

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

[Verze textu práce s opravenými formálními chybami.](#)

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

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <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>43</b> |
| <b>6.4</b> | <b>Přízemní inverze.....</b>   | <b>46</b> |
| <b>6.5</b> | <b>Přízemní izotermie .....</b>                                      | <b>49</b> |
| <b>6.6</b> | <b>Porovnání nočních profilů přízemních inverzí a izotermií.....</b> | <b>53</b> |
| <b>6.7</b> | <b>Dlouhodobé inverze.....</b>                                       | <b>54</b> |
| <b>6.8</b> | <b>Hodnocení PM<sub>10</sub>.....</b>                                | <b>64</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>72</b> |
|            | <b>Přílohy .....</b>   | <b>76</b> |
|            | <b>Příloha 1 – popis vybraných povětrnostních situací.....</b>       | <b>77</b> |
|            | <b>Příloha 2 – Kalendář povětrnostních situací v roce 2015.....</b>  | <b>81</b> |



## Seznam zkratk

|                  |  |
|------------------|--|
| AMS              | automatizovaná monitorovací stanice    |
| CO               | oxid uhelnatý                          |
| 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>  | oxidy dusíku                           |
| O <sub>3</sub>   | ozón                                   |
| PM <sub>10</sub> | prašný aerosol frakce do 10 mikrometrů |
| 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 ovlivňuje znečišťování ovzduší, které zahrnuje celou řadu procesů, při kterých se do ovzduší dostávají znečišťující látky. Zdroje znečišťování ovzduší mohou být přírodního původu nebo antropogenního, tedy způsobovaného 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 znečišťujících látek a podílejí se na 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. Hlavní znečišťující látkou ve městě je prашný aerosol o aerodynamické velikosti částic do 10 mikrometrů, označovaný jako  $PM_{10}$ . Hodnoty prашného 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 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. Stěžejní část práce se bude zabývat hodnocením zpracovaných výsledků inverzí a látek, které mají podíl na znečištění a kvalitu ovzduší města Prostějova. Veškerá data a výstupy diplomové práce jsou zpracována pro kalendářní 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, a také souvislost s typem povětrnostní situace. Rovněž bude zhodnocena těsnost vzájemné závislosti s ohledem na prostorovou vzdálenost místa porízení 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 tematikou ochrany ovzduší, jeho znečišťováním a meteorologickými procesy probíhajícími v atmosféře.

Velmi dobrým zdrojem informací je vědecká databáze *Science Direct*, s jejíž pomocí lze vyhledat články zabývající se problematikou k tématu inverzí ve vztahu k planetární mezní vrstvě atmosféry, synoptickým situacím či koncentracím polutantů v ovzduší. Například Wang et. al. (2016) studuje znečištění ovzduší v čínské provincii Xian ve dnech 16. až 25. prosince 2013. Provedená analýza ukázala, že znečištění bylo způsobené především velkou intenzitou emisí plyných látek (CO, NO<sub>2</sub> a SO<sub>2</sub>) a suspendovaných částic (PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>10</sub>). Další příčinou vysokých koncentrací byla relativní vlhkost, spojená s nízkou teplotou a povahou 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.

V roce 2017 byl proveden výzkum analyzující tvorbu a vlastnosti znečištěného vzduchu v zimním období v čínské oblasti Wuhan (Liu, B. et. al., 2017). Výzkum byl založen na satelitních a pozemních pozorováních. Dvěma hlavními příčinami znečištění byla povětrnostní situace ve spojení s velkými emisemi znečišťujících látek. Souvislý studený systém tlakové výše byl doprovázen stabilní inverzní vrstvou po dobu 15 dnů v lednu. Hlavní škodlivou látkou zkoumanou v této studii byly prachové částice PM<sub>2,5</sub> suspendované v ovzduší.

Další článek se zabývá analýzou případů znečištění suspendovanými částicemi PM<sub>10</sub> ve vybraných městech v severní Číně (Ji, D. et. al., 2011). Denní koncentrace PM<sub>10</sub> ve sledovaných oblastech přesáhly 250 µg/m<sup>3</sup> ovzduší. Výsledky ukázaly, že nejvyšší denní

koncentrace  $PM_{10}$ , byla naměřena ve městě Shijiazhuang, a to  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hlavními faktory znečištění ovzduší byly emise z dopravy 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 (Fortelli, A. et. al., 2016). 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 znečišťování v Neapoli je morfologie oblasti s rostoucím tepelným ostrovem města a antropogenním znečišťováním, především emisemi z dopravy.

Autorka Elisabeth Alonso-Blanco se ve svém článku zabývá vlivem dvou velkých požárů, které měly vliv na kvalitu ovzduší španělského města León. Teplotní inverze měla vliv na kouřový oblak se zvýšeným obsahem částic  $PM_{2,5}$  a  $PM_{10}$ , který vytlačila do 70 kilometrů vzdáleného Leónu. Během události vzrostly průměrné počty prachových částic až na  $1700 \pm 600 \text{ v cm}^3$  (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 autoři Milionis a Davies (2007). Tato práce byla prvním systematickým pokusem o kvantitativní 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 starším článku z roku 1994 autoři Milionis a Davies zkoumali základní teorie regresních a stochastických modelů ke studiu znečišťování 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).

Na aerologická měření se zaměřuje 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 Wilczak et al. (1996). Zhodnotili 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 užití lidarů nebo sodarů. Autoři se v tomto článku blíže věnují také užití průměrovaných dat z okamžitých sondážních měření v mezní vrstvě atmosféry (Wilczak, 1996).

Autoři Piironen a Eloranta popisují kompletní metodiku, jak se dá z dat naměřených lidarem pro oblast 70 km<sup>2</sup> určit řada parametrů mezní vrstvy atmosféry, 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 uceleně 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 disciplínu, 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.

### **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 a jsou uváděny v tabulkových podobách. Kromě tabulek také ISKO obsahuje mapy a vrstvy oblastí se znečištěním ovzduší. Z portálu ISKO byla převzata data o imisích znečišťující látky PM<sub>10</sub> v Prostějově 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 poskytují aerologická měření prováděna v Prostějově Armádou ČR ve spolupráci s ČHMÚ. Data jsou dostupná k dispozici jako součást globální sítě aerologických dat, které jsou zveřejněna 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, která 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 vztahující se k tématu práce. Byl proveden výťah teoretických poznatků vztahujících se k jednotlivým pojmům a k problematice zkoumané v této diplomové práci.

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 dvakrát za den. Měření probíhala v nočních profilech v 0:00 UTC a denních ve 12:00 UTC, bylo tedy zpracováno celkem 730 sondážních výstupů. Každý jednotlivý profil měření obsahuje informace, které se vztahují k hodnotám meteorologických 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 inverzí nad terénem, jejich mocnost a teplotní gradient (rozdíl teploty na 100 m výšky), ze kterého byla určena intenzita inverzí. Intenzita inverzí byla určena na základě stabilitní klasifikace podle Bubníka a Koldovského uvedené v metodice SYMOS 97 (Ministerstvo životního prostředí 2013).



Inverze byly zhodnoceny z hlediska četnosti výskytu, výšky a doby trvání. Dále byl sledován jejich vliv na koncentrace PM<sub>10</sub>.

Po inverzích byly zhodnoceny průměrné denní a měsíční koncentrace PM<sub>10</sub> měřené na automatizované imisní stanici v Prostějově, 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 (Quitt E., 1971). Oblast je charakterizována krátkou mírnou zimou a dlouhým suchým létem. Teplotní poměry jsou dány nízkou nadmořskou výškou a hornatou oblastí Jeseníků ze severu. Prostějovem protékají říčky Hlouchela a Romže, které zde společným soutokem vytváří říčku Valovou.

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.

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 železárně a pérovny, a.s., vyrábějící hlavně pružiny a pružící elementy Strojírny Prostějov, a. s.; Železárně – Annahütte, spol. s r.o.

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 & STAROREŽŇNÁ Destilleries, a.s.; PENAM, a.s.; Sladovny Soufflet ČR, a.s.; dále Makovec (výroba masných produktů) apod.

## 4 Teoretická část

### 4.1 Planetární 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 členitým terénem. Při termickém počasí vystupují konvektivní 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. Člověk stále častěji mění a ovlivňuje své životní prostředí a tento vliv se projevuje 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, i na denní a roční době. Ve spodní části, která je nazývána planetární mezní vrstva 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  $\Gamma$**  je 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  $\gamma$**  je 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  $1\text{ °C}$  na  $100\text{ m}$ . *Nasyčeně adiabatický teplotní gradient  $\gamma'$*  je 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  $0,2\text{ °C}$  na  $1,0\text{ °C}$  na  $100\text{ metrů}$ . Při teplotě  $0\text{ °C}$  a tlaku vzduchu  $1000\text{ hPa}$  nabývá hodnoty  $0,6\text{ °C}$  na  $100\text{ metrů}$ .

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 (MŽP 2013).

Tab. č. 1: Stabilitní klasifikace dle Bubníka a Koldovského (převzato z metodiky Symos 97)

| třída stability  | vertikální teplotní gradient<br>[°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. konvektivní   | $\gamma > 0,8$                                | labilní teplotní zvrstvení, rychlý rozptyl znečišťujících látek  |

- **V 1. třídě stability (superstabilní)** s vertikálními teplotními gradienty menšími než  $-1,6\text{ °C}/100\text{ m}$  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 výšce 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  $-0,7$  °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  $+0,5$  °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  $+0,8$  °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 maximum četnosti výskytu přesouvá do III. třídy stability.
- **V 5. třídě stability (konvektivní)** jsou sice nejlepší rozptylové podmínky (vertikální teplotní gradient je větší než  $+0,8$  °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

Jako teplotní inverzi označujeme stav atmosféry, kdy teplota s rostoucí výškou roste, zatímco 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 Bednář a Zikmunda či Braniš, Hůnová et al. 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 et al., 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). Vytváření výškových advekčních inverzí je zcela podobné 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 změní 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 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

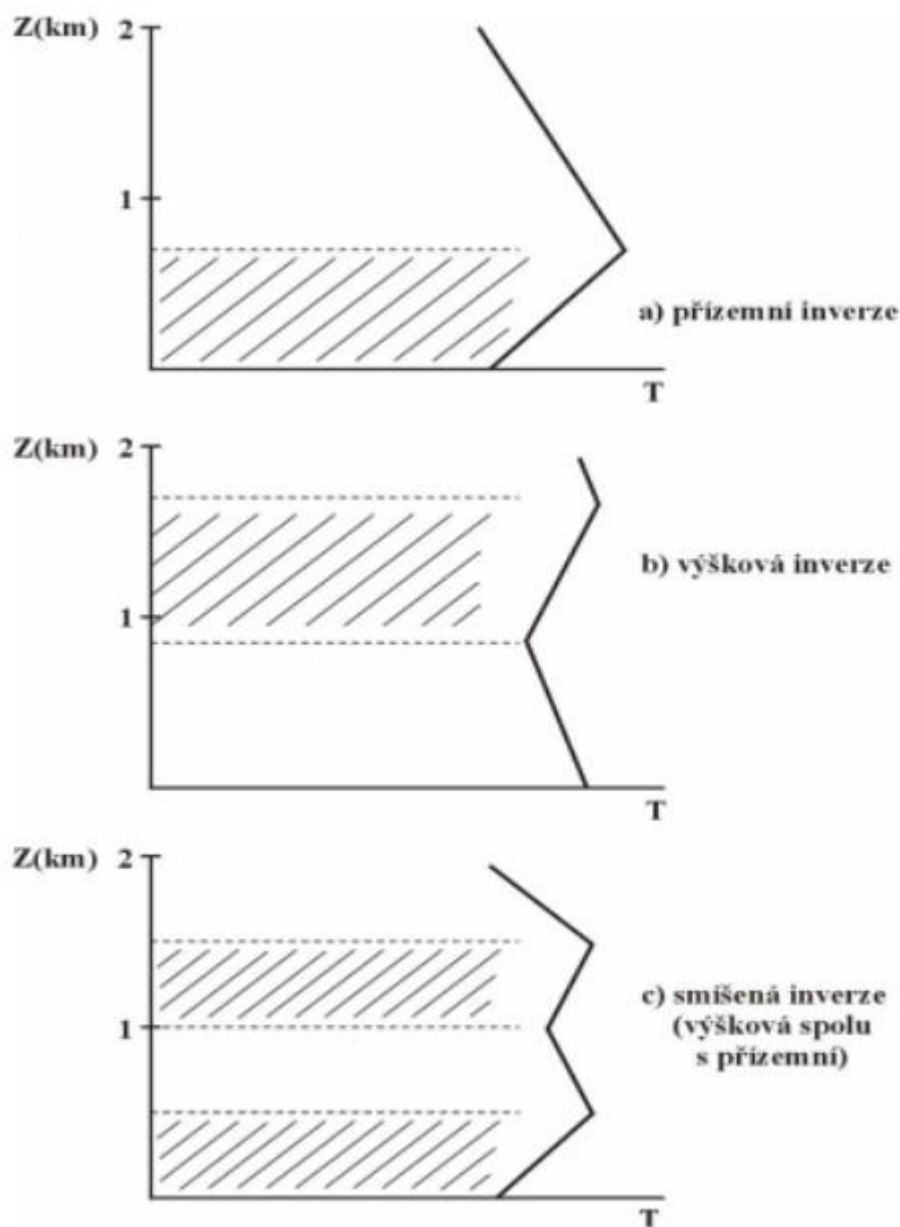
projevuje konfigurace reliéfu, geologické složení a charakter rostlinné nebo sněhové pokrývky zemského povrchu. V zimních měsících, kdy je na zemském povrchu malý příkon slunečního záření, se mohou přízemní inverze vytvářet i během dne (Sobíšek, 1993).

### **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 (vyčárkovaná 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 (převzato z Vysoudil, 2006).

#### 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 situací. Typizace povětrnostních situací se dělá na základě metodického předpisu 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**

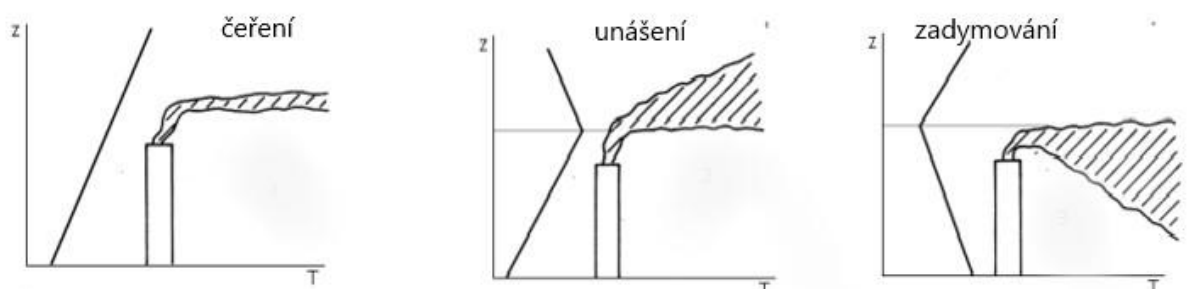
##### **Proudění v atmosféře**

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 poli proudění v izobarické hladině 850 hPa, což je zhruba 1 500 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 advekci 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 advekci 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). Přízemní 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 (převzato z Ruda 2014, upraveno).

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 nepříspěvá 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 nesplňuje 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 déletrvajícím významnému překročení imisních limitů. Tento stav rozptylových podmínek nastává, když je mohutná zádržná vrstva ve výšce do 1000 m 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 lidské 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. Přesazení limitů v daných oblastech je vázané na výskytu specifických podmínek vedoucích k omezené ventilaci a tím i ke snížení rychlosti rozptylu škodlivin. Těmi bývají právě inverzní vrstvy v blízkosti povrchu (Stryhal, 2012).

#### 4.8 PM<sub>10</sub> – prašný aerosol

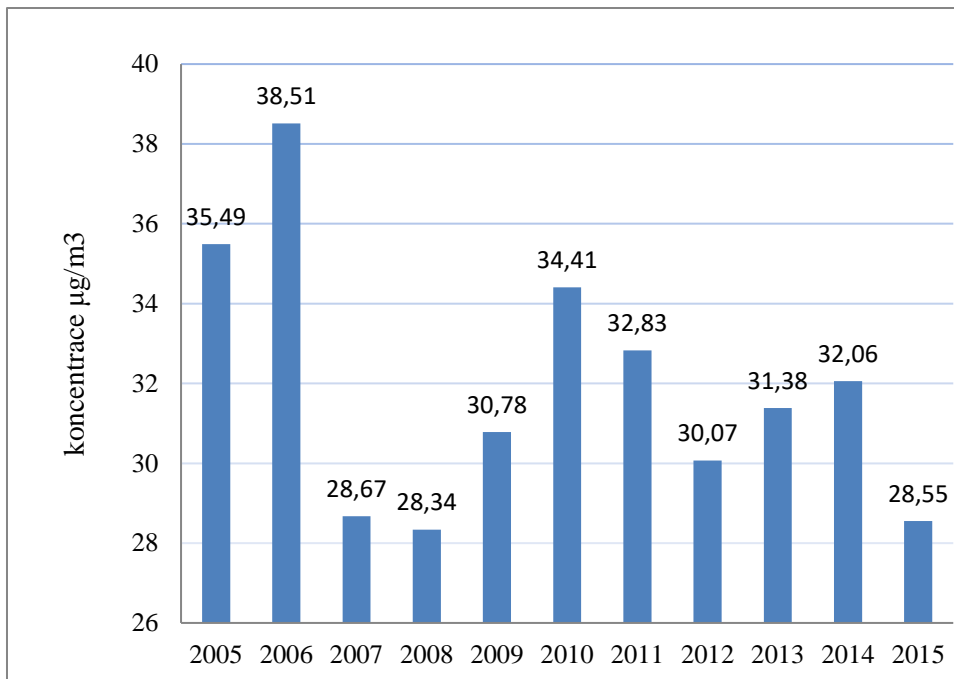
Atmosférický aerosol je všude přítomnou složkou atmosféry Země, který vzniká téměř výhradně jako negativní produkt lidské činnosti. Je definován jako soubor tuhých, kapalných nebo směšných částic o velikosti v rozsahu 1 nm až 100 μm. Z hlediska zdravotního působení atmosférického aerosolu na člověka byly definovány velikostní skupiny aerosolu označované jako PM<sub>x</sub> (Particulate matter), které obsahují částice o velikosti menší než x μm. Běžně rozlišujeme PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>1,0</sub> (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 nebezpečné 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a tento limit může být překonán maximálně 35krát 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 znázorněn vývoj průměrných ročních koncentrací z AMS v Prostějově během let 2005 až 2015. Roční imisní limit nebyl překročen, nejbliže 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 (Zdroj: ISKO, vlastní zpracování).

| 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   |

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 umístěný 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 bylo využíváno upoutaných draků nebo balónů 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 elektrina 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 Světové 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 a ozonem (Stryhal, 2012; ČHMÚ 2017). Nadmořská výška prostějovské aerologické stanice je 216 metrů.

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

Na území města Prostějova můžeme ze stránek ČHMÚ nalézt 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  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  a SPM.

Monitorovací stanice Prostějov-Svatoplukova vznikla v roce 1979 a jejím cílem bylo také stanovení celkové hladiny pozadí koncentrací znečišťujících látek v ovzduší. Jednalo se 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, 2016a).

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

Monitorovací stanice Prostějov-Olomoucká vznikla v roce 1981 a byla umístěna v blízkosti středu města v oblasti silné dopravní zátěže, ve volném prostoru osázeném zelení v blízkosti 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, 2016a).

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 intervalu 1 hodiny. AMS Prostějov je označena jako pozadový typ, což znamená, že není přímo ovlivňována zdroji znečišťování. 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 2016b).



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. Otopná 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, 2017b).

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 v Prostějově v roce 2015 (zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování).

| 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              |



Jelikož se tato diplomová práce věnuje kalendářnímu roku 2015, bylo otopné období rozděleno na dvě části: leden–květen (patřící do otopné sezóny 2014/2015) a září–prosinec (patřící do otopné sezóny 2015/2016). Celkový počet denostupňů v Prostějově za rok 2015 byl 3 368.

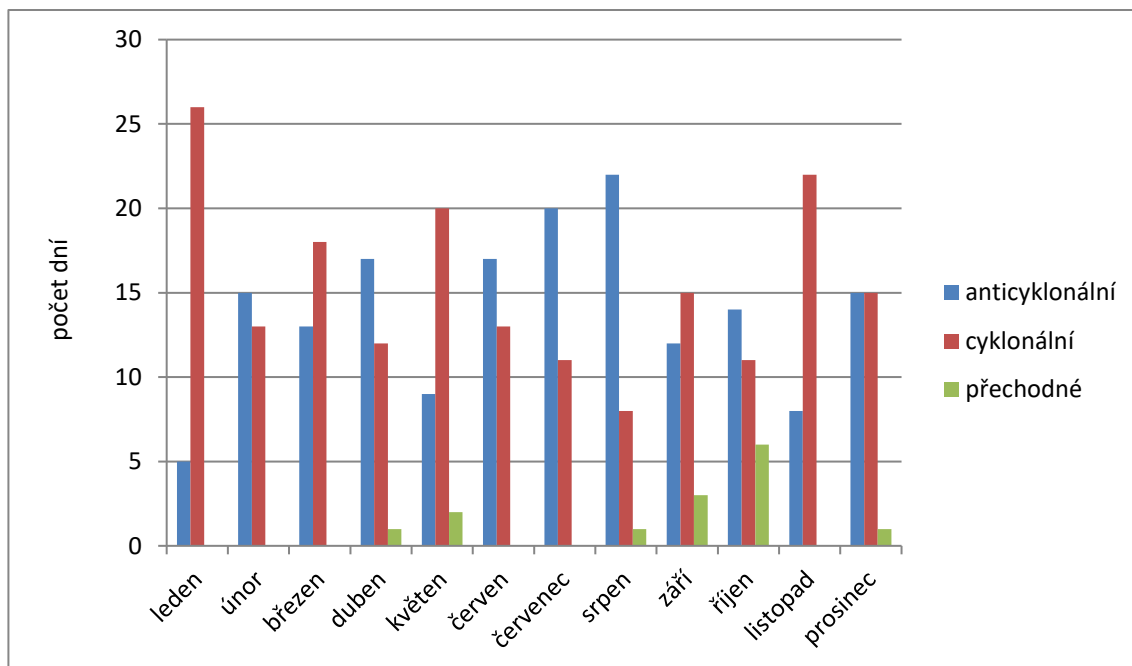
V první části otopného období vytápění trvalo od začátku ledna až do 28. května. První přerušení vytápění nastalo v dubnu, ale jen na dva dny od 15. do 17. dubna, další pak byla od 25. do 29. dubna. Po 3. květnu už se nevytápělo, s výjimkou celkově čtyř dnů, kdy teplota spadla pod +13 °C, a to ve dnech 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 °C a tím bylo vytápění nepřerušované, s krátkou výjimkou 10. a 11. listopadu, kdy byla teplota větší než 13 °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.

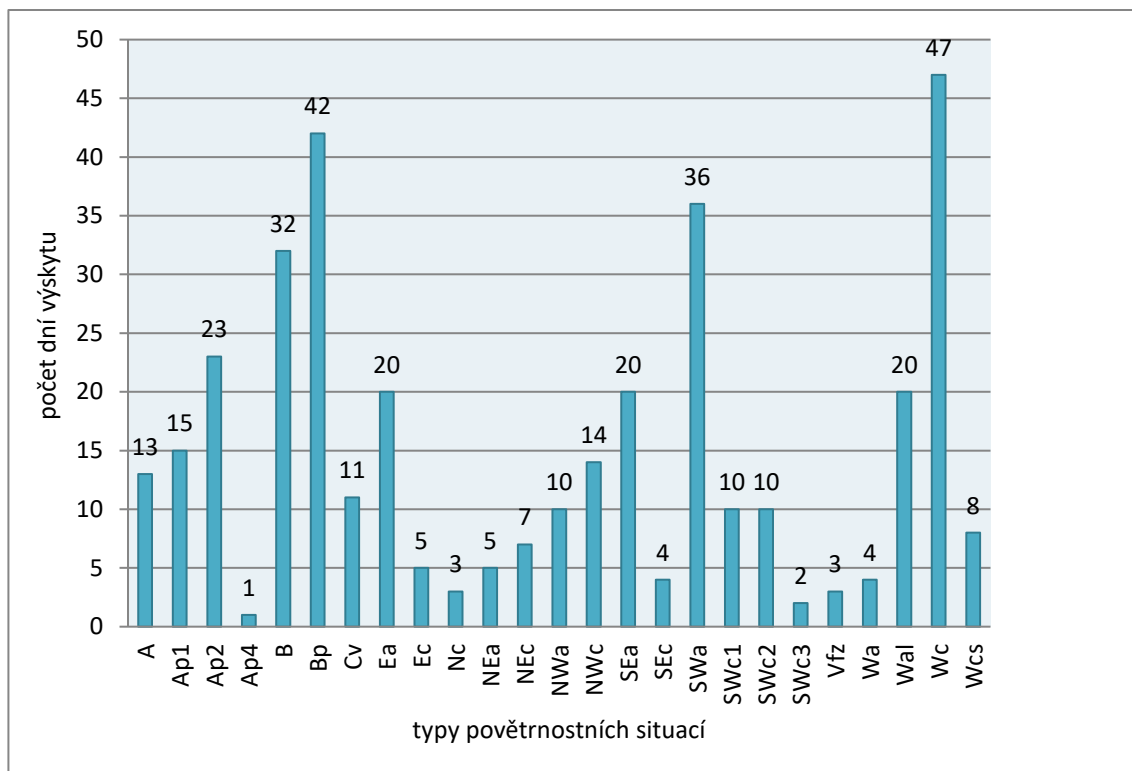


Obr. 6: Četnost výskytu anticyklonálních, cyklonálních a přechodných povětrnostních situací v roce 2015.

V roce 2015 se cyklonální situace 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.



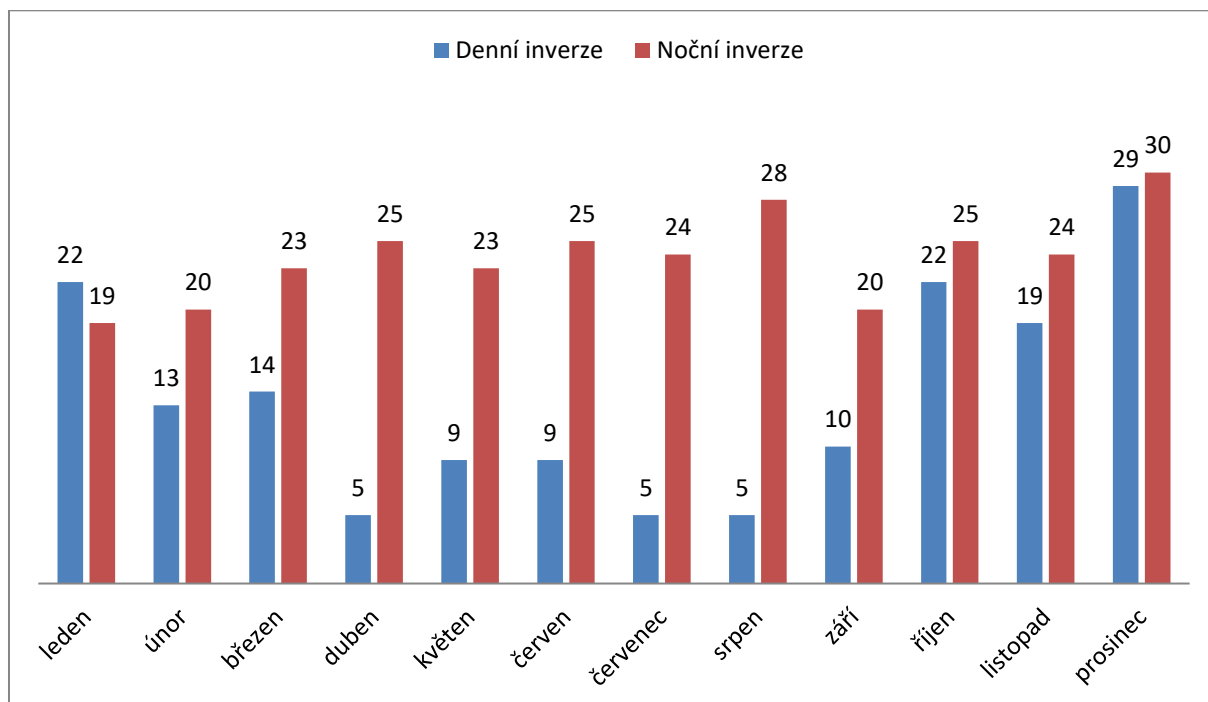
Obr. 7: Výskyt jednotlivých typů povětrnostních situací v roce 2015 (Zdroj: ČHMÚ).

Z jednotlivých typů povětrnostních situací se nejvíce vyskytovala západní cyklonální situace (Wc) celkem 47 krát. Přes 40 výskytu zaznamenala brázda postupující přes střední Evropu. Celkem 36 krát se vyskytla jihozápadní anticyklonální situace (SWa). Tato situace byla nejčastěji vyskytující se anticyklonální situací nad Českou republikou v roce 2015. Pouze jeden jediný den byl zaznamenán výskyt putující anticyklóny čtvrtého typu (Ap4).

### 6.3 Hodnocení inverzí

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 termínů. 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 vzniká 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.

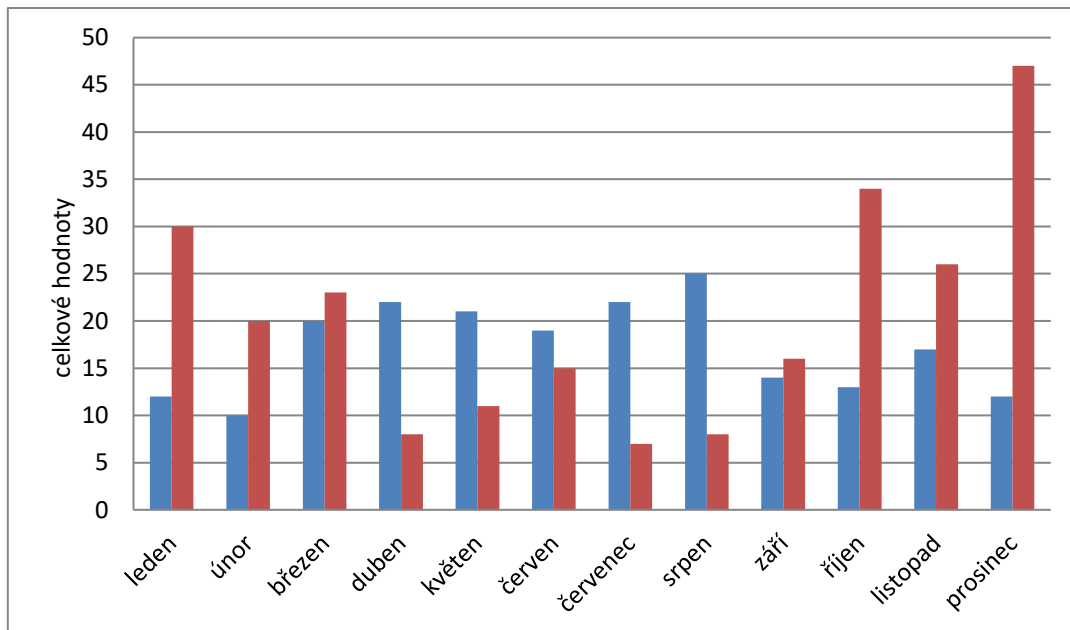


Obr. 8: Četnost teplotních inverzí nad Prostějovem v roce 2015.

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 znečišťování ovzduší spalovacími procesy a domácími topeništi, které zvyšovaly koncentrace prашného aerosolu (PM<sub>10</sub>). V případě zimních inverzí se jednalo o inverze subsidenční a advekční.

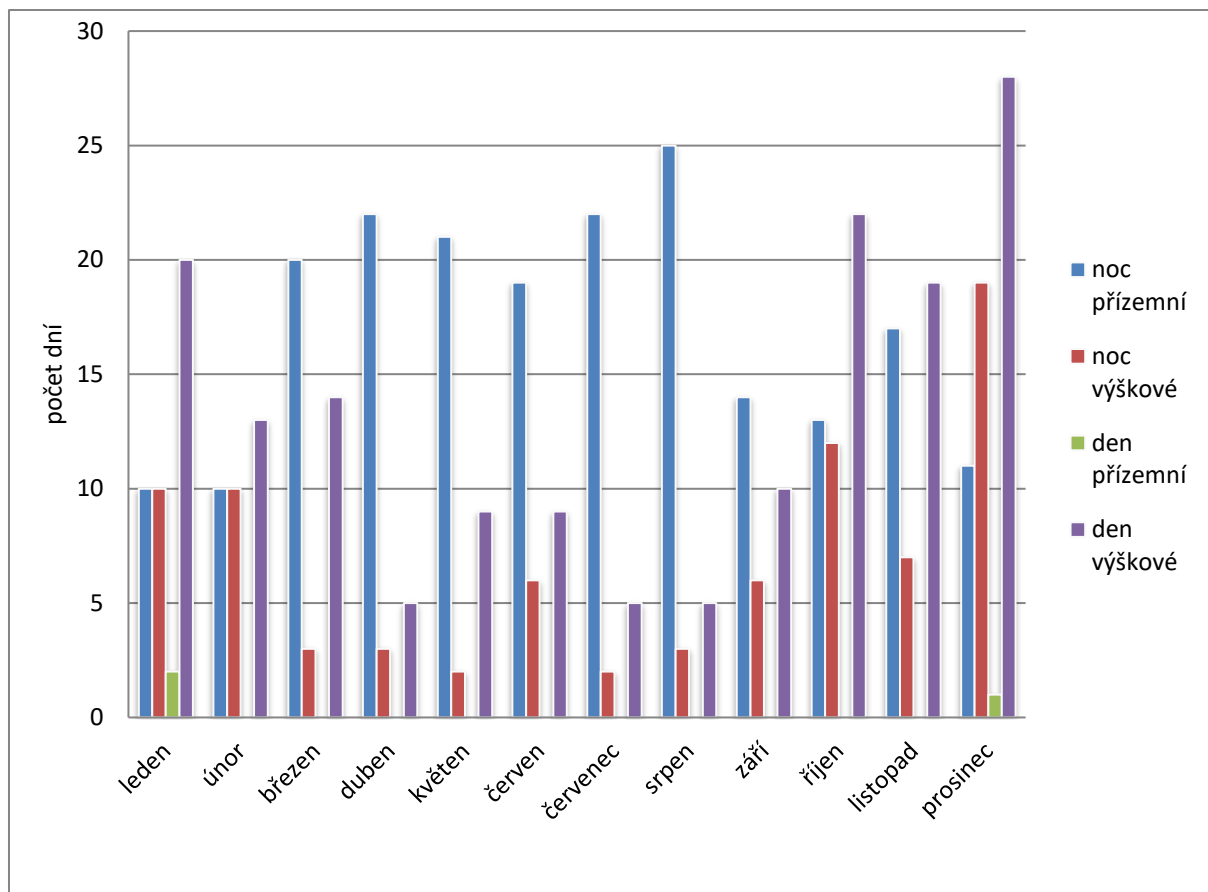
Nejmenší výskyt inverzí v nočním měření byl zaznamenán v lednu – pouze 19 dní. Tento měsíc byl jediný v roce 2015, kdy bylo zjištěno více denních inverzí než nočních. Duben, červenec a srpen – v těchto třech měsících byl zaznamenán nejmenší výskyt denních inverzí, pouze 5krát.

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



Obr. 9: Četnost výskytu přízemních (modře) a výškových inverzí (červeně) nad Prostějovem v roce 2015.

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.



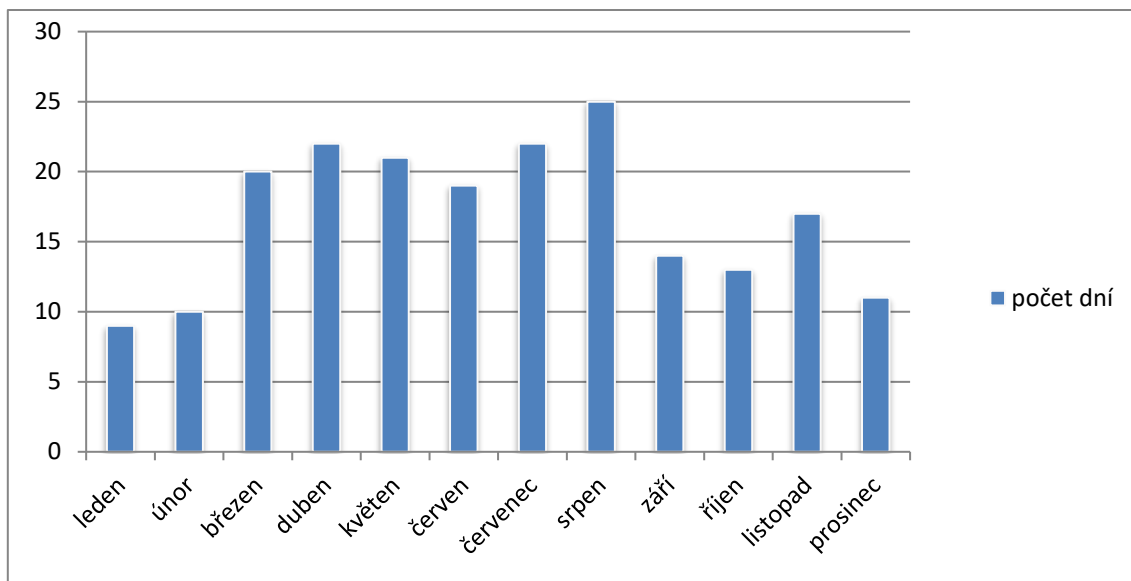
Obr. 10: Četnost inverzí podle typu výšky a doby výskytu nad Prostějovem v roce 2015.

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 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.

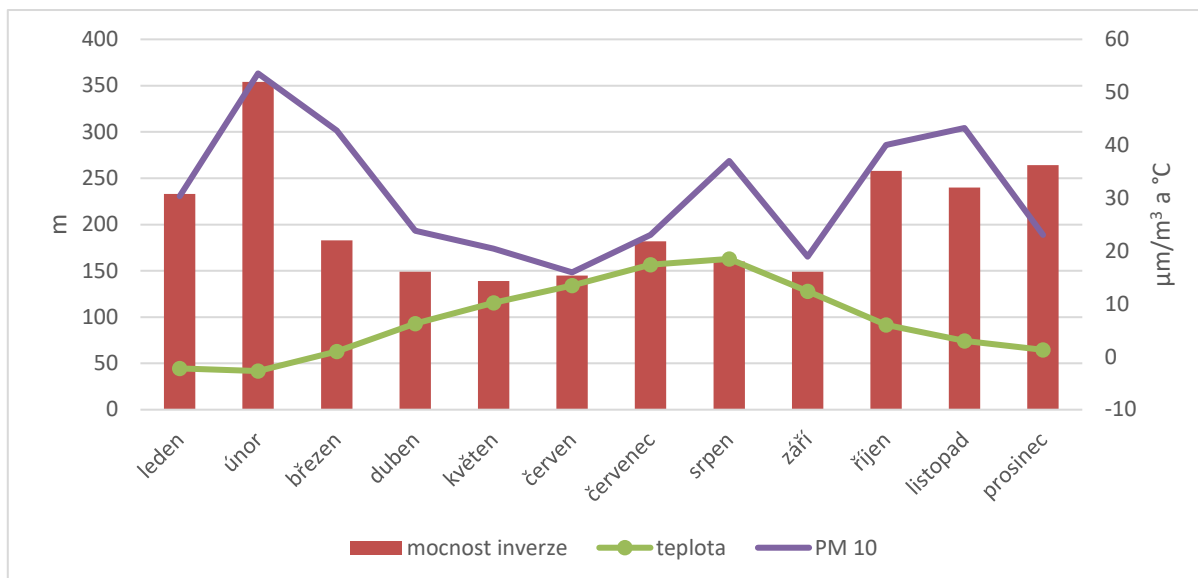
Nejvíce se přízemní inverze vyskytovaly v letních měsících, hlavně v srpnu – 25 dní a na jaře. Nejmenší výskyt byl v zimě, konkrétně v lednu bylo zjištěno jen 9 dní.



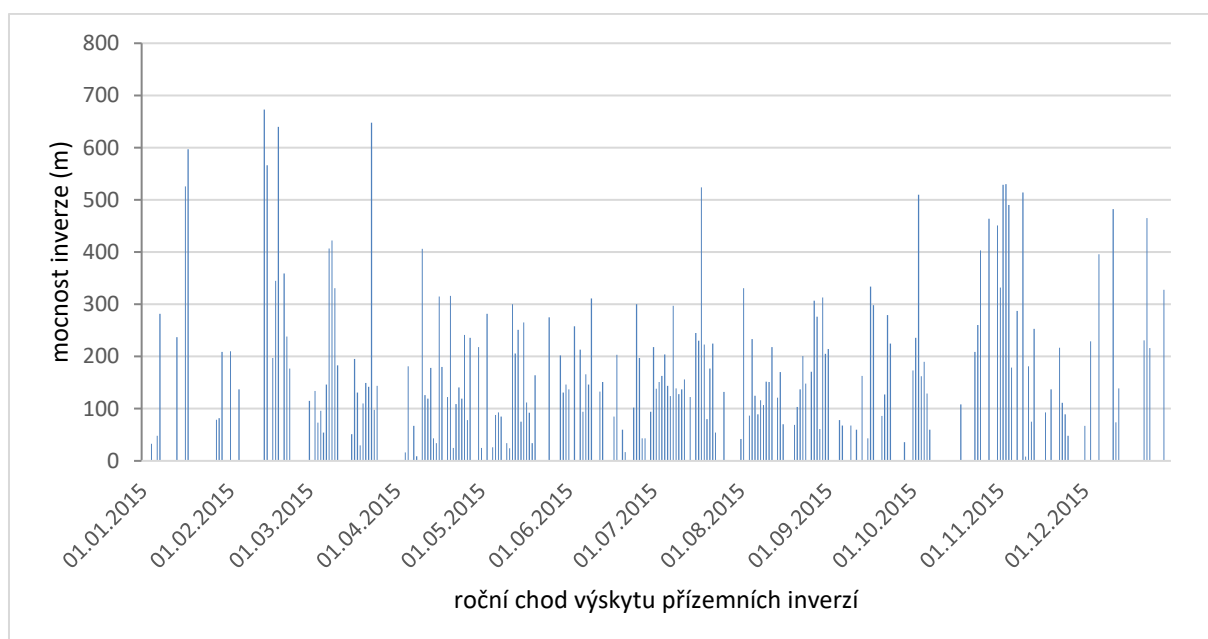
Obr. 11: Četnost výskytu přízemní inverze nad Prostějovem v jednotlivých měsících roku 2015.

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  $-2,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . 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 nad Prostějovem v roce 2015.



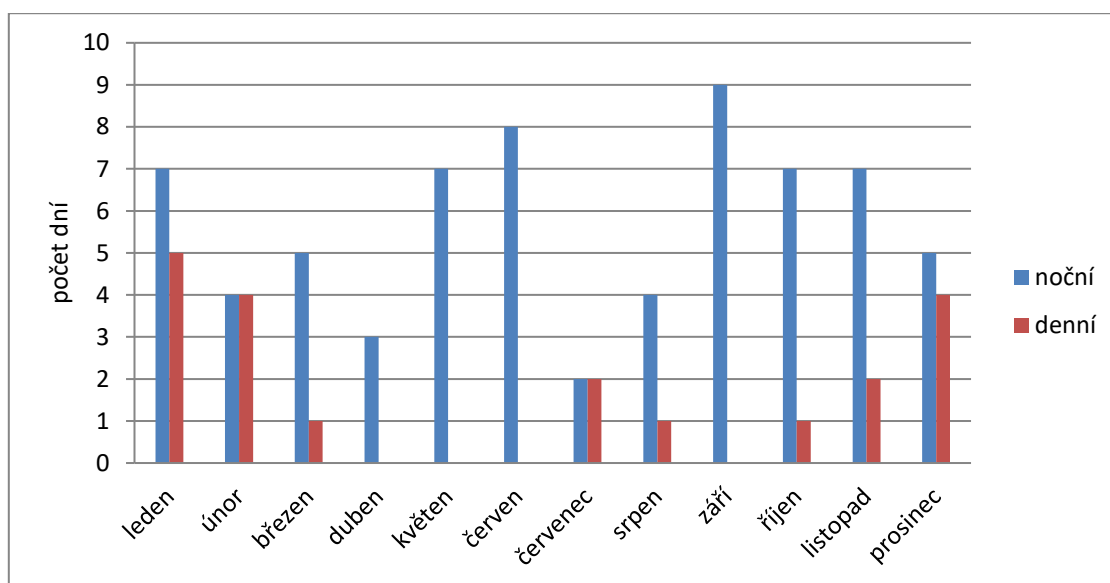
Obr. 13: Roční chod výskytu přízemních inverzí nad Prostějovem v roce 2015.

Poznámka: Na obrázku jsou zaznačeny pouze noční profily měření (v denních profilech se přízemní inverze vyskytly jen třikrát v celém roce 2015).



## 6.5 Přízemní izotermie

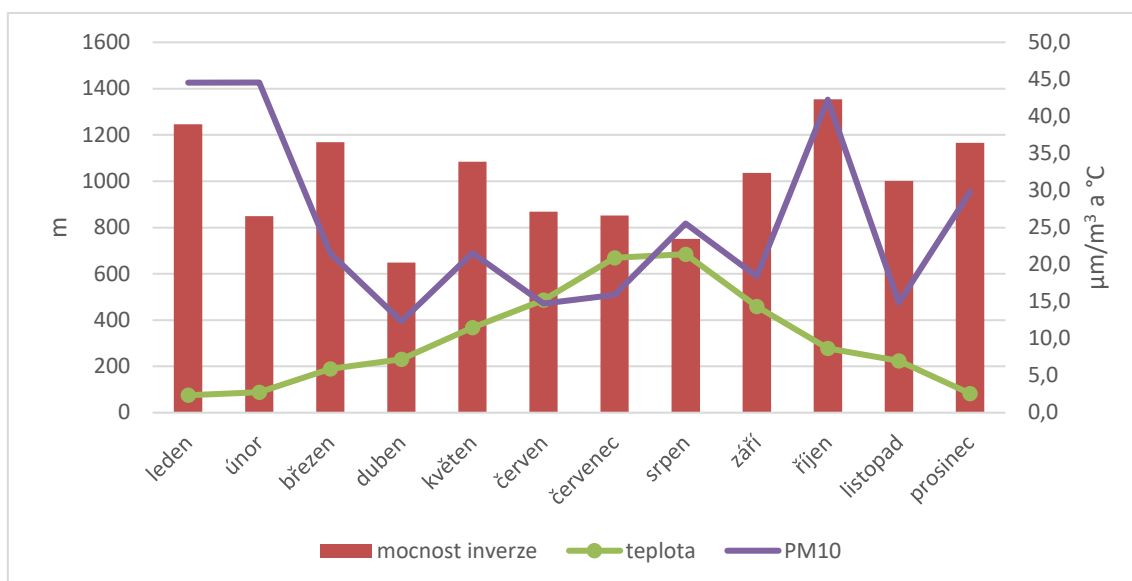
Kromě přízemních inverzí bylo také zjištěno celkem 88 výskytů přízemních izotermií. Přízemní izotermie byly také, stejně jako inverze, hodnoceny v nočních i denních profilech. V celkovém porovnání bylo přízemních inverzí dvakrát více než izotermií, u kterých ale bylo zjištěno více denních profilů. Celkem byly přízemní izotermie zjištěny u 20 denních profilů a u 68 nočních profilů. Porovnání četnosti nočních a denních výskytů přízemní izotermie je znázorněno na obrázku 14.



Obr. 14: Četnost výskytu přízemních izotermií nad Prostějovem v roce 2015.

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.

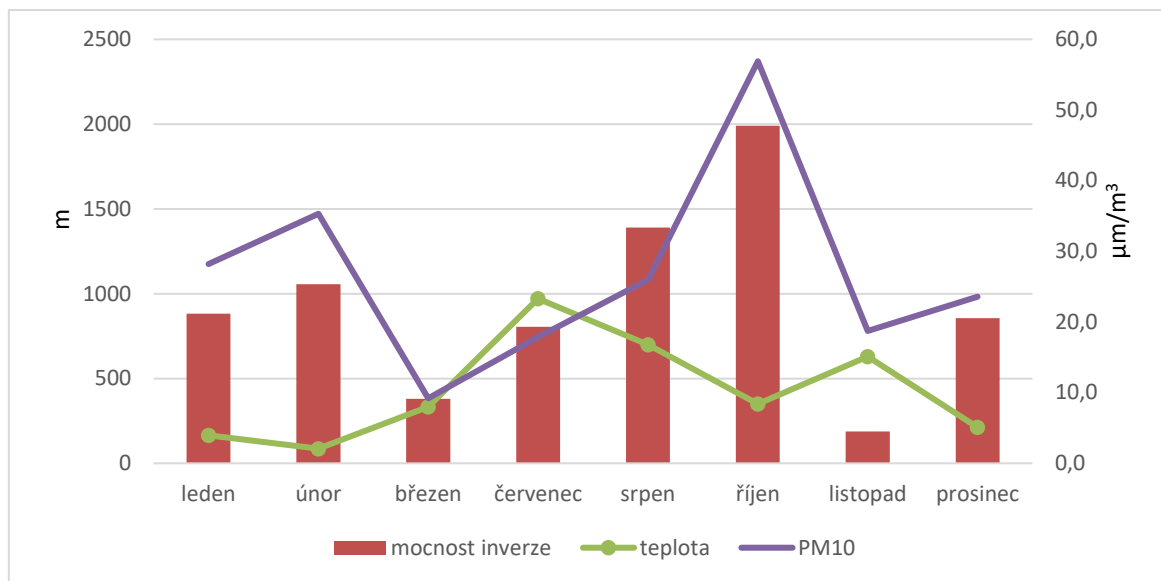
Na následujících obrázcích 15 a 16 jsou znázorněny a popsány průměrné hodnoty přízemních izotermií v nočních a denních profilech. Z důvodu, že se denní přízemní izotermie nevyskytovaly ve třech měsících, není tak možné porovnat noční profily s denními, ale je možné porovnat noční a denní profily v měsících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



Obr. 15: Průměrné hodnoty nočních profilů přízemní izotermie nad Prostějovem v roce 2015.

Z nočních profilů měly přízemní izotermie největší průměrnou mocnost v říjnu – 1354 metrů, další byl leden – 1246 metrů. V lednu byly naměřeny druhé nejvyšší průměrné koncentrace  $PM_{10}$   $44,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , o jednu setinu vyšší koncentrace byly v únoru  $44,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Třetí nejvyšší koncentrace  $PM_{10}$  byly v říjnu  $42,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . V únoru mocnost izotermie klesla pod 1000 metrů, ale v následujícím měsíci byla opět 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  $PM_{10}$   $56,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tím, že se jednalo jako u mocnosti o jeden den, byl překročen stanovený denní limit hodnot  $PM_{10}$  o  $6,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . 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 v případě srpna.



Obr. 16: Průměrné hodnoty přízemní izotermie nad Prostějovem v roce 2015.

Poznámka: 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 přízemních izotermií v únoru 2015 nad Prostějovem.

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

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 2015 nad Prostějovem.

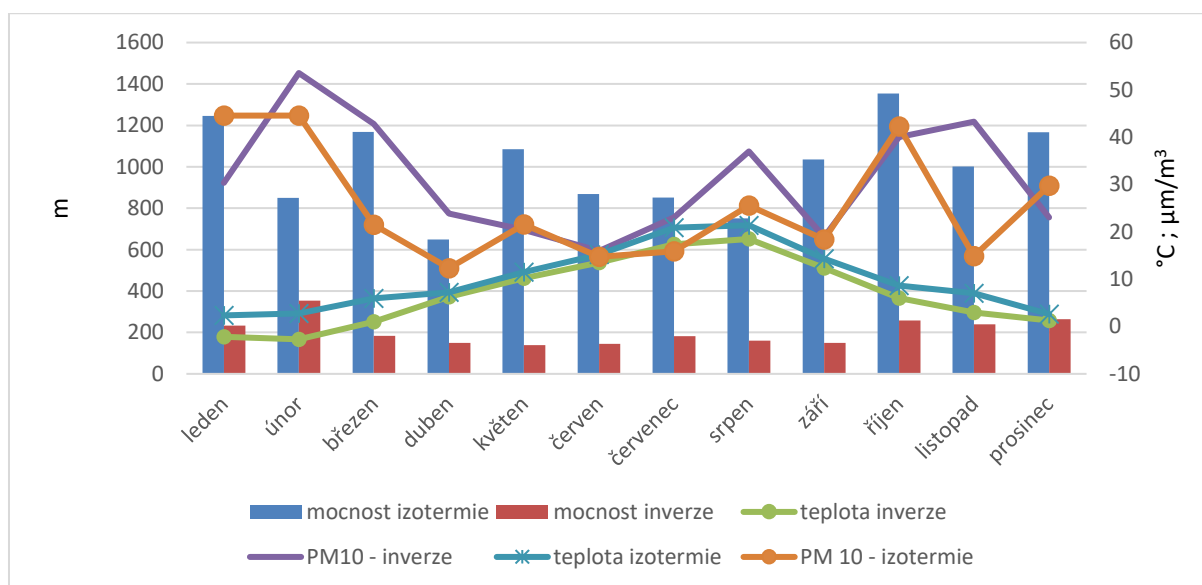
| noční  | mocnost (m) | teplota °C | PM 10 µg/m <sup>3</sup> |
|--------|-------------|------------|-------------------------|
| 24.7   | 1327        | 21,4       | 31,8                    |
| 25.7   | 376         | 20,4       |                         |
| Celkem | 852         | 20,9       | 15,9  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

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

I když je počet výskytů u nočních přízemních inverzí asi třikrát 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.



Obr. 17: Porovnání nočních profilů přízemních inverzí a izotermií nad Prostějovem v roce 2015.

Poznámka: jedná se o průměrné hodnoty

## 6.7 Dlouhodobé inverze

Tabulka číslo 6 vyznačuje dlouhodobé inverze, trvající více jak tři dny. Dlouhodobé inverze byly určeny podle nočních a denních profilů po sobě jdoucích, kdy byla inverze zaznamenána. Data pro zjištění dlouhodobých inverzí byla převzata ze sondážních měření, která probíhala 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, přesnost vymezení délky inverzí je tedy půl dne. V roce 2015 bylo nad Prostějovem celkem naměřeno 15 inverzí, které trvaly déle než tři dny. Kromě celkového počtu dní trvání inverze byly v tabulce vyznačeny průměrné koncentrace PM<sub>10</sub>, během jednotlivých inverzí a jejich průměrná teplota.

Tab. č. 6: Počet inverzí nad Prostějovem v roce 2015 trvající tři a více dní.

| začátek inverze | konec inverze  | počet dní | průměrná teplota (°C) | průměrná koncentrace PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | průměrná mocnost inverze (m) |
|-----------------|----------------|-----------|-----------------------|--|------------------------------|
| 6.1. - 0:00     | 9.1. - 12:00   | 4,0       | -1,9                  | 31,35  | 198                          |
| 11.2. - 0:00    | 15.2. - 0:00   | 4,5       | 2,0                   | 41,93  | 322                          |
| 16.2. - 0:00    | 18.2. - 0:00   | 3,0       | 0,7                   | 56,63  | 296                          |
| 7.3. - 0:00     | 10.3. - 0:00   | 3,5       | 4,1                   | 50,16  | 244                          |
| 21.3. - 0:00    | 24.3. - 0:00   | 3,5       | 3,8                   | 46,73  | 209                          |
| 11.5. - 0:00    | 14.5. - 0:00   | 3,5       | 13,9                  | 19,94  | 174                          |
| 4.6. - 12:00    | 7.6. - 0:00    | 3,0       | 16,4                  | 21,76  | 143                          |
| 8.6. - 0:00     | 11.6. - 0:00   | 3,5       | 17,7                  | x  | 147                          |
| 1.10. - 0:00    | 5.10. - 0:00   | 4,5       | 11,6                  | 31,32  | 251                          |
| 8.10. - 0:00    | 13.10. - 12:00 | 6,0       | 7,4                   | 44,80  | 242                          |
| 22.10. - 0:00   | 29.10. - 0:00  | 7,5       | 8,7                   | 40,68  | 210                          |
| 30.10. - 0:00   | 11.11. - 0:00  | 12,5      | 6,5                   | 67,17  | 297                          |
| 2.12. - 0:00    | 12.12. - 0:00  | 10,5      | 3,9                   | 24,20  | 279                          |
| 13.12. - 0:00   | 15.12. - 12:00 | 3,0       | 2,4                   | 34,13  | 132                          |
| 16.12. - 0:00   | 31.12. - 12:00 | 15,5      | 2,6                   | 23,67  | 252                          |

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

Z tabulky 6 lze vyčíst, že inverze, které se vyskytovaly nad Prostějovem po dobu delší než tři dny, se ve větší míře vyskytovaly v průběhu otopné sezóny. Pouze dvě inverze z celkových patnácti inverzí zmíněných v tabulce se vyskytovaly v letním období.

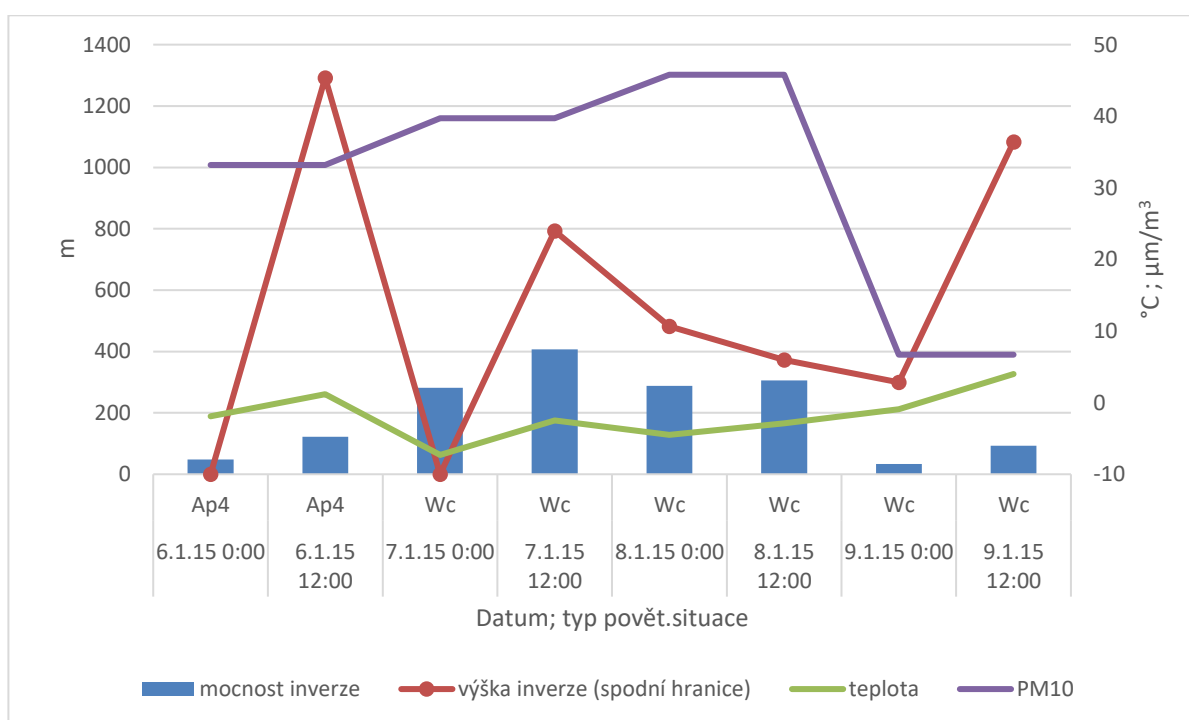
Nejdelší dobu trvání měly inverze v podzimních a zimních měsících. Převážně v prosinci se vyskytly tři inverze, které na sebe navazovaly, a tak byl zaznamenán v tomto měsíci pouze jeden den, kdy nebyla zjištěna inverze. Podle četnosti výskytu bylo zjištěno nejvíce dlouhodobých inverzí v říjnu. Dále lze 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 jsou 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 °C. Nárůstem teploty na závěr inverze, kde je vidět velký pokles hodnoty PM<sub>10</sub> z 45,8 µg/m<sup>3</sup> na 6,7 µg/m<sup>3</sup>. Se změnou povětrnostní situace na začátku inverze byl zaznamenán nárůst hodnoty PM<sub>10</sub> 33,2 µg/m<sup>3</sup>.

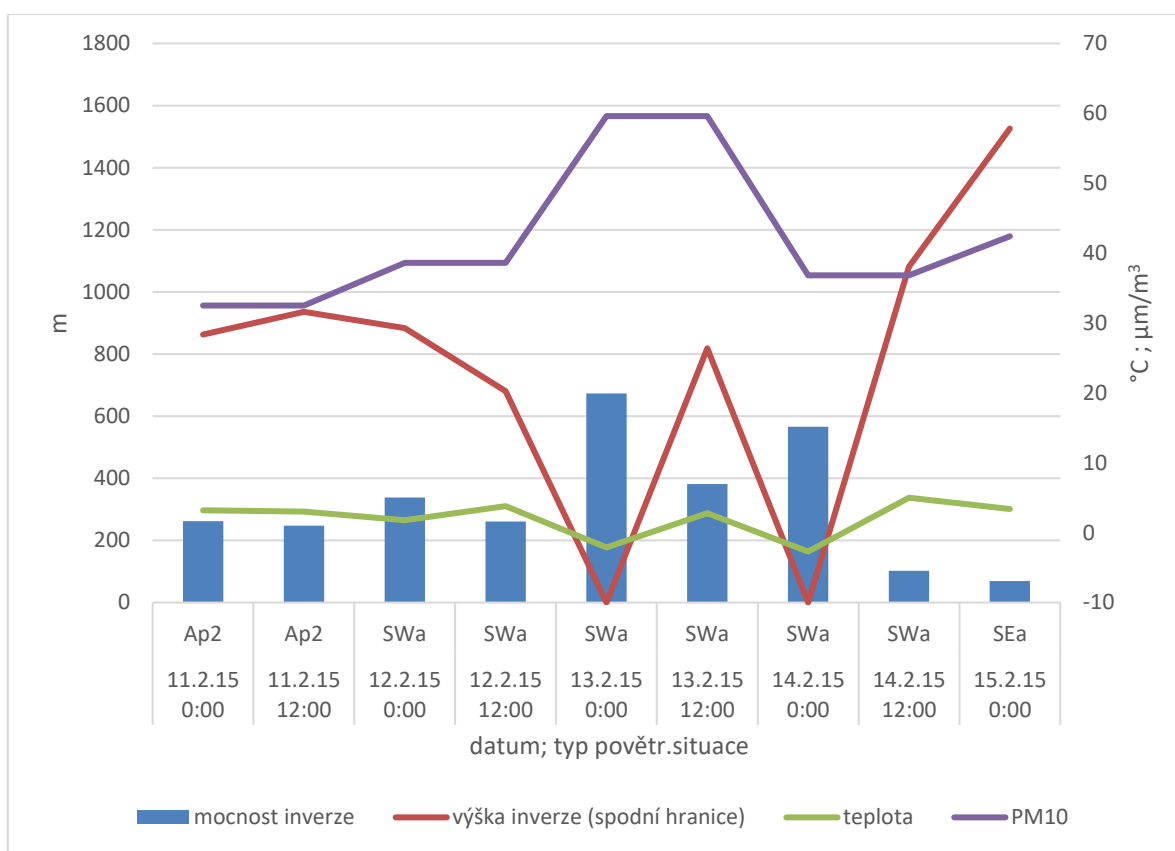


Obr. 18: Inverze trávající nad Prostějovem od 6. 1. do 9. 1. 2015.



## Inverze 11. 2. – 15. 2. 2015

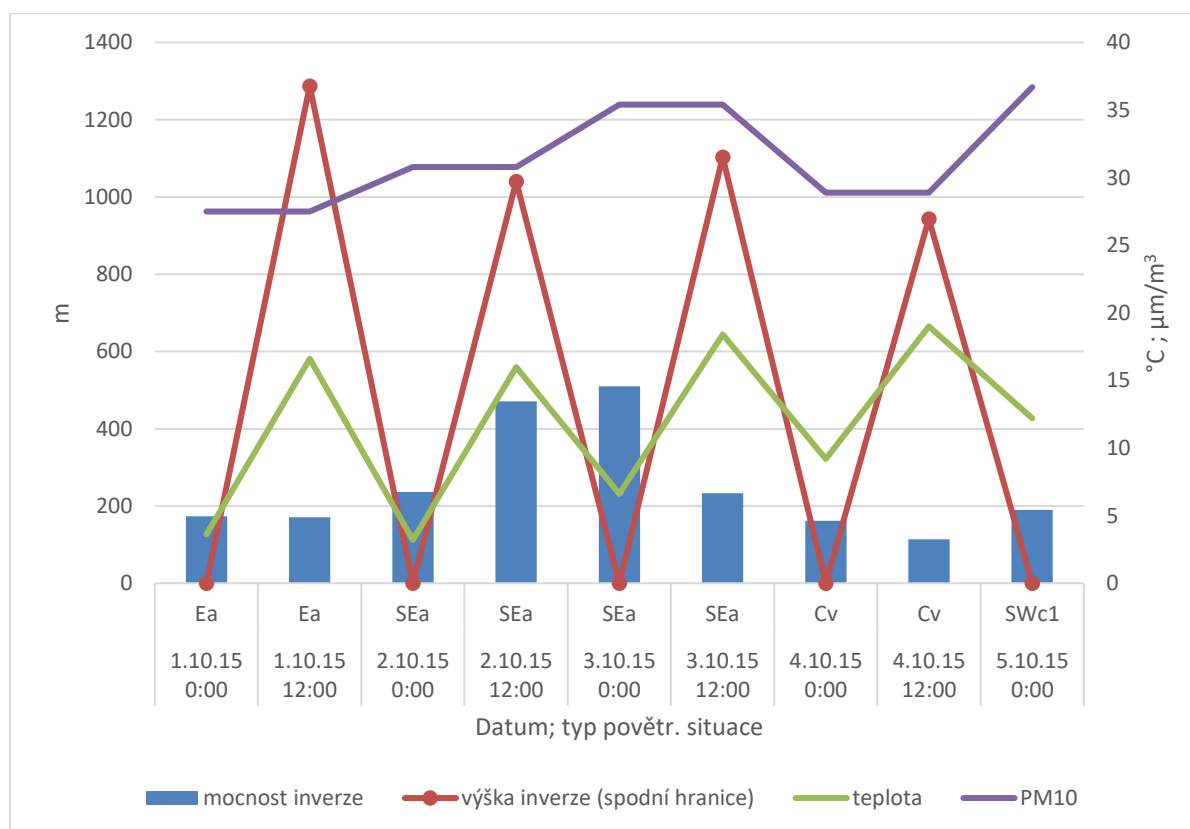
Během únorové inverze panovala nad Českou republikou anticyklonální synoptická situace, konkrétně putující anticyklóna druhého typu (Ap2), která se v průběhu inverze vystřídala s jihozápadní anticyklonální situací (SWa). S touto změnou je na obrázku č. 19 vidět nárůst hodnoty PM<sub>10</sub>, který s poklesem teploty pod bod mrazu vystoupal na hodnotu 59,6 µg/m<sup>3</sup>. To trvalo pouze jeden den. S poklesem teploty se kromě nárůstu PM<sub>10</sub> 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 nad Prostějovem od 11. 2. do 15. 2. 2015.

## Inverze 1. 10. – 5. 10. 2015

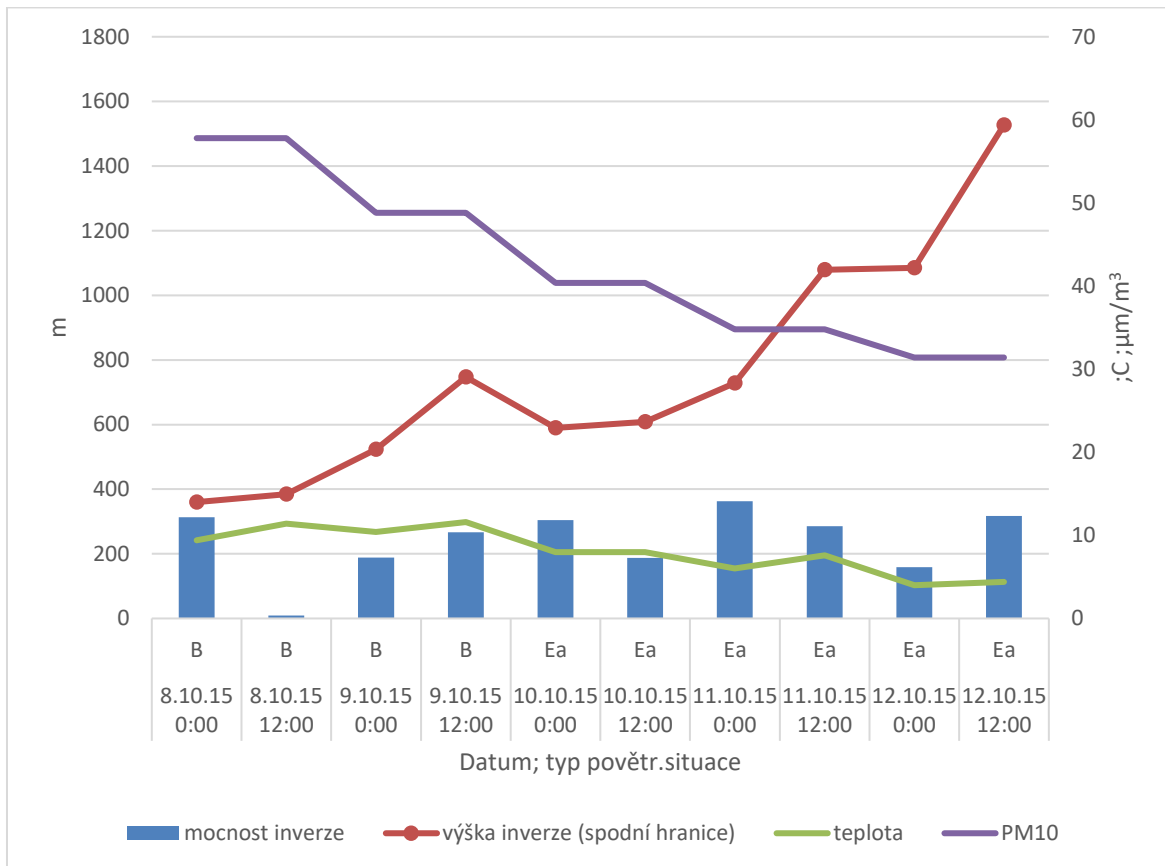
Jak bylo výše zmíněno, byl říjen v roce 2015 bohatý na dlouhodobé inverze. První delší inverze byla hned na začátku října a trvala 5,5 dne. Inverze probíhala od 1. 10. 0:00 UTC do 5. 10. 0:00 UTC. Tato epizoda je charakterizována střídáním přízemní a výškové polohy inverzní vrstvy. Přízemní inverze se vyskytují v nočních profilech měření, výškové pak v denních. Současně je na obrázku znázorněna také teplota vzduchu. Teplota vzduchu při nočních měřeních se pohybuje v rozmezí 0 °C až +6 °C. Přes den se pohybuje okolo +18 °C. Velká denní amplituda teplot nasvědčuje, že charakter počasí napomáhal vzniku přízemních inverzí radičního 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 nad Prostějovem od 1. 10. do 5. 10. 2015.

## Inverze 8. 10. – 13. 10. 2015

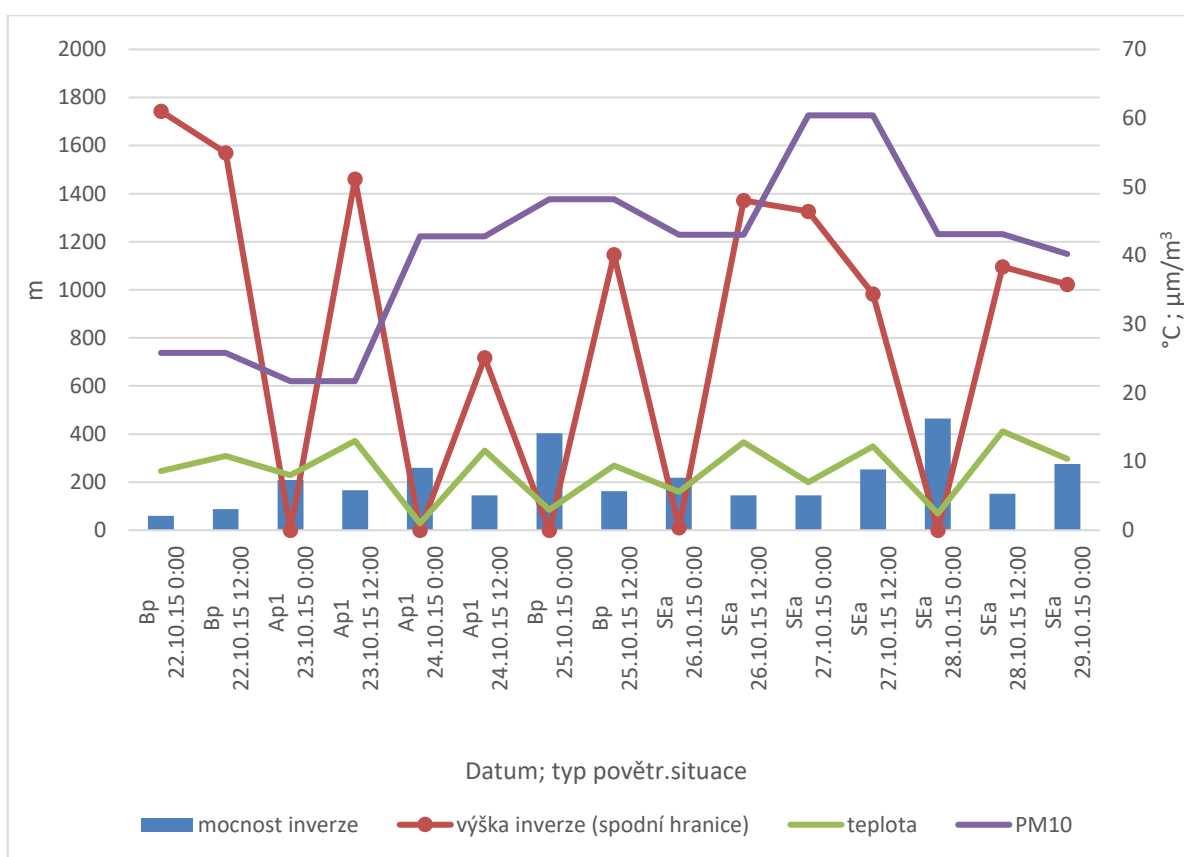
Od 8. října do 13. října se vyskytla druhá říjnová inverze, která trvala 6 dní. Jedná se o výškovou inverzi za celé období jejího trvání. Spodní hranice se každým den zvyšovala od 360 metrů až do 1527 metrů, ale poslední den lehce poklesla. Opačně se projevily hodnoty PM<sub>10</sub>, které klesaly,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



Obr. 21: Inverze trvající nad Prostějovem od 8. 10. do 13. 10. 2015.

## 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 pětkrát, 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>.

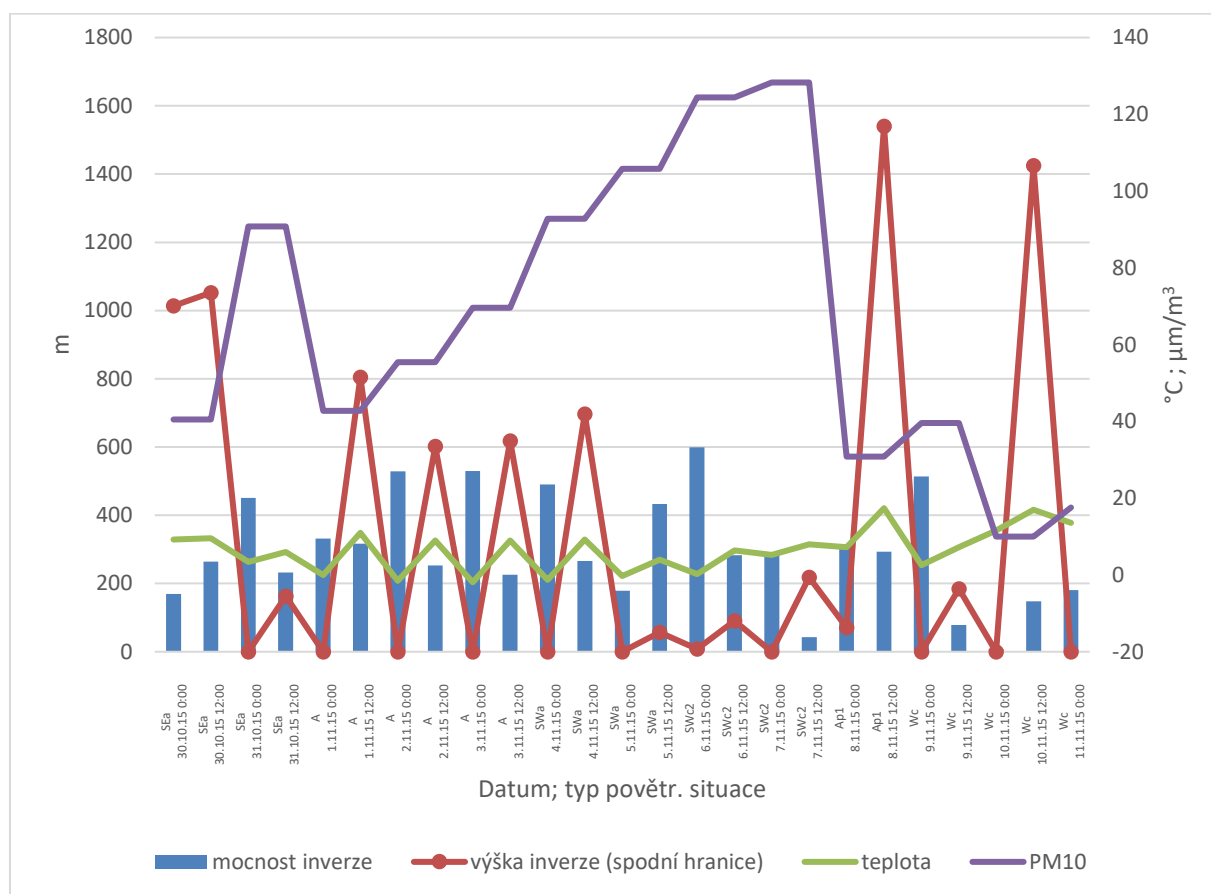


Obr. 22: Inverze trvající nad Prostějovem od 22. 10. do 29. 10. 2015.

## 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 µg/m<sup>3</sup> a dokonce trvání inverze šly hodnoty dolů.

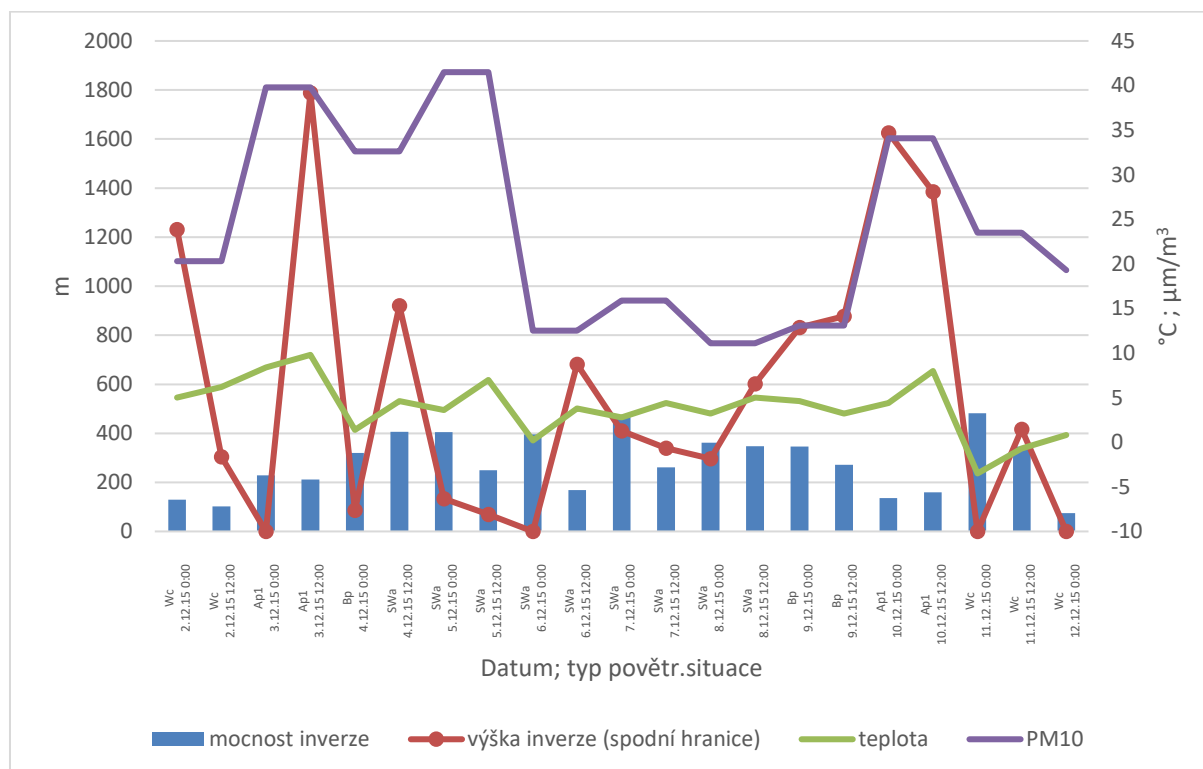


Obr. 23: Inverze trvající nad Prostějovem od 30. 10. do 11. 11. 2015.

Poznámka: u měření 10. 11. v 0:00 UTC, je znázorněna mocnost inverze 8 metrů.

## Inverze 2. 12. – 12. 12. 2015

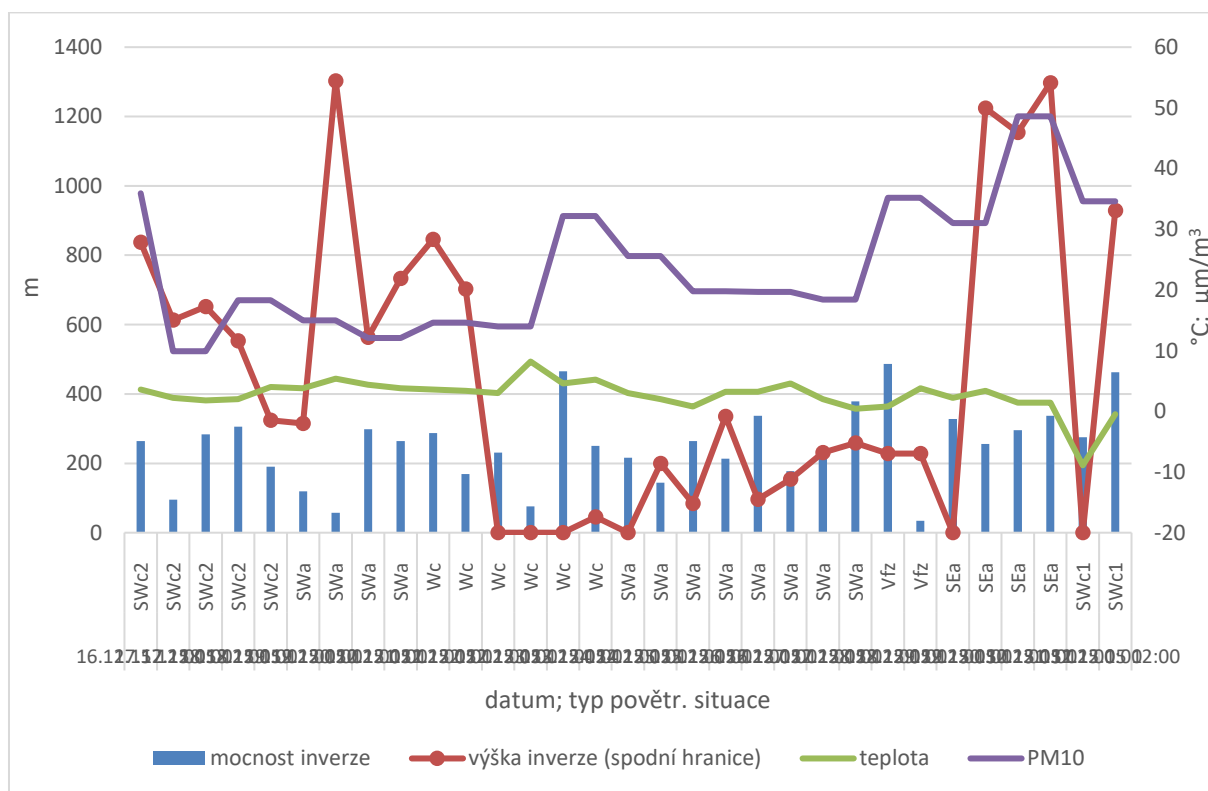
Předposlední podrobněji popsanou epizodou je inverze, která se vyskytla začátkem prosince a trvala 10,5 dne, konkrétně od 0:00 UTC 2. prosince do 12. prosince 0:00 UTC. Mocnost první prosincové inverze se pohybovala od 74 po 482, nejnižší mocnost byla na konci inverze. Z obrázku 24 je patrné, že se jednalo 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 PM<sub>10</sub> v ovzduší. Začátkem inverze, tedy 2. prosince, byla koncentrace PM<sub>10</sub> 20,3 µg/m<sup>3</sup> a se změnou zmíněných čtyř situací se o tři dny vyšplhala na 41,5 µg/m<sup>3</sup>. Jednalo se nejvyšší hodnotu PM<sub>10</sub> v této inverzi, kdy se nad územím České republiky vyskytovala severozápadní anticyklonální situace (SWa). Hned další den byl zaznamenán velký pokles PM<sub>10</sub> o téměř 30 µg/m<sup>3</sup>. Se změnou povětrnostní situace byl zaznamenán nárůst koncentrace PM<sub>10</sub>, který s příchodem západní cyklonální situace (Wc) na konci inverze klesl pod 20 µg/m<sup>3</sup>. Teplota v průběhu inverze se pohybovala nad 0 °C, pouze 11. prosince klesla pod bod mrazu, a tak byla koncentrace PM<sub>10</sub> celkově nižší.



Obr. 24: Inverze trvající nad Prostějovem od 2. 12. do 12. 12. 2015.

## Inverze 16. 12. – 31. 12. 2015

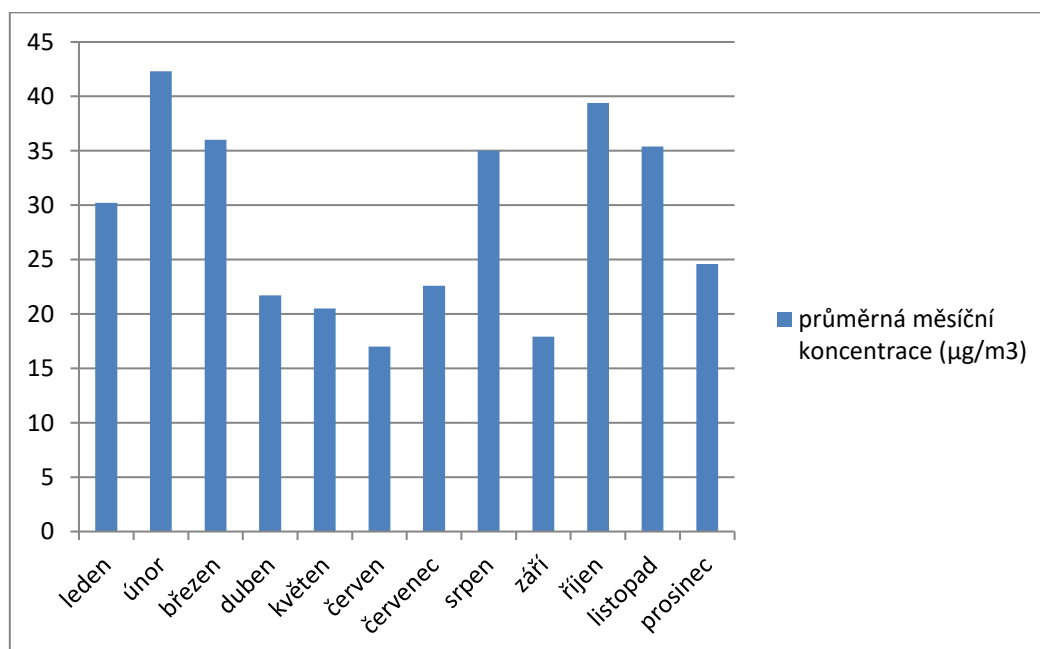
Po první prosincové inverzi byla zaznamenána krátká dvoudenní inverze, na kterou navázala nejdéle trvající inverze z celého roku 2015 (obr. 25). Ta započala u denního měření 16. prosince v 12:00 UTC a trvala až do konce roku 2015, tedy 15,5 dní. Pohyb koncentrací PM<sub>10</sub> je ze začátku inverze spojen s poklesem nebo s nárůstem teploty vzduchu. Vyšší hodnota PM<sub>10</sub> byla zaznamenána 23. prosince (32,2 µg/m<sup>3</sup>) a nejvyšší hodnoty PM<sub>10</sub> pak 30. prosince 48,6 µg/m<sup>3</sup>, 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. 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 trvající nad Prostějovem od 16. 12. – 12:00 UTC do 31. 12. 2015.

## 6.8 Hodnocení PM<sub>10</sub>

Jak bylo výše zmíněno, průměrné roční koncentrace patřily k nejnižším za posledních 10 let. Vyšší koncentrace hodnot PM<sub>10</sub> se v roce 2015 vyskytovaly v chladnějších měsících, kdy se na výskytu koncentrací podílely nejen spalovací procesy společně s dopravou, ale také i lokální topeniště. Především nárůst hodnot PM<sub>10</sub> v říjnu, kdy se koncentrace zvýšily o 20 µg/m<sup>3</sup>. Vliv na tento nárůst hodnot může být ovlivněn začátkem otopné sezóny, kdy od 8. října nebyla průměrná teplota do konce roku vyšší než 13 °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 µg/m<sup>3</sup>. Druhá nejvyšší koncentrace byla v říjnu 39,4 µg/m<sup>3</sup>, následoval březen 36 µg/m<sup>3</sup> a listopad se srpnem, které zaznamenaly hodnotu 35 µg/m<sup>3</sup>. 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<sub>10</sub> o 1,5 µg/m<sup>3</sup>, celkem bylo naměřena hodnota 51,5 µg/m<sup>3</sup>. Celkem byl v srpnu překročen denní imisní limit ve třech dnech. Nejčastěji 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.



Obr. 26: Roční chod koncentrace PM<sub>10</sub> v Prostějově za rok 2015 (data: ČHMÚ).



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  $\text{PM}_{10}$  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  $\text{PM}_{10}$  za rok 2015, který byl v tomto textu shrnut a vyhodnocen.

Tab. 7: Překročení denního imisního limitu a maximální naměřené hodnoty  $\text{PM}_{10}$  v Prostějově v roce 2015 (Zdroj: ČHMÚ, vlastní úprava).

| rok 2015 | počet překročení průměrného denního imisního limitu $\text{PM}_{10}$ | maximální hodnota ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |
|----------|--|--|
| 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   |

Hlavní příčinou nadměrného vytváření  $\text{PM}_{10}$  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 (počet vozidel 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 Svatooplukova-Újezd.

Tab. 8: Intenzita automobilové dopravy v Prostějově – počet vozidel za den (data: ŘSD).

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

Mezi nejvytíženější dopravní úseky za všechna 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 všechna 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 spojnice 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 (ŘSD, 2016).

## 7 Závěr

V této diplomové práci byla zhodnocena povaha teplotního zvrstvení atmosféry zjištěná aerologickými výstupy a imisní situace měřená na stanici monitoringu kvality ovzduší ve městě Prostějově v kalendářním roce 2015.

Zhodnocení typu teplotního zvrstvení atmosféry bylo provedeno do výšky 2 kilometrů nad zemským povrchem. Výsledky zhodnocení byly založeny na aerologických výstupech z měření, které bylo prováděno v Prostějově dvakrát denně po celý rok 2015. Data byla dostupná prostřednictvím databáze Univerzity ve Wyomingu.

Míra teplotního zvrstvení byla charakterizována podle teplotního gradientu a stabilitní klasifikací podle Bubníka a Koldovského. Z datových podkladů aerologických měření bylo převzato 730 profilů, z nichž bylo zaznamenáno 645 profilů s výskytem izotermie a 450 profilů s výskytem inverze. 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 prašný aerosol  $PM_{10}$ , který 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 meziroční proměnlivostí meteorologických podmínek, tedy rozsahu výskytu inverzních a izotermních situací a rozdílné náročnosti topných sezón je ovlivňována kvalita ovzduší v Prostějově. Dalšími negativními vlivy jsou průmysl, a především silniční doprava, která je ve městě dlouhodobým problémem. Řešení silniční 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 obyvatelé města Prostějova a blízkého okolí vracejí zpět k topení nekvalitními tuhými palivy.

## 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 0:00 UTC 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 nepříznivých imisních situací. Dalšími faktory, které napomáhají výskytu inverzí, jsou povětrnostní situace a postupný nárůst intenzity silniční dopravy. Všechny zmíněné složky, které se podílí na vzniku nepříznivých imisních situací, byly v této diplomové práci vyhodnoceny.

## 9 Summary

This diploma thesis, entitled *Assessment of the correlation between meteorological conditions of dispersion and air pollution levels: a case study for the town of Prostějov*, was elaborated on the basis of data from results of aerological sounding of temperature at the aerological station in Prostějov which performs aerological measurements by means of a radioprobe twice a day at 0:00 UTC and 12:00 UTC and from automated air pollution monitoring station in Prostějov which measures pollutant concentration of particulate matter PM<sub>10</sub>. Data from the year 2015 were used in the analysis. Prostějov belongs to the Czech towns with air polluted mainly by high concentrations of particulate matter which occur often with unfavourable air temperature conditions. Other factors that contribute to the occurrence of adverse air pollution levels are certain synoptic situations and a steadily growing intensity of road transport. All these constituents that lead to unfavourable air quality 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. Praha: Academia. 245 s.

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 (2016a): 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 (2016b): 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 (2017a): 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)

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

ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD (2016): Okres Prostějov – seznam obcí [online, cit. 2017-09-05]. Dostupné z: [http://www.czso.cz/csu/xm/okres\\_prostejov](http://www.czso.cz/csu/xm/okres_prostejov)

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 PM10 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. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 65 s.

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

INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVÁNÍ (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 (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-level 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. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta, 88 s.

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.

QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. *Studia Geographica* 16. Brno: GgÚ ČSAV, 73 s.

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)

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC (2016): Sčítání dopravy [online, cit. 2017-10-11]. Dostupné z: <https://www.rsd.cz/wps/portal/web/Silnice-a-dalnice/Scitani-dopavy>

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

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. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 89 s.

UNIVERSITY OF WYOMING (2015): 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.

VYSOUDIL, M. (2006): Meteorologie a klimatologie. Univerzita Palackého, Olomouc. 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 percepce veřejností. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, 92 s.

## **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 |