VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko-geologická fakulta

Institut environmentálního inženýrství

# Prachové částice v ovzduší Kysucka

bakalářská práce

Autor práce: Kristína Štrbová

Vedoucí práce: prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

Ostrava 2013

VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA
Faculty of mining and geology
Institute of environmental engineering

# Total solid particles (TSP) in Kysuce area

bachelor thesis

Author: Kristína Štrbová

Supervisor: prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

# Zadání bakalářské práce

Student: **Kristína Štrbová**

Studijní program: B2102 Nerostné suroviny

Studijní obor: 3904R005 Environmentální inženýrství

Téma: **Prachové částice v ovzduší Kysucka**

Total solid particles (TSP) in Kysuce area

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Prachové částice (PM10, P2.5, PM1)
   2.1 Příčiny vzniku a výskytu jemných částic
   2.2 Vliv na zdravotní stav obyvatele a ekosystémů.
3. Charakteristika oblasti
   3.1 Zdroje znečištění (lokální, dálkové přenosy).
   3.2 Klimatické podmínky a meteorologické informace
3.3 Demografické údaje
4. Metody měření PM10
   4.1 Stacionární vzorkovače
   4.2 Mobilní vzorkovače
5. Experimentální část
   5.1 Měření koncentrace prachových částic v ovzduší Kysucka v závislosti na ročním období
   5.2 Srovnání koncentrace prachových částic v závislosti na odběrovém místě (les, volné plochy,intravilán).
6. Vyhodnocení
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Braniš M., Hůnová I. (2009): Atmosféra a klima. Karolinum, Praha, 1. vydání, 352 stran, ISBN 978-80-246-1598-1
Braniš, M., Domasová, M., Řezáčová, P. (2007) Particulate air pollution in a small settlement: The effect of local heating. Applied Geochemistry, 22: 1255–1264.
Braniš, M., Domasová, M. (2003) PM10 and black smoke in a small settlement: Case study from the Czech Republic. Atmospheric Environment 37(1): 83–92. (ISSN:1352–2310).
Hapala P. et al. (2009): Analýza kvality ovzduší na území města Ostravy a legislativa v ochraně ovzduší. ZUOVA Ostrava. Ochrana ovzduší.
Kurfürst J. (2008): Kompendium ochrany kvality ovzduší. 1. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitoring s.r.o. , 2008. 407 s. ISBN 978-80-86832-38-8.
Spatial assessment of PM10 and ozone concentrations in Europe: EEA Technical Report. Copenhagen, 2009. 54 s. ISBN 978-92-9167-988-1.
YTTRI, Karl Espen , et al. EMEP Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe : EMEP Report 4/2010 - Transboundary particulate matter in Europe Status report 2010. Norsko: Norwegian Institute for Air Research, 2010. 142 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 30.04.2013

prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
*vedoucí institutu*

prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
*děkan fakulty*

**Prohlášení**

*- Celou bakalářskou práci, včetně příloh, jsem vypracoval(a) samostatně a uvedl(a) jsem všechny použité podklady a literaturu.*

*- Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.*

*- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).*

*- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.*

*- Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/*

*- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.*

*- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).*

V Ostravě dne 30. 04. 2013

Kristína Štrbová

Kristína Štrbová

**Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucí mé bakalářské práce prof. Ing. Heleně Raclavské, CSc. za motivaci, odborný přístup, cenné rady, její věnovaný čas a pozornost. Poděkováni patří i Ing. J. Bílkovi a dalším pracovníkům Zdravotního ústavu v Ostravě za možnost zapůjčení měřícího přístroje. Za pomoc při gramatické korekci českého jazyka v práci děkuji Karin Tančibokové.

Vznik bakalářské práce byl podpořen projektem MŠMT CZ.1.05/2.1.00/03.0069ENET - Energetické jednotky pro využití netradičních zdrojů energie.

## ANOTACE

Předložená bakalářská práce se zabývá výskytem prachových částic v ovzduší Kysucka. V úvodu teoretické části jsou popsány prachové částice ($PM_{10}$, $PM_{2,5}$, $PM_1$, $PM_{0,1}$), příčiny vzniku a výskytu jemných částic a jejich vlivu na zdravotní stav obyvatel a ekosystémů. Další část je věnovaná charakteristice zájmového území Kysuc a popisu zdrojů emisí. Následně jsou popsány metody měření částic $PM_{10}$ a konkrétní zařízení. Experimentální část se zabývá vlastním měřením polétavého prachu ($PM_{10}$) ve městě Turzovka. V závěru práce jsou zhodnoceny výsledky měření.



**Klíčová slova:** prachové částice, měření $PM_{10}$, Kysuce, Turzovka



## SUMMARY

This bachelor thesis deals with the occurrence of total solid particles (TSP) in area of Kysuce region. The introduction of theoretical part describes particulate matters ($PM_{10}$, $PM_{2,5}$, $PM_1$, $PM_{0,1}$) and the causes of appearance of the fine particles and their influence on inhabitant´s health and the ecosystems. Following section is devoted to the characteristic of area of Kysuce region and description of the sources of emissions. Subsequently, the methods of measurement of $PM_{10}$ and specific equipment are described. The experimental part deals with own measurement of airborne dust ($PM_{10}$) in Turzovka town. In conclusion, the measurement results are evaluated.



**Keywords:** particulate matter, measurement of $PM_{10}$, Kysuce, Turzovka

# OBSAH

**1 ÚVOD A CÍL PRÁCE ..... 1**
**2 PRACHOVÉ ČÁSTICE ..... 2**
2.1 Příčiny vzniku a výskytu jemných částic ..... 5
2.1.1 Tvorba PM ..... 5
2.1.2 Primární a sekundární částice ..... 6
2.1.3 Zdroje PM ..... 7
2.2 Vliv na zdravotní stav obyvatel a ekosystémů ..... 8
2.2.1 Ohrožení lidí ..... 8
2.2.2 Ohrožení ekosystémů ..... 12
**3 CHARAKTERISTIKA OBLASTI ..... 15**
3.1 Zdroje znečištění ..... 16
3.1.1 Lokální přenosy ..... 16
3.1.2 Dálkové přenosy ..... 18
3.2 Klimatické podmínky a meteorologické informace ..... 20
3.3 Demografické údaje ..... 20
**4 METODY MĚŘENÍ $PM_{10}$ ..... 22**
4.1 Stacionární vzorkovače ..... 27
4.2 Mobilní vzorkovače ..... 29
**5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST ..... 33**
5.1 Měření koncentrace prachových částic v ovzduší Kysucka v závislosti na ročním období ..... 35
5.1.1 Zhodnocení klimatických podmínek ..... 41
**6 VYHODNOCENÍ ..... 46**
**7 ZÁVĚR ..... 48**
**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY ..... 50**
**SEZNAM OBRÁZKŮ ..... 56**
**SEZNAM TABULEK ..... 57**

# Seznam použitých zkratek

## České zkratky

| | |
|---|---|
| ČSN | Československá (Česká) státní norma |
| EU | Evropská unie |
| PAU | Polycyklické aromatické uhlovodíky |
| PM | Prachové částice |
| VOC | Těkavé organické látky |
| ZUOVA | Zdravotní ústav Ostrava |

## Cizojazyčné zkratky

| | |
|---|---|
| ISO | International Organization for Standardization |

# 1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

Když se v roce 1800 zmocnila nová průmyslová odvětví fosilních paliv, většina lidí považovala zakouřenou oblohu za znak prosperity města a o případný vliv na zdraví téměř nejevila zájem. Až v polovině 20. století si začali spojovat hospitalizace a vážné případy úmrtnosti se znečištěným ovzduším a odstartovala se série měření, která potvrdila obavy [1].

V současné době představuje znečištěné ovzduší prachovými částicemi (PM) celosvětově ústřední téma vědeckých a výzkumných organizací, zabývajících se ochranou životního prostředí a veřejného zdraví. Environmentální politika EU označila rok 2013 za „rok ovzduší“, kdy chce lépe prozkoumat stávající opatření a hledat nové řešení.

Je známo, že nejhorší ovzduší v rámci EU je na území České republiky (Moravskoslezský kraj) a Polska. Regulační opatření, které by vedly ke zlepšení alarmujícího stavu, představují běh na dlouhou trať. Ze strany České republiky je však velký zájem o řešení situace a navrhuje dohodnout se na společném projektu pro Polsko a Českou republiku, který by pomohl zlepšit současný nepříznivý stav. Samozřejmě Slovenska, jako hraničního státu obou krajin, se problematika výrazně dotýká také, ovšem situace se tady moc nezkoumá. Pro zavedení konkrétních opatření je důležité provádět pravidelné monitorování ovzduší, které pomáhá rozšířit údaje o chování částic v ovzduší, stanovit zdroje emisí a přehodnotit účinnost stávajících zařízení a opatření k omezování znečišťování.

Problematika se netýká jen velkoměst, kde jsou hlavním zdrojem znečištění velké průmyslové podniky a automobilová doprava. Lidé, bydlící v malých městech a obcích podhorských oblastí, žijí často v iluzi, že mají čistý vzduch, ale že tomu tak nemusí být, nastiňují i výsledky mé práce. Vzhledem na nepříznivý vliv na životní prostředí a lidské zdraví, a aby mohlo dojít ke zlepšení situace, je důležité se problematikou více zabývat a šířit osvětu i v těchto oblastech, kde je hlavním zdrojem vysokých koncentrací PM lokální topení.

Cílem bakalářské práce bylo sledování koncentrace polétavého prachu ($PM_{10}$) v oblasti Kysucka, ve městě Turzovka během zimního období roku 2012/2013. Pro získání prvotních informací o kvalitě ovzduší bylo prováděno měření ve třech časových intervalech, které v jiných oblastech (Ostrava) definují vliv zvýšené aktivity obyvatel (8. – 9. hodin, 17. – 18. hodin) a klimatických podmínek (22. – 23. hodin). Pro identifikaci převažujících zdrojů znečištění byla využita i metoda měření počtu částic v definovaných velikostních třídách, která se využívá k rozlišení částic, které vznikají mechanickými procesy a částicemi ze spalovacích procesů.

# 2 PRACHOVÉ ČÁSTICE

Pro charakteristiku prachových častíc existují různé termíny, které mají tendenci být v populárních a vědeckých kontextech použity poněkud nedbale a mají různé významy. Můžeme se setkat s ekvivalenty jako *„polétavý prach“*, *„aerosolové částice“*, nebo jenom *„aerosol“*. Nicméně termín prachové částice, nebo PM (z anglického „particulate matter“), tradičně odkazuje na složitou směs velmi malých částic, suspendovaných ve vzduchu, které obsahují velký podíl kondenzované hmoty, jiné než voda. Částice se liší v počtu, velikosti, tvaru, povrchu, chemickém složení, rozpustnosti a původu [2],[3],[4].

Rozptýlené prachové částice absorbují sluneční a zemskou radiaci, podílejí se na tvorbě oblaků a srážek kondenzací krystalků ledu a ovlivňují také výskyt a distribuci atmosférických stopových plynů heterogenními chemickými reakcemi či dalšími vícefázovými procesy. Kromě toho polétavý prach hraje důležitou roli při šíření biologických organismů, reproduktivních materiálů a patogenů (pyl, bakterie, spory, viry, atd.), a také může způsobit nebo podpořit dýchací, kardiovaskulární, infekční a alergická onemocnění [3].

**Velikostní třídy**

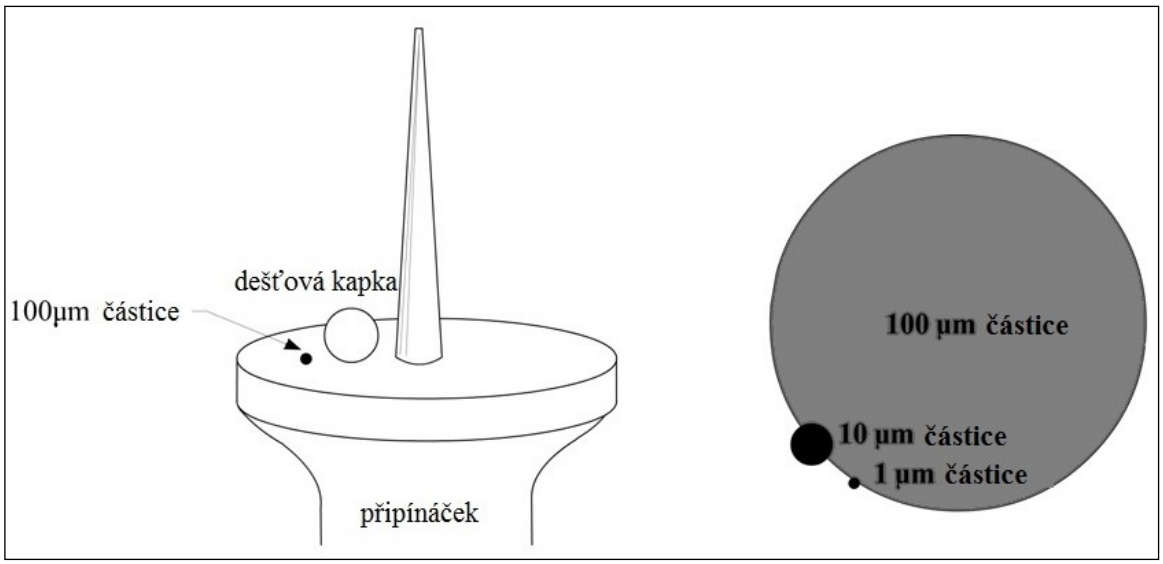
Klasifikace podle velikosti je poměrně významná, protože velikost ovlivňuje transport částic v ovzduší, jejich depozici v dýchacím systému, a taky částečně souvisí s chemickým složením a zdrojem částic. Podle velikosti se PM rozdělují do tří hlavních tříd: hrubé, jemné a velmi jemné částice. Číslice za označením PM popisují aerodynamický průměr částice. Aerodynamický průměr ($d_{ae}$) je průměr kulové částice o hustotě 1000 kg · $m^{-3}$ [5], [2].

**Hrubé částice** - označují se $PM_{10}$ a popisuje je aerodynamický průměr $d_{ae} \leq 10$ μm a $d_{ae}$ >2,5 μm. Částice velikostní třídy $PM_{10}$ mohou dosáhnout horní část dýchacích cest a plic. Vznikají především suspenzí nebo resuspenzí prachu, zeminy a jiných materiálů zemské kůry z komunikací, zemědělství, hornictví, vichřic, sopek. Hrubé částečky také zahrnují mořské soli, pyl, plísně, spory a jiné části rostlin [5],[4].

**Jemné částice** - označují se $PM_{2,5}$ a popisuje je aerodynamický průměr $d_{ae} \leq 2{,}5$ μm (i když, někteří argumentují, že lepším ukazatelem jemných částic by bylo $PM_1$ - částice s $d_{ae} \leq 1$ μm). Částice téhle třídy můžou proniknout hluboko do plic a dosáhnout alveolární oblast. Jemné částice vznikají především z přímých emisí z výfuků vozidel na benzin a naftu, spalování dřeva a uhlí při výrobě energie, a průmyslových procesech hutí, cementáren, papíren a oceláren [5], [4].

**Velmi jemná částice** - označují se $PM_{0,1}$ a popisuje je aerodynamický průměr $d_{ae} \leq 0{,}1\mu m$. Emise jemných částic pocházejí ze spalovacích zdrojů, výfukových plynů a atmosférických fotochemických reakcí. Nicméně, tyto primární velmi jemné částice mají značně krátkou životnost (minuty až hodiny) a rychle rostou (přes koagulace a/nebo kondenzace) do větších komplexních agregátů, ovšem většinou zůstanou jako součást $PM_{2.5}$ [4].

Pro lepší představu o velikosti částic předpokládejme, že všechny částice jsou jednoduše koule. Obrázek 1 znázorňuje porovnání dešťové kapky velikosti 500 μm, vedle které je částice velikosti 100 μm, a dále srovnání částic 1 μm, 10 μm, a 100 μm, mezi kterýma je vidět podstatný rozdíl [6].




***Obrázek 1**: Nalevo porovnání částice velikosti 100 μm s dešťovou kapkou, napravo srovnání částic velikosti 1μm a10μm s částicí velikosti100μm [6]*

Obecně je monitoring prachových částic zaměřený na velikostní třídy $PM_{10}$ a $PM_{2,5}$, ale v poslední době je větší zájem o velmi jemné částice $PM_{0,1}$, protože slouží jako primární zdroj jemných částic, a jelikož jsou špatně rozpustné, mohou být lépe transportovány z plic do krve a jiných části těla než větší frakce [4].

## Chemické složení

Pokud jde o chemické složení prachových částic, jedná se o heterogenní směs organických a anorganických látek. Konkrétně můžou sestávat z několika prvků (Si, Al, Ca, Fe, Ti), přechodných kovů (V, Cr, Ni, Cu, Zn), Pb, anorganických iontů ($SO4^{2-}$, $NO_3^-$, $Na^+$, $NH_4^+$, $K^+$), a těkavých organických sloučenin VOC. Mimoto, složení PM je časově a prostorově vysoce variabilní. Závisí na klimatických změnách, zdrojů emisí, a geografické poloze. Složení se může měnit dokonce i během jednoho dne [3], [7].

Monitoring zaměřený na třídy $PM_{10}$, $PM_{2.5}$ a sub-mikro PM v nejvíce urbanizovaných místech, vyčlenil šest hlavních látek [8]:

1. Materiál neogenního původu (silikáty a oxidy)
2. Organický uhlík (OC- sestávající ze stovek různých sloučenin)
3. Elementární uhlík (EC - taky nazývaný černý uhlík, nebo saze)
4. Sulfáty
5. Nitráty
6. Amoniak

Seznam nejběžněji zastoupených prvků v různých zdrojích emisí je uveden v Tabulce 1 [8].

***Tabulka 1:*** *Hlavní prvky spojeny s různými zdroji emisí [8]*[1]

| **Zdroje emisí** | **Hlavní prvky** |
|---|---|
| Půda | Al, Si, Sc, Ti, Fe, Sm, Ca |
| Prach z komunikací | Ca, Al, Sc, Si, Ti, Fe, Sm |
| Mořská sůl | Na, Cl, $Na^+$, $Cl^-$, Br, I, Mg, |
| Spalování nafty | V, Ni, Mn, Fe, Cr, As, S, $SO_4^{2-}$ |
| Spalování uhlí | Al, Sc, Se, Co, As, Ti, Th, S |
| Železárenský a ocelárenský průmysl | Mn, Cr, Fe, Zn, W, Rb |
| Neželezný kovový průmysl | Zn, Cu, As, Sb, Pb, Al |
| Sklářský průmysl | Sb, As, Pb |
| Cementárny | Ca |
| Spalování odpadů | K, Zn, Pb, Sb |
| Spalování biomasy | K, EC, OC, Br, Zn |
| Benzínové motory | EC, Br, EC, La, Pt, $SO_4^{2-}$, $NO_3^-$ |
| Dieselové motory | OC, EC, S, $SO_4^{2-}$, $NO_3^-$ |
| Sekundární aerosoly | $SO_4^{2-}$, $NO_3^-$, $NH_4^+$ |

[1] Prvky v tabulce jsou uspořádány podle pořadí priority.

## 2.1 Příčiny vzniku a výskytu jemných částic

### 2.1.1 Tvorba PM

Velikost vzniklých částic je do značné míry závislá na typu mechanismu tvorby částic. Mezi nejdůležitější mechanismy tvorby PM ze zdrojů znečišťujících ovzduší patří následující [9]:

- fyzikální tření
- spalování paliva
- homogenní kondenzace
- heterogenní nukleace

Fyzikální tření se uplatňuje v procesech broušení a drcení. U tření dochází k odlamování malých částeček z obou povrchů, přičemž složení a hustota těchto částic jsou identické s původními materiály. Princip tření se využívá i v průmyslových spalovacích procesech za účelem přípravy, nebo zavedením tuhého paliva do pece, které, aby hořelo, musí být rozemleté z důvodu vystavení dostatečné plochy kyslíku. Fyzikálním třením vznikají především hrubé frakce, zpravidla ne menší než 10 μm [9].

Při procesu spalování paliva se většina organických sloučenin z palivových částic odpařuje a oxiduje v plynném kouři. Tím, že prchavé látky odcházejí, palivové částice se redukují jen na nehořlavý popel a vznikají částice 1 – 10 μm [9].

Homogenní kondenzace a heterogenní nukleace zahrnují přeměnu plynné fáze látek na formu částic. Homogenní nukleace představuje tvorbu nových částic, složených téměř výhradně z plynné fáze látek. Heterogenní nukleace je hromadění látek na povrchu částic, které vznikají v důsledku jiných mechanismů. V obou případech, páru obsahující plyn, se musí ochladit na teplotu, při které může nastat nukleace. Teplota, při které začínají páry kondenzovat, se nazývá rosný bod a závisí na koncentraci par. Vyčleňují se tři hlavní kategorie látek plynné fáze, které můžou nukleovat v ovzduší znečištěném plynnými zdroji:

- organické sloučeniny
- anorganické kovy a kovové sloučeniny
- chloridové sloučeniny

Obecně vytváří homogenní a heterogenní nukleace velmi malé částice, často mezi 0,05 a 1,0 μm [9].

### 2.1.2 Primární a sekundární částice

Primární částice zahrnují:

- látky přímo emitované do atmosféry
- „kondenzovatelné“ částice tvořeny rychlou kondenzací páry

Primární PM můžou tvořit částice menší než 0,1 μm, ale i větší než 100 μm. Velmi velké částice mají schopnost vytvářet prachovou zátěž v blízkém okolí jejich emisí. Menší částice se stávají polétavé a jsou přenášeny, čímž přispívají v atmosféře k částicovým hladinám, a to jak v městských oblastech, tak i nad vzdálenějšími regiony. Těkavé organické látky s vysokou molekulovou hmotností a kyselina sírová, jsou dva běžné příklady emisí, které jsou za normálních podmínek v plynném stavu, ale kondenzují a tvoří prachové částice [9].

Sekundární částice zahrnují:

- tvorbu nových částic chemickými reakcemi
- přidávání látek do již existujících částic

Sekundární PM vznikají v důsledku atmosférických reakcí plynných prekurzorů. Síran amonný a dusičnan amonný jsou dva běžné příklady látek přítomných v sekundárních částicích vznikajících atmosférickými reakcemi. Tyto látky se tvoří několik hodin až dní, kdy plynné prekurzory tvoří oblaka a ve velkých vzduchových masách se pohybují po celém kraji. Procesy sekundární tvorby mohou vést k tvorbě nových částic, nebo přidávání látek do již existujících částic. Nejčastější plyny spojené se sekundárním vznikem částic jsou oxid siřičitý, oxidy dusíku, amoniak a těkavé organické sloučeniny. Většina z těchto plynných prekurzorů je emitovaná z antropogenních zdrojů, ale i některé biogenní zdroje emitují oxidy dusíku, amoniaku a těkavé organické sloučeniny. Mezi zásadní parametry, řídící sekundární tvorbu částic, patří teplota, relativní vlhkost a koncentrace organických a anorganických nukleačních a kondenzačních par, které závisejí na atmosférickém transportu stejně jako na místních zdrojích a propadů jako je fotochemie a již existující aerosol nebo oblakové částice [9], [3].

### 2.1.3 Zdroje PM

Prachové částice pocházejí z nejrůznějších přírodních a antropogenních zdrojů [3].

**Přírodní zdroje**

Mezi nejvýznamnější přírodní zdroje patří uvolňování aerosolů při půdních erozích větrem (tzv. větrná eroze) a vypařování kapiček mořské vody v přímořských oblastech. Další důležité přírodní zdroje jsou výbuchy sopek, lesní požáry, spory a pyl. Přírodní procesy působí i při proměně plynu na částice (tzv. konverze plyn - částice). Konverze může být fyzikální – například kondenzace terpenů a pinenů v lesnatých oblastech, nebo chemická – produkcí aerosolu kyseliny sírové z oxidů síry, dimethylsulfidu ($CH_3SCH_3$) a sulfánu. V stratosféře jsou aerosoly kyseliny sírové formovány přes fotodisociace karbonylových sulfidů (COS) na CO a S [2].

**Antropogenní zdroje**

Antropogenní emise představují hlavní zdroj atmosférického aerosolu. Všechny aktivity jako spalování, broušení, tavení, mletí, drcení, orba nebo postřik produkují prachové částice. Velká část z nich je dostatečně jemná, aby i nadále suspendovala ve vzduchu, v závislosti na počátečním rozdělení velikosti [3], [2].

Mezi největší producenty prachových částic se řadí průmyslová výroba, automobilová doprava a lokální vytápění. Neopomenutelným přispěvatelem je i kouření cigaret, které podle výzkumu v Itálii tvoří 2% z celkových emisí [7].

Emise částic a prekurzory plynů ze spalování biomasy a fosilních paliv se výrazně zvýšily od doby před průmyslovou revolucí, a to platí jak pro ovzduší znečištěných měst, tak i v globální atmosféře (uhlíkaté složky, sulfáty, atd.). Spalování biomasy vytváří nestálou směs saze, síranů, dusičnanů a uhlovodíků. Malé dieselové motory (osobní automobily a dodávky) emitují kolem 5g částic na litr paliva, u těžších nákladních aut vzrůstá tohle množství o zhruba 12 g. Pro porovnání, vozidla s benzinovými motory bez katalyzátoru emitují jen kolem 0,5 g. Sekundární antropogenní zdroje tvoří sulfátové a nitrátové částice konvertované z primárních plynných emisí, organických a emisí VOC. Proto z celkové produkce 5,5 x 109 t, 90% je přírodního původu. Nicméně, antropogenní částice mají zásadní vliv na atmosféru. Jejich produkce je soustředěna v městských a hustě osídlených oblastech a nejvíce se tvoří jako malé sekundární částice a dlouhý čas setrvávají v atmosféře [3], [2].

## 2.2 Vliv na zdravotní stav obyvatel a ekosystémů

### 2.2.1 Ohrožení lidí

Lidé jsou vystaveni PM nepřetržitě, ať už ve svých bytech nebo na pracovištích, při dojíždění, rekreaci a jiných volnočasových aktivitách [10].

Společná studie Světové zdravotnické organizace (WHO), World Resources Institute (WRI) a US Environmental Protection Agency (EPA) v roce 1997, odhadovala, že téměř 700.000 úmrtí na celém světě je spojeno se znečištěním ovzduší, a že tento počet by mohl do roku 2020 přerůst na 8 milionu úmrtí [2].

The Clean Air for Europe (CAFE) program Evropské komise (2005), provedl integrované posouzení zdravotních dopadů populačních expozic venkovním jemným částicím ($PM_{2,5}$) znečišťujících ovzduší v 25 členských zemích (EU-25). Posouzení vyústila k odhadu téměř 350.000 předčasných úmrtí ročně, v důsledku současných hodnot okolních $PM_{2,5}$, a že statistický život průměrného občana v EU se zkrátil zhruba o osm měsíců (v rozmezí 4 -13 měsíců v různých zemích) [11].

**Vztah mezi velikostí PM a ohrožením dýchacího traktu**

Evropská norma ČSN EN 481 definuje na základě výzkumů provedených na větším počtu zdravých dospělých jedinců, jakým podílem se složky polétavého prachu distribuují do lidského organismu dýcháním přes nos a ústa, na základě hlavně jejich velikosti v μm. Vdechnuté částice se mohou ukládat v dýchacím traktu, nebo mohou být opět zpět vydechnuté. Evropská norma ČSN EN 481 uvádí několik složek z celkové prašnosti na základě velikosti prachových částic reprezentovaných aerodynamickým průměrem v μm [12]:

- **Vdechovatelná frakce (Inhalable):** hmotnostní frakce poletavého prachu, který vstupuje do dýchacího traktu přes nos nebo ústa ($D_{50}$[2] = 100 μm).
- **Thorakální frakce (Thoracic):** hmotnostní frakce vdechovaných částic, které proniknou za hrtan do vodivých dýchacích cest (průdušnice, bifurkace) a oblasti průdušek ($D_{50}$ = 10 μm).
- **Respirabilní frakce (Respirable):** hmotnostní frakce vdechnutých částic, které proniknou do nejhlubší části plic, kde není řasinkový epitel ($D_{50}$ = 4 μm) [14], [15].

[2] $D_{50}$ je mezní průměr částic – *„velikost částice, která má stejnou pravděpodobnost (50%), že separačním stupněm projde, jako že se na něm zachytí“[13]*.

- **Extrathorakální frakce (Extrathoracic):** hmotnostní frakce vdechnutých částic, které nedokážou proniknout za hrtan. Extrathorakální frakce se získá odečtením thorakální frakce z vdechovatelné.

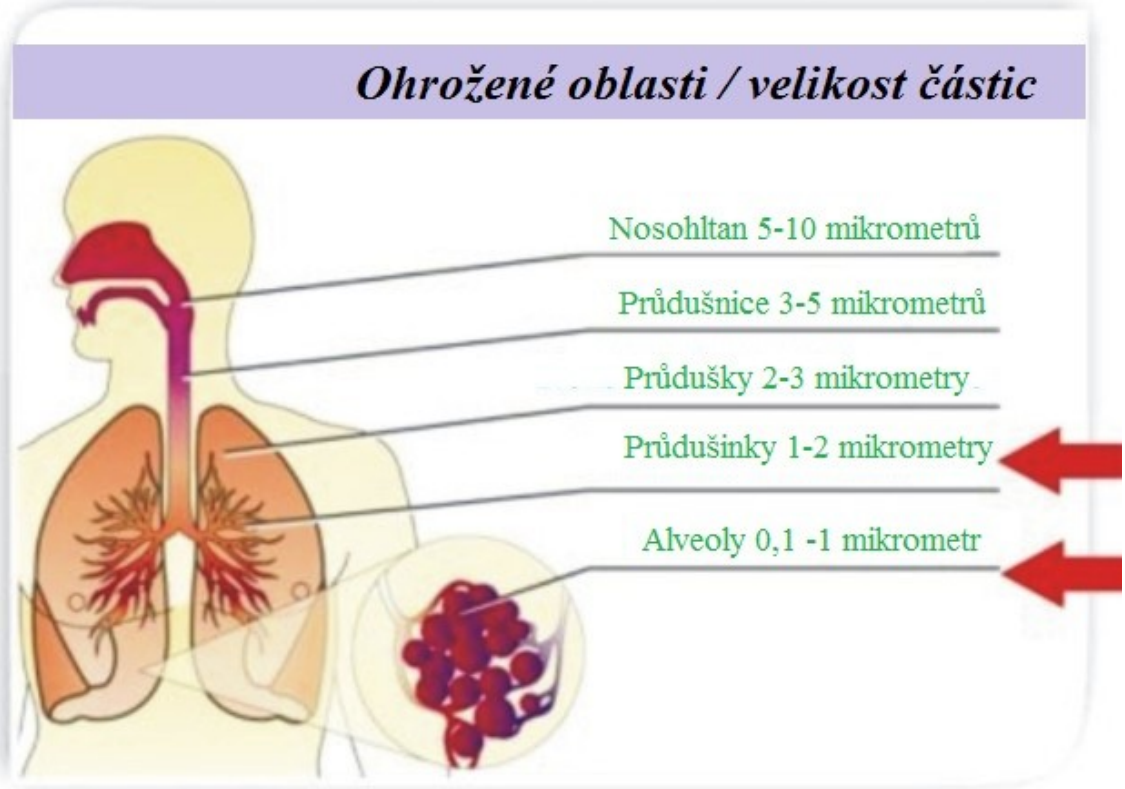
  Extrathorakální = vdechovatelná -thorakální

- **Tracheobronchiální frakce (Tracheobronchial):** hmotnostní frakce vdechnutých částic, které proniknou za hrtan, ale neproniknou do alveol. Tracheobronchiální frakce se získá odečtením respirabilní frakce z thorakální.

  Tracheobronchiální = thorakální – respirabilní [14], [15].

Je důležité poznamenat, že tyto velikostní konvence jen přibližují chování částic v lidském dýchacím traktu zdravých dospělých. Skutečná penetrace částic a depozice bude záviset na rychlosti a směru větru, fyzické kondici jednotlivců, frekvenci dýchání, zda se dýchá nosem nebo ústy a na dalších faktorech [14].

Možnou hloubku průniku jednotlivých velikostních tříd do dýchacího traktu člověka znázorňuje Obrázek 2.




***Obrázek 2:*** *Průnik jednotlivých velikostních tříd prachu do dýchacích cest [16]*

**Expozice PM**

Zkoumání účinků PM na lidské zdraví se rozděluje v závislosti na době vystavování lidí PM, a to na účinky spojené s krátkodobou a dlouhodobou expozici.

Při krátkodobé expozici se uvádějí následující účinky:

- plicní zánětlivé onemocnění
- dýchací problémy
- nepříznivé účinky na kardiovaskulární systém
- nárůst léčebných kúr
- zvýšení hospitalizací
- zvýšení úmrtnosti [17].

Při dlouhodobé expozici se uvádějí následující účinky:

- zvýšení onemocnění dolních cest dýchacích
- snížení funkce plic u dětí a dospělých
- zvýšené chronické plicní nemoci
- zkrácení délky života, a to především kardiopulmonární úmrtností a pravděpodobně rakovinou plic [17].

**Mechanismy účinků PM**

Všechny experimenty a studie nasvědčují, že PM vyvolává nebo zhoršuje onemocnění, nebo se vyznačuje prostřednictvím několika mechanismů, jak je uvedeno níže [17].

Hlavně, v souvislosti s onemocněním plic, se uvádí zánětlivé reakce, které plicní tkáň nemůže zvládnout. Dochází k poškození a přetvoření tkáně, co může vést k přestavbě struktury, snížení kapacity a omezení funkce plic. PM také napomáhá v spouštění a zhoršení alergické reakce. Zejména jemné částice PM vyvolávají oxidační poškození DNA, následně mutace a karcinogenitu. Účinky se mohou zhoršit nedostatečnou opravou DNA a nízkou schopností aktivovat detoxikace karcinogenních metabolitů. Vliv PM na kardiovaskulární systém se projevuje vytvořením trombózy, nebo rozrušením aterosklerotických plátů. Kromě toho, vliv na srdce je zprostředkovaný přes účinky na nervový systém, nebo působením přímo na srdce samotné. Poslední mechanismus

představuje prosakování stresových mediátorů z plic nebo přímý účinek rozpustné sloučeniny či jemných částic na srdeční buňky. Které PM složky mohou být nejdůležitější pro účinky na zdraví, stále zůstává otázkou intenzivního výzkumu. Mnoho PM částic je schopno ovlivnit tvorbu kyslíkových radikálů. Povrch a složení jsou významnější faktory ovlivňující účinky částic než hmotnostní koncentrace. Odlišné chemické látky mohou vyvolat rozmanité účinky. Některé PAU jsou obzvláště účinné ve vyvolání poškození DNA a mohou být prekurzorem vzniku rakoviny. Některé kovy, ale také nekovové jemné částice ovlivňují vznik zánětu. Jemné částice ovlivňují kardiovaskulární reakce a hrubé částice mohou mít vliv na funkci kardiovaskulárního systému [17].

V Tabulce 2 jsou uvedeny účinky některých těžkých kovů, jako složek částic na lidské zdraví.

***Tabulka 2:*** *Účinky těžkých kovů složek částic na lidské zdraví [18]*

| **Těžký kov** | **Environmentální zdroje** | **Minimální úroveň rizika** | **Chronické účinky expozice toxicita** |
|---|---|---|---|
| Olovo | Průmyslové a automobilové emise, barvy a spalování plastů, papírů atd. | Hladiny olova v krvi pod 10 mikrogramů na decilitr krve | Snížení neurologického vývoje, potlačení hematologického systému (anémie), selhání ledvin, oslabení imunity atd. |
| Rtuť | Elektronické a plastové odpady, pesticidy, farmaceutický a zubní odpad. | Pod 10 mikrogramů na decilitr krve; ústní referenční dávka 4 mg / kg / den | Trávicí těžkosti a podráždění dýchacích cest, selhání ledvin, neurotoxicita |
| Kadmium | Elektronika, plasty, baterie | Pod 1 mikrogram na decilitr krve | Podráždění plic a trávicího traktu, poškození ledvin a vady kosterní soustavy. |
| Arzén | Herbicidy a pesticidy, elektronika, spalování odpadu obsahujícího prvek, kontaminované vody. | Orální expozice 0,0003 mg / kg / den, | Zánět jater, periferní nervové poškození – neuropatie, rakovina jater, kůže a plic, podráždění a zápal horních dýchacích cest, rýma, anémie, kardiovaskulární onemocnění. |

### 2.2.2 Ohrožení ekosystémů

**Ekosystém** představuje základní jednotku přírody, ve které probíhá trvalá výměna hmoty a energie. Tvoří ho společenství všech jeho organizmů (biocenóza), které žijí na určitém území (biotop) [19].

Současné regulační a výzkumné iniciativy zabývající se prachovými částicemi (PM) řeší v první řadě vliv PM na lidské zdraví, pak vliv na viditelnost, a až na třetím místě jsou různé a nejasně vymezeny účinky PM na ekosystémy. Přesto se za nejvíce škodlivé dlouhodobé účinky PM, z lidské perspektivy, můžou nakonec jevit environmentální důsledky snížené biologické rozmanitosti a ztráty „ekosystémového zboží a služeb". Chceme-li zachovat tyto prospěšné „služby" biodiverzity a celistvosti na všech úrovních biologické organizace, od jednotlivců po ekosystémy, musí být udržována (v současné době neznámá) minimální úroveň. Charakterizace možných PM dopadů na funkce ekosystémů zůstávají důležité výzkumné potřeby s velkým potenciálním významem pro lidské blaho. Účinky částic mohou vyplývat z přímé nebo nepřímé depozice [20].

**Přímé účinky**

PM jsou ovlivněny chemickou povahou, velikostí částic polétavého prachu a chybějícím jasným rozlišením mezi účinky PM a účinky jiných látek znečišťujících ovzduší (PAU, VOC). Většina snadno identifikovatelných přímých účinků se vyskytuje v silně znečištěných oblastech, kolem hustě industrializovaných bodových zdrojů, jako jsou vápencové lomy, cementárny, hutnické podniky pro železo, olovo, nebo různé jiné kovy. Zdokumentované toxické účinky částic na vegetaci jsou spojeny s jejich kyselostí, stopovým obsahem kovů, obsahem živin, povrchovými vlastnostmi, nebo slaností [20].

Dlouhodobé znečišťující zranění na lesních společenstvích můžou mít za následek ztrátu citlivých druhů, ztráty korun stromů a zajištění zbytkového krytu tolerantními bylinami nebo keři, které jsou považovány za sukcesní druhy. Zásadité částice vápencového prachu mohou způsobit snížení růstu dominantních stromů, a to následkem tvorby povlaků na listech, co snižuje fotosyntézu, vyvolává předčasný opad listů a poškození listových tkání. Alkalický prach s vysokou koncentraci oxidu hořečnatého (MgO), zachycený na ploše listu, způsobuje narušení epikutikulárních vosků. Cementový prach uvolňuje hydroxid vápenatý ($CaOH_2$), který může ovlivnit alkalickou reakci na povrchu listů (až do pH 12). Tato hodnota alkalické reakce může způsobit hydrolýzu složky tuků a vosků, způsobit denaturaci bílkovin a následně plazmolýzu. Vrstva vápencového prachu na stélce lišejníku poškozuje jejich fotosyntetický aparát. To vše vede ke změně v struktuře a funkci společenstva [21]. Depozice částic ovlivňuje i mikrobiální

společenství žijící ve fylosféře (mikroprostředí obklopující nadzemní orgány rostlin), které hrají důležitou roli v rozkladu opadu. Změna společenství hub na jehličí oslabuje společenství dekompozitorů, což snižuje rychlost rozkladu opadů a pomalu se rozkládající opad ovlivňuje dostupnost živin v ekosystému. Epifytické lišejníky a mechy jsou kvůli své nutriční závislosti taky ve velkém ohrožení. [21].

**Nepřímé účinky**

V mnoha případech jsou nepřímé účinky výraznější než přímé. Závisí především na chemickém složení PM a uplatňují se hlavně ve vztahu půda a rostlina. Účinné jsou jen biologicky aktivní látky [20].

Půdní prostředí (složené z minerálních a organických látek, vody, vzduchu, a obrovského množství bakterií, hub, řas, aktinomycet, prvoků, hlístovců a členovců) je dynamická složka málo charakterizované biologické interakce. Bakterie a houby jsou obvykle nejhojnější v rhizosféře (půdě kolem kořenů rostlin), kterou musí projít všechny minerální živiny. Tyto organizmy v půdě prosperují ze živin v kořenových výměšcích (hlavně cukrů) a hrají zásadní roli při vytváření chemické a biologické transformace, rozkládající se organické hmoty a vytvářejí anorganické minerály přístupné pro absorpci rostlinami. Bakterie, důležité v koloběhu dusíku a síry, dělají tyto prvky přístupné pro absorpci a růst rostlin. Houby jsou přímo nezbytné pro růst rostlin. Přitahované ke kořenovým výměškům, vytvářejí mykorhýzu (mutualistický symbiotický vztah), která je nedílnou součástí příjmu minerálních živin. Vliv PM na ekosystémy (zejména dusičnany, sírany a kovy) je udáván jejich účinky na růst bakterií zapojených do koloběhu živin a hub zapojených v příjmu živin. Nepřímé účinky se většinou projevují jako chronické stresy. K reakci ekosystémů vůči chronickým stresům dochází v průběhu času, a je obtížné je určit, protože změny jsou nepatrné. Změny v půdě můžou být pozorovány až do doby akumulace znečišťující látky trvající 10 let a více, s výjimkou těžce znečištěných oblastí v okolí průmyslových bodových zdrojů. Kromě toho, přítomností jiných společně se vyskytujících znečišťujících látek je obtížné přisoudit efekty PM samotných. To platí zejména, když jsou přítomny v ovzduší jiné znečišťující látky, které mohou produkovat aditivní nebo synergické reakce, i když se PM koncentrace nemusí měnit [20].

Koncentrace PM je spojena se suchou a mokrou depozicí síranových a dusičnanových částic a na zemském povrchu vede k acidifikaci a eutrofizaci [20]:

**Acidifikace** je proces, při kterém se zvyšuje kyselost abiotických složek životního prostředí. Znečisťující látky, především oxidy síry a dusíku, vypouštěné do ovzduší ze stacionárních a mobilních zdrojů, jsou v atmosféře transformovány na kyselinu sírovou ($H_2SO_4$) a dusičnou ($HNO_3$) a způsobují kyselost srážek. Následně okyselují půdu, vodu, vedou ke zhoršení zdravotního stavu organizmů, poškozování lesů [23]. Vlivem kyselých

srážek se z půdy vylouhují a ztrácí některé výživné látky (vápník, mangan, sodík, draslík) a kořeny rostlin v kyselém prostředí snadněji vstřebávají toxické kovy. Závažným problémem je překyselování jezer a následní úhyn ryb (zejména lososů a pstruhů) [23].

**Eutrofizace** je obohacování vody živinami, hlavně sloučeninami dusíku a fosforu, které má za následek zvýšený růst sinic, řas a vyšších rostlinných forem, čím může dojít k nežádoucímu zhoršování biologické rovnováhy a kvality této vody. Ve vodním prostředí dochází nežádoucím jevům, jako deficit kyslíku při dně, snížení biodiverzity a produkce cytotoxinů (toxiny vytvářené sinicemi). V průběhu eutrofizace nastávají změny jak v populaci řas (která se zvětšuje) tak i v zooplanktonu, populaci ryb, měkkýšů a kůrovců, které jsou velmi citlivé na dostupnost kyslíku a změny v chemickém složení vody, které alkalita v průběhu intenzivní fotosyntézy rychle stoupá [24], [25].

# 3 CHARAKTERISTIKA OBLASTI

## Vymezení území

Region Kysuce leží v severozápadní části Slovenska, v prostoru vymezeném 18° 06’ 22” až 19° 66’ 22” východní délky a 54° 59’ 00” až 54° 89’ 01” severní šířky. Rozlohou 934 km$^2$ zabírá 1,9% rozlohy Slovenska. Region patří do Středoslovenského kraje a má dva okresy: okres Čadca a okres Kysucké Nové Město. Na severu hraničí s Polskem a na severozápadě s Českou republikou, její Severomoravským krajem, okresy Frýdek-Místek a Vsetín. Na východě hraničí s regionem Orava, na jihu s okresem Žilina a na jihozápadě s okresy Považská Bystrica a Bytča [26], [27].

## Krajina Kysúc

Území regionu (Obrázek 3) se vyznačuje vysokou členitostí reliéfu s nadmořskou výškou od 323 m n. m. v „Kysucké bráně“ do 1236 m n.m. (Velká Rača). Značnou část Kysúc zabírají lesní porosty (téměř 59% území), tvořené převážně jehličnatými lesy jako důsledek v minulosti odlesněných údolních a svahových poloh. K zachovalým zbytkům původních rostlinných společenstev patří listnaté a smíšené lesy, hlavně bukové a jedlobukové. Podmínky pro zemědělství jsou nevyhovující z hlediska bonity půdy a povětrnostních vlivů. Dominantním tokem je řeka Kysuca, protékající středem území. Zajímavostí regionu je naleziště ropného pramene v obci Korňa [28].

***Obrázek 3:*** *Mapa regionu Kysuce [29]*

**Turzovka**

Město Turzovka (Obrázek 4) je součástí Žilinského kraje a územím spadá do příhraniční oblasti Horních Kysúc sousedící s Českou a Polskou republikou. Turzovka spojuje území obcí Dlhá nad Kysucou, Klokočov a Korňa. Území města leží mezi vrchy Javorníků a Beskyd, kde se nadmořská výška pohybuje v rozmezí 700 - 800 m. n. m. a zároveň patří do 2. stupně ochrany Chráněné krajné oblasti Kysúc (CHKO Kysuce) [30], [31].

***Obrázek 4:*** *Pohled na město Turzovka [Štrbová, 2013]*

## 3.1 Zdroje znečištění

Na základě poznatků o chování prachových částic v ovzduší lze tvrdit, že na znečištěném ovzduší v Turzovce se podílejí jak místní (lokální) zdroje, tak i vzdálenější (dálkové) zdroje z regionu a z příhraničního okolí Moravskoslezského kraje a Polska.

### 3.1.1 Lokální přenosy

Samotné město Turzovka je rozlohou (3498 ha) malé, a tedy nedisponuje velkými závody nebo provozy, které by mohly mít negativní dopad na kvalitu ovzduší. Je tedy zřejmé, že kvalitu ovzduší tady ovlivňuje hlavně bytová výstavba. [30], [31].

**Lokální vytápění**

Ve městě je evidován vyšší podíl rodinných domů s vytápěním na pevné palivo (dřevo, uhlí a nízko energetický kal) než s vytápěním na zemní plyn nebo elektrickou energii. Přehled o druhu vytápění u podnikatelských subjektů a trvale obydlených rodinných domů v rámci obce uvádím v Tabulce 3.[31].

***Tabulka 3:*** *Přehled o vytápění v městě Turzovka [32]*

| Druh vytápění | Počet podnikatelských subjektů | Počet trvale obydlených domů |
|---|---|---|
| Elektrická energie, zemní plyn | 162 | 565 |
| Pevné palivo (uhlí, kal, dřevo, brikety, pelety) | 20 | 688 |
| Celkem | 182 | 1253 |

***Obrázek 5:*** *Lokální vytápění [Štrbová, 2013]*

**Doprava**

Na znečištění ovzduší ve městě se významně podílí i emise z dopravy. Výhodná poloha města, blízko hraničního přechodu Slovenska s Českou republikou má za následek frekventovanou automobilovou dopravu. Kromě osobních automobilů je zde častý provoz nákladních automobilů, k čemuž přispívá i skutečnost, že ve městě sídlí dvě společnosti kamionové přepravy, konkrétně: Alexander Iványi (Mezinárodní kamionová doprava) a .ALTA T, a.s. (Tuzemská a mezinárodní přeprava) [33], [34].

**Průmysl**

Z průmyslových podniků, sídlících ve městě, se za významný zdroj emisí pokládá společnost TURZOVSKÁ DREVÁRSKA FABRIKA s.r.o. (Obrázek 6). Hlavním předmětem činnosti podniku je výroba řeziva, hranolů a jiných dřevených výrobků ze smrku a borovice, a také výroba tepla pro vlastní výrobní provoz a dodávka tepla pro firmu, která zásobuje teplem bytové a nebytové objekty v městě Turzovka. Podnik byl v roce 2010 modernizován, a k stávajícím dvěma biomasovým kotlům s instalovaným výkonem 3,5 MW byl v areále výrobního závodu instalován a spuštěn do provozu nový biomasový kotlový systém s výkonem 4,0 MW. Modernizací si vedení podniku slibuje zvýšení objemu výroby tepla z obnovitelných zdrojů energie pro potřeby cílových spotřebitelů v městě Turzovka, zefektivnění zpracování a vyžití dřevného odpadu z vlastního provozu a zvýšení ochrany ŽP odstavením fosilních zdrojů tepla [35].

***Obrázek 6:*** *Biomasová kotelna s instalovaným výkonem 3,5 MW po modernizaci [35]*

### 3.1.2 Dálkové přenosy

Ovzduší města Turzovka a jeho přilehlých částí je dlouhodobě ovlivňováno blízkými příhraničními podniky z České republiky, jako jsou Třinecké železárny (jeden z nejstarších a nejvýznamnějších hutnických podniků v České republice), Energetika Třinec a doly. V samotném regionu Kysuce se nenacházejí velké průmyslové podniky, které by mohly výrazně zhoršovat kvalitu ovzduší, vyskytuje se zde jen několik menších provozoven [31].

Seznam provozovatelů v regionu s ročním množstvím vypouštěných emisí tuhých znečisťujících látek (TZL) uvádí Tabulka 4.

***Tabulka 4:*** *Zdroje emisí (t/rok) [36]*

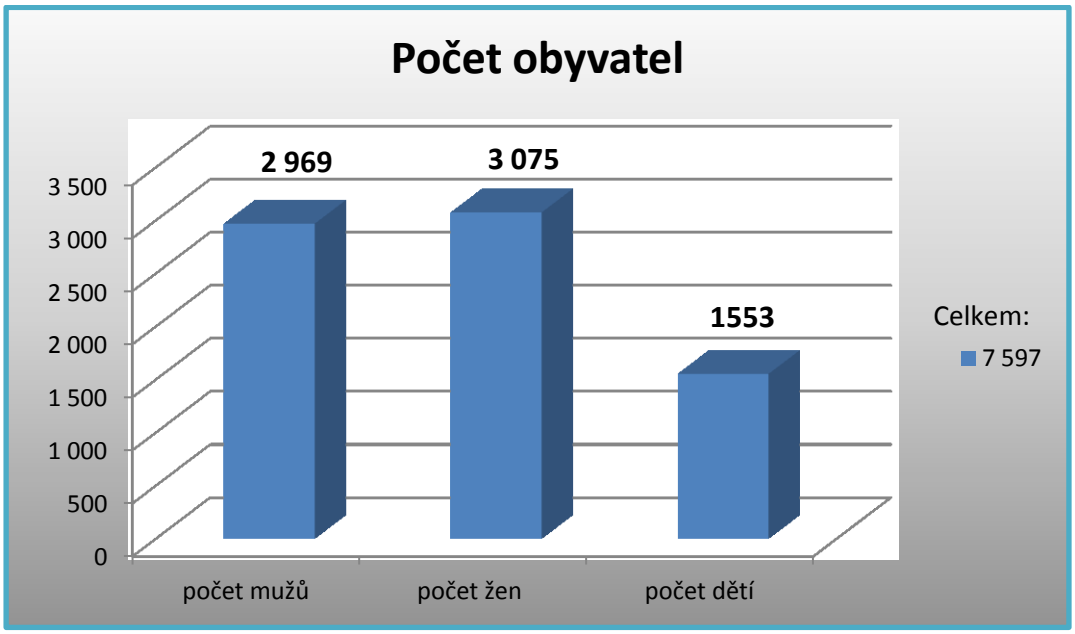
| **Provozovatel** | **TZL (t)** |
|---|---|
| AGROEFEKT | 0,004007 |
| ALU-METAL | 0,513063 |
| ANNUS | 0,004149 |
| AVC Raková | 0,072261 |
| Belfein Slovana | 0,145365 |
| BIOMASA, združenie právnických osob | 0,36505 |
| COOP Jednota Čadca | 0,007879 |
| DECURIO | 0,135853 |
| DK-IMMO | 0,003709 |
| Domov sociálnych služieb a zariadenie pre seniorov | 0,025384 |
| DOPRAVA A SLUŽBY K & T | 0,045176 |
| ENERGETIKA TURZOVKA | 0,001672 |
| Gnotec-Ferrex | 0,001758 |
| Gymnázium Jozefa Miloslava Hurbana | 0,003948 |
| Horawood | 0,78 |
| HOSPOL | 0,705 |
| HT-design | 0,049604 |
| KOMAD | 0,035336 |
| Konzerváreň Tutovka | 0,365808 |
| Kysucká nemocnica s poliklinikou Čadca | 0,094259 |
| Kysucké pekárne | 0,05814 |
| LESY Slovenskej republiky | 0,019778 |
| Materská škola | 0,441806 |
| Mestská teplárenská spoločnosť | 0,245789 |
| Moget | 0,004177 |
| Obec Makov | 0,530131 |
| Obec Raková | 0,001552 |
| Okrasa | 0,008125 |
| Pedagogická a sociálna akadémia sv. Márie Goretti | 0,002554 |
| **Celkem** | 4,671333 |

## 3.2 Klimatické podmínky a meteorologické informace

Kysuce patří do klimatické oblasti mírně teplé (průměrná teplota v červenci nad 16 °C) a chladné (průměrná teplota v červenci 12 - 16 °C). Členitost terénu způsobuje vysoký výskyt inverzních stavů (až ve 40% dnů). Průměrná červencová teplota v dolinách je 16 - 17°C, v pohořích se snižuje na 11-12°C. Nejchladnější měsíc je leden s průměrnou teplotou -5°C až -8°C. Z hlediska srážkových poměrů jsou Kysuce vlhkou oblastí s průměrným ročním úhrnem 800 - 1000 mm, ve vyšších polohách až 1400 mm. Maximum srážek připadá na červenec, minimum na leden resp. únor. Ve vegetačním období, trvajícím přibližně 275 dní spadne přibližně 60% srážek. Charakteristický pro danou oblast je výskyt přívalových dešťů, v měsících červen - srpen. Větrné poměry ovlivňuje cirkulace v ovzduší a morfologie terénu. Dominuje severní, jižní a západní proudění. Délka období se sněhovou přikrývkou je rozdílná, a to v závislosti na nadmořské výšce - od 90 do 120 dnů v roku [26], [37].

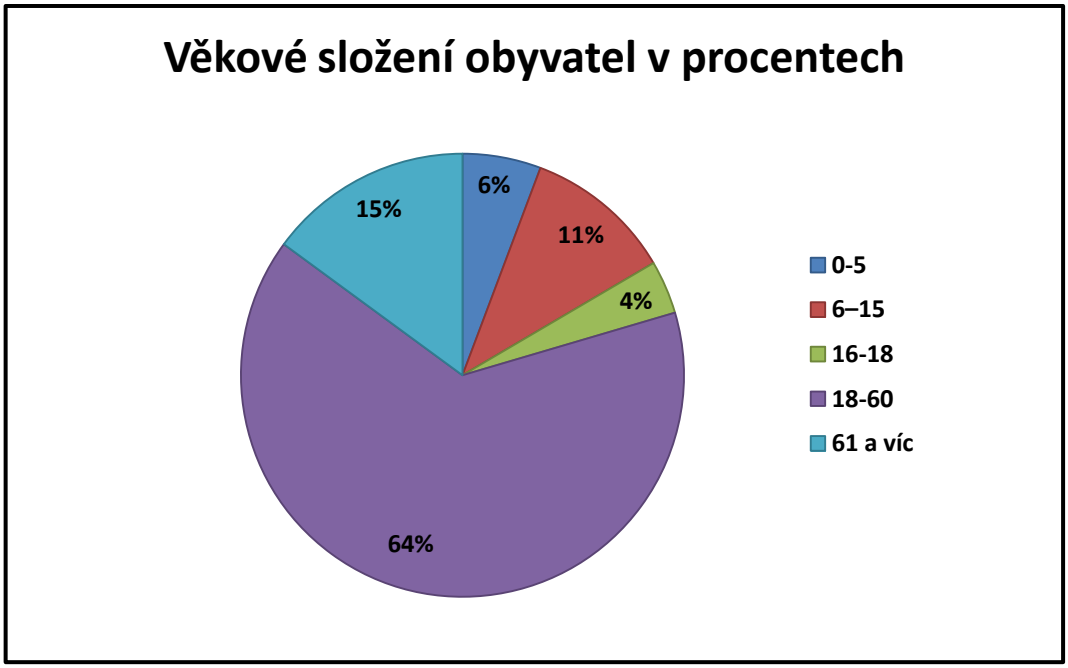
## 3.3 Demografické údaje

Město Turzovka má 7 597 obyvatel, z toho je počet mužů 3 759 a počet žen 3 838 (Obrázek 7). V roce 2012 se narodilo 60 dětí a zemřelo 62 občanů. Průměrný věk zemřelých byl 72 let a oproti roku 2011 se počet obyvatel snížil o 24 lidí [38].




***Obrázek 7:*** *Znázornění počtu obyvatel [38]*

Na Obrázku 8 je zobrazení věkového složení obyvatel města v procentech.




***Obrázek 8:*** *Věkové složení obyvatel v % [38]*

# 4 METODY MĚŘENÍ $PM_{10}$

Sledování $PM_{10}$ a $PM_{2.5}$ je nezbytné z několika důvodů [39]:

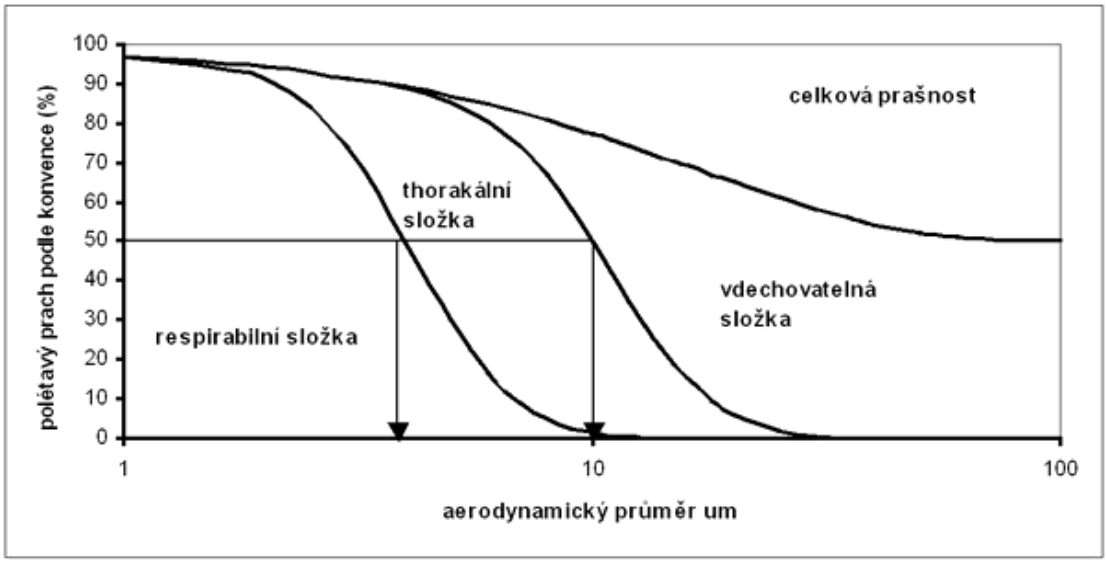
- pro rozvinutí údajů o chování částic v ovzduší
- pro stanovení zdrojů emisí
- pro určení účinnosti stávajících zařízení k omezování znečišťování a posouzení požadavků na další kontroly

**Legislativa**

Výraz $PM_{10}$ je mezní označení pro vzorkování thorakálních částic v ovzduší (ČSN EN 13241), kde thorakální částice jsou definované jako vdechované částice pronikající za hrtan (ČSN ISO 7708). Jde o konvenci, podle které se určitému typu vzorkovacího zařízení přisuzuje vlastnost rozdělovat prachové částice následovně:

- částice o aerodynamickém průměru $d_{ae} > 10$ μm, které se nezachycují
- částice o aerodynamickém průměru $d_{ae} < 10$ μm, které se zachycují [40].

Thorakální konvence specifikuje přístroje k odběru vzorků pro stanovení thorakální frakce a určuje ji také mezinárodní norma pomocí vzorkovací křivky (Obrázek 9) pro přístroje odebírající thorakální frakci (ČSN ISO 7708). Třeba podotknout, že pojem $PM_{10}$ je spojen pouze s hodnocením možných účinků částic vdechovaných na pracovišti a vně budov na zdraví člověka (ČSN ISO 7708) a tyto *„konvence nesmějí být používány v souvislosti s mezními hodnotami definovanými na základě zcela jiných pojmů“* (ČSN ISO 7708) [41], [40].




***Obrázek 9:*** *Vdechovatelná, thorakální a respirabilní konvence jako procenta z polétavého prachu [42]*

Pro stanovení $PM_{10}$ popisuje ČSN EN 12341:1998 tři různé standardní referenční metody a pro $PM_{2,5}$ jsou v normě ČSN EN 14907:2005 popsané dvě různé standardní referenční metody. Referenční metoda je definovaná ve směrnici EU 2008/50/ES. Velmi důležitá je také chemická charakteristika a specifikace složek částic. Doporučují se proto metody, s výhodou stanovení chemické složky ve vzorku. Doba odběru vzorků by měla být 24 hodin denně. Normy popisují standardní metodu pro stanovení $PM_{10}$ a $PM_{2,5}$ hmotnostní koncentrace prašného aerosolu v ovzduší odběrem vzorku částic na filtrech a následním vážením. Rozsah použití této evropské normy je přibližně od 1 μg/m³ až po 150 μg /m³ pro $PM_{10}$ a 120 μg / m³ pro $PM_{2,5}$ [43].

V České republice nabyl dne 1. září 2012 účinnost zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, který stanovuje denní imisní limit pro částice $PM_{10}$ 50 $\mu g/m^3$ a jeho překročení je tolerováno maximálně 35 dní v roce (Tabulka 5) [44].

***Tabulka 5:*** *Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení [45]*

| **Znečisťující látka** | **Doba průměrování** | **Imisní limit** | **Maximální počet překročení** |
|---|---|---|---|
| Částice $PM_{10}$ | 24 hodin | 50 $\mu g \cdot m^{-3}$ | 35 |
| | 1 kalendářní rok | 40 $\mu g \cdot m^{-3}$ | 0 |
| Částice $PM_{2,5}$ | 1 kalendářní rok | 25 $\mu g \cdot m^{-3}$ | 0 |

***Tabulka 6:*** *Minimální počet bodů vzorkování pro stacionární měření pro účely posouzení dodržování imisních limitů na ochranu lidského zdraví a zvláštních imisních limitů [45]*

| **Počet obyvatel aglomerace nebo zóny** | **Minimální počet bodů vzorkování pro stacionární měření, pokud:** | |
|---|---|---|
| | maximální koncentrace překračují horní mez pro posuzování[1)] | maximální koncentrace leží mezi horní a dolní mezí pro posuzování |
| | Součet $PM_{10}$ a $PM_{2,5}$[2)] | Součet $PM_{10}$ a $PM_{2,5}$[2)] |
| 0-249 999 | 1 | 1 |
| 250 000-749 999 | 2 | 2 |
| 750 000-999 999 | 3 | 2 |
| 1 000 000-1 499 999 | 4 | 3 |
| 1 500 000-1 999 999 | 5 | 3 |
| 2 000 000-2 749 999 | 6 | 4 |
| 2 750 000-3 749 999 | 7 | 4 |

Poznámky:

[1)] Pro $PM_{10}$ nebo $PM_{2,5}$ se zřizuje nejméně jedna lokalita pro měření pozaďové úrovně znečištění ovzduší a jedna lokalita orientovaná na měření vlivu dopravy, pokud se tím nezvýší počet bodů vzorkování;

[2)]Celkový počet míst odběru vzorků pro $PM_{2,5}$ nesmí být menší než polovina počtu míst odběru $PM_{10}$.

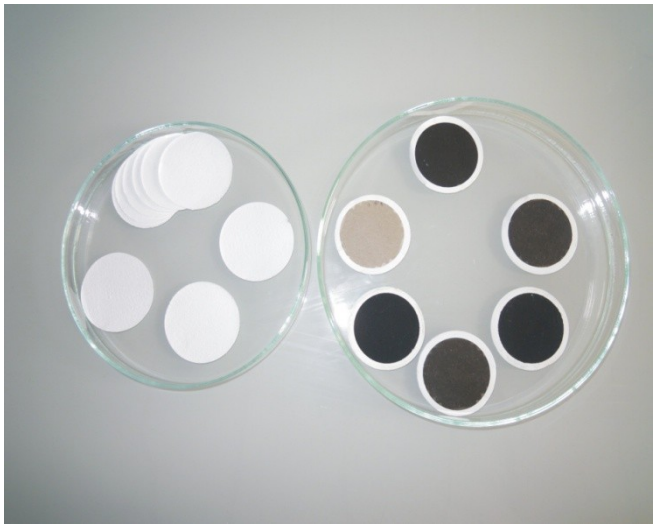
**Kategorizace metod**

Přístroje pro měření koncentrací prachu v ovzduší, tzv. prachoměry (angl. dust concentration monitor), využívají různé metody měření, z nichž každá má své výhody i nevýhody. Výběr konkrétní metody závisí na cílech měření a dostupných zdrojích [2], [46].

Z hlediska použitého fyzikálního principu je možné metody kategorizovat do těchto skupin [46], [47]:

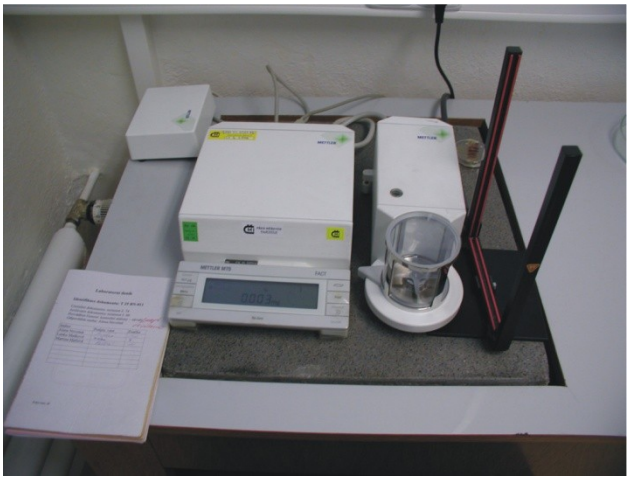
- gravimetrická metoda
- optické metody
- metoda založená na triboelektrickém jevu
- radiometrická metoda

**Gravimetrická metoda (GRV):** Slouží jako referenční metoda pro měření částic. Není vhodná pro kontinuální měření, protože neposkytuje informaci o koncentraci prachu v ovzduší v jednotlivých časech měření (on-line), ale jen bilanční hodnotu za určité časové období (většinou se jedná pouze o 24hodinové odběry). Principem gravimetrické metody je vážení. V laboratoři se nejdříve zváží vybraný čistý filtr (membránový nitrocelulózový o střední velikosti pórů 0,85µm, teflonový o střední velikosti pórů 2µm nebo ze skleněných vláken s účinností záchytu > 99,5%), putující pak na stanici, kde je jím v odběrovém zařízení prosáván vzduch po dobu 24hodin, přičemž částice obsažené ve vzduchu se zachytí na filtru. Pro měření jen určité velikostní třídy, jsou odběrová zařízení vybavena separačními hlavicemi, které propustí např. jen prach do velikosti 10 µm ($PM_{10}$) nebo do 2,5 µm ($PM_{2,5}$). Po expozici se filtr v laboratoři opět zváží a rozdíl mezi exponovaným a čistým filtrem nám dává přesné množství částic na filtru. Koncentrace částic v ovzduší ($\mu g \cdot m^{-3}$) je zjištěna výpočtem navážky spolu s množstvím prosátého vzduchu, zaznamenaného odběrovým zařízením. Rozsah měření touto metodou je 0,1 - 2 000 $mg \cdot m^{-3}$ (závisí na konkrétním výrobci) [48], [46], [47].



***Obrázek 10:*** *Vlevo čisté filtry, vpravo exponované 24hodin venkovnímu ovzduší [48]*

***Obrázek 11:*** *Odběrové zařízení pro PM10 [48]*



***Obrázek 12:*** *Analytické váhy pro gravimetrii [48]*

Vylepšenou variantu gravimetrické metody představují **Oscilační mikrováhy TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance):** TEOM měří hmotnostní koncentraci částic zachycených na výměnném filtru podle změny frekvence kmitajícího kuželovitého nosiče. Vzorek vzduchu putuje výměnným filtrem, na který se zachytávají prachové částice, a prochází dutým kuželovitým elementem přes elektronické ovládání průtoku do vývěvy [47], [49].

**Optické metody:** Jedná se o nejčastěji používané metody a využívá se transmisní princip nebo princip založený na rozptylu světla:

- **transmisní princip -** je založen na poklesu hustoty zářivého toku přecházejícího světla v závislosti na hmotnostní koncentraci částic v ovzduší a používá se hlavně pro měření velkých částic. Optický vysílač vysílá světlo přes směs plynu a prachových částic. Přijímač na druhém konci kanálu měří intenzitu zbylého světla, která se porovná s intenzitou světla vycházejícího z vysílače. Na základě toho je možné určit optickou propustnost a koncentraci částic. Rozsah měření je volně nastavitelný tak, že měřená hodnota koncentrace prachu ve vzduchu je úměrná poklesu zářivého toku v rozsahu 0 až 100 % [46].
- **metoda rozptylu světla -** je s ní možné měřit i nejmenší koncentrace prachu v ovzduší. Vysílač vysílá světelný louč, zpětně odražený částicemi prachu v ovzduší a zachycený vysoko citlivým snímačem. Porovnáváním vycházejícího světla a rozptýleného světla je možné určit koncentraci prachu v ovzduší. Jako zdroj světla může být použita svítivá dioda (LED), laser nebo jiné zdroje se širokým spektrem vlnových délek. Rozsah měření při použití této metody je 0,1 $\mu g \cdot m^{-3}$ až 200 $mg \cdot m^{-3}$ [46].

**Metoda založená na triboelektrickém jevu:** Principem metody je měření změny elektrického náboje, způsobené létajícími prachovými částicemi, na povrchu vodivé kovové sondy. Množství elektrostatického náboje závisí na koncentraci prachu a rychlosti proudění vzduchu s částicemi prachu. Rozsah měření pro touto metodu je od 0,1 $mg \cdot m^{-3}$ do 1 $kg \cdot m^{-3}$ [46].

**Radiometrie (RADIO):** Metoda funguje na principu absorpce β záření, přičemž se měří dvě β záření, a to před vzorkováním a po vzorkování. Množství prachu, které je usazené na filtru (např. ze skleněných vláken), se určuje podle zeslabení radioaktivního záření radioaktivního prvku (např. $^{14}C$, $^{85}Kr$ apod.), přičemž k měření se využívá Geigerov-Müllerov čítač. Tato hodnota se porovnává se zářením radioaktivního prvku před vlastním měřením prašnosti. Podobně jako při gravimetrické metodě je vzduch kontaminován prachem čerpaný do vzorkovacího systému, přičemž se částice prachu průběžně usazují na použitém filtru. Rostoucí vrstva častíc prachu způsobuje zmiňované zeslabení intenzity β záření [46]. Radiometrická metoda je široko použitelná, nakolik určuje množství prachu

v poměrně velkém měřícím rozsahu bez ohledu na chemické a fyzikální vlastnosti častíc prachu a nosného plynu [46].

Z hlediska samotné realizace měření se prachoměry rozdělují na tyto kategorie:

- **prachoměry využívající extraktivní metody:** odběrnou sondou se odebere vzorek analyzovaného plynu a proces analýzy se uskutečňuje mimo místa odběru; do této kategorie patří např. isokinetické gravimetrické vzorkování (gravimerická metoda),
- **prachoměry využívající metody tzv. in-situ:** snímací část prachoměru je umístněná přímo v monitorovaném plynu, popř. v ovzduší kontaminovaném prachovými částicemi. Nevýhodou je, že přístroj je často vystavený nepříznivým vlivům prachových částic (teploty a pod.). Do této kategorie patří např. optická metoda měření a metoda založená na triboelektrickém jevu [46].

## 4.1 Stacionární vzorkovače

**Automatický imisní monitoring (AIM)**

AIM zabezpečují přístroje pracující radiometrickou metodou, nebo optickými metodami. Pomocí elektronických čidel jsou hodnoty změřeny a uloženy v PC automaticky [50].

Z konkrétních vzorkovačů pro AIM možno uvést:

**Environnement SA MP101M:** Přístroj (Obrázek 13) využívá pro měření částic radiometrickou metodu a měří TSP, $PM_{10}$, $PM_{2.5}$, $PM_1$ [51].

***Obrázek 13:*** *MP101M [48]*

**Grimm Aerosol Technik, 180:** Tento přístroj (Obrázek 14) využívá optoelektronickou metodu a měří současně $PM_{10}$, $PM_{2.5}$ a $PM_1$ v $mg/m^3$ a také průběžně měří venkovní teplotu a vlhkost vzduchu [52].

***Obrázek 14:*** *Analyzátor Grimm využívající optoelektronickou metodu [48]*

**Manuální imisní monitoring**

U manuálního imisního monitoringu se měření provádí ručně a změřené hodnoty jsou následně vkládány do PC. Při manuálním měření se využívají zařízení pracující gravimetrickou metodou nebo metodou oscilačních mikrovah TEOM, která představuje dosud nejlepší variantu manuálního stanovení [50], [40].

Z konkrétních vzorkovačů možno uvést:

**AIRMAT:** Přístroj (Obrázek 15) je určen ke vzorkování částic pro manuální gravimetrické stanovení $PM_{10}$ a $PM_{2,5}$ [53].

***Obrázek 15:*** *Vzorkovač ovzduší AIRMAT [53]*

**TEOM 1405F:** Přístroj (Obrázek 16) pracuje metodou oscilačních mikrovah a měří $PM_{10}$, $PM_{2,5}$ a $PM_1$ a TSP hmotnostní koncentrace [54].

***Obrázek 16:*** *TEOM 1405F [54]*

## 4.2 Mobilní vzorkovače

Mobilní vzorkovače využívají různé metody manuální i automatické, a díky své flexibilitě nabízí uživateli širší použití. Z konkrétních přístrojů možno uvést:

**Optical Particle Sizer 3330:** Přenosný optický měřič částic (Obrázek 17), vykonává rychlé a přesné měření koncentrace a velikosti částic, využitím technologie počítání jednotlivých částic. OPS dosahuje přesné a vysoce kvalitní výsledky a dá se používat samostatně, nebo se může umístnit do skříně odolné vůči povětrnostním podmínkám [55].

***Obrázek 17:*** *Optical Particle Sizer 3330 [56]*

**CEL - 712 Microdust Pro:** Jedná se o jediný přenosný vzorkovač na trhu s možností grafického znázornění hodnot koncentrací prachu a aerosolů na kontinuálním grafu bez nutnosti analýzy měření na PC. Přístroj (Obrázek 18) prosperuje širokým rozsahem měření v šesti automaticky nastavitelných rozsazích až do 250 g/m$^3$ [57].

***Obrázek 18:*** *CEL-712 Microdust Pro [57]*

**Aerocet 531:** Laserový, bateriový prachoměr a čítač částic (Obrázek 19) ve vzduchu v jednom měří prašnost s hodnotami $PM_1$, $PM_{2.5}$, $PM_7$, $PM_{10}$, a TSP v mg/m$^3$ a dvěma základními kanály 0,5 a 5 μm pro počítání částic kumulativním způsobem v x/cf s průtokem 0,1 cf/min (2, 83 l /min) [58].

***Obrázek 19:*** *Aerocet 531 [58]*

**Grimm 1.108**

Při vlastním měření ovzduší jsem využívala laserový analyzátor Grimm 1.108, zapůjčený společností ZUOVA.

Tento malý přenosný přístroj (Obrázek 20) je určen ke kontinuální analýze částic o velikosti 0,25 až 32 μm. Každých 6 sekund se na displeji zobrazují okamžité naměřené hodnoty prašnosti. Analyzovaný vzorek prašnosti je prostřednictvím pórovitého membránového filtru i zachycen a následně je možná jeho gravimetrická analýza, případně další analýza pod mikroskopem. Velikou předností přístroje je skutečnost, že pracuje na základě Dual- technologie, tj. současně hodnotí prašnost na základě rozptylu světla a gravimetrického principu (možnost vážení filtru). Popisovaný spektrometr vyhodnocuje měření ve dvou základních režimech [59]:

- počet částic charakterizovaný jako počet částic/litr
- hmotnost částic v $\mu g/m^3$

Zařízení řady 1.100 používají technologii rozptylu světla na každé částici, přičemž polovodičový laser slouží jako zdroj světla. Rozptýlený signál od částice, která prochází přes světlo laseru, se sbírá asi pod úhlem 90° pomocí zrcadla a postupuje k přijímací diodě. Po příslušném zesílení postoupí signál z diody do vícekanálového velikostního klasifikátoru. Analyzátor velikosti pulzu potom zatřídí signál přenesený v kanále. Tyto počty lze zobrazit a jsou uchovávané i na paměťové kartě, ze které je možné jejich přenesení přes sériový port RS 232 na další zpracování. Vzduch se nasává do jednotky přes vnitřní čerpadlo s regulačním průtokem 1,2 litrů/minutu. Vzorek prochází přes komoru, okolo laserové diody detektoru a sbírá se na 47 mm PTFE (polytetrafluorethylen) filtry. Vzorek z PTFE filtru je možno později gravimetricky analyzovat a použít pro ověření zaznamenané hmotnosti aerosolu. Zachycené částice lze dále chemicky analyzovat. Čerpadlo generuje potřebný čistý krycí vzduch, který se filtruje a přechází regulátorem krycího vzduchu zpět do optické komory. Takto se zabrání vniku prachu k optickému laserovému zařízení. Údaje měření koncentrace prachu se každou minutu zaznamenávají na paměťovou kartu a jsou přístupné i přes zabudovaný sériový port RS-232. Údaje jsou přístupné každých 6 sekund v rychlém režimu, nebo každých 60 sekund v normálním režimu. Jiné možnosti pro dobu měření lze definovat pomocí PC softwaru [59].

Tabulka 7 uvádí stručnou charakteristiku přístroje Grimm 1.108.

***Tabulka 7:*** *Stručná charakteristika přístroje Grimm 1.108 [59]*

| Typ přístroje | Technické parametre | Vyjádření prašnosti |
|---|---|---|
| 1.108 | Velikost části: 0.3 až 20µm<br>Koncentrace: 0,1 až 100.000 µg/m$^3$<br>Průtok: 1,2 l/min<br>Počet kanálů: 15<br>Velikost kanálů: 0.3, 0.4, 0.5, 0.65, 0.8, 1.0, 1.6, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 7.5, 10.0, 15.0, 20.0 µm | - ve smyslu ČSN EN 481: v µg/m$^3$<br>- Vdechovatelná<br>- Thorakální<br>- Respirabilní<br>- ve smyslu US-EPA: v µg/m$^3$<br>- PM $_{10}$<br>- PM $_{2,5}$<br>- PM $_1$<br>- jako µg/m$^3$ na 15 kanálech<br>- jako počet častíc/litr na 15 kanálech. |

***Obrázek 20:*** *Grimm 1.108 [Štrbová, 2013]*

# 5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Předmětem experimentální části práce bylo vlastní měření polétavého prachu ($PM_{10}$), které jsem realizovala v místě svého bydliště, městě Turzovka – část Predmier. V příslušné oblasti se za významný zdroj prachových častíc pokládá lokální vytápění. K měření byl použit laserový analyzátor prašnosti Grimm 1.108. Prašnost byla vyhodnocená ve smyslu US – EPA hodnotami: $PM_{10}$, $PM_{2,5}$, $PM_{1}$ v $\mu g/m^3$ i jako počet častíc/litr. Měření bylo zahájeno v prosinci 2012 a ukončeno první dubnový týden 2013.

**Metodika měření**

Při zvolení metodiky práce jsem musela zohlednit omezené možnosti samotného přístroje. Prachoměr Grimm 1.108 je sice lehce přenosný, avšak tuhle výhodu překrývá skutečnost, že přístroj je závislý na zdroji a má nízkokapacitní paměťovou kartu. Metodika byla prováděná podle následovních bodů:

1. **Výběr místa pro měření**: Pro objektivní měření jsem zvolila místo, kde proudění vzduchu nebrání žádná bariéra. Z příslušného místa musel být přístup na zdroj napětí.
2. **Umístění přístroje:** Analyzátor byl umístněn na žebříku ve výšce 1,5 m (Obrázek 21), což mělo simulovat dýchací zónu člověka (prostor v bezprostřední blízkosti úst a tváře). Nad přístrojem byl rovněž umístněn anemometr (Obrázek 22), pro měření rychlosti větru.
3. **Průběh měření:** První měření probíhalo každou hodinu po 20 minut, aby se mohl stanovit časový profil pro další měření. Z toho byly pro měření vybrané hodiny 8:00 - 9:00, 17:00 - 18:00, 22:00 - 23:00, které i v jiných oblastech (Ostrava) vykazují zvýšené koncentrace. V průběhu měření prachových částic byly zaznamenávány i meteorologické podmínky, konkrétně měření rychlosti větru, teploty a relativní vlhkosti vzduchu, a také sledování stavu počasí.
4. **Zpracování a vyhodnocení dat:** Naměřená data se zaznamenávala na paměťovou kartu na přístroji (Obrázek 23) a následně byla vyhodnocována na ZUOVĚ. Zde byla data za pomoci příslušného softwaru provedena do Excelu, ve kterém jsem pak mohla provést další zpracování.

**Výhody a nevýhody**

**Výhody:** Laserový analyzátor Grimm 1.108 je přenosný, malý, lehký a nenáročný na obsluhu. Přístroj má rychlou kalibraci a data se dají po stažení rychle vyhodnotit a zpracovat.

**Nevýhody:** Grimm 1.108 je závislý na zdroji a může optimálně pracovat při maximální relativní vlhkosti 95% a při teplotních podmínkách 4 – 45°C. Na paměťovou kartu je možné zapsat pouze 9 hodin záznamu dat. I při nepatrném pohybu v blízkosti přístroje může dojít ke zkreslení výsledků měření.

***Obrázek 21*** *Ukázka průběhu měření [Štrbová, 2013]*

***Obrázek 22:*** *Anemometr [Štrbová, 2013]*

***Obrázek 23:*** *Měření [Štrbová, 2013]*

## 5.1 Měření koncentrace prachových částic v ovzduší Kysucka v závislosti na ročním období

Měření koncentrace prachových částic bylo celkově vykonáno během 33 dní a probíhalo v měsících prosinec 2012, leden, únor, březen a duben 2013 (konkrétní dny uvádí Tabulka 8). V prosinci bylo provedeno měření během 24 hodin po 20 minut. Následující měsíce probíhalo měření jen v stanovených časech (8:00 -9:00, 17:00 – 18:00, 22:00 – 23:00).

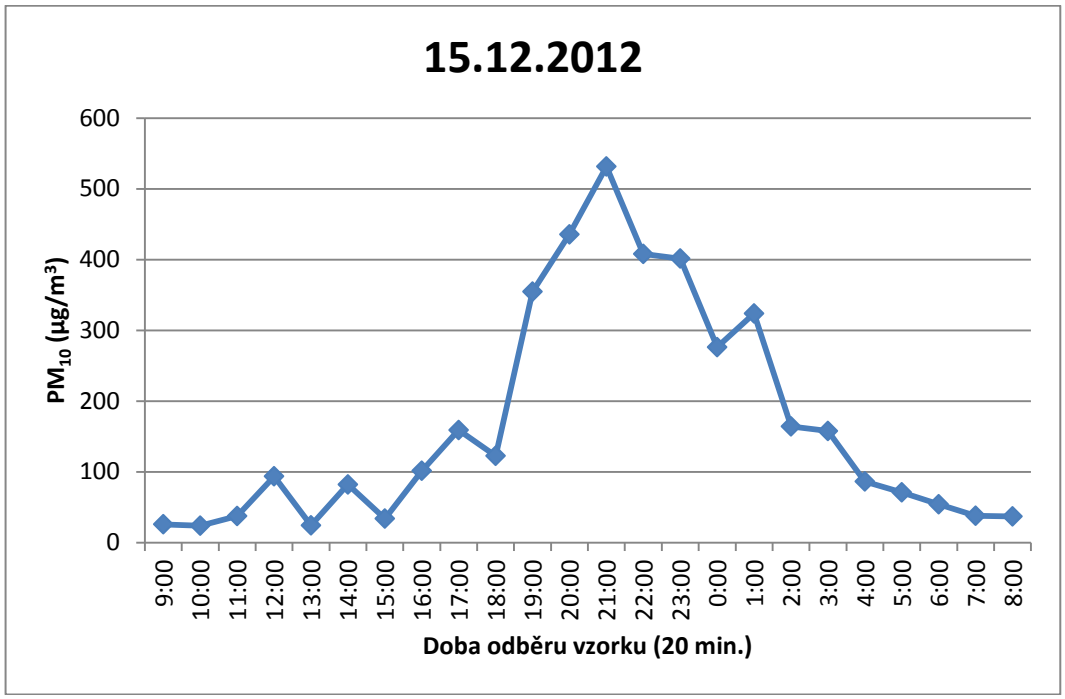
***Tabulka 8:*** *Přehled realizovaných měření*

| Termín | Měřené hodnoty |
|---|---|
| 15. 12. (2012) | $PM_{10}$,$PM_{2,5}$,$PM_1$ (v µg/m$^3$) |
| 3. 1., 4. 1., 5. 1., 6. 1., 7. 1., 29. 1., 31. 1., 2. 2., 3. 2., 4. 2, 7. 2., 8. 2., 9. 2., 13. 2., 14. 2., 22. 2., 23. 2., 24. 2., 13. 3., 16. 3., 17. 3., 22. 3., 23. 3., 24. 3., 29. 3., 30. 3., 31. 3., 5. 4., 6. 4., 7. 4. (2013) | $PM_{10}$,$PM_{2,5}$,$PM_1$ (v µg/m$^3$) |
| 10. 1., 11. 1., 12. 1. (2013) | $PM_{10}$,$PM_{2,5}$,$PM_1$ (počet částic/litr) |

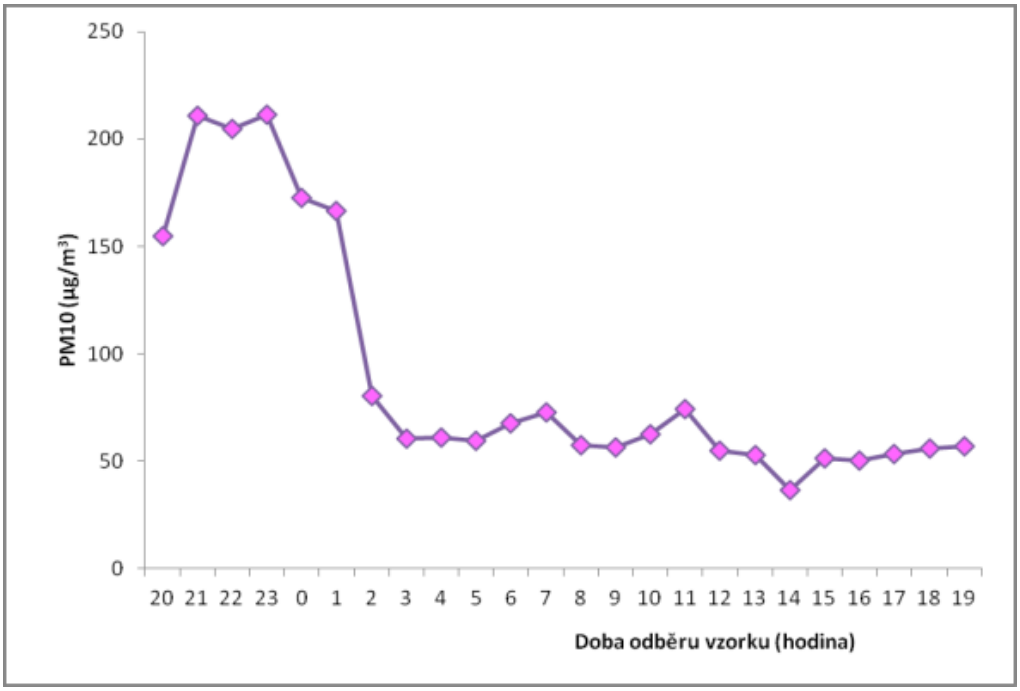
## Měření během 24 hodin

Měření bylo vykonáno 15. 12. 2012 pro hodnoty $PM_{10}$, $PM_{2,5}$, $PM_1$ (v µg/m$^3$). Výsledek měření ukazuje Obrázek 24, ze kterého je možné vyčíst, že vyšší koncentrace se objevily mezi 11. – 15. hodinou, od 15. do 21. hodiny byl pozorován prudký nárůst koncentrací až k hodnotám 500 µg/m$^3$, a následně docházelo k poklesu koncentrací až do ranních hodin, kdy byly koncentrace nižší na hranici 50 µg/m$^3$.

Toto měření bylo porovnáno s měřením, které bylo vykonáno ve stejném roce v lokalitě Ostrava – Zábřeh (Obrázek 25). Průběh koncentrací byl přibližně stejný, jen se pohyboval v nižších hodnotách.



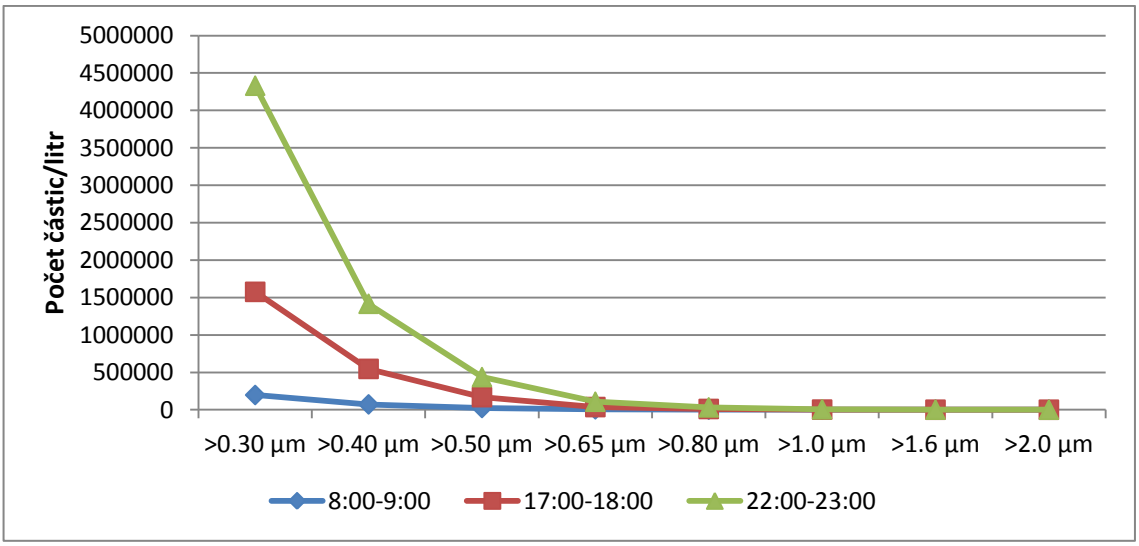

***Obrázek 24:*** *Vývoj koncentrace $PM_{10}$ během 24 hodin*




***Obrázek 25:*** *Vývoj koncentrace $PM_{10}$ během 24 hodin [60].*

**Počet částic**

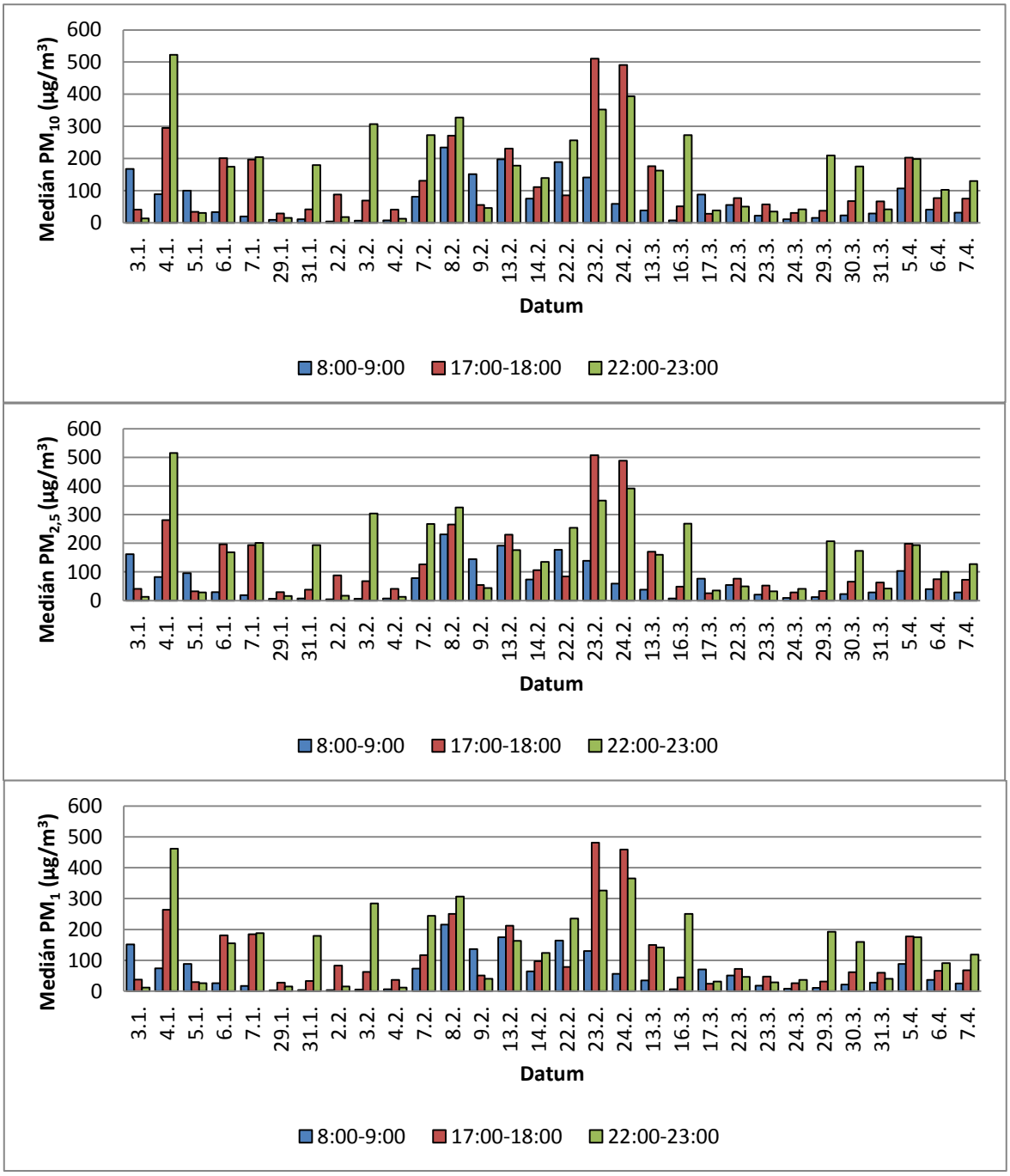
Pro posouzení přibližného zdroje znečištění bylo provedeno měření v modu počet částic /litr. Měření bylo vykonáno v 15ti zrnitostních třídách s následujícími rozsahy: 0.3 – 0.4, 0.4 – 0.5, 0.5 – 0.65, 0.65 – 0.8, 0.8 – 0.1, 0.1 – 1.6, 1.6 – 2.0, 2.0 – 3.0, 3.0 – 4.0, 4.0 – 5.0, 5.0 – 7.5, 7.5 – 10.0, 10.0 – 15.0 a 15.0 – 20.0 µm. Podle výsledků na Obrázku 26, můžeme vidět, že největší podíl částic tvořily nejjemnější třídy pod 0,30 µm a se zvětšováním tříd klesá počet částic. Při 2 µm dosahují minimální hodnoty a od 2 µm je už počet částic na nule. Z výsledků můžeme posoudit, že hlavním zdrojem částic jsou spalovací procesy.




***Obrázek 26:*** *Výsledky měření v modu počet částic na/litr*

**Vývoj koncentrací v jednotlivých velikostních třídách ($PM_{10}$, $PM_{2,5}$, $PM_1$) během doby měření**

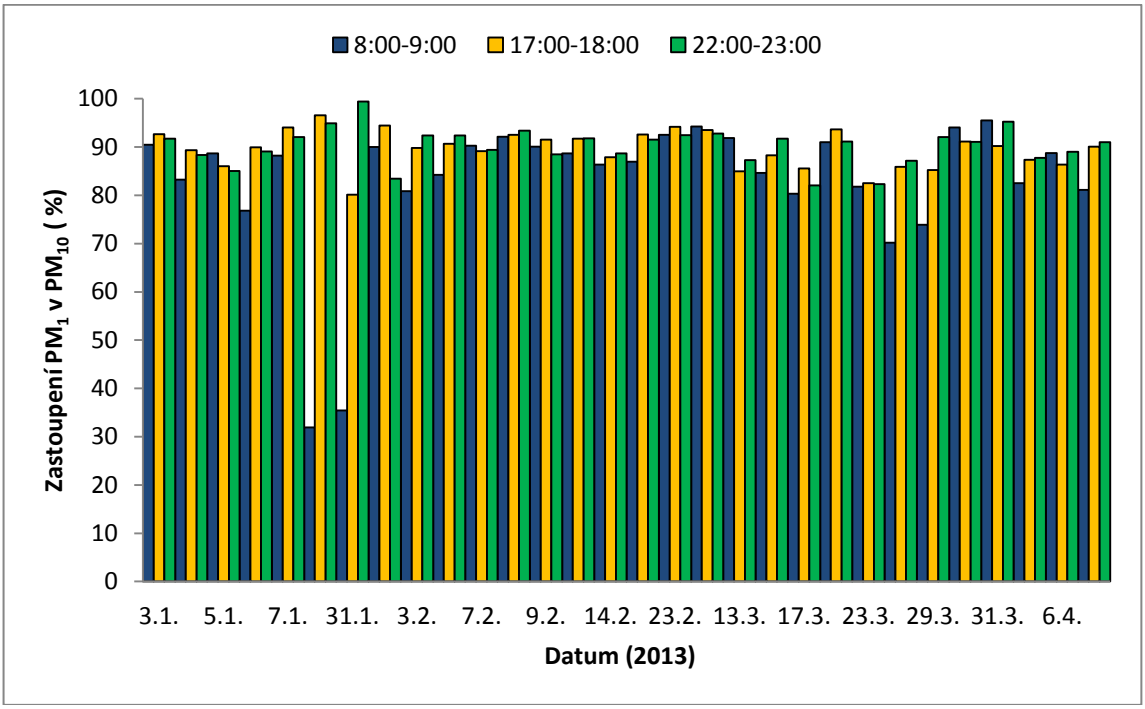
Vývoj mediánu v jednotlivých velikostních třídách za jednotlivé měřené dny má přibližně stejný průběh (Obrázek 27), protože jemnější částice jsou většinou součástí $PM_{10}$. Z vývoje mediánu za jednotlivé měřené dny můžeme vidět, že ve většině měřených dní byly kriticky zvýšené koncentrace částic, nad 100 µm/m$^3$.




***Obrázek 27:*** *Vývoj mediánu $PM_{10}$, $PM_{2,5}$ a $PM_1$ za měřené období*

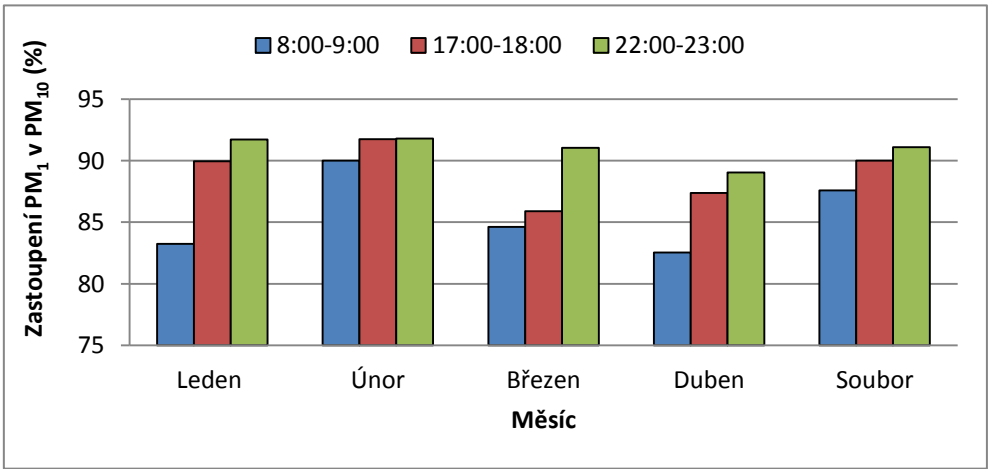
**Průběh procentuálního zastoupení $PM_1$ v $PM_{10}$ za měřené období**

Výpočet procentuálního zastoupení $PM_1$ v $PM_{10}$ byl proveden z mediánu všech tří velikostních tříd za jednotlivé měřené hodiny a dny. Z Obrázku 28 je zřejmé, že velikostní třída $PM_1$ tvoří ve většině případů více než 80% z částice $PM_{10}$.




***Obrázek 28:*** *Průběh procentuálního zastoupení $PM_1$ v $PM_{10}$*

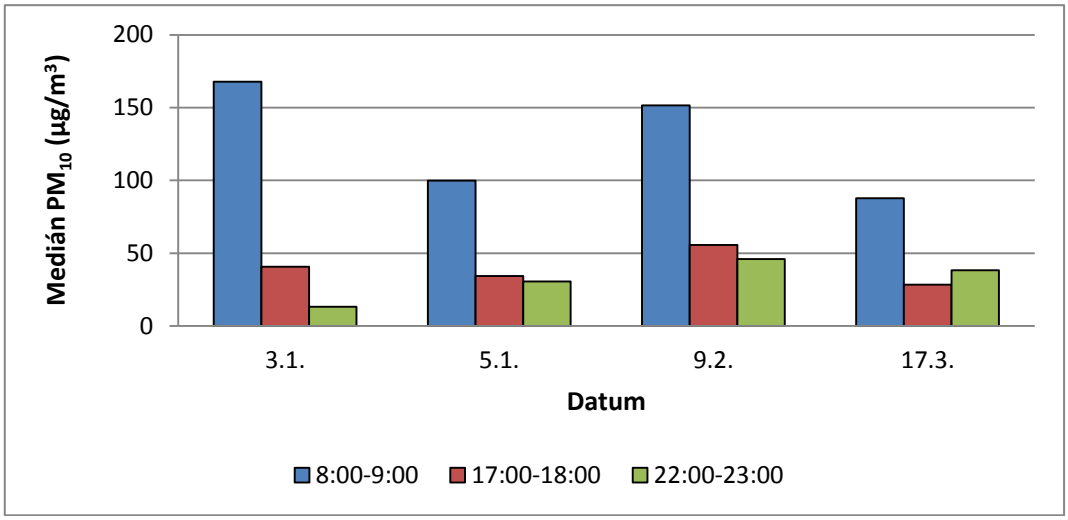
Na Obrázku 29 je přiblížení procentuálního zastoupení $PM_1$ v $PM_{10}$ rozděleno do jednotlivých měsíců, kde je vidět, že nižší procentuální zastoupení $PM_1$ v $PM_{10}$ se projevovalo v ranních hodinách (8:00 – 9:00).



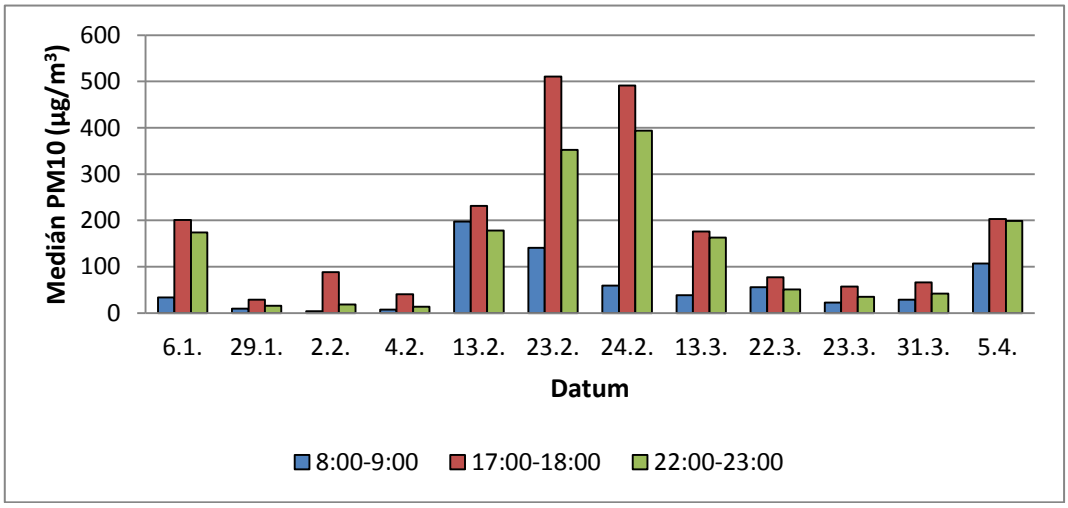

***Obrázek 29:*** *Procentuální zastoupení PM1 v PM10 v jednotlivých měsících*

### Závislost $PM_{10}$ na denní době

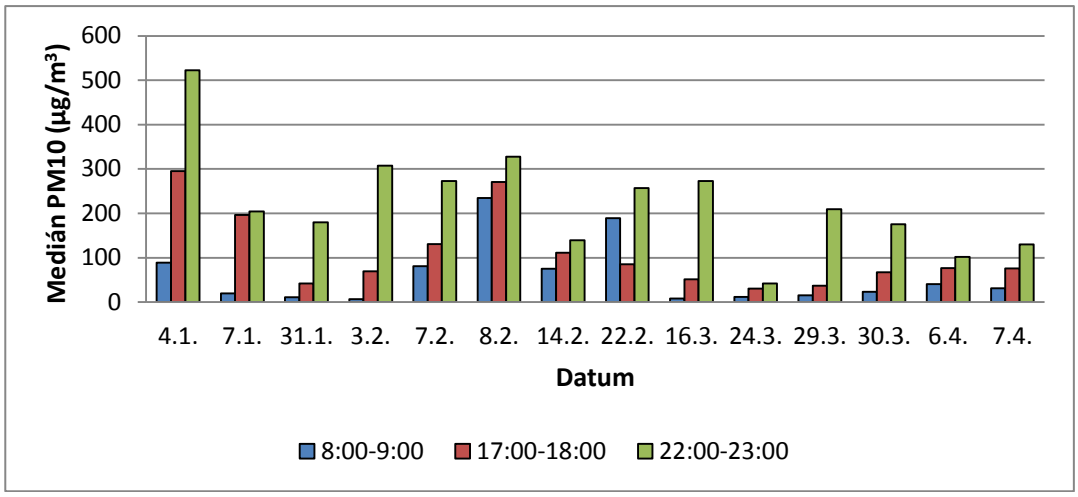
Mediány koncentrace byly dále rozděleny podle denní doby na dny, kdy byly nejvyšší koncentrace ráno (Obrázek 30), pak odpoledne (Obrázek 31) a večer (Obrázek 32). Na obrázcích je vidět rozdíl, že dní, kdy byly koncentrace nejvyšší odpoledne a večer, bylo více než dní, kdy byly koncentrace nejvyšší ráno.




***Obrázek 30:*** *Nejvyšší ranní koncentrace*



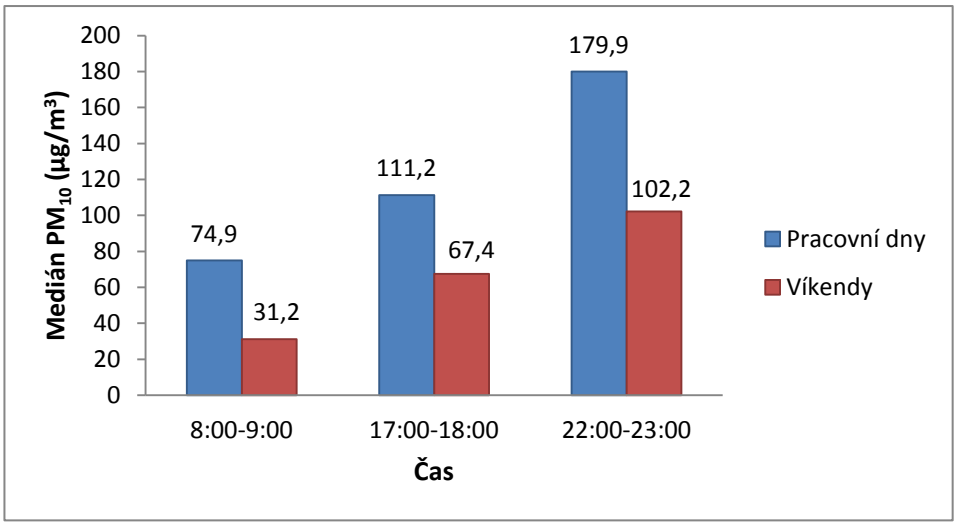

***Obrázek 31:*** *Nejvyšší odpolední koncentrace*




***Obrázek 32:*** *Nejvyšší večerní koncentrace*

**Pracovní den a víkend**

Na Obrázku 33 je rozdělení mediánů na pracovní dny a víkendy. Z obrázku je vidět, že vyšší koncentrace $PM_{10}$ se objevovaly v pracovní dny, v odpoledních a večerních hodinách.



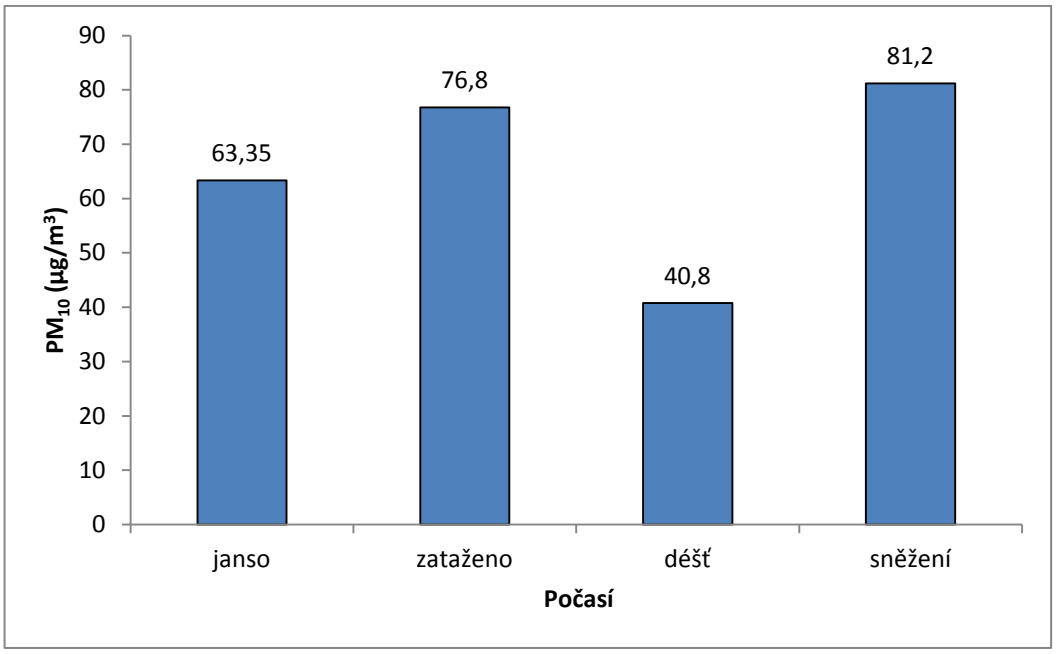

***Obrázek 33:*** *Mediány koncentrace $PM_{10}$ přes pracovní den a víkend*

### 5.1.1 Zhodnocení klimatických podmínek

**Závislost $PM_{10}$ na počasí**

Závislosti koncentrace $PM_{10}$ na podmínkách počasí zobrazuje Obrázek 34. Obvykle se předpokládá snížená koncentrace částic při výskytu srážek. Při dešťových srážkách byly

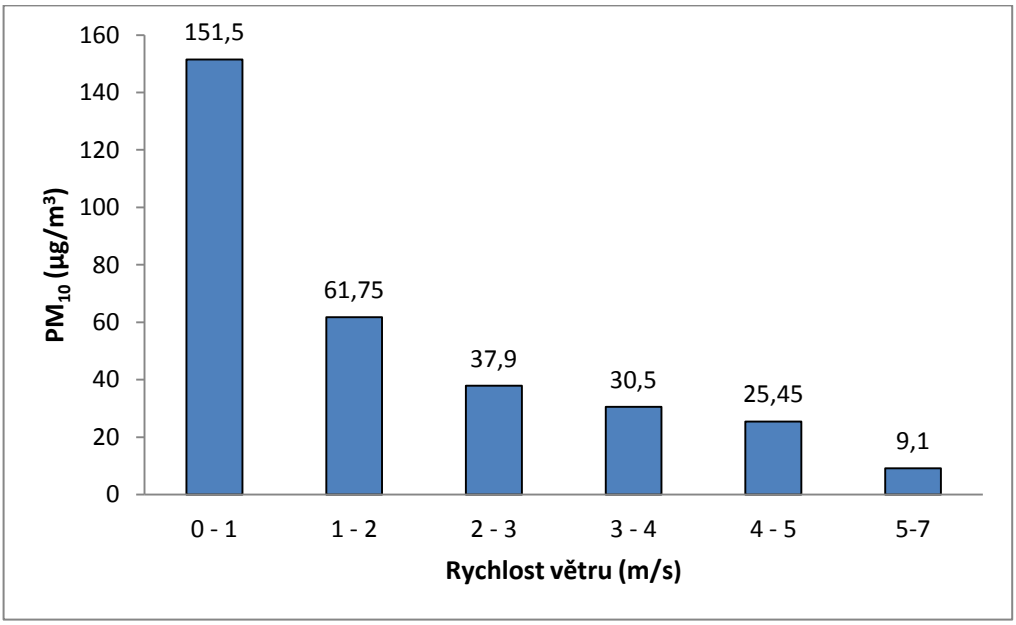
koncentrace $PM_{10}$ skutečně nejnižší, avšak při sněhových srážkách byly naopak koncentrace nejvyšší. U jasného a zataženého počasí byly koncentrace $PM_{10}$ vysoké.




***Obrázek 34:*** *Závislost koncentrace $PM_{10}$ na počasí*

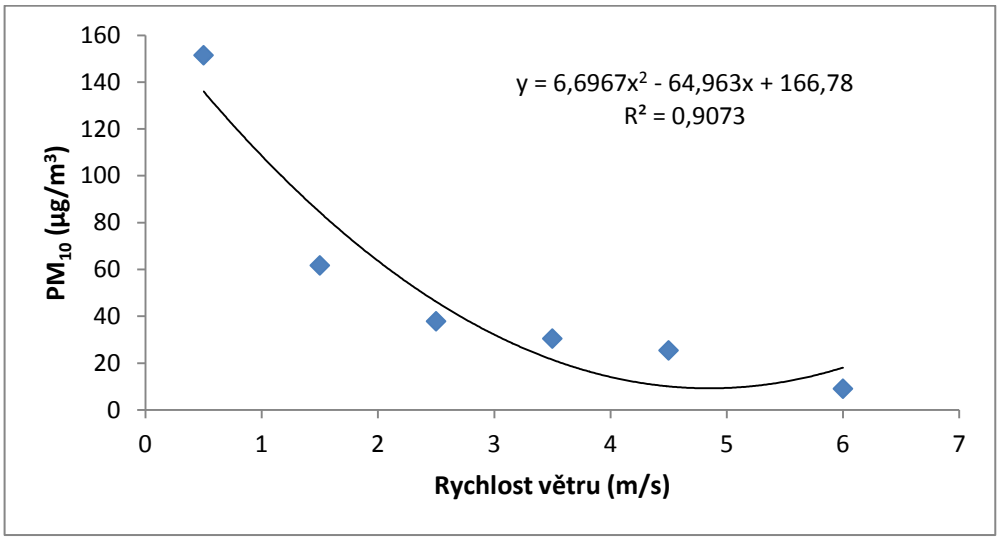
### Závislost koncentrace $PM_{10}$ na rychlosti větru

Závislost koncentrace částic $PM_{10}$ na rychlosti větru znázorňuje Obrázek 35. Z měření vyplývá, že kritické koncentrace částic se vyskytují při rychlosti větru pod 2 m/s.




***Obrázek 35:*** *Závislost koncentrace $PM_{10}$ na rychlosti větru*

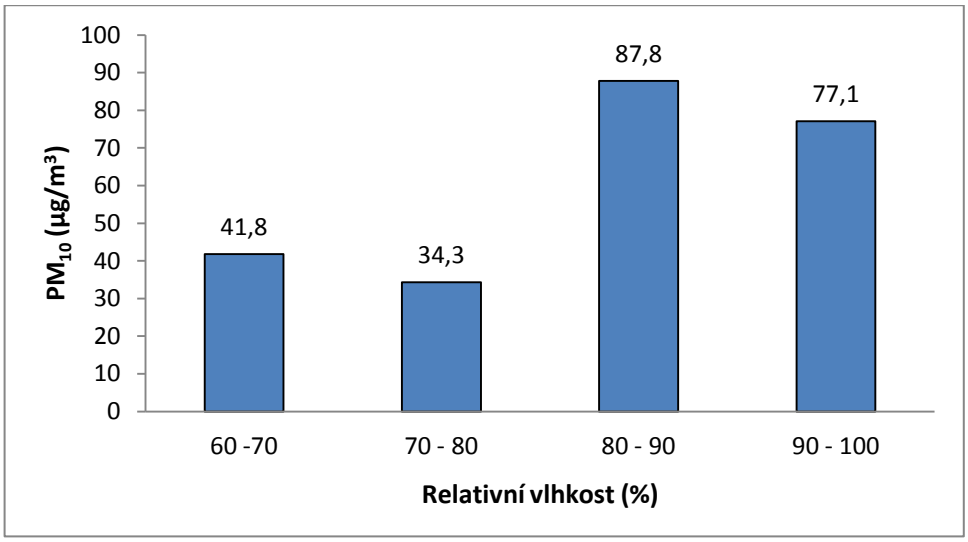
Obrázek 36 vyjadřuje korelační závislost mezi parametry *$PM_{10}$ ($\mu g/m^3$)* a *Rychlost větru (m/s)*. Hodnota koeficientu korelace (r = 0,95) je vyjádřena polynomickou závislostí.




***Obrázek 36:*** *Korelační závislost polynomická*

## Závislost koncentrace $PM_{10}$ na relativní vlhkosti vzduchu

Z Obrázku 37 vyplývá, že zvýšená koncentrace $PM_{10}$ se vyskytovala při relativní vlhkosti od 80%. Dá se předpokládat, že ke zvýšeným koncentracím $PM_{10}$ přispěla i zvýšená relativní vlhkost vzduchu a číslo může být ovlivněno přítomností vodní páry.




***Obrázek 37:*** *Závislost koncentrace $PM_{10}$ na vlhkosti*

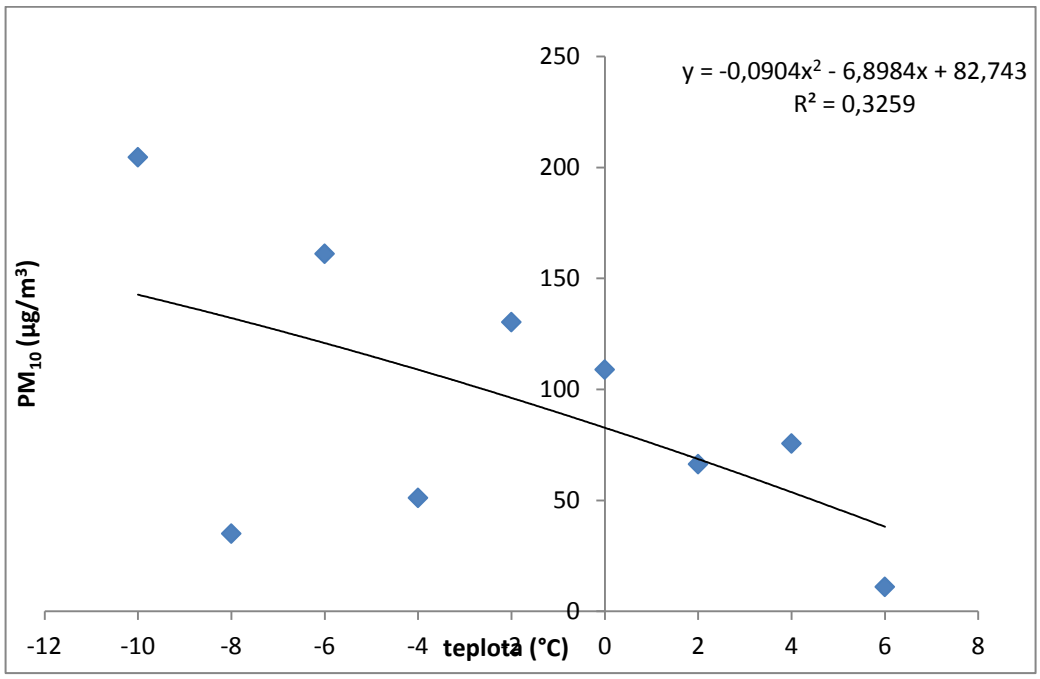
V Tabulce 9 jsou uvedeny výsledky koncentrace $PM_{10}$ rozdělené podle relativní vlhkosti. Z tabulky je zřejmé, že i při nejvyšší relativní vlhkosti 90 – 100 % lze naměřit nízké koncentrace $PM_{10}$.

***Tabulka 9:*** *Hodnoty koncentrace $PM_{10}$ v závislosti na relativní vlhkosti*

| **Datum** | **Relativní vlhkost (%)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **60 -70** | **70 - 80** | **80 - 90** | **90 - 100** |
| | 196,4 | 34,3 | 167,7 | 88,9 |
| | 41,8 | 30,7 | 40,8 | 99,9 |
| | 256,8 | 33,6 | 88 | 9,4 |
| | 38,4 | 19,5 | 295 | 28,9 |
| | | 204,6 | 522,3 | 4 |
| | | 11 | 201,1 | 88,1 |
| | | 179,9 | 174,1 | 18,1 |
| | | 85,3 | 15,7 | 307,3 |
| | | 393,7 | 6,8 | 7,6 |
| | | 28,4 | 69,5 | 13,2 |
| | | | 40,7 | 81 |
| | | | 130,65 | 273 |
| | | | 55,6 | 234,4 |
| | | | 231,1 | 270,7 |
| | | | 178 | 327,9 |
| | | | 139,4 | 151,5 |
| | | | 189,1 | 45,9 |
| | | | 140,7 | 197,3 |
| | | | 59,3 | 74,9 |
| | | | 491 | 111,2 |
| | | | 176,2 | 510,5 |
| | | | 162,8 | 352,5 |
| | | | 272,6 | 38,1 |
| | | | 87,8 | 7,8 |
| | | | | 51,1 |
| **Medián** | **119,1** | **33,95** | **151,75** | **88,1** |

### Závislost koncentrace $PM_{10}$ na teplotě vzduchu

Obrázek 38 vyjadřuje polynomickou závislost koncentrace mezi parametry *$PM_{10}$ ($\mu g/m^3$)* a *Teplota vzduchu (°C)*. Z obrázku je zřejmé, že zvyšující se mráz způsobuje zvýšení koncentrace $PM_{10}$ v ovzduší.




***Obrázek 38:*** *Závislost na teplotě polynomická.*

# 6 VYHODNOCENÍ

Měření, které bylo zahájeno 15. prosince 2012, a ukončeno 7. dubna 2013, pomohlo nastínit nepříznivou situaci kvality ovzduší, panující v malém městě, podhorské oblasti.

Při měření během 24 hodin, ze dne 15. 12. 2013, byl průběh koncentrace $PM_{10,}$ v ranních hodinách na hranici 50 $\mu g/m^3$ a do večera hodnoty prudce stouply až na 500 $\mu g/m^3$. Minimum bylo naměřeno v 10:00, kdy byla koncentrace 23,8 $\mu g/m^3$ a maximum ve 21:00, kdy koncentrace dosáhla až 531,5 $\mu g/m^3$.

Pro identifikaci převažujících zdrojů znečištění byla využita metoda měření počtu částic v definovaných velikostních třídách. Měřením se prokázalo, že na znečištěném ovzduší v oblasti Kysucka, mají největší podíl spalovací procesy, a to hlavně lokální topeniště.

Denní imisní limit pro částice $PM_{10}$ 50 $\mu g/m^3$, který v České republice stanovuje zákon č. 201/2012Sb., o ochraně ovzduší, byl během doby měření z celkového počtu 33 dní překročen ve 26 dnech. Nejvyšší koncentrace polétavého prachu ($PM_{10}$), byly ve většině případů zaznamenány v odpoledních (17:00 - 18:00) a večerních hodinách (22:00 – 23:00), v ranních hodinách (8:00 – 9:00) už byly koncentrace nižší, obvykle kolem 50 $\mu g/m^3$ a méně. Nejvyšší koncentrace během měření ve třech časových intervalech, byly zaznamenány dne 4. 1. 2013, mezi 22.00 – 23:00 hod., kdy medián hodnot byl 522,3 $\mu g/m^3$, a nejnižší dne 2. 2. 2013, mezi 8:00 - 9:00 hod., s mediánem hodnot 4$\mu g/m^3$.

Při porovnání koncentrací, rozdělených na pracovní dny a víkendy, jsme pozorovaly patrné rozdíly. Vyšší koncentrace vycházely v pracovních dnech, kdy v odpoledních a večerních hodinách byly hodnoty nad 100 $\mu g/m^3$. Víkendové koncentrace představovaly hodnoty do 100 $\mu g/m^3$. Předpokládaným důvodem vyšší koncentrace během pracovních dnů, je zvýšený provoz obyvatel při dojíždění do práce.

Procentuální výpočet prokázal, že částice $PM_{10}$ tvoří z více než 80% velmi jemné částice $PM_1$, což vyplývá i z informací o chování částic.

U hodnocení závislosti koncentrace $PM_{10}$ na klimatických podmínkách, byla posuzovaná závislost $PM_{10}$ na srážkách, rychlosti větru, teplotě, a na relativní vlhkosti vzduchu.

Co se týče počasí, vyšší koncentrace $PM_{10}$ byly zaznamenány u počasí bez srážek. Při dešťových srážkách byly naměřeny nejnižší koncentrace, podle čehož je zřejmé, že

déšť částice z atmosféry vymývá. U sněhových srážek se objevovaly nejvyšší koncentrace, k čemuž mohla přispět i vyšší relativní vlhkost vzduchu.

Při hodnocení závislosti koncentrace $PM_{10}$ na síle větru, se kritické hodnoty vyskytovaly při rychlosti pod 2 m/s, u silnějšího větru byly už hodnoty nízké.

Co se týče závislosti koncentrace $PM_{10}$ na relativní vlhkosti vzduchu, je nutné zohlednit skutečnost, že maximální relativní vlhkost pro optimální měření analyzátorem Grimm 1.108 je 95%. Vyšší koncentrace $PM_{10}$ byly naměřeny při relativní vlhkosti nad 80%, ovšem z Tabulky 8 vyplynulo, že i při nejvyšší relativní vlhkosti 90 – 100 %, lze naměřit nízké koncentrace $PM_{10}$.

Optimální teplotní podmínky pro přístroj jsou v rozmezí 4 – 45°C. Z měření vycházelo, že zvyšující se mráz způsobuje zvýšení koncentrace $PM_{10}$ v ovzduší. Je ale otázkou, jestli tato závislost souvisí se zvýšenou výkonností kotlů pro udržení požadované teploty, a tím i většími dávkami paliva, nebo jestli se jedná o fyzikální jev – kondenzaci částic.

Výsledky měření potvrdily, že v zimním období se zcela běžně vyskytují situace, kdy je koncentrace vyšší než 100 $\mu g/m^3$ a v anomálních případech dosahují koncentrace hodnoty vyšší než 300 $\mu g/m^3$.

Informace, které byly získány v rámci řešení bakalářské práce, jsou velmi významné, neboť menší města a obce se příliš nemonitorují. Z dostupných výsledků tyhle oblasti překračují jednoznačně v zimním období limity pro prach. Naměřené koncentrace $PM_{10}$ jsou poměrně vysoké a rozhodně snesou srovnání s Ostravou. Například v Horní Lomné byl denní průměr 16. prosince 2012 77 $\mu g/m^3$ $PM_{10}$ a až do začátku ledna 2013 tam byly tyto koncentrace nadlimitní. V podobných koncentracích se $PM_{10}$ pohybovalo i v Ostravě. S pomocí mobilní stanice byly v prosinci 2012 až lednu 2013 proměřeny Ostravice, Čeladná a Horní Lomná. Výsledky z měření jsou uvedeny na doméně: www.ims-msk.cz. V průběhu měřící kampaně (25. 12. 2012 – 2. 1. 2013) se v Ostravici koncentrace $PM_{10}$ pohybovala v rozmezí 10 – 40 $\mu g/m^3$. Na Čeladné byla měřící kampaň od 2.1 do 8. 1. 2013 a koncentrace se pohybovala v rozmezí 10 – 150 $\mu g/m^3$ s maximem 9. 1. 2013 v 02.00, kdy koncentrace $PM_{10}$ dosáhla 220 $\mu g/m^3$ [61], [62].

# 7 ZÁVĚR

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo sledování koncentrace polétavého prachu ($PM_{10}$) v oblasti Kysucka, konkrétně ve městě Turzovka, během zimního období roku 2012/2013. Z měření, prováděných ve třech časových intervalech jsem získala prvotní informace o výskytu prachových částic v dané oblasti, které bych shrnula následovně.

Měřením počtu částic/litr bylo identifikováno, že největší podíl na znečištěném ovzduší v oblasti Kysucka, mají spalovací procesy, hlavně lokální topení.

Důležitou roli v chování částic hrají meteorologické podmínky. Zvýšené koncentrace $PM_{10}$ byly naměřeny při zvyšujícím se mrazu, při rychlosti větru pod 2 m/s, u jasného počasí a sněžení, a při relativní vlhkosti nad 80%.

Denní imisní limit pro částice $PM_{10}$ 50 $\mu g/m^3$, který v České republice stanovuje zákon č. 201/2012Sb., o ochraně ovzduší, byl během doby měření z celkového počtu 33 dní překročen ve 26 dnech. Nejvyšší koncentrace byly ve většině případů naměřeny o 17. a 22. hodině, a do ranních hodin se koncentrace obvykle snížily na hodnoty kolem 50$\mu g/m^3$. Maximální koncentrace byly naměřeny dne 4. 1. 2013, mezi 22.00 – 23:00 hodinou, kdy medián hodnot byl 522,3 $\mu g/m^3$, a minimální dne 2. 2. 2013, mezi 8:00 – 9:00 hodinou, s mediánem hodnot pouze 4$\mu g/m^3$.

Z výsledků mého měření vyplývá, že koncentrace polétavého prachu ($PM_{10}$) v dané oblasti, mnohonásobně překračují v zimním období stanovené limity, což určitě stojí za věnování pozornosti. Reálnost naměřených dat, potvrdila měření monitorovacího vozu, který provozuje město Ostrava, a uskutečnilo měření $PM_{10}$ na Ostravici a Čeladné, které mají podobných morfologických charakter jako Turzovka.

Optimálním řešením pro zlepšení kvality ovzduší, by pro danou oblast mohlo být širší využití městského centrálního zdroje tepla, který může vytápět plynem nebo biomasou, a je tak absolutně energeticky nezávislý. Na centrální zdroj tepla v Turzovce je napojeno přibližně 80% centra města. Vybudování teplovodního potrubí z centrálního zdroje i do jednotlivých městských částí, by bylo zajisté značně finančně náročné, ovšem z hlediska dlouhodobých vyhlídek by se to mohlo jevit jako velmi výhodné řešení. Kromě toho je důležitá dostatečná informovanost i mezi běžnými občany, a to nejen o stávající situaci, ale například i o možnostech využívaní alternativních zdrojů energie, které tady ještě nejsou skoro vůbec využívány.

Problematice prachových částic je vzhledem na závažnost věnována na Slovensku, v České republice, či v Polsku, stále nedostačující pozornost, o čem svědčí i minimální počet pramenů s danou tématikou. Důležité je, aby tady fungovala výměna informací.

Získané výsledky bych chtěla využít v diplomové práci, jako pilotní údaje pro další prozkoumání situace, a to i v oblastech, kde se mohou výrazněji projevovat dálkové přenosy z pohraničních oblastí České republiky a Polska.

# SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY


1. Particulate Matter: Particulate Matter (PM) Research. *US EPA* [online]. 2013 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: http://www.epa.gov/airscience/air-particulatematter.htm
2. TIWARY, Abhishek, Jeremy COLLS. *Air pollution: measurement, modelling and mitigation*. 3rd ed. New York: Routledge, 2010, 501 s. ISBN 02-038-7196-0.
3. PÖSCHL, Ulrich. *Atmospheric Aerosols: Composition, Transformation, Climate and Health Effects*. Angewandte Chemie International Edition. č. 44, 2005, s. 7520-7540. ISSN 1433-7851.
4. POPE, C. Arden., Douglas W. DOCKERY,. *Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect.* Journal of the Air & Waste Management Association . č. 56, 2006, s. 709–742. ISSN 1047-3289.
5. WHO. *Health aspect of air pollution: Results from the WHO Project "Systematic review of health aspect of air pollution in Europe"* , Denmark, 2004, 24 s., E83080
6. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *APTI 413: Control of Particulate Matter Emissions: Student Manual: Chapter 3*. 2009, 21 s.
7. POLICHETTI, Giuliano, Stefania COCCO, Alessandra SPINALI, Valentina TRIMARCO a Alfredo NUNZIATA. Effects of particulate matter ($PM_{10}$, $PM_{2.5}$ and $PM_1$) on the cardiovascular system. *Toxicology*. č. 261, 1-2, 2009, s. 1-8. ISSN 0300483x.
8. GUTTIKUNDA, Sarath. What is Particulate Matter?: Composition & Science, SIM-air Working Paper Series: 10-2008, 2008, 16 s. Dostupné z:

   http://urbanemissions.info/images/UEI/simseries/SIM-10-2008-What-is-PM.pdf
9. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *APTI 413: Control of Particulate Matter Emissions: Student Manual: Chapter 2*. 2007, 21 s.
10. DAVIDSON, Cliff I., Robert F. PHALEN a Paul A. SOLOMON. Airborne Particulate Matter and Human Health: A Review.*Aerosol Science and Technology: the journal of the American Association for Aerosol Research*. 2005, č. 39, s. 737-749. ISSN 0278-6826.
11. HITZENBERGER, Regina. *FINAL REPORT COST 633: Particulate Matter – Properties Related to Health Effects,Scientific Report*, Chair, MC, 2008, 153 s.

12. HELD, Milan. Veľkosť prachových častíc rozptýlených vo vzduchu vzhľadom na ohrozenie dýchacieho traktu v zmysle STN EN 481 a US – EPA. *GRIMM* spol. s.r.o. [online]. 2013 [*25.02.2013],* Dostupné na: *http://www.grimm.sk/Velkost%20prachovych%20castic.htm*

13. DOHÁNYOSOVÁ, Pavla, Lena KUBINCOVÁ, Jiří SMOLÍK, Jaroslav SCHWARZ a Vladimír ŽDÍMAL. *Výkladový slovník aerosolových termínů*. © Česká aerosolová společnost, 2007, 24 s.

14. ČSN EN 481. *Ovzduší na pracovišti. Vymezení velikostních frakcí pro měření poletavého prachu*. Ústí nad Orlicí: Český normalizační institut, 11/1994. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/833621-csn-en-481_4_16728.html

15. Health-based particle-size-selective sampling. *TSI* [online]. 2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Application_Notes/ITI-050.pdf

16. HUSS GROUP. For US, Particulate Matters. 2010. *online [1.03.2013]*. Dostupné na: *http://www.hussgroup.com/cdc/en/infocenter/PM.php*

17. WHO, *Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution,* Regional Office for Europe. Denmark, 2006, 99 s. E88189.

18. JIMODA, L. ,A.: „*Effects of Particulate Matter on Human Health, the Ecosystem, Climate and Materials: a Review"*. Working and Living Environmental Protection č. 9, 2012, s. 27 – 44.

19. PANČÍK, Peter; MARCIŠOVÁ, Denisa. *Ekosystém. online [28.02.2013]*. Dostupné na: *http://bioweb.genezis.eu/?cat=8&file=ekosystem*

20. GRANTZ, D.A, J.H.B GARNER a D.W JOHNSON. Ecological effects of particulate matter. *Environment International*. 2003, č. 29, s. 213-239. ISSN 01604120.

21. PRAJAPATI, Santosh, Kumar .: *„Ecological effect of airborne particulate matter on plants"*, Environmental Skeptics and Critics, 2012, 1(1):12-22. ISSN 2224-4263.

22. LAZARIDIS, Mihalis, Arne SEMB, Steinar LARSSEN, Anne-Gunn HJELLBREKKE, Øystein HOV, Jan Erik HANSSEN, Jan SCHAUG a Kjetil TØRSETH. Measurements of particulate matter within the framework of the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP). *Science of The Total Environment*. 2002, č. 285, s. 209-235. ISSN 00489697.

23. MŽP SR. Hlavné kumulatívne environmentálne problémy: Acidifikácia. *Správa o stave životného prostredia Slovenskej republiky v roku 2002* [online]. 2002 [cit. 2013-02-28]. s. 80-83. Dostupné na:

    *http://www.sazp.sk/slovak/periodika/sprava/sprava2002/kumulativne/acidifikacia.pdf*

24. MŽP SR. Hlavné kumulatívne environmentálne problémy: Eutrofizácia. *Správa o stave životného prostredia Slovenskej republiky v roku 2002* [online]. 2002 [cit. 2013-02-28]. s. 89-92. Dostupné z:

    http://www.sazp.sk/slovak/periodika/sprava/sprava2002/kumulativne/eutrofizacia.pdf

25. KEF Prírodovedecká fakulta UK. *Eutrofizácia*. [online] 2007. [cit. 2013-02-28]. Dostupné z:
    *http://www.enviro-edu.sk/?page=environmentalne_problemy/eutrofizacia*

26. GERÁT, Rudolf. Príroda Kysúc a jej ochrana.OV SZOPK v spolupráci so Správou CHKO Kysuce a ONV OK v Čadci, 1988, 106 s.

27. Stručná charakteristika regiónu Kysuce. *Kysuce.SK* [online]. © 2004-2011 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: http://www.kysuce.sk/cl/419/strucna-charakteristika-regionu-kysuce.html

28. Orgány KOCR. *Žilinský turistický kraj - Krajská organizácia cestovného ruchu* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-09]. Dostupné z:
    http://www.ztk-kocr.sk/organy-kocr/

29. Kysuce, Slovensko. *Google earth* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: https://maps.google.com/maps?ftr=earth.promo&hl=cs

30. Geografia a cestovný ruch. © *MESTO TURZOVKA* [online]. 2013 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z:
    http://www.turzovka.sk/index.php?option=com_content&task=view&id=700&Itemid=670

31. KNAPEC, Jaroslav.; ČASNOCHOVÁ, Oľga. Monitoring acidity zrážkových vôd v území Kysúc. *ACTA UNIVERSITATIS MATTHIAE BELII: séria Environmentálne manažérstvo* [online]. 2012, XIV., č. 1 [cit. 2013-04-13]. ISSN 1338-4430. Dostupné z: http://www.fpv.umb.sk/kat/ken/akta/index.php?option=com_content&view=article&id=139:monitoring-acidity-zrakovych-vod-v-uzemi-kysuc&catid=25:vyskumne-tudie&Itemid=27

32. MSÚ TURZOVKA. *Prehľad o vykurovaní v meste Turzovka*. Turzovka, 2013.

33. Kamiónová preprava. *ALTA T, a.s.* [online]. © 2012 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: http://www.altat.sk/kamionova-preprava.html

34. Medzinárodná kamiónová doprava. *Alexander Iványi* [online]. 2010 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: http://www.ivanyi-mkd.sk/

35. Modernizácia a zefektívnenie výroby tepla z obnoviteľných zdrojov energie v spoločnosti TURZOVSKÁ DREVÁRSKA FABRIKA s.r.o. *DATATHERM, spol. s r.o.* [online]. 2010 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: http://www.datatherm.sk/DATA/sk/doc/Turzovka-modernizacia.pdf

36. ÚRAD ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA ČADCA. *Seznam provozovatelů v regionu s ročním množstvím vypouštěných emisí tuhých znečisťujících látek (TZL)*. Čadca, 2012.

37. BEVILAQUA, Dušan, Zdenka TÓTHOVÁ, Peter SABO a Helena ČÁRSKA. *Ochrana prírody Kysuckého regiónu a spolupráca na jeho trvalo udržateľnom rozvoji*. Bratislava: Nadácia IUCN, c1996, 253 s. ISBN 28-317-0357-3.

38. BERNÁT, Drahoš. MATRIČNÝ ÚRAD. *Štatistika obyvateľov*. Turzovka, 2013.

39. Technical Guidance Note: M15: Monitoring PM10 and PM2.5. *Environment Agency* [online]. 2012, č. 2 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: http://a0768b4a8a31e106d8b0-50dc802554eb38a24458b98ff72d550b.r19.cf3.rackcdn.com/geho0712bwtt-e-e.pdf

40. Polétavý prach. *Integrovaný registr znečištění* [online]. ©2005-2008 [cit. 2013-04-09]. Dostupné z: http://www.irz.cz/irz/dokumenty/irz/metody_mereni/ovzdusi/poletavy_prach.pdf

41. ČSN ISO 7708. *Kvalita ovzduší - Definice velikostních frakcí částic pro odběr vzorků k hodnocení zdravotních rizik*. První vydání. Praha: © Český normalizační institut, 1997.

42. HOLLEROVÁ, Jitka. Prašnost na pracovišti. *Státní zdravotní ústav* [online]. 2007 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1

43. Ambient air — Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM10 or PM2,5 mass concentration of suspended particulate matter: DRAFT prEN 12341. © AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT. *Austrian Standards plus* [online]. 2012 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: https://www.astandis.at/shopV5/Preview.action;jsessionid=4A7026B86404B600D57C167F2F824E37?preview=&dokkey=439211&selectedLocale=en

44. BEJČOVÁ, Pavla. Nový zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. *Enviweb s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: http://www.enviweb.cz/clanek/paragraf/93553/novy-zakon-o-ochrane-ovzdusi-c-201-2012-sb

45. Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 597/2006 Sb., o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší. In: *42/2011 Sb.*2011. Dostupné z: http://www.tretiruka.cz/news/legislativni-novinka-narizeni-vlady-kterym-se-meni-narizeni-vlady-c-597-2006-sb-o-sledovani-a-vyhodnocovani-kvality-ovzdusi/

46. KELEMEN, Michal a MAŤAŠOVSKÁ, Tatiana. Meranie koncentrácie prachu v prostredí. *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2004, č. 12 [cit. 2013-03-17]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32669

47. KURFÜRST, Jiří. *Kompendium ochrany kvality ovzduší*. 1. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitoring s.r.o., 2008. 407 s. ISBN 978-80-86832-38-8.

48. ELFENBEIN, SEJRKOVA a GREPL. Metody měření – měřící přístroje. In: *Virutální centrum* [online]. [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: http://www.virtualnicentrum.cz/vzdelavaci-moduly/modul-ovzdusi/znecisteni-ovzdusi/prach/metody-mereni

49. BRANIŠ, Martin.; HŮNOVÁ, Iva. *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. vyd. 1. Praha: Karolinum, 2009. 351 s. ISBN 978-80-246-1598-1.

50. Meteorologické stanice. In: *Meteorologická stanice Maruška Hostýnské vrchy* [online]. © 2006 - 2007 [cit. 2013-04-08].Dostupné z: http://maruska.ordoz.com/meteorologie/meteorologicke_stanice

51. MP101M (CPM option) - Ambient Suspended Particulates Analyzer. *Environmental Expert S.L.* [online]. ©1999-2013 [cit. 2013-04-09]. Dostupné z: http://www.environmental-expert.com/products/mp101m-cpm-option-ambient-suspended-particulates-analyzer-14373

52. 19" Rack Mounted Environmental Dust Monitor Model 180. In: *GRIMM Technologies, Inc.* [online]. 2010 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: http://www.dustmonitor.com/Occupational/180.htm

53. Odběr vzorků poletavého prachu ve venkovním ovzduší. In: *Technické služby ochrany ovzduší* [online]. © 2004 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: http://www.teso.cz/article.asp?nArticleID=211&nLanguageID=1

54. Continuous ambient air monitor with a Filter Dynamics Measurements System *TEOM 1405-F*. In: *MLU* [online]. © 2008 - 2013 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: http://www.mlu.at/?gr_id=66&k_id=456&b_id=&gp=&at=271

55. Systémy pro monitorování vnějšího ovzduší. In: *ECM ECO Monitoring, a.s.,* [online]. 2005-2012 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: http://www.ecomonitoring.com/uploadedfiles/01_Ambinet_Air_Monitoring__Systemy_na_monitorovani_vnejsiho_ovzdusi_CZ.pdf

56. Optical particle sizer 3330. *TSI* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: http://www.tsi.com/Optical-Particle-Sizer-3330/

57. Meranie prašnosti v reálnom čase. *CHROMSPEC-SLOVAKIA, spol. s r.o.* [online]. © 2009 [cit. 2013-04-09]. Dostupné z: http://www.chromspec.sk/products_1/microdust.htm

58. Aerocet 531 - Malý prenosný prachomer a čítač častíc vo vzduchu. *GRIMM spol. s r.o.* [online]. 2013, [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: http://www.grimm.sk/Aerocet%20531.htm

59. Prenosné laserové analyzátor prašnosti, veľkosti a počtu častíc – GRIMM 1.100. *GRIMM spol. s r.o.* [online]. 2013, 22.02.2013 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: http://www.grimm.sk/1100.htm

60. RACLAVSKÝ, K. a L. OBAL. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2012: Výzkum fyzikálního a chemického charakteru mikročástic v emisích*. Ostrava, 2012.

61. PLEVA, Martin. Limity pro prach: rozdíl mezi vesnicemi a městy je malý. In: *Moravskoslezský denník* [online]. 2012 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: http://moravskoslezsky.denik.cz/zpravy_region/rozhovor-ovzdusi-bilek20120224.html

62. ZDRAVOTNÍ ÚSTAV SE SÍDLEM V OSTRAVĚ. *Informační monitorovací systém průmyslového znečištění v Moravskoslezskom kraji* [online]. © 2010 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: http://www.ims-msk.cz/archiv

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Nalevo porovnání částice velikosti 100 µm s dešťovou kapkou, napravo srovnání částic velikosti 1µm a10µm s částicí velikosti100µm [6]. ..... 3

Obrázek 2: Průnik jednotlivých velikostních tříd prachu do dýchacích cest [16]. ..... 9

Obrázek 3: Mapa regionu Kysuce [29] ..... 15

Obrázek 4: Pohled na město Turzovka [Štrbová, 2013] ..... 16

Obrázek 5: Lokální vytápění [Štrbová, 2013] ..... 17

Obrázek 6: Biomasová kotelna s instalovaným výkonem 3,5 MW po modernizaci [35]. .. 18

Obrázek 7: Znázornění počtu obyvatel [38]. ..... 20

Obrázek 8: Věkové složení obyvatel v % [38]. ..... 21

Obrázek 9: Vdechovatelná, thorakální a respirabilní konvence jako procenta z polétavého prachu [42]. ..... 22

Obrázek 10: Vlevo čisté filtry, vpravo exponované 24hodin venkovnímu ovzduší [48]. ... 25

Obrázek 11: Odběrové zařízení pro PM10 [48] ..... 25

Obrázek 12: Analytické váhy pro gravimetrii [48]. ..... 25

Obrázek 13: MP101M [48]. ..... 27

Obrázek 14: Analyzátor Grimm využívající optoelektronickou metodu [48]. ..... 28

Obrázek 15: Vzorkovač ovzduší AIRMAT [53] ..... 28

Obrázek 16: : TEOM 1405F [54]. ..... 29

Obrázek 17: Optical Particle Sizer 3330 [56]. ..... 29

Obrázek 18: CEL-712 Microdust Pro [57]. ..... 30

Obrázek 19: Aerocet 531 [58]. ..... 30

Obrázek 20: Grimm 1.108 [Štrbová, 2013] ..... 32

Obrázek 21 Ukázka průběhu měření [Štrbová, 2013] ..... 34

Obrázek 22: Anemometr [Štrbová, 2013] ..... 35

Obrázek 23: Měření [Štrbová, 2013] ..... 35

Obrázek 24: Vývoj koncentrace $PM_{10}$ během 24 hodin ..... 36

Obrázek 25: Vývoj koncentrace $PM_{10}$ během 24 hodin [60]. ..... 37

Obrázek 26: Výsledky měření v modu počet částic na/litr ..... 37

Obrázek 27: Vývoj mediánu $PM_{10}$, $PM_{2,5}$ a $PM_1$ za měřené období ..... 38
Obrázek 28: Průběh procentuálního zastoupení $PM_1$ v $PM_{10}$ ..... 39
Obrázek 29: Procentuální zastoupení PM1 v PM10 v jednotlivých měsících ..... 39
Obrázek 30: Nejvyšší ranní koncentrace ..... 40
Obrázek 31: Nejvyšší odpolední koncentrace ..... 40
Obrázek 32: Nejvyšší večerní koncentrace ..... 41
Obrázek 33: Mediány koncentrace $PM_{10}$ přes pracovní den a víkend ..... 41
Obrázek 34: Závislost koncentrace $PM_{10}$ na počasí ..... 42
Obrázek 35: Závislost koncentrace $PM_{10}$ na rychlosti větru ..... 42
Obrázek 36: Korelační závislost polynomická ..... 43
Obrázek 37: Závislost koncentrace $PM_{10}$ na vlhkosti ..... 43
Obrázek 38: Závislost na teplotě polynomická. ..... 45

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Hlavní prvky spojeny s různými zdroji emisí [8] ..... 4
Tabulka 2: Účinky těžkých kovů složek částic na lidské zdraví [18]. ..... 11
Tabulka 3: Přehled o vytápění v městě Turzovka [32]. ..... 17
Tabulka 4: Zdroje emisí (t/rok) [36]. ..... 19
Tabulka 5: Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení [45]. ..... 23
Tabulka 6: Minimální počet bodů vzorkování pro stacionární měření pro účely posouzení dodržování imisních limitů na ochranu lidského zdraví a zvláštních imisních limitů [45]. 23
Tabulka 7: Stručná charakteristika přístroje Grimm 1.108 [59]. ..... 32
Tabulka 8: Přehled realizovaných měření ..... 36
Tabulka 9: Hodnoty koncentrace $PM_{10}$ v závislosti na relativní vlhkosti ..... 44