

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI**

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie

Bc. Michaela MATYSKOVÁ

**Hodnocení imisí prašného aerosolu ve vztahu  
k ventilačnímu indexu atmosféry v prostoru střední  
Moravy**

Diplomová práce

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

Olomouc 2020

## Bibliografický záznam

Autor (osobní číslo):	Bc. Michaela Matysková (R18809)
Studijní obor:	Regionální geografie
Název práce:	Hodnocení imisí prašného aerosolu ve vztahu k ventilačnímu indexu atmosféry v prostoru střední Moravy
Title of thesis:	Assessment of air pollution levels of particulate matter in relation to the ventilation index of the atmosphere in the area of central Moravia
Vedoucí práce:	RNDr. Martin Jurek, Ph.D.
Rozsah práce:	79 stran
Abstrakt:	V diplomové práci se hledá vazba mezi charakterem teplotního zvrstvení atmosféry na základě sondážních měření aerologického profilu v Prostějově užitím ventilačního indexu a koncentracemi prašného aerosolu zjištěnými pozemními měřicími stanicemi automatizovaného monitoringu v regionu střední Moravy. Práce se blíže zaměřuje na stavy atmosféry s nepříznivými rozptylovými podmínkami určené pomocí ventilačního indexu, které zadržují prachové částice v mezní vrstvě atmosféry. Hodnoceno je období od roku 2016 do 2019 na základě dat jednotlivých aerologických výstupů a imisní databáze ČHMÚ.
Klíčová slova:	aerologie, ventilační index, rozptylové podmínky, prašný aerosol, střední Morava
Abstract:	In Thesis, the linkage is investigated between character of vertical air temperature profile based on atmospheric soundings in Prostějov by using ventilation index and

particulate matter concentrations found by ground automated air pollution monitoring stations in Central Moravian Region. Thesis focuses on atmospheric situations with unfavourable dispersion conditions defined by ventilation index, which hold particulate matter within atmospheric boundary layer. The period from 2016 till 2019 is evaluated based on data of individual aerological profiles and air pollution database of ČHMÚ.

Keywords:

aerology, ventilation index, dispersion conditions, particulate matter, Central Moravia

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Martina Jurka, Ph.D., a že jsem veškerou literaturu a internetové zdroje, využitě při tvorbě této práce, uvedla v seznamu použité literatury a zdrojů.

V Olomouci, 11. května 2020

.....

podpis

Moc ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce RNDr. Martinu Jurkovi, Ph.D. za cenné rady, odbornou pomoc, ochotu a věnovaný čas.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI  
Přirodovědecká fakulta  
Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michaela MATYSKOVÁ**  
Osobní číslo: **R18809**  
Studijní program: **N1301 Geografie**  
Studijní obor: **Regionální geografie**  
Název tématu: **Hodnocení imisí prašného aerosolu ve vztahu k ventilačnímu indexu atmosféry v prostoru střední Moravy**  
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 charakter zvrstvení atmosféry na základě sondážních měření aerologického profilu v Prostějově užitím ventilačního indexu a zhodnocení jeho vztahu k úrovním koncentrací prašného aerosolu zjištěným pozemními měřicími stanicemi automatizovaného imisního monitoringu v regionu střední Moravy. Hodnoceno bude období od roku 2016 na základě dat jednotlivých aerologických výstupů a imisní databáze ČHMÚ.

Rozsah grafických prací: **Podle potřeb zadání**

Rozsah pracovní zprávy: **20 000 - 24 000 slov**

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

Seznam odborné literatury:

**Pasch, A. N., MacDonald, C. P., Gilliam, R. C., Knoderer, C. A., Roberts, P. T. (2011): Meteorological characteristics associated with PM2.5 air pollution in Cleveland, Ohio, during the 2009-2010 Cleveland Multiple Air Pollutions Study. Atmospheric Environment 45, 7026-7035.**

**Shaw, W.J. et al. (2005): Boundary-layer evolution over Phoenix, Arizona and the premature mixing of pollutants in the early morning. Atmospheric Environment 39, 773-786.**

**Tripathi, S.N. et al. (2007): The vertical profile of atmospheric heating rate of black carbon aerosols at Kanpur in northern India. Atmospheric Environment 41, 6909-6915.**

**Xu, J., Yan, F., Xie, Y., Wang, F., Wu, J., Fu, Q. (2015): Impact of meteorological conditions on a nine-day particulate matter pollution event observed in December 2013, Shanghai, China. Particology 20, 69-79.**

**Wu, M., Wu, D., Fan, Q., Wang, B., Li, H., & Fan, S. (2013): Observational studies of the meteorological characteristics associated with poor air quality over the Pearl River Delta in China. Atmospheric Chemistry and Physics 13, 10755-10766.**

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

Katedra geografie

Datum zadání diplomové práce: **14. listopadu 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. dubna 2020**

L.S.

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.  
děkan

doc. RNDr. Marián Halás, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Olomouci dne 14. listopadu 2018

# Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíl práce .....	10
3	Teoretická východiska práce.....	11
3.1	Zhodnocení dostupné literatury.....	11
3.2	Geografické a klimatické poměry střední Moravy.....	15
3.3	Suspendované částice PM <sub>10</sub> .....	16
3.4	Rozptylové podmínky .....	17
3.4.1	Ventilační index .....	17
3.4.2	Model Aladin .....	18
3.5	Mezní vrstva atmosféry.....	19
3.5.1	Virtuální potenciální teplota.....	20
3.6	Radiosondážní měření .....	21
3.7	Kvalita ovzduší a rozptylové podmínky na území ČR.....	22
4	Metodika .....	26
5	Výsledky .....	30
5.1	Rozptylové podmínky v oblasti střední Moravy v letech 2016–2019.....	30
5.1.1	Porovnání rozptylových podmínek z denních a nočních profilů.....	34
5.2	Imisní koncentrace škodlivin PM <sub>10</sub> v oblasti střední Moravy v letech 2016–2019.....	40
5.2.1	Imisní situace v chladných a teplých měsících sledovaného období .....	42
5.3	Koncentrace PM <sub>10</sub> a ventilační index v oblasti střední Moravy v letech 2016–2019 .	45
5.4	Vazba koncentrací PM <sub>10</sub> na ventilační index v oblasti střední Moravy .....	66
6	Diskuse.....	71
7	Závěr .....	73
	Summary .....	74
	Použitá literatura a zdroje.....	75



# 1 Úvod

Při hodnocení kvality ovzduší se bere ohled nejen na množství imisí škodlivin v atmosféře, které se do ní dostávají z různých zdrojů znečišťování, ale také na rozptylové podmínky, které jsou zásadní při studiu transportu škodlivin, ale i při zkoumání kvality ovzduší daného regionu jako celku. V této diplomové práci je zkoumán region střední Moravy, konkrétně imisní koncentrace škodlivin prašného aerosolu ve vztahu k rozptylovým podmínkám, které jsou interpretovány pomocí ventilačního indexu vypočteného pro oblast střední Moravy. Zkoumaným regionem je širší olomoucká aglomerace, do které patří i města Prostějov a Přerov. V Prostějově se nachází radiosondážní a meteorologická stanice provozovaná Hydrometeorologickou službou Armády České republiky, kdy radiosondážní výstupy z této stanice byly využity pro výpočet výšky mezní vrstvy atmosféry a určení ventilačního indexu. V Prostějově a Přerově jsou vždy jedenkrát zastoupeny městské pozadřové automatizované stanice imisního monitoringu. V Olomouci se tyto stanice nachází dvě, jedná se o stanici Olomouc-Šmeralova (MOLSA) a Olomouc-Hejčín (MOLJA). Stanice v Prostějově, Přerově a Olomouci-Hejčíně spravuje Český hydrometeorologický ústav a získaná data naplňuje do Informačního systému kvality ovzduší (ISKO). Údaje ze stanice Olomouc-Šmeralova jsou také dostupná prostřednictvím ISKO, ale její provoz zajišťuje Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě.

Oblast střední Moravy patří dle hodnotících zpráv ČHMÚ dlouhodobě k oblastem se zhoršenou kvalitou ovzduší, poněvadž zde dochází k častému překračování povolených imisních limitů některých sledovaných znečišťujících látek. Tato práce podrobněji sleduje koncentrace prašného aerosolu, konkrétně koncentrace  $PM_{10}$ , které právě v prostoru střední Moravy často vykazují nadlimitní hodnoty. Prašný aerosol je jedna z nejčastějších látek emitovaných do ovzduší zapříčiněných antropogenními vlivy, a to zejména lokálními topeništi a silniční dopravou. Každé ze tří zmíněných měst má mírně odlišně situované zdroje prašnosti, ale z hlediska celistvosti regionu na základě tvaru reliéfu zkoumané oblasti lze předpokládat, že v případě rozptylových podmínek nedochází k výrazným prostorovým diferenciacím uvnitř regionu.

## 2 Cíl práce

Zhodnocení imisí prašného aerosolu v lokalitách, kde se provádí jejich soustavné sledování, a jejich srovnání s výstupy radiosondáží, si klade za cíl ukázat, do jaké míry jsou imise určovány lokální povahou zdrojů emisí a do jaké míry jsou za nárůsty koncentrací odpovědné rozptylové podmínky hodnocené ventilačním indexem v daném území. Hlavním předpokladem v rámci problematiky studované v této práci je, že k vysokým koncentracím prašného aerosolu dochází v situacích s nepříznivými rozptylovými podmínkami, ale samotné případy nepříznivých rozptylových podmínek nemusí vždy znamenat výskyt vysokých koncentrací znečišťujících látek.

Cílem diplomové práce je zhodnotit charakter zvrstvení atmosféry na základě sondážních měření aerologického profilu v Prostějově užitím ventilačního indexu a zhodnocení jeho vztahu k úrovním koncentrací prašného aerosolu zjištěným pozemními měřicími stanicemi automatizovaného imisního monitoringu v regionu střední Moravy. Hodnoceno je období od roku 2016 do roku 2019 na základě dat jednotlivých aerologických výstupů a imisní databáze ČHMÚ.

## 3 Teoretická východiska práce

### 3.1 Zhodnocení dostupné literatury

Ke zvolenému tématu diplomové práce *Hodnocení imisí prašného aerosolu ve vztahu k ventilačnímu indexu atmosféry v prostoru střední Moravy* lze najít řadu publikací, odborných článků či akademických prací, které se zabývají danou problematikou. Ve většině případů se jedná o cizojazyčnou literaturu.

Základní charakteristiku mezní vrstvy atmosféry lze nastudovat z knihy *Fyzika mezní vrstvy atmosféry* (Bednář a Zikmunda 1985). Další významnou publikací zabývající se ochranou kvality ovzduší je kniha *Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší* (Braniš a Hůnová eds. 2009). Matematické podklady a definiční vztahy pro potenciální teplotu a tzv. virtuální potenciální teplotu, která je velmi důležitou součástí metodiky této práce, jsou dostupné v knize *Fyzika oblaků a srážek* (Řezáčová et al. 2007).

Dlouhodobému režimu meteorologických podmínek rozptylu na Ostravsku se věnoval Blažek (2016). Jedná se o výsledky vyhodnocení dlouhodobého režimu oblastních meteorologických podmínek rozptylu ve vybrané oblasti v chladných (říjen až březen) a zimních obdobích (prosinec až únor) pro padesátiletí 1961 až 2010, jímž byl odvozen 50letý „normál“ charakteristik popisujících meteorologické podmínky rozptylu v imisně velmi zatížené oblasti Ostravska (Blažek 2016). Zimní smogové situace na Ostravsku a Olomoucku v letech 2001–2016 zkoumala Volná et al. (2018). Výsledné hodnocení imisních situací a směru větru ukázalo, že na Ostravsku převažuje při nejhorších imisních situacích severní a severovýchodní proudění vzduchu. Naopak na Olomoucku jsou převážně směry větru jižní, východní a severovýchodní, ovšem se na Olomoucku projevuje vliv rychlosti proudění vzduchu, protože nejhorší imisní situace se objevují při bezvětří a nízké rychlosti proudění.

Povahu rozptylových podmínek lze vyjádřit ventilačním indexem. V prostředí Severní Ameriky se na příkladu kanadské provincie Britská Kolumbie ventilační index využívá mimo jiné pro určení vhodných podmínek pro spalování většího množství dřeva ve volné přírodě za každý den v rámci tzv. *The Daily Smoke Control Forecast*. V rámci tohoto projektu je zřízena i denně aktualizovaná interaktivní mapa (B.C. Ministry of Environment 2019). Na jedné z pravidelných schůzek ohledně kvality ovzduší v distriktu severní Okanagan zazněla prezentace s názvem *The Venting Index*, kde bylo

stručně popsáno, co je to ventilační index, a také jak a při jakých meteorologických podmínkách se mění rozptylové podmínky (Taylor 2006). Český hydrometeorologický ústav se také zabývá hodnocením rozptylových podmínek pro šíření znečišťujících látek pomocí ventilačního indexu. Keder a Škáchová (2011) konstatovali, že definice ventilačního indexu má fyzikální logiku a jeho stanovení je objektivní. Dá se jednoduše stanovit z naměřených či modelových meteorologických dat, případně z jejich kombinace a stanovení ventilačního indexu je možné softwarově automatizovat. Velmi dobře koreluje s hodnotami koncentrací znečišťujících látek (kromě ozonu). Proto použití ventilačního indexu je vhodné pro klasifikaci rozptylových podmínek v ČR.

Určováním rozptylových podmínek na základě výšky směšovací vrstvy a rychlosti větru zabýval už Holtzworth (1972), který studoval roční i denní změny výšky směšovací vrstvy a rychlosti větru v ní. Práce se zaměřila na kvalitu ovzduší v městských oblastech napříč územím Spojených států amerických. Heffter (1980) z NOAA se věnoval použití modelu ATAD (*Atmospheric Transport and Dispersion*) pro studium znečištění ovzduší a také zkoumal dva klíčové ukazatele: výšku směšovací vrstvy a průměrnou rychlost větru.

Ulke a Mazzeo (1998) zkoumali vývoj výšky směšovací vrstvy v argentinském městě Buenos Aires, a to z podrobného sledování výšky směšovací vrstvy zaznamenávané každou hodinu, ze kterých byly odvozeny denní střední hodnoty. Odhad výšky směšovací vrstvy byl vypočítán na základě několika různých meteorologických parametrů, včetně virtuální potenciální teploty.

Srovnáním metod stanovení výšky mezní vrstvy atmosféry pomocí různých nástrojů (lidar, sodar a radiosondáže) se zabývali Dupont et al. (1999) v oblasti Paříže a také Seibert et al. (2000), kteří na datech z lokalit v Německu, Švýcarsku a Nizozemsku srovnali přístupy k určení výšky mezní vrstvy atmosféry a směšovací vrstvy.

Shaw et al. (2005) se zabývali chemickými a meteorologickými procesy ve vztahu k vývoji mezní vrstvy atmosféry a koncentrací škodlivin v arizonském Phoenixu. Využili dat sodarů, radiosond a větrných radarů k identifikaci proudění, které do centra Phoenixu dorazí obvykle hodinu až dvě před východem slunce. Vítr i chladná advekce působí destabilizaci spodní vrstvy atmosféry a výsledné míchání pokračuje přes ranní přechod do konvekčních podmínek. Jelikož produkce fotochemického ozonu není

lineárně závislá na koncentracích jeho prekurzorů, je třeba toto brzké promíchávání vhodně představit v kombinaci modelů chemických a meteorologických.

Tripathi et al. (2007) zkoumali výškové profily koncentrací prašného aerosolu a dalších sloučenin a jejich souvislost s prohříváním atmosféry nad povodím Gangy, v Kanpuru v severní Indii.

Pasch et al. (2011) studovali meteorologické procesy, které ovlivňují přízemní koncentrace  $PM_{2,5}$  v Clevelandu (Ohio). Stagnace imisí nebo omezený transport suspendovaných částic byl spojen s omezeným vertikálním promícháváním a nízkou rychlostí větru, zatímco lepší rozptylové podmínky vedly k nižším koncentracím prašného aerosolu, v tomto případě spolu s transportem regionálního znečištění prouděním jižního větru.

Wu et al. (2013) zpracovali intenzivní pozorování z října 2004 a července 2006 ke zkoumání struktury mezní vrstvy atmosféry nad čínskou konurbací v deltě Perlové řeky a jejího vlivu na regionální kvalitu ovzduší. Ventilační index během doby se špatnou kvalitou ovzduší byl výrazně nižší než během příznivější imisní situace. Výsledky ukázaly, že k akumulaci znečišťujících látek v ovzduší vedla dlouhodoběji nízká rychlost větru a ukázalo se, že důležitou roli ve zhoršení podmínek kvality ovzduší hrála mořská bríza.

Leventidou et al. (2013) zkoumali v řecké Soluni po dobu téměř pěti let faktory ovlivňující výšku mezní vrstvy atmosféry. Cílem studie bylo navrhnout metodiku vyhledávání výšky mezní vrstvy atmosféry pomocí analýz provozního asimilačního systému Evropského střediska pro střednědobou předpověď počasí (ECMWF) a pomocí radiosondážních měření. V případě stanovování výšky mezní vrstvy atmosféry z měření pomocí radiosond využili výpočet přes Bulk-Richardsonovo číslo.

Bachtiar et al. (2014) navrhli model, který by lépe předvídal výšku mezní vrstvy atmosféry v průběhu dne. *Atmospheric Dispersion Modelling System (ADMS)* je počítačový výpočet rozptylu plynů a částic emitovaných do ovzduší, do kterého vstupuje několik parametrů a meteorologických údajů včetně výšky mezní vrstvy atmosféry. Ta je klíčovým parametrem pro správný odhad míry znečištění ovzduší, jelikož určuje výšku šíření aerosolů a znečišťujících látek a společně s dalšími

meteorologickými parametry efektivně určuje objem vzduchu, který je k dispozici pro rozptyl znečišťujících látek v atmosféře.

Xu et al. (2015) se zabývali závažným znečištěním ovzduší Šanghaje částicemi PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> během devítidenní nepříznivé situace v prosinci 2013. Zjistili, že klíčovým faktorem dané situace vysokých koncentrací prašného aerosolu byla synoptická situace spojená se sníženou výškou mezní vrstvy atmosféry a průchodem dvou studených front. Výrazný nárůst koncentrací PM<sub>2,5</sub> byl spojen s nízkým ventilačním indexem.

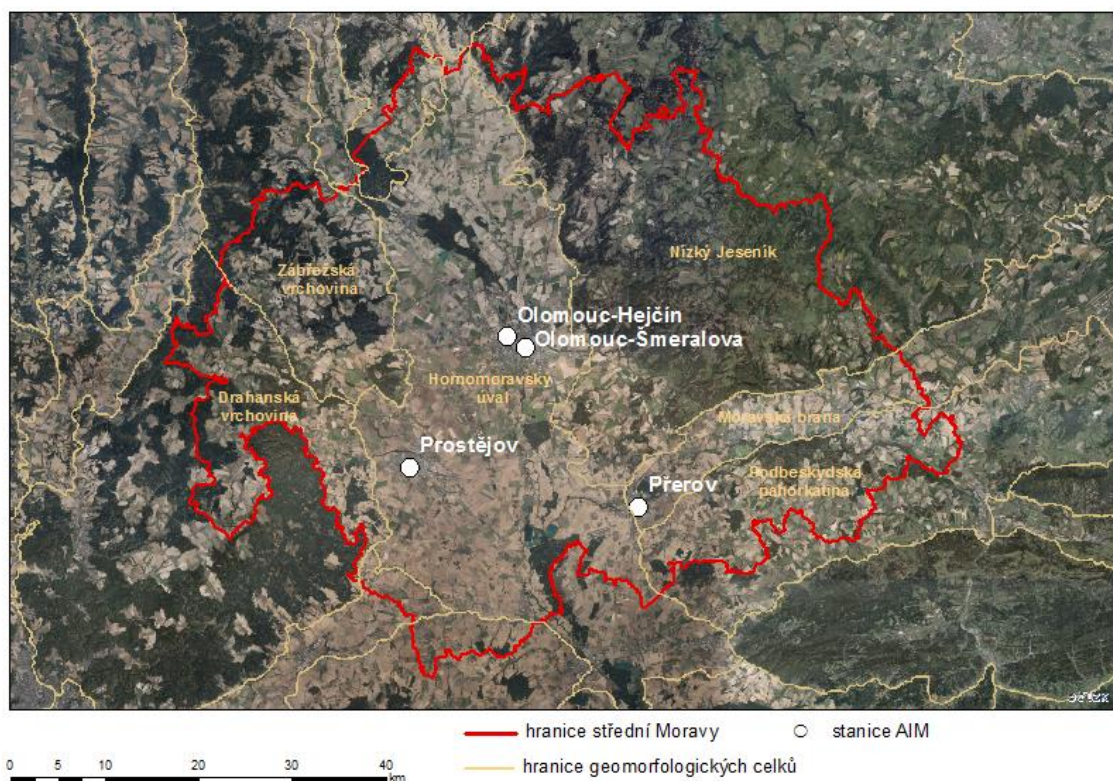
Studiu struktury mezní vrstvy atmosféry a jeho vlivu na kvalitu ovzduší se věnovali také Zheng et al. (2019). Navrhli za tím účelem index struktury mezní vrstvy (*Boundary Layer Structure Index, BLSI*) a zkoumali, do jaké míry jím lze určit kvalitu ovzduší v přízemní vrstvě atmosféry. Do výpočtu BLSI vstupují následující ukazatele: průměrná rychlost proudění vzduchu, hustota vzduchu, latentní teplo kondenzace vodní páry, stabilní energie atmosféry a ventilační index. BLSI je tedy komplexnějším ukazatelem než samotný ventilační index. Korelace mezi kvalitou ovzduší a *BLSI* ve výšce 100–300 m byla dobrá a průkazná na hladině spolehlivosti 99 %.

Metodami určení výšky směšovací vrstvy v prostoru Londýna se zabývali Kotthaus et al. (2018). Poukázali na to, že výška směšovací vrstvy (*mixing height*) odvozená z charakteristik turbulence se může v daném časovém okamžiku lišit od výšky promísené vrstvy (*mixed layer height*) odvozené z vertikálního profilu koncentrací prašného aerosolu.

Pro metodiku určení výšky směšovací vrstvy z radiosondážních měření byly využity dva zahraniční odborné články. Seidel et al. (2010) použili a vzájemně porovnali sedm metod pro zjištění výšky mezní vrstvy atmosféry, zahrnující mimo jiné i výpočet pomocí teplotního gradientu virtuální potenciální teploty. Wang a Wang (2014) se rovněž věnovali metodám výpočtu výšky směšovací vrstvy z radiosondážních dat. I oni uvedli parametr virtuální potenciální teploty jako vhodný pro přesnější odhad výšky směšovací vrstvy.

### 3.2 Geografické a klimatické poměry střední Moravy

Oblast střední Moravy pro potřeby této práce zahrnuje tři spolu sousedící okresy, a to Olomoucký, Prostějovský a Přerovský (obr.1). Celková rozloha zkoumané oblasti činí 3 235 km<sup>2</sup> a pojímá 297 obcí s celkovým počtem okolo 472 tisíc obyvatel (ČSÚ 2019a, 2019b, 2019c). Oblast střední Moravy by se dala definovat i jako tzv. Olomoucká aglomerace, s jejímž vymezením pracuje Integrovaná územní investice (ITI) pro rozvoj metropolitní oblasti (ITI OA, 2020).



**Obr. 1** Oblast střední Moravy s vyznačením lokalit automatizovaného měření imisí (Matysková 2018).

Prostor mezi třemi významnými městy Hané je úzce propojen nejen socioekonomicky, ale má i výrazně společné rysy fyzickogeografické. Podle Zeměpisného lexikonu ČR (Demek a Mackovčín eds. 2006) leží zájmové území střední Moravy převážně v oblasti Hornomoravského úvalu. Touto oblastí protéká řeka Morava s jejími dvěma významnějšími přítoky Bečvou a Hanou. Hornomoravský úval je rozsáhlá sníženina tektonického původu a dělí se na geomorfologické podcelky Středomoravská niva a Uničovská plošina. Středomoravská niva se rozkládá podél řeky Moravy a dolní Bečvy, jedná se tedy o širokou rovinu. Uničovská plošina leží v severovýchodní části Hornomoravského úvalu a je popsána jako nížinná pahorkatina.

Na západní straně se střední Morava dotýká až Drahanské vrchoviny, která je již více členitá a svými nápadnými okraji klenbovitého tvaru způsobené neotektonickými zdvihy vystupuje nad okolní sníženiny. Na severovýchodní straně zasahuje střední Morava k Oderským vrchům, které jsou charakterizovány jako členitá vrchovina s okrajovými zlomovými svahy. Z jihovýchodní strany Hornomoravský úval plynuje navazuje na Moravskou bránu, kde se nachází taktéž rozsáhlé plošiny a široce zaoblené rozvodní hřbety (Demek a Mackovčín eds. 2006).

Jelikož se v případě střední Moravy jedná o široké údolí, lze předpokládat, že v nejnižších vrstvách atmosféry zde bude docházet k omezenějšímu provětrávání než u více konvexních typů reliéfu.

Nížina Hané, ve které se nachází naprostá většina oblasti střední Moravy, leží v klimatické oblasti T2 dle Quittovy klasifikace. Jaro je zde poměrně krátké, teplé až mírně teplé, léto je teplé dlouhé a suché, podzim je poměrně krátký, teplý až mírně teplý a zima je krátká, suchá až velmi suchá (Quitt 1971).

Nejchladnějším měsícem bývá leden s průměrnou teplotou  $-3,4$  °C a nejteplejším bývá červenec s průměrnou teplotou  $20,2$  °C. Mrazové dny se vyskytují od poloviny října do poslední dekády dubna. Měsícem vydatným na srážky je červen s průměrným úhrnem srážek  $78,5$  mm, naopak nejméně vydatným je únor, kde spadne v průměru  $25,5$  mm. Sněhové srážky se zde vyskytují od poloviny listopadu do začátku dubna, kdy výška sněhové pokrývky nepřekračuje  $20$  cm (Město Olomouc 2020). Převládající směr větru pro oblast střední Moravy je západní.

### **3.3 Suspendované částice PM<sub>10</sub>**

Prašný aerosol frakce PM<sub>10</sub> tvoří směs částic suspendovaných v ovzduší, jejichž aerodynamický průměr je menší než  $10$  μm. Suspendované částice mohou být tvořeny různými chemickými látkami a jejich vliv na lidské zdraví a životní prostředí se odvíjí právě od jejich složení. Imise částic PM<sub>10</sub> se do ovzduší nejčastěji dostávají z tepelných elektráren, lokálních topenišť, hutního průmyslu, rozsáhlých požárů a motorových vozidel (Hardy et al. 2001).

Hodnota imisního limitu pro průměrnou 24hodinovou koncentraci PM<sub>10</sub> je  $50$  μg/m<sup>3</sup>. Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší připouští na dané lokalitě maximálně 35 překročení hodnoty imisního limitu za rok. Pokud je hodnota imisního limitu



překročena vícekrát než 35krát za rok, je tím imisní limit považován za překročený (ČHMÚ 2020a).

V této práci se pracuje s hodnotami naměřenými na čtyřech stanicích státní sítě imisního monitoringu. Jedná se o dvě stanice v Olomouci (Hejčín a Šmeralova), o jednu stanicí v Prostějově a o jednu v Přerově (podrobnější popis stanic je uveden mj. v bakalářské práci Matysková 2018). Všechny stanice leží v nadmořské výšce od 210 m do 224 m, jejich výškový rozdíl je tedy minimální. Na všech zmíněných stanicích se měří prašný aerosol metodou radiometrie (absorpce beta záření). Jelikož imisní stanice v Prostějově neprovádí měření na množství  $PM_{2,5}$  v ovzduší, jsou v této práci hodnocena data o koncentracích suspendovaných částic  $PM_{10}$ .

### **3.4 Rozptylové podmínky**

Rozptylové podmínky jsou dány stavem několika meteorologických prvků a veličin, které rozhodujícím způsobem ovlivňují přenos a rozptyl znečišťujících látek v ovzduší. Při špatných rozptylových podmínkách, které může zapříčinit například bezvětří, nízká rychlost větru nebo přítomnost teplotní inverze, je nutno očekávat zvýšené znečištění ovzduší. Naopak při dobrých rozptylových podmínkách, jako je například čerstvý nebo silný vítr či labilní teplotní zvrstvení, se znečišťující látky promíchávají a ředí, tudíž koncentrace znečišťujících látek jsou nízké (ISKO 2012).

#### **3.4.1 Ventilační index**

Kvalitu ovzduší ovlivňují kromě samotných emisí škodlivin ze zdrojů znečišťování také rozptylové podmínky, které závisí především na rychlosti proudění a tzv. stabilitě atmosféry, úzce související s teplotním zvrstvením vzduchu. Při instabilním zvrstvení teplota vzduchu s výškou klesá rychleji než adiabaticky, a naopak při stabilních situacích buď klesá méně rychle než adiabaticky, nebo teplota vzduchu s výškou zůstává stejná (izotermie) či dokonce vzrůstá (inverzní zvrstvení). Čím více je atmosféra stabilní, tím hůře dochází k vertikálnímu promíchávání atmosféry (Bednář 2003).

Možným číselným vyjádřením rozptylových podmínek je právě ventilační index. Jedná se o součin výšky směšovací vrstvy a průměrné rychlosti větru uvnitř směšovací vrstvy. Wu et al. (2013) s odvoláním na Pasch et al. (2011) uvádí vzorec ventilačního indexu pro výpočet z dat naměřených během radiosondážního výstupu:

$$VI = \sum_{i=10}^{i=MH} (h_i - h_{i-1}) * v_i$$

kde  $i$  je úroveň nad zemským povrchem, ve které byla zaznamenána hodnota rychlosti větru,  $h_i$  = výška úrovně  $i$ , a  $v_i$  = rychlost větru v úrovni  $i$ . Jedná se tedy o sumu součinů mocností jednotlivých vrstev mezi úrovněmi záznamů aerologického výstupu a rychlosti větru v příslušných vrstvách, a to od zemského povrchu po směšovací výšku.

Směšovací vrstva v ovzduší přiléhá k zemskému povrchu a probíhá v ní promíchávání vzduchové hmoty v důsledku mechanické a termické turbulence. Čím intenzivnější je turbulentní promíchávání, tím větší je výška směšovací vrstvy. Pro Českou republiku jsou běžné hodnoty ventilačního indexu od 100 m<sup>2</sup>/s do 30 000 m<sup>2</sup>/s.

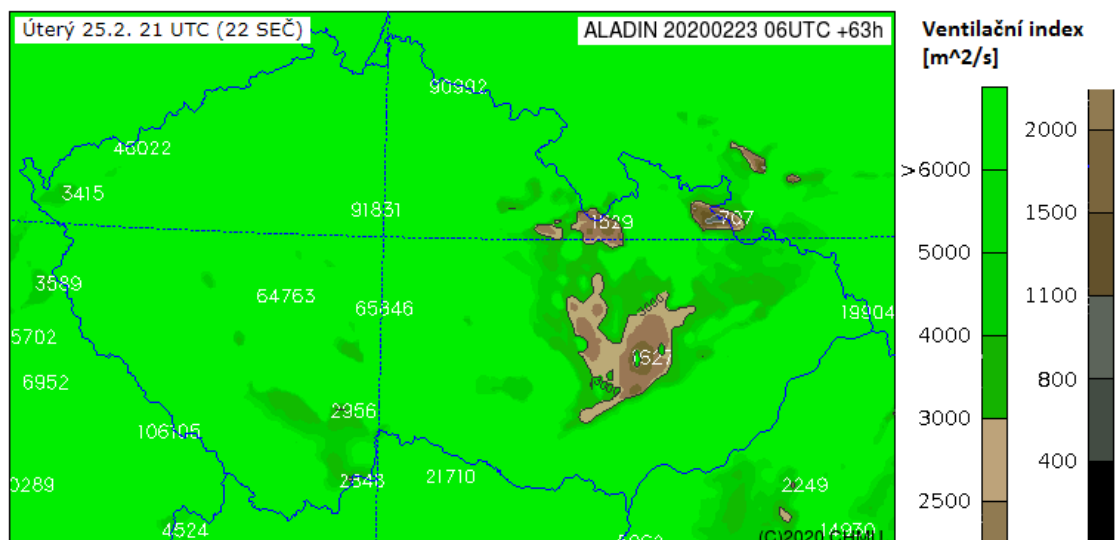
ČHMÚ hodnotí rozptylové podmínky stanovené pomocí ventilačního indexu takto:

<b>více jak 3 000 m<sup>2</sup>/s</b>	příznivé rozptylové podmínky,
<b>1 100 m<sup>2</sup>/s – 3 000 m<sup>2</sup>/s</b>	mírně nepříznivé rozptylové podmínky,
<b>méně jak 1 100 m<sup>2</sup>/s</b>	nepříznivé rozptylové podmínky.

Stav atmosféry s nepříznivými rozptylovými podmínkami nemusí nutně znamenat vysoké koncentrace znečišťujících látek. Naopak ale k výraznému a plošně rozsáhlému překračování imisních limitů dochází téměř výhradně za mírně nepříznivých a nepříznivých podmínek rozptylu v atmosféře, za spolupůsobení dalších meteorologických faktorů. V případě hodnot PM<sub>10</sub> lze zmínit například nízké teploty vzduchu (Keder et al. 2011).

### 3.4.2 Model Aladin

Český hydrometeorologický ústav vyvíjí numerický předpovědní systém ALADIN v rámci mezinárodních společenství ALADIN a RC LACE (Termonia et al. 2018). ALADIN původně vznikl jako regionální verze globálního modelu ARPEGE Meteo-France. V ČHMÚ pro další provoz vybrali kanonickou modelovou konfiguraci ALARO, na jejímž vývoji se dlouhodobě podílí, a která je koncipovaná pro využití v širokém pásmu horizontálních rozlišení od desítek kilometrů po stovky metrů.



**Obr. 2** Předpověď ventilačního indexu v modelu ALADIN (zdroj: ČHMÚ, 2020b).

Nejnovější předpovědi modelu ALADIN pro celé území ČR jsou dostupné na portálu ČHMÚ. Hlavní výsledky jsou k dispozici čtyřikrát denně: v 00, 06, 12 a 18 UTC. Výsledkem modelování je předpověď několika fyzikálních parametrů atmosféry, ze kterých se vykreslují předpovědní mapy. Zmíněné předpovídané veličiny jsou například teplota vzduchu ve výšce 2 m nad povrchem, úhrn srážek, směr a rychlost větru ve výšce 10 m se zvýrazněnými oblastmi s nárazy větru více jak 15 m/s, oblačnost nízká, střední i vysoká, dále i relativní vlhkost vzduchu ve výšce 2 m, a také předpovídá ventilační index, viz obr. 2 (ČHMÚ 2020b).

### 3.5 Mezní vrstva atmosféry

Mezní vrstva atmosféry je částí atmosféry, ve které se bezprostředně projevuje vliv zemského povrchu na pole meteorologických prvků. Mocnost této vrstvy sahá od zemského povrchu do výšky několika stovek metrů až přibližně 2 km, výška její horní hranice přitom roste se zvětšující se drsností povrchu, s rychlostí větru a s rostoucí instabilitou teplotního zvrstvení ovzduší. Reálná mezní vrstva atmosféry je zpravidla turbulentní. Laminární proudění se vyskytuje pouze nad hladkými typy povrchu ve velmi tenké vrstvě vzduchu, například nad vodní hladinou při slabém větru, nebo nad uhlazenou sněhovou pokrývkou (ČMeS 2017).

Směšovací vrstva je vrstva atmosféry mezi zemským povrchem a spodní hranicí nejnižší zadržující teplotní vrstvy a probíhá v ní promíchávání vzduchové hmoty v důsledku mechanické a termické turbulence. Ve směšovací vrstvě je vertikální teplotní gradient odpovídající instabilnímu nebo indiferentnímu nebo mírně stabilnímu

teplotnímu zvrstvení. Pro směšovací vrstvu je typický výskyt turbulentního proudění, které způsobuje poměrně rovnoměrné rozložení koncentrací látek v celé její mocnosti. Čím větší je mocnost této vrstvy, tím intenzivnější je promíchávání, a tím pádem i lepší podmínky pro rozptyl znečišťujících látek (Rein 1971).

### 3.5.1 Virtuální potenciální teplota

Pomocí virtuální potenciální teploty, přesněji pomocí jejího vertikálního gradientu, lze odhadovat výšku mezní vrstvy atmosféry, která je pro konečný výpočet ventilačního indexu nutná. Toto využití je však možné v případě, že se nejedná o stabilní stav atmosféry (Seidel et al. 2010).

Potenciální teplota ( $\theta$ ) je taková teplota, kterou by měla částice suchého vzduchu, kdyby se adiabaticky přivedla do izobarické hladiny 1 000 hPa (ČMeS 2017). Vztah je následovný:

$$\theta = T \left( \frac{1000}{p} \right)^{R/C_p}$$

kde  $T$  je teplota vzduchu v Kelvinech,  $p$  je tlak vzduchu v hPa,  $R$  je měrná plynová konstanta suchého vzduchu a  $C_p$  měrné teplo suchého vzduchu při stálém tlaku.

Virtuální teplota je charakteristika vlhkého vzduchu, která odpovídá teplotě suchého vzduchu o stejných hodnotách tlaku a hustoty, jako má vzduch vlhký. Hodnotu virtuální teploty lze stanovit na základě stavové rovnice ideálního plynu pro vlhký vzduch na základě předpokladu, že suchý vzduch i pára se chovají jako ideální plyny (ČMeS 2017).

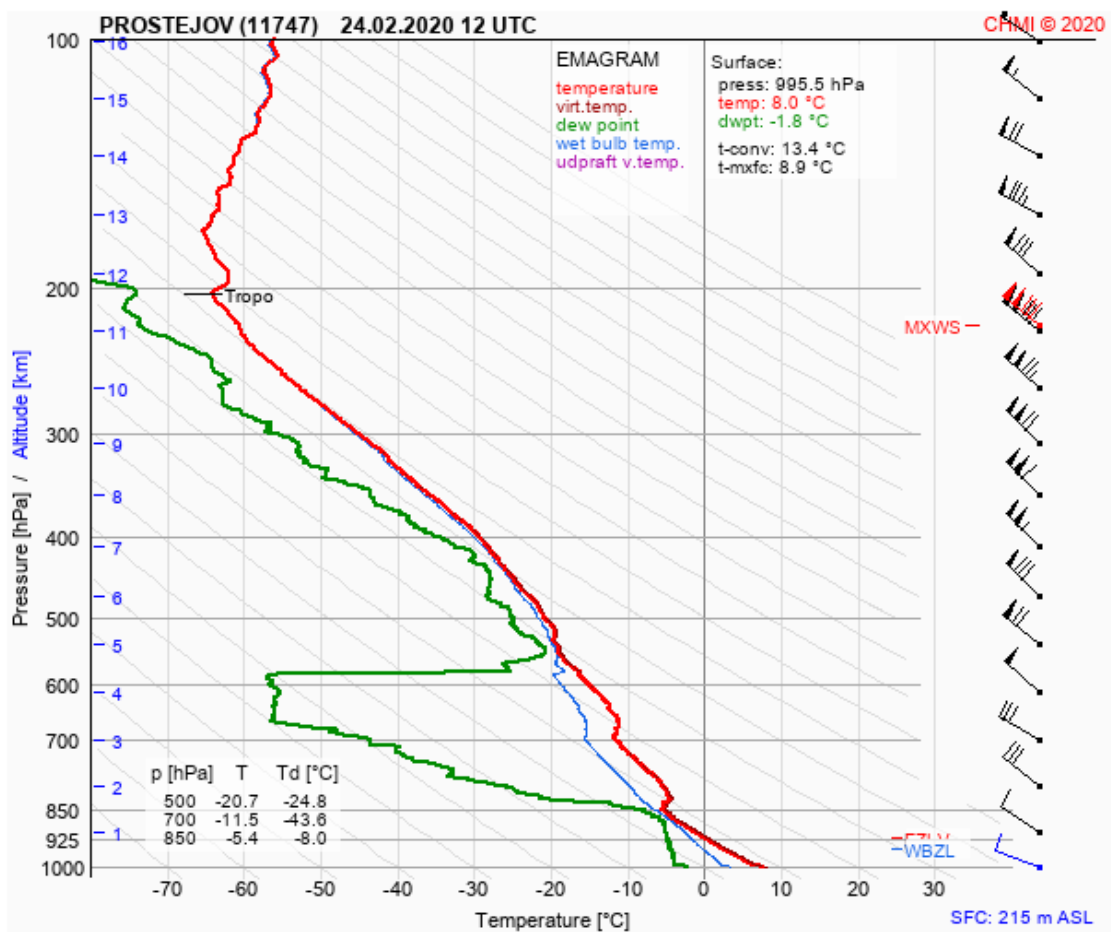
Pokud se v definici potenciální teploty použije exponent vhodný pro suchý vzduch ( $K_d$ ) a teplota  $T$  se nahradí virtuální teplotou ( $T_v$ ), vznikne definice pro tzv. virtuální potenciální teplotu  $\theta_v$  (Řezáčová et al. 2007). Matematický vztah je následovný:

$$\theta_v = T_v \left( \frac{1000}{p} \right)^{K_d} \quad ; \quad K_d \cong 0,2854$$

Jedná se o teoretickou potenciální teplotu suchého vzduchu o stejné hustotě, jakou má vlhký vzduch (American Meteorological Society 2012).

### 3.6 Radiosondážní měření

Radiosondáž je aerologické pozorování prováděné radiosondou, která během výstupu atmosférou vysílá signály, které jsou zachycovány přijímacím zařízením na radiosondážní stanici. Na stanici se informace z radiosondy zpracovávají a převádějí do tvaru závislosti teploty, tlaku a vlhkosti vzduchu a směru a rychlosti větru na nadmořské výšce (ČMeS 2017).



**Obr. 3** Aerologický diagram ze sondážního měření dne 24. 2. 2020 v Prostějově (zdroj: ČHMÚ, 2020).

V případě stanovování výšky planetární mezní vrstvy atmosféry a s ní spojené směšovací vrstvy jsou výstupy z radiosondáže jedny z nejběžněji využívaných zdrojů dat. Výhodou je jejich sběr ve všech oblastech světa, nevýhodou je jejich malé časové rozlišení – na většině stanic měření probíhá pouze dvakrát denně, a to v 00 UTC a 12 UTC. Dalším limitujícím faktorem je skutečnost, že radiosonda nezkoumá pouze planetární mezní vrstvu atmosféry, ale rychle stoupá i do vyšších vrstev atmosféry, tudíž podrobnost dat o struktuře mezní vrstvy atmosféry je omezená, což souvisí

především s rychlostí, jakou radiosonda proletí přízemní vrstvou atmosféry (Seibert 2000).

Pro účely této práce jsou využita data z radiosondážních měření prováděných na aerologické stanici v Prostějově. Základní informace o operativní radiosondáži v Prostějově jsou již popsány v bakalářské práci (Matysková 2018).

### **3.7 Kvalita ovzduší a rozptylové podmínky na území ČR**

Úsek kvality ovzduší Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), který je ústředním orgánem České republiky pro obor ochrany čistoty ovzduší, vydává každoročně zprávy týkající se zhodnocení kvality ovzduší a rozptylových podmínek na území České republiky. Do těchto hodnocení jsou zahrnuta data ze stanic automatizovaného imisního monitoringu (AIM) ČHMÚ a dalších přispěvovatelů (včetně ZÚ Ostrava). Jedná se o informace poskytnuté za celé území České republiky, které lze později porovnávat s hodnotami týkajícími se zájmového regionu střední Moravy.

#### **Hodnocení za rok 2016**

Rok 2016 byl za celé území České republiky teplotně silně nadnormální (normál za období 1961–1990). Průměrná roční teplota za celé území byla 8,7 °C, což je o 1,2 °C vyšší než normál. Jako teplotně mimořádně nadnormální byl označen měsíc únor s odchylkou +4,1 °C, teplotně silně nadnormální bylo září s odchylkou +3,0 °C a teplotně nadnormální byl i červen (+1,7 °C) a červenec (+1,7 °C). Srážkově byl rok 2016 normální, stejně tak i průměrný měsíční úhrn pro většinu měsíců roku 2016 se hodnotí jako normální. Výjimkou jsou pouze měsíce srpen a prosinec, které byly srážkově podnormální.

Rozptylové podmínky za celé území ČR počítané modelem ALADIN pro rok 2016 byly hodnoceny jako mírně lepší oproti dlouhodobému devítiletému průměru v období 2007–2015. Nepříznivé rozptylové podmínky se nejčastěji objevovaly v prosinci (43 %) a v září (30 %). Naopak příznivé rozptylové podmínky panovaly po celou dobu měsíce února (100 %) a po téměř celou dobu května, srpna (97 %) a dubna (93 %). Procentuální vyjádření četností bylo vypočítáno z denních celorepublikových průměrů ventilačního indexu.

V roce 2016 byl maximální povolený počet překročení hodnoty denního imisního limitu  $PM_{10}$  ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) překročen na 19 % stanic AIM (tj. 21 ze 112 stanic). Překročení imisního limitu se týkalo také stanic v Olomouckém kraji. Na počtu překročení hodnoty imisního limitu se nejvíce podílel měsíc leden (ČHMÚ 2017).

### **Hodnocení za rok 2017**

V roce 2017 byla na území ČR průměrná roční teplota  $8,6 \text{ }^\circ\text{C}$ , o  $0,7 \text{ }^\circ\text{C}$  vyšší než normál z let 1981–2010. Rok 2017 je hodnocen jako teplotně nadnormální. Ve třech měsících byla zaznamenána záporná odchylka od normálu, v lednu, dubnu a září. V lednu byla odchylka  $-3,6 \text{ }^\circ\text{C}$ , což se hodnotí jako teplotně silně podnormální. Naopak nejvyšší kladná odchylka od normálu byla zaznamenána v březnu ( $+3 \text{ }^\circ\text{C}$ ), který je hodnocen jako teplotně silně nadnormální. Srážkově byl rok 2017 normální. Srážkově silně nadnormální byly měsíce duben a říjen.

V roce 2017 panovaly mírně zlepšené rozptylové podmínky v porovnání s dlouhodobým desetiletým průměrem 2007–2016. Za leden a březen byly vypočítány nejhorší rozptylové podmínky za rok 2017, příznivé rozptylové podmínky se v těchto měsících podílely pouze 58 %. Naopak hned ve čtyřech měsících se objevily příznivé rozptylové podmínky po celou dobu (100 %), a to v dubnu, červnu, červenci a srpnu. K největšímu nárůstu příznivých rozptylových podmínek došlo v září a říjnu v porovnání s dlouhodobým průměrem. Procentuální četnosti jsou počítány z denních průměrných hodnot ventilačního indexu a nulové hodnoty nepříznivých rozptylových podmínek mohou být zapříčiněny způsobem výpočtu.

V roce 2017 byl maximální povolený počet překročení hodnoty denního imisního limitu  $PM_{10}$  překročen na 46 % stanic automatizovaného imisního monitoringu. Překročení imisního limitu se týkalo i stanic v Olomouckém kraji. Na počtu překročení hodnoty imisního limitu se nejvíce podílel leden (ČHMÚ 2018).

### **Hodnocení za rok 2018**

Rok 2018 byl pro území celé ČR hodnocen jako teplotně mimořádně nadnormální. Jeho průměrná roční teplota byla  $9,6 \text{ }^\circ\text{C}$ , která je o  $1,7 \text{ }^\circ\text{C}$  vyšší než normál 1981–2010. Tento rok se tak stal nejteplejším rokem na území České republiky zaznamenaným v řadě průměrů od roku 1961. Dva měsíce v tomto roce byly teplotně podnormální se zápornou odchylkou, únor ( $-2,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a březen ( $-2,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Mimořádně teplé byly měsíce duben (odchylka  $+4,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a květen ( $+3,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Také silně nadnormální byl měsíc leden

(+3,8 °C), dále červen a srpen. Srážkově byl rok silně podnormální, jedná se o druhý nejsušší rok za období 1961–2018. Měsíční srážkové úhrny byly v naprosté většině pod hodnotami normálu.

V roce 2018 se vyskytovaly nad územím ČR zlepšené rozptylové podmínky v porovnání s dlouhodobým průměrem 2007–2017. V říjnu a listopadu bylo zaznamenáno nejméně příznivých rozptylových podmínek (80 %). Naopak nejvíce případů příznivých rozptylových podmínek pro území ČR se objevilo v květnu a srpnu (100 %). K největšímu nárůstu příznivých rozptylových podmínek oproti dlouhodobému průměru došlo v prosinci.

Maximální povolený počet překročení (35×) hodnoty denního imisního limitu PM<sub>10</sub>, který je 50 µg/m<sup>3</sup>, byl v roce 2018 překročen na 40 % stanic AIM (tj. 42 ze 106 stanic). Imisní limit byl také překročen na některých stanicích v Olomouckém kraji. Nejčastěji k překročení stanového limitu docházelo v měsících únoru a březnu (ČHMÚ 2019).

### **Hodnocení za rok 2019**

Rok 2019 byl na území České republiky hodnocen jako teplotně mimořádně nadnormální. Celková průměrná roční teplota byla 9,5 °C, tedy o 1,6 °C vyšší než normál za období 1981–2010. Záporná odchylka průměrné měsíční teploty od normálu byla zaznamenána pouze v květnu (–2,3 °C), který je hodnocen jako silně podnormální. Naopak mimořádně nadnormální byl měsíc červen (+4,9 °C). Březen (+2,7 °C), srpen (+1,6 °C) a listopad (+2,7 °C) byly hodnoceny jako teplotně silně nadnormální. Jako teplotně nadnormální byly označeny měsíce únor (+2,6 °C), duben (+1,5 °C), říjen (+1,4 °C) a prosinec (+2,8 °C). Srážkově byl rok 2019 na území ČR normální. Sedm měsíců v roce bylo hodnoceno jako srážkově normální. Duben, červen a červenec byly srážkově podnormální, a naopak srážkově nadnormální byly měsíce leden a květen.

V porovnání s dlouhodobým průměrem 2007–2018 se vyskytovaly v roce 2019 silně nadnormální rozptylové podmínky. V hodnocení za celé území České republiky se nepříznivé rozptylové podmínky vyskytovaly nejčastěji v lednu (10 %) a únoru (16 %). Naopak příznivé rozptylové podmínky se objevovaly po celou dobu dubna a července (100 %).

V roce 2019 byl maximální povolený počet překročení hodnoty denního imisního limitu PM<sub>10</sub> (50 µg/m<sup>3</sup>) překročen na 8 % stanic AIM (tj. 10 ze 120 stanic). Překročení



imisičního limitu se týkalo také stanic Olomouckého kraje. Nejvyšší počet překročení hodnoty imisičního limitu, v součtu pro všechny stanice, byl zaznamenán v únoru (ČHMÚ 2020).

### **Souhrnné hodnocení za roky 2016–2019**

V rámci porovnávání průměrných hodnot rozptylových podmínek za konkrétní roky 2016, 2017, 2018 a 2019 za celou Českou republiku se v roce 2017 nejčastěji vyskytovaly nepříznivé rozptylové podmínky. Naopak rok 2018 má ze zkoumaných let nejvyšší procentuální podíl příznivých rozptylových podmínek (více než 90 % doby). Obdobím s výrazně zhoršenými rozptylovými podmínkami za celé území České republiky je jednoznačně chladná sezona 2016/2017. Od října 2016 do března 2017 byl celkový podíl příznivých rozptylových podmínek nižší než 70 %. Ve dalších dvou chladných sezonách 2017/2018 a 2018/2019 byl celkový podíl příznivých rozptylových podmínek vždy vyšší než 80 %.

## 4 Metodika

Pro určení hodnot ventilačního indexu atmosféry v prostoru střední Moravy bylo potřeba získat datové výstupy z radiosondážních měření ode dne 1. ledna 2016 do 31. prosince 2019. Ty jsou v podobě textových výstupů jsou dostupné na webovém portálu University of Wyoming (2020). Pro potřeby této práce byly použity výstupy z radiosondážních měření prováděné na stanici v Prostějově (11747). Na zmíněné stanici se tato měření provádí dvakrát denně, vždy v 00 UTC a 12 UTC. Celkově se tedy jednalo o 2 922 textových výstupů, které bylo zapotřebí převést do tabulkového formátu Microsoft Excel.

### 11747 Prostejov Observations at 00Z 23 Mar 2019

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1004.0	216	4.6	2.9	89	4.72	320	2	277.4	290.5	278.2
1000.0	247	6.8	5.7	93	5.77	310	8	279.9	295.9	280.9
998.0	263	7.4	6.0	91	5.91	312	8	280.7	297.1	281.7
988.0	346	8.2	5.8	85	5.88	319	7	282.3	298.8	283.3
950.0	669	6.6	5.0	90	5.79	349	5	283.9	300.2	284.9
938.0	774	9.8	5.6	75	6.11	359	5	288.2	305.7	289.2
925.0	890	9.4	3.4	66	5.31	10	4	288.9	304.3	289.8
869.0	1406	5.8	0.9	71	4.72	352	4	290.4	304.2	291.2
850.0	1587	5.6	-3.4	52	3.52	345	4	292.0	302.5	292.6
825.0	1830	4.8	-5.9	46	3.00	55	10	293.6	302.8	294.2
813.0	1949	4.4	-7.1	43	2.77	30	14	294.4	302.9	294.9
763.0	2465	2.6	-12.4	32	1.94	16	11	297.9	304.1	298.3
744.0	2667	1.2	-13.5	32	1.83	10	10	298.6	304.4	298.9
736.0	2753	0.6	-13.9	33	1.78	20	10	298.8	304.5	299.2
700.0	3155	-2.1	-16.1	33	1.56	350	10	300.1	305.2	300.4
691.0	3257	-2.7	-19.2	27	1.22	340	12	300.6	304.6	300.8
682.0	3361	-3.3	-22.3	21	0.94	347	10	301.0	304.2	301.2
678.0	3407	-3.6	-22.1	22	0.97	350	10	301.2	304.4	301.3
665.0	3559	-4.8	-21.3	26	1.05	330	14	301.6	305.1	301.8
643.0	3822	-6.7	-20.0	34	1.22	345	14	302.2	306.3	302.5
628.0	4007	-8.1	-19.1	41	1.35	341	15	302.7	307.2	303.0
622.0	4081	-8.6	-20.4	38	1.23	340	16	303.0	307.1	303.2
583.0	4577	-12.1	-28.8	23	0.61	5	17	304.6	306.7	304.7
559.0	4899	-14.3	-34.3	17	0.38	357	20	305.6	307.0	305.7
552.0	4995	-14.3	-41.3	8	0.19	355	21	306.8	307.4	306.8
547.0	5064	-14.3	-46.3	5	0.11	348	19	307.6	308.0	307.6
534.0	5245	-15.0	-51.4	3	0.06	330	14	308.8	309.1	308.8
518.0	5475	-15.9	-57.9	1	0.03	3	11	310.4	310.6	310.4
512.0	5562	-16.7	-53.8	2	0.05	15	10	310.5	310.7	310.5
504.0	5680	-17.8	-48.1	5	0.10	0	10	310.6	311.0	310.6
500.0	5740	-18.3	-45.3	7	0.13	355	10	310.7	311.2	310.7

**Obr. 4** Ukázka textového výstupu dat z radiosondážního měření v Prostějově (zdroj: University of Wyoming 2020)

Ze série 2 922 aerologických výstupů bylo v 5 případech radiosondážní měření neúplné nebo se zcela chybějícími daty. Jedná se pouze o 0,17 % z celkové datové sady. V rámci radiosondáže je zjišťováno několik meteorologických parametrů, jak lze vidět na ukázce textového výstupu z 23. března 2019 (obr. 4). Do metodiky zvolené pro tuto práci vstupovaly hodnoty ze čtyř sloupců: parametr nadmořské výšky v metrech (HGHT), teploty vzduchu ve stupních Celsia (TEMP), rychlosti větru v uzlech (SKNT) a virtuální potenciální teploty v Kelvinech (THTV).

Aerologická stanice Prostějov, která provádí radiosondážní měření, leží v nadmořské výšce 216 m. Pro určení výšky nad terénem bylo zapotřebí od všech výškových hladin odečíst hodnotu 216 m.

Základem dalšího metodického postupu je článek Seidel et al. (2010). Metoda výpočtu výšky směšovací vrstvy pomocí virtuální potenciální teploty se má uplatňovat až nad přízemní vrstvou atmosféry, a to v případě, že se nevyskytuje přízemní inverze. Bylo tedy zapotřebí u každého aerologického profilu zjistit, zda se vyskytovala přízemní inverze do 100 m či nikoli. Teplotní inverze v atmosféře existuje, pokud vertikální gradient teploty vzduchu je záporný (Vysoudil 2013). V této práci se počítalo přesněji s hraniční hodnotou vertikálního teplotního gradientu  $-0,7 \text{ }^\circ\text{C}$  na 100 m, jelikož dle stabilitní klasifikace Bubníka a Koldovského (SYMOS'97, 1998) se běžné inverze a s tím spojené špatné rozptylové podmínky objevují právě v případech, kdy vertikální teplotní gradient je nižší než uvedených  $-0,7 \text{ }^\circ\text{C}$  na 100 m. Pokud byla v daném aerologickém profilu identifikována inverzní vrstva ve výšce do 100 m, tak výška směšovací vrstvy je definována po horní hranici této přízemní inverze. Emise ze zdrojů znečišťování se rozptylují pouze v rámci přízemní inverze vlivem rychlosti větru v ní. Pokud nebyla v daném aerologickém profilu identifikována přízemní inverze do výšky 100 m, pak se postupovalo hledáním hladiny nejvyššího vertikálního teplotního gradientu virtuální potenciální teploty ve vrstvě od 100 m do 4 000 m nad povrchem. Pro výpočet vertikálního teplotního gradientu ( $\gamma_{\theta_v}$ ) bylo zapotřebí znát mocnost jednotlivých vrstev ( $\Delta h$ ) a rozdíl virtuální potenciální teploty ( $\Delta\theta_v$ ) za jednotlivé vrstvy atmosféry, který je nutno násobit stem pro získání přepočtu na 100 m, jak je uvedeno i níže ve vzorci:

$$\gamma_{\theta_v} = \frac{\Delta\theta_v * 100}{\Delta h}$$

V případě takového aerologického profilu, kdy nebyla zjištěna přízemní inverze do výšky 100 m nad terénem, se pak jako výška směšovací vrstvy brala právě ta hladina atmosféry, ve které byl zjištěn nejvyšší vertikální teplotní gradient virtuální potenciální teploty s omezením od 100 m do 4 000 m nad terénem. Protože rychlost větru v textových výstupech dat z webu University of Wyoming je vyjádřena uzlech (tedy v námořních mílích za hodinu), bylo zapotřebí uvedené hodnoty převést na metry za sekundu. Rychlost větru o velikosti 1 uzel je rovna 1,852 km/h neboli 0,514 m/s. Výsledný ventilační index byl vypočten jako suma dílčích hodnot ventilačního indexu za jednotlivé vrstvy atmosféry po směšovací výšce, které jsou definované jako součin jejich mocnosti a rychlostí větru v každé nich (dle Pasch et al. 2011). Níže uvedený matematický vzorec představuje výsledný ventilační index:

$$VI = \sum_{i=10}^{i=MH} (h_i - h_{i-1}) * v_i$$

V 90 případech se vyskytla výška směšovací vrstvy pod hranicí 100 m, z celkové souboru dat to činí 3,1 %. V těchto případech byly zjištěny velmi nízké hodnoty ventilačního indexu, avšak odpovídá to situacím s přízemním superstabilním zvrstvením. Opačná situace, kdy směšovací výška sahala až k hranici 4 000 m nad terénem, nastala ve 4,4 % případů (130 případů). V těchto situacích docházelo k velmi silnému provětrávání atmosféry, což vyjadřují i abnormálně vysoké vypočtené hodnoty ventilačního indexu, hodnotu výšky směšovací vrstvy v těchto případech nebylo možné z virtuální potenciální teploty jednoznačně určit, pro vyjádření rozptylových podmínek při zemském povrchu je však postačující informace, že hodnota ventilačního indexu je extrémně vysoká (byla počítána z vrstvy do nanejvýš 4 000 m v souladu se Seidel et al. 2010).

Imisní situace prašného aerosolu je v této práci charakterizována denními průměrnými koncentracemi PM<sub>10</sub>. Koncentrace jemnější frakce PM<sub>2,5</sub> nebylo možné využít, jelikož na jedné z vybraných stanic imisního monitoringu, a to přímo v Prostějově, se měření této charakteristiky neprovádí. Data za celé zkoumané období 2016–2019 poskytlo pověřené oddělení Českého hydrometeorologického ústavu ISKO. V oblasti střední Moravy se nacházejí 4 stanice imisního monitoringu (Olomouc-Šmeralova, Olomouc-Hejčín, Prostějov a Přerov). Naměřené hodnoty za roky 2016–2018 jsou již definitivní, zatímco hodnoty z roku 2019 jsou operativní (k jejich definitivnímu ověření obvykle dochