

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie

Bc. David Jurečka

**Hodnocení závislosti meteorologických podmínek rozptylu a  
koncentrací znečišťujících látek v ovzduší na příkladu města  
Prostějova**

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Martin Jurek, Ph.D.

Olomouc 2018

## **Bibliografický záznam**

**Autor (osobní číslo):** Bc. David Jurečka (R141017)

**Studijní obor:** Regionální geografie

**Název práce:** Hodnocení závislosti meteorologických podmínek rozptylu a koncentrací znečišťujících látek v ovzduší na příkladu města Prostějova

**Title of thesis:** Assessment of the correlation between meteorological conditions of dispersion and air pollution levels: a case study for the town of Prostějov

**Vedoucí práce:** RNDr. Martin Jurek Ph.D.

**Rozsah práce:** 82 stran, 2 vázané přílohy

**Abstrakt:** Diplomová práce se zabývá hodnocením míry vzájemné závislosti tepelného vrstvení atmosféry do výšky 2 kilometrů. Hodnocení vychází z aerologických výstupů s imisní situací měřené na stanicích monitorující kvalitu ovzduší v Prostějově. Rovněž budou zkoumány koncentrace vybraných znečišťujících látek v závislosti na jednotlivé typy teplotního zvrstvení a vliv povětrnostních situací.

**Klíčová slova:** aerologická měření, kvalita ovzduší, Prostějov, teplotní inverze, znečišťující látky

**Abstract:** The diploma thesis deals with the evaluation of the degree of mutual dependence of temperature stratification of the atmosphere up to 2 kilometers. The evaluation is based on aerological outputs with immissions, measured at stations monitoring the air quality in Prostějov. Concentrations of selected pollutants will also be investigated depending on the different types of thermal layers and the impact of climatic situations.

**Keywords:** aerological measurement, air quality, Prostějov, temperature inversion, pollutants

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedením RNDr. Martina Jurka Ph.D. a, že veškerou použitou literaturu a použité zdroje uvedl v seznamu použité literatury a zdrojů.

V Olomouci dne 9. 1. 2018

.....

podpis

Na tomto místě bych rád poděkoval RNDr. Martinu Jurkovi Ph.D. za cenné rady a ochotné vedení diplomové práce.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI  
Přírodovědecká fakulta  
Akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David JUREČKA**  
Osobní číslo: **R141017**  
Studijní program: **N1301 Geografie**  
Studijní obor: **Regionální geografie**  
Název tématu: **Hodnocení závislosti meteorologických podmínek rozptylu  
a koncentrací znečišťujících látek v ovzduší na příkladu města  
Prostějova**  
Zadávací katedra: **Katedra geografie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem diplomové práce je zhodnotit míru vzájemné závislosti teplotního zvrstvení atmosféry zjištěné aerologickými výstupy s imisní situací měřenou na stanicích monitoringu kvality ovzduší na příkladu města Prostějova a jeho okolí. Zkoumány budou koncentrace vybraných znečišťujících látek a těsnost jejich závislosti na výskytu jednotlivých typů teplotního zvrstvení, dále souvislost s typem povětrnostní situace a bude zhodnocena těsnost vzájemné závislosti s ohledem na prostorovou vzdálenost místa pořízení aerologického sondážního výstupu od místa sledování přízemních koncentrací znečišťujících látek.

---

Rozsah grafických prací: **Podle potřeb zadání**  
Rozsah pracovní zprávy: **20 000 - 24 000 slov**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**Bednář, J., Zikmunda, O. (1985): Fyzika mezní vrstvy atmosféry. Praha.**  
**Braniš, M., Hůnová, I., eds. (2009): Atmosféra a klima. Aktuální otázky ochrany ovzduší. Praha, Karolinum.**  
**ČHMÚ: Data Informačního systému kvality ovzduší (ISKO).**  
**Henelová, V., Andreovský, J. (2013): Příručka ochrany kvality ovzduší. Praha, Sdružení společností IREAS centrum; Chrudim, Vodní zdroje Ekomonitor.**  
**Vítková, D. (1970): Aerologie. Praha, Hydrometeorologický ústav.**  
**Vysoudil, M. (2006): Meteorologie a klimatologie. Olomouc, Vydavatelství UP.**

Vedoucí diplomové práce: **RNDr. Martin Jurek, Ph.D.**  
Katedra geografie

Datum zadání diplomové práce: **25. listopadu 2015**  
Termín odevzdání diplomové práce: **10. dubna 2017**

L.S.

prof. RNDr. Ivo Frébort, CSc., Ph.D.  
děkan

doc. RNDr. Zdeněk Szczyrba, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Olomouci dne 25. listopadu 2015

---

## Obsah

<b>Seznam zkatek .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Cíle práce .....</b>	<b>11</b>
<b>3 Použitá metodika a zdroje dat.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Zhodnocení dostupné literatury .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Použité datové zdroje .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3 Metody zpracování .....</b>	<b>16</b>
<b>3.4 Geografická charakteristika města Prostějova .....</b>	<b>18</b>
<b>4 Teoretická část.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Mezní vrstva atmosféry .....</b>	<b>20</b>
<b>4.2 Změna teploty s výškou a teplotní zvrstvení.....</b>	<b>21</b>
<b>4.3 Teplotní inverze a její typy .....</b>	<b>23</b>
<b>4.4 Povětrnostní situace .....</b>	<b>28</b>
<b>4.5 Vliv teplotních zádržných vrstev .....</b>	<b>29</b>
<b>4.6 Stručná charakteristika podmínek rozptylu.....</b>	<b>32</b>
<b>4.7 Znečištění atmosféry .....</b>	<b>33</b>
<b>4.8 PM<sub>10</sub> – prašný aerosol.....</b>	<b>33</b>
<b>5 Aerologická měření a meteorologické stanice na území města Prostějova.....</b>	<b>37</b>
<b>5.1 Způsoby zjišťování inverzí v mezní vrstvě atmosféry .....</b>	<b>37</b>
<b>5.2 Aerologická měření .....</b>	<b>37</b>
<b>5.3 Monitorovací stanice v Prostějově .....</b>	<b>38</b>
<b>6 Hodnocení výsledků .....</b>	<b>40</b>

<b>6.1</b>	<b>Otopné období .....</b>	<b>40</b>
<b>6.2</b>	<b>Hodnocení povětrnostních situací.....</b>	<b>41</b>
<b>6.3</b>	<b>Hodnocení inverzí.....</b>	<b>44</b>
<b>6.4</b>	<b>Přízemní inverze.....</b>	<b>46</b>
<b>6.5</b>	<b>Přízemní izotermie .....</b>	<b>48</b>
<b>6.6</b>	<b>Porovnání nočních profilů přízemních inverzí a izotermií.....</b>	<b>53</b>
<b>6.7</b>	<b>Délka trvání inverzí.....</b>	<b>54</b>
<b>6.8</b>	<b>Hodnocení PM<sub>10</sub>.....</b>	<b>63</b>
<b>6.9</b>	<b>Dopravní intenzita.....</b>	<b>65</b>
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>Shrnutí.....</b>	<b>70</b>
<b>9</b>	<b>Summary .....</b>	<b>71</b>
	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>73</b>
	<b>Přílohy .....</b>	<b>77</b>
	<b>Příloha 1 – popis vybraných povětrnostních situací.....</b>	<b>78</b>
	<b>Příloha 2 – Kalendář povětrnostních situací v roce 2015.....</b>	<b>82</b>



## **Seznam zkatek**

AMS – automatizovaná monitorovací stanice

CO – oxid uhelnatý

ČR – Česká republika

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČSÚ – Český statistický úřad

ISKO – Informační systém kvality ovzduší

IRZ – Integrovaný registr znečišťování

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

NO<sub>x</sub> – oxid dusíku

O<sub>3</sub> – ozón

PM<sub>10</sub> – prašný aerosol

ŘSD – ředitelství silnic a dálnic

SO<sub>2</sub> – oxid siřičitý

SPM – suspendované částice prašného aerosolu

UTC – koordinovaný světový čas

## 1 Úvod

Jednou ze základních složek životního prostředí pro člověka je ovzduší a jeho kvalita. Kvalitu ovzduší označujeme jako znečišťování ovzduší, které zahrnuje celou řadu procesů, při kterých se do ovzduší dostávají znečišťující látky. Zdroje znečištění ovzduší mohou být přírodního původu nebo antropogenního, který je ovlivňován lidskou činností. Kromě lidské činnosti ovlivňují kvalitu ovzduší i meteorologické podmínky. Ty mají vliv na množství znečišťujících látek z antropogenních a přírodních zdrojů, určují rozptylové podmínky, ovlivňují v ovzduší tvorbu sekundárních látek a odstranění škodlivých látek z ovzduší.

Tato diplomová práce se bude zabývat zejména hodnocením závislosti podmínek rozptylu a koncentrací znečišťujících látek v ovzduší na příkladu města Prostějova.

Město Prostějov patří mezi města se zhoršenou kvalitou ovzduší v České republice. Podnebí v tomto hanáckém městě je značně ovlivněno jeho polohou v tzv. inverzní kotlině, která je otevřená k východu, ale uzavřená převládajícími větry ze západu a severu, což přináší vysokou prašnost ve městě. Hlavní znečišťující látkou ve městě je prašný aerosol o velikosti 10 mikrometrů, označen jako  $PM_{10}$ . Hodnoty prašného aerosolu  $PM_{10}$  jsou v Prostějově sledovány od roku 1994 na automatizované monitorovací stanici. Kromě sledování hodnot  $PM_{10}$  se v Prostějově provádí sondážní aerologická měření. Aerologická stanice v Prostějově spadá pod Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad. Měření na této stanici se provádí dvakrát za den po 12 hodinách pomocí sondážních balónů a radiosond.

V následující kapitole budou vytyčeny cíle této diplomové práce. V kapitole třetí s názvem Metodika bude zhodnocena dostupná literatura, zdroje dat, metody zpracování a obecná geografická charakteristika zájmového území. Následně budou zmíněny pojmy vztahující se k problematice tématu zadané diplomové práce. Poslední část se bude zabývat hodnocením zpracovaných výsledků inverzí a látek, které mají podíl na znečištění a kvalitu ovzduší města Prostějova, jehož jsem občanem, a proto jsem si toto město vybral pro zpracování mé diplomové práce.

Veškerá data a výsledky diplomové práce budou zpracována za rok 2015.

## 2 Cíle práce

Cílem této diplomové práce bude zhodnotit míru vzájemné závislosti teplotního zvrstvení atmosféry, zjištěné aerologickými výstupy, s imisní situací měřenou na stanicích monitoringu kvality ovzduší na příkladu města Prostějova a jeho okolí. Dále budou zkoumány koncentrace vybraných znečišťujících látek a těsnost jejich závislosti na výskytu jednotlivých typů teplotního zvrstvení, dále souvislost s typem povětrnostní situace. Rovněž bude zhodnocena těsnost vzájemné závislosti s ohledem na prostorovou vzdálenost místa pořízení aerologického sondážního výstupu od místa sledování přízemních koncentrací znečišťujících látek.

### 3 Použitá metodika a zdroje dat

V této kapitole bude nejdříve popsáno zhodnocení literatury zabývající se danou problematikou, dále budou vypsány zdroje dat a metody zpracování. Závěrem této kapitoly bude popsána geografická charakteristika zájmového území.

#### 3.1 Zhodnocení dostupné literatury

Při tvorbě předložené diplomové práce byly použity publikace, které se zabývají tématikou ochrany ovzduší, jeho znečišťováním a meteorologickými procesy probíhajícími v atmosféře.

Velmi dobrým zdrojem informací je vědecká databáze *Science Direct* (Science Direct, 2017), ve které se nacházejí články zabývající se problematikou k tématu inverzí ve vztahu k planetární mezní vrstvě atmosféry, synoptickými situacemi či koncentracemi polutantů v ovzduší. Například článek od S. Wanga pojednává o znečištěném ovzduší v čínské provincii Xian, ve dnech 16. až 25. prosince 2013. Provedená analýza ukázala, že znečištění bylo způsobené především velkou intenzitou emisí plynných látek (CO, NO<sub>2</sub> a SO<sub>2</sub>) a atmosférických částic (PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>10</sub>). Další příčinou znečištění byla relativní vlhkost, spojená s nízkou teplotou a alokací tlakového pole. Při studiu analýzy byly použity údaje z pozemních monitorovacích stanic, které měřily nejen koncentrace škodlivých látek, ale i radarové údaje o větrných profilech (Wang, S. et. al. 2016).

V roce 2017 byl proveden výzkum analyzující tvorbu a vlastnosti znečištěného vzduchu v zimním období v čínské oblasti Wuhan. Výzkum byl založen na satelitních a pozemních pozorováních. Dvěma hlavními příčinami znečištění byl tlak vzduchu a hromadění znečišťujících látek. Souvislý studený vysokotlakový systém byl doprovázen stabilní inverzní vrstvou po dobu 15 dnů v lednu. Hlavní škodlivou látkou prováděného výzkumu byly prachové částice PM<sub>2,5</sub>, které jsou přenášeny vzduchem (Liu, B. et. al., 2017).

Od čínských autorů ještě stojí za zmínku článek, který se zabývá analýzou případů znečištění koncentrací látek PM<sub>10</sub> ve vybraných městech v severní Číně (Ji, D. et. al., 2011). Ve výše uvedeném článku se můžeme dočíst, že denní koncentrace PM<sub>10</sub>, ve sledovaných oblastech, přesáhly třetí úroveň kvality (což je 250 mg/m<sup>3</sup>) ovzduší. Výsledky ukázaly, že

nejvyšší denní koncentrace  $PM_{10}$ , byla naměřena ve městě Shijiazhuang, a to  $600 \text{ mg/m}^3$ . Hlavními faktory znečištění ovzduší byly doprava a povětrnostní podmínky.

Kromě Číny a asijských států se touto problematikou zabývají i v Evropě. V italské Neapoli zkoumali vztah mezi synoptickými a meteorologickými podmínkami společně s látkou  $PM_{10}$  na znečištění ovzduší v této italské destinaci. Účelem této práce bylo také navrhnout model pro předpověď úrovně znečištění. Výzkum byl proveden v zimním období od listopadu do února po dobu let 2009 až 2013. Hlavní příčinou opakujícího se znečištění v Neapoli je morfologie oblasti s rostoucím tepelným ostrovem města a antropogenním znečištěním, především dopravou (Fortelli, A. et. al., 2016).

Autorka Elisabeth Alonso-Blanco se ve svém článku zabývá vlivem dvou velkých požárů, které měly vliv na kvalitu ovzduší španělského města Leon. Při požárech určují místní podmínky ovzduší tepelné inverze. Právě teplená inverze měla vliv na kouřový oblak se zvýšeným obsahem částic  $PM_{2,5}$  a  $PM_{10}$ , který vytlačila do 70 kilometrů vzdáleného Leonu. Během události vzrostly průměrné hodnoty prachových částic až na  $1700 \pm 600 \text{ cm}^3$  (Alonso-Blanco, E. et. al., 2017).

O vlivu převládajících povětrnostních situací na teplotní inverze nad Britskými ostrovy pojednávají ve svém článku pro Royal Meteorological society (Královská Meteorologická společnost) autoři Milionis a Davies (2007). Tato práce byla prvním systematickým pokusem o kreativní vyjádření této závislosti. Autoři vycházejí z klasifikace, kterou sestavil profesor Lamb, podle které se vyčleňují dvě hlavní skupiny typu počasí. Data zpracována v této práci pochází z radiosondážních měření z aerologické stanice ve městě Hemsby (Milionis, Davies, 2007).

Ve svém dalším článku z roku 1994, autoři Milionis a Davies, přezkoumávali základní teorie regresních a stochastických modelů ke studiu o znečištění ovzduší. Po důkladném zvážení se autoři rozhodli preferovat stochastické modely. Ve svém článku se zmiňovali a zabývali modely Box – Jenkins, Box Tiao a modelem Arima (Milionis, Davies, 1994).

Dílem zaměřující se na aerologické měření je dílo *Instructions for aerological observes* od W. Greega (1921). Kniha je příručkou, která se zabývá aerologickým měřením, jejím účelem je poskytnout veškeré informace všem uživatelům, kteří by se chtěli stát úspěšnými aerologickými pozorovateli. Tato příručka se vztahuje pouze na měření formou

draků a pilotních balónů. V příručce je mimo jiné zmíněno, že aerologická měření se stala tzv. průkopníkem ke zkoumání dějů ve volné atmosféře.

Mezní vrstvou atmosféry se zabývali ve svém díle kolektiv autorů okolo Jamesa M. Wilczaka s názvem *Ground-based remote sensing of the atmospheric boundary layer: 25 years of progress. Boundary-Layer*. V tomto díle je zhodnocen přínos pozemního dálkového průzkumu Země pro studium mezní vrstvy atmosféry a jeho rozvoj za 25 let. Především v 60. letech 20. století byl velký rozvoj metod k určení přesnosti počasí, klimatu či rozptylu polutantů, jako je metoda Lidar nebo aplikace Sodar. Autoři v tomto článku polemizují s užíváním průměrovaných dat z okamžitých sondážních měření v MVA (Wilczak, 1996).

Autoři Piironen a Eloranta popisují kompletní metodiku, jak se dá z dat naměřených Lidarem s velikostí 70 km<sup>2</sup> určit řada parametrů MVA, včetně výšky inverzních vrstev (Piironen a Eloranta, 1995).

Z českých děl je prvním zdrojem informací kniha, na její tvorbě se podíleli čeští odborníci na životní prostředí, s názvem *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší* (Braniš, Hůnová a kol., 2009). Tato kniha, zabývající se atmosférou a jejími složkami, vysvětluje podstatu jevů, které v ní probíhají. Dále se kniha zabývá problematikou znečišťování ovzduší, konkrétně znečištěním ovzduší, jako celkově dále monitorováním a hodnocením kvality ovzduší, modelováním znečištěného ovzduší a účinky, které ovzduší znečišťují. Věnuje se také problematice ochrany ovzduší v České republice i problematice klimatu a jeho změn.

Problematikou procesů probíhajících v atmosféře Země se zabývá dílo *Fyzika mezní vrstvy atmosféry* (Bednář, Zikmunda 1985). Vysokoškolská učebnice přehledně shrnuje znalosti o procesech vyskytujících se v mezní vrstvě atmosféry, která tvoří neodmyslitelnou součást životního prostředí člověka. Právě problematika mezní vrstvy představuje jeden z nejintenzivněji studovaných meteorologických oborů.

Publikace *Aerologie* od Dagmar Vítkové seznamuje s meteorologickou disciplínou s názvem Aerologie. Stejně jako předchozí odborné publikace se zabývá atmosférou, konkrétně jejím složením, dále se zabývá výpočty z radiosondážních měření, radiosondážemi obecně a měřením výškového větru (Vítková, 1970).

Následující publikací je *Příručka ochrany kvality ovzduší* (Henelová a kol., 2013). Příručka byla vytvořena v rámci projektu „Efektivní řízení kvality ovzduší“. Pojí v sobě současnou právní úpravu, technické aspekty a další témata související s ochranou ovzduší, např. znalosti o ekologických a zdravotních důsledcích znečištěného ovzduší, apod. Tento soubor odborných textů z různých oborů umožňuje celostně vnímat disciplínu ochrany ovzduší, která zahrnuje nejenom technické a právní aspekty, ale i ekologické a zdravotní důsledky znečištěného ovzduší.

Problematikou ochrany ovzduší se obecně zabývá i vysokoškolské skriptum *Ochrana ovzduší* (Vysoudil, 2002). Tato skripta obsahují základní informace o atmosféře, znečišťujících látkách a jejich vlivu na člověka a o ochraně ovzduší v různých oblastech České republiky.

Skriptum *Meteorologie a klimatologie* (Vysoudil, 2006) popisuje klimatologii s meteorologií jako vědní disciplíny, zabývající se počasím a podnebím. Autor uvádí základní informace o atmosféře. V uvedeném skriptu jsou k nalezení i informace o meteorologických měřeních, pozorování a technice. Z části se zabývá i ochranou ovzduší.

Posledním zdrojem je série grafických ročenek *Znečištění ovzduší na území České republiky 2000 – 2015*, které vydává Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). Tyto ročenky jsou uceleným přehledem informací o kvalitě ovzduší v České republice v daném roce. Hodnocení kvality ovzduší vychází z naměřených údajů shromážděných v Informačním systému kvality ovzduší (ISKO). Kromě grafických ročenek poskytuje ČHMÚ také aktuální data aerologických měření z civilní stanice v Praze – Libuši a z vojenské aerologické stanice v Prostějově (ČHMÚ, 2017).

### **3.2 Použité datové zdroje**

Primárním zdrojem dat pro tvorbu této diplomové práce byly stránky Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), který je provozovatelem *Informačního systému kvality ovzduší (ISKO)*. Zde jsou k dispozici, jak aktuální data o stavu ovzduší, tak i data z let předchozích. Data jsou měřena na meteorologických a automatizovaných stanicích po celé České republice od roku 1997 a jsou uváděny v tabulkových podobách. Kromě tabulek také ISKO obsahuje mapy a vrstvy oblastí se znečištěním ovzduší. Z portálu ISKO byla vytažena data znečišťující látky PM<sub>10</sub>, za rok 2015.

Kromě dat ovzduší byla ze stránek ČHMÚ také využita data povětrnostních situací z roku 2015, která byla použita při hodnocení výskytu povětrnostních situací a jejich vlivu při výskytu inverzí.

Datové podklady pro zjištění a vyhodnocení inverzí nad územím města Prostějova jsou poměrně omezeny, neboť aerologická měření jsou v Prostějově prováděna armádou ČR ve spolupráci s ČHMÚ. Data jsou dostupná k dispozici jako součást globální sítě aerologických dat, které jsou zveřejněná na portálu *Atmospheric Soundings* (*University of Wyoming, College of Engineering, Department of Atmospheric Science*). Na stránkách této americké univerzity jsou k dispozici data téměř ze všech světových meteorologických stanic, které jsou součástí celosvětové sítě, jež se zabývá aerologickým měřením. Stejně jako z portálu ČHMÚ, byla i odsud vybrána data vztahující se k roku 2015.

Při tvorbě diplomové práce byla použita data z internetového portálu *Ředitelství silnic a dálnic České republiky*, ze kterého byla zpracována data k zjištění dopravní intenzity ve městě Prostějově. K zjištění dopravní intenzity nejsou k dispozici data z roku 2015, proto byla při tvorbě práce použita data ze sčítání dopravy v letech 2005, 2010 a 2016.

### **3.3 Metody zpracování**

Prvním krokem pro zpracování diplomové práce bylo nutné seznámit se a prostudovat odbornou literaturu, která se zabývá tímto tématem. Po nastudování literatury jsem se blíže seznámil s výše uvedeným tématem diplomové práce a doplnil jsem si tak chybějící znalosti.

V dalším kroku byl proveden výtah teoretických poznatků vztahujících se k jednotlivým pojmům, které se týkají této diplomové práce.

V hodnotící části diplomové práce byly nejprve zhodnoceny povětrnostní situace, jejich výskyt a porovnání jednotlivých typů a situací. Po povětrnostních situacích byla zhodnocena otopná sezóna s výpočtem denostupňů za rok 2015.

Hlavní část hodnocení se zabývala výskytem inverzí nad Prostějovem.

Nejdříve byla data vyhodnocena ze sondážních měření, která byla prováděna 2krát za den. Měření probíhala v nočních profilech v 0:00 UTC a denních ve 12:00 UTC, tím bylo vytaženo a zpracováno celkem 730 výstupů. Jednotlivý profil měření obsahuje informace,



kteře se vztahujř k přizemním hodnotám prvků – tlak, teplota a vlhkost vzduchu, směr a rychlost větru, teplota rosného bodu a potencionální teplota s teplotou virtuální.

Následujícím krokem postupu bylo vypočítat výšku nad terénem, její mocnost a teplotní rozděl. Z posledních dvou hodnot byl zjištěn teplotní gradient na 100 m výšky, ze kterého byla určena intenzita inverzř. Intenzita inverzř byla určena ze stabilitní klasifikace podle Bubníka a Koldovského.

Inverze byly zhodnoceny z hlediska jejich četností, výšky a doby trvání a vlivu koncentrací PM<sub>10</sub> a povětrnostních situací na inverze.

Po inverzřch byly zhodnoceny průměrné denní a měsíční koncentrace PM<sub>10</sub> měřené na automatizované imisní stanici v Prostějvě, které mají vliv na znečišťování ovzduší stejně jako doprava, která byla zhodnocena v závěru práce.

## 11747 Prostejov Observations at 00Z 18 Feb 2015

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1014.0	216	-1.1	-2.4	91	3.17	0	0	271.0	279.7	271.5
1010.0	247	0.0	-4.1	74	2.81	319	2	272.4	280.2	272.8
1000.0	325	-0.5	-5.0	72	2.65	215	8	272.6	280.1	273.1
992.0	389	-0.9	-5.1	73	2.64	205	10	272.8	280.2	273.3
971.0	559	-2.1	-5.5	78	2.63	195	16	273.4	280.7	273.8
928.0	918	-4.5	-6.2	88	2.61	210	16	274.4	281.8	274.9
925.0	944	-4.7	-6.2	89	2.61	215	16	274.5	281.9	274.9
881.0	1325	-7.1	-7.7	95	2.44	225	14	275.8	282.8	276.2
857.0	1541	-8.5	-8.6	99	2.34	210	11	276.6	283.3	277.0
850.0	1605	-7.7	-8.0	98	2.47	205	10	278.1	285.2	278.5
849.0	1614	-7.6	-8.3	95	2.42	205	10	278.2	285.2	278.6
793.0	2150	-3.1	-26.1	15	0.58	295	4	288.6	290.4	288.6
755.0	2535	-4.8	-33.2	9	0.31	0	0	290.8	291.8	290.8
711.0	3007	-6.9	-41.9	4	0.14	273	2	293.5	294.0	293.5
700.0	3128	-7.7	-45.7	3	0.09	250	2	293.9	294.3	293.9
665.0	3524	-11.1	-47.1	3	0.08	296	5	294.4	294.8	294.5
615.0	4110	-14.7	-46.8	5	0.09	5	10	297.0	297.4	297.0
561.0	4798	-18.9	-46.5	7	0.10	355	14	300.0	300.4	300.0
552.0	4919	-19.6	-46.5	7	0.11	20	10	300.5	300.9	300.5
519.0	5381	-22.4	-46.2	10	0.12	355	10	302.4	302.9	302.4
500.0	5660	-24.1	-46.1	11	0.12	15	2	303.6	304.1	303.6
456.0	6326	-28.5	-51.5	9	0.07	62	3	306.2	306.5	306.2
408.0	7112	-34.7	-48.7	23	0.11	120	4	308.1	308.5	308.1
400.0	7250	-35.7	-50.7	20	0.09	130	4	308.5	308.9	308.5
375.0	7691	-39.2	-54.6	18	0.06	0	0	309.6	309.8	309.6
336.0	8441	-45.3	-61.3	15	0.03	89	5	311.2	311.3	311.2
320.0	8765	-47.3	-69.3	6	0.01	129	8	312.8	312.8	312.8

Obr. 1: Ukázka datového profilu z aerologického měření v Prostějově (Zdroj: University of Wyoming)

### 3.4 Geografická charakteristika města Prostějova

Statutární město Prostějov se nachází v Olomouckém kraji. Jedná se o třetí největší město Olomouckého kraje, kdy zde k 1. 1. 2016 žilo 43 977 obyvatel (ČSÚ, 2016). Zároveň je největším městem regionu Prostějovsko, které je situováno v severozápadní části Hornomoravského úvalu, východně od Dražanské vrchoviny, v nadmořské výšce 223 m. Rozkládá se na ploše 39,04 ha.

Podnebí je přechodné mezi východoevropským vnitrozemským a západoevropským přímořským. Celé území města Prostějova leží, dle Quittovy klasifikace, v teplé oblasti T2. Oblast je charakterizována krátkou mírnou zimou a dlouhým suchým létem. Teplotní poměry jsou dány nízkou nadmořskou výškou a horskou hradbou Jeseníků ze severu. Prostějovem protékají říčky Hloučela a Romže, které zde společným soutokem vytváří říčku Valovou (Prostějov – statutární město, 2016).

Městem prochází dva hlavní dopravní směry. První směrem je dálnice D46, která prochází východní částí města a rozděluje centrum města od městské části Vrahovice. Nachází se ve směru sever – jih a leží v úseku Olomouc – Vyškov. Druhým dopravním směrem je silnice II/150 procházející středem města z východu na západ. Prostějovem prochází také železniční elektrifikovaná trať 301 Olomouc – Prostějov – Nezamyslice, která město napojuje na koridorové tratě.

Město Prostějov se celosvětově proslavilo především díky oděvnímu a textilnímu průmyslu, který zde měl ve své době prioritní postavení. Sídlil zde největší oděvní podnik v České republice s názvem OP Prostějov. Oděvní podnik skončil v insolvenční a v roce 2014 byla uskutečněna demolice objektu. V současnosti, co se týče textilního a oděvního průmyslu, se zde nachází např. textilní firma Toray Textiles Central Europe s.r.o., která se zabývá výrobou polyesterových tkanin. Konfekční výrobu zastupují soukromé firmy, např. Koutný s.r.o.; H & D a.s.; KAJA s.r.o. Kromě oděvů z textilních materiálů se v Prostějově vyrábí konfekce z kůže a umělé kůže. Řadu let se firma GALA a.s. zabývá výrobou a distribucí sportovních míčů, turistických batohů a sportovních kabel. (Prostějov – statutární město, 2016)

Prioritní postavení v dnešní době má ve městě strojírenský průmysl. Ze zástupců prostějovského strojírenství můžeme jmenovat např. firmy MUBEA (členěnou na MUBEA-HZP s.r.o., Mubea IT Spring Wire s.r.o., Mubea Stabilizer Bar Systems s.r.o.), známá výrobou stabilizátorů, nápravových pružin, přípravou a zušlechťováním materiálu. Dále pak DT výhybkárna a strojírna, a.s. - výrobce výhybkových konstrukcí s dlouholetou tradicí a specializací na vývoj, konstrukci, výrobu, montáž a regeneraci výhybkových konstrukcí pro železniční, podzemní a tramvajové tratě; Hanácké železářny a pérovny, a.s., vyrábějící hlavně pružiny a pružící elementy Strojírny Prostějov, a. s.; Železářny – Annahütte, spol. s r.o. (Prostějov – statutární město, 2016).

Významnou pozici má v Prostějově i stavebnictví a zpracovatelský průmysl. Ze stavebnictví můžeme jmenovat firmy, které jsou známé jak v kraji, tak i po celé České republice např. Pozemstav Prostějov a.s. a Dopravní stavby Holdings a.s., ze zpracovatelského průmyslu to jsou firmy jako např. GRANETTE & STAROREŽNÁ Destilleries, a.s.; PENAM, a.s.; Sladovny Soufflet ČR, a.s.; dále Makovec (výroba mastných produktů) apod. (Prostějov – statutární město, 2016)

## 4 Teoretická část

### 4.1 Mezní vrstva atmosféry

Mezní vrstva atmosféry tvoří spodní část troposféry, která přiléhá k zemskému povrchu. Na mezní vrstvu atmosféry můžeme pohlížet jako na vrstvu tření, jejíž význam vysvětlují autoři Bednář se Zikmundou (1985): „Zemský povrch bezprostředně ovlivňuje proudění vzduchu tím, že nejspodnější vrstva vzdušného proudu se o něj tře a v důsledku toho dochází k poklesu hybnosti proudění. Tyto ztráty hybnosti proudícího vzduchu jsou pak kompenzovány vertikálním transportem hybnosti od výše ležících vzduchových vrstev směrem dolů, což je spojeno se vznikem sil turbulentního tření, které působí proti směru vzdušného proudu.“ Dále můžeme také mezní vrstvu charakterizovat jako teplotní či vlhkostní vrstvu, přičemž v tomto případě bychom mezní vrstvou rozuměli spodní část vzduchu, jejíž vlhkost nebo teplota je ovlivňována povrchem země (Bednář, Zikmunda, 1985).

Co se týče vymezení rozsahu mezní vrstvy atmosféry, ta dosahuje od zemského povrchu do výše několika stovek m až přibližně 2 km. Výška její horní hranice roste se zvětšující se drsností zemského povrchu, s rychlostí větru a se vzrůstající instabilitou teplotního zvrstvení. Je charakteristická tím, že se v ní projevuje vliv tření proudění o terén. Účinkem tohoto tření v ní dochází k turbulenci a intenzivnímu promíchávání vzduchu.

Tloušťka mezní vrstvy atmosféry silně závisí na charakteru terénu, nad nímž tato vrstva leží. Nad rovinnou krajinou zasahuje turbulence, vzniklá třením mezi proudícím vzduchem a podkladem do menší výšky, než nad kopcovitým terénem. Při termickém počasí vystupují stoupavé proudy do výšky až několika tisíc metrů nad zemí a během pohybu vzduchu nahoru ve stoupavých proudech, i dolů v klesavých proudech, se tento vzduch směšuje a promíchává s okolní atmosférou. Do výšky se tak dostává a směšuje vzduch, který si s sebou nese mnohé vlastnosti, dané vlastnostmi podkladu, tím mezní vrstva tak sahá až do několikakilometrové výšky nad zemský povrch (Avimet, 2010; Bednář, Zikmunda, 1985).

V meteorologii patří mezní vrstva atmosféry mezi velice aktuální a studovanou problematiku. Je to způsobené tím, že mezní vrstva tvoří součást lidského života. Hlavním tématem této problematiky je atmosférické znečištění. Člověk stále častěji mění a ovlivňuje své životní prostředí, projevuje se tento krok i v zemské atmosféře. Právě atmosférickým

znečištěním je mezní vrstva postižena nejvíce, což způsobuje negativní dopady na životní prostředí a zdraví člověka (Gvoždíková, 2013).

Proto bude jedním z kroků této diplomové práce sledování koncentrace znečišťujících látek a jejich rozptylu v mezní vrstvě atmosféry.

## 4.2 Změna teploty s výškou a teplotní zvrstvení

Vertikální profil teploty vzduchu závisí na celé řadě faktorů, nejvíce na radiační a turbulentní výměně tepla nad zemským povrchem a spodními vrstvami atmosféry, na absorpci krátkovlnného a dlouhovlnného záření plyny a vodní párou, na uvolňování a pohlcování tepla při fázových přeměnách vody v troposféře a také na advekčním přenosu tepla (Vysoudil, 2006).

O teplotním zvrstvení v mezní vrstvě vypovídá především vertikální teplotní gradient  $\Gamma = -dT/dz$ , jež vyjadřuje pokles nebo růst teploty vzduchu s výškou pro interval 100 m.

Nejvýraznější změna teploty vzduchu s výškou je zaznamenávána v blízkosti aktivního povrchu. S rostoucí vzdáleností od zemského povrchu nastává pokles intenzity změn teploty vzduchu s výškou. U zemského povrchu může hodnota teplotního gradientu činit  $10^3$  °C/100 m. Průměrná hodnota teplotního gradientu v troposféře je 0,65°C na 100 metrů. Tato hodnota není neměnná, ale závisí na nadmořské výšce, poloze místa, tak i na denní a roční době. Ve spodní části, která je nazývána planetární mezní vrstvě atmosféry, je hodnota vertikálního teplotního gradientu podmíněna radiační bilancí systému aktivní povrch – atmosféra a turbulentní výměnou tepla (Ruda, 2014).

Aby mohla vzniknout inverze, musí být splněny určité podmínky teplotního zvrstvení atmosféry, které jsou charakterizovány podle zmíněného teplotního gradientu, který se v závislosti na povaze vzduchové hmoty mění (Sobíšek, 1993).

**Teplotní gradient  $\Gamma$**  = změna teploty T vzduchu s výškou z ( $\Gamma = -dT/dz$ ), teplotní gradient se určuje obvykle pro interval výšky 100 m. Kladné hodnoty  $\Gamma$  vyjadřují pokles teploty a záporné růst teploty s výškou.

**Suchoadiabatický teplotní gradient  $\gamma$**  = záporně vzatá změna teploty částice suchého vzduchu při jejím přemístění o jednotkovou vzdálenost ve vertikálním směru za adiabatického děje,

tzn. děj bez výměny energie s okolní atmosférou, jeho zaokrouhlená hodnota je 1°C na 100 m. **Nasyčeně adiabatický teplotní gradient  $\gamma'$**  = záporně vzatá změna teploty částice nasyceného vzduchu při jejím přemístění o jednotkovou vzdálenost ve vertikálním směru za adiabatického děje, tzn. děj bez výměny energie s okolní atmosférou, jeho hodnota je závislá hlavně na teplotě a tlaku vzduchu: kolísá od 0,2°C na 1,0 °C na 100 m.. Pře teplotě 0°C a tlaku vzduchu 1000 hPa nabývá hodnoty 0,6°C na 100m.

V závislosti na velikosti vertikálního teplotního gradientu okolní atmosféry rozlišujeme pět tříd stability atmosféry podle Bubníka a Koldovského, která je uvedena v metodice Symos 97 (Symos 97).

Tab. č. 1: Stabilitní klasifikace, dle Bubníka a Kolovského

třída stability	vertikální teplotní gradient [°C na 100 m]	Popis
1. superstabilní	$\gamma < -1,6$	silná inverze, velmi špatné rozptylové podmínky
2. stabilní	$-1,6 \leq \gamma < -0,7$	běžné inverze, špatné rozptylové podmínky
3. izotermní	$-0,7 \leq \gamma < 0,6$	slabé inverze, izotermie nebo malý kladný teplotní gradient, často se vyskytující mírně zhoršené rozptylové podmínky
4. normální	$0,6 \leq \gamma \leq 0,8$	indiferentní teplotní zvrstvení, běžný případ dobrých rozptylových podmínek
5. konvektní	$\gamma > 0,8$	labilní teplotní zvrstvení, rychlý rozptyl znečišťujících látek

(zdroj: metodika Symos 97)

- **V 1 třídě stability (superstabilní)** s vertikálními teplotními gradienty menšími než -1,6 o C/100 m je rozptyl znečišťujících látek v ovzduší velmi malý nebo téměř žádný. Znečišťující látky se i ve viditelné formě šíří na velké vzdálenosti. Koncentrace při zemi jsou nízké a ve vlečce velmi vysoké. Proto ve značně vyvýšených polohách (vzhledem k efektivní výšce komína) jsou v této třídě

stability počítány absolutní maxima koncentrací. Pro prach toto tvrzení platí i v rovině (jako důsledek pádové rychlosti částic).

- **Ve 2. třídě stability (stabilní)** s vertikálními teplotními gradienty od -1,6 do -0,7 o C/100 m jsou rozptylové podmínky stále nepříznivé, i když lepší než v I. třídě stability.
- **Ve 3. třídě stability (izotermní)** s vertikálními teplotními gradienty od -0,6 do +0,5 o C/100 m (vertikální teplotní gradient se pohybuje kolem nuly, teplota s výškou se mění jen málo) se rozptylové podmínky vylepšují. Jedná se o přechodovou třídu stability mezi stabilními třídami a třídou normální.
- **Ve 4. třídě stability (normální)** s vertikálními teplotními gradienty od +0,6 do +0,8 o C/100 m jsou rozptylové podmínky dobré. Tato třída stability se v atmosféře vyskytuje nejčastěji (v rovině a málo nebo mírně zvlněné krajině). Proto se nazývá normální třída. Ve významně zvlněné krajině se však část její četnosti výskytu přesouvá do III. třídy stability.
- **V 5. třídě stability (konvektivní)** jsou sice nejlepší rozptylové podmínky (vertikální teplotní gradient je větší než +0,8 o C/100 m), ale v důsledku intenzivních vertikálních konvektivních pohybů se mohou vyskytnout v malých vzdálenostech od zdroje nárazově vysoké koncentrace.

### 4.3 Teplotní inverze a její typy

Teplotní inverzi označujeme jako stav atmosféry, kdy teplota s rostoucí výškou roste, zatím co za normální situace klesá. Teplotní inverze se chová jako zádržná vrstva, ve které se koncentrují škodlivé látky z dopravy lokálního topení a dalších zdrojů. Atmosféra je ve stavu inverze velmi stabilní a může tak setrvat i mnoho dnů, nebo někdy i týdnů. Rozrušení inverze způsobí většinou až příchod výraznější atmosférické fronty a s ní spojené proudění (ČHMÚ, 2017).

Podobně popisují teplotní inverze autoři Braniš a Bednář ve svých publikacích, kde teplotní inverze představují nejstabilnější typ stavu atmosféry, silně potlačují vertikální

pohyby a promíchávání ve vzduchových hmotách, čímž omezují vývoj konvekčních oblaků, prostorový rozptyl příměsí apod. (Bednář, Zikmunda, 1985; Braniš, Hůnová a kol., 2009).

Z meteorologie je známo, že existuje řada příčin vzniku teplotních inverzí. Celkově můžeme říct, že mnohem lepší podmínky pro vznik teplotních inverzí jsou v zimních měsících než v letních, protože v chladné polovině roku jsou podstatně menší možnosti pro účinný rozptyl znečišťujících příměsí v prostoru. Kromě toho v zimních měsících bývá ovzduší měst znečišťováno produkty spalovacích procesů mnohem víc než v měsících letních. I z uvedených důvodů se ochrana čistoty atmosféry v těchto měsících stává zvláště důležitou (Pavlicová 2007).

Pro dělení teplotních inverzí využíváme různých hledisek. Nejběžnějšími hledisky pro dělení teplotních inverzí, i podle literatury, jsou **podle výšky inverzní vrstvy nad zemí** a **podle příčiny**. Setkáme se ale i s dělením dle **dynamické povahy** (Sobíšek, 1993; Braniš, Hůnová a kol., 2009).

**Inverze podle příčiny vzniku** dělíme na: advekční, frontální, subsidenční, turbulentní, ale i na pasátové nebo sněhové.

### **Advekční inverze**

Advekční inverze mohou být přízemní nebo výškové. Přízemní inverze advekčního typu vznikají prouděním relativně teplého vzduchu nad studenějším zemským povrchem, o který se ochlazuje. Taková situace nastává například v zimních měsících při proudění teplejšího oceánského vzduchu nad prochlazeným kontinentem nebo naopak v letních měsících, kdy proudí teplejší prohřátá vzduchová hmota kontinentálního původu nad chladnější mořský povrch. Typickým příkladem přízemních advekčních inverzí je proudění teplého vzduchu nad územím, které je pokryté sněhovou pokrývkou (tzv. sněhová inverze). Při vytváření výškových advekčních inverzí je zcela podobný jako u přízemních. Projevuje se tehdy když, ve výšce proudí teplejší vzduch než v nižších polohách. Velmi názorným případem v tomto směru je, kdy po zimním vpádu studeného vzduchu se změnil směr proudění natolik, že nad prochlazený zemský povrch a k němu přiléhající vrstvu studeného vzduchu začne ve výšce proudit vzduch teplejší. Příkladem takové situace je, když u nás v zimních měsících dojde ke změně proudění ze severu na proudění z jihu, což se stává, když přes střední Evropu přechází od západu na východ tlaková výše. Pak je česká kotlina zalita



studeným vzduchem, přes který postupně proudí teplejší vzduch od jihu. Tímto způsobem vzniká výšková teplotní inverze, která může trvat řadu dní (Bednář, Zikmunda 1985).

### **Frontální inverze**

Tento druh inverze se vytváří na atmosférických frontách, proto je nazýváme frontální. Tento druh inverze představuje přechodovou vrstvu nad dvěma teplotně odlišnými vzduchovými hmotami nalézajícími se částečně jedna nad druhou. Vznikají na teplé frontě nasouváním relativně teplého vzduchu nad vzduch studený, který je postupně zatlačován aktivnějším teplým vzduchem. Můžou vznikat i na studené frontě, kde je aktivnější vzduch studený. Frontální inverze můžeme pozorovat v kterékoliv části troposféry (Sobíšek, 1993; Braniš, Hůnová a kol., 2009).

### **Radiační inverze**

Přízemní inverze radiačního typu se vyskytují v planetární mezní vrstvě atmosféry a váží se na pevninu nebo na zamrzlou vodní hladinu. Příčinou vzniku těchto inverzí je ochlazování aktivního povrchu vyzařováním v nočních hodinách. Výskyt těchto inverzí je častý zejména v údolích, v uzavřených kotlinách nebo na územích pod svahy neboť zde k radiačním faktorům přistupuje i skutečnost, že těžší prochlazený vzduch sklouzává podél svahů dolů. Pro vznik těchto inverzí je typická jasná obloha a slabé proudění nebo bezvětří v přízemní vrstvě atmosféry. Dále ke vzniku těchto inverzí napomáhá v zimních měsících sněhové pokrývky, kdy sníh velmi účinně odráží slunečnímu záření a brání přívodu tepla z půdy, tím podstatně přispívá k prochlazování přízemní vrstvy vzduchu. V jarních a podzimních měsících způsobují přízemní mlhy a mrazy, v letních měsících doprovázení rosy.

Kromě přízemních radiačních inverzí se mohou vyskytovat i inverze výškové. Představme si vrstvu ovzduší, která obsahuje z určitých důvodů zvýšené množství vodní páry. Protože vodní pára intenzivně vyzařuje elektromagnetickou radiaci a dojde tak postupnému ochlazování zmíněné vrstvy a v blízkosti její horní hranice pak může vzniknout teplotní inverze (Bednář, Zikmunda, 1985; Vysoudil, 2006; Braniš, Hůnová a kol., 2009).

## **Subsidenční inverze**

Vznikají vlivem sesedání (subsidence) stabilní vzduchové hmoty v oblastech vysokého tlaku vzduchu. Jedná se o inverze výškové, ale mohou postupně klesat až k zemskému povrchu, kde rychle zanikají.

## **Turbulentní inverze**

Jedná se o vertikálně nepříliš mohutné výškové inverze. Výchozí situací pro vznik této inverze je stabilní teplotní zvrstvení ovzduší. Jestliže se ve vrstvě vzduchu přiléhající k zemskému povrchu nastane silné turbulentní mísení, vytvoří se tak v této vrstvě vertikální teplotní gradient blízký adiabatickému. Přitom nad směšovací vrstvou zůstává přibližně zachován původní vertikální profil teploty vzduchu. Tím v oblasti horní hranice směšování vznikne vrstva s inverzí teploty. Turbulentní inverze řadíme mezi výškové inverze, jak bylo řečeno na začátku (Sobíšek, 1993).

## **Pasátové inverze**

Tato teplotní inverze se vyskytuje v oblasti pasátů. Je způsobena subsidencí vzduchu z vyšších hladin. Odděluje vlhký pasátový vzduch v nižších hladinách od teplého a velmi suchého vzduchu ležícího nad ním (Sobíšek, 1993).

## **Sněhové inverze**

Můžeme je nazývat jarní inverze, protože vzniká na jaře nad tající sněhovou pokrývkou v důsledku spotřeby tepla během tání sněhu. Při silnějším větru se v důsledku turbulence inverze tohoto typu nevyskytuje přímo u zemského povrchu, ale v určité výšce nad ním (Sobíšek, 1993).

**Inverze dle výšky inverzní vrstvy** dělíme na přízemní a výškové.

## **Přízemní inverze**

Jedná se o teplotní inverze, které se vyskytují v mezní vrstvě atmosféry, začínající bezprostředně od zemského povrchu. Obvykle vznikají jako důsledek nočního vyzařování aktivního povrchu. Kromě noční doby se v její vertikální mohutnosti a teplotním gradientu

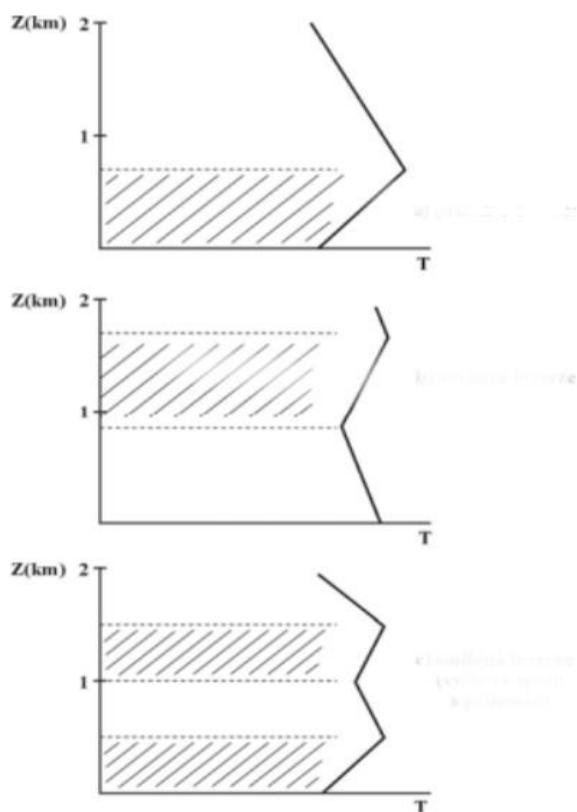
projevuje konfigurace reliéfu, geologické složení a charakter rostlinné nebo sněhové pokrývky zemského povrchu. V zimních měsících, kdy je na zemském povrchu malý příkon slunečního záření, se mohou přízemní inverze vytvářet i během dne (Sobíšek, 1993).

### **Výškové inverze**

Jsou to teplotní inverze, které se vyskytují nad zemským povrchem v určité výšce. Tyto inverze mohou vznikat například v důsledku subsidence vzduchu v oblastech vysokého tlaku vzduchu, advekce teplého vzduchu ve výšce nebo při pasátové cirkulaci a často v oblasti tropopauzy (Sobíšek, 1993).

Inverze podle dynamické povahy dělíme na **dynamické** a **statické** teplotní inverze. **Statické** teplotní inverze vznikají především bez výraznějšího uplatnění dynamických a advekčních příčin (např. radiační inverze). **Dynamické** teplotní inverze vznikají z dynamických a advekčních příčin (např. inverze advekční, frontální subsidenční a turbulentní) (Sobíšek, 1993).

Na následujícím obrázku jsou schematicky znázorněny inverze dle výšky inverzní vrstvy. Nahoře se nachází schéma přízemní inverze (výčárkovaná vrstva), prostřední schéma vyznačuje výškovou inverzi a spodní schéma značí přízemní inverzi, nad kterou leží inverze výšková, kterou můžeme nazvat inverzí smíšenou. V pravé části obrázku je uveden generalizovaný vertikální profil teploty vzduchu  $T$  v závislosti na vertikální souřadnici  $z$ .



Obr. 2: Teplotní inverze (Zdroj: Vysoudil, 2006, vlastní úprava)

Poznámky: horní graf vyznačuje přízemní inverzní vrstvu, prostřední graf pak inverzi výškovou, spodní graf vyznačuje smíšenou inverzi, kde se nachází výšková inverze společně s přízemní.

#### 4.4 Povětrnostní situace

Synoptickou neboli povětrnostní situaci můžeme definovat jako určité rozložení vzduchových hmot, atmosférických frontálních cyklon a anticyklon, které určují ráz počasí nad určitou geografickou oblastí. Přehled o celkové povětrnostní situaci nám poskytují synoptické mapy. Slouží jako základní pomůcka pro analýzu počasí. Pomocí izobar, jsou na mapách zakresleny polohy tlakových útvarů a vyznačeny polohy front. Analogicky můžeme zachytit i rozložení teploty pomocí izoterm (ČHMÚ, 2017).

Pro účely synoptické meteorologie se tradičně konstruuje kalendáře synoptických (povětrnostních) situací. Klasifikace bývají založeny na určité metodice, která každý den podle

aktuální synoptické situace přiřazuje do jednoho typu. Pro území České republiky se pravidelně od roku 1946 až doposud sestavuje kalendář synoptických typů. Typizace povětrnostních situací se dělá na základě metodického přepisu z Katalogu povětrnostních situací pro ČSSR z roku 1968, kde je k dispozici popis všech 24 synoptických situací. Přesto nevystihuje všechny situace, které se vyskytují nad naším územím zcela vyčerpávajícím způsobem (ČHMÚ, 2017).

Povětrnostní situace dělíme na cyklonální a anticyklonální. Při situaci cyklonální převládá nad sledovaným územím cyklonální počasí. U většiny cyklonálních typů se používá index c. Např.: Wc – západní cyklonální situace, ta je nad územím ČR velmi četná (Vysoudil, 2006).

U anticyklonálních situací je to obdobné a u většiny anticyklonálních typů se používá index a. Např.: Wa – západní anticyklonální situace.

#### **4.5 Vliv teplotních zádržných vrstev**

##### **Proudění v atmosféře**

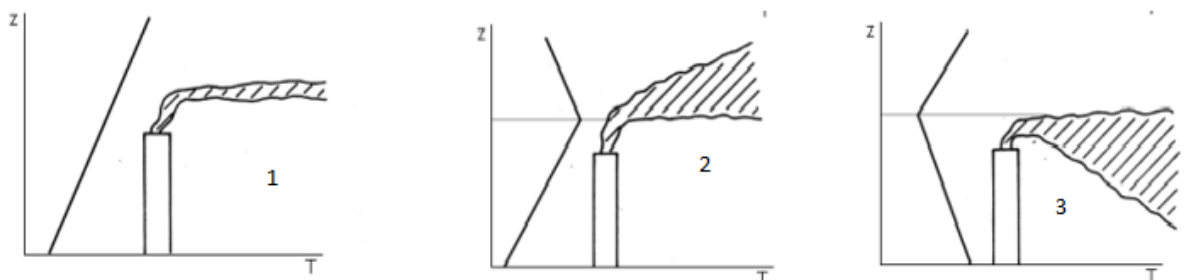
Nejvýznamnějším činitelem, který ovlivňuje přenos znečišťujících příměsí, je proudění v atmosféře. Z tohoto důvodu má rychlost a směr větru podstatný význam pro rozbor a sestavování předpovědi znečištěných ovzduší. V mezní vrstvě atmosféry se nachází většina antropogenních příměsí. Pro jejich transport rozhoduje vliv proudění ve vrstvě, která se nachází do výše 2 kilometrů od zemského povrchu.

V dnešní době se při studiu a hodnocení přenosu znečišťujících příměsí na větší vzdálenosti používá údajů o 33 poli proudění v izobarické hladině 850 hPa což je zhruba 1500 m nad úrovní hladiny moře. Někteří autoři se přiklánějí k izobarické hladině 925 hPa, která se nachází nad nížinnými oblastmi, ta ale v našich středoevropských podmínkách není příliš vhodná, neboť se nalézá na mnoha místech pod úrovní zemského povrchu. (Bednář, Zikmunda, 1985).

Do značné míry může být prouděním vzduchu ovlivněno i teplotní zvrstvení atmosféry, kdy dochází k podstatné modifikaci podmínek, které působí na rozvoj turbulentní

difúze a s ní spojeného promíchávání ve vzduchové hmotě. V případech, kdy je teplý vzduch přiváděn nad chladný zemský povrch, nebo jestli je proudící vzduch vyšší ve výše položených hladinách, než v hladinách které jsou položeny níže. Tímto procesem mohou často vznikat inverze advekčního původu, což omezuje vertikální mísení vzduchu, a tím se zmenšuje intenzita prostorového rozptylu znečišťujících příměsí. V tomto směru bývá v zimních měsících proudění z jihovýchodu. Proudění z jižních směrů bývá spojeno s teplou advekcí nad relativně studeným zemským povrchem, zatímco v zimních měsících přivádí východní proudění stabilně silně zvrstvenou hmotu. Naproti tomu proudění ze severozápadní poloviny obzoru bývá spojeno s advekcí instabilnější vzduchové hmoty a usnadňuje tím prostorový rozptyl příměsí (Bednář, Zikmunda, 1985).

Na našem území obvykle bývají při proudění z jihovýchodu horší rozptylové podmínky než při proudění z ostatních směrů. Z tohoto pravidla se však vymykají situace s velmi slabým prouděním, neboť pak je prostorový rozptyl nečistot vždy malý. Z hlediska vzniku nebezpečných vysokých koncentrací znečišťujících příměsí se proto jeví jako zhruba nejméně příznivé anticyklonální situace s převládajícím prouděním jižních nebo východních směrů, popř. s velmi slabým prouděním libovolného směru, zatímco při cyklonálních situacích s čerstvým západním, severozápadním nebo severním prouděním bývají obvykle poměrně dobré rozptylové podmínky (Bednář, Zikmunda, 1985; Pavlicová 2007). Přizemní inverze brání ve vrstvě vertikálnímu mísení vzduchu bezprostředně přiléhající k zemskému povrchu. Tímto následkem se pocházející nečistoty z přízemních zdrojů hromadí u země, kde potom dochází ke vzniku vysokých koncentrací škodlivin. Na druhé straně tento typ teplotních inverzí výrazně zmenšuje přízemní koncentrace příměsí v okolí tzv. výškových zdrojů (např. komíny tepelných elektráren a některých závodů, jejichž efektivní výška dosahuje několika stovek metrů). Tyto zdroje se obvykle nalézají už nad horní hranicí přízemních teplotních inverzí a jejich kouřové vlečky se rozptylují v prostoru nad inverzí, zatímco rozptyl znečištění směrem dolů je potlačován silnou stabilitou v inverzní vrstvě (Bednář, Zikmunda, 1985).



Obr. 3: Šíření kouřové vlečky, při výskytu inverze (zdroj: Ruda 2014, vlastní zpracování).

Poznámky: 1) čerení, 2) unášení, 3) zadymování.

V případě výskytu výškových teplotních inverzí je pro rozptyl znečištění velmi důležitá výška jejich dolní hranice nad zemským povrchem. Zvláště nebezpečné bývají inverze, jejichž dolní hranice leží ve výškách okolo 100 metrů, v těchto výškách se znečištění jak z přízemních, tak z většiny výškových zdrojů hromadí v podinverzní vrstvě vzduchu a rozptyl nečistot do vyšších hladin ovzduší je omezen (Bednář, Zikmunda, 1985).

### Rozložení tlakových útvarů

Rozptyl znečišťujících příměsí je také závislý na povaze tlakového pole. V cyklonách dochází k vzestupným pohybům, zatímco pro anticyklony jsou typické pohyby sestupné. Vzestupné pohyby podporují vertikální mísení a tím usnadňují prostorový rozptyl příměsí. Naproti tomu sestupné pohyby zachycují nečistoty v blízkosti zemského povrchu. V oblastech vysokého tlaku tak dochází vlivem sestupných pohybů k sesedání vzduchu a v tomto důsledku vznikají termodynamické procesy, které mohou vést ke vzniku subsidenčních inverzí teploty. Anticyklonální situace se obvykle vyznačují slabším, někdy i velmi slabým prouděním, což rovněž nepřispívá k přenosu a rozptylu příměsí do větších vzdáleností od zdrojů na rozdíl od cyklonálních situací. Počasí s malou oblačností, jaké se často vyskytuje během anticyklonálních situací, napomáhá zejména v zimním období intenzivnímu radiačnímu ochlazování zemského povrchu, což vede ke vzniku mohutných přízemních inverzí teploty a tímto způsobem se rovněž zhoršují rozptylové podmínky (Bednář, Zikmunda 1985).

Z hlediska ochrany čistoty ovzduší se tedy anticyklonální situace jeví ve srovnání s cyklonálními jako podstatně nepříznivější, neboť během jejich trvání dochází ke vzniku vysokých koncentrací znečištění v blízkosti zdrojů emisí. Naproti tomu má mísení vzduchové

hmoty lepší podmínky během cyklonálních situací, příměsí se rozptylují do větších vzdáleností od svých zdrojů a nedochází tak ke vzniku extrémně vysokých koncentrací nečistot. Obzvláště nepříznivé jsou situace, kdy vlastní působení oblasti vysokého tlaku je doplňováno vlivem směru proudění, např. zimní situace, ve kterých tlaková výše přechází zhruba od západu na východ přes oblast střední Evropy. V první fázi tohoto přechodu, kdy střed zmíněné výše je dosud od nás západně, převládá ve střední Evropě severní nebo severozápadní proudění a k jihu pronikající studený vzduch vyplní českou kotlinu. Jakmile střed tlakové výše přejde do oblasti, které od nás leží východně, získá proudění výraznou jižní složku a začne k nám ve výšce proudit teplejší vzduch, který se nasouvá nad studenou vzduchovou hmotu, uzavřenou v české kotlině. Tento proces obvykle vede ke vzniku výškové teplotní inverze advekčního původu. Naproti tomu relativně dobré rozptylové podmínky lze očekávat za cyklonálních situací s čerstvým prouděním ze severozápadní poloviny obzoru (Bednář, Zikmunda, 1985).

#### 4.6 Stručná charakteristika podmínek rozptylu

Bednář se Zikmundou (1985) označují pro čistotu ovzduší takové příznivé podmínky, které zabezpečují dostatečnou intenzitu prostorového rozptylu emisí, které zabraňují vzniku vysokých koncentrací škodlivin v blízkosti jejich zdrojů.

Rozptylové podmínky jsou meteorologické podmínky pro rozptyl znečišťujících látek v ovzduší. Na rozptylu se hlavně podílí dva atmosférické faktory: srážky, které vymývají škodliviny z ovzduší, a tím druhým faktorem je proudění vzduchu. Rozptylové podmínky jsou ovlivňovány charakterem synoptické (povětrnostní) situace, která může být spjata s přítomností vzduchové hmoty určitých vlastností v dané oblasti. Náhlá výměna vzduchových hmot, jaká proběhne při přechodu atmosférické fronty, se pak projeví výraznou a rychlou změnou koncentrací znečišťujících příměsí.

ČHMÚ (2010), definuje tři druhy rozptylových podmínek:

- **Dobré** – ve výšce 1000 až 1500 m nad povrchem se nevyskytuje žádná vrstva, která by omezovala rozptyl škodlivin. V případě výškové zádržné vrstvy závisí i na rychlosti větru pod spodní hranici zádržné vrstvy



- **Mírně nepříznivé** – vyskytuje se zádržná vrstva, která v závislosti na rychlosti větru omezuje možnost rozptylu škodlivin, ale nespĺňuje parametry nepříznivých ani dobrých podmínek rozptylu
- **Nepříznivé** – stav, kdy rozptyl příměsí v atmosféře je téměř znemožněn a který v oblasti se zdroji znečištění dává předpoklad k déletrvajícimu významnému překročení imisních limitů. Tento stav rozptylových podmínek nastává, když je mohutná zádržná vrstva ve výšce do 1000m nad terénem v kombinaci se slabým nebo žádným prouděním.

#### 4.7 Znečištění atmosféry

Znečištění atmosféry, neboli ovzduší, je často skloňovaným pojmem ve spojení s výskytem inverzí teploty a klimatem měst. Jedná se o zvýšené koncentrace nejrůznějších škodlivin – látek kapalného, plynného a pevného skupenství, antropogenního i přirozeného původu, které mají škodlivé účinky na zdraví člověka nebo jiné organismy, ale také negativní vliv na různé neživé objekty (Sobíšek, 1993). Normou ve vyspělých státech je stanovování nejvýše přípustných koncentrací z hlediska humánní hygieny. Rozptyl hodnot hraničních koncentrací je pro různé země jinak značný, s ohledem na jejich rozdílná definování a také nutnosti zohlednit míru očekávaného nebo nevyhnutelného znečištění. Přesažení limitů v daných oblastech je vázané na výskytu specifických podmínek vedoucích k omezené ventilaci a tím i k snížení rychlosti rozptylu škodlivin. Těmi bývají právě inverzní vrstvy v blízkosti povrchu (Stryhal, 2012).

Ovzduší města Prostějova bývá znečišťováno prašným aerosolem o frakci  $PM_{10}$ , který je pospán v následující kapitole.

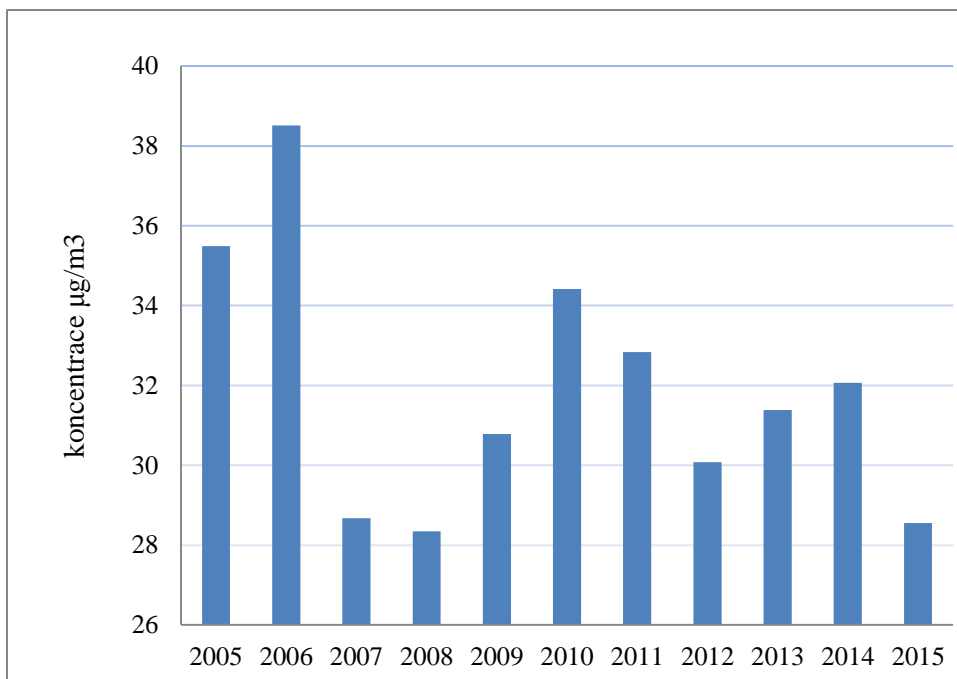
#### 4.8 $PM_{10}$ – prašný aerosol

Atmosférický aerosol je všude přítomnou složkou atmosféry Země, který vzniká téměř výhradně, jako negativní produkt lidské činnosti. Je definován jako soubor tuhých, kapalných nebo směšných částic o velikosti v rozsahu 1 nm - 100 $\mu$ m. Z hlediska zdravotního působení atmosférického aerosolu na člověka byly definovány velikostní skupiny aerosolu označované jako  $PM_x$  (Particulate matter), které obsahují částice o velikosti menší než x  $\mu$ m. Běžně rozlišujeme  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  a  $PM_{1,0}$  (IRZ, 2006).

Prašný aerosol může být přirozeného i antropogenního původu. Mezi nejvýznamnější antropogenní zdroje patří především spalovací procesy, hlavně v automobilových procesech a elektrárnách a další vysokoteplotní procesy, jako je svařování nebo tavení rud či kovů. Tyto procesy produkují částice o velikosti 20 nm. Aerosol může také vznikat odnosem částic větrem ze stavebních ploch nebo v důsledku odstranění vegetačního pokryvu z půdy. Dalšími zdroji mohou být neuzpevněné komunikace, těžební činnost a zemědělské operace. Z ovzduší se aerosol dostává do ostatních složek životního prostředí pomocí suché nebo mokré atmosférické depozice. Platí, že čím menší průměr částice má, tím déle zůstane v ovzduší. Částice o velikosti přes 10  $\mu\text{m}$  sedimentují na zemský povrch v průběhu několika hodin. Prachové částice v ovzduší přinášejí zdravotní rizika pro člověka a ostatní živé organismy (IRZ, 2006).

V automatických monitorovacích stanicích se měření koncentrace  $\text{PM}_{10}$  provádí radiometrickou metodou. Ta je založena na absorpci beta záření ve vzorku zachyceném na filtračním materiálu. Z rozdílu absorpce beta záření mezi exponovaným a neexponovaným filtračním materiálem, který je úměrný hmotnosti zachyceného prашného aerosolu, je odvozen údaj o jeho koncentraci. U manuálních stanic se měření provádí gravimetrickou metodou. Vzorek se odebírá spojitou filtrací venkovního ovzduší přes vybraný filtrační materiál rychlostí 33-55 centimetrů za sekundu. Hlavice filtru je obrácena směrem dolů otevřenou stranou. Výška odběrové hlavice nad povrchem je 1,5-3,0 m. Doba odběru je na všech stanicích ČHMÚ stejná, tedy 24 hodin. Frekvence odběrů odpovídají charakteru lokality, kde bylo místo odběru zřízeno. Zachycené množství vzorku na filtru (v  $\mu\text{g}$ ) se stanovuje gravimetricky jako rozdíl hmotnosti filtru po a před expozicí (IRZ, 2006; Zapletalová 2015).

Podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. a vyhlášky 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích, je pro  $\text{PM}_{10}$  za jeden kalendářní rok imisní limit stanoven na  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Denní imisní limit pro  $\text{PM}_{10}$  je  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tento limit může být překonán maximálně 35 krát za rok (ČHMÚ, 2012).



Obr. 4: Průměrné roční koncentrace PM<sub>10</sub> na AMS v Prostějově v letech 2005 – 2015 (zdroj: ISKO, vlastní zpracování).

Na obrázku 4 je znázorněno desetileté období průměrných ročních koncentrací z AMS v Prostějově. Během let 2005 až 2015 nebyl překročen roční imisní limit. Nejbližše se k maximální hranici přiblížil rok 2006, kdy byla průměrná roční koncentrace PM<sub>10</sub> 38,51 µg/m<sup>3</sup>. Nejnižší hodnota koncentrace byla zaznamenána v roce 2008 a to 28,34 µg/m<sup>3</sup>. Nižší hodnoty koncentrace PM<sub>10</sub> byly naměřeny v letech 2007 a 2015, kdy koncentrace PM<sub>10</sub> byla pod 29 µg/m<sup>3</sup>.

Tab. 2: Počet překročení průměrného denního imisního limitu PM<sub>10</sub>, v Prostějově a maximální průměrné denní hodnoty v letech 2005 – 2015.

rok	Počet překročení průměrného denního imisního limitu PM <sub>10</sub>	maximální průměrné denní hodnoty $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
2005	78	172,6
2006	72	271
2007	39	208,6
2008	34	133,8
2009	45	154,9
2010	67	282,4
2011	65	170,4
2012	47	200,2
2013	42	130
2014	54	159,8
2015	37	128,3

(Zdroj: ISKO, vlastní zpracování)

Z tabulky číslo 2 lze vyčíst, že podle zákona byl imisní limit  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  překročen méně než 35krát pouze v roce 2008, a to 34krát. Nejvíce byl překročen v roce 2005, a to celkem 75krát. Nejvyšší maximální průměrná denní hodnota  $282,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  byla naměřena v roce 2010.

## **5 Aerologická měření a meteorologické stanice na území města Prostějova**

### **5.1 Způsoby zjišťování inverzí v mezní vrstvě atmosféry**

Vzhledem k širokému spektru inverzí teplot v mezní vrstvě atmosféry je možné v literatuře identifikovat i různé přístupy jejich měření a lokalizace. Měření můžeme rozdělit podle toho, jestli se jedná o přesné měření teploty v daném profilu vzduchu nebo se hranice výrazných stabilních vrstev pouze odhadují, ať už s pomocí měřených teplot na jiném místě nebo z jiných meteorologických jevů nebo prvků. Vítková (1970) ve své publikaci dělí aerologii na přímou nebo nepřímou. Přímou aerologií je přístroj nesený zařízením přímo prolétající atmosférou. Nepřímou aerologií je pak přístroj umístěn na zemském povrchu.

Dobrou možností pro zjištění inverzí jsou aerologická měření.

### **5.2 Aerologická měření**

Aerologie je meteorologický obor, který se zabývá pozorováním a výzkumem vrstev atmosféry, které jsou pro pozorování ze zemského povrchu nedostupné. Pro první aerologická měření se využívali upoutaní draci nebo balóny s lidskou posádkou nebo bez ní (Vítková 1970). V dnešní době se pro měření kromě balónů používají i letadla, rakety a radiosondy, na kterých jsou umístěna čidla meteorologických přístrojů, které zaznamenávají údaje měřených meteorologických prvků. Dnešní potupy dovolují data využívat teoreticky v okamžiku měření a v řadě různých aplikací. Základními a nejčastějšími měřenými prvky jsou teplota a vlhkost vzduchu, směr a rychlost větru a atmosférický tlak. Dále se může zkoumat ozon, radioaktivita, atmosférická elektřina či složky záření.

Na území České republiky se v současné době nachází dvě aerologické stanice. Tou první je meteorologická stanice Praha – Libuš, která je součástí sítě aerologických stanic Světové meteorologické organizace (WMO). Měření se zde provádí třikrát denně v časových intervalech 0:00, 6:00 a 12:00 hodin světového času (UTC), prostřednictvím aerologických sond, kdy aerologická sonda stoupá v atmosféře pomocí vodíkem plněného meteorologického balónu až do výšky 30 – 35 kilometrů. Průlet sondy atmosférou do okamžiku prasknutí rozpínajícího balónu trvá kolem 90 minut, proto samotný start předchází uvedené termíny o 30 – 45 minut. Během letu měří sonda tlak vzduchu, teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu a na

základě lokalizace její polohy je určován směr a rychlost větru v jednotlivých výškách (ČHMÚ, 2017).

Druhou stanicí v České republice, na které se provádí aerologická měření, je aerologická stanice v Prostějově. Ta rovněž patří do sítě stanic meteorologické organizace (WMO), číslo prostějovské stanice je 11747. Prostějovská stanice spadá pod Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad. Také zde se měří základní meteorologické prvky jako v Praze, ale k měření dochází jen ve dvou časových intervalech, a to 0:00 a 12:00 hodin UTC. Na rozdíl od pražské stanice se v Prostějově vůbec neměří radioaktivita s ozonem. (Stryhal, 2012; ČHMÚ 2017). Nadmořská výška prostějovské aerologické stanice je 216 m n. m.

### **5.3 Monitorovací stanice v Prostějově**

Na území města Prostějova můžeme ze stránek ČHMÚ mapovat celkem čtyři monitorovací stanice, z nichž tři stanice jsou v dnešní době mimo provoz. Jednalo se o stanice Prostějov – Olomoucká, Prostějov – Svatoplukova a Prostějov – Státní lesy, které ukončily svoji činnost v roce 2003. Na těchto stanicích se měřily koncentrace SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a SPM.

Monitorovací stanice Prostějov – Olomoucká vznikla v roce 1981, která byla umístěna v blízkosti středu města v oblasti silné dopravní zátěže, ve volném prostoru osázením zeleně v blízkosti od křižovatky, ve vzdálenosti 30 metrů od vozovky. Jednalo se o stacionární manuální měřicí stanici, jejímž cílem bylo stanovení celkové hladiny pozadí koncentrací znečišťujících látek (ČHMÚ, 2016).

Monitorovací stanice Prostějov – Svatoplukova vznikla v roce 1979, jejímž cílem bylo také stanovení celkové hladiny pozadí koncentrací znečišťujících látek v ovzduší. Rovněž se jednalo o stacionární manuální měřicí stanici, která se nacházela v průmyslově obytné zóně v blízkosti autobusového a vlakového nádraží. Stanice byla umístěna v zeleni, ve vzdálenosti 15 metrů od středu obslužné komunikace (ČHMÚ, 2016).

Monitorovací stanice Prostějov – Státní lesy, která vznikla také v roce 1979, jako monitorovací stanice Svatoplukova, rovněž se stejným cílem. Tato stanice se nacházela v obytné části města, bez průmyslu, se střední dopravní zátěží. Vzdálenost od středu komunikace 15 metrů, v blízkosti stanice se nachází parková zeleň (ČHMÚ, 2016).

V současnosti je v Prostějově v provozu od roku 1994 automatizovaná monitorovací stanice (AMS) státní imisní sítě MPSTA 1133 s automatizovaným měřicím programem, sledující hodnoty  $PM_{10}$  v intervalech 1 hodiny. AMS Prostějov, je označena jako pozad'ový typ, což znamená, že není přímo ovlivňována zdrojem znečištění. Vlastníkem této stanice, která leží v nadmořské výšce 218 metrů, je ČHMÚ. Do roku 2003 byla stanice ve správě ČHMÚ Brno a od roku 2004 patří pod správu ČHMÚ Ostrava. Stanice se nachází v obytné zóně městské zástavby v malém parku v blízkosti středu města. Kromě hodnot  $PM_{10}$  se zde do roku 2012 měřily hodnoty  $NO_x$ ,  $O_3$ . Hodnoty  $SO_2$  se zde měřily do roku 2008 a CO do roku 2003 (ČHMÚ 2016a).



Obr. 5: Automatizovaná monitorovací stanice v Prostějově (zdroj: ČHMÚ).

## 6 Hodnocení výsledků

### 6.1 Otopné období

Podle vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu je otopné období čas, kdy jsou zdroje tepla uvedeny do stavu pohotovosti k dodávce tepla spotřebitelům. Topná sezóna začíná 1. září a končí 31. května. Dodávka tepla se zahájí v otopném období, když průměrná denní teplota venkovního vzduchu v místě klesne pod +13°C ve dvou po sobě následujících dnech a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad +13°C pro následující den. Vytápění se omezí nebo přeruší pouze tehdy, je-li průměrná venkovní teplota v daném místě vyšší než +13°C ve dvou po sobě následujících dnech a nelze očekávat pokles této pro následující den. Při následném poklesu průměrné denní teploty vzduchu se vytápění obnoví.

Pro určení spotřeby tepla na vytápění v dané otopné sezóně se používá charakteristika počet denostupňů, podle této charakteristiky lze provést porovnání jednotlivých zimních období mezi sebou (ČHMÚ, 2017).

Pro výpočet denostupňů v Prostějově v roce 2015 byla použita předpokládaná hodnota vnitřní teploty 21°C, počet topných dnů je určen jako počet dní v měsíci, které spadají do otopného období s teplotou nižší nebo rovno +13°C (N13) a průměrná teplota těchto dní (T13). Počet denostupňů (D21) je pak určen takto:

$$D(21) = (21 - T13) * N13$$

Tab. č. 3: Data pro výpočet denostupňů.

měsíce	počet dnů vytápění	průměrná teplota °C	počet denostupňů
leden	31	1,7	598
únor	28	1,5	547
březen	31	5,6	479
duben	23	8,4	290
květen	12	11,6	112
září	5	12,3	44
říjen	27	8,5	337
listopad	26	5,2	411
prosinec	31	3,3	550

(zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování)



Jelikož se tato diplomová práce věnuje pouze roku 2015, bylo otopné období rozděleno na dvě části: leden – květen (patřící do období 2014 – 2015) a září – prosinec (patřící do období 2015 – 2016). Celkový počet denostupňů v Prostějově za rok 2015 byl 3368.

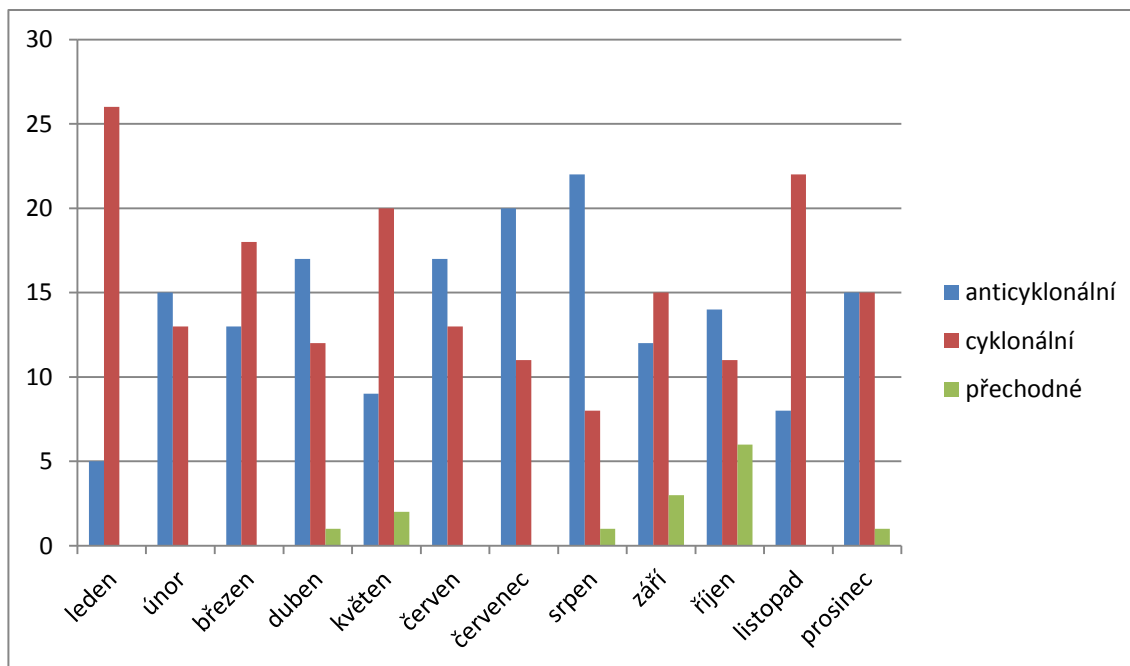
V první části otopného období vytápění trvalo od začátku ledna až do 28. května. První přerušení vytápění nastalo v dubnu, ale jen na dva dny od 15. do 17. dubna, další pak byla od 25. do 29. dubna. Po 3. květnu už se nevytápělo, s výjimkou celkově čtyř dnů kdy teplota spadla pod  $+13^{\circ}\text{C}$ , a to ve dnech 21., 22., 27. a 28. května, kdy otopné období skončilo.

V září otopné období začalo 21. září, ale trvalo jen do 23., poté přišlo přerušení, které trvalo šest dní. Dále se topilo od 29. září do 3. října, kdy pak nastalo poslední větší přerušení v roce 2015. Od 8. října až do konce kalendářního roku se průměrné teploty nevyšplhaly víc než pod  $13^{\circ}\text{C}$  a tím bylo vytápění nepřerušované, s krátkou výjimkou 10. a 11. listopadu, kdy byla teplota větší než  $13^{\circ}\text{C}$ .

Celkově bylo v roce 2015 v Prostějově napočítáno 214 otopných dnů.

## **6.2 Hodnocení povětrnostních situací**

V roce 2015 nad územím České republiky převládaly cyklonální situace nad anticyklonálními. Četnost výskytu cyklonálních a anticyklonálních situací je znázorněna na obrázku číslo 6.

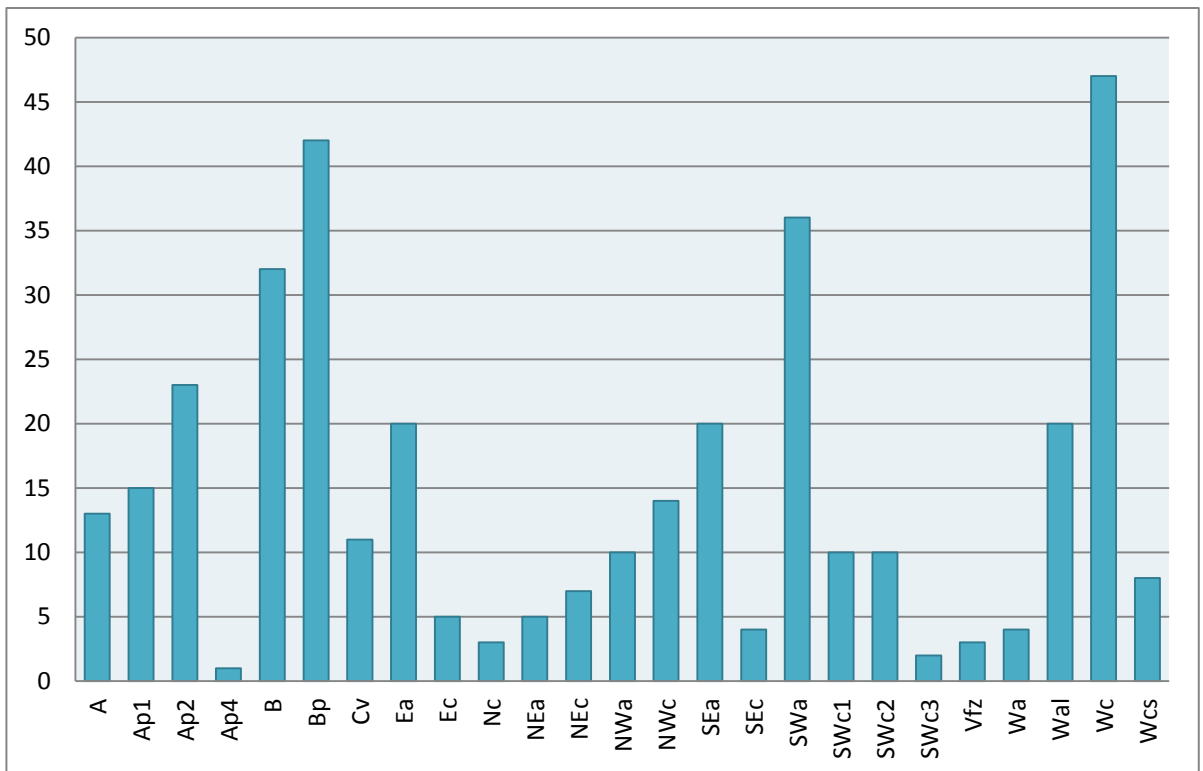


Obr. 6: Četnost výskytu anticyklonálních, cyklonálních a přechodných povětrnostních situací

Cyklonální situace se nad územím naší republiky projevovaly celkem 184 dnů (50%), což je zhruba polovina roku. Nejvíce se cyklonální situace vyskytovaly v chladnějších měsících. Nejvíce v lednu - 26 dní, dále v listopadu 22 dní a březnu 18 dní. Vyšší výskyt cyklonálních situací byl zaznamenán v květnu - 20 dní, který patří spíše do teplejších měsíců v roce. Méně se cyklonální situace projevovaly v letních měsících. Nejméně pak v srpnu - 8 dní. V prosinci byl zaznamenán stejný počet cyklonálních i anticyklonálních situací, a to 15krát.

Anticyklonální situace se vyskytovaly nad ČR ve 167 dnech (46%). Na rozdíl od cyklonálních situací se více vyskytovaly v letních měsících. Nejvyšší výskyt byl v srpnu - 22 dní, dále v červenci 20 dní a v červnu 17 dní. Hodně se anticyklonální situace vyskytovaly také v dubnu, kdy byl počet anticyklonálních situací stejný jako v červnu. Nejméně se vyskytlo anticyklonálních situací v lednu - celkem 5krát.

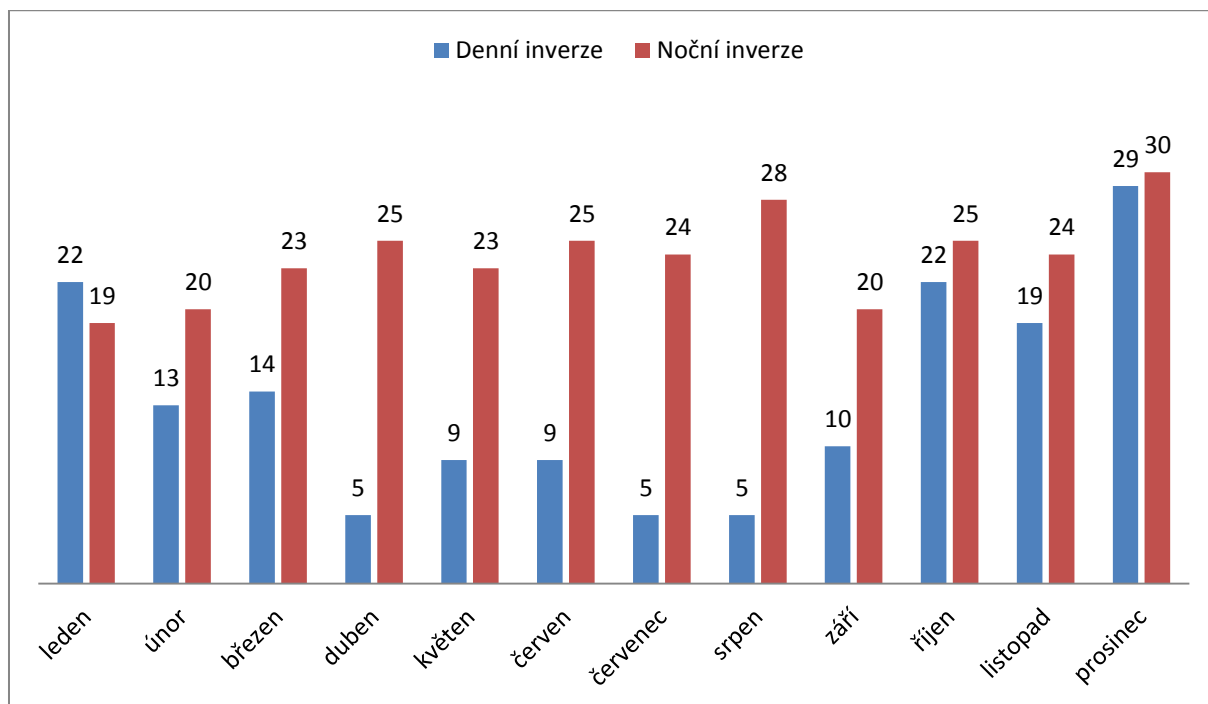
Ve zbylých 14 dnech v roce 2015 se projevovaly situace přechodné, které byly zaznamenány v 7 měsících, z toho v dubnu, srpnu a prosinci se vyskytly pouze jeden den. Nejvíce přechodných situací bylo zaznamenáno v říjnu, a to v 6 dnech.



Obr. 7: Výskyt jednotlivých typů povětrnostních situací (Zdroj: ČHMÚ)

Především se nad Českou republikou vyskytovaly anticyklonální situace než situace cyklonální. Největší výskyt anticyklonálních situací byl v letních měsících, hlavně v srpnu. V zimních měsících pak převažovaly situace cyklonální.

### 6.3 Hodnocení inverzí



Obr. 8: Četnost výskytu inverzí (Zdroj: University of Wyoming, vlastní úprava)

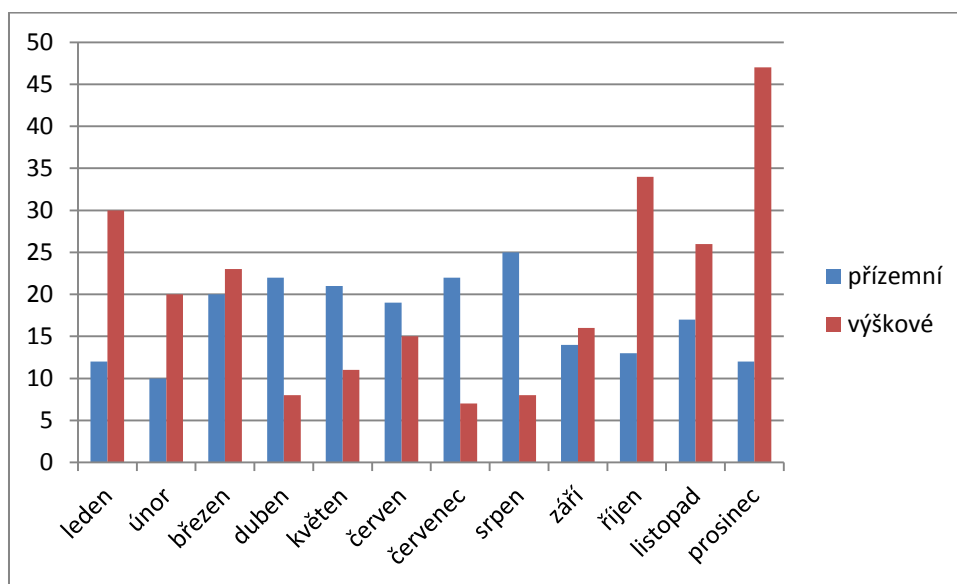
Obrázek číslo 8 vyjadřuje četnosti inverzí, které se vyskytovaly nad územím Prostějova v roce 2015, kdy se více vyskytovaly inverze zjištěné z měření během nočních profilů. Největší rozdíl výskytu inverzí je vidět v letních měsících. Tento rozdíl způsobila vysoká teplota přes den, kdy se inverze přes den moc nevyskytovaly, ale v nočních profilech byla zaznamenána noční inverze v letních měsících více, než v zimě, vyjma prosince. Větší výskyt nočních inverzí v létě byl způsoben nočním chladnutím zemského povrchu, kdy přilehlá atmosféra rychle ztrácí teplotu, čímž vznikne rosa. V zimních měsících by se jednalo o přízemní mrazíky. Jak již bylo zmíněno, noční inverze se vyskytovaly během teplejších měsíců, konkrétně v srpnu 28 dní, v červnu 25 dní a v červenci 24 dní. Největší výskyt inverze byl zaznamenán v prosinci, kdy se vyskytovala každou noc, kromě jedné, kdy nebyla inverze zjištěna. U denních inverzí byl také největší počet v prosinci - 29 dní a zde byla podobná situace jako u nočních profilů měření inverzí.

V další části hodnocení bude zmíněno, že především prosinec patřil k měsícům s nejdelšími inverzemi v roce. Větší výskyt inverzí v zimních měsících byl způsoben nízkými teplotami, hlavně v lednu a únoru, a nárůstem znečištění ovzduší spalovacími procesy a

domácími topeništi, které zadržovaly koncentrace prašného aerosolu (PM<sub>10</sub>). V případě zimních inverzí se jednalo o inverze subsidenční a advektivní.

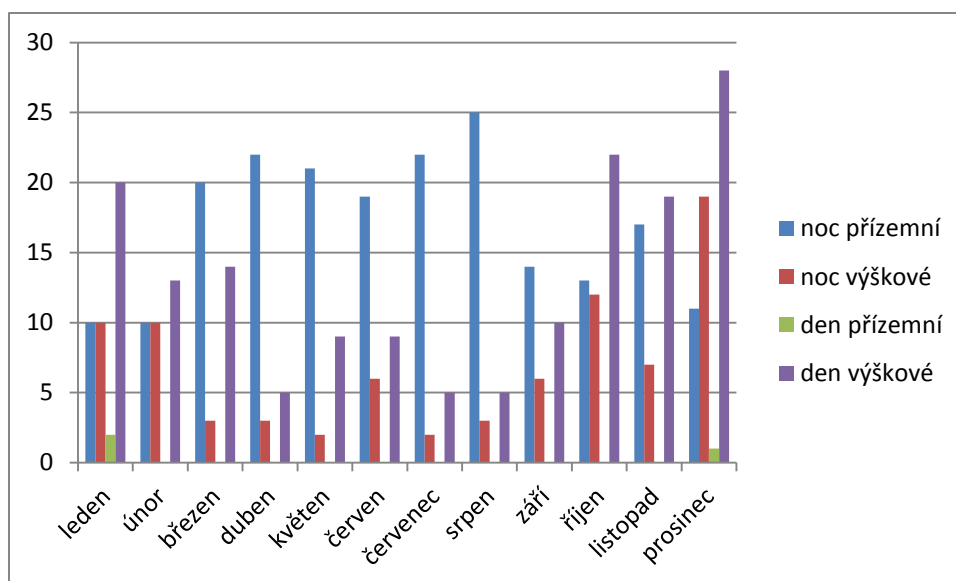
Nejmenší výskyt nočních inverzí byl zaznamenán v lednu - pouze 19 dní. Tento měsíc byl jediný v roce 2015, kdy bylo zjištěno více denních inverzí, než nočních. Duben, červenec a srpen - v těchto třech měsících byl zaznamenán nejmenší výskyt denních inverzí - pouze 5krát.

Kromě inverzí, denních i nočních, byly zhodnoceny inverze přízemní a výškové.



Obr. 9: Rozdělení inverzí na přízemní a výškové (Zdroj University of Wyoming, vlastní zpracování)

Na obrázku číslo 9 je vidět převaha výškových inverzí nad přízemními. Výškové inverze mají vyšší výskyt v zimních měsících ze stejného důvodu, jaký byl zmíněn u hodnocení inverzí z denních a nočních profilů. V obrázku nejsou určeny počty dní, protože se jedná o celkové hodnoty denních a nočních profilů. Ale převaha výskytu výškových inverzí je vidět na obrázku číslo 10, kde jsou inverze rozděleny kromě výšky i podle doby výskytu.



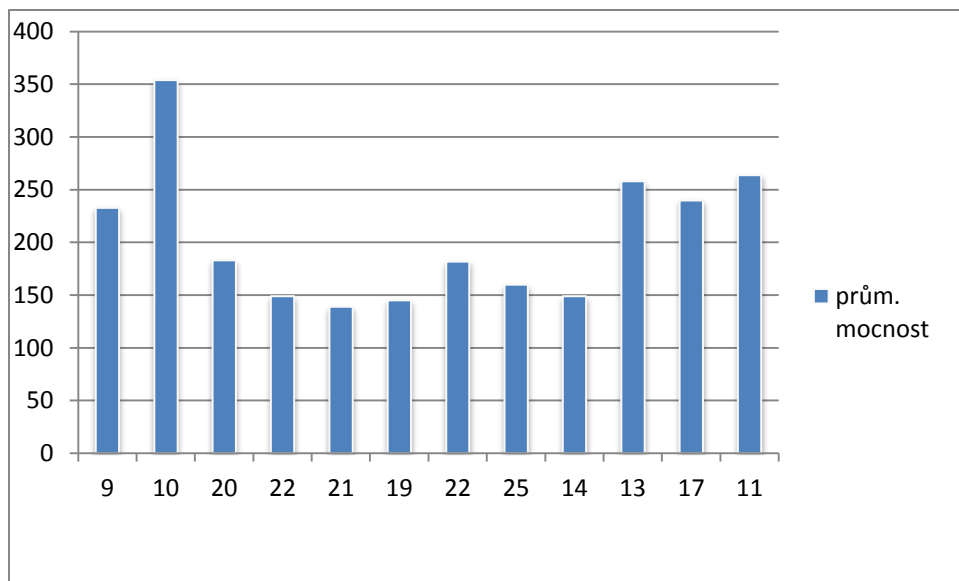
Obr. 10: Četnost inverzí podle typu výšky a doby výskytu (Zdroj: University of Wyoming, vlastní zpracování)

V následující části hodnocení inverzí budou popsány pouze přízemní inverze, které pak budou porovnány s přízemní izotermií, která se nevyskytovala skoro každý den, jako výšková izotermie.

#### 6.4 Přízemní inverze

Z výsledků sondážního měření bylo v roce 2015 nad územím Prostějova zjištěno celkem 206 výstupů inverzí z nočních i denních profilů měření, které vznikly od úrovně zemského povrchu. Uvedené inverze označujeme jako přízemní inverze. Celodenní průběh měla přízemní inverze jen ve 3 dnech, a to 4. ledna, 10. ledna a 22. prosince. V ostatních případech byl výskyt inverze pouze v nočních profilech měření. Tím pádem se přízemní inverze v roce 2015 celkově vyskytovaly po dobu 203 dní.

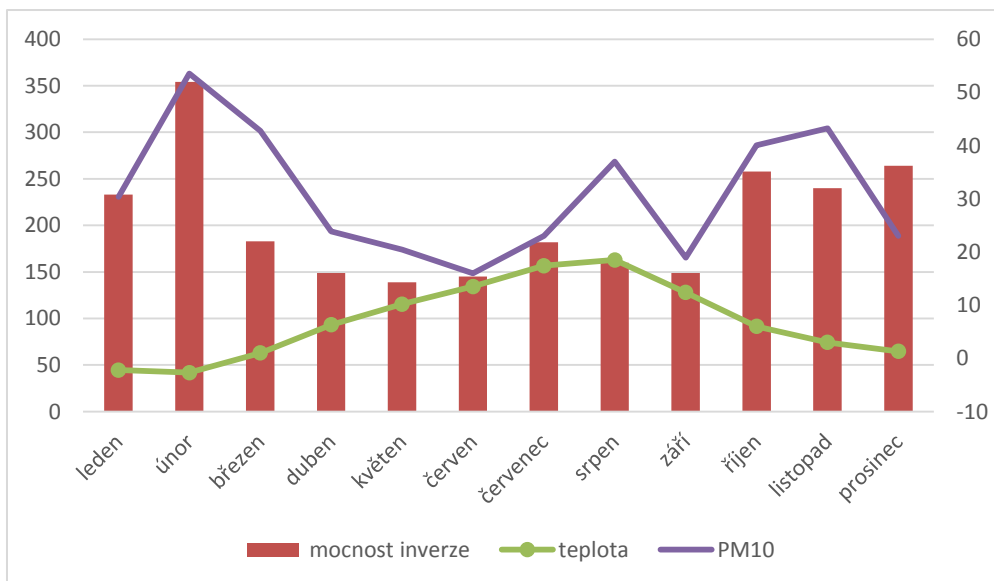
Nejvíce se přízemní inverze vyskytovaly v letních měsících, hlavně v srpnu - 25 dní a na jaře. Nejmenší výskyt byl v zimě, konkrétně v lednu bylo zjištěno jen 9 dní.



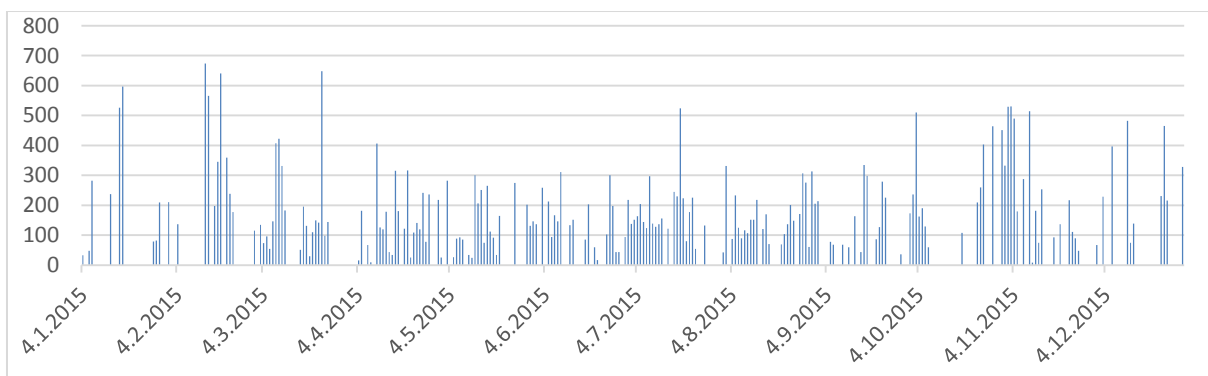
Obr. 11: Četnost výskytu přízemní inverze v jednotlivých dnech (Zdroj: University of Wyoming, vlastní zpracování)

Na následujícím obrázku 12 jsou znázorněny měsíční průměrné hodnoty teplot,  $PM_{10}$  a inverzní mocnosti během výskytu přízemní inverze. Výsledné hodnoty jsou použity pouze z nočních profilů měření, protože u denních hodnot bychom se zabývali pouze třemi výstupy.

V roce 2015 byla největší průměrná mocnost inverze 354 metrů zaznamenána v únoru. V tento měsíc byly i nejvyšší hodnoty koncentrací  $PM_{10}$   $53,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , především díky velmi nízké teplotě, kdy průměrná teplota během únorových přízemních inverzí byla  $-2,7^\circ\text{C}$ . Na obrázku 12 je od února zaznamenán pokles, jak inverzní mocnosti tak i  $PM_{10}$ , naopak je zaznamenán nárůst teploty. Mezi červnem a červencem je vidět nárůst u všech tří hodnot zkoumaných hodnot. Tento nárůst trvá až do srpna u všech hodnot kromě mocnosti, která od července lehce poklesla. Od srpna je vidět předpokládaný pokles teploty až do konce roku. Mocnosti přízemních inverzí se v posledních třech měsících zvýšily. Po únoru se jednalo o měsíce, kdy byla průměrná mocnost inverzí nad 200 metrů. Ještě větší nárůst zaznamenaly od září do listopadu hodnoty  $PM_{10}$ .



Obr. 12: Průměrné měsíční hodnoty nočních profilů inverzí (Zdroj: ČHMÚ, University of Wyoming, vlastní úprava)



Obr. 13: Časový výskyt přízemních inverzí (Zdroj: University of Wyoming)

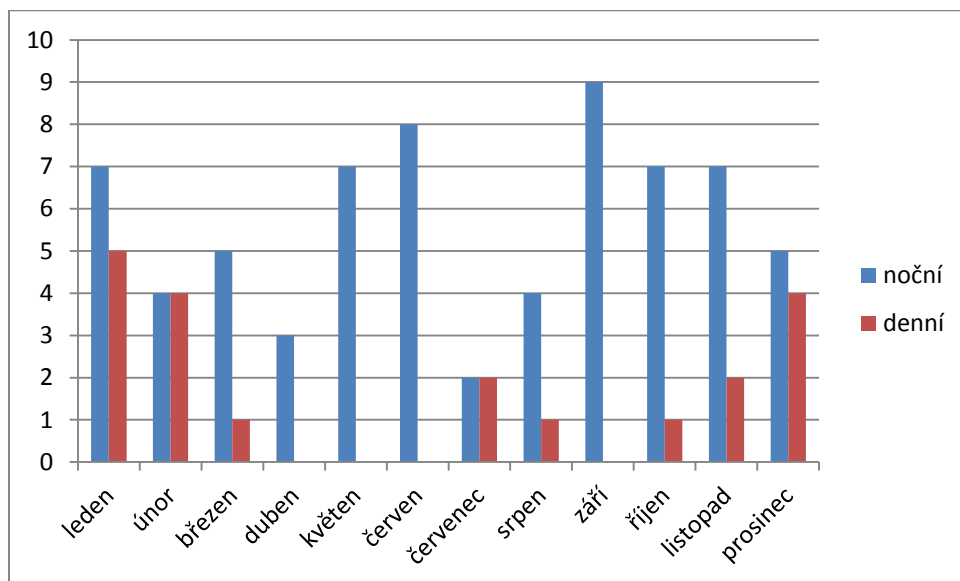
Poznámky: hodnoty svisle vlevo popisují výšku mocnosti přízemních inverzí v metrech, v obrázku jsou zaznačeny pouze noční profily měření.

## 6.5 Přízemní izotermie

Kromě přízemních inverzí bylo také zjištěno celkem 88 výstupů přízemních izotermií. Přízemní izotermie byly také, stejně jako inverze, měřeny v nočních i denních profilech. V celkovém porovnání bylo přízemních inverzí dvakrát více než izotermií, u kterých ale bylo



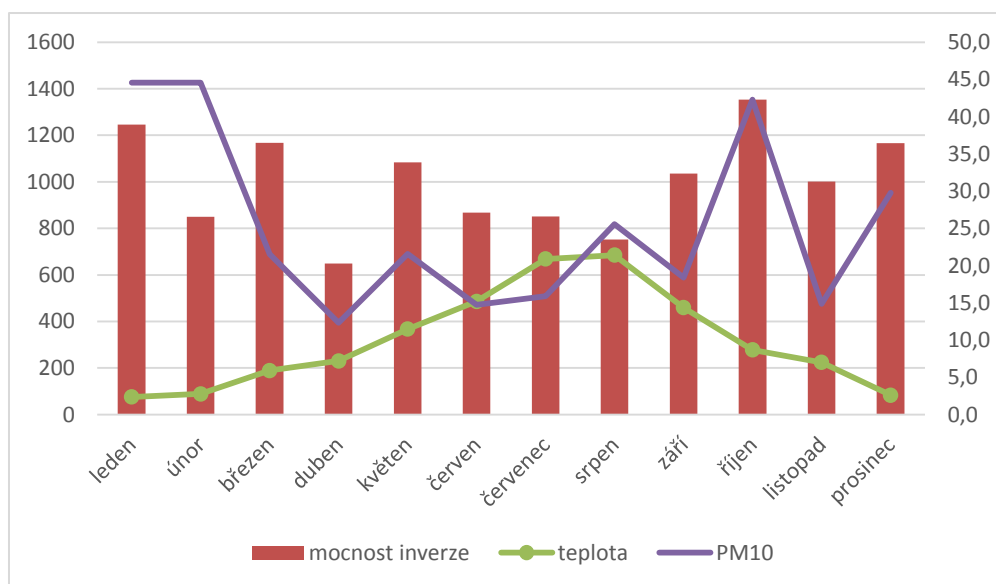
zjištěno více denních profilů. Celkem bylo zjištěno 20 denních profilů a 68 nočních profilů přízemních profilů. Porovnání nočních a denních profilů přízemní izotermie je znázorněn na následujícím obrázku.



Obr. 14: Četnost výskytu přízemních izotermií (Zdroj: University of Wyoming)

Největší výskyt přízemních izotermií se vyskytoval v září - 9 dní, dále v červnu a v květnu. Jednalo se však o noční izotermie, protože během těchto tří měsíců se nevyskytla žádná denní izotermie. Stejný výskyt nočních izotermií byl v lednu, říjnu a listopadu. Denní izotermie se nejvíce vyskytovala v lednu. V měsících únor a červenec byl výskyt nočních i denních izotermií stejný.

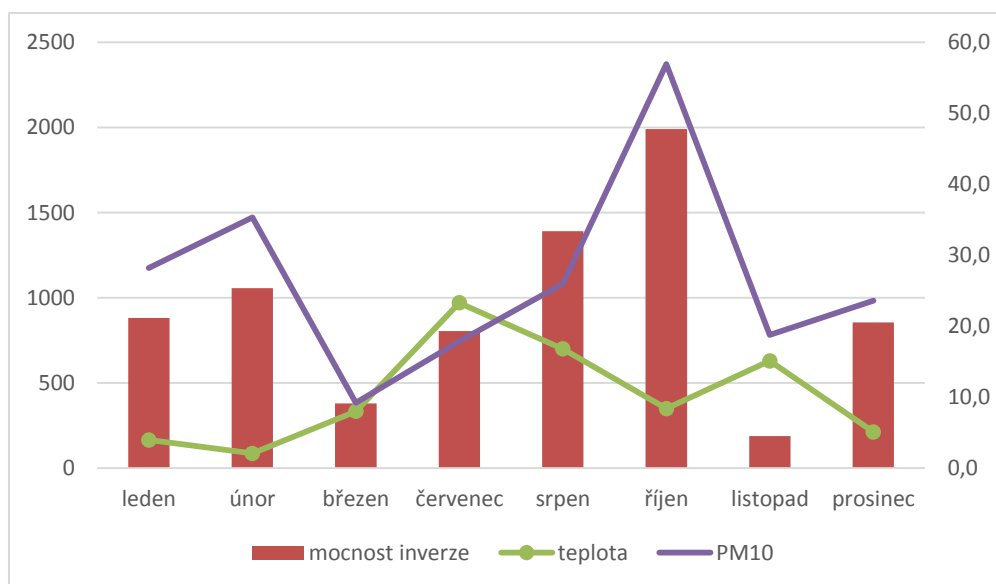
Na následujících obrázcích 15 a 16 budou znázorněny a popsány průměrné hodnoty přízemních izotermií v nočních a denních profilech. Z důvodu, že se denní přízemní izotermie nevyskytovali ve třech měsících, není tak možné porovnat noční profily s denními, ale je možné porovnat noční a denní profily v měsících únor a červenec, protože v těchto měsících byl stejný počet dní v obou profilech.



Obr. 15: Průměrné hodnoty nočních profilů přízemní izotermie (Zdroj: ČHMÚ, University of Wyoming,)

Z nočních profilů měla izotermie největší průměrnou mocnost v říjnu - 1354 metrů, další byl leden - 1226 metrů. V tomto měsíci byly naměřeny druhé nejvyšší průměrné koncentrace  $PM_{10}$   $44,57 \text{ g/m}^3$ , o jednu desetinku vyšší koncentrace byly v únoru  $44,58 \text{ µg/m}^3$ , i když to není na obrázku 15 vidět, třetí nejvyšší koncentrace byly v říjnu  $42,27 \text{ µg/m}^3$ . V následujícím měsíci mocnost izotermie klesla pod 1000 metrů, ale v následujícím měsíci byla vyšší. Nejnižší průměrná výška noční přízemní izotermie byla 649 metrů. Pohyb průměrných výšek mocností izotermií je velmi podobný jako u hodnot  $PM_{10}$ . U průměrných teplot lze vidět postupné narůstání teploty do srpna, kde dosahuje svého maxima, a po té v následujících měsících klesá.

U denních profilů měla také přízemní izotermie nejvyšší mocnost v říjnu. Ta dosahovala skoro až do výšky 2 kilometrů (1990 m). V tomto případě, ale nelze hovořit o průměrné mocnosti, protože v říjnu se vyskytla denní přízemní izotermie pouze 14. října. Podle obrázku byla v říjnu naměřena také nejvyšší hodnota  $PM_{10}$   $56,90 \text{ µg/m}^3$ . Tím, že se jednalo jako u mocnosti o jeden den, byl překročen stanovený denní limit hodnot  $PM_{10}$  o  $6,90 \text{ µg/m}^3$ . Nejnižší mocnost inverze byla v listopadu a potom v březnu, kde se stejně jako v říjnu, vyskytla přízemní izotermie jeden den. Podobné to bylo i u srpnového měsíce.



Obr. 16: Průměrné hodnoty denních profilů izotermií (Zdroj: ČHMÚ, University of Wyoming)

Poznámky: nejsou zde vyznačeny měsíce: duben, červen, září, protože se během těchto měsíců nevyskytovala přízemní inverze.

Z následujících tabulek 4 a 5 lze porovnat rozdíl nočních a denních profilů přízemních inverzí. Jen škoda, že se nejedná o stejné dny, to by bylo lepším kritériem pro porovnání.

Tab. 4: Porovnání nočních a denních profilů přízemní izotermií v únoru

noční	mocnost (m)	teplota °C	PM 10 µg/m <sup>3</sup>
<b>2.2</b>	504	-1,9	65,8
<b>25.2</b>	1045	4,8	20,0
<b>27.2</b>	1210	3,8	42,7
<b>28.2</b>	639	4,4	49,8
<b>Celkem</b>	<b>850</b>	<b>2,8</b>	<b>44,6</b>
denní	mocnost (m)	teplota °C	PM 10 µg/m <sup>3</sup>
<b>3.2</b>	784	0,4	42,7
<b>4.2</b>	787	-0,5	39,9
<b>10.2</b>	657	5,0	12,1
<b>23.2</b>	2000	3,4	46,6
<b>Celkem</b>	<b>1057</b>	<b>2,1</b>	<b>35,3</b>

(Zdroj: ČHMÚ, University of Wyoming, vlastní úprava)

Celková průměrná mocnost přízemní izotermie byla vyšší v denních profilech o zhruba 200 metrů. Vyšší mocnost u denních profilů je dána tím, že 23.2 dosahovala výška

mocnosti přízemní izotermie až na horní hranici mezní vrstvy atmosféry (MVA), tento případ během roku 2015 nastal ještě v dalších pěti dnech (27. března, 4. května, 24. května, 14. a 16. října), ale v těchto případech se jednalo noční profily. Co se týče průměrných teplot, ty byly vyšší v nočních profilech. Tento jev může být z části způsoben tím, že noční profily s přízemní izotermií byly až na konci měsíce. Rovněž je u nočních profilů vyšší průměrná hodnota koncentrací PM<sub>10</sub>.

Tab. 5: Porovnání nočních a denních profilů v červenci

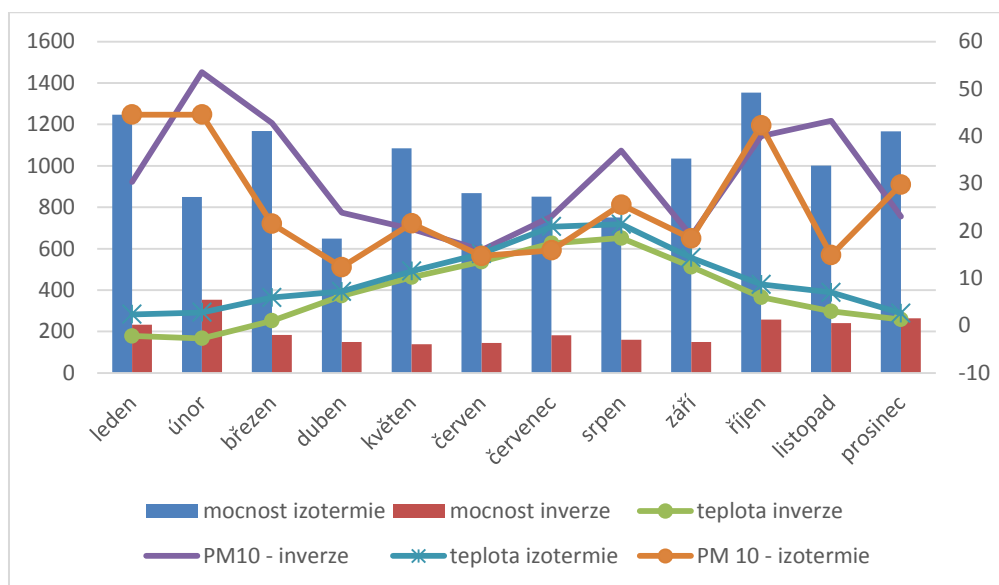
<b>noční</b>	<b>mocnost (m)</b>	<b>teplota °C</b>	<b>PM 10 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>24.7</b>	1327	21,4	31,8
<b>25.7</b>	376	20,4	
<b>Celkem</b>	<b>852</b>	<b>20,9</b>	<b>15,9</b>
<b>denní</b>	<b>mocnost (m)</b>	<b>teplota °C</b>	<b>PM 10 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>3.7</b>	194	27,6	23,9
<b>14.7</b>	1415	19,0	11,8
<b>Celkem</b>	<b>805</b>	<b>23,3</b>	<b>17,85</b>

(zdroj: University of Wyoming, ČHMÚ, vlastní zpracování)

Poznámky: u 25. července nebyla k dispozici hodnota PM<sub>10</sub>, a proto byla průměrná hodnota vypočítána pouze z hodnoty měřené dne 24. července.

V červenci byly u denních profilů vyšší průměrné hodnoty jak u PM<sub>10</sub>, tak i průměrná teplota, ale průměrná mocnost byla vyšší u nočních profilů.

## 6.6 Porovnání nočních profilů přízemních inverzí a izotermií



Obr. 17: porovnání nočních profilů přízemních inverzí a izotermií (Zdroj: University of Wyoming, ČHMÚ, vlastní úprava)

Poznámky: jedná se o průměrné hodnoty

I když je počet výskytů u nočních přízemních inverzí asi 3krát větší než u přízemních izotermií, průměrná mocnost izotermií dosahuje do vyšších výšek než u inverzí. Mocnost inverzí se pohybuje do 400 metrů, u izotermií dosahují výšky mocností přes 1200 metrů. Průměrná teplota je také vyšší u izotermií, jsou ale podobného charakteru. Zato hodnoty koncentrací PM<sub>10</sub> jsou vyšší u inverzí, jen ve třech případech v květnu, září a říjnu byly téměř totožné.

## 6.7 Délka trvání inverzí

Tabulka číslo 6, vyznačuje inverze, které se vyskytovaly a trvaly tři dny a více. Data pro zjištění inverzí byla převzata ze sondážních měření, které probíhaly dvakrát denně po dvanácti hodinách (0:00 UTC, 12:00 UTC). Proto se mohlo stát, že některé inverze byly naměřeny pouze v nočních nebo denních profilech měření, tedy se vyskytovaly jen půl dne. V roce 2015 bylo nad Prostějovem celkem naměřeno 15 inverzí, které trvaly déle než tři dny.

Tab. č. 6: Počet inverzí trvajících tři a více dní.

začátek inverze	konec inverze	počet dní	průměrná teplota °C	průměrná koncentrace PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>
6.1. - 0:00	9.1. - 12:00	4	-1,9	31,35
11.2. - 0:00	15.2. - 0:00	4,5	2	41,93
16.2. - 0:00	18.2. - 0:00	3	0,7	56,63
7.3. - 0:00	10.3. - 0:00	3,5	4,1	50,16
21.3. - 0:00	24.3. - 0:00	3,5	3,8	46,73
11.5. - 0:00	14.5. - 0:00	3,5	13,9	19,94
4.6. - 12:00	7.6. - 0:00	3	16,4	21,76
8.6. - 0:00	11.6. - 0:00	3,5	17,7	
1.10. - 0:00	5.10. - 0:00	4,5	11,6	31,32
8.10. - 0:00	13.10. - 12:00	6	7,4	44,8
22.10. - 0:00	29.10. - 0:00	7,5	8,7	40,68
30.10. - 0:00	11.11. - 0:00	12,5	6,5	67,17
2.12. - 0:00	12.12. - 0:00	10,5	3,9	24,2
13.12. - 0:00	15.12. - 12:00	3	2,4	34,13
16.12. - 12:00	31.12. - 12:00	15,5	2,6	23,67

(Zdroj: ČHMÚ, University of Wyoming, vlastní zpracování)

Poznámky: U inverze 8.6 – 11.6 nebyla k dispozici data hodnot PM<sub>10</sub>.

Kromě celkového počtu dní trvání inverze byly v tabulce vyznačeny průměrné koncentrace PM<sub>10</sub>, během jednotlivých inverzí a jejich průměrná teplota.

Z tabulky lze vyčíst, že inverze, které se vyskytovaly nad Prostějovem po dobu delší než tři dny, se ve větší míře vyskytovaly v průběhu topné sezóny 2014/2015 a 2015/2016.

Pouze dvě inverze, z celkových patnácti inverzí zmíněných v tabulce číslo 00, se vyskytovaly v letní sezóně.

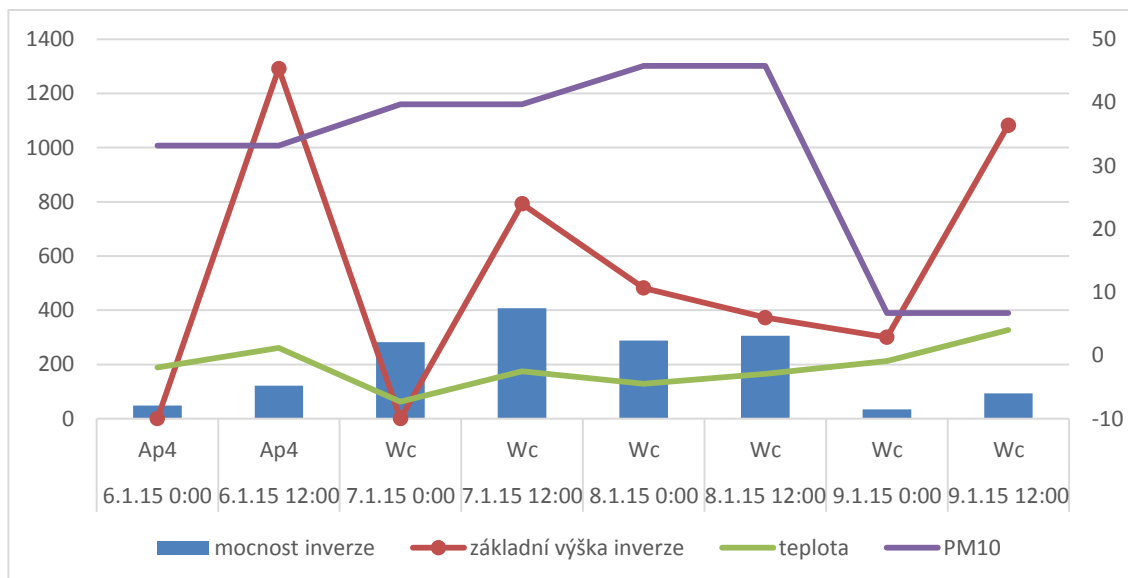
Nejdelší dobu trvání měly inverze v podzimních a zimních měsících. Převážně v prosinci se vyskytly tři inverze, které na sebe navazovaly, a tak byl zaznamenán v tomto měsíci pouze jeden den, kdy nebyla zjištěna inverze. Podle četnosti výskytu bylo zjištěno nejvíce dlouhodobých inverzí v říjnu. Dále lze z tabulky vyčíst, že od inverze, která probíhala od 11. února do 15. února, se až na menší výjimky snižovaly hodnoty  $PM_{10}$  s růstem průměrné teploty. Nejvyšší průměrné hodnoty  $PM_{10}$  byly zaznamenány během inverze trvající na přelomu října a listopadu, kdy byl naměřen den s nejvyšší koncentrací  $128,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Během roku se také často vyskytovaly inverze trvající okolo 2 dnů. Převážně v letních měsících se většinou inverze vyskytovaly pouze v nočních profilech měření.

Dále budou znázorněny a popsány inverze, jejichž délka trvání byla minimálně čtyři dny. Inverze budou seřazeny podle data výskytu.

### **Inverze 6. 1. – 9. 1. 2015**

První delší inverze v roce 2015 probíhala začátkem ledna, a to od 6. do 9. ledna, která trvala 4 dny. Podle nočních profilů měření se první dva dny jednalo o přízemní inverze, která se přes den stala inverzí výškovou. Tou pak od třetího dne zůstala až do konce jejího trvání. Mocnost inverze se pohybovala od 34 do 407 metrů a během nočních profilů byly její hodnoty nižší než u denních hodnot. Po téměř celou inverzní dobu se pohybovala teplota pod bodem mrazu, až na závěr se vyšplhala nad  $0^\circ\text{C}$ . Nárůstem teploty na závěr inverze, kde je vidět velký pokles hodnoty  $PM_{10}$  z  $45,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na  $6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se změnou povětrnostní situace na začátku inverze byl zaznamenán nárůst hodnoty  $PM_{10}$   $33,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



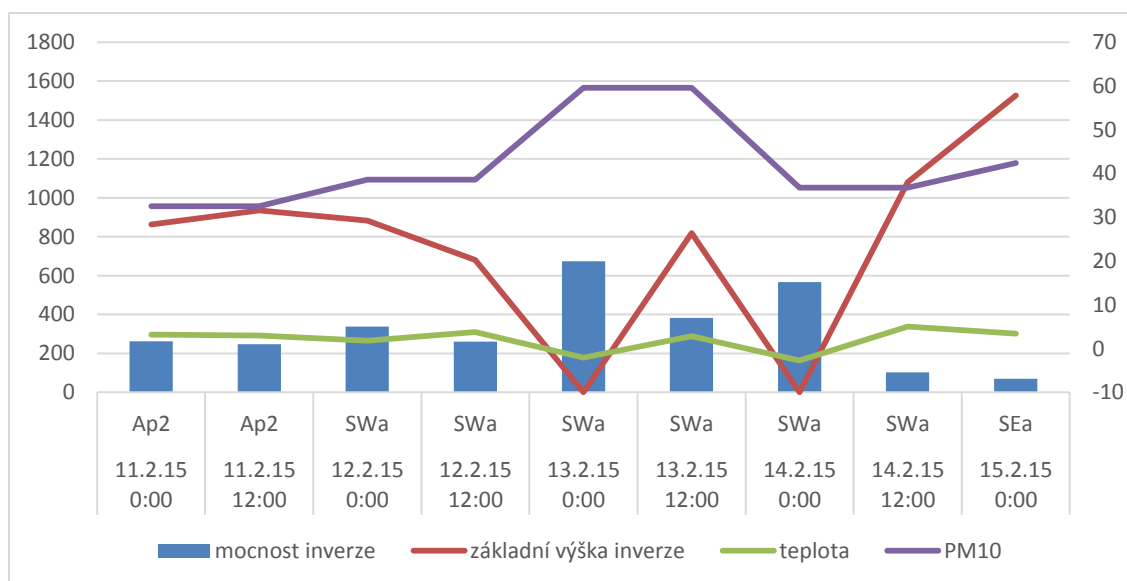
Obr. 18: Inverze trvající od 6. 1. do 9. 1. (Zdroj: ČHMÚ, University of Wyoming, vlastní úprava zpracování dat)

Poznámky: na obrázku svisle vlevo jsou vyznačeny hodnoty v metrech, napravo pak °C.

### Inverze 11. 2. – 15. 2. 2015

Během únorové inverze panovala nad územím Prostějova, tak i nad Českou republikou, anticyklonální synoptická situace, konkrétně putující anticyklóna druhého typu (Ap2), která se v průběhu inverze vystřídala s jihozápadní anticyklonální situací (Swa). Touto změnou je na obrázku č. vidět nárůst hodnoty  $PM_{10}$ , který s poklesem teploty pod bod mrazu vygradoval na hodnotu  $59,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . To trvalo pouze jeden den. S poklesem teploty se kromě nárůstu  $PM_{10}$  vytvořila v nočních profilech 13. a 14. února přízemní inverze, tím byla i zvětšena její mocnost. Mocnost inverze se pohybovala od 69 do 673 metrů. Tato inverze trvala 4,5 dne.



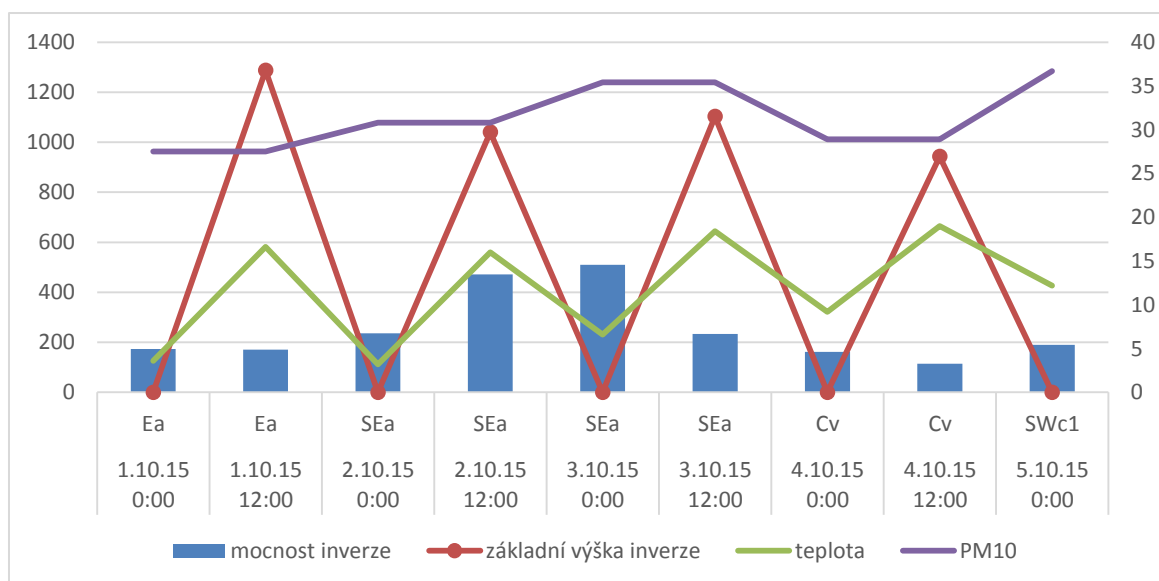


Obr. 19: Inverze trvající od 11. 2. do 15. 2. – 0:00 UTC (Zdroj: ČHMÚ, University of Wyoming, vlastní úprava zpracování dat).

Poznámky: na obrázku svisle vlevo jsou vyznašeny hodnoty v metrech, napravo pak °C

### Inverze 1. 10. – 5. 10. 2015

Jak bylo výše zmíněno, byl říjen v roce 2015 bohatým měsícem na dlouhodobé inverze. První delší inverze byla hned na začátku října a trvala 5,5 dne. Inverze probíhala od 1. 10. 0:00 UTC do 5. 10. 0:00 UTC. Tato inverze je charakterizována střídáním přízemních a výškových inverzí. Přízemní inverze se vyskytují v nočních profilech měření, výškové pak v denních. Podobně jako inverze je na obrázku znázorněna také teplota vzduchu. Teplota vzduchu při nočních měřeních se pohybuje v rozmezí 0°C až +6°C. A přes den se pohybuje okolo +18°C, tím napomáhá ke vzniku přízemních inverzí radiačního typu. Hodnoty růstu koncentrací PM<sub>10</sub>, jsou při této inverzi spojeny s povětrnostními situacemi. V prvních dnech inverze se vyskytovaly anticyklonální situace, při kterých byl zaznamenán nárůst PM<sub>10</sub>, s příchodem výškové cyklóny (Cv) byl zaznamenán pokles, ale s příchodem jihozápadní cyklonální situace (SWc1) opět hodnoty PM<sub>10</sub> rostly.

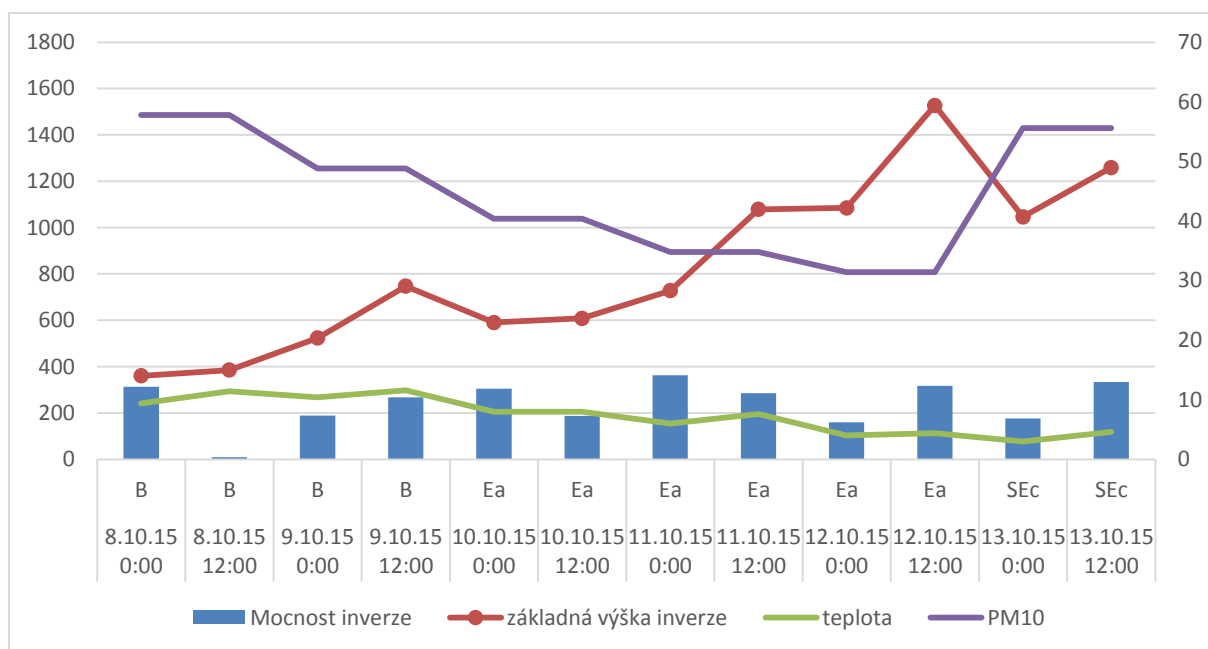


Obr. 20: Inverze trvající od 1. 10. do 5. 10. – 0:00 UTC (Zdroj: ČHMÚ, University of Wyoming, vlastní úprava zpracování dat)

Poznámky: na obrázku svisle vlevo jsou zaznačeny hodnoty v metrech, napravo pak °C.

### Inverze 8. 10. – 13. 10. 2015

Od 8. října do 13. října se vyskytla druhá „říjnová“ inverze, která trvala 6 dní. Jedná se o výškovou inverzi za celé období její trvání. Spodní hranice se každým den zvyšovala od 360 metrů až do 1527 metrů, ale poslední den lehce poklesla. Opačně se projeví hodnoty PM<sub>10</sub>, které klesaly, ale poslední den vzrostly.

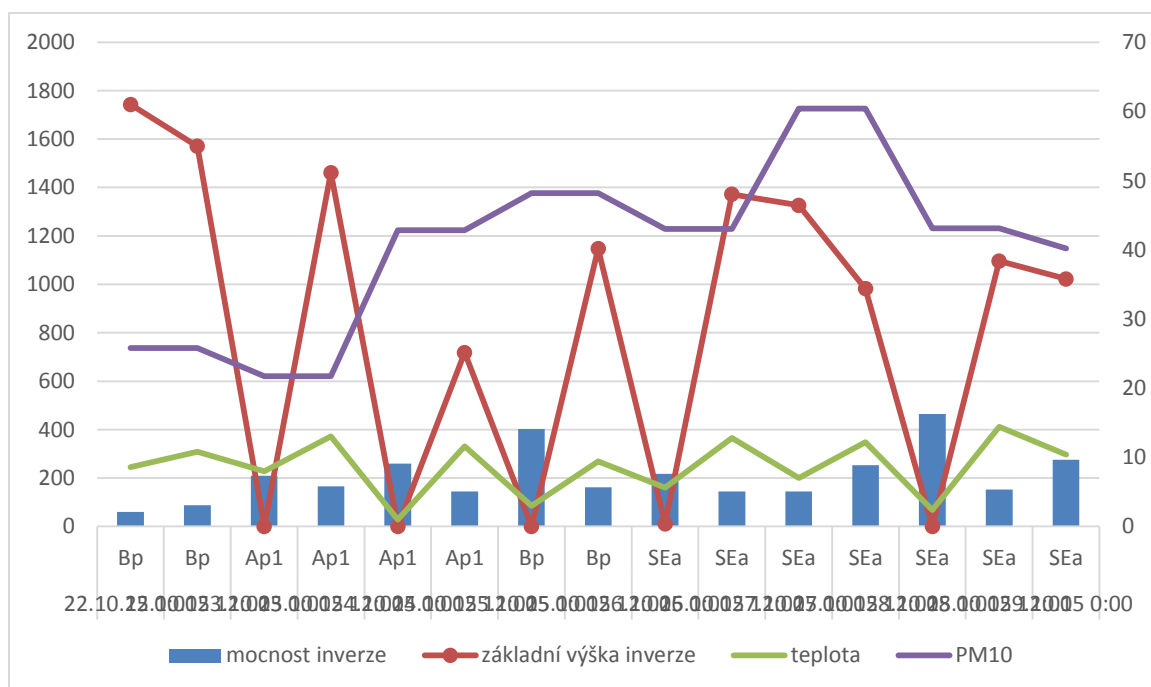


Obr. 21: Inverze trvající od 8. 10. do 13. 10. (Zdroj: ČHMÚ, University of Wyoming, vlastní úprava zpracování dat)

Poznámky: u denního měření 8. 10. ve 12:00 UTC, je znázorněna mocnost inverze 9 metrů, jen není na obrázku vidět. Svisle vlevo jsou zaznačeny hodnoty v metrech, napravo pak °C.

### **Inverze 22. 10. – 29. 10. 2015**

Nejdelší inverze v říjnu trvala 7,5 dne a probíhala od 22. října do 29. října – 0:00 UTC, která je znázorněna na obrázku 22. Mocnost inverzí se projevovala od 60 metrů do 464 metrů. Nejvyšší mocnost inverzí byla při přízemních inverzích v nočních profilech měření. Přízemní inverze se vyskytla 5 krát, kdy byla teplota vzduchu menší než +8°C s výjimkou 27. října. Během inverze se střídala povětrnostní situace putující brázda (Bp) s putující anticyklonou prvního typu (Ap1) a jihovýchodní anticyklonou (SEa). Střídáním povětrnostních situací se pohybovaly vzhůru hodnoty PM<sub>10</sub>. Nejvyšší hodnota koncentrací PM<sub>10</sub> byla 90,8 µg/m<sup>3</sup> 27. října a tím byl překročen denní limit 50 µg/m<sup>3</sup>.



Obr. 22: Inverze trvající od 22. 10. do 29. 10. – 0:00UTC (Zdroj: ČHMÚ, University of Wyoming, vlastní úprava zpracování dat)

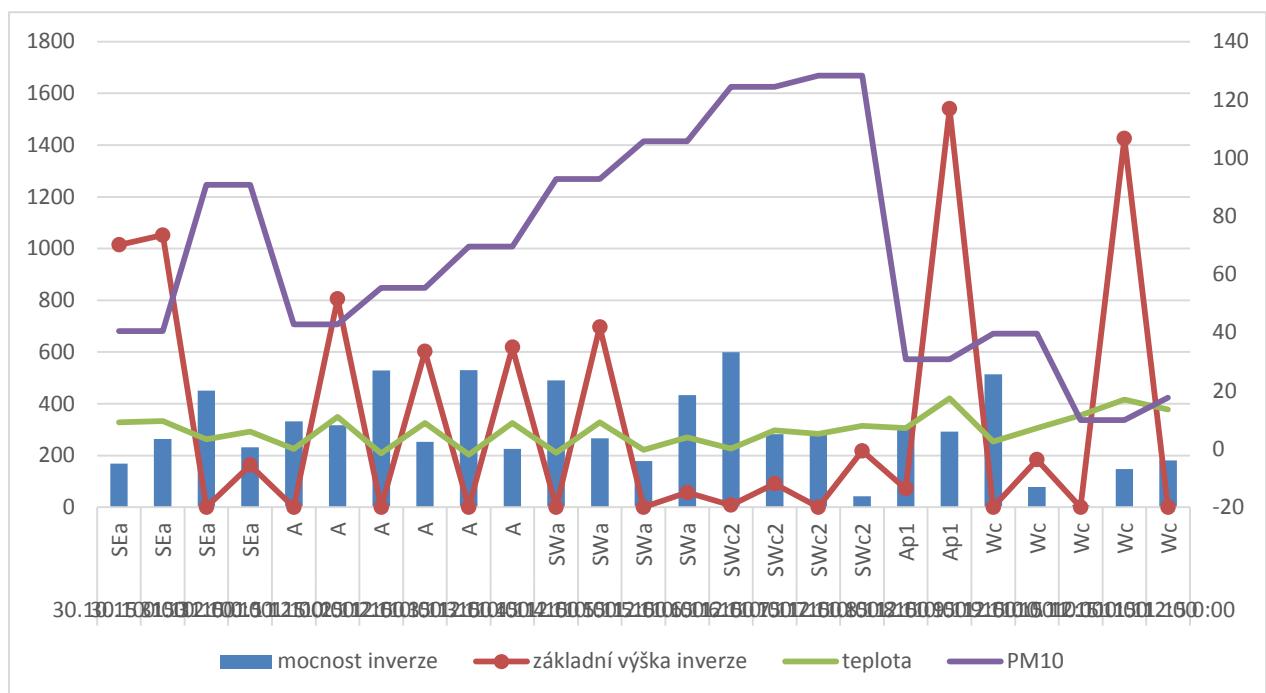
Poznámky: svisle vlevo jsou zaznačeny hodnoty v metrech, napravo pak °C.

### Inverze 30. 10. – 11. 11. 2015

Po inverzi trvající do 29. října ihned následovala druhá nejdelší inverze v roce 2015, která se vyskytovala od 30. října do 11. listopadu 0:00 UTC. Celkem tato inverze trvala 12,5 dne. Až na dva dny - 30. října a 8. listopadu - byla při měření v nočních profílech zaznamenána přízemní inverze. Čím vyšší teplota byla během dne, tím výš byla spodní hranice výškových inverzí. Mocnost inverzí se pohybovala od 8 metrů do 599 metrů.

Velký podíl na tvorbě této inverze měly hodnoty koncentrací PM<sub>10</sub>, které přesáhly denní limit 50 µg/m<sup>3</sup> celkem v 7 dnech. Druhý den inverze stouply hodnoty o více jak polovinu ze 40,5 µg/m<sup>3</sup> na 90,8 µg/m<sup>3</sup>, ale hned další den klesly o polovinu zpět. Od 2. listopadu opět hodnoty PM<sub>10</sub> rychle stouply a přesahovaly stanovený denní limit. Do 7. listopadu, kde byla naměřena nejvyšší hodnota PM<sub>10</sub> za rok 2015 a to 128,3 µg/m<sup>3</sup>. Od dalšího

dne klesly hodnoty o skoro  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a dokonce trvání inverze šly hodnoty dolů.



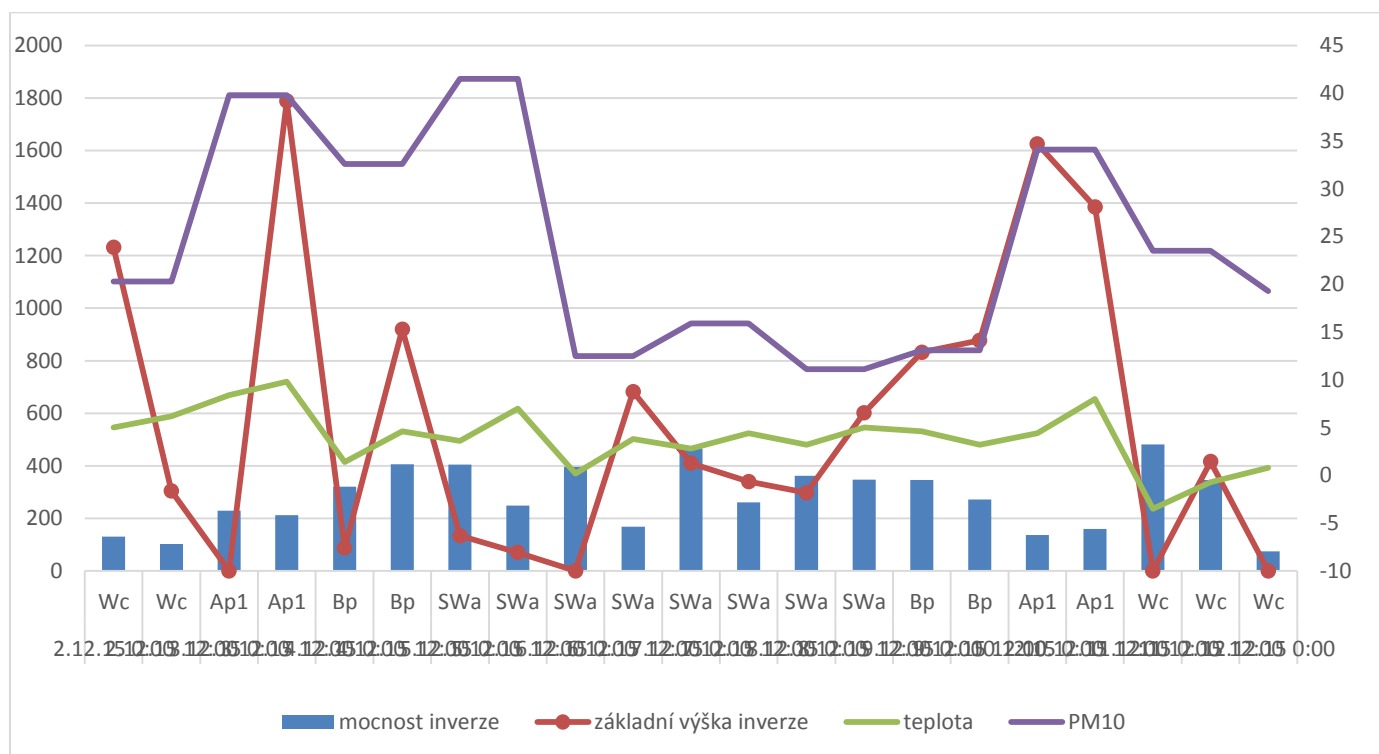
Obr. 23: Inverze trvající od 30. 10. do 11. 11. – 0:00 UTC (Zdroj: ČHMÚ, University of Wyoming, vlastní úprava zpracování dat)

Poznámky: u denního měření 10. 11. v 0:00 UTC, je znázorněna mocnost inverze 8 metrů, jen není na obrázku vidět. Svisle vlevo jsou vyznačeny hodnoty v metrech, napravo pak °C.

### Inverze 2. 12. – 12. 12. 2015

Předposlední zmíněnou inverzí je inverze, která se vyskytla začátkem prosince a trvala 10,5 dne, konkrétně od 0:00 UTC 2. prosince do 12. prosince 0:00 UTC. Mocnost první prosincové inverze se pohybovala od 74 po 482, nejnižší mocnost byla na konci inverze. Z obrázku, na kterém je inverze znázorněna, se jednalo převážně o inverzi výškovou, avšak ve čtyřech případech nočního měření se vyskytla inverze přízemní. Během inverze se vystřídaly celkem čtyři povětrnostní situace, které se promítly na změně koncentrací  $\text{PM}_{10}$  v ovzduší. Začátkem inverze, tedy 2. prosince, byla koncentrace  $\text{PM}_{10}$   $20,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a se změnou zmíněných čtyř situací se o tři dny vyšplhala na  $41,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Jednalo se nejvyšší hodnotu  $\text{PM}_{10}$  v této inverzi, kdy se nad územím České republiky vyskytovala severozápadní anticyklonální situace (SWa). Hned další den byl zaznamenán velký pokles  $\text{PM}_{10}$  o téměř  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se změnou povětrnostní situace byl zaznamenán nárůst koncentrace  $\text{PM}_{10}$ , který s příchodem

západní cyklonální situace (Wc) na konci inverze klesl pod  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Teplota v průběhu inverze se pohybovala nad  $0^\circ\text{C}$ , pouze 11. prosince klesla pod bod mrazu, čímž byla koncentrace  $\text{PM}_{10}$  menší.



Obr. 24: Inverze trvající od 2. 12. do 12. 12. – 0:00 UTC (Zdroj: ČHMÚ, University of Wyoming, vlastní úprava zpracování dat)

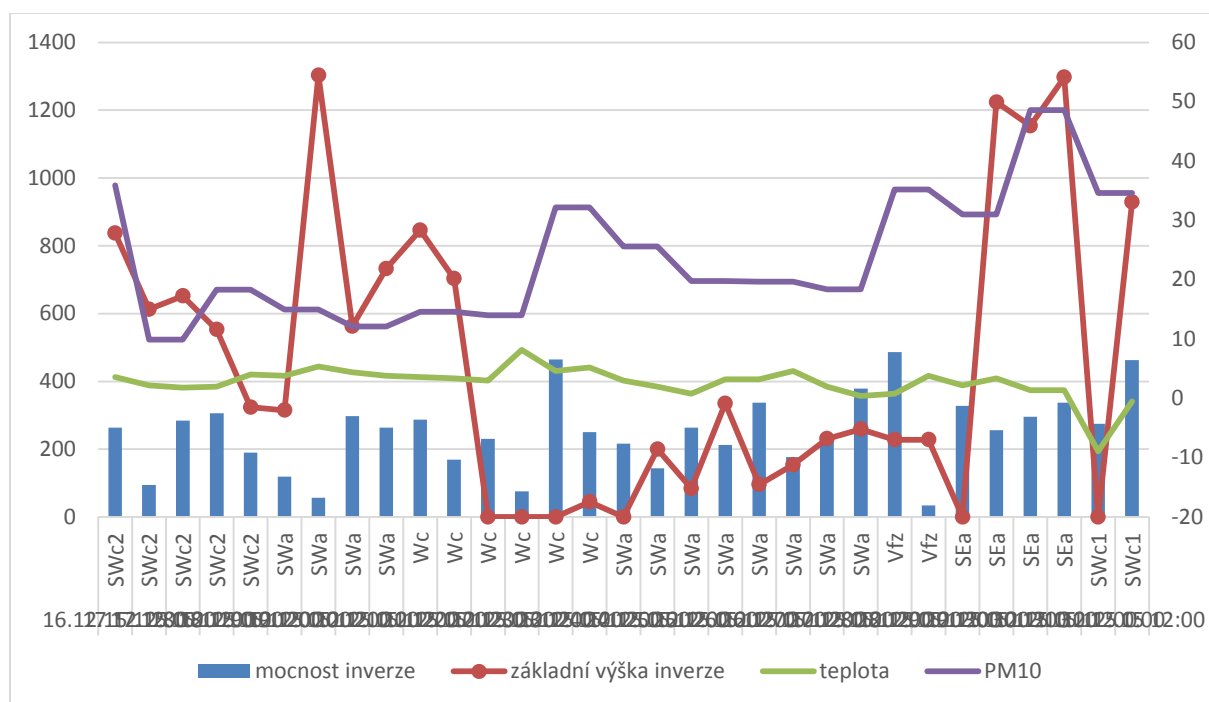
Poznámky: na obrázku svisle vlevo jsou zaznačeny hodnoty v metrech, napravo pak  $^\circ\text{C}$

### Inverze 16. 12. – 31. 12. 2015

Po první prosincové inverzi byla zaznamenána krátká dvoudenní inverze, na kterou navázala nejdéle trvající inverze z celého roku 2015.

Inverze na obrázku xc byla zaznamenána jako výšková inverze z denního měření 16. prosince v 12:00 UTC, trvala až do konce roku 2015, tedy 15,5 dní. Pohyb koncentrací  $\text{PM}_{10}$  je ze začátku inverze spojen s poklesem nebo s nárůstem teploty vzduchu. Vyšší zaznamenaní hodnoty  $\text{PM}_{10}$  bylo naměřeno 23. prosince, kdy byla hodnota  $\text{PM}_{10}$   $32,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nejvyšší hodnoty  $\text{PM}_{10}$  byly naměřeny 30. prosince  $48,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kdy moc nechybělo k překročení denního limitu. Mocnost inverze se pohybovala od 34 do 487 metrů, obě tyto veličiny byly naměřeny ve stejný den. Vyšší hodnota byla zjištěna z nočního profilu měření. Jak bylo

zmíněno výše, ze začátku se jednalo o inverzi výškovou, a to jak z nočních tak i z denních měření, až do 22. prosince, kdy se celý den nad Prostějovem vyskytovala přízemní inverze. Další přízemní inverze se vyskytovaly v následujících dvou dnech nočního měření a během změn povětrnostních situací z přechodné na anticyklonální situaci 29. prosince a z anticyklonální na cyklonální 31. prosince. Nejčastěji se během poslední inverze v roce 2015 vyskytovala jihozápadní anticyklonální povětrnostní situace.

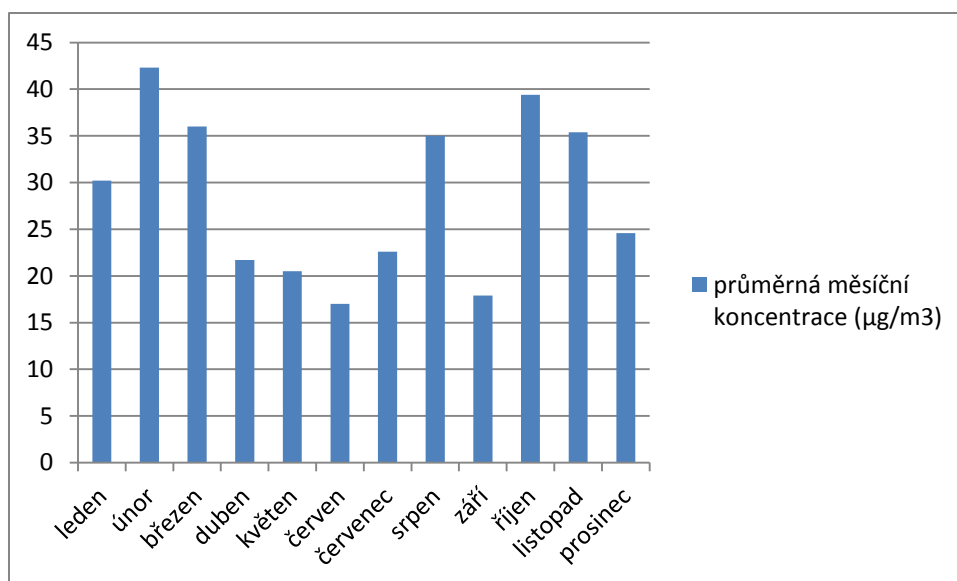


Obr. 25: Inverze trávající od 16. 12. – 12:00 UTC do 31. 12. 2015 (Zdroj: ČHMÚ, University of Wyoming, vlastní úprava zpracování dat)

Poznámky: na obrázku svise vlevo jsou zaznačeny hodnoty v metrech, napravo pak °C.

## 6.8 Hodnocení PM<sub>10</sub>

Jak bylo výše zmíněno, průměrné roční koncentrace patřily k nejnižším za posledních 10 let.



Obr. 26: Průměrná měsíční koncentrace hodnot  $PM_{10}$  (Zdroj, ČHMÚ)

Vyšší koncentrace hodnot  $PM_{10}$  se v roce 2015 vyskytovaly v chladnějším měsících, kdy se na výskytu koncentrací podílely nejen spalovací procesy společně s dopravou, ale také i lokální topeniště. Především nárůst hodnot  $PM_{10}$  v říjnu, kdy se koncentrace zvýšily o  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vliv na tento nárůst hodnot může být ovlivněn začátkem otopné sezóny, kdy od 8. října nebyla průměrná teplota do konce roku vyšší než  $13^\circ\text{C}$ , až na malé výjimky. Z toho důvodu lze také vidět vyšší koncentrace až do konce měsíce dubna, když se už moc nevytápělo. Dalším důvodem byl i výskyt inverzí, které koncentrace zadržovaly. Nejvyšší průměrné měsíční koncentrace byly naměřeny v únoru  $42,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Druhá nejvyšší koncentrace byla v říjnu  $39,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , následoval březen  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a listopad se srpnem, které zaznamenaly hodnotu  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vyšší průměrné koncentrace v srpnu měly za příčinu vznik krátké inverze trvající dva dny. V den vzniku inverze 28. srpna byl překročen denní imisní limit koncentrace  $PM_{10}$  o  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , celkem bylo naměřena hodnota  $51,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Celkem byl v srpnu překročen denní imisní limit ve třech dnech. Nejvícekrát byl limit v roce 2015 překročen v únoru a v březnu - v 8 případech, následovaly měsíce říjen a listopad se šesti dny překročení stanoveného limitu. Celkově byl limit překročen ve 37 dnech. Nejvyšší koncentrace za rok 2015 byla naměřena 7. listopadu  $128,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , vysoké hodnoty přes  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  byly zaznamenány v lednu a v říjnu. Nejmenší koncentrace  $PM_{10}$   $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  byla naměřena o 8 dní později, než byla naměřena hodnota maximální koncentrace. Nejmenší průměrné měsíční koncentrace  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  byly naměřeny v červnu. V tabulce číslo 7 se nachází celkový přehled o měření  $PM_{10}$  za rok 2015, který byl v tomto textu shrnut a vyhodnocen.



Tab. 7: Přehled měření PM<sub>10</sub>, za rok 2015

rok 2015	počet překročení průměrného denního imisního limitu PM <sub>10</sub>	maximální hodnota (µg/m <sup>3</sup> )
leden	5	94,6
únor	8	81,5
březen	8	68,9
duben	0	44,9
květen	1	54,6
červen	0	29,2
červenec	0	41,8
srpen	3	51,5
září	0	33,3
říjen	6	90,8
listopad	6	128,3
prosinec	0	49,8

(Zdroj: ČHMÚ, vlastní úprava)

Hlavní příčinou nadměrného vytváření PM<sub>10</sub> nejen v Prostějově způsobuje negativní lidská činnost. Konkrétně různé spalovací procesy, nárůst automobilové dopravy nebo spalování odpadů nebo domácí vytápění nekvalitními tuhými palivy, apod. Samozřejmě další vlivy nejsou jen antropogenního původu.

## 6.9 Dopravní intenzita

Mezi nejvýznamnější zdroje znečišťování ovzduší v Prostějově patří také intenzita automobilové dopravy. Vliv dopravy se promítá jak na kvalitu ovzduší, tak i na fyzikální charakteristiky prostředí (hluk, vibrace) na nejzatíženějších komunikacích města. Doprava, kromě přímých emisí oxidu dusíku a oxidu uhelnatého, polyaromatických uhlovodíků a tuhých částic, přináší i sekundární znečištění ovzduší rozvířováním prachu s následkem zvýšené koncentrace tuhých částic (Zapletalová, 2015).

V tabulce číslo 8, je vyjádřena intenzita automobilové dopravy v Prostějově v letech 2005, 2010 a 2016. Výsledky pochází ze sčítání dopravy, které provádělo Ředitelství silnic a dálnic ve zmíněných letech. Výsledky z let 2005 a 2010 jsou definitivní. Z roku 2016 se jedná pouze o předběžné výsledky (ŘSD, 2016). Uváděné hodnoty v tabulce číslo 8 jsou ročním

průměrem denních intenzit dopravy ve vozidlech za 24 hodin. Sčítací úseky uvedené v tabulce, jsou upraveny na názvy místních ulic. Sčítacím úsekem Centrum je pojmenován úsek mezi dvěma křižovatkami ulic Olomoucká – Svatoplukova – Vápenice a Svatoplukova – Újezd.

Tab. 8: Intenzita automobilové dopravy v Prostějově

Sčítací úsek / celkový počet aut	rok 2016	rok 2010	rok 2005
Blahoslavova	10 745	14 085	12 249
Brněnská	9 838	8 359	8 323
Centrum	12 461	12 004	13 502
D46 / exit 24	29 522	24 828	-
D 46 / 21 - 24 km	28 108	24 568	22 575
D 46 / 24 - 26 km	30 458	29 229	26 608
Dolní	14 191	10 394	10 136
Kojetínská	7 646	6 865	9 136
Kostelecká	7 919	9 013	10 050
Kralická	3 992	2 818	4 248
Olomoucká	15 433	10 942	14 917
Palackého	8 495	9 639	9 075
Plumlovská	12 040	11 492	16 821
Svatoplukova	11 665	11 226	13 667
Újezd	-	-	12 547
Vápenice	12 461	13 948	16 880
Vrahovice	5 435	4 701	6 506
Vrahovická	9 186	9 185	10 291
Wolkerova	10 593	15 672	16 980
Žeranovská	5 004	5 212	6 355

(Zdroj: ŘSD, vlastní úprava)

Mezi nejvytíženější dopravní úsek, za všechny tři sledovaná období, patří dálniční úsek mezi 24 a 26 kilometrem dálnice D46, kde podle předběžných výsledků v roce 2016 byla průměrná intenzita 30 tisíc automobilů za den. Kromě D46 patří mezi nejintenzivnější dopravní úseky ve městě tzv. městský okruh, který tvoří ulice: Blahoslavova, Palackého, Vápenice, Wolkerova a Újezd. V těchto místech byla v letech 2005 a 2010 dopravní intenzita zhruba 10 až 15 tisíc automobilů za den. V roce 2005 byla největší intenzita ve městě na ulicích Plumlovská, Vápenice a Wolkerova – projelo tam přes 16 tisíc automobilů za den, což bylo nejvíce za všechny tři sčítací období a samozřejmě provoz vozidel na dálnici D46. Kromě dálnice D46 a ulice tzv. městského okruhu patří mezi hlavní dopravní tahy

v Prostějově ulice Svatoplukova a ulice, které vyvádí dopravu z centra města. Tyto ulice můžeme nazvat jako výpadovky. Mezi tyto ulice patří: Brněnská, Dolní, Kostelecká, Olomoucká, Plumlovská a Vrahovická. V následujícím sčítacím období 2010 můžeme vidět oproti roku 2005 snížení intenzity dopravy na ulicích městského okruhu z důvodu výstavby tzv. jižního obchvatu a části severního obchvatu, který odklání dopravu z centra města. Podobně tak se to projevuje v ulicích, které slouží jako výpadovky z centra města, a to ulice Kostelecká, Olomoucká a Plumlovská. Naopak na ulicích Brněnská a Dolní je vidět nárůst intenzity dopravy za každé sčítací období. Tyto ulice společně s ulicí Olomouckou jsou spojnicemi mezi centrem města a dálnicí D46. Samozřejmě nárůst dopravní intenzity je také na sčítacích úsecích dálnice D46. Nejmenší dopravní intenzita za všechny tři sčítací období byla na ulici Kralická, která patří do průmyslové zóny společně s Kojetínskou ulicí. Na sčítacím místě Újezd byly zaznamenány výsledky pouze za rok 2005, za to na sčítacím úseku Exit 24 nebylo v roce 2005 sčítání provedeno, protože v roce 2005 byl sčítací úsek Exit 24 zahrnut do sčítacího úseku D46 – 24 až 26 kilometr.

## 7 Závěr

Cílem předkládané diplomové práce bylo zhodnocení míry teplotního zvrstvení atmosféry, zjištěné aerologickými výstupy s imisní situací měřenou na stanicích monitoringu kvality ovzduší ve městě Prostějově.

Zhodnocení míry teplotního zvrstvení atmosféry bylo provedeno do výšky 2 kilometrů nad zemským povrchem. Výsledky zhodnocení byly založené na aerologických výstupech z měření, které bylo prováděno v Prostějově. Data byla poskytnuta z databáze americké univerzity ve Wyomingu.

Míra teplotního zvrstvení byla charakterizována podle teplotního gradientu a stabilitní klasifikací podle Bubníka a Koldovského. Z datových podkladů aerologických měření bylo zjištěno 730 profilů, z nichž bylo zaznamenáno 645 profilů s výskytem izotermie a 450 profilů s výskytem inverze, což by mohlo znamenat, že se v roce 2015 vyskytla inverze ve 225 dnech nad Prostějovem. V práci byly primárně zhodnoceny profily přízemních inverzí a izotermií. Dále byla zhodnocena délka trvání inverzí, které trvaly déle než 3,5 dne, kterých bylo celkem 15, z toho 8 inverzí bylo popsáno a na nich byly znázorněny vlivy koncentrací  $PM_{10}$  a povětrnostních situací.

Data pro koncentrace znečišťujících látek byla použita z Informačního systému kvality ovzduší. Tato data byla poskytnuta ze stanice v Prostějově, která funguje od roku 1994. Na této stanici se monitoruje látka  $PM_{10}$ , která díky svým vysokým koncentracím řadí město Prostějov mezi města s nejvíce znečištěným ovzduším. Pro imisní koncentrace  $PM_{10}$  platí zákonem stanovené limity, které byly v roce 2015 překročeny ve 37 případech. Průměrné měsíční koncentrace za zkoumané období se pohybovaly v rozmezí zhruba 20 – 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a za celý rok byly 28,55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Nejen koncentracemi znečišťujících látek je ovlivňována kvalita ovzduší v Prostějově. Dalšími negativními vlivy jsou průmysl a především doprava, která je dlouhodobým problémem. Problematika dopravy je jedním z nejdůležitějších priorit ve městě. Za poslední dobu byl vybudován jižní obchvat a část severního obchvatu, který ulevil od vyšší intenzity dopravy v centru města. V poslední době kvalitu ovzduší ovlivňují také lokální topeniště. Především v období otopné sezóny, kdy se někteří nezodpovědní obyvatelé města Prostějova a blízkého okolí vracejí zpět k topení nekvalitními tuhými palivy.

Všechny tyto zmíněné faktory mají společně s polohou města a meteorologickými podmínkami vliv na výskyt inverzních vrstev.

## 8 Shrnutí

Předkládaná diplomová práce na téma Hodnocení závislosti meteorologických podmínek rozptylu a koncentrací znečišťujících látek v ovzduší na příkladu města Prostějova byla zpracována na základě dat z výsledků aerologických měření teploty z aerologické stanice v PV, která provádí aerologická měření pomocí radiosondy vypuštěné do vzduchu ve dvou časových intervalech 0:00UTC a 12:00 UTC v Prostějově a z automatizované monitorovací stanice v Prostějově, která měří imisní koncentrace prašného aerosolu. Pro tvorbu této práce se data vztahovala k roku 2015. Město Prostějov patří k městům s nejvíce znečištěným ovzduším v ČR hlavně kvůli vysokým koncentracím prašného aerosolu, který se významně podílí společně s teplotou vzduchu na vlivu vytváření inverzí. Ty zde mají velmi četný výskyt díky poloze Prostějova, který se nachází v uzavřené kotlině ze tří stran, která je špatně větratelná. Dalšími zdroji, které napomáhají výskytu inverzí, jsou povětrnostní situace a intenzivní nárůst dopravy. Všechny zmíněné složky, které se podílí na vzniku inverzí byly v této diplomové práci vyhodnoceny.

## 9 Summary

The translated diploma thesis of topic Assessment of the correlation between meteorological conditions of dispersion and air pollution levels: a case study for the town of Prostějov was executed on the basis of data from results of aerological measure of temperature from aerological station in Prostějov which takes aerological measure by means of radioprobe set off in two times 0:00UTC and 12:00UTC in Prostějov and from automatized monitoring station in Prostějov which measures pollutant concentration of dusty aerosol. For creating this diploma thesis the data referred to year 2015. Prostějov belongs to cities with the most polluted air in the Czech Republic mainly because of high concentration of dusty aerosol which participates meaningfully with temperature on influence creation of inversion. Those are here very frequently thanks to the location of Prostějov that is situated in hollow basin closed from three sides so it is not well aired. Another source that helps to the occurrence of inversions are weather situations and intensive accrual of transport. All mentioned constituents which participate on rising the inversions were analysed in this diploma thesis.





## Seznam použité literatury

ALONSO-BLANCO, E. et. al., (2017) Wildfire smoke plumes transport under a subsidence inversion. Climate and health implications in a distant urban area. Science of the Total Environment, p. 988-1002

AVIMET (2010) Mezní vrstva atmosféry [online, cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://www.avimet.cz/index.php?id=read&idd=1288345605>

BEDNÁŘ, J., ZIKMUNDA, O. (1985) Fyzika mezní vrstvy atmosféry. Akademika, Praha, 1985. 245s. ISBN

BRANIŠ, M., HŮNOVÁ, I. (2009) Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2009. 351 s. ISBN 978-80-246-1598-1.

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2008) Typizace povětrnostních situací [online, cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/typizace-povetrnostnich-situaci>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2010) – Rozptylové podmínky [online, cit. 2017-11-21]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2012) ISKO – Imisní limity pro ochranu zdraví [online, cit. 2017-08-21]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity_CZ.html)

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2015) – Kalendář povětrnostních situací v roce 2015 [online, cit. 2017-09-06]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/typizace-povetrnostnich-situaci>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2016) Seznam lokalit v Olomouckém kraji [online, cit. 2017-08-21]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web\\_generator/locality/pollution\\_locality/all\\_region\\_district\\_2742\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/all_region_district_2742_CZ.html)

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2016a) Automatizovaná monitorovací stanice Prostějov [online, cit. 2017-08-21]. Dostupné z:

[http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web\\_generator/locality/pollution\\_locality/loc\\_MPST\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/loc_MPST_CZ.html)

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2017) Otopná sezóna [online, cit. 2017-12-09]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/otopna-sezona>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2017) Úsek ochrany čistoty ovzduší – grafické ročenky [online, cit. 2017-09-09]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html)

GREGG, W. R. (1921) Instructions for aerological observes. U. S. Department of Agriculture, Weather Bureau., Washinton, 1921. 136s. ISBN 978-0-282-82925-4

FORTELLI A. et. al, (2016) Influence of synoptic and local atmospheric patterns on PM 10 air pollution levels: a model application to Naples. Atmospheric Environment 143 (2016), p. 218-228

GVOŽDÍKOVÁ, B. (2013) Vertikální profil teploty vzduchu v mezní vrstvě atmosféry, 65s., Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie

HENELOVÁ, V. Příručka ochrany kvality ovzduší. Vyd. 1. Praha: Sdružení společností IREAS centrum, s.r.o., Praha, 2013. 640s.

INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠTĚNÍ (2006) Polétavý prach PM10[online, cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/85>

JI, D. et. al., (2012) Analysis of heavy pollution episodes in selected cities of northern China. Atmospheric Environment 50 (2012), p. 338-348

LIU, B. et. al., (2017) Study of continuous air pollution in winter over Wuhan based on ground-based and satellite observation. Atmospheric Pollution Research xxx (2017), p. 1-10

MILIONIS, A. E., DAVIES, T. D.(1994) Regression and stochastic models for air pollution II. application of stochastic models to examine the links between ground-levels smoke concentrations and temperature inversions. Atmospheric Environment, Vol. 28, No. 17, p. 2811–2822,

MILIONIS, A. E., DAVIES, T. D. (2007): The effect of the prevailing weather on the statistic of atmospheric temperature inversions. *International Journal of Climatology*, Vol. 28, No. 10, p. 1385 – 1397.

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ (2013) - SYMOS 97' - Metodická příručka, aktualizace 2013, [online, cit. 2017-11-09]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zpracovani\\_rozptylovych\\_studii\\_metodika/\\$FILE/000-Metodicka\\_priruckaSYMOS97unor2014-20140320.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zpracovani_rozptylovych_studii_metodika/$FILE/000-Metodicka_priruckaSYMOS97unor2014-20140320.pdf)

PAVLICOVÁ, I. (2007) Teplotní inverze v oblasti Ostravské průmyslové aglomerace, 88s., Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta.

PIIRONEN, A., ELORANTA, E. W. (1995): Convective boundary layer mean depths, cloud base altitudes, cloud top altitudes, cloud coverages, and cloud shadows obtained from Volume Imaging Lidar data. *Journal of Geophysical Research*, 100, č. 12, s 25569–25576.

RUDA, A. (2014) Meteorologické prvky a jejich charakteristiky [online, cit. 2017-10-31]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz\\_geogr/web/pages/03-prvky.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/03-prvky.html)

SOBÍŠEK, B. ed. (1993) Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Academia, Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 594s.

STATUTÁRNÍ MĚSTO PROSTĚJOV (2016) Poloha města Prostějova [online, cit. 2017-06-07]. Dostupné z: <https://www.prostejov.eu/cs/volny-cas/o-meste/>

STATUTÁRNÍ MĚSTO PROSTĚJOV (2016) Současný průmysl města Prostějova [online, cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <https://www.prostejov.eu/cs/volny-cas/o-meste/soucasnost.html>

STRYHAL, J. (2012) Teplotní inverze v mezní vrstvě nad Prahou, 89 s. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie

SYMOS 97' - Metodická příručka (2013)

UNIVERSITY OF WYOMING Aerological data Prostějov 11747 [online, cit. 2017-09-09]. Dostupné z: <http://weather.uwyo.edu/upperair/europe.html>

VÍTKOVÁ, D. (1970) Aerologie. Hydrometeorologický ústav, Praha, 1970. 64 s. ISBN

VYSOUDIL, M. (2006) Meteorologie a klimatologie. Univerzita Palackého, Olomouc, 2006. 281 s. ISBN 80-244-1455-4.

VYSOUDIL, M. (2002) Ochrana ovzduší. Univerzita Palackého, Olomouc. 114 s. ISBN 80-244-0400-1.

WILCZAK, J. M., GOSSARD, E. E., NEFF, W. D., EBERHARD, W. L. (1996): Ground-based remote sensing of the atmospheric boundary layer: 25 years of progress. *Boundary-Layer Meteorology*, 78, č. 3–4, s. 231–349.

ZAPLETALOVÁ, J. (2015) Kvalita ovzduší v Prostějově a její precepce veřejností, 92 s. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geografie

## **Přílohy**

Příloha 1 – popis vybraných synoptických typů

Příloha 2 – kalendář povětrnostních situací v roce 2015

## Příloha 1 – popis vybraných povětrnostních situací

**A – (anticyklóna nad střední Evropou)** - Tuto situaci charakterizuje tlaková výše nad střední Evropou, která svými okraji zasahuje nad západní a jihozápadní Evropu. Anticyklóna je většinou vyjádřena se samostatným středem ve vyšších hladinách. Většinou se střed anticyklony udržuje nad střední Evropou okolo 50° rovnoběžky. Anticyklonální situace nad střední Evropou se nejčastěji vyskytuje na podzim a v zimě. V listopadu však celkový počet případů prudce klesá. Na léto připadá minimum, ovšem zastoupení v jednotlivých měsících tohoto ročního období je dost vyrovnané.

**Ap (putující anticyklóna)** – z cirkulačního hlediska je situace putující anticyklóny typem přechodným. Je tvořena anticyklónami, vyjádřenými pouze v přízemním tlakovém poli, které se pohybují ve směru řídicího přes střední Evropu. Podle směru drah, po nichž se putující anticyklóny pohybují, můžeme situaci rozdělit na čtyři skupiny: **Ap1** – probíhá po Azorské ose ze Španělska přes Bavorsko na naše území až na severní Ukrajinu. Situace této skupiny se vyskytují asi v 10% všech případů trvající nejčastěji 1 den. Vyskytuje se spíše na podzim. **Ap2** probíhá po 50. rovnoběžce z jižní Anglie přes naše území na Ukrajinu. Situace této skupiny jsou nejčetnější. Vyskytují se zhruba v 50% všech případů a jejich nejčastější trvání jsou dva dny. Četnost během roku má výrazný chod s maximem v přechodných ročních dobách a s minimem v létě a v zimě. **Ap3** probíhá od Shetland přes Severní moře na jižní Karpaty. Situace této skupiny se vyskytují v 30% všech případů s délkou trvání 2 až 3 dnů. Tato situace se vyskytuje po celý rok, nejčastěji v přechodných ročních dobách, nejméně v létě. **Ap4** probíhá z jižní Skandinávie přes Polsko na Balkán. Četnost výskytu situace je malá asi 10% všech případů, její délka trvání je značně proměnlivá.

**B (brázda nízkého tlaku nad střední Evropou)** - charakteristickým znakem této situace je řídicí cyklóna v oblasti západní Skandinávie, Norského a Severního moře. Z cyklóny vychází brázda, která zasahuje až nad Středozevní moře. Anticyklóny se rozprostírají nad oceánem a východní Evropou. Atlantická frontální zóna, která směřuje nad Biskajský záliv, se v západní Evropě rozpadá. Tato fronta podporuje příliv studeného vzduchu od severozápadu do západního středomoří. V oblasti severní Itálie a Středozevního moře přílivem prudšího teplého vzduchu od jihovýchodu a již zmiňovaného studeného vzduchu vzniká nová frontální zóna, která přechází přes státy střední Evropy dále k východu. Brázda nad střední Evropou je užší, a v důsledku toho studený vzduch v jejím

týle proudí víc od severu. V obou případech se někdy plytké frontální poruchy postupující ze Středozemního moře prohlubují a mezi nimi vznikají hřebeny vyššího tlaku vzduchu nebo podružné anticyklóny. Nejčastěji se tato situace vyskytuje v dubnu, květnu, v říjnu až prosinci, nejméně v srpnu.

**Bp (brázda postupující přes střední Evropu)** – tento typ situace se odlišuje od brázdy, tím že cyklóna se rozkládá v oblasti Islandu. Vysoký tlak leží západně od Pyrenejí a Biskajského zálivu a druhý nad východní Evropou. Mezi těmito anticyklónami postupuje brázda nízkého tlaku od západu k východu, přes střední Evropu. Na frontálním rozhraní, které leží v ose této brázdy, postupují od jihu k severu plytké frontální vlny. V návaznosti s přemístěním brázdy mění v části polohou i obě tlakové výše. Vysoký tlak, který se rozprostírá nad oceánem, se rozšiřuje ke konci situace do střední Evropy. Přechod brázdy bývá poměrně rychlý, z čehož lze odvodit i její krátké trvání.

**Ea (východní anticyklonální situace)** – tlaková výše zasahuje ze severu a severovýchodu do střední Evropy a tím je zde dán ráz počasí. V studené roční době je ve střední Evropě studený pevninský vzduch s velmi nízkými teplotami, v létě převládá malá oblačnost a studená advekce od východu až severovýchodu je do značné míry kompenzovaná prohříváním. Příliv studeného vzduchu může též přicházet po etapách a je provázen přechodem podružných studených front od východu. Situace Ea se vyskytuje nejčastěji na začátku jara a uprostřed zimy, nejméně uprostřed léta.

**SEa (jihovýchodní anticyklonální situace)** – je tvořena mohutnou řídicí anticyklónou v prostoru V Evropy a Skandinávie. Kolem řídicí anticyklóny nad pevninou proudí studený vzduch od severu přes Ukrajinu na Balkán a odtud k severozápadu na naše území. Obě skupiny situací se vyskytují stejně často a takřka výlučně v přechodnou roční dobu a v zimě.

**SWa (jihozápadní anticyklonální situace)** – pro tuto situaci je příznačná brázda nízkého tlaku nad Atlantikem. Na východ této brázdy je vysunut hřeben vysokého tlaku přes Španělsko do střední Evropy, právě mezi těmito dvěma útvary probíhá frontální zóna z Atlantiku, přes Britské ostrovy až do Skandinávie. Frontální poruchy spojené s frontální zónou zasahují střední Evropu jen někdy svými jižními konci. Ve střední Evropě trvá anticyklonální ráz počasí při jihozápadním proudění. Jihozápadní anticyklonální situace se nejčastěji vyskytuje

koncem podzimu a v první polovině zimy, kdy všeobecně převládá zonální ráz cirkulace a při zemi prochlazená pevnina podporuje tvoření anticyklón.

**SWC2 (jihozápadní cyklonální situace 2.typu)** - jedná se o frontální zónu směřující od jihozápadu k severovýchodu v prostoru nad Britskými ostrovy a baltským mořem. Teplá anticyklóna související s touto frontální zónou leží zpravidla nad Středozemním mořem. Při zemi je tato anticyklóna mnohdy jen slabě vyjádřena a podle roční doby nahrazena často jen výběžkem vyššího tlaku. Tato cyklonální situace bývá poměrně častá a vyskytuje se po celý rok s přibližně stejnou četností. Nejméně se vyskytuje v září.

**Wal (západní anticyklonální situace letního typu)** - Wal – v letním půlroku mívají někdy západní anticyklonální situace odlišný vývoj. Namísto anticyklóny, která při situaci Wa zůstává nad střední Evropou, postupují při Wal situaci jednotlivé tlakové výše ze subtropických šířek Atlantického oceánu přes Biskajský záliv a Francii nad střední Evropu a odtud dále na východ. Tyto přízemní anticyklóny souvisejí s hřebeny vyššího tlaku ve vyšších hladinách. Řídící tlaková níže se udržuje v prostoru mezi Islandem a Skotskem. V brázdách mezi zmiňovanými anticyklónami vzniká ve střední Evropě přechodné jihozápadní proudění i ve vyšších hladinách, ve kterých se studené fronty vlní. Frontální zóna směřuje z mírných šířek Atlantického oceánu přes Britské ostrovy, Dánsko a Baltické moře na severovýchod. Oblast vyššího tlaku, která se udržuje v prostoru Grónsko – Špicberky, napomáhá přílivu studeného vzduchu od severovýchodu do studených oblastí Atlantického oceánu a tím i aktivizování frontální zóny. Druhá skupina této situace je charakterizována pohyblivou tlakovou níží, která se přesouvá v průběhu období z Atlantického oceánu jižně od Islandu k pobřeží severního Norska. Případu stacionární cyklóny je přibližně 60 %, s pohyblivou tlakovou níží 40 %. Západní anticyklonální situace letního typu se vyskytuje v měsících květen až září. Nejpočetnější zastoupení mívá v letních měsících, a to především v červenci.

**Wc (západní cyklonální situace)** – řídicími tlakovými útvary jsou studená cyklóna v oblasti Islandu a Norského moře a teplá anticyklóna, která se udržuje nejčastěji mezi Azorskými ostrovy a Španělskem. Jednotlivé povětrnostní fronty postupující od západu do vnitrozemí zasahují aktivně i naše území. Vyskytuje se po celý rok nejčastěji v létě a v zimě.

(zdroj, ČHMÚ, vlastní úprava)



Poznámky: Jsou zde popsány povětrnostní situace z katalogu typizací povětrnostních situací ze stránek ČHMÚ, jejichž četnost za rok 2015 byla více jak 20krát a dále jsou zde popsány situace, které se opakovaně vyskytovaly během dlouhodobých inverzí.

Příloha 2 – Kalendář povětrnostních situací v roce 2015

Typy povětrnostních situací na území České republiky v roce 2015												
den/měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1.	Wc	B	Wc	NWc	Wcs	Bp	A	Ap2	Bp	Ea	A	Wc
2.	Wc	B	Wc	Nc	Wcs	Wa	A	Cv	Bp	SEa	A	Wc
3.	Wc	B	Wc	Nc	SWc1	Wa	A	SEa	SWc3	SEa	A	Ap1
4.	NWc	B	Wc	Ap2	SWc1	A	A	SEa	SWc3	Cv	SWa	Bp
5.	NWc	Ea	Wc	NEc	SWc1	A	A	SWa	NWc	SWc1	SWa	SWa
6.	Ap4	Ea	Ap2	NEc	SWc1	SWa	Bp	SWa	NWc	SWc1	SWc2	SWa
7.	Wc	Ea	Ap2	NWa	Ap1	SWa	Bp	SWa	NWc	B	SWc2	SWa
8.	Wc	Nc	Ap2	NWa	Ap1	Bp	NWc	SWa	NWa	B	Ap1	SWa
9.	Wc	NWc	Bp	SWa	Bp	Bp	NWc	SWa	Cv	B	Wc	Bp
10.	Wc	NWc	Bp	SWa	Ap2	NEa	Ap2	Ea	Cv	Ea	Wc	Ap1
11.	Wc	Ap2	Bp	SWa	Ap2	NEa	Ap2	Ea	Cv	Ea	Wc	Wc
12.	Wc	SWa	NEc	Wal	Bp	B	Wc	Ea	SEa	Ea	Wc	Wc
13.	Wc	SWa	NEc	Wal	Bp	B	Wc	Ea	SEa	SEc	Wc	Wc
14.	Wc	SWa	NEc	Wal	Vfz	B	Wc	Ea	SWc1	SEc	Wc	Ap1
15.	SWa	SEa	SEa	Wal	Vfz	Bp	Wal	B	SWc1	SEc	Wc	SWc2
16.	SWa	SEa	SEa	Wal	Bp	NWa	Wal	B	SWc1	SEc	Wc	SWc2
17.	Bp	SEa	SEa	NEc	Ap2	NWa	Wal	B	Bp	Cv	Wc	SWc2
18.	Ap1	A	Ea	NEc	Ap2	NWc	Wal	B	Bp	Cv	Wc	SWc2
19.	Ap1	A	Ea	NWa	Bp	NWc	Wal	B	Ap1	Cv	Wc	SWa
20.	B	SWa	Ea	NWa	Bp	NWc	Wal	Ea	Bp	Cv	Wc	SWa
21.	B	SWa	Bp	NWa	Bp	NWc	Wal	Ea	Ap2	Cv	Bp	Wc
22.	Ec	Bp	Ap2	Cv	Bp	B	Wal	Ea	Bp	Bp	Bp	Wc
23.	Ec	B	Ap2	SWa	Ec	B	Wal	Ea	Bp	Ap1	Bp	Wc
24.	Ec	B	Ap2	SWa	Ec	Ap2	Wal	SWc2	Ap2	Ap1	Ap1	SWa
25.	Bp	B	B	SWc2	B	Ap2	Bp	SWc2	NWa	Bp	B	SWa
26.	Bp	B	B	SWc2	B	Wal	Ap2	SWa	NWa	SEa	B	SWa
27.	Bp	Bp	B	Bp	Wa	Wal	Wcs	SWa	NEa	SEa	Ap1	SWa
28.	Wcs	Ap1	Ap1	Bp	Wa	Wal	Wcs	Bp	NEa	SEa	Wc	Vfz
29.	Wcs		Wc	Ap2	Wc	Wal	Wcs	SWa	NEa	SEa	Wc	SEa
30.	B		Wc	Wcs	Wc	A	Ap2	SWa	Ea	SEa	Wc	SEa
31.	B		NWc		Ap2		Ap2	SWa		SEa		SWc1