se sírou. Významně bylo rovněž zastoupeno železo, a to jak sférické, tak další typy. Z produktů ohňostrojů je pak ještě velmi významně zastoupeno baryum, což potvrdila i analýza pomocí ICP-MS. Tyto látky jsou doplněny hlinitokřemičitany, popř. popílkem.



Obr. 57 - Rozdělení částic odebraných dne 14. 6. 2017 do zvolených kategorií včetně jejich četnosti

Relativní zastoupení dostatečně četných kategorií zobrazuje graf na Obr. 58.

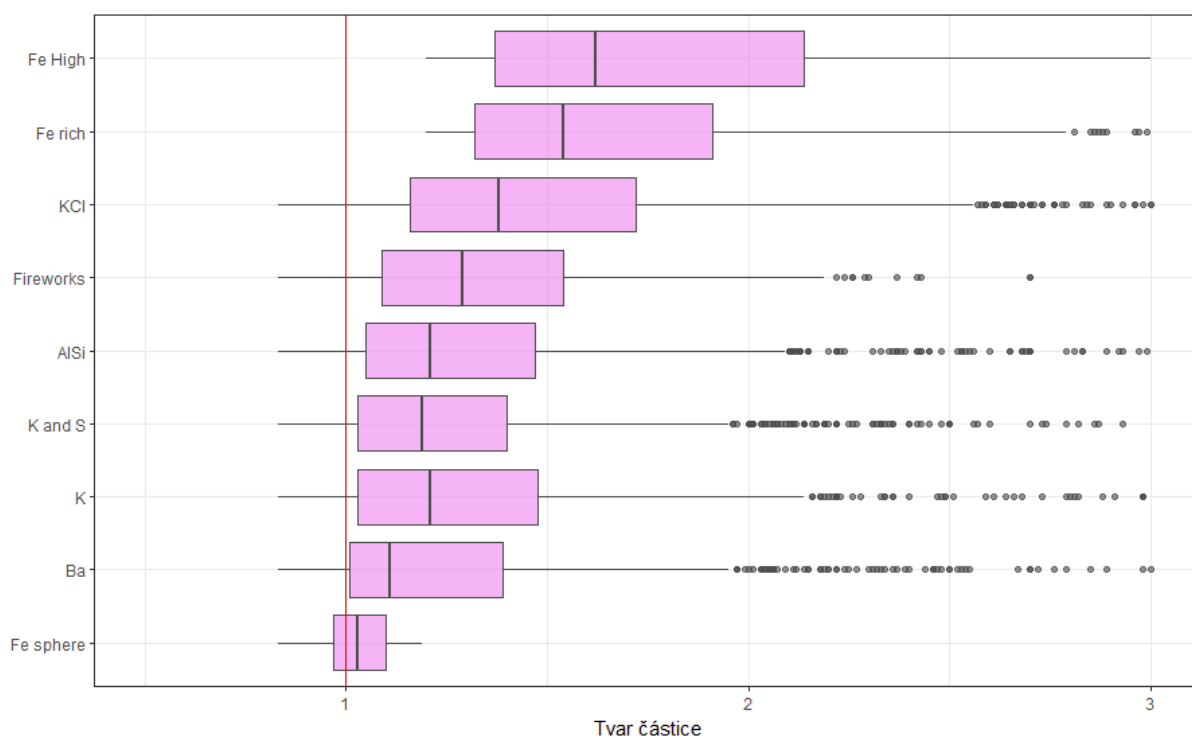


Obr. 58 – Významné kategorie částic a jejich relativní zastoupení ve vzorku odebraném 14. 6. 2017

Z grafu je patrné, že velmi významně je v částicích zastoupen draslík. Ve spojení s chlorem (pravděpodobně KCl, pravděpodobný produkt ohňostroju) tvoří zhruba 17 % všech analyzovaných částic, ve spojení se sírou (pravděpodobně K_2SO_4 , možný zdroj i ohňostroje) tvoří zhruba 18,5 %. Ve skupině ohňostroje (Fireworks), je rovněž poměrně bohatě zastoupen draslík spolu s chlorem, doplněný o hořčík a hliník. A dalších téměř 13 % částic obsahuje významné množství draslíku (více než 20 váhových %).

Dalším významným prvkem je železo, ať již sférické, či v jiných tvarech. Nejčastěji se vyskytuje ve sférickém tvaru, což naznačuje, že tyto částice vznikly za vysokých teplot (hoření). Dále se železo vyskytuje v částicích, kde zaujímá více než 70 wt % (Fe high) nebo více než 50 % (Fe rich). Z dalších prvků je pak významně zastoupeno baryum (pravděpodobně produkt ohňostroju). A v neposlední řadě se často vyskytují částice s významným zastoupením hliníku a křemíku. Může se jednat např. o hliníkokřemičitany z půdy, ale rovněž mohou být částice produktem spalování uhlí či dřeva (pak mají spíše sférický tvar).

Tvar je tedy velmi důležitý. Statistické zpracování tvaru uvádí graf na Obr. 59. V případě tvaru hodnota 1 značí sférickou částici, čím je číslo větší, tím je částice méně kulatá a více elipsoidní až jehlicovitá. Hodnotu 1 zobrazuje svislá červená křivka v grafu.



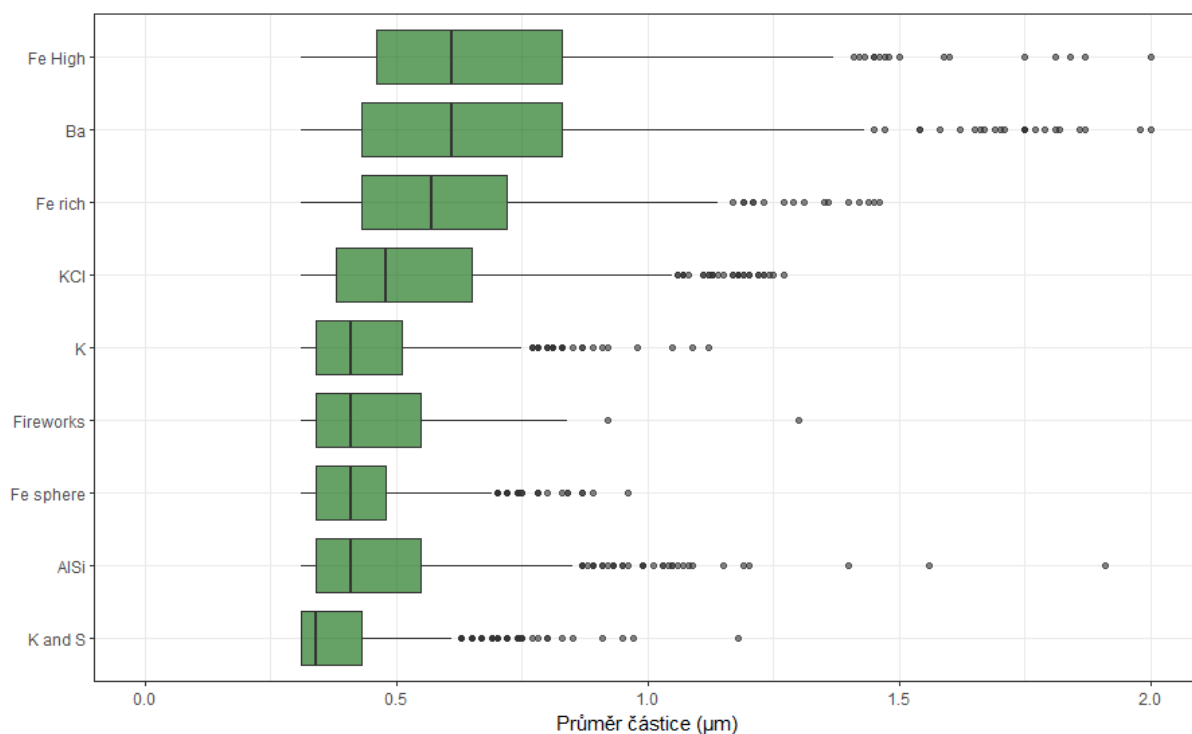
Obr. 59 – Statistické zpracování tvaru částic dle jednotlivých kategorií

Z grafu na Obr. 59 vyplývá, že nejvíce sférické jsou částice v kategorii „Fe sphere“ – tedy sférické částice železa. Nízkých hodnot dosahují rovněž částice barya, jejichž medián má hodnotu 1,11. To rovněž naznačuje, že tyto částice vznikaly za vyšších teplot a jejich původ lze přičíst ohňostroju. Dále se jedná o kategorii částic bohatou na draslík, nespádající ani do kategorie částic draslíku s významnějším množstvím síry nebo chloru. V těchto částicích lze najít zastoupeny i další prvky, např. hliník, baryum, měď, hořčík, stroncium či olovo. I původ částic z této kategorie lze přisuzovat ohňostroju popř. hoření (grily v obcerstvení atp.). Podobně je tomu i v případě částic kategorií K and S, KCl a Fireworks, přestože jejich tvary již nejsou přímo sférické (medián tvaru částic kategorie KCl má hodnotu 1,4). Poměrně nízkou

