

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta
Ústav pro životní prostředí

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Karolína Wallenfelsová

**Stanovení koncentračního pole PM_{2.5} v ovzduší obce
Zadní Třeňbaň během topné sezóny**

PM_{2.5} concentration field in the air of Zadni Treban village during
heating season

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Jan Hovorka, Ph.D.

Praha 2022

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila k tomu výhradně informační zdroje a literaturu, jejichž seznam je přiložen k bakalářské práci. Tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu. Tištěná verze práce je shodná s elektronickou verzí vloženou do SIS.

V dne

Podpis autora

Poděkování:

V první řadě bych ráda poděkovala vedoucímu práce RNDr. Janu Hovorkovi, Ph.D., za předání cenných rad a zkušeností, za čas strávený konzultacemi a také za poskytnutí zázemí při mobilním měření. Dále děkuji občanům obce Zadní Třebaň za jejich vstřícnost při poskytnutí svých soukromých zahrad pro účely měření. V neposlední řadě děkuji svojí rodině a příteli za podporu nejen během psaní této práce, ale také během celého bakalářského studia.

Abstrakt:

Bakalářská práce hodnotí vliv lokálních topenišť na koncentrace $PM_{2,5}$ v malé obci Zadní Třebaň ve Středočeském kraji v období 21. 12. 2021 až 3. 2. 2022. Dále zkoumá vliv teploty a rychlosti větru na naměřené koncentrace.

Měření koncentrací $PM_{2,5}$ bylo provedeno stacionárním a mobilním měření. Stacionární měření s integrační dobou měření 1 min bylo uskutečněno 7 nefelometry DustTrak (model 8520), které byly uspořádány v síti pokrývající různé typy osídlení (střed obce, okraj obce) i geografické polohy (svah, údolí).

Mobilní měření bylo uskutečněno během 7 procházek, při kterých byly měřeny vteřinové koncentrace $PM_{2,5}$ a PNC. Pro účely mobilního měření byly využity přístroje DustTrak DRX pro zaznamenání koncentrací $PM_{2,5}$ (integrační doba 1 s) a P-Trak (integrační doba 1 s) pro zaznamenání koncentrace počtu submikronových částic (PNC). Záměrem mobilního měření bylo doplnit poznatky získané při stacionárním měření a stanovit možné hot-spots $PM_{2,5}$ v obci.

Nejvyšší průměrné 24h koncentrace $PM_{2,5}$ byly zaznamenány v období před Vánoci (22. a 23. 12.2021). Dne 22. 12. průměrné 24h koncentrace přesáhly limit USA EPA ($35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) na všech stanicích kromě Stanic 4 a 7, dne 23. 12. přesáhly limit všechny stanice kromě Stanice 7. V tyto dny dosahovala průměrná teplota až -6°C . Příspěvky lokálních topenišť na průměrné 24h koncentrace $PM_{2,5}$ od 10 do $28 \mu\text{g}$ (31 až 75 %). Trend snížených teplot a zvýšených koncentrací v tomto období byl zaznamenán i na celorepublikové úrovni, není proto prokazatelně možné určit přímý vliv lokálních topenišť.

Ke druhému překročení limitu US EPA došlo 15. 1.2022 na Stanici 1 a 6, průměrné 24h koncentrace $PM_{2,5}$ byly těsně limitní ($35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ na Stanici 1) nebo lehce nadlimitní ($38 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ na Stanici 6). Podíl lokálních topenišť na průměrné 24h koncentraci $PM_{2,5}$ byl $27 \mu\text{g}$ (77 %) na Stanici 1 a $28 \mu\text{g}$ (74 %) na Stanici 6. V okolí obou stanic byl identifikován blízký zdroj.

Dalším významným faktorem, který ovlivňuje koncentrace $PM_{2,5}$ v obci je rychlost větru. Bylo potvrzeno, že při rychlostech větru větších než $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dosahují $PM_{2,5}$ nízkých průměrných koncentrací (od 4 do $12 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). Koncentrace $PM_{2,5}$ v obci jsou také nepřímo ovlivněny teplotou. Obecně ve dnech, kdy byla teplota nízká, byly naměřené koncentrace $PM_{2,5}$ vyšší a naopak. V případě, kdy dojde ke kombinaci obou faktorů, tedy nízkých rychlostí větru a nízké teploty, můžeme očekávat nárůst koncentrací $PM_{2,5}$ v obci, jak k tomu došlo např. 23. 12. 2021.

Při mobilním měření nebylo možné stanovit žádné hot spoty, tedy místa, která opakovaně ovlivňuje stejný zdroj, bylo však možné určit lokality, na kterých byly opakovaně zvýšené hodnoty $PM_{2,5}$. Jednalo se o ulice Na Vrážku, Na Kaplanci a K Voškovu. V těchto ulicích bylo identifikováno několik možných zdrojů $PM_{2,5}$.

Nebyla stanovena žádná místa s opakovaně vysokými hodnotami PNC. Nejvýznamnější z hlediska naměřených hodnot PNC byla procházka č. 7, která proběhla přibližně od 19 do 20 h.

Hladina průměrných koncentrací $PM_{2,5}$ v obci Zadní Třebaň nebyla vysoká, k překročení limitu US EPA došlo pouze v necelém procentu všech dní, po které měřicí kampaň probíhala.

Klíčová slova: Aerosol, $PM_{2,5}$, malé sídlo, topeniště na pevná paliva, stacionární versus mobilní měření PM_x , koncentrace submikronových částic - PNC

Abstract:

This bachelor thesis evaluates the impact of local heating on PM_{2,5} concentrations monitored in a village Zadní Třebaň in Central Bohemia between 21. 12. 2021 and 3. 2. 2022. It also examines the effect wind speed and temperature have on the PM_{2,5} concentrations.

The PM_{2,5} concentrations were measured using both stationary and mobile monitoring. For the stationary monitoring, 7 DustTrak 8520 monitors (integration time 1 min) were used. A network of these monitors was built to cover different settlement (village edge, village center) as well as geological types of locations (valley, hill).

The mobile monitoring took place 31. 1. 2022 over the course of 7 walks during which PM_{2,5} and PNC concentration were measured. Portable monitors were used for mobile measurements – DustTrak DRX for measuring PM_{2,5} concentrations and P-Trak for measuring particle number concentrations (PNC). The integration time for both of these monitors was 1 s. The aim of the mobile monitoring was to supplement knowledge gained from the stationary monitoring.

The highest average 24h PM_{2,5} concentrations were measured on the 22. and 23. 12. 2021. On the 22nd the US EPA limit of 35 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ was exceeded on almost all measuring sites except Stations 4 and 7. On the 23rd the limit was exceeded on all measuring sites except Station 7. Contributions to the 24h concentrations of PM_{2,5} were between 10 to 28 μg (31 to 75 %). The trend of low temperatures and higher average PM_{2,5} concentrations was also recorder at a national level, hence why a direct impact of local heating cannot be determined.

The US EPA limit was exceeded the second time on 15. 1. 2022 on Stations 1 and 6, but the average 24h PM_{2,5} concentrations weren't as high (on Station 1 the average 24h concentration was 35 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ and on Station 6 it was 38 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). The contribution of local heating on average 24h concentrations of PM_{2,5} were 27 μg (77 %) and 28 μg (74 %) respectively. A nearby source has been identified in the vicinity of both stations.

Another important contributing factor to PM_{2,5} concentrations is wind speed. It was confirmed that at wind speeds higher than approximately 1 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ the PM_{2,5} concentrations started to drop significantly (to values between 4 and 12 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). The PM_{2,5} concentrations in the village were also indirectly affected by temperature. In general, on days when the temperature was higher, PM_{2,5} concentrations were lower and vice versa. In case of both of these factors combining a higher PM_{2,5} concentrations is to be expected.

During mobile monitoring, no hot spots (i.e. places repeatedly affected by the same source) were detected, although the mobile monitoring revealed locations with repeatedly higher PM_{2,5} concentrations. These locations were the streets Na Vrážku, Na Kaplanci and K Voškovu. Several possible sources of PM_{2,5} were identified in these locations.

No sites with repeatedly high PNC values have been identified. Continually highest PNC values were measured during walk No. 7, which took place from 7 to 8 p.m.

The concentration field of PM_{2,5} in Zadní Třebaň was generally low, the US EPA limit was exceeded on less than 1 % of all measuring days.

Key words: Aerosol, PM_{2.5}, small settlement, solid fuel, combustion heating, stationary versus mobile PM_x measurement, particle number concentration - PNC

Obsah

Seznam použitých zkratk	3
Úvod	5
1 Cíle práce	7
2 Atmosferický aerosol	9
2.1 Vznik	9
2.2 Legislativa	9
3 Metodika	11
3.1 Stacionární měření	11
3.1.1 Přístrojové vybavení	11
3.1.2 Lokalita	12
3.1.3 Příprava stacionárního měření	13
3.1.4 Zpracování dat	14
3.1.5 Korekce naměřených dat	14
3.1.6 Vyhodnocení variability dat	14
3.2 Mobilní měření	15
3.2.1 Přístrojové vybavení	15
3.2.2 Příprava mobilního měření	16
3.2.3 Lokalita	16
3.2.4 Zpracování dat	17
3.2.5 Korekce naměřených dat	17
4 Výsledky	19
4.1 Výsledky stacionárního měření	19
4.1.1 Výsledky kolokací	19
4.1.2 Statistické vyhodnocení výsledků	19
4.1.3 Průměrné 24h koncentrace $PM_{2,5}$	20
4.1.4 Výsledky výpočtu koeficientů divergence	21
4.1.5 Vliv rychlosti větru na koncentrace $PM_{2,5}$	21
4.1.6 Vliv teploty na koncentrace $PM_{2,5}$	22
4.1.7 Příspěvek lokálních topenišť na hladinu koncentračního pole $PM_{2,5}$	24
4.2 Výsledky mobilního měření	27
5 Diskuze	33
Závěr	35
Seznam použité literatury	37
A Přílohy	41
A.1 Umístění měřicích přístrojů	41
A.2 Příspěvky lokálních topenišť na 24h koncentrace $PM_{2,5}$	42
A.3 Poznámky z mobilního měření	45

A.4 Průběh koncentrací $PM_{2,5}$ při mobilním měření	46
A.5 Průběh PNC při mobilním měření	49

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
ALADIN	Air Limitée, Adaptation Dynamique, Development International (předpovědní model počasí určený pro krátkodobou předpověď)
COD	koeficient divergence (coefficient of divergence)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav aerodynamický průměr
d_a	(průměr myšlené kulové částice o hustotě $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^3$, která bude mít stejnou spádovou rychlost ve stagnantní vrstvě atmosféry jako pozorovaná částice (DeCarlo a kol., 2004))
FEV1	forced expiratory volume in the first second (maximální vydechnutý objem vzduchu za 1 s po nádechu)
HDP	hrubý domácí produkt
HEPA filtr	High Efficiency Particulate Arrestance (typ vzduchového filtru s vysokou účinností záchytu částic)
PM_x	hmotnostní koncentrace částic o $d_a = x$ (např. PM_1 , $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10})
PNC	Particle Number Concentration (koncentrace počtu částic)
US EPA	United States Environmental Protection Agency (Agentura ochrany životního prostředí Spojených států)
VOC	volatile organic compounds (těkavé organické látky)

Úvod

V obcích s méně než 3 000 obyvateli žije k 1. 1. 2022 přibližně 3,5 milionu obyvatel, což je více než třetina všech obyvatel České republiky (Český statistický úřad, 2022).

Zároveň jsou měřicí stanice ČHMÚ, které sledují kvalitu ovzduší a meteorologické parametry, většinou umístěny ve velkých městech nebo jejich okolí, především z historických důvodů (zvýšená koncentrace lidí a průmyslu). Data o znečištění ovzduší v malých obcích jsou proto často nepřesná a v realitě může být kvalita ovzduší v malých obcích výrazně horší než ve velkých městech (Braniš a Domasová, 2003).

Na vině je především nízká informovanost obyvatelstva o škodlivosti emisí vznikajících spalováním tuhých paliv, technikách správného spalování (např. použití dostatečně suchého paliva, často může docházet i ke spalování odpadu – starého nábytku, zbytků dřevěných konstrukcí, zahradního odpadu, papíru apod.) a o výhodách a nevýhodách různých typů kotlů. Není ani technicky a finančně možné, aby si všichni obyvatelé využívající kotle na tuhá paliva jako zdroj vytápění nechali změřit složení emisí.

Při nepříznivých meteorologických podmínkách, jakými je nízká teplota a nízká rychlost vzduchu, může zejména v obcích v kotlinách docházet k akumulaci znečištění ze zdrojů s nízkou emisní výškou, mezi které patří právě lokální topeniště (Tecer a kol., 2008).

V posledních letech navíc dochází k vysokým nárůstům cen energií, je tedy možné očekávat, že se míra vytápění tuhými palivy zvýší v reakci na nárůst cen plynu a elektřiny. Vytápění domu palivovým dřevem vyjde až o polovinu levněji než vytápění plynem, případně elektřinou, podobná bilance platí i pro hnědé uhlí, dřevní štěpku, brikety a pelety, viz Tabulka 1.

Tabulka 1: Celkové roční náklady pro rodinný dům při využití vybraných typů paliv

Palivo	Celkové roční náklady (Kč)*
Zemní plyn	95 860 až 103 920
Elektřina – přímotop	114 824 až 116 074
Dřevní pelety	67 711 až 76 305
Palivové dřevo	57 606 až 61 866
Hnědé uhlí	61 922 až 70 916
Dřevní brikety	62 002 až 70 016
Dřevní štěpka	53 049 až 61 649

*Celkové roční náklady zahrnují vytápění, ohřev vody, spotřebu elektřiny pro spotřebiče, počáteční investici a údržbu. Jsou vypočítány pro rodinný dům obývaný čtyřčlennou rodinou, s tepelnou ztrátou 7 kW, délkou topného období 248 dnů a celkovou spotřebou energie 18 608 kWh/rok. Tabulka byla zpracována autorem podle údajů z kalkulačky uvedené na webu <https://vytapani.tzb-info.cz>, údaje jsou aktuální k 26. 4. 2022.

Spalováním tuhých paliv, jakými je dřevo nebo uhlí, uniká do ovzduší aerosol (především částice o $d_a = 2,5 \mu\text{m}$), na který se vážou polyaromatické uhlovodíky, oxidy síry a dusíku, dioxiny, kovy (zinek, olovo, mangan,...) a další (Braniš a kol., 2007).

Částice aerosolu se dostávají do těla zejména skrze dýchací soustavu při nádechu (nosem i ústy). Při nádechu nosem se velké částice zachytí na sliznici nosní dutiny a

následně jsou z těla vypuzeny kýchnutím. Při nádechu ústy se dostávají částice rovnou do hrtanu a průdušnice.

Z průdušnice se dále dostávají do průdušek a do plicních sklípků, kde se mohou usazovat, v případě velmi malých částic ale mohou pronikat až do krve.

Míra depozice částic v dýchací soustavě nezávisí pouze na mechanismu nádechu, ale také na objemu vdechnutého vzduchu, frekvenci nádechů, velikosti a četnosti částic, jejich tvaru, zdraví a dalších faktorech (Hinds, 1999).

Podle studie Global Burden of Disease je znečištění ovzduší částicemi PM_{2,5} zodpovědné až za 4,2 milionu předčasných úmrtí (Cohen a kol., 2017). Celkové náklady spojené se zvýšenou nemocností následkem znečištění ovzduší způsobeného vařením a vytápěním tvořily v roce 2018 29 miliard eur, což odpovídá 0,2 % HDP Evropské unie a Velké Británie dohromady (Korteland a kol., 2022).

Dlouhodobé vystavení částicovému znečištění je spojeno zejména s onemocněními dýchací soustavy (Dominici a kol., 2006), cévní soustavy (Chen a kol., 2005), zvýšenou mírou oxidativního stresu (Risom a kol., 2005), negativně ovlivňuje plodnost (Li a kol., 2021) a porodní váhu (Ebisu a Bell, 2012). U dětí způsobuje rozvoj astmatu (Clark a kol., 2010) a dalších onemocnění dýchací soustavy (Barnett a kol., 2005). Nepřízně ovlivňuje i vývoj plic. V dospělosti mohou mít děti chronicky vystavované zvýšeným koncentracím aerosolu nižší hodnoty FEV1, tím pádem menší maximální kapacitu plic (Gauderman a kol., 2004).

1. Cíle práce

Cílem této bakalářské práce bylo na základě 5týdenního stacionárního měření koncentrací $PM_{2,5}$ s integrační dobou měření 1 min změřit koncentrační pole aerosolových částic v obci Zadní Třebaň ve Středočeském kraji, porovnat je s doporučeným denním limitem $PM_{2,5}$ podle US EPA ($35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), určit podíl lokálních topenišť na těchto koncentracích a ověřit vliv větru a teploty na průběh koncentrací v obci.

Stacionární měření bylo doplněno mobilním měřením, které proběhlo v jeden den, v rámci sedmi vycházek po Zadní Třebani, kde byly měřeny koncentrace $PM_{2,5}$ a počet submikronových částic. Cílem mobilního měření bylo vyšetřit variabilitu koncentračního pole $PM_{2,5}$ v mikroměřítku a odhalit možné hot spoty znečištění a pomocí spojení GPS polohy s fotografiemi určit možné zdroje $PM_{2,5}$ v obci.

Předpoklady výsledků stanovení koncentračního pole $PM_{2,5}$ v Zadní Třebani jsou tyto:

1. Koncentrační pole $PM_{2,5}$ v obci je určeno zejména emisemi z lokálních topenišť.
2. Vliv lokálních topenišť na kvalitu ovzduší v obci bude méně výrazný při vyšších rychlostech větru a naopak více výrazný při nadprůměrně nízkých teplotách.

2. Atmosferický aerosol

Atmosferický aerosol je suspenze tuhých a kapalných částic o velikosti od 1 nm do 100 μm v atmosferickém kyslíku a dusíku stabilní minimálně po dobu nutnou k její detekci (Hovorka, 2011).

Jeho výskyt není podmíněn pouze antropogenním působením, vzniká zejména přirozenými procesy – např. při požárech, vulkanické činnosti, větrnou erozí a nebo pohybem hladiny vodních ploch, nicméně podíl antropogenních zdrojů na bilanci aerosolu v atmosféře od průmyslové revoluce narůstá (Carslaw a kol., 2017).

Antropogenní aerosolové částice v ovzduší nepříznivě ovlivňují jak lidské zdraví, tak i přírodní pochody. Mají vliv na klimatický systém Země, tvorbu srážek či teplotní bilanci (Andreae, 1995).

Aerosolové částice se podle d_a dělí na jemné a hrubé částice s hranicí $d_a = 1 \mu\text{m}$. Jemné částice se dále dělí na velmi jemné nebo také nano částice (d_a menší než 0,1 μm) (Walter, 2011).

2.1 Vznik

Velmi jemno částice, které tvoří na počet částic většinu aerosolu v atmosféře, vznikají především spalovacími procesy, ať už přirozenými (vulkanická činnost, lesní požáry,...), nebo antropogenními (využívání fosilních paliv, lokální topeniště,...). Tyto částice se mohou do atmosféry dostávat buď přímo nebo kondenzací plynu na částice. V největší koncentraci se vyskytují okolo jejich zdroje, kde dochází ke koagulaci částic mezi sebou nebo s částicemi akumulárního módu.

Mají tak relativně krátkou dobu setrvání, ale díky své velikosti mohou pronikat do hlubších částí dýchací soustavy a odtud do dalších orgánových soustav, na rozdíl od částic akumulárního módu, které jsou při vdechnutí z většiny zachyceny ještě v nose (až z 95 %, pokud dochází pouze k dýchání nosem, a nikoliv ústy).

Jemné částice představují částice smogu (z angl. smoke and fog, vznikají fotochemickou reakcí oxidů dusíku nebo VOC), částice vznikající hořením a zkoagulované nano částice.

Hrubé částice vznikají mechanickým působením (přirozeně, např. resuspenzí půdních částic pomocí proudění, či antropogenně, např. při obdělávání půdy, v dopravě). Patří sem také částičky soli krystalizující z mořské vody (např. při vlivu proudění, nárazu na překážku apod.) (Hinds, 1999).

2.2 Legislativa

Legislativně se problematikou aerosolu v ovzduší zabývá především Zákon o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. Ten vychází z předpisů Evropské unie, které dále upravuje.

Stanovuje tzv. přípustnou úroveň znečišťování, v rámci které jsou definovány emisní limity a emisními stropy.

Emisním limitem se rozumí maximální množství znečišťující látky, které může být vypuštěno do ovzduší stacionárním zdrojem, emisním stropem pak maximální množství znečišťující látky, které může být vypuštěno do ovzduší za jeden kalendářní rok.

Z těchto dvou pojmů vychází poté imisní limit, tj. maximální přípustná úroveň znečištění (ČR, 2012).

Limity jsou však platné pouze pro velké stacionární zdroje (např. průmyslové výroby, spalovny apod.) a nevztahují se na provoz lokálních topenišť.

V tabulce níže (Tabulka 2.1) jsou uvedené emisní limity dané výše uvedeným zákonem:

Tabulka 2.1: Imisní limity pro ochranu lidského zdraví a maximální počet jejich překročení

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Max. počet překročení
Částice PM ₁₀	24 hodin	50 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	35
Částice PM ₁₀	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	0
Částice PM _{2,5}	1 kalendářní rok	20 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	0

Zpracováno autorem podle Přílohy č. 1 k zákonu č. 201/2012 Sb.

Česká legislativa postrádá 24h limity pro PM_{2,5}, proto je pro účely této práce (porovnání 24h koncentrací za relativně krátkou dobu) využít limit US EPA pro PM_{2,5} s dobou průměrování 24 h, a to 35 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Samotné limity, stanovené zákonem č. 201/2012 Sb. i US EPA, jsou založené na posuzování hmotnosti částic na m^{-3} , neuvažují ale velikostní rozložení těchto částic. Měření celkové hmotnosti částic je totiž limitováno velikostí největší měřené částice (tj. 2,5 μm) (Walter, 2011).

Jemné částice menší než 0,1 μm mohou na počet částic tvořit většinu měřeného aerosolu, ale menšinu hmotnosti. To je problematické především z hlediska ochrany veřejného zdraví, protože jemné částice pronikají nejlouběji do plic.

3. Metodika

Pro charakterizaci koncentračního pole $PM_{2,5}$ byla využita kombinace stacionárního a mobilního měření. Stacionární měření bylo realizováno pomocí sedmi nefelometrů DustTrak (model 8520, TSI) s impaktory pro $PM_{2,5}$, které byly rozmístěny po obci Zadní Třeboň tak, aby vytvořily rovnoměrnou měřicí síť.

Stacionární měření probíhalo od 21. 12. 2021 do 3. 2. 2022. Současně probíhalo také měření meteorologických podmínek, které bylo uskutečněno pomocí meteorologické stanice (model WMR300, Oregon Scientific).

Pro mobilní měření byly použity přístroje DustTrak (model DRX, TSI) a P-Trak (TSI). Pro záznam polohy při mobilním měření byla použita GPS (Garmin). Mobilní měření proběhlo 31. 1. 2021 v rámci sedmi přibližně 3km procházek po stanovené trase v Zadní Třebani.

3.1 Stacionární měření

3.1.1 Přístrojové vybavení

DustTrak 8520

Model DustTrak 8520 udává koncentraci částic v plynném vzorku v $mg \cdot m^{-3}$ pomocí měření intenzity záření rozptýleného na procházejících částicích. V tomto případě byl zvolen impaktor pro částice do velikosti $2,5 \mu m$. Do přístroje je okolní vzduch nasáván pomocí vnitřní pumpy přes impaktor, který je volen podle velikosti sledovaných částic. Do impaktoru pro částice menší než $10 \mu m$ se přidává ještě malá nárazová destička pomazaná vazelínou, která zajistí záchyt větších než sledovaných částic. Z impaktoru proudí do vnitřní optické komory přístroje tenký proud vzduchu. Na něj z diody dopadá infračervené záření o vlnové délce 780 nm pod úhlem 90° . Toto záření je procházejícími částicemi rozptylováno a intenzita rozptýleného záření je měřena pomocí fotodetektoru. Intenzita rozptýleného záření je úměrná velikosti částic. Spodní limit detekce je $0,001 \text{ mg} \cdot m^{-3}$, horní limit je $100 \text{ mg} \cdot m^{-3}$ (TSI, 2002).

Naměřené koncentrace jsou zobrazovány na displeji v $mg \cdot m^{-3}$ a zároveň jsou ukládány do vnitřní paměti přístroje. Vzhledem k omezené velikosti této paměti byly z přístrojů data stažena třikrát, 29. 12., 15. 1. a 3. 2. po ukončení měření. Po každém stažení dat byla paměť vymazána.



Obrázek 3.1: Umístění přístroje v Environmental Enclosure s odběrovou hlavicí na Stanici 7

Napájení přístrojů je možné kabelem ze sítě (220 V) nebo čtyřmi bateriemi typu C. V tomto případě bylo zvoleno napájení ze sítě, baterie byly v přístroji pouze pro případ, že by došlo k výpadku napájení.

Samotné přístroje nejsou odolné vůči vnějším vlivům, proto byly uloženy do vodotěsných kufrů, tzv. Environmental Enclosures (TSI). Každý z kufrů má na vrchu vstup pro odběrovou hlavici, která zajišťuje odběr vzorků rovnoměrně ze všech směrů. Ta je vodivostní hadičkou napojena na impaktor přístroje.

Pro případ vniknutí vody do odběrové hlavice je z vnitřní strany přístroje lahvička sloužící pro zachycení vody, aby nedošlo k poškození přístroje. Přístroje v uzavřených kufrech byly nasazeny na stativy přibližně do výšky 160 – 170 cm (dýchací zóna průměrně vysokého člověka), viz Obrázek 3.1, a pomocí venkovního kabelu, který je součástí Environmental Enclosure, zapojeny do napájení.

Při stahování dat byly přístroje zkalibrovány na 0, byl jim nastaven správný čas a byla vyлита voda z nádoby, ve které se zachytávají vodní kapky nasávané odběrovou hlavici.

3.1.2 Lokalita

Měření probíhalo na území obce Zadní Třebaň ve Středočeském kraji. Zastavěná část obce se nachází směrem na sever k řece Berounce, jižní část spadající do katastrálního území tvoří především pole. Obec se rozkládá na ploše 357 ha a počet obyvatel k 1. 1. 2022 činil 941 (Český statistický úřad, 2022).

Celkem bylo v obci umístěno 7 měřicích přístrojů DustTrak. Rozmístění přístrojů rovnoměrně tak, aby bylo zahrnuto více typů lokalit (svah a údolí, vnitřek a okraj obce apod.). Nadmořská výška lokalit byla v rozsahu 212 až 271 m.n.m.. Nejnižše položená byla St. 3, nejvýše naopak St. 5 a 6.

Všechny přístroje byly umístěny na stativy na soukromých zahradách u rodinných domů, díky tomu mohly být napájeny ze sítě a také se snížilo riziko vnějšího vlivu na průběh měření (např. odcizení přístroje).

Poloha přístroje na konkrétním pozemku byla zvolena tak, aby bylo umožněno proudění vzduchu ze všech stran, tj. do volného prostoru, a zároveň tak, aby nebyly přístroje příliš ovlivňovány lokálním topeništěm na pozemku. Tato podmínka byla splněna u všech lokalit kromě stanice 1, kde byl měřicí přístroj umístěn v trajektorii komínové vlečky z rodinného domu na pozemku. Fotografie umístění přístrojů na pozemcích viz Příloha A.1.

Rozmístění přístrojů a typy lokalit viz Tabulka 3.1 a Obrázek 3.2:

Tabulka 3.1: Charakterizace měřicích lokalit – jejich GPS souřadnice a typ lokality

Stanice	Přístroj	Pozice	Typ lokality
St. 1	DT4	49.9167686N, 14.1990492E	Západní svah, centrum
St. 2	DT7	49.9179706N, 14.2083833E	Údolí, centrum
St. 3	DT8	49.9138256N, 14.2101858E	Mírný svah, centrum
St. 4	DT9	49.9131003N, 14.2078256E	Mírný svah, centrum
St. 5	DT10	49.912892N, 14.2145739E	Východní svah, okraj
St. 6	DT11	49.9147739N, 14.2147644E	Východní svah, okraj
St. 7	DT12	49.9100403N, 14.2054464E	Údolí, okraj



Obrázek 3.2: Letecký snímek zobrazující rozmístění měřicích přístrojů na území obce Zadní Třebaň

Meteostanice byla umístěna na stejném pozemku jako DT4, tj. na St. 1. Přístroje byly na svých pozicích umístěny od 21. 12. 2021 do 3. 2. 2022. Za tuto dobu nenastal výpadek přístrojů následkem přerušení napájení, kvůli lidské chybě při opětovném zapnutí měření po stahování dat ale část kampaně neměřily přístroje DT4 (29. 12. 2021 9:22 - 15. 1. 2022 12:01) a DT10 (29. 12. 2021 10:43 - 15. 1. 2022 13:04).

Zbývající přístroje mají chybějící data pouze ve dnech, kdy probíhalo stažení dat (data není možné stáhnout bez přerušení měření), jedná se však o zanedbatelnou dobu (cca 5 min).

Výběr lokality proběhl s předpokladem, že zde značnou část znečištění budou tvořit lokální topeniště spalující dřevo nebo uhlí.

3.1.3 Příprava stacionárního měření

Před zahájením měřicí kampaně byly u všech přístrojů zkontrolována jejich funkčnost a správná velikost impaktoru. Průtok u všech sedmi DustTraků nastaven na $1,7 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ podle příloženého návodu, propojením s počítačem přes software TrakPro (TSI) byl u všech přístrojů nastaven správný čas.

Přístroje byly pomocí příloženého nulového filtru vynulovány, v případě, kdy přístroj s nasazeným nulovým filtrem ukazoval koncentrace mimo interval $-0,001$ až $+0,001 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, byla kalibrace zopakována, dokud se naměřené hodnoty neustálily v tomto intervalu. Integrovaná doba měření byla nastavena na 1 min.

Jelikož všechny přístroje neměří na stejném místě a ve stejný čas stejné hodnoty, musela být provedena kolokace přístrojů. Jako referenční přístroj byl určen DT9. Všechny přístroje byly připojeny vodivostními hadičkami o stejné délce do aerosolové komory, kde byl po stanovenou dobu generován aerosol.

Naměřené koncentrace byly zaneseny do tabulky a pro každý přístroj byl vynesena graf zobrazující závislost koncentrací naměřených zkoumaným přístrojem na hodnotách naměřených referenčním přístrojem DT9. Body grafu byly proloženy přímkou lineární regrese a z rovnice této přímky byly stanoveny kolokační koeficienty pro každý z přístrojů, viz Tabulka 4.1 v podkapitole Výsledky kolokací.

Kromě odlišností mezi jednotlivými přístroji je nutné také ošetřit odlišnost od kalibrace přístrojů podle ISO 12103-1, A1 (tzv. Arizona Road Dust) a reálných podmínek měření, tj. zimního aerosolu v městském prostředí. Proto byly ve výsledkové části naměřené hodnoty kromě korekcí získaných z kolokace přístrojů vynásobeny také koeficientem 0,32 pro aerosol v zimním městském prostředí (Hovorka a kol., 2015).

3.1.4 Zpracování dat

Data ze stacionárního měření byla stažena 29. 12. 2021, 15. 1. 2022 a 3. 2. 2022. Stažení proběhlo pomocí programu TrakPro (TSI). Po každém stažení byla paměť přístroje vymazána, aby se uvolnila kapacita pro nahrání dalších dat. Data byla z programu TrakPro vyexportována jako textový soubor. Data byla dále zpracována pomocí programů CoPlot (Cohort) a Microsoft Excel verze 16.59 (Microsoft).

3.1.5 Korekce naměřených dat

Data získaná z DustTrak 8520 byla vynásobena příslušnými kolokačními koeficienty (viz 4.1) a koeficientem 0,32 pro přepočítání z podmínek Arizona Road Dust na podmínky městského ovzduší v zimním období (Hovorka a kol., 2015). Naměřené hodnoty jsou zobrazovány v $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, pro potřeby interpretace dat bylo nutné je převést na $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Limit detekce pro DustTrak 8520 je $1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, proto byly všechny hodnoty menší než 1 nahrazeny hodnotou 1.

3.1.6 Vyhodnocení variability dat

Rozdílnost v koncentracích mezi lokalitami byla stanovena pomocí koeficientu divergence (COD), který je definován jako:

$$COD_{(s' - s'')} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{is'} - x_{is''}}{x_{is'} + x_{is''}} \right)^2},$$

kde $x_{is'}$ je i -tá hodnota naměřená na stanici s' , $x_{is''}$ je i -tá hodnota naměřená na stanici s'' a n je celkový počet naměřených hodnot (Kim a kol., 2005).

Hodnoty COD menší než 0,2 udávají, že mezi dvěma lokalitami není statistický rozdíl, napak COD větší než 0,2 poukazuje na statisticky významný rozdíl mezi lokalitami (Pinto a kol., 2004).

Pro každou stanici byly vypočítány 1., 3., 5., 7. a 9. percentily, průměr, medián, maximum a minimum všech naměřených koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ a směrodatná odchylka (σ), viz Tabulka 4.2 v podkapitole Statistické vyhodnocení výsledků.

Dále byl vypočten 1. decil průměrných denních koncentrací na jednotlivých stanicích. Bylo tak možné odečíst pozadí a stanovit podíl lokálních topenišť na celkové koncentraci $\text{PM}_{2,5}$ v daný den na dané lokalitě.

3.2 Mobilní měření

3.2.1 Přístrojové vybavení

DustTrak DRX

DustTrak DRX je založený na stejném principu jako model 8520, ale kromě stanovení koncentrace předem dané velikosti částic měří také velikostní frakce procházejících částic. Podobně jako model 8520 je vzduch do přístroje nasáván pomocí pumpy přes impaktor. Před vstupem do optické komory je část vzduchu oddělena od zbytku a přefiltrována přes HEPA filtr a tento vzduch se vrací zpět do impaktoru. Proudění přefiltrovaného vzduchu po stěnách impaktoru zajistí, že vstupující proud vzduchu z venkovního prostředí je nasměrován do úzkého proudu, který je poté analyzován v optické komoře. Zde je proud vzduchu vystaven pulsnímu záření z diody.

Rozptýlené záření dopadá na fotodetektor, kde je rozděleno na dvě kategorie: fotometrický signál, který je využit ke stanovení koncentrace částic, a na pulsy jednotlivých částic. Tyto pulsy jsou kalibrovány na d_a testovací částice (kalibrační faktor). Velikostní frakce jednotlivých částic jsou vypočteny jako:

$$PM_1 = PM_{2,5} - PM_{1-2,5}$$

$$PM_{2,5} = \text{fotometrický signál} \cdot \text{kalibrační faktor}$$

$$PM_4 = PM_{2,5} - PM_{2,5-4}$$

$$PM_{10} = PM_4 - PM_{4-10}$$

Naměřené hodnoty jsou ukládány do vnitřní paměti přístroje, odkud byly po ukončení každé z procházek staženy přes software TrakPro (TSI). Přístroj je napájen buď ze sítě, nebo pomocí baterie (TSI, 2012a). V souvislosti se způsobem měření byl přístroj napájen baterií.

P-Trak

P-trak je kondenzační čítač jemných částic. Částice jsou nasávány do přístroje pomocí pumpy, na vstupu se zachytí částice větší než 1 μm . Nejprve vstupují do saturační trubice, kde se mísí s párami isopropylalkoholu. Směs stanovených částic a isopropylalkoholu pokračuje do kondenzační trubice, kde dojde ke kondenzaci isopropylalkoholu na částicích a vzniku kapek. Tím se zvětší původní d_a aerosolových částic o zkondenzovaný isopropylalkohol (na d_a cca 10 μm) a částice je možné detekovat.

Proud kapek je v optické komoře osvětlován laserovou diodou a měří se rozptyl světla na procházejících kapkách pomocí fotodetektoru. Míra rozptýleného světla je úměrná početní koncentraci částic v cm^3 (počet částic na cm^3 ($\text{pt} \cdot \text{cm}^{-3}$)) (TSI, 2012b). Koncentrace jsou ukládány do vnitřní paměti přístroje, odkud byly po ukončení každé z procházek staženy přes software TrakPro (TSI).

3.2.2 Příprava mobilního měření

U přístroje P-trak byla nastavena integrační doba měření (1 s) a byl nastaven správný čas. Byla vyměněna kazeta pro uložení přístroje za kazetu s isopropylalkoholem. Impaktor byl vodivostní hadičkou připojen k odběrové hlavici, která byla umístěna asi 15 cm nad batohem a bylo zapnuto měření. Poté byl přístroj překryt polystyrenovou destičkou tak, aby nebyl v kontaktu s DRX.

Na DustTrak DRX byla před zahájením měření zkalibrována nula pomocí přiloženého nulového filtru, byla nastavena integrační doba měření (1 s) a zkontrolován správný čas. Poté bylo zapnuto měření a přístroj byl uložen do batohu (viz Obrázek 3.3).

Displej přístroje DRX je dotykový, byl na něj proto umístěn kus tvrdého papíru, aby při chůzi nedošlo k otěru batohu o displej a neúmyslné vypnutí měření. Batoh byl pevně uzavřen tak, aby do něj proniklo minimum vody.

Před zahájením procházky byla mimo budovu zapnuta GPS a byl připraven mobilní telefon pro záznam poznámek z procházky (zapsané poznámky viz Příloha A.3).



Obrázek 3.3: Batoh s DRX a P-Trak pro mobilní měření s odběrovými hlavicemi

3.2.3 Lokalita

Mobilní měření proběhlo na území obce Zadní Třebaň 31. 12. 2021 a volně propojovalo rozmístění měřicích přístrojů stacionárního měření.

Celkem bylo provedeno 7 procházek každou, a to druhou hodinu od 7 hodin ráno do 8 hodin večer. Délka každé z procházek byla přibližně 3 km. Průměrná teplota 31. 12. byla 9 °C, průměrná rychlost větru $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, samotná rychlost větru byla velmi nízká především ráno a dopoledne, ale výrazně narostla v odpoledních hodinách (v době procházek 4, 5, 6 a 7), a to až na $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Nejnižší položeným úsekem procházky byla část mezi 1439 – 1451 m (190 m. n. m.), nejvýše 414 – 421 a také výchozí bod procházek (275 m. n. m.).

Přibližná trasa mobilního měření ve vztahu k rozmístění měřicích přístrojů stacionárního měření viz Obrázek 3.4.

Trasy reálných procházek se od přibližné trasy lehce lišily (u 1. procházky došlo k výpadku GPS v úseku mezi 2659 a 3185 m, u ostatních došlo k odklonu od trasy, vždy se ale jednalo o jednotky m).



Obrázek 3.4: Letecký snímek zobrazující délku a trasu procházky mobilního měření a polohu měřících přístrojů pro stacionární měření na území Zadní Třebaně

3.2.4 Zpracování dat

Data z mobilního měření byla stažena vždy po ukončení procházky pomocí programu TrakPro (TSI). Paměť přístrojů byla, vzhledem k relativně malému objemu dat, vymazána až po ukončení celé měřicí kampaně. Data byla vyexportována jako textové soubory a dále zpracována pomocí Microsoft Excel verze 16.59 (Microsoft) a ArcGis (Esri).

Data z GPS byla stažena po každé procházce pomocí programu Basecamp (Garmin) a vyexportována jako textové soubory. Data byla dále zpracována v Microsoft Excel verze 16.59 (Microsoft), úpravy obrázků proběhly v programu Gimp verze 2.10 (The GIMP Development Team).

3.2.5 Korekce naměřených dat

Naměřené hodnoty z DustTrak DRX i P-Trak jsou exportovány v $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, pro potřeby interpretace dat bylo nutné je převést na $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Data z $\text{PM}_{2,5}$ získaná z DustTrak DRX byla vynásobena koeficientem 0,7 pro srovnání s daty naměřenými ve stacionárním měření pomocí DustTrak 8520. (Hovorka a kol., 2015).

4. Výsledky

4.1 Výsledky stacionárního měření

4.1.1 Výsledky kolokací

Z přímkou regresní závislost mezi DTX a DT9 byla zobrazena rovnice této přímkou ve tvaru $y = ax$, kde a je hledaný korekční koeficient a x je naměřená koncentrace. Vypočítané korekce pro každý přístroj byly vyneseny do tabulky, viz Tabulka 4.1:

Tabulka 4.1: Kolokační koeficienty

DT	Koeficient
4	0,46
7	1,01
8	1,32
9	1,00
10	1,24
11	1,17
12	0,92

Koeficienty determinace R^2 se pohybovaly od 0,9996 do 0,9998.

4.1.2 Statistické vyhodnocení výsledků

Průměrná koncentrace $PM_{2,5}$ za celé měření na všech stanicích činila $14 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Nejvyšší průměrná koncentrace $PM_{2,5}$ za celé období měření byla na Stanicích 5 a 1, které byly nejbližší zdrojům znečištění. Nejvyšší maximální koncentrace $PM_{2,5}$ byla naměřena 15. 1. 2022 v noci na Stanici 6 a činila $1293 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Největší rozptyl naměřených koncentrací $PM_{2,5}$ byl na Stanici 6, zatímco nejmenší na Stanici 3.

Stanice 3 byla z další interpretace výsledků vyřazena, vzhledem k trvale chybným hodnotám, které vznikly pravděpodobně chybou přístroje (70 % všech hodnot naměřených na této stanici bylo na hranici meze detekce).

Tabulka 4.2: Percentily, maximum, minimum, průměr, medián a směrodatná odchylka koncentrací $PM_{2,5}$ naměřených od 21. 12. 2021 do 3. 2. 2022 na Stanicích 1, 2, 3, 4, 5, 6 a 7

	10%	30%	50%	70%	90%	Max	Min	Průměr	Medián	σ
St. 1	3	7	13	21	35	357	1	17	13	14
St. 2	1	2	12	18	40	127	1	15	12	16
St. 3	1	1	1	1	15	770	1	5	1	11
St. 4	1	4	9	16	30	166	1	13	9	13
St. 5	4	7	12	20	41	224	1	18	12	16
St. 6	2	5	10	18	33	1293	1	15	10	19
St. 7	1	2	6	14	26	837	1	11	6	16

Pozn.: Hodnoty maxim, minim, průměrů a mediánů jsou uvedeny v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$

4.1.3 Průměrné 24h koncentrace PM_{2,5}

Maximálních denních průměrných koncentrací bylo dosaženo v období od 22. a 23. 12. 2021. V tyto dny došlo k překročení limitu US EPA ($35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) na všech stanicích (viz Tabulka 4.3, červeně jsou vyznačena překročení limitu $35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, prázdné buňky jsou v období, kdy stanice neměřily), kromě St. 7. To může být způsobeno buď pozicí na okraji obce, absencí blízkého zdroje znečištění, a nebo převládajícím větrem od stanoviště k možnému zdroji.

Nejvyšší průměrné denní koncentrace v těchto dnech byly naměřeny na St. 5, v jejímž blízkém okolí byl vytipován zdroj znečištění (lokální topeniště). 24. 12. 2021 došlo k výraznému nárůstu teploty a naopak výraznému snížení 24h průměrů koncentrací PM_{2,5}.

Tabulka 4.3: Denní průměry PM_{2,5} v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ na St. 1, 2, 4, 5, 6 a 7. od 22. 12. 2021 do 14. 1. 2022

Datum	St. 1	St. 2	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7
22.12.2021	39	43	33	44	37	14
23.12.2021	37	52	49	57	44	24
24.12.2021	11	9	7	9	8	5
25.12.2021	11	11	9	10	7	7
26.12.2021	27	28	26	30	27	19
27.12.2021	29	32	29	34	28	28
28.12.2021	24	27	21	27	22	21
29.12.2021	6	24	14	10	10	14
30.12.2021		10	6		8	9
31.12.2021		6	3		4	2
01.01.2022		13	8		12	7
02.01.2022		21	20		16	17
03.01.2022		3	2		3	2
04.01.2022		3	2		2	3
05.01.2022		1	2		2	1
06.01.2022		11	9		12	11
07.01.2022		25	21		20	13
08.01.2022		11	11		9	14
09.01.2022		4	5		6	4
10.01.2022		11	10		10	9
11.01.2022		25	24		24	24
12.01.2022		17	17		19	23
13.01.2022		17	17		20	16
14.01.2022		10	10		13	12

Dále došlo k překročení limitu 15. 1. 2022, a to na St. 1 a St. 6 (viz Tabulka 4.4, červeně jsou vyznačena překročení limitu $35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). St. 1 byla umístěna v blízkosti zdroje z pozemku, kde byla umístěna, v blízkosti St. 6 byl vytipován blízký zdroj znečištění.

Zbytek měřicí kampaně byla situace v obci příznivá, naměřené průměrné denní koncentrace PM_{2,5} byly obecně nízké.

Tabulka 4.4: Denní průměry $PM_{2,5}$ v $\mu g \cdot m^{-3}$ na St. 1, 2, 4, 5, 6 a 7. od 14. 1. 2022 do 2. 2. 2022

Datum	St. 1	St. 2	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7
15.01.2022	35	30	18	32	38	17
16.01.2022	30	26	24	29	31	17
17.01.2022	11	9	8	9	11	5
18.01.2022	18	26	20	19	23	18
19.01.2022	18	20	18	17	18	15
20.01.2022	6	2	3	5	4	1
21.01.2022	9	2	3	6	5	2
22.01.2022	11	13	10	14	13	9
23.01.2022	14	18	12	13	15	9
24.01.2022	21	27	20	22	24	22
25.01.2022	16	14	13	15	20	14
26.01.2022	11	9	11	12	13	9
27.01.2022	14	10	10	14	13	9
28.01.2022	7	4	3	6	5	5
29.01.2022	10	7	5	12	9	4
30.01.2022	6	2	2	5	3	1
31.01.2022	8	4	3	8	8	3
01.02.2022	8	6	4	9	7	3
02.02.2022	5	2	1	4	3	1

4.1.4 Výsledky výpočtu koeficientů divergence

Žádný koeficient divergence mezi dvěma stanicemi není menší než kritická hodnota 0,2, tj. koncentrace naměřené na Stanicích 1 – 7 jsou od sebe statisticky odlišné a můžeme předpokládat, že jsou ovlivňovány rozdílnými zdroji znečištění, viz Tabulka 4.5.

Tabulka 4.5: Koeficienty divergence CoD mezi každou dvojicí stanic

	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7
St. 1	0,000	0,436	0,665	0,322	0,270	0,289	0,463
St. 2		0,000	0,581	0,340	0,420	0,384	0,397
St. 3			0,000	0,588	0,685	0,636	0,511
St. 4				0,000	0,309	0,241	0,336
St. 5					0,000	0,247	0,472
St. 6						0,000	0,406
St. 7							0,000

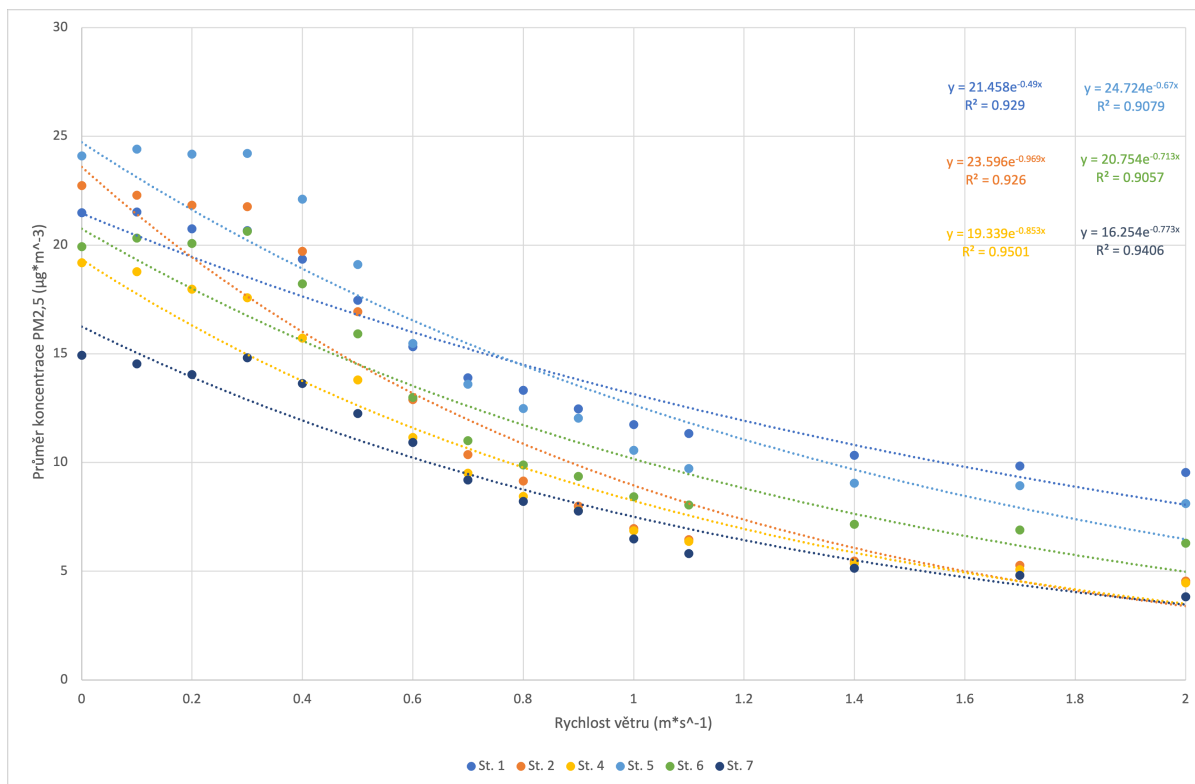
4.1.5 Vliv rychlosti větru na koncentrace $PM_{2,5}$

Období měřicí kampaně (29. 12. 2021 - 3. 2. 2022) bylo z hlediska větrnosti průměrné. 82 % všech hodnot rychlostí větru spadalo pod $1,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Průměrná hodnota rychlosti větru za celé měřicí období byla $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Nejvyšší naměřená rychlost větru byla $7,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, tato hodnota byla však naměřena pouze

2x (tj. 2 jednodominutové intervaly). Nejčastěji se rychlost větru pohybovala mezi $0,3$ a $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ je možné uvažovat pouze cca do $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, nad tuto rychlost větru nejsou patrné rozdíly mezi stanicemi a analogicky ani příspěvek lokálních topenišť, viz Obrázek 4.1. Emise vstupující do ovzduší jsou při vysokých rychlostech větru rychle rozptýleny (Zhang a kol., 2017).



Obrázek 4.1: Graf vlivu rychlosti větru od 0 do $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ na průměr koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ proloženo křivkami lineární regrese pro každou ze Stanic 1, 2, 4, 5, 6 a 7

Vyšší pozadové koncentrace v při rychlostech nad $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ u Stanic 1 a 5 jsou nejspíše způsobené umístěním v těsnější blízkosti zdroje znečištění, naopak nižší koncentrace u Stanice 7 jsou způsobeny jejím umístěním na okraji obce, mimo blízké zdroje znečištění.

Protože rychlost větru většinou dosahovala méně než $1,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, nebyly naměřené koncentrace dále děleny a hodnoceny podle rychlostí větru, ačkoliv je patrná nepřímá úměra mezi hodnotami rychlosti větru a naměřenými koncentracemi $\text{PM}_{2,5}$.

4.1.6 Vliv teploty na koncentrace $\text{PM}_{2,5}$

Průměrná teplota naměřená meteostanicí za období měřicí kampaně byla $-0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Celorepublikový průměr teplot za leden, do kterého spadá většina měřicí kampaně, byl $0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ (ČHMÚ, 2021).

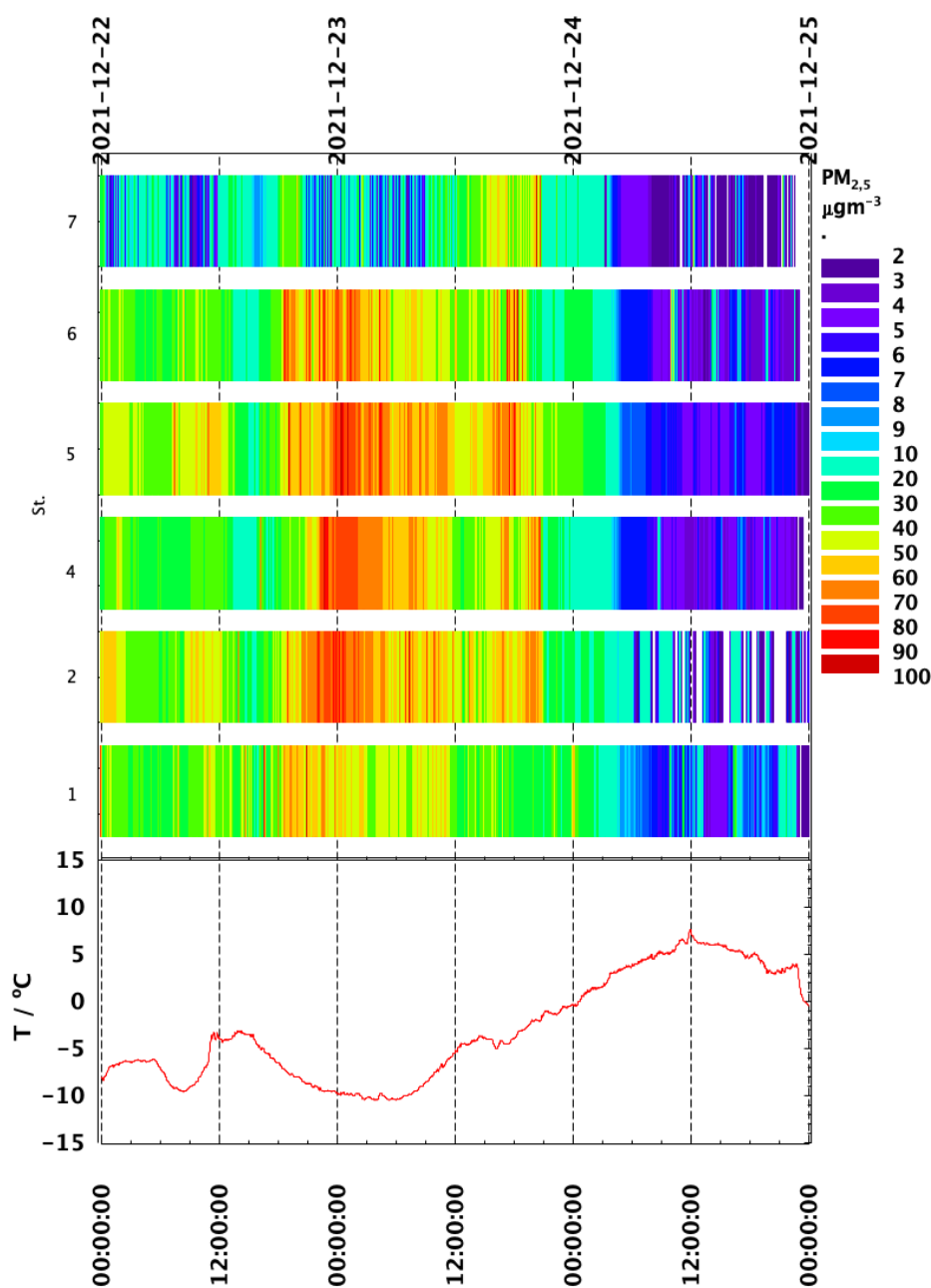
Období před Vánoci bylo významné nízkými teplotami, průměrná teplota od 21. 12. do 23. 12. 2021 činila $-6 \text{ } ^\circ\text{C}$.

V tomto období byly naměřeny nadlimitní průměrné koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ na všech stanicích (viz Obrázek 4.2), kromě Stanice 7, která byla nejvzdálenější od ostatních stanic a zároveň na okraji obce.

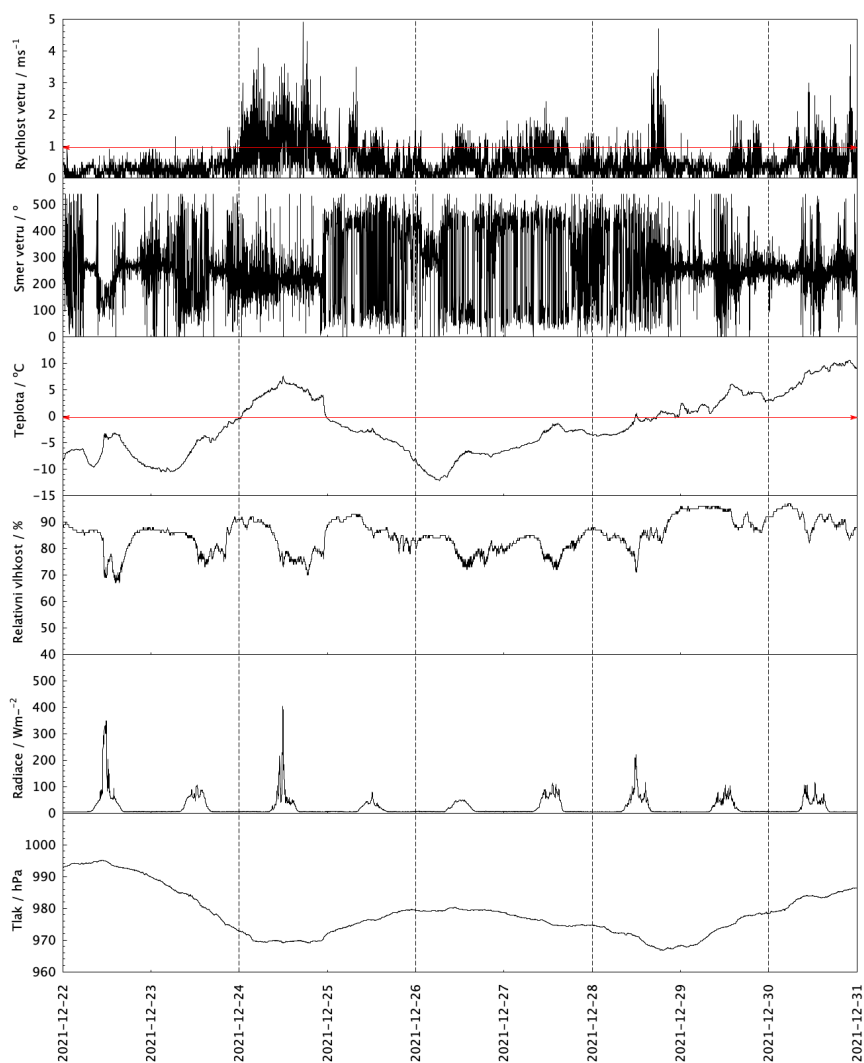
Vysoké naměřené koncentrace byly způsobeny pravděpodobně stagnací vzdušné masy nad obcí kvůli nízké teplotě a nízké rychlosti větru. Tyto podmínky vedou k recirkulaci vzduchu a akumulaci znečištění (Tecer a kol., 2008; Khedairia a Khadir, 2012).

Nejnižší průměrná teplota za celou měřicí kampaň byla zaznamenána mezi 26. a 27. 12. 2021 a činila $-8,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, tento den ale žádná z průměrných koncentrací nepřekročila limit US EPA $35\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ačkoliv průměrné naměřené koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ byly relativně vysoké ($28 - 34\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Oproti období před Vánoci byla v těchto dnech vyšší rychlost větru, jehož směr se častěji měnil (viz Obrázek 4.3, červená úsečka u směru větru označuje hranici $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, u teploty $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) a došlo tak k většímu rozptýlení znečištění.



Obrázek 4.2: Graf průběhu minutových koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a teploty od půlnoci 22. 12. 2021 do půlnoci 25. 12. 2021



Obrázek 4.3: Rychlost větru ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), směr větru ($^{\circ}$), teplota ($^{\circ}\text{C}$), relativní vlhkost vzduchu (%), sluneční radiace ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) a tlak vzduchu (hPa) od půlnoci 22. 12. 2021 do půlnoci 30. 12. 2021

4.1.7 Příspěvek lokálních topenišť na hladinu koncentračního pole $\text{PM}_{2,5}$

Pro určení míry příspěvku lokálních topenišť na 24h průměrné hodnoty koncentračního pole $\text{PM}_{2,5}$ v obci bylo nejprve nutné stanovit pozadové koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ na každé z lokalit pro každý den, jelikož nebylo provedeno měření na pozadové lokalitě (lokalita 5 - 20 km od obce, u které předpokládáme minimální ovlivnění antropogenními zdroji). Z minutových hodnot koncentrací byly pro každý den (od půlnoci do půlnoci) a každou lokalitu vypočteny 1. decily (10 % nejnižších naměřených hodnot), které byly určeny jako koncentrace pozadí (Brantley a kol., 2014).

Průměrné příspěvky lokálních topenišť na 24h průměrné koncentraci $\text{PM}_{2,5}$ v obci za období celé měřicí kampaně se pohybovaly od 48 % do 72 % (viz Tabulka 4.6), průměr za celé období a všech stanic byl 61 %.

Nejvyšší příspěvek lokálních topenišť byl zaznamenán na Stanici 2, což je pravděpodobně způsobeno její centrální polohou, kde je ovlivňována více zdroji $\text{PM}_{2,5}$. Druhý nejvyšší příspěvek lokálních topenišť bylo možné pozorovat na Stanici 7, která byla poza-

dová. Zde bylo naopak málo dalších zdrojů, které by stanici ovlivnily. Byla tedy nejspíše ovlivňována jedním zdrojem, který ale většinou přispěl k celkové koncentraci PM_{2,5} naměřené na této stanici.

Tabulka 4.6: Procentuální příspěvky lokálních topenišť na 24h koncentracích PM_{2,5} naměřených v obci Zadní Třebaň zprůměrované pro období celé měřicí kampaně

	St. 1	St. 2	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7
Průměr za celé měření	60 %	72 %	57 %	48 %	58 %	67 %

Lokální topeniště se průměrně podílely na nárůstu 24h průměrů koncentrací PM_{2,5} 7 až 10 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (viz Tabulka 4.7).

Nejvyšší zvýšení koncentrací PM_{2,5} bylo zaznamenáno na Stanici 2, která byla umístěna v centru obce.

Procentuální příspěvky i příspěvky v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ pro každý z 24h průměrů lze najít v Příloze A.2, viz Tabulka A.2 (procentuální příspěvky) a Tabulka A.1 (příspěvky v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$).

Tabulka 4.7: Příspěvky lokálních topenišť v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ na 24h koncentracích PM_{2,5} naměřených v obci Zadní Třebaň zprůměrované pro období celé měřicí kampaně

	St. 1	St. 2	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7
Průměr za celé měření	9	10	7	8	8	8

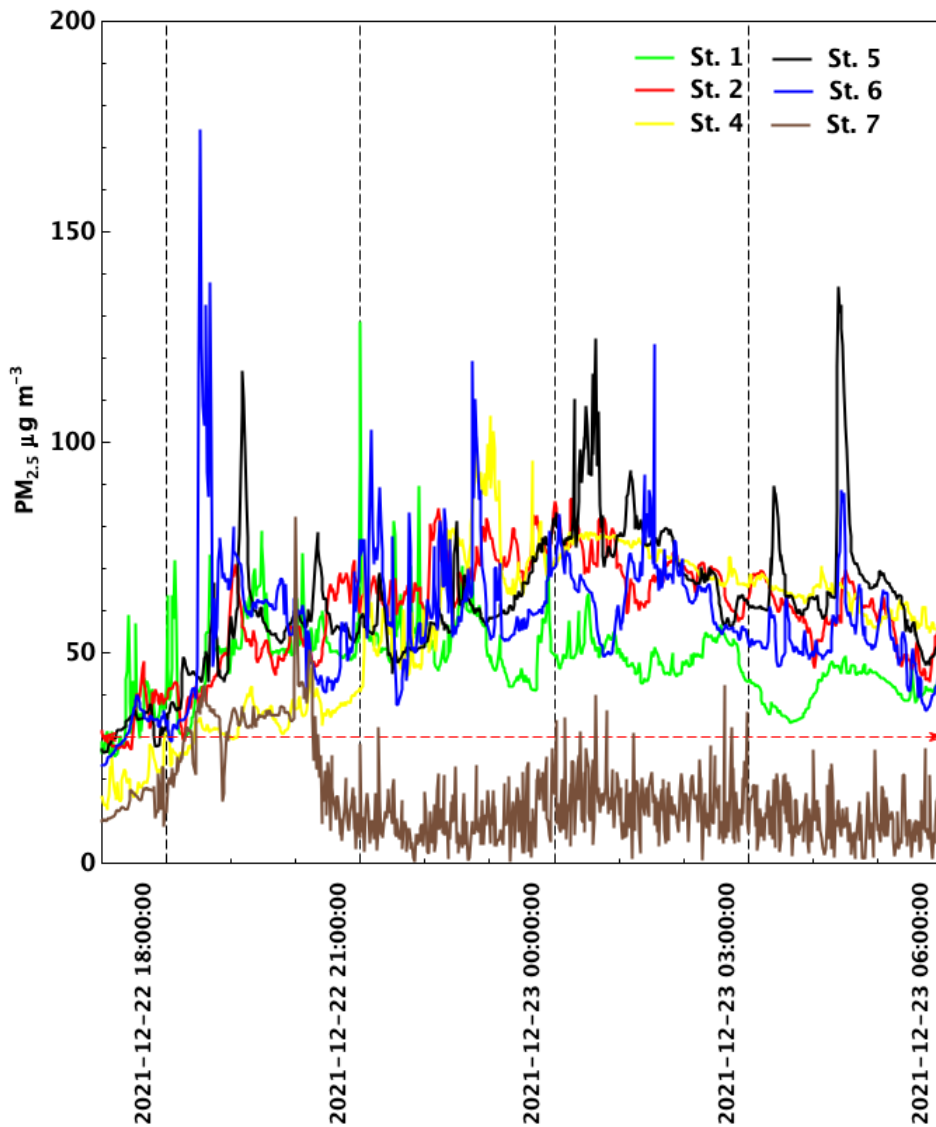
Při umístění měřicího přístroje blízko ke zdroji znečištění z lokálního topeniště jsou pozorovatelné rychlé nárůsty koncentrací, které mohou krátkodobě i několikanásobně překračovat limity a po krátké době opět klesají. Tento trend je tím výraznější, čím blíže je měřicí přístroj zdroji (Brantley a kol., 2014).

Příspěvky lokálních topenišť je možné také identifikovat díky jejich epizodickému průběhu. Často se projevují hlavně v ranních a především večerních hodinách, kdy jsou lidé doma a topí. Největší nárůst koncentrací PM_{2,5} je možné pozorovat po půlnoci, viz Obrázek 4.4 (červená přerušovaná úsečka označuje hodnotu limitu US EPA (35 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)).

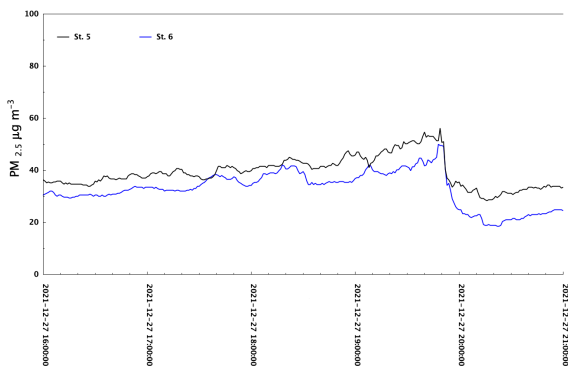
Především u Stanice 1 a 6 lze dobře pozorovat typické krátkodobé, ale vysoké nárůsty koncentrací PM_{2,5} způsobené malou vzdáleností od zdroje znečištění.

Jednu lokalitu často ovlivňuje více než jeden zdroj PM_{2,5}, a naopak jeden zdroj může často ovlivňovat více lokalit. V různé dny může být průběh na dvou blízkých stanovištích velmi podobný (viz Obrázek 4.5a). Tento stav naznačuje, že jsou obě stanice ovlivněny jedním zdrojem PM_{2,5}, který je ve stejné vzdálenosti od obou stanic.

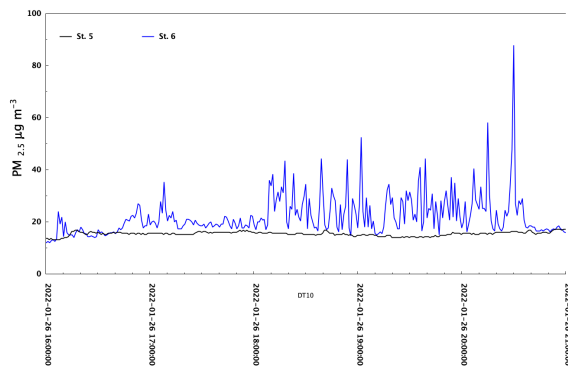
Naopak ale může nastat i stav, kdy je lokalita ovlivňována zdrojem PM_{2,5}, který je blíž jedné ze stanic, kterou ovlivní významně, zatímco druhou blízkou stanicí neovlivní vůbec (viz Obrázek 4.5b).



Obrázek 4.4: Graf průběhu minutových koncentrací $PM_{2,5}$ v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ na Stanicích 1, 2, 4, 5, 6 a 7 od 18:00 22. 12. 2021 do 6:00 23. 12. 2021



(a) Podobný průběh



(b) Odlišný průběh

Obrázek 4.5: Porovnání průběhu minutových koncentrací $PM_{2,5}$ na St. 5 a St. 6 v průběhu 5 hodin ve dnech 27. 12. 2021 (podobný průběh) a 26. 1. 2022 (odlišný průběh)

4.2 Výsledky mobilního měření

Zvýšené koncentrace $PM_{2,5}$ během mobilního měření byly naměřeny především při ranních procházkách (procházky 1 – 3, tedy mezi 7. a 8., 9. a 10. a 11. a 12. hodinou).

Odpolední procházky (procházky 4, 5 a 6, tedy mezi 13. a 14., 15. a 16. a 17. a 18. hodinou) byly z hlediska koncentrací $PM_{2,5}$ mírné, což mohlo být způsobeno jak nečinností zdrojů (jednalo se o časy, kdy je většina lidí v práci), tak vysokými rychlostmi větru, které omezovaly sběr částic.

Koncentrace $PM_{2,5}$ naměřené při poslední procházce (procházka 7, 19. až 20. hodina) byly sice o něco vyšší než koncentrace naměřené při dopoledních procházkách, avšak nedosahovaly hodnot naměřených ráno.

Podobný trend je možné pozorovat i u koncentrací PNC s tím rozdílem, že maximum koncentrací PNC je možné pozorovat při Procházce 7 a zvýšení koncentrací není tak výrazné jako $PM_{2,5}$.

Průměrná naměřená hodnota $PM_{2,5}$ za všechny procházky činila $13 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, PNC $3978 \text{ pt} \cdot \text{cm}^{-3}$. Časy začátků a konců procházek a hodnoty mediánů a průměrů koncentrací $PM_{2,5}$ a PNC při jednotlivých procházkách viz Tabulka 4.8.

Tabulka 4.8: Začátek a konec procházek a průměr a medián naměřených koncentrací $PM_{2,5}$ a PNC

Proch.	Začátek	Konec	Med. $PM_{2,5}$	Med. PNC	Prům. $PM_{2,5}$	Prům. PNC
1	7:03	7:59	18	2680	20	3918
2	9:01	9:55	13	2085	14	3663
3	11:05	11:53	17	2720	22	4042
4	13:05	13:56	8	2640	13	3400
5	15:11	16:04	7	2610	8	2945
6	17:09	18:08	8	3770	9	3904
7	19:15	20:03	13	5150	19	5976

Pozn.: Hodnoty průměrů a mediánů $PM_{2,5}$ jsou uvedeny v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ a PNC v $\text{pt} \cdot \text{cm}^{-3}$

Z opakování procházek nebylo možné identifikovat žádné hot spoty, tedy místa s opakovaně vysokou hladinou naměřených koncentrací $PM_{2,5}$ a PNC. Naopak při každé z procházek pocházely maxima naměřených koncentrací $PM_{2,5}$ a PNC z jiného místa (naměřený průběh koncentrací $PM_{2,5}$ viz Příloha A.4 a naměřený průběh hodnot PNC viz Příloha A.5).

Je tedy možné, že lokality stacionárního měření mohou být ovlivňovány několika různými zdroji, které se v průběhu ranních a večerních hodin střídají ve své činnosti, a ne jedním zdrojem, který by byl aktivní stále. Tento předpoklad lze ale vztáhnout pouze na den, kdy proběhlo mobilní měření, tento den naměřené koncentrace $PM_{2,5}$ nemusí odrážet situaci ve zbylých dnech měřicí kampaně.

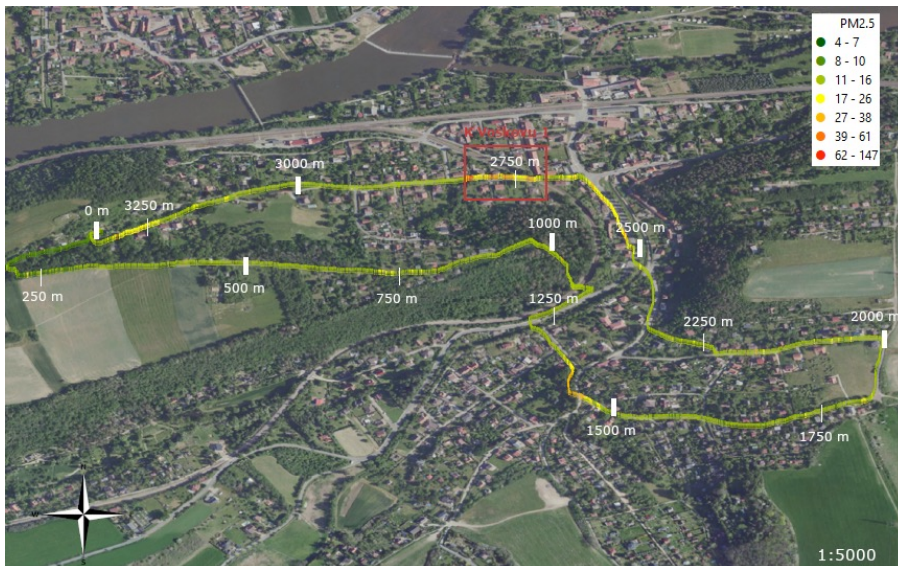
Během procházky 1 byly identifikovány dva úseky se zvýšenými koncentracemi $PM_{2,5}$, a to mezi 2044 a 2085 m (Na Kaplanci 1), kde koncentrace $PM_{2,5}$ dosahovaly maxima $265 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ a PNC $21\,1000 \text{ pt} \cdot \text{cm}^{-3}$, a mezi 2167 a 2200 m (Na Kaplanci 2), kde koncentrace $PM_{2,5}$ dosahovaly maxima $599 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, ale koncentrace PNC nebyly vyšší než na jiných úsecích.

V úseku Na Kaplanci 1 byl sousedy slovně identifikován možný zdroj (viz Obrázek 4.6) – lokální topeniště v blízkosti St. 6, který ale bohužel nebylo možné zachytit na fotografii kvůli zatažené obloze, které nebyla dostatečně kontrastní vůči kouři z komína.



Obrázek 4.6: Průběh koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ během procházky 1 s vyznačenými místy zvýšených koncentrací

Během procházky 2 byl identifikován jeden úsek se zvýšenými koncentracemi (viz Obrázek 4.7) $\text{PM}_{2,5}$, a to mezi 2797 a 2801 m (K Voškovu 1), zde maxima koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ dosahovala $52 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, ale hodnoty PNC nebyly vyšší než na ostatních lokalitách.



Obrázek 4.7: Průběh koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ během procházky 2 s vyznačeným místem zvýšených koncentrací

Zvýšené koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ v úseku K Voškovu 1 korespondovaly se záznamy z procházky, kdy byl v době průchodu daným úsekem cítit zápach kouře a byly vyfoceny fotografie možných zdrojů (viz Obrázek 4.8a a Obrázek 4.8b).



(a) Komín lokálního topeniště K Voškovu 1a



(b) Komín lokálního topeniště K Voškovu 1b

Obrázek 4.8: Komíny lokálních topenišť identifikovaných jako možné příčiny zvýšených koncentrací $PM_{2,5}$ během procházky 2 v úseku K Voškovu 1

Během procházky 3 byly identifikovány tři úseky s významně zvýšenými koncentracemi $PM_{2,5}$ (viz Obrázek 4.9).



Obrázek 4.9: Průběh koncentrace $PM_{2,5}$ v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ během procházky 3 s vyznačeným místem zvýšených koncentrací

První úsek se zvýšenými koncentracemi $PM_{2,5}$ byl mezi 1706 a 1724 m (Na Vrážku), kde koncentrace $PM_{2,5}$ dosahovaly až $417 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ a $\text{PNC } 8200 \text{ pt} \cdot \text{cm}^{-3}$. V tuto dobu byl do poznámek z procházky zaznamenán zápach, ale nebyl identifikován jeho zdroj.

Druhý úsek se zvýšenými koncentracemi $PM_{2,5}$ byl okolo 3000 m procházky (K Voškovu 2). Zvýšené koncentrace zde nebyly kontinuální, jednalo se spíše o časově oddělené píky, které podle záznamu z procházky 3 odpovídají projíždějícím automobilům.

Třetí úsek se zvýšenými koncentracemi $PM_{2,5}$ byl mezi 3342 a 3354 m (K Voškovu 3), koncentrace $PM_{2,5}$ dosahovaly $164 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, hodnoty PNC nebyly zvýšené.

Zvýšeným koncentracím odpovídal i záznam z procházky, kde byl v daný čas poznamenán zápach a byla vyfocena fotografie možného zdroje (viz Obrázek 4.10), jednalo se však o jiný zdroj než v úseku K Voškovu 1.



Obrázek 4.10: Komín lokálního topeniště identifikovaného jako možný zdroj zvýšených koncentrací $PM_{2,5}$ během procházky 3 v úseku K Voškovu 3

Procházky 4, 5 a 6 byly ovlivněny silným větrem, především v exponovaných lokalitách. Při procházce 4 byl opětovně identifikován zdroj K Voškovu 3 jako možný zdroj zvýšených koncentrací $PM_{2,5}$, a dále docházelo ke krátkodobým zvýšením koncentrací $PM_{2,5}$, které odpovídají záznamu o průjezdech aut. Při žádné z procházek 4 – 6 nebyla identifikována místa se zvýšenými koncentracemi PNC (viz Příloha A.5). Průběh koncentrací $PM_{2,5}$ během procházek 5 a 6 viz Příloha A.4.

Během procházky 7 byly identifikovány 3 úseky se zvýšenými koncentracemi $PM_{2,5}$ (viz Obrázek 4.11).



Obrázek 4.11: Průběh koncentrace $PM_{2,5}$ v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ během procházky 7 s vyznačenými místy zvýšených koncentrací

První úsek byl mezi 1263 a 1275 m (Bezejmenná), maximální hodnoty $PM_{2,5}$ zde dosahovaly $292 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Při průchodu tímto úsekem byl do poznámek z procházky zaznamenán zápach.

Druhý úsek byl mezi 2256 až 2281 m (Nad Pěšinou), maximální hodnoty $PM_{2,5}$ zde dosahovaly $994 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Třetí úsek byl okolo 3288 m, což přibližně odpovídá úseku K Voškovu 3, kde byly naměřeny zvýšené koncentrace při procházce 3. Je tedy možné, že se jedná o stejný zdroj jako K Voškovu 3.

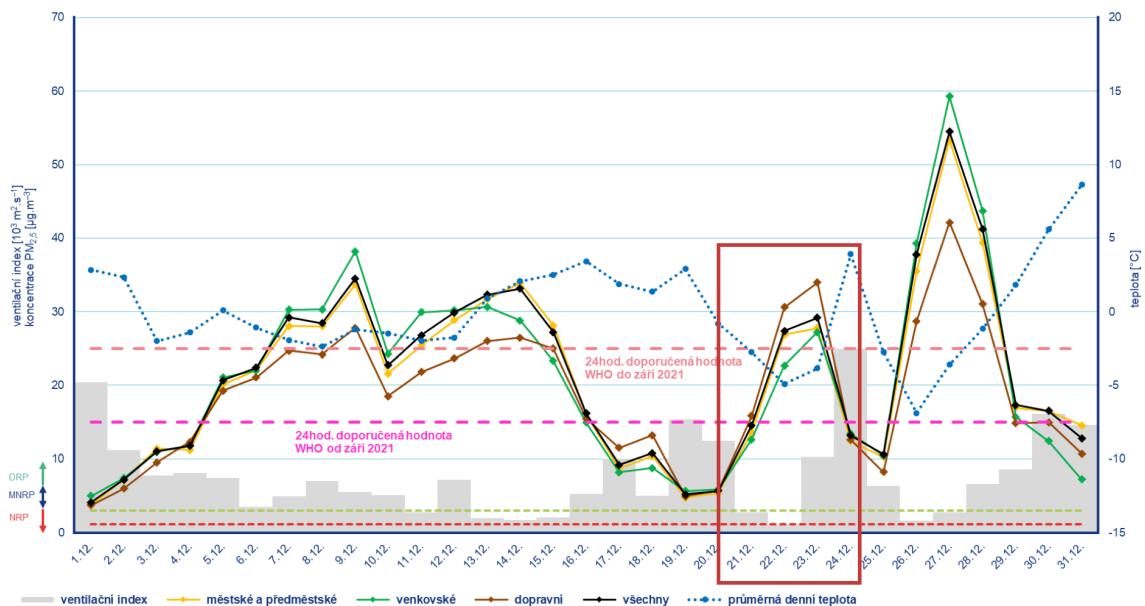
Hodnoty PNC při procházce 7 byly oproti ostatním procházkám zvýšeny celkově (viz Příloha A.5).

5. Diskuze

Celková průměrná koncentrace $PM_{2,5}$ na všech stanicích za celé období měřicí kampaně byla $14 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. To je nižší hodnota než dříve naměřené průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ v roce 2003 ve Žloutkovicích, kde byla průměrná koncentrace $26 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ $PM_{2,5}$ (Braniš a kol., 2007), v letech 2009 až 2010 v Košetících, kde byla průměrná koncentrace $22,5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (Schwarz a kol., 2016) a v letech 2010 – 2014 v obci Kotorz Maly v Polsku, kde byla průměrná koncentrace $36,9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (Olszowski, 2019).

K překročení limitu US EPA pro 24h průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ došlo za dobu měření pouze 3x z celkových 43 dní. K prvnímu překročení došlo ve dnech 22. a 23. 12. 2021, kdy byla naměřena jedna z nejnižších teplot ($-6 \text{ }^\circ\text{C}$) a zároveň se jednalo o předvánoční období, můžeme tedy předpokládat, že bylo doma více lidí než v běžné pracovní dny.

Zároveň bylo celé období měřicí kampaně charakterizováno nízkými rychlostmi větru, které v kombinaci s nízkou teplotou vytvořily zhoršené rozptylové podmínky, a došlo tak k akumulaci $PM_{2,5}$ na území obce. Stejný trend je možné pozorovat i ve studii Braniš a Domasová (2003). Nejednalo se ale o situaci, která by byla ojedinělá v Zadní Třebani, k poklesu teploty a nárůstu koncentrací $PM_{2,5}$ došlo celorepublikově, viz Obrázek 5.1 (červeně označeno je období před Vánoci):



Obrázek 5.1: Vývoj průměrných denních koncentrací $PM_{2,5}$ a celorepublikového průměru teploty vzduchu (model ALADIN) a ventilačního indexu (model ALADIN), prosinec 2021, zdroj: (ČHMÚ, 2021)

Rychlost větru byla hlavním činitelem ovlivňujícím koncentrace $PM_{2,5}$ v obci, při rychlostech větru přibližně nad 1 m/s došlo k rozmývání znečištění, a tím rychlému poklesu koncentrací $PM_{2,5}$, což bylo v souladu s výsledky studií provedených mezi lety 2013 a 2016 ve Wuhanu (Zhang a kol., 2017) a v roce 2001 v Los Angeles (Zhu a kol., 2002). Průměrná rychlost větru za celé období měřicí kampaně byla $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Nejnižší teplota v obci nastala mezi 26. a 27. 12., v tyto dny ale nedošlo k překročení limitu US EPA. Ačkoliv byla splněna podmínka nízké teploty, rychlosti větru byly v tento

den vyšší než 22. a 23. 12 a jeho směr se také častěji měnil, došlo proto k rychlejšímu rozptylu $PM_{2,5}$.

Lokální topeniště se ukázaly být hlavním zdrojem $PM_{2,5}$ na většině měřicích stanic, procentuální příspěvky dosahovaly maxima 72 % na Stanici 2. Nejmenší příspěvek lokálních topenišť na koncentrace $PM_{2,5}$ byl zaznamenán na Stanici 4, kde lokální topeniště přispěly na koncentrace $PM_{2,5}$ 48 %, průměrný příspěvek za celé období měření na všech stanicích byl 61 %, což je výrazně vyšší než ve studii Braniš a kol. (2007), kde průměrný příspěvek na naměřené koncentrace $PM_{2,5}$ tvořil 35 %.

K nejvyšším nárůstům koncentrací $PM_{2,5}$ docházelo ve večerních hodinách s maximem okolo půlnoci, což odpovídá zjištění z měření v Mladé Boleslavi (Hovorka a kol., 2015).

Mobilní měření neodhalilo žádné hot spoty $PM_{2,5}$ ani PNC, byly však identifikovány lokality, které byly opakovaně ovlivňované různými zdroji $PM_{2,5}$, jednalo se o ulice Na Vrážku, Na Kaplanci a K Voškovu. V těchto ulicích byly pořízeny fotografie komínů lokálních topenišť, které byly identifikovány jako možné zdroje zvýšených koncentrací $PM_{2,5}$ při mobilním měření.

V okolí těchto lokalit se nacházely měřicí přístroje na Stanici 1 a 2 (ulice K Voškovu) a 5 a 6 (ulice Na Vrážku a Na Kaplanci). Na těchto stanicích byly při stacionárním měření zjištěny vyšší průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ než na Stanicích 4 a 7, v jejichž okolí nebyly při mobilním měření identifikovány žádné zdroje.

Průměrná koncentrace $PM_{2,5}$ na všech stanicích za všechny procházky byla $13 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, což je vyšší než průměr koncentrací $PM_{2,5}$ naměřený v prosinci 2018 v Bayerisch Eisenstein v Německu ($11 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), ale menší než průměr koncentrací naměřený v prosinci 2018 v Železné Rudě ($21 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). Průměrné koncentrace PNC naměřené při mobilním měření byly nižší než ve výše zmíněných obcích ($4190 \text{ pt} \cdot \text{cm}^{-3}$, a resp. $5024 \text{ pt} \cdot \text{cm}^{-3}$) (Liu a kol., 2020).

Průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ naměřené při mobilním měření není možné porovnávat s limity pro 24h koncentrace, je proto nutné z těchto limitů vypočítat limit pro expozici.

Pokud průměrný dospělý člověk prodýchá asi 6 l vzduchu za minutu v klidovém režimu (Carroll, 2007), za 24 hodin prodýchá $6 \cdot 60 \cdot 24 = 8640 \text{ l}$, nebo také $8,64 \text{ m}^{-3}$. Maximální dávka při limitu US EPA $35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ tedy činí $8,64 \cdot 35 = 302 \mu\text{g}$. Celková dávka za všechny procházky (dohromady cca 7 hodin expozice) činila $31 \mu\text{g}$, což je 10 % celkové limitní denní dávky.

Nutné je zmínit, že při pohybu je celkový objem prodýchaného vzduchu vyšší než v klidu, může se jednat až o 100 l vzduchu za minutu (Burton a kol., 2004).

Výsledky mobilního měření nemohou být vztaženy na celé období měřicí kampaně, jelikož se jedná o relativně krátký úsek měření. V případě opakování měření by bylo zajímavé doplnit stacionární měření o mobilní měření v trvání celé měřicí kampaně, což by přispělo k přesnější identifikaci zdrojů $PM_{2,5}$ v obci.

Závěr

Z dat získaných ze stacionárního měření koncentrací $PM_{2,5}$ na území obce Zadní Třebaň bylo zjištěno, že lokální topeniště jsou majoritním zdrojem $PM_{2,5}$ v obci v zimním období. Jejich příspěvky na celkové koncentrace $PM_{2,5}$ se pohybovaly od 48 do 72 % (průměrně 7 až 10 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$).

Koncentrace $PM_{2,5}$ jsou závislé na meteorologických podmínkách. S rostoucí rychlostí větru naměřené koncentrace $PM_{2,5}$ klesají, naopak s klesající teplotou rostou. Je proto možné očekávat, že stabilním charakteru počasí, kdy jsou nízké rychlosti větru a zároveň nízká teplota, budou koncentrace $PM_{2,5}$ v obci narůstat.

Koncentrace $PM_{2,5}$ v obci jsou vysoce heterogenní, a to jak časově, tak prostorově. K nejvyšším nárůstům koncentrací $PM_{2,5}$ dochází v ranních a především nočních hodinách a zároveň je možné pozorovat vyšší koncentrace $PM_{2,5}$ v centrálních částech obce.

Mobilní měření potvrdilo časovou heterogenitu koncentrací v obci a doplnilo poznatky o prostorové heterogenitě.

Ačkoliv nebyly identifikovány žádné hotspoty (tj. místa s opakovaně vysokými koncentracemi $PM_{2,5}$), byly stanoveny oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší. Jednalo se o ulice Na Vrážku, Na Kaplanci a K Voškovu.

Na těchto lokalitách bylo také identifikováno nejvíce možných zdrojů $PM_{2,5}$ v podobě lokálních topenišť.

Ačkoliv v malých obcích žije více než třetina všech obyvatel České republiky, monitoring kvality ovzduší je stále prováděn zejména ve velkých městech a průmyslových lokalitách.

Dosud provedené studie ale ukazují, že kvalita ovzduší v malých obcích může být často horší než ve městech nebo průmyslových oblastech a tento trend je způsoben hlavně lokálními topeništi na tuhá paliva (Braniš a Domasová, 2003; Hovorka a kol., 2015).

Mezi zdravotní dopady dlouhodobého vystavení zvýšeným koncentracím $PM_{2,5}$ patří hlavně zvýšené riziko onemocnění dýchací a oběhové soustavy. Navíc spolu s částicemi PM obsahují emise z lokálních topenišť také polyaromatické uhlovodíky, jako např. často diskutovaný benzo-a-pyren, oxidy síry a dusíku a jedovaté kovy (Braniš a kol., 2007).

Je proto nutné kvalitu ovzduší v malých sídlech lépe monitorovat a pracovat na jejím zlepšení.

Seznam použité literatury

- ANDREA, M. O. (1995). Climatic effects of changing atmospheric aerosol levels. *World survey of climatology*, **16**(06), 347–398.
- BARNETT, A. G., WILLIAMS, G. M., SCHWARTZ, J., NELLER, A. H., BEST, T. L., PETROESCHEVSKY, A. L. a SIMPSON, R. W. (2005). Air pollution and child respiratory health. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **171**(11), 1272–1278. doi: 10.1164/rccm.200411-1586oc.
- BRANIŠ, M. a DOMASOVÁ, M. (2003). Pm₁₀ and black smoke in a small settlement: case study from the czech republic. *Atmospheric Environment*, **37**(1), 83–92. doi: 10.1016/s1352-2310(02)00700-8.
- BRANIŠ, M., DOMASOVÁ, M. a ŘEZÁČOVÁ, P. (2007). Particulate air pollution in a small settlement: The effect of local heating. *Applied Geochemistry*, **22**(6), 1255–1264. ISSN 0883-2927. doi: 10.1016/j.apgeochem.2007.03.016.
- BRANTLEY, H. L., HAGLER, G. S. W., KIMBROUGH, E. S., WILLIAMS, R. W., MUKERJEE, S. a NEAS, L. M. (2014). Mobile air monitoring data-processing strategies and effects on spatial air pollution trends. *Atmospheric Measurement Techniques*, **7**(7), 2169–2183. doi: 10.5194/amt-7-2169-2014.
- BURTON, D. A., STOKES, K. a HALL, G. M. (2004). Physiological effects of exercise. *Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain*, **4**(6), 185–188. ISSN 1743-1816. doi: 10.1093/bjaceaccp/mkh050.
- CARROLL, R. G. (2007). 10 - pulmonary system. In CARROLL, R. G., editor, *Elsevier's Integrated Physiology*, pages 99–115. Mosby, Philadelphia. ISBN 978-0-323-04318-2. doi: 10.1016/B978-0-323-04318-2.50016-9.
- CARSLAW, K. S., GORDON, H., HAMILTON, D. S., JOHNSON, J. S., REGAYRE, L. A., YOSHIOKA, M. a PRINGLE, K. J. (2017). Aerosols in the Pre-industrial Atmosphere. *Current Climate Change Reports*, **3**(1), 1–15. doi: 10.1007/s40641-017-0061-2.
- CHEN, L. H., KNUTSEN, S. F., SHAVLIK, D., BEESON, W. L., PETERSEN, F., GHAM-SARY, M. a ABBEY, D. (2005). The association between fatal coronary heart disease and ambient particulate air pollution: Are females at greater risk? *Environmental Health Perspectives*, **113**(12), 1723–1729. doi: 10.1289/ehp.8190.
- CLARK, N. A., DEMERS, P. A., KARR, C. J., KOEHOORN, M., LENCAR, C., TAMBURIC, L. a BRAUER, M. (2010). Effect of early life exposure to air pollution on development of childhood asthma. *Environmental Health Perspectives*, **118**(2), 284–290. doi: 10.1289/ehp.0900916.
- COHEN, A. J., BRAUER, M., BURNETT, R., ANDERSON, H. R., FROSTAD, J., ESTEP, K., BALAKRISHNAN, K., BRUNEKREEF, B., DANDONA, L., DANDONA, R., FEIGIN, V., FREEDMAN, G., HUBBELL, B., JOBLING, A., KAN, H., KNIBBS, L., LIU, Y., MARTIN, R., MORAWSKA, L., POPE, C. A., SHIN, H., STRAIF, K., SHADDICK, G., THOMAS, M., VAN DINGENEN, R., VAN DONKELAAR, A., VOS, T., MURRAY, C. J. L. a FOROUZANFAR, M. H. (2017). Estimates and 25-year trends of the global

- burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the global burden of diseases study 2015. *The Lancet*, **389**(10082), 1907–1918. doi: 10.1016/s0140-6736(17)30505-6.
- DECARLO, P. F., SLOWIK, J. G., WORSNOP, D. R., DAVIDOVITS, P. a JIMENEZ, J. L. (2004). Particle morphology and density characterization by combined mobility and aerodynamic diameter measurements. part 1: Theory. *Aerosol Science and Technology*, **38**(12), 1185–1205. doi: 10.1080/027868290903907.
- DOMINICI, F., PENG, R. D., BELL, M. L., PHAM, L., MCDERMOTT, A., ZEGER, S. L. a SAMET, J. M. (2006). Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA*, **295**(10), 1127. doi: 10.1001/jama.295.10.1127.
- EBISU, K. a BELL, M. L. (2012). Airborne PM_{2.5} chemical components and low birth weight in the northeastern and mid-atlantic regions of the united states. *Environmental Health Perspectives*, **120**(12), 1746–1752. doi: 10.1289/ehp.1104763.
- GAUDERMAN, W. J., AVOL, E., GILLILAND, F., VORA, H., THOMAS, D., BERHANE, K., MCCONNELL, R., KUENZLI, N., LURMANN, F., RAPPAPORT, E., MARGOLIS, H., BATES, D. a PETERS, J. (2004). The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *New England Journal of Medicine*, **351**(11), 1057–1067. doi: 10.1056/nejmoa040610.
- HINDS, W. C. (1999). *Aerosol technology: Properties, behavior, and measurement of airborne particles*. 1. vydání. Wiley, New York. ISBN 0471194107.
- HOVORKA, J. (2011). Atmosférický aerosol. In BRANIŠ, M. a HŮNOVÁ, I., editors, *Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší*, 1. vydání, page 121. Karolinum, Praha. ISBN 978-80-2461598-1.
- HOVORKA, J., POKORNÁ, P., HOPKE, P., KRŮMAL, K., MIKUŠKA, P. a PÍŠOVÁ, M. (2015). Wood combustion, a dominant source of winter aerosol in residential district in proximity to a large automobile factory in central europe. *Atmospheric Environment*, **113**, 98–107. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.04.068.
- KHEDAIRIA, S. a KHADIR, M. T. (2012). Impact of clustered meteorological parameters on air pollutants concentrations in the region of annaba, algeria. *Atmospheric Research*, **113**, 89–101. ISSN 0169-8095. doi: 10.1016/j.atmosres.2012.05.002.
- KIM, E., HOPKE, P. K., PINTO, J. P. a WILSON, W. E. (2005). Spatial variability of fine particle mass, components, and source contributions during the regional air pollution study in st. louis. *Environmental Science & Technology*, **39**(11), 4172–4179. doi: 10.1021/es049824x.
- KORTELAND, M., DE VRIES, J., VAN BERKEL, P. a DE BRUYN, S. (2022). Health-related social costs of air pollution due to residential heating and cooking. in the EU27 and UK. URL https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2022/03/CE_Delft_210135_Health-related_social_costs_of_residential_heating_and_cooking_Def_29march22.pdf.

- LI, Q., ZHENG, D., WANG, Y., LI, R., WU, H., XU, S., KANG, Y., CAO, Y., CHEN, X., ZHU, Y., XU, S., CHEN, Z.-J., LIU, P. a QIAO, J. (2021). Association between exposure to airborne particulate matter less than 2.5 μm and human fecundity in china. *Environment International*, **146**, 106231. doi: 10.1016/j.envint.2020.106231.
- LIU, X., SCHNELLE-KREIS, J., ZHANG, X., BENDL, J., KHEDR, M., JAKOBI, G., SCHLOTTER-HAI, B., HOVORKA, J. a ZIMMERMANN, R. (2020). Integration of air pollution data collected by mobile measurement to derive a preliminary spatiotemporal air pollution profile from two neighboring german-czech border villages. *Science of The Total Environment*, **722**, 137632. ISSN 0048-9697. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137632>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720311438>.
- OLSZOWSKI, T. (2019). Influence of individual household heating on pm2.5 concentration in a rural settlement. *Atmosphere*, **10**(12). ISSN 2073-4433. doi: 10.3390/atmos10120782.
- PINTO, J. P., LEFOHN, A. S. a SHADWICK, D. S. (2004). Spatial variability of pm2.5 in urban areas in the united states. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **54**(4), 440–449. doi: 10.1080/10473289.2004.10470919.
- RISOM, L., MØLLER, P. a LOFT, S. (2005). Oxidative stress-induced DNA damage by particulate air pollution. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, **592**(1-2), 119–137. doi: 10.1016/j.mrfmmm.2005.06.012.
- SCHWARZ, J., CUSACK, M., KARBAN, J., CHALUPNÍČKOVÁ, E., HAVRÁNEK, V., SMOLÍK, J. a ŽDÍMAL, V. (2016). Pm2.5 chemical composition at a rural background site in central europe, including correlation and air mass back trajectory analysis. *Atmospheric Research*, **176-177**, 108–120. ISSN 0169-8095. doi: 10.1016/j.atmosres.2016.02.017.
- TECER, L. H., SÜREN, P., ALAGHA, O., KARACA, F. a TUNCEL, G. (2008). Effect of meteorological parameters on fine and coarse particulate matter mass concentration in a coal-mining area in zonguldak, turkey. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **58**(4), 543–552. doi: 10.3155/1047-3289.58.4.543.
- TSI (2002). *DustTrak Specifications*. TSI Incorporated, 500 Cardigan Road , Shoreview, MN 55126 USA.
- TSI (2012a). *DUSTTRAK™ DRX AEROSOL MONITOR THEORY OF OPERATION*. TSI Incorporated, 500 Cardigan Road , Shoreview, MN 55126 USA.
- TSI (2012b). *P-TRAK®ULTRAFINE PARTICLE COUNTER THEORY OF OPERATION*. TSI Incorporated, 500 Cardigan Road , Shoreview, MN 55126 USA.
- WALTER, J. (2011). Size distribution characteristics of aerosols. In BARON, P. A., KULKARNI, P., WILLEKE, K. a KOL., editors, *Aerosol measurement*, volume 3, page 44. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
- ZHANG, B., JIAO, L., XU, G., ZHAO, S., TANG, X., ZHOU, Y. a GONG, C. (2017). Influences of wind and precipitation on different-sized particulate matter concentrations (PM2.5, PM10, PM2.5–10). *Meteorology and Atmospheric Physics*, **130**(3), 383–392. doi: 10.1007/s00703-017-0526-9.

ZHU, Y., HINDS, W. C., KIM, S. a SIOUTAS, C. (2002). Concentration and size distribution of ultrafine particles near a major highway. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **52**(9), 1032–1042. doi: 10.1080/10473289.2002.10470842.

ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD (2022). Počet obyvatel v obcích České republiky k 1. 1. 2022. URL <https://www.czso.cz/documents/10180/165603907/1300722203.pdf/de05fcca-74d5-40b6-bfa0-6a9825cfe369?version=1.1>.

ČHMÚ (2021). Měsíční přehled ČHMÚ o kvalitě ovzduší a rozptylových podmínkách, prosinec 2021. URL https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/mes_zpravy/PROSINEC_2021.pdf.

ČR (2012). Zákon č. 201/2012 sb. URL <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>.

A. Přílohy

A.1 Umístění měřicích přístrojů



(a) St. 1



(b) St. 2



(c) St. 3



(d) St. 4



(e) St. 5



(f) St. 6



(g) St. 7



(h) Meteostanice na St.1

Obrázek A.1: Umístění měřicích přístrojů na Stanicích 1 (a) – 7 (g) a meteostanice na stanici 1 (h).

A.2 Příspěvky lokálních topenišť na 24h koncentrace PM_{2,5}

Tabulka A.1: Příspěvky lokálních topenišť na 24h koncentrace PM_{2,5} v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$

Datum	St. 1	St. 2	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7
22.12.2021	12	16	16	18	18	10
23.12.2021	14	23	28	19	24	18
24.12.2021	7	8	4	5	5	4
25.12.2021	9	10	8	6	6	6
26.12.2021	9	12	12	11	8	18
27.12.2021	9	12	9	7	8	8
28.12.2021	10	12	8	11	10	10
29.12.2021	4	23	11	7	8	12
30.12.2021		9	4		6	8
31.12.2021		5	2		3	1
01.01.2022		12	5		8	5
02.01.2022		20	15		10	14
03.01.2022		2	1		2	1
04.01.2022		2	1		1	2
05.01.2022		0	1		1	0
06.01.2022		10	8		10	10
07.01.2022		15	12		12	12
08.01.2022		10	6		3	10
09.01.2022		3	4		4	3
10.01.2022		10	4		3	6
11.01.2022		10	6		5	6
12.01.2022		12	6		6	14
13.01.2022		6	5		5	5
14.01.2022		9	5		6	8
15.01.2022	27	22	11	22	28	11
16.01.2022	16	23	14	18	18	10
17.01.2022	6	8	4	5	6	4
18.01.2022	13	16	13	11	15	14
19.01.2022	10	19	12	10	12	12
20.01.2022	4	1	2	2	2	0
21.01.2022	6	1	2	2	3	1
22.01.2022	10	12	9	13	12	8
23.01.2022	10	17	8	7	11	8
24.01.2022	7	13	5	10	9	10
25.01.2022	9	13	7	7	12	10
26.01.2022	7	8	7	6	7	7
27.01.2022	7	9	6	5	7	7
28.01.2022	6	3	2	3	4	4
29.01.2022	5	6	4	6	7	3
30.01.2022	4	1	1	1	2	0

Tabulka A.1 – pokračování:

Datum	St. 1	St. 2	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7
31.01.2022	5	3	1	2	5	2
01.02.2022	5	5	2	3	4	2
02.02.2022	4	1	0	0	2	0

Tabulka A.2: Procentuální příspěvky lokálních topenišť na na 24h koncentrace PM_{2,5}.

Datum	St. 1	St. 2	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7
22.12.2021	31	37	49	41	49	72
23.12.2021	38	44	57	34	55	75
24.12.2021	63	89	54	54	61	80
25.12.2021	81	90	89	59	85	86
26.12.2021	33	43	46	38	29	95
27.12.2021	31	37	31	22	28	29
28.12.2021	41	43	38	40	45	48
29.12.2021	66	96	79	71	79	86
30.12.2021		90	64		74	89
31.12.2021		82	63		75	58
01.01.2022		92	61		68	73
02.01.2022		95	75		62	83
03.01.2022		68	53		65	54
04.01.2022		61	40		58	64
05.01.2022		NEA	45		46	NEA
06.01.2022		91	89		83	91
07.01.2022		59	57		60	92
08.01.2022		91	53		33	71
09.01.2022		72	78		64	76
10.01.2022		91	41		28	67
11.01.2022		41	26		21	24
12.01.2022		70	37		32	60
13.01.2022		35	27		24	30
14.01.2022		90	50		48	68
15.01.2022	77	73	62	69	74	64
16.01.2022	54	88	59	62	59	60
17.01.2022	56	89	51	56	55	82
18.01.2022	72	62	65	58	65	77
19.01.2022	56	95	67	59	66	80
20.01.2022	67	59	62	41	53	NEA
21.01.2022	68	43	70	36	59	36
22.01.2022	91	92	90	93	93	89
23.01.2022	72	95	68	52	73	89
24.01.2022	33	48	27	44	37	46
25.01.2022	56	93	55	47	59	71
26.01.2022	65	88	62	50	55	79
27.01.2022	50	90	60	36	55	78

Tabulka A.2 – pokračování :

Datum	St. 1	St. 2	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7
28.01.2022	86	73	63	48	79	82
29.01.2022	51	85	81	51	77	72
30.01.2022	69	37	59	26	71	NEA
31.01.2022	64	74	41	28	63	66
01.02.2022	63	82	50	32	55	65
02.02.2022	80	59	NEA	NEA	62	NEA

Pozn.: NEA označuje hodnoty, které byly vzhledem k povaze výpočtu nerealistické. Výpočet pozadí jako 1. decilu předpokládá významnou varibilitu hodnot během měřicího intervalu. Pokud je variabilita nízká (ve dnech s nízkými 24h průměry koncentrací $PM_{2,5}$), není možné spolehlivě určit příspěvek.

A.3 Poznámky z mobilního měření

1. procházka	3. procházka	15:53 auto x5
7:03 začátek	11:05 začátek	15:54 vítr
7:20 auto	11:13 zápach	16:02 kouř
7:21 auto x2	11:15 zápach	16:04 konec
7:22 rozjíždějící se auto	11:22 malé nákladní auto,	6. procházka
7:23 zápach	auto	17:09 začátek
7:25 zápach	11:23 auto x2	17:18 kouř
7:30 zápach	11:24 zápach	17:21 zápach
7:34 popelářské auto	11:29 zápach	17:29 auto x3
7:36 auto	11:32 zápach benzin	17:30 auto
7:40 auto x3	11:38 rozjíždějící se auto	17:31 auto
7:41 auto x4	11:39 auto x2	17:37 zápach
7:42 auto x2	11:40 údržba zelené stojí	17:44 auto
7:43 míchačka, auto x3	11:41 auto x2	17:46 vítr
7:44 pauza	11:42 auto	17:51 vítr
7:49 pokračování	11:43 auto x5	17:53 auto x2
7:52 auto x2	11:43 stojící nákladní auto	17:54 auto x2
7:53 zápach	11:50 zápach - foto	17:55 auto x4
7:54 auto	11:53 konec, zápach	17:56 auto x2
7:55 – 7:56 zápach	4. procházka	17:58 vítr
7:57 výpadek DRX	13:05 začátek	18:03 zápach
7:59 konec	13:23 vlak, auto x2	18:08 konec
2. procházka	13:24 auto	7. procházka
9:01 začátek	13:36 silný vítr	19:15 zápach dřeva
9:19 pauza	13:42 auto	19:22 čekání na vlak
9:20 pokračování	13:43 auto	19:23 projíždí vlak
9:22 auto, nákladní	13:44 auto x2	19:25 auto
9:31 zápach	13:45 auto x2	19:26 auto x3
9:33 malé nákladní auto	13:52 zápach foto	19:27 pauza
9:40 elektronická cigareta	13:56 konec	19:28 pokračování
9:41 auto x3, hasiči, auto x1	5. procházka	19:29 zápach
9:42 auto x2	15:11 začátek	19:32 zápach
9:43 auto x2, rozjíždějící se auto	15:31 auto x2	19:33 auto
9:45 zápach	15:33 zápach	19:41 silný vítr
9:46 zápach - foto	15:35 zápach	19:47 auto
9:48 foto	15:37 fotka	19:48 auto
9:52 zápach	15:42 – 15:44 silný vítr	19:50 auto x2
9:55 konec	15:45 malá dodávka	19:51 auto
	15:45 – 15:49 silný vítr	19:54 pauza
	15:49 auto	20:00 zápach
	15:51 auto x2	20:03 konec, zápach
	15:52 auto x2	

A.4 Průběh koncentrací PM_{2,5} při mobilním měření



Obrázek A.2: Průběh koncentrace PM_{2,5} v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ naměřené při Procházce 1



Obrázek A.3: Průběh koncentrace PM_{2,5} v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ naměřené při Procházce 2



Obrázek A.4: Průběh koncentrace $PM_{2,5}$ v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ naměřené při Procházce 3



Obrázek A.5: Průběh koncentrace $PM_{2,5}$ v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ naměřené při Procházce 4



Obrázek A.6: Průběh koncentrace $PM_{2,5}$ v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ naměřené při Procházce 5



Obrázek A.7: Průběh koncentrace $PM_{2,5}$ v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ naměřené při Procházce 6



Obrázek A.8: Průběh koncentrace $PM_{2,5}$ v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ naměřené při Procházce 7

A.5 Průběh PNC při mobilním měření



Obrázek A.9: Průběh PNC v $\text{pt} \cdot \text{cm}^{-3}$ naměřené při Procházce 1



Obrázek A.10: Průběh PNC v $\text{pt} \cdot \text{cm}^{-3}$ naměřené při Procházce 2



Obrázek A.11: Průběh PNC v $\text{pt} \cdot \text{cm}^{-3}$ naměřené při Procházce 3



Obrázek A.12: Průběh PNC v $\text{pt} \cdot \text{cm}^{-3}$ naměřené při Procházce 4



Obrázek A.13: Průběh PNC v $\text{pt} \cdot \text{cm}^{-3}$ naměřené při Procházce 5



Obrázek A.14: Průběh PNC v $\text{pt} \cdot \text{cm}^{-3}$ naměřené při Procházce 6



Obrázek A.15: Průběh PNC v $\text{pt} \cdot \text{cm}^{-3}$ naměřené při Procházce 7