

Znečišťování ovzduší působené používáním zábavní pyrotechniky

Lucie Obadalová

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lucie OBADALOVÁ**
Osobní číslo: **T07832**
Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**
Téma práce: **Zněčišťování ovzduší působené používáním zábavní pyrotechniky**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte literární rešerši k zadanému tématu.
2. Pokuste se experimentálně stanovit vliv zábavní pyrotechniky na kvalitu ovzduší.
3. Nalezené informace i dosažené výsledky vlastních experimentů kriticky zhodnoťte a přehledně písemně zpracujte.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] RUSSELL, Michael S. . The Chemistry of Fireworks. 2nd Edition. Cambridge (UK) : The Royal Society of Chemistry, 2009. 191 s. ISBN 978-0-85404-127-5.

[2] A. A. ŠIDLOVSKIJ, A. A. . Základy pyrotechniky. 2.vydání. Praha : Naše vosko,1957.374 s.

[3] MORENO, Teresa , et al. Effect of fireworks events on urban background trace metal aerosol concentrations: Is the cocktail worth the show? Journal of Hazardous Materials . 2010, 183, s. 945-949.

[4] WANG, Ying , et al. The air pollution caused by the burning of fireworks during the lantern festival in Beijing. Atmospheric Environment. 2007, 41, s. 417-431.

[5] GRIMA, Matthew, et al. Firework displays as sources of particles similar to gunshot residue. Science and Justice. 2011, xxx, s. 1-9.

[6] VECCHI, Roberta, et al. The impact of fireworks on airborne particles. Atmospheric Environment. 2008, 42, s. 1121-1132.

[7] JOLY, Alexandre, et al. Characterisation of particulate exposure during fireworks displays. Atmospheric Environment. 2010, 44, s. 4325-4329.

[8] CAMILLERI, Renato; VELLA, Alfred J. Effect of fireworks on ambient air quality in Malta. Atmospheric Environment. 2010, 44, s. 4521-4527.

[9] MORENA, Teresa, et al. Recreational atmospheric pollution episodes: Inhalable metal-liferous particles from firework displays. Atmospheric Environment. 2007, 41, s. 913-922.

[10] BARMAN, S. C., et al. Ambient air quality of Lucknow City (India) during use of fireworks on Diwali Festival. Environ Monit Assess. 2008, 137, s. 495-504.

[11] RAVINDRA, Khaiwal; MOR, Suman; KAUSHIK, C. P. Short-term variation in air quality associated with firework events: A case study. The Royal Society of Chemistry. 2003, 5, s. 260-264.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vratislav Bednařík, Ph.D.

Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

18. května 2012

Ve Zlíně dne 13. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




doc. Mgr. Marek Koutný, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: OBADALOVA' LUCIE.....

Obor: CHTM - IOŽP.....

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 16.5.2012.....

.....
Obadalova

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Úkolem této bakalářské práce bylo získat informace z dostupných zdrojů o vlivu používání zábavní pyrotechniky na znečišťování ovzduší. Teoretická část tedy obsahuje souhrn informací popisujících samotné složení ohňostrojů a zplodin vznikajících po hoření zábavní pyrotechniky. Jsou uvedeny také metody odběru vzduchu a jeho analýzy. Praktická část se pak zabývá vlastním odběrem vzorku vzduchu a jeho analýzou. Pro srovnání jsou zde uvedeny i data z monitorovacích stanic.

Klíčová slova: zábavní pyrotechnika, prachové částice, znečištění ovzduší

ABSTRACT

The aim of this bachelors project was to gather information about influence of using entertaining fireworks on air pollution from available sources. The theoretical part consists of summary which describes entertaining fireworks composition and fumes from entertaining fireworks burning. Air sample collecting and analysis is specified too. The practical part is concerned by own gathering of air sample and its analysis. For comparison the data from monitoring stations are specified.

Keywords: entertaining fireworks, dust particles, air pollution

Na tomto místě bych chtěla poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vratislavu Bednaříkovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, rady a trpělivost, kterou se mnou měl. A také bych ráda poděkovala svému příteli Martinu Malaníkovi a své mamince za cenné rady a podporu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 PYROTECHNIKA A JEJÍ HISTORIE	11
1.1 PYROTECHNIKA JAKO POJEM	11
1.2 HISTORIE	11
2 ROZDĚLENÍ PYROTECHNIKY	12
2.1 PYROTECHNIKA VOJENSKÁ.....	12
2.2 PYROTECHNIKA CIVILNÍ	12
2.2.1 Pracovní využití	12
2.2.2 Zábavní využití.....	12
3 ZÁBAVNÍ PYROTECHNIKA	13
3.1 CHEMICKÉ SLOŽENÍ ZÁBAVNÍ PYROTECHNIKY	13
3.2 ROZDĚLENÍ DLE TŘÍD NEBEZPEČNOSTI	15
3.2.1 Třída I.	15
3.2.2 Třída II.	15
3.2.3 Třída III.	15
3.2.4 Třída IV.	16
4 ZPLODINY Z POUŽÍVÁNÍ PYROTECHNIKY A JEJICH DISTRIBUCE V OVZDUŠÍ	17
4.1 ZPLODINY VZNIKLÉ Z POUŽÍVÁNÍ PYROTECHNIKY.....	17
4.2 MECHANISMUS VZNIKU JEDNOTLIVÝCH LÁTEK JAKO ZPLODIN.....	17
4.2.1 Vznik draslíku z draselných solí obsažených v ohňostrojích.....	17
4.2.2 Tvorba síranů a dusičnanů	18
5 METODY MĚŘENÍ POUŽITÉ V LITERATUŘE	19
5.1 JINÉ PRÁCE ZABÝVAJÍCÍ SE SLEDOVÁNÍM ZNEČIŠŤOVÁNÍ PŘI POUŽITÍ ZÁBAVNÍ PYROTECHNIKY	19
5.1.1 Odběr vzorků ve Španělsku, v městě Gironě	19
5.1.2 Odběr vzorků v Pekingu.....	19
5.1.3 Odběr vzorků v Miláně	20
II PRAKTICKÁ ČÁST	21
6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	22
6.1 VLASTNÍ MĚŘENÍ BĚHEM SILVESTROVSKÝCH OSLAV 2011	22
6.2 VLASTNÍ MĚŘENÍ V LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH	23
6.3 DATA Z MONITOROVACÍCH STANICÍ	23
6.3.1 Hodinové koncentrace vzorku PM ₁₀ za období 2007-2008	24
6.3.2 Hodinové koncentrace vzorku PM ₁₀ za období 2010-2011	25
6.3.3 Hodinové koncentrace vzorku PM ₁₀ za období 2011-2012	26
7 VÝSLEDKY A DISKUZE	27
ZÁVĚR	29
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	30
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	31
SEZNAM OBRÁZKŮ	32

ÚVOD

Vynález prvního ohňostroje je spojován s Čínou, odkud se postupně rozšiřoval do dalších zemí. Zábavní pyrotechnika se s postupem času stala také součástí větších oslav již ve středověku a v dnešní době je nedílnou součástí při každoročních oslavách příchodu nového roku. Z důvodu jejího velkého rozšíření při všech možných oslavných událostech se stala také zájmem vědců, z důvodu předpokládaného negativního dopadu na životní prostředí.

Vlivem zábavní pyrotechniky na venkovní prostředí a především na ovzduší, se již zabývalo nemálo studií, avšak její škodlivost není jednoznačně prokázána, ale také není potvrzena neškodnost. Při provozu ohňostrojů se uvolňuje řada znečišťujících látek při hoření, především stopových částic kovů, například hliníku, manganu a kadmia, které jsou obsaženy v zábavní pyrotechnice jako okysličovadla, hořlaviny či látky barvící plamen či při tvorbě různých zvukových efektů, které mohou být lehce vdechnuty do plic a mít negativní účinek pro astmatiky a škodit lidem se srdečními chorobami. A tvorba další znečišťujících látek, jako oxidu siřičitého, oxidu uhličitého, oxidu uhelnatého. Tyto škodliviny mohou mít také nežádoucí vliv na rostliny, zvířata a celkové životní prostředí.

Cílem mé práce tedy bylo, nalézt v literatuře, zabývající se stejnou problematikou, informace, ve kterých by byl prokázán vznik škodlivých zplodin při používání zábavní pyrotechniky, zjistit rozsah těchto škodlivin a poté tuto skutečnost ověřit experimentálně.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PYROTECHNIKA A JEJÍ HISTORIE

1.1 Pyrotechnika jako pojem

Pojem „pyrotechnika“ pochází z řeckých slov: pyr - oheň a techne - znalost, umění. Uměním se myslí znalost připravení ohně a jeho ovládnutí, které vzniklo již v dávné minulosti. [1]

Pyrotechnikou se nazývá obor, v němž se studuje výroba a vlastnosti pyrotechnických složí, výrobků a prostředků. Pyrotechnické slože dávají při hoření světelný, tepelný, dýmový a zvukový efekt, kterého se využívá ve vojenské technice a v národním hospodářství jako například v průmyslu, dopravě nebo při filmování. Kromě jiného se pyrotechnické slože používají při různých slavnostech na přípravu zábavních ohňů – oslavných střelb a ohňostrojů. [1]

1.2 Historie

Historie pyrotechniky je spojena s historií černého, tedy respektive střelného prachu. Nejspíš první zmínka je datována na přelom našeho letopočtu, kdy se v Číně používala k lékařským účelům směs síry a ledku, tedy základních surovin k výrobě střelného prachu. [1]

Vynález střelného prachu a prvního opravdového ohňostroje je datován v obdobích od 7. až do 9. století na území dnešní Číny.[2]

Mimo čínské území však informace o střelném prachu a ohňostrojích pronikaly velmi pomalu. Znalost výroby střelného prachu přešla z Orientu nejprve do Byzance a teprve ve 13. století do ostatních států Evropy. První zmínka o výrobě střelného prachu v Čechách, kde hlavní surovinou byl sanytr- ledek draselný, pochází z roku 1432.[2]

V Čechách se pořádalo nejvíce ohňostrojů za vlády Rudolfa II. Habsburského. Ten byl známý tím, že shromažďoval u svého dvora mnoho alchymistů a vědců z celého světa, kteří mimo jiné prováděli chemické pokusy a sestavovali ohňostroje. Známou osobností v tomto oboru byl například malíř a sochař Giuseppe Arcimboldo. Znalost výroby střelného prachu a ohňostrojů se v Čechách samozřejmě šířila a stejně jako v Číně ani zde nemohl ohňostroj chybět u žádné významnější události šlechty.[2]

Nadšení pro ohňostroje přivezli do Ameriky i první přistěhovalci. Ohňostroje a černý prach byly využívány již dlouho před americkou válkou za nezávislost. Také v roce 1789 byla inaugurace George Washingtona doprovázena ohňostrojnou show.[2]

2 ROZDĚLENÍ PYROTECHNIKY

2.1 Pyrotechnika vojenská

Tato pyrotechnika se zabývá výrobou nábojů pro děla a ručnice, ale i zhotovením zvláštních směsí, kterých se užívá ve válce při signalizování, k odpuzení nepřátel zakouřením či zapalování budov na velkou vzdálenost.[1]

2.2 Pyrotechnika civilní

Tato skupina obecně zahrnuje dvě menší skupiny a to pyrotechniku pro pracovní využití a pyrotechniku zábavní, jejichž rozdíly jsou uvedeny níže.

2.2.1 Pracovní využití

Do této skupiny patří různé signální prostředky užívající se v letecké a železniční dopravě a v námořním i říčním loďstvu. Dýmových složí s insekticidními látkami se využívá při boji se škodlivým hmyzem. Taktéž se dýmové slože využívají k ochraně sadů před ranními mrazíky, ke studiu vzdušných proudů v atmosféře a v různých zařízeních. V neposlední řadě se této pyrotechniky využívá při trhání skal, hornictví a stavebnictví.[1]

2.2.2 Zábavní využití

V této kategorii pyrotechniky jde vždy o světelný, dýmový nebo zvukový efekt. Jelikož se jedná o hlavní skupinu, kterou se tato práce zabývá, je jí vymezena celá následující kapitola.[1]

3 ZÁBAVNÍ PYROTECHNIKA

Zábavní pyrotechniku je možné specifikovat z několika hledisek.

3.1 Chemické složení zábavní pyrotechniky

Zábavní pyrotechnika se skládá z pyrotechnických složí, což jsou mechanické směsi oxidantů, hořavin, pojiv a dalších přídavných látek.

Okysličovadla

Jsou to pevné látky s bodem tání nad 60°C, které musí obsahovat a rychle uvolňovat velké množství chemicky vázaného kyslíku. Patří sem:

- Dusičnany - například dusičnan draselný KNO_3 , který se používá do světelných složí, dusičnan barnatý $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, používaný do světelných a explozivních složí, dále dusičnan strontnatý $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, využívaný ve světelných složích. [1]
- Chlorečnany – sem patří chlorečnan draselný KClO_3 , který velmi lehce uvolňuje kyslík a chlorečnan barnatý $\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$. Oba jsou používány na světelné, explozivní a zábleskové slože. [1]
- Chloristany – spadá mezi ně chloristan draselný KClO_4 , jenž vhodný pro explozivní, hvízdavé a světelné slože. Dále chloristan barnatý $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$, který je používán pro světelné slože a chloristan amonný NH_4ClO_4 , používaný pro speciální efekty.[1]

Hořlaviny

Jsou to látky schopné oxidační reakce s kyslíkem, který je uvolňován rozkladem oxidantů. Hořavin je velké množství, dělí se na látky organické a anorganické.

- Anorganické látky – tedy například práškové kovy jako hliník, hořčík, titan, železo, antimon a jiné, které uvolňují velké množství tepla a proto se používají hlavně do kompozic světelných a explozivních. Dále do této skupiny patří síra, fosfor, uhlík, dřevěné uhlí a jiné další. [1]
- Organické látky – což jsou především škroby, cukry, dřevěné piliny, nitrocelulóza, naftalen, antracen, vosk a další podobné. [1]

Pojiva

Jsou to látky mající lepící nebo tmelící účinek. Ve většině případů se jedná o hořlaviny, jaké jsou jak v podobě prášku tak i ve formě roztoku, které po vysušení celou slož spojí a drží pohromadě. Nejpoužívanější je arabská guma, antracen, dextrin, šelek či fermež. Především nitrocelulóza, novolak nebo kalafuna slouží zároveň jako ochrana před zvlhnutím.[1]

Přídavné látky

Tyto látky slouží k dosažení požadovaných vlastností jednotlivých slož, též pro zlepšení mechanické a chemické stability, tedy pro bezpečnější manipulaci. [1]

- Flegmatizátory – jsou látky snižující citlivost slož na mechanické podněty jako je tření a náraz. Mají převážně měkkou nebo pružnou konzistenci. Spadá zde parafín, vosk, grafitový prášek a minerální oleje. [1]
- Stabilizátory – slouží k zvýšení chemické stálosti pyrotechnických slož, zde patří například $\text{Sr}(\text{C}_2\text{O}_4)_2$. [1]
- Látky barvicí plamen – používají se ve světelných složích. K tomuto účelu se využívá především solí alkalických kovů a kovů alkalických zemin. Jsou to především stroncium-červená barva, bariem-zelená barva, sodík-žlutá barva, draslík, vápník-oranžová barva, měď, rubidium a lithium. Zvýšení intenzity plamene docílíme přidáním práškového kovu, například hliníku, hořčíku, zinku, titanu či berilia. Tytéž kovy se používají také pro bílé oslnivé světlo. [2]
- Jiskřící látky – zde se přidávají do slož hrubozrnné látky, které jsou při hoření vymršťovány do okolí, hoří pomocí atmosférického kyslíku a vnímáme je jako jiskry. Hrubší práškový hliník, hořčík nebo titan tvoří oslnivě bílé jiskry, práškové železo jiskry nažloutlé, hrubozrnné práškové dřevěné uhlí má delší zlaté jiskry s viditelnou dráhou letu. [2]
- Látky vydávající dým – většinou jde o látky hořlaviny, které mají pomalou rychlost hoření a potřebují k tomu velké množství kyslíku. Tímto nedokonalým hořením vzniká velké množství dýmu černé a našedlé barvy. Také se používají látky sublimující, u kterých dochází k přechodu látky z pevného stavu do plynného a naopak. Vytvořit bílý dým je možno s použitím chloridu amonného a z přísady antracenu. Zde se k obarvení se používají sublimační barviva jako je rhodamin nebo auramin.[2]

3.2 Rozdělení dle tříd nebezpečnosti

Existuje několik omezení zábavní pyrotechniky. Jedním z prvních kroků je zařazení daného výrobku do jedné ze čtyř tříd nebezpečnosti. Toto rozdělení určuje, komu patří pyrotechnika do rukou a také informuje dovozce a distributory, o systému skladování a prodávání pořízeného zboží.

3.2.1 Třída I.

Výrobky této třídy lze prodávat stánkovým prodejem bez omezení věku. Věkovou hranici pro nabývání výrobků třídy I., může stanovit dovozce nebo výrobce. Pak by měl prodejce k tomuto omezení přihlížet a důsledně jej dodržovat.[12]

Předměty této třídy nesmí obsahovat v jednom kuse více než tři gramy pyrotechnických složek. Intenzita hluku ve vzdálenosti 8 metrů nesmí být vyšší než 115 decibelů. Patří sem například prskavky, malá ohnivá kola, bouchací kuličky a vystřelovací konfety.[12]

3.2.2 Třída II.

Tyto výrobky nelze prodávat stánkovým prodejem, pouze v objektech k tomu schválených. Věková hranice pro nabývání výrobků třídy II., je stanovena nad 18 let. Výrobky by se neměli používat pod vlivem alkoholu, omamných látek nebo léků snižujících pozornost. Také se nesmí používat v blízkosti kostelů, domovů důchodců, dětských zařízení, škol, nemocnic, ozdravoven a při sportovních akcích.[12]

Předměty této třídy nesmí obsahovat více, jak 50 gramů pyrotechnických složek v jednom kuse. Intenzita hluku, stejně jako u výrobků I. třídy, nesmí být ve vzdálenosti 8 metrů vyšší než 115 decibelů. Do této skupiny patří předměty s hvízdavou náplní, dýmovnice, bengálské ohně, římské svíce, gejzíry, minivýbušky a některé rakety.[12]

3.2.3 Třída III.

Výrobky této třídy nelze prodávat stánkovým prodejem, pouze v objektech k tomu schválených. Prodej je podmíněn osobám vlastním platný průkaz odpalovače ohňostrojů.[12]

Předměty této třídy nesmí obsahovat více než 250 gramů pyrotechnických složek. Pokud se předmět skládá z více dílů, nesmí jich být víc než 12 a dohromady může obsahovat maximálně 800 gramů složek. Typickými předměty této skupiny jsou kromě raket a ohňopádů, též malé italské pumy, dělové rány či velká japonská slunce.[12]

3.2.4 Třída IV.

Tyto výrobky nelze prodávat stánkovým prodejem, pouze v objektech k tomu schválených. Prodej je též podmíněn osobám vlastnícím platný průkaz odpalovače ohňostrojů, spolu s platným odběrným povolením vydaným Českým báňským úřadem. Výrobky třídy IV. lze nakupovat pouze v odběrných skladech dovozců nebo výrobců. Použití těchto výrobků je dále podmíněno schváleným technologickým postupem pro ohňostrojné práce. Schválení technologického postupu a případného dohledu je v pravomoci Českého báňského úřadu.[12]

Do této skupiny patří například dělové rány ohňostrojné, létavice, větší italské pumy a kulové pumy.[12]

4 ZPLODINY Z POUŽÍVÁNÍ PYROTECHNIKY A JEJICH DISTRIBUCE V OVZDUŠÍ

4.1 Zplodiny vzniklé z používání pyrotechniky

Při různých oslavných událostech dochází v rámci používání zábavné pyrotechniky ke vzniku velkého množství nebezpečných zplodin, které jsou ve formě kouřového oblaku. Chemie z tohoto oblaku je složitá, ale vždy je charakterizována vysokým obsahem kovů, jako K, Ba, Mg, Sr, Cu, Pb, Sn, Al, Bi, Ga, jejichž sloučeniny se používají v ohňostrojích jako okysličovadla, stabilizátory a případně k barvení plamene a při jiných speciálních efektech. [8]

Jedná se většinou o jemné částičky zdraví škodlivých, které jsou dostatečně malé na to, aby byly lehce vdechnutelné. Pronikají do plicních sklípků, čímž způsobují negativní zdravotní dopady u lidí, zejména u ohrožených jedinců, například astmatiků. [3]

Při používání zábavní pyrotechniky se dále uvolňují znečišťující látky, jako oxid siřičitý, oxid dusičitý, oxid uhličitý, oxid uhelnatý a suspendované částice. [11]

Zábavní pyrotechnika často vede k vážným nehodám a smrtelným zraněním a složitý charakter ohňostrojných částic se stopovými prvky kovů a organických sloučenin disponují větší hrozbou pro lidské zdraví. Kromě toho, při používání barevných ohňostrojů, by se mohl vytvářet přízemní ozón, který je silné a škodlivé oxidační činidlo. [4]

Další druhy látek jsou ty, které vznikají z plynů emitovaných při odpalování ohňostrojů, mezi ně patří například SO_4^{2-} , S, NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , P, NO_2^- , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4^{2-}$, $\text{C}_3\text{H}_2\text{O}_4^{2-}$, $\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_4^{2-}$, Ca^{2+} , Na^+ , a Fe. [4]

4.2 Mechanismus vzniku jednotlivých látek jako zplodin

Zde jsou uvedeny některé mechanismy vzniků různých látek,

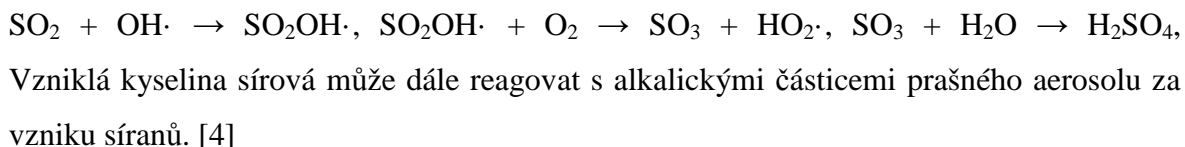
4.2.1 Vznik draslíku z draselných solí obsažených v ohňostrojích

Draslík bývá obsažen ve velkém množství v částicích ze zábavní pyrotechniky. Draselné soli mohou být jedním z hlavních sloučenin používaných v ohňostrojích a draslík by mohl sloužit jako stopovač emisí ze zábavní pyrotechniky. Aktuálně draselné soli, jako například dusičnany, chlorečnany a chloristany, jsou široce používány jako okysličovadla v ohňostrojích. Proto odpovídající rovnice jsou:



4.2.2 Tvorba síranů a dusičnanů

Při používání ohňostrojů vznikají také sekundární aerosoly, jako sírany a dusičnany. Existuje mnoho mechanismů vytváření SO_4^{2-} z SO_2 , například oxidační reakcí v plynné fázi, kdy reaguje SO_2 s OH radikálem:



Dále vznikají sírany z heterogenních oxidací v kapkách oblaků a srážek, kde reaguje SO_2 s H_2O_2 nebo s O_3 :



Nejpravděpodobnějším vznikem síranů během spalování ohňostrojů se jeví heterogenní katalytická reakce, kde katalyzátorem jsou kovy jako Cu, Fe, Mn, Al, Na, K, Mg a Ca. [4]

Tvorba dusičnanů může být způsobena homogenní reakcí v plynné fázi, kdy reaguje NO_2 s OH nebo O_3 . Touto reakcí vzniká HNO_3 , která dále reaguje s NH_3 za vzniku NH_4NO_3 :



Přičemž NH_4NO_3 může disociovat na NH_3 a HNO_3 , následně reaguje HNO_3 s $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ v aerosolech, která může urychlit vznik dusičnanů. [4]

5 METODY MĚŘENÍ POUŽITÉ V LITERATUŘE

5.1 Jiné práce zabývající se sledováním znečišťování při použití zábavní pyrotechniky

V této kapitole je uvedeno několik příkladů studií znečištění ovzduší způsobené používáním zábavní pyrotechniky při různých oslavných událostech na několika různých místech světa. Uvedena je zde metodika odběru vzorků, analyzování získaných vzorků a výsledky.

5.1.1 Odběr vzorků ve Španělsku, v městě Gironě

U této metody vědci odebírali vzduch po dobu sedmi týdnů v období před velkým ohňostrojem, v průběhu ohňostroje a jeden týden po skončení akce. Odběry vzduchu se prováděli na dvou místech ve městě Gironě, od 5. května do 30. června v 24 hodinovém intervalu. Na umístěné filtry byly zachytávány částice PM_{2,5} a vzorkování bylo prováděno pomocí MCV CAV-A a Digitel DH80 velkoobjemového vzorkovače, vybaveného křemennými-vláknitými filtry. Tyto filtry byly po odběru vzorků prachu dále podrobeny analýze, která byla založena na stanovení hlavních a stopových prvků v získaném vzorku prachu metodou ICP-AES a ICP-MS a dále rozpustných aniontů a kationtů iontovou chromatografií a amonných iontů kolorimetricky. Při analýze vzorků prachu získaných během ohňostrojných akcí, byl zjištěn vysoký obsah kovů K, Ba, Mg, Sr, Cu, Pb, Sn, Al, Bi a Ga, nejvíce však narostly koncentrace kovů Pb, Co, Ni, Zn, As a Al. [3]

5.1.2 Odběr vzorků v Pekingu

V této studii byly shromážděny vzorky aerosolu PM_{2,5} a PM₁₀ pocházející ze spalování ohňostrojů během lampionového festivalu v Pekingu v roce 2006. Bylo odebráno celkem 8 vzorků, vždy po dvou vzorcích denně a to během dne oslav, den po oslavách, v noci po oslavách a poslední dva vzorky byly získány v normálním dnu. Vzorky byly odebrány na střeše pekingské univerzity, která byla 40 metrů vysoká. Pro odběr vzorků byly použité filtry Whatman 41 a vzorkovač se středním objemem. Filtry byly před a po odběru vzorků váženy na analytických vahách Sartorius. Rozbor získaného vzorku probíhal tak, že se čtvrtina z každého vzorku a prázdného filtru extrahovala ultrazvukem do 10 ml deionizované vody. Dále se vzniklý roztok přefiltroval přes mikroporézní membrány a bylo stanoveno pH filtrátu pomocí pH metru. Ionty a prvky v těchto filtrátech byly stanoveny pomocí iontové chromatografie a atomové emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem.

Ke zbytkům po filtraci byly dále přidány 3 ml koncentrované HNO_3 , 1 ml koncentrované HClO_4 a 1 ml koncentrované HF a na dobu 4 hodin vloženy do vysoké tlakové teflonové rozkládací nádoby, která byla nastavena na 170°C . Po vychladnutí se roztok vysušil a pak se přidal 1 ml koncentrované HNO_3 a zředěn na 10 ml deionizovanou vodou. Prvky v něm obsažené byly opět stanoveny metodou atomové emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Z analyzovaných vzorků bylo zjištěno, že ovzduší během lampionového festivalu obsahovalo ve vyšších koncentracích prvky jako Al, Mg, Ba, K, Cl, Pb, Sr, Cu, Mn, Zn, F, Ca a Na, oproti běžným dnům. Nejvyšší nárůst měl draslík, který byl asi 3 krát vyšší, než v normálních dnech. Dále byl zjištěn nárůst sekundárních složek, jako $\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_4^{2-}$, $\text{C}_3\text{H}_2\text{O}_4^{2-}$, PO_4^{3-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4^{2-}$, SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Fe, Ca^+ a Na^+ , které mohou vznikat z plynů emitovaných při spalování ohňostrojí. Také bylo zjištěno, že pH aerosolových filtrátů v průběhu a po spalování ohňostroje bylo nižší, než v běžných dnech. [4]

5.1.3 Odběr vzorků v Miláně

Vliv zábavní pyrotechniky na kvalitu ovzduší bylo studováno i v Miláně během noci z 9. na 10. července 2006, kdy probíhali oslavy vítězství mistrovství světa ve fotbale. Odběry vzorků vzduchu byly provedeny na střeše ústavu fyziky, asi 10 metrů vysoké. PM10 bylo odebíráno od 9. do 11. července každé 4 hodiny na filtrech PTFE a křemenných vláknových filtrech, za použití odpovídajících normovaných vzorkovačů. Dále byly shromažďovány jemné a hrubé PM frakce s hodinovým rozlišením za použití vzorkovače, který rozdělval částice do dvou různých fází. Hrubé částice byly shromažďovány na kaptonové fólii a jemné částice zase zachyceny na filtrech Nuclepore. Kaptonová fólie a filtry byly párovány v kazetě rotující konstantní úhlovou rychlostí, což vyrábělo kruhové průběžné ukládání na obou stupních. Zachycené vzorky na PTFE filtrech byly podrobeny analýze pomocí energeticko-disperzní-rentgenové-fluorescenční metody, křemenné vláknové filtry byly analyzovány iontovou chromatografií a prach z fólie a filtrů byl analyzován částicovou indukovanou rentgenovou emisní analýzou. Z analyzovaných vzorků bylo zjištěno významné zvýšení koncentrací Sr, Mg, K, Ba a Cu. [6]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

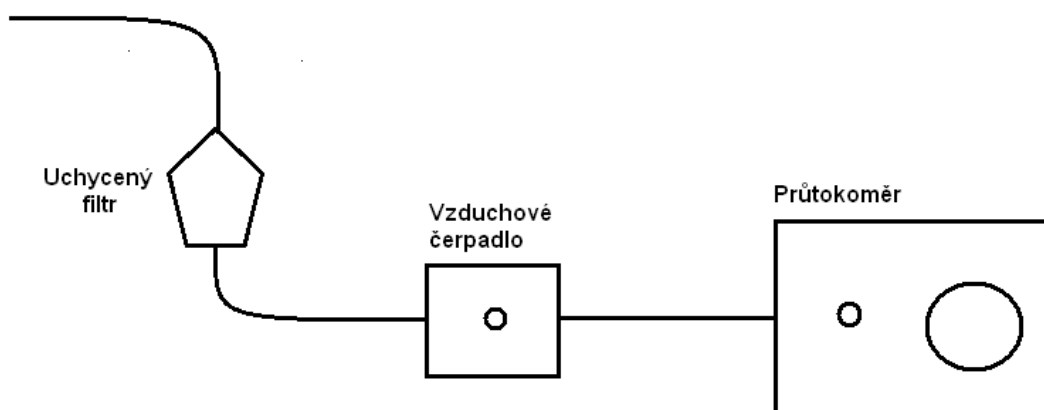
6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato kapitola je rozdělena do tří částí, přičemž v první části je popsáno mé vlastní měření během Silvestrovských oslav a zjištěné výsledky mého pokusu. Ve druhé části je popsán druhý pokus v laboratorních podmínkách a v části třetí jsou shromážděny data získané z monitorovacích stanic na území Zlína.

6.1 Vlastní měření během silvestrovských oslav 2011

V průběhu silvestrovských oslav byly odebírány vzorky prachu z venkovního vzduchu pomocí aparatury, která se skládala z průtokoměru, vzduchového čerpadla a z uchyceného filtru, odkud vedla pryžová hadička, která byla vystrčena z okna. Odběr vzduchu byl započat dne 31.12.2011 v 15:04. Před počátkem měření a po ukončení měření se filtr vážil na analytických vahách. Rozdíl hmotností filtru se zachyceným prachem a prázdného filtru dal výslednou hodnotu množství zachyceného prachu.

Poté se vzorek dále analyzoval pomocí rentgenového fluorescenčního spektrometru Elva-x, o napětí 45 kV, proudu 46,5 μ A a době expozice 120 s, který nám jako výsledek dal graf četnosti detekovaných fotonů rentgenového záření v závislosti na jejich energii, na kterém byly zobrazeny prvky obsažené v analyzovaném vzorku.



Obrázek 1 - Použitá aparatura při odběru vzorku vzduchu během silvestrovských oslav

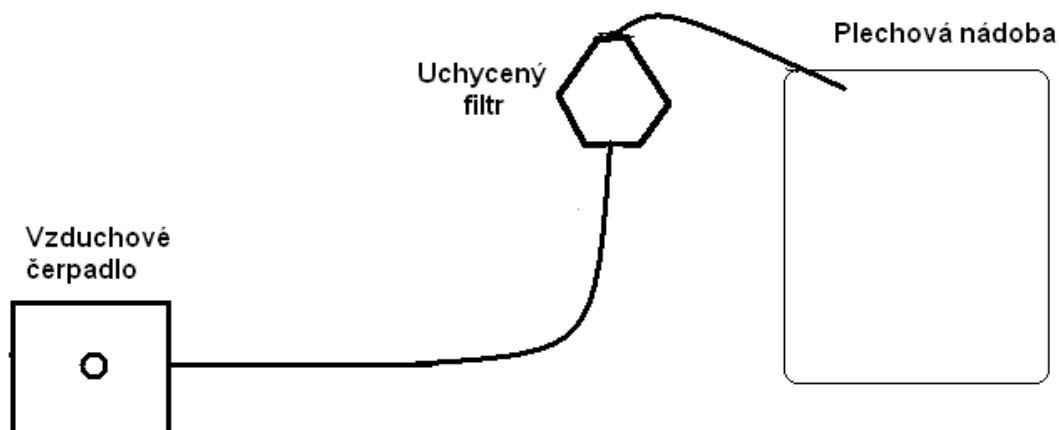
Dále byly během těchto oslav použity sběrače prachu, které byly rozmístěny dne 31.12.2011 po 17. hodině na třech místech, a to v Zádveřicích, Klečůvce a Lípě. Celkem bylo použito 9 kusů těchto sběračů, skládajících se z oboustranných pásek, které byly upevněny na stromech, ve výšce 2 metrů.

Protože se bohužel měření z technických důvodů nezdařilo, nebyly hodnoty získané z tohoto odběru vzorků brány v potaz a bylo provedeno nové měření tentokrát v laboratorních podmínkách.

6.2 Vlastní měření v laboratorních podmínkách

Druhé měření bylo realizováno dne 4.4.2012 v analytické laboratoři. Při pokusu byla použita podobná aparatura, jako při prvním odběru vzorků vzduchu během silvestrovských oslav, která byla umístěna v digestoři. Skládala se opět ze vzduchového čerpadla, uchyceného filtru a z něj vedoucí pryžová hadička, která byla vložena do uzavřené plechové nádoby. Experiment se poté provedl tak, že na dno plechové nádoby bylo postupně vloženo 5 zapálených fontán, uzavřelo se víko a během doby, kdy pokus probíhal, byl vznikající kouř z použitých fontán odebírán vzduchovým čerpadlem procházejícím přes filtr, na kterém se zachytávali prachové částice obsažené v tomto dýmu.

Při pokusu bylo použito celkem 5 fontán, z nich 4 byly malé, s efektem červené, zelené, zlaté a stříbrné barvy a jedna větší fontána, typu super Etna, která měla světelné a zvukové efekty. Získaný zachycený prach z filtru se po ukončení experimentu dále vážil a analyzoval pomocí rentgenového fluorescenčního spektrometru Elva-x.

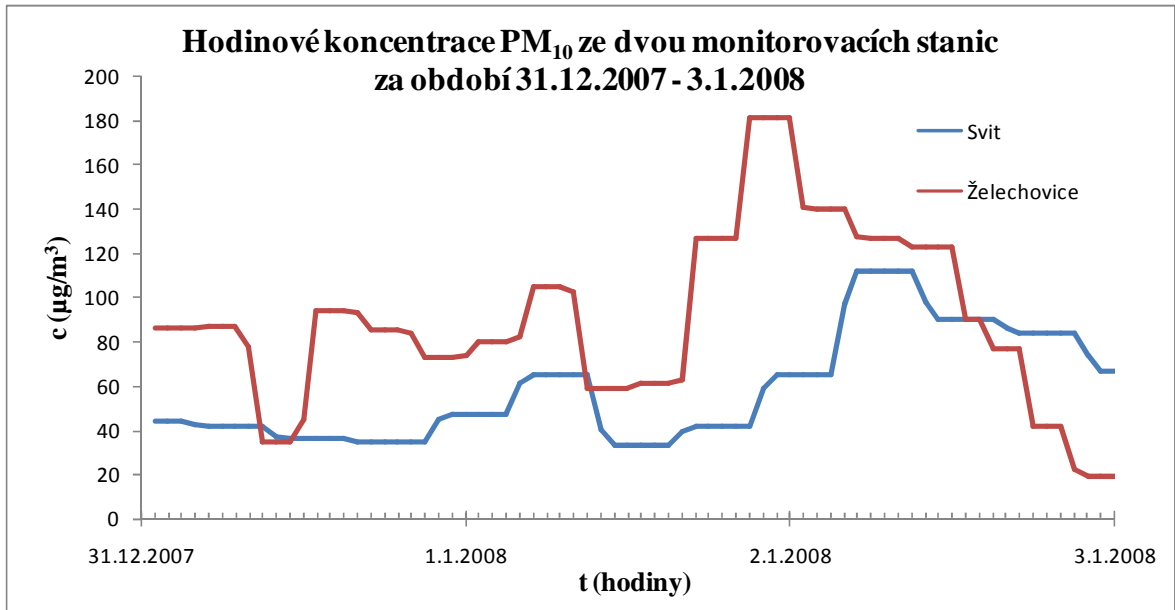


Obrázek 2 - Použitá aparatura během odběru vzorku vzduchu v laboratorních podmínkách

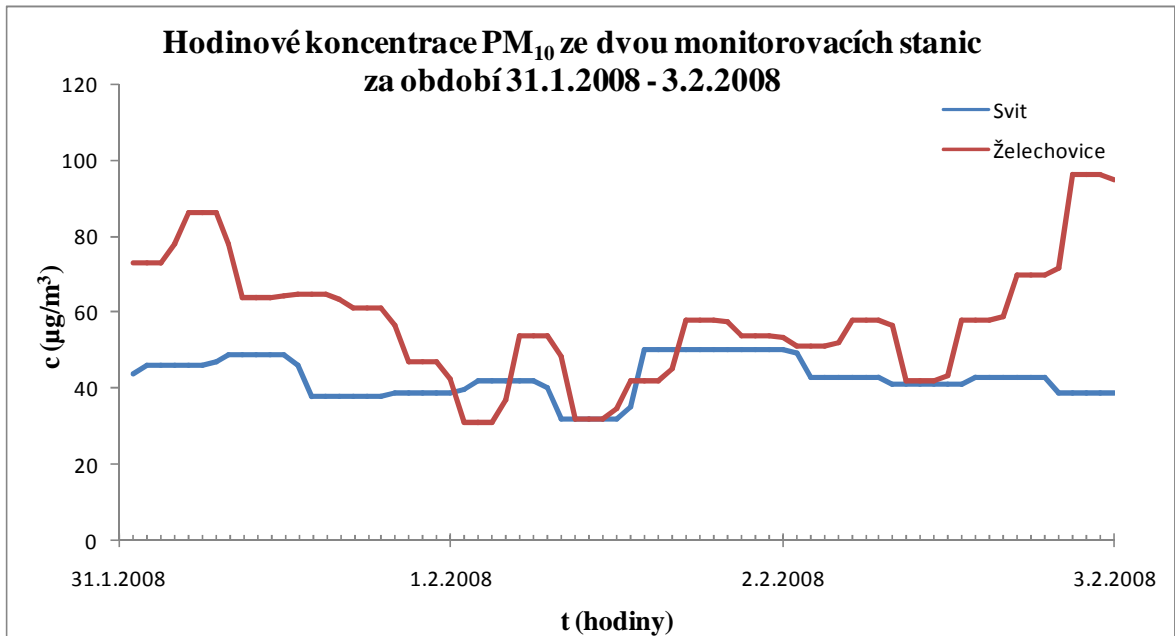
6.3 Data z monitorovacích stanic

Jako poslední bod této kapitoly jsou zde shromážděny získané data z monitorovacích stanic na území Zlína. Na těchto stanicích sledují koncentrace SO_2 , NO_2 a PM_{10} .

6.3.1 Hodinové koncentrace vzorku PM₁₀ za období 2007-2008

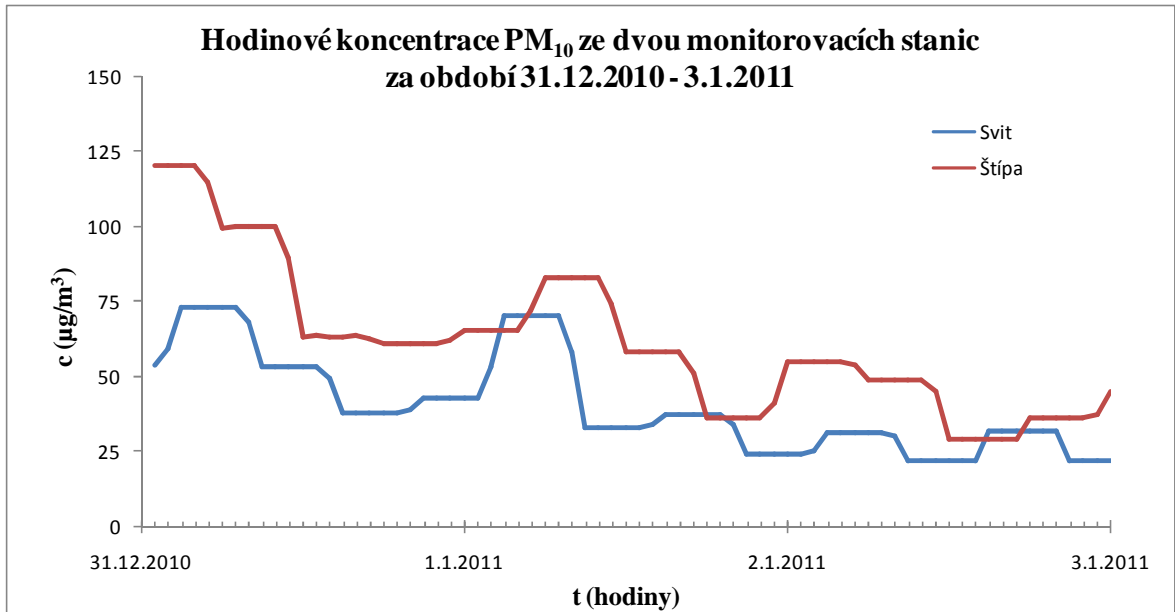


Obrázek 3 - Graf závislosti koncentrace PM₁₀ na čase za období od 31.12.2007-3.1.2008

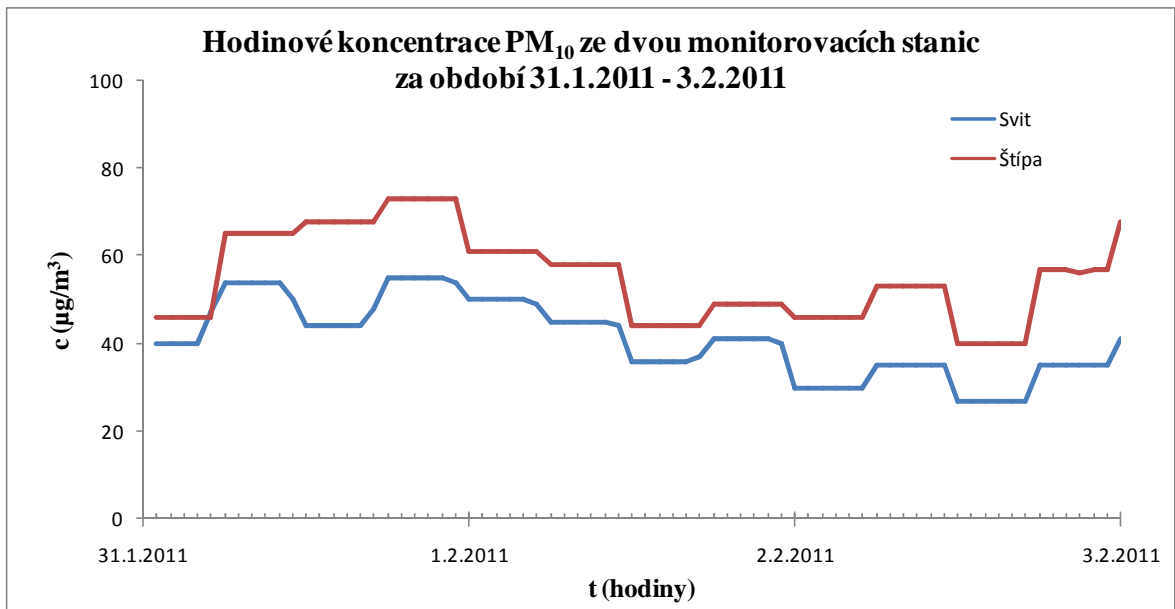


Obrázek 4 - Graf závislosti koncentrace PM₁₀ na čase za období od 31.1.2008-3.2.2008

6.3.2 Hodinové koncentrace vzorku PM₁₀ za období 2010-2011

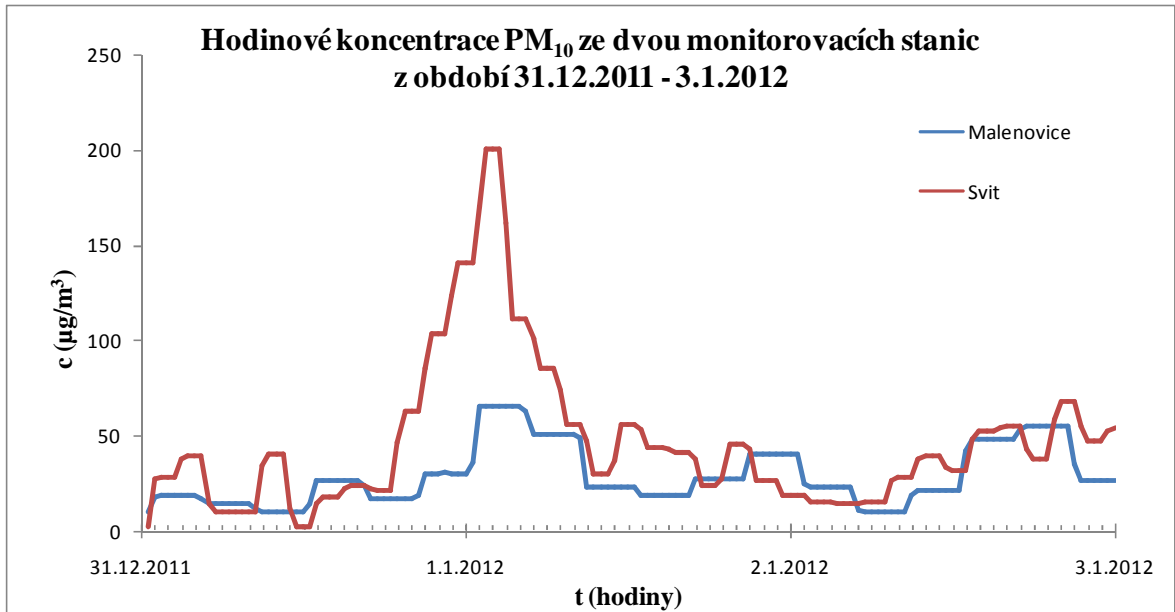


Obrázek 5 - Graf závislosti koncentrace PM₁₀ na čase za období od 31.12.2010-3.1.2011

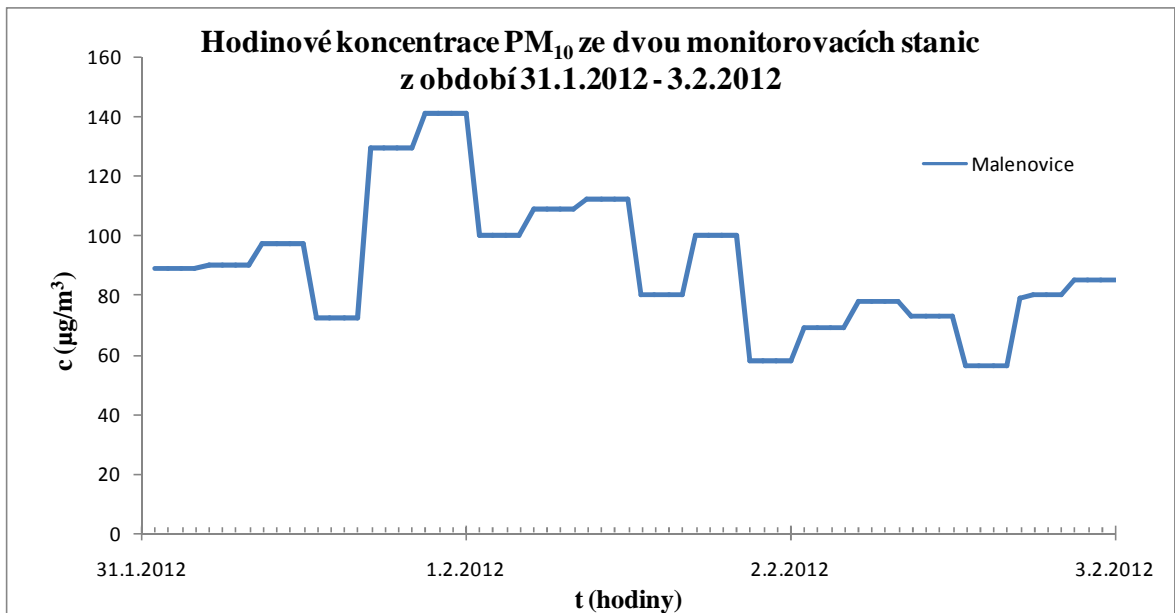


Obrázek 6 - Graf závislosti koncentrace PM₁₀ na čase za období od 31.1.2011-3.2.2011

6.3.3 Hodinové koncentrace vzorku PM₁₀ za období 2011-2012



Obrázek 7 - Graf závislosti koncentrace PM₁₀ na čase za období od 31.12.2011-3.1.2012



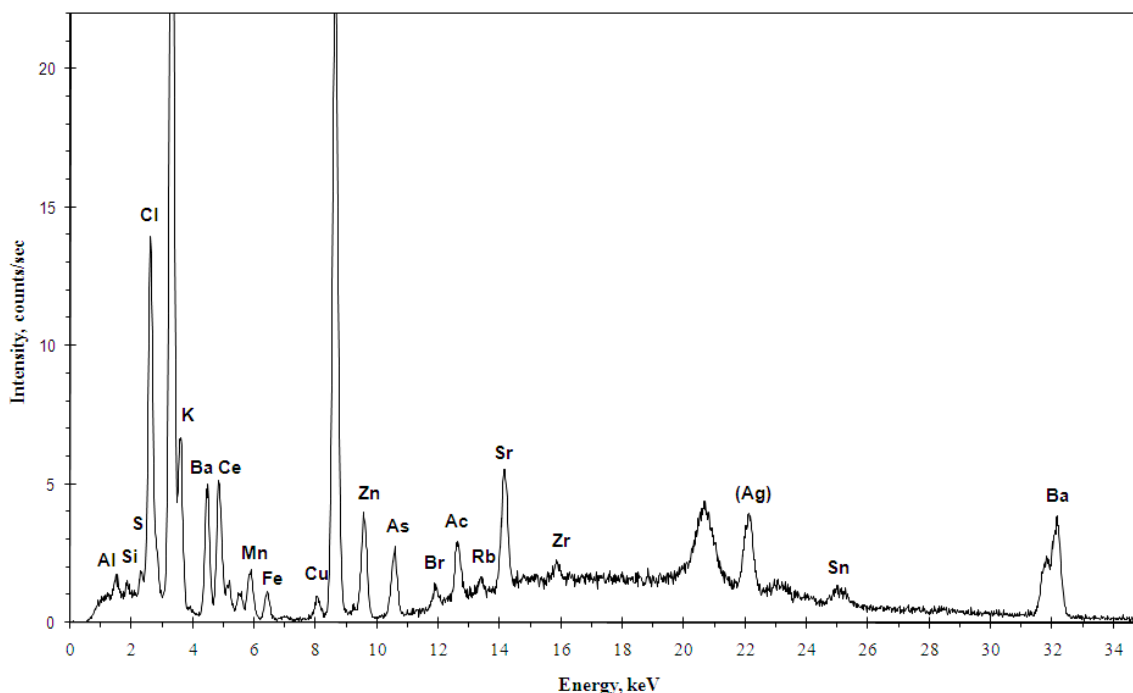
Obrázek 8- Graf závislosti koncentrace PM₁₀ na čase za období od 31.1.2012-3.2.2012

7 VÝSLEDKY A DISKUZE

Při prvním experimentu během silvestrovských oslav došlo z technických důvodů k přerušení měření v průběhu pokusu. Ačkoliv jsme filtr po pokusu zvážili a analyzovali, získaným výsledkům jsme nevěnovali žádnou pozornost, protože prach zachycený na filtru s největší pravděpodobností pocházel z místnosti laboratoře, kde byl tento experiment prováděn a nikoliv z požadovaného venkovního vzduchu.

Dále byly během Silvestru 2011 na třech lokalitách umístěny lapače prachu, za použití oboustranných pásek, které také bohužel nepřinesly žádné výsledky. To mohlo být způsobeno nepříznivým počasím, během odběru vzorků.

Druhý experiment prováděný v laboratorních podmínkách, při odběru vzorků kouře vznikajících ze zapálených miniaturních fontán, byl mnohem úspěšnější. Po analýze získaného prachu zachyceného na filtru, byla ve vzorku stanovena řada prvků, jako Al, Si, S, Cl, K, Ba, Ce, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Br, Ac, Rb, Sr, Zr, Sn a Ba, uvedených v grafu níže.



Obrázek 9 - Graf četnosti detekovaných fotonů rentgenového záření v závislosti na jejich energii, na kterém jsou zobrazeny prvky obsažené v analyzovaném vzorku

Pro zjištění nárůstu koncentrací prachových částic, během období, kdy je předpokládán velké používání ohňostrojů, byla získána data z monitorovacích stanic ve Zlíně a vytvořeny grafy. Tyto grafy vždy obsahují hodinové data naměřených koncentrací prachových částic od počátku dne 31.12. do 2.1. uvedeného roku. Pro srovnání je vždy v daném roce vytvořen i srovnávací graf, ve kterém jsou zobrazeny hodnoty PM_{10} během normálních dnů, tedy dnů nezatížení ovzduší používáním zábavní pyrotechniky.

Z monitorovacích stanic byly získány data za období 2005-2012. Bohužel za rok 2006 a 2009 nebyly hodinové koncentrace prachových částic zaznamenány, proto nebylo možné vytvořit grafy pro tyto roky.

Na monitorovacích stanicích jsou dále sledovány koncentrace SO_2 a NO_2 , které ovšem během období největšího používání ohňostrojů, neprokázaly vyšší nárůst, a proto nebyly koncentrace těchto látek v grafech použity.

Na uvedených grafech v obdobích silvestrovských oslav je zřejmé, že používání ohňostrojů může mít vliv na zvýšení koncentrací částic PM_{10} , nejvíce zřejmý nárůst je zaznamenán na grafu z období 31.12.2011-3.1.2012, především z monitorovací stanice v areálu svitu, kde byl pravděpodobný největší výskyt použití zábavní pyrotechniky.

Graf za období 31.1.2012-3.2.2012 obsahuje pouze data z monitorovací stanice v Malenovicích, hodnoty koncentrací prachových částic z monitorovací stanice v areálu Svitu bohužel nebyly získány, zřejmě kvůli výpadku měřící stanice.

ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo provést literární rešerši k zadanému tématu znečišťování ovzduší působené používáním zábavní pyrotechniky. Z informací získaných v literatuře, uvedených v mé teoretické části, je zřejmé, že při použití ohňostrojů vzniká velké množství nežádoucích látek. Dokazuje to řada studií provedených po celém světě. V těchto studiích při vlastním měření během používání zábavní pyrotechniky při různých oslavných událostech zjistili, že koncentrace prachových částic byla několikrát zvýšená, v porovnání s normálními dny. A to až už částic $PM_{2,5}$ nebo PM_{10} . Při pozdější analýze těchto vzorků prachu bylo zjištěno, že jsou bohaté na různé kovy, pokaždé však obsahující draslík a stroncium, které slouží jako stopovače ohňostrojů.

Při získávání výsledků používali také data z monitorovacích stanic z míst, kde byl ohňostroj realizován. Z těchto dat je také zřejmý nárůst koncentrací sloučenin SO_2 a NO_2 . Byl zaznamenán také vznik sekundárních sloučenin, jako SO_4^{2-} , NO_3^- , $C_2O_4^{2-}$, $C_4H_4O_4^{2-}$, $C_3H_2O_4^{2-}$ a $C_5H_6O_4^{2-}$.

Dalším bodem mé práce bylo, pokusit se experimentálně stanovit vliv zábavní pyrotechniky na kvalitu ovzduší. Toto bylo provedeno v mé praktické části, kde jsou popsány dva experimenty, při nichž bylo zjištěno, že odebíraný vzduch v průběhu používání ohňostrojů je bohatý na prachové částice, které po jejich analýze obsahují celou řadu kovů. Dále byly pro zjištění nárůstu zplodin z ohňostrojů použity hodinové data koncentrací prachových částic z monitorovacích stanic z let 2005-2012 a z nichž vytvořeny grafy, vždy v obdobích od 31.12.-3.1. Z těchto grafů je viditelný nárůst koncentrací prachových částic během období používání ohňostrojů. Nejvíce viditelný nárůst hodinových koncentrací prachových částic je zřejmý z grafu z dat za období 31.12.2011-3.1.2012, kdy nejvyšší hodnota dosahuje koncentrace $200 \mu g/m^3$.

Z těchto skutečností lze tedy říci, že při používání ohňostrojů vzniká řada látek, které mohou mít škodlivý vliv na člověka a nežádoucí dopad na životní prostředí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠIDOVSKEJ, A. A. *Základy pyrotechniky* [online]. 2. vyd. Praha: Naše vojsko, 1957, 374 s. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://raketky.via.cz/fs.php>
- [2] RUSSELL, Michael S. *The Chemistry of Fireworks*. 2nd Edition. Cambridge (UK) : The Royal Society of Chemistry, 2009. 191 s. ISBN 978-0-85404-127-5.
- [3] MORENO, Teresa , et al. Effect of fireworks events on urban background trace metal aerosol concentrations: Is the cocktail worth the show?. *Journal of Hazardous Materials* . 2010, 183, s. 945-949.
- [4] WANG, Ying , et al. The air pollution caused by the burning of fireworks during the lantern festival in Beijing. *Atmospheric Environment*. 2007, 41, s. 417–431.
- [5] GRIMA, Matthew, et al. Firework displays as sources of particles similar to gunshot residue. *Science and Justice*. 2011, xxx, s. 1-9.
- [6] VECCHI, Roberta, et al. The impact of fireworks on airborne particles. *Atmospheric Environment*. 2008, 42, s. 1121–1132.
- [7] JOLY, Alexandre, et al. Characterisation of particulate exposure during fireworks displays. *Atmospheric Environment*. 2010, 44, s. 4325-4329.
- [8] CAMILLERI, Renato; VELLA, Alfred J. Effect of fireworks on ambient air quality in Malta. *Atmospheric Environment*. 2010, 44, s. 4521-4527.
- [9] MORENA, Teresa, et al. Recreational atmospheric pollution episodes: Inhalable metal-liferous particles from firework displays. *Atmospheric Environment*. 2007, 41, s. 913–922.
- [10] BARMAN, S. C., et al. Ambient air quality of Lucknow City (India) during use of fireworks on Diwali Festival. *Environ Monit Assess*. 2008, 137, s. 495–504.
- [11] RAVINDRA, Khaiwal; MOR, Suman; KAUSHIK, C. P. Short-term variation in air quality associated with firework events: A case study. *The Royal Society of Chemistry*. 2003, 5, s. 260–264.
- [12] Česká a Slovenská republika. 174 Vyhláška Českého baňského úřadu ze dne 16. března 1992 o pyrotechnických výrobcích a zacházení s nimi. In: *Sbírka zákonů České a Slovenské Federativní Republiky*. Praha, 1992, 37, s. 961-965. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/sbirka/1992/sb037-92.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PM _{2,5}	Prachové částice menší než 2,5 μm.
PM ₁₀	Prachové částice menší než 10 μm.
MCV CAV-A	Velkoobjemový vzorkovač pro stanovení suspendovaných částic.
Digitel DH80	Velkoobjemový aerosolový vzorkovač pro samostatné průběžné měření.
ICP-AES	Atomová emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem.
ICP-MS	Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Použitá aparatura při odběru vzorku vzduchu během silvestrovských oslav.....	22
Obrázek 2 - Použitá aparatura během odběru vzorku vzduchu v laboratorních podmínkách	23
Obrázek 3 - Graf závislosti koncentrace PM_{10} na čase za období od 31.12.2007-3.1.2008	24
Obrázek 4 - Graf závislosti koncentrace PM_{10} na čase za období od 31.1.2008-3.2.2008	24
Obrázek 5 - Graf závislosti koncentrace PM_{10} na čase za období od 31.12.2010-3.1.2011	25
Obrázek 6 - Graf závislosti koncentrace PM_{10} na čase za období od 31.1.2011-3.2.2011	25
Obrázek 7 - Graf závislosti koncentrace PM_{10} na čase za období od 31.12.2011-3.1.2012	26
Obrázek 8- Graf závislosti koncentrace PM_{10} na čase za období od 31.1.2012-3.2.2012	26
Obrázek 9 - Graf četnosti detekovaných fotonů rentgenového záření v závislosti na jejich energii, na kterém jsou zobrazeny prvky obsažené v analyzovaném vzorku.....	27

EVIDENČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Sigla (místo uložení bakalářské práce)	
Název bakalářské práce	Znečišťování ovzduší působené používáním zábavní pyrotechniky
Autor bakalářské práce	Lucie Obadalová
Vedoucí bakalářské práce	doc. Ing. Vratislav Bednařík, Ph.D.
Vysoká škola	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Adresa vysoké školy	Náměstí T. G. Masaryka 275, 762 72, Zlín
Fakulta (adresa, pokud je jiná než adresa VŠ)	Technologická
Katedra (adresa, pokud je jiná než adresa VŠ)	Inženýrství ochrany životního prostředí
Rok obhájení DP	2012
Počet stran	33
Počet svazků	4
Vybavení (obrázky, tabulky...)	9 obrázků grafů
Klíčová slova	Zábavní pyrotechnika, prachové částice, znečištěné ovzduší