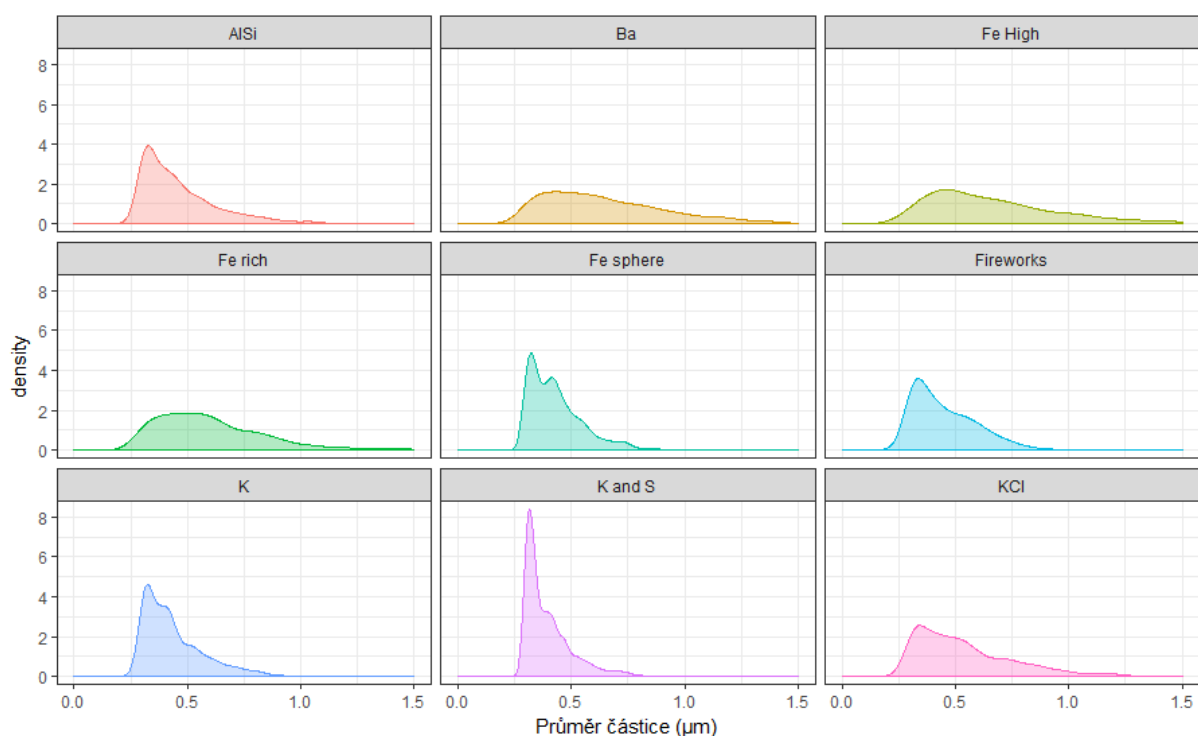
hodnotu tvaru částice má kategorie Al/Si. Jedná se tedy pravděpodobně zejména o částice vzniklé při spalování uhlí / dřeva – pravděpodobně v rámci doprovodných programů (občerstvení na grilu atp.). Část méně sférických částic kategorie Al/Si tak může pocházet z podloží.

Železo se pak v částicích vyskytovalo jak ve sférické formě (medián 1,03), tak v dalších formách, kdy již tvar nebyl kulatý. Sférické částice mohou být opět spojovány jednak s vyššími teplotami během vzniku a formování částice (hoření, ohňostroje, gril), méně sférické částice pak mohou mít mechanický původ (otěry atp.).

Velmi důležitá je pak také velikost částic. Tu zobrazuje graf na Obr. 60. Vyplývá z něj, že k nejmenším patří kategorie K and S – tedy draslík spojený se sírou. Nízký medián mají rovněž částice AlSi, ale z 3. kvartilu a odlehlých hodnot je patrné, že se v této kategorii vyskytují i výrazně větší částice. Těch menších je však více. K malým průměrům lze počítat i sférické částice železa a draselné částice. Naopak barnaté a nesyfické železné částice patří k těm větším. Distribuci velikosti částic dle jednotlivých kategorií rovněž zobrazuje Obr. 61. Je zde patrný ostrý pík u malých velikostí kategorie K and S. Naopak v případě barya či nesyfických částic bohatých na železo pík patrný není a distribuce je velmi široká.

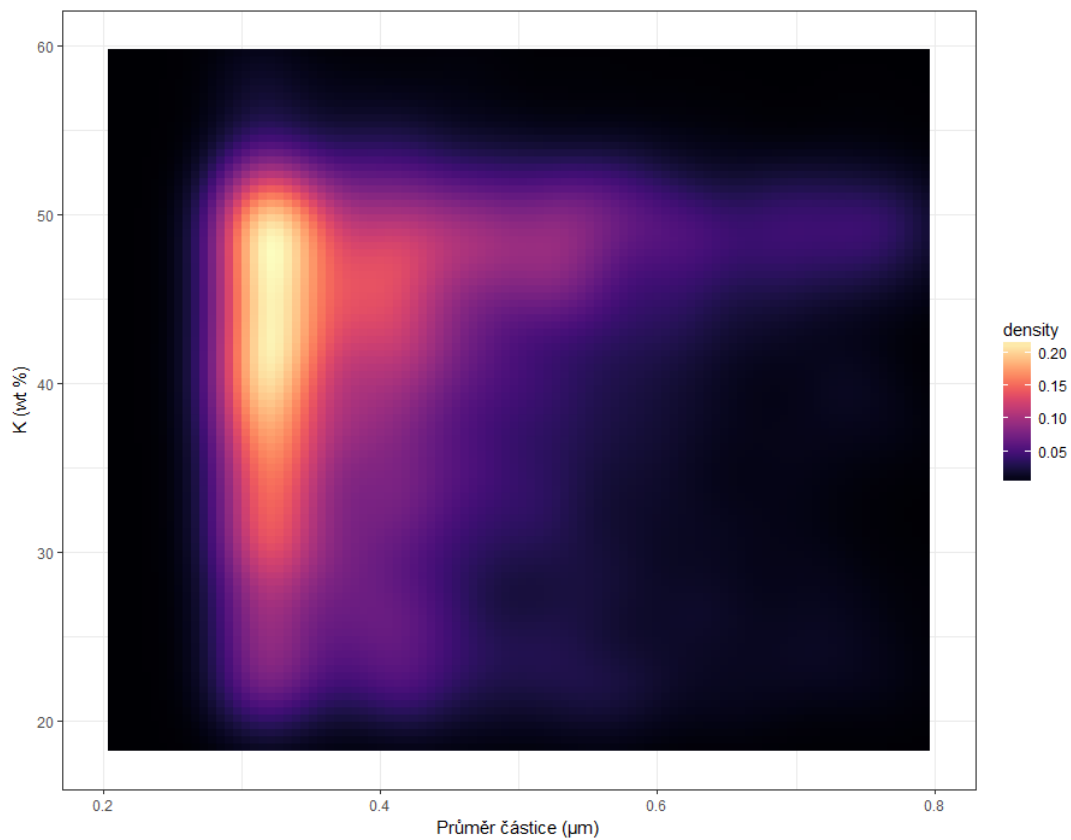


Obr. 60 - Statistické zpracování velikosti částic dle jednotlivých kategorií

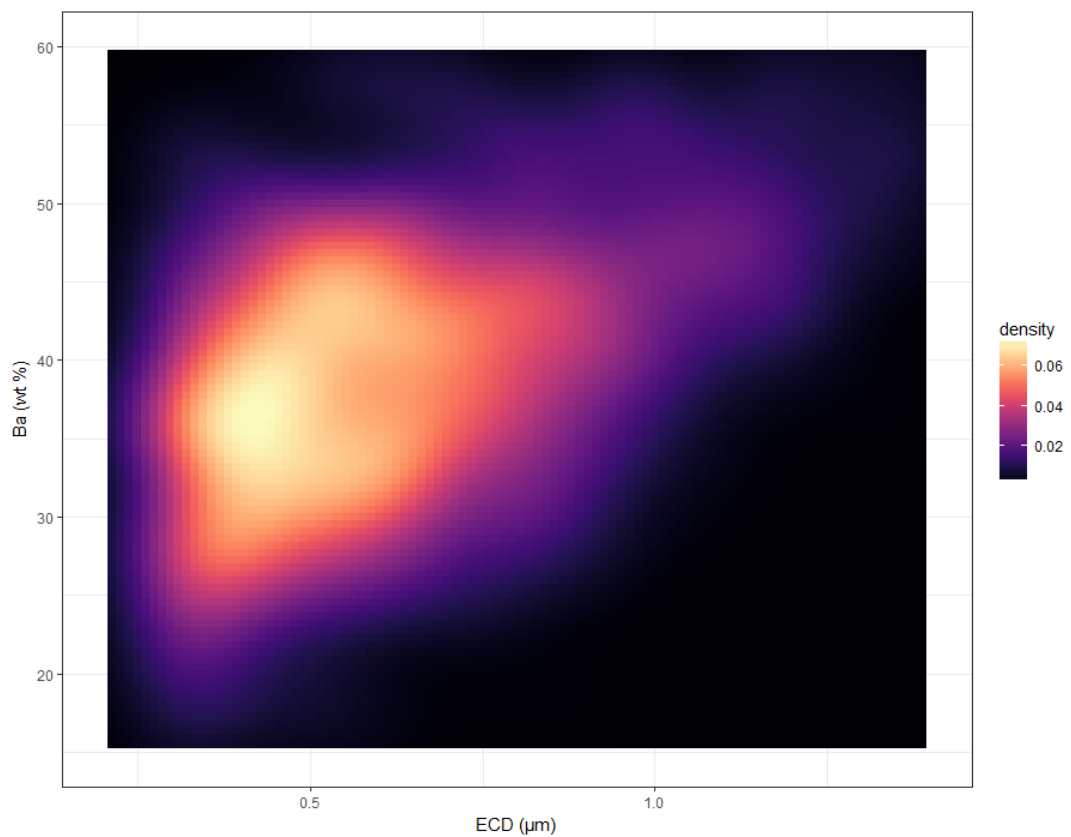


Obr. 61 – Distribuce velikosti částic dle jednotlivých kategorií

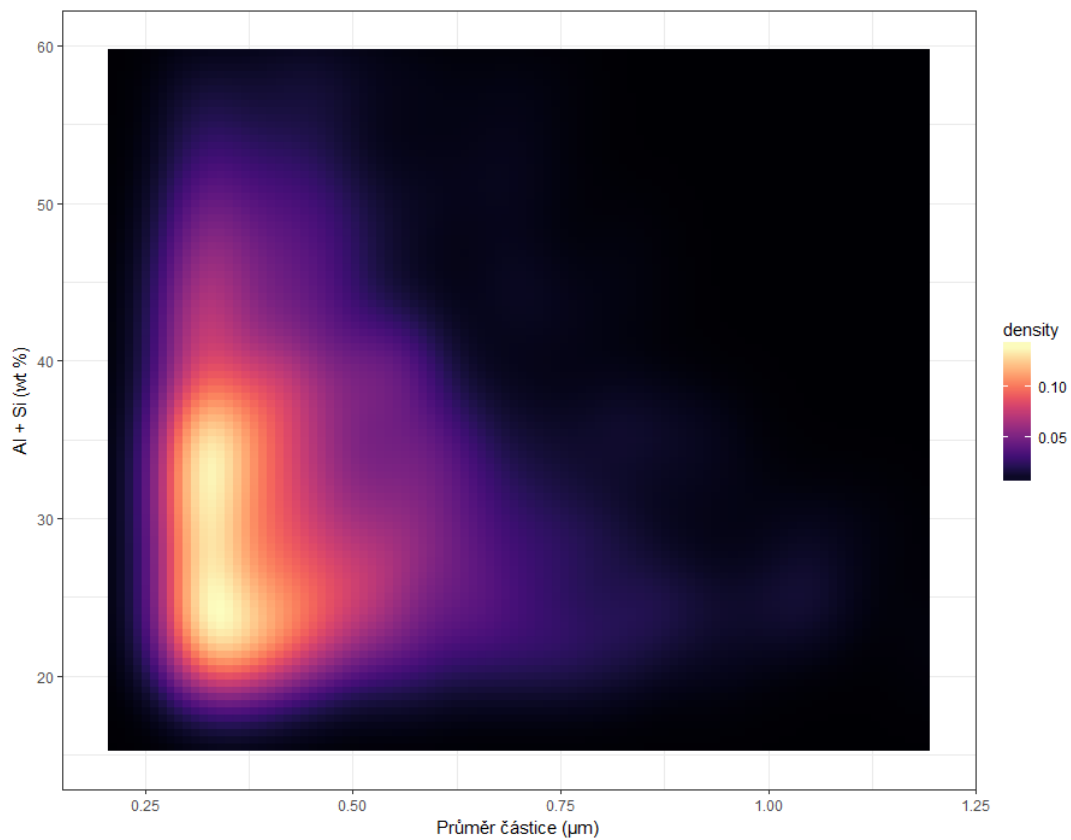
Zajímavý je pak rovněž vztah průměru částice a zastoupení daného prvku v částici (váhová procenta, wt %). Z Obr. 62 - Obr. 65 vyplývá, že draslík se v částicích nejčastěji vyskytuje mezi 40 a 50 váhovými procenty, tyto částice pak mají zhruba 0,3 – 0,4 µm. V případě barya je jeho obsah v částici nejčastěji mezi 30 – 40 %, velikostně se částice nejčastěji pohybují okolo 0,5 µm. V případě kategorie AISi jsou nejčastěji částice velmi malé (okolo 0,3 µm) a obsahují mezi 20 a 35 váhovými procenty hliníku a křemíku. Naopak železo se v částicích nejčastěji vyskytuje mezi 50 – 75 váhovými procenty, průměr částice se pak nejčastěji pohybuje mezi 0,3 – 0,5 µm.



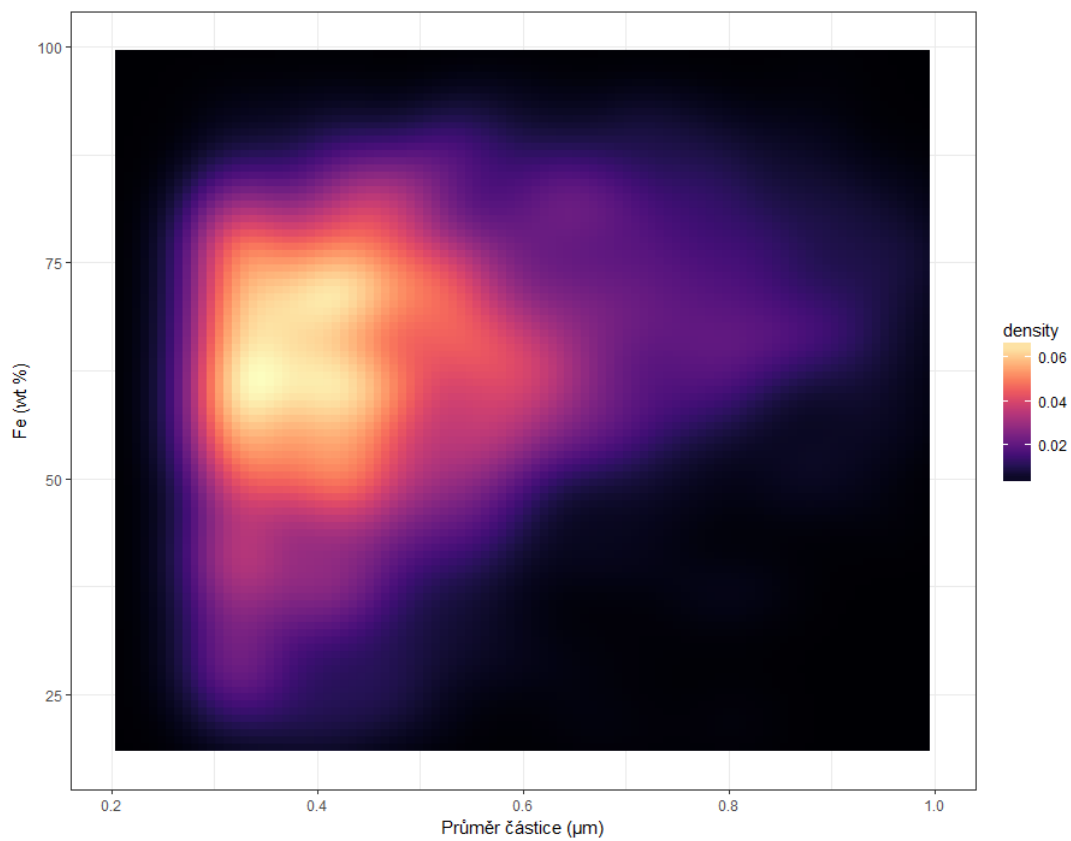
Obr. 62 - Závislost množství draslíku v částici na jejím průměru



Obr. 63 - Závislost množství barya v částici na jejím průměru



Obr. 64 - Závislost množství hliníku a křemíku v částici na jejím průměru



Obr. 65 - Závislost množství železa v částici na jejím průměru

6 Závěr

V průběhu června byla během brněnské přehlídky ohňostrojí Ignis Brunensis měřena kvalita ovzduší v areálu brněnského přístaviště (VIP zóna během přehlídky). Měření se soustředila na stanovení koncentrací škodlivin, které mají dle platné legislativy²¹ imisní limit a kovů sloužících jako barvící přísady ohňostrojí.

Analýzy potvrdily zvýšené koncentrace těchto kovů v ovzduší ve dny s ohňostroji, avšak i tak se jednalo o velmi nízké koncentrace, často pouze o setiny až tisíce procent běžné či doporučené denní dávky daného kovu. V případě těžkých kovů, které mají imisní limity, byly naměřeny pouze velmi nízké koncentrace, pohybující se v jednotkách procent hodnoty imisního limitu.

Během ohňostrojí rovněž došlo ke zvýšení koncentrací PM₁₀, přičemž koncentrace kulminovala v době konání ohňostroje a překročila u některých v hodinové koncentraci 100 µg.m⁻³. Velmi vysoké hodinové koncentrace byly měřeny pouze během dní s ohňostroji, kdy současně panovaly nepříznivé rozptylové podmínky. Nárůst koncentrací však započal již 2 – 3 hodiny před ohňostroji, vysoké hodinové koncentrace PM₁₀ tudíž nelze připsat pouze samotným ohňostrojům, ale také víření prachu pohybem lidí a doprovodnému programu. Po skončení ohňostrojí koncentrace opět rychle klesaly na původní hodnotu.

V případě 24 hodinových koncentrací je vidět nárůst koncentrací PM₁₀ ve dnech, kdy nebyly příznivé rozptylové podmínky (nízké rychlosti větru až bezvětří). Ve dnech s ohňostroji, kdy byly příznivější rozptylové podmínky, se koncentrace PM₁₀ od ostatních lokalit neliší.

Srovnání se Silvestrovskými ohňostroji ukázalo, že v exponovaných městských lokalitách se přehlídka Ignis Brunensis a Silvestrovské ohňostroje příliš neliší.

Koncentrace plyných škodlivin na ohňostroje téměř nereagovaly. Výjimkou jsou pouze oxidy dusíku, které výrazněji narostly v hodinových hodnotách během konání ohňostrojí. Zvýšené hodnoty oxidů dusíku však byly měřeny i ve dny mimo ohňostroje, a lze tedy vyvozovat vliv nejen ohňostrojí, ale rovněž doprovodných akcí a dopravy, které se na zvýšených koncentracích mohly také podílet. Koncentrace SO₂ na konání ohňostrojí nereagovaly.

Obecně lze říci, že hodinová expozice zvýšeným koncentracím prvků během ohňostrojí (oproti dnům bez ohňostrojí) dramaticky nezvyšuje koncentrace uvedených látek v lidském těle a neblíží se ani doporučené (biogenní prvky), natož pak nebezpečné denní dávce.

Analýza pomocí elektronového mikroskopu pak odhaluje některé vazby mezi jednotlivými měřenými prvky a umožňuje na jednotlivé částice pohlížet i z hlediska tvaru či velikosti. Částice byly podle svého chemického složení, tvaru a velikosti rozděleny do několika kategorií. Významné jsou kategorie obsahující draslík – ať již společně se sírou, chlórem, nebo dalšími prvky. Jedná se zejména o malé částice s výskytem draslíku okolo 40 – 50 váhových procent. Velmi časté jsou rovněž částice obsahující železo – to tvoří nejčastěji 50 – 70 % částice. Z prvků používaných v ohňostroji bylo dále ve větším počtu částic identifikováno baryum. To tvoří částice zpravidla z 30 – 40 váhových procent, částice bary jsou rovněž větší, nejčastěji okolo 0,5 µm, ale mohou dosahovat průměru i 1 µm.

²¹ Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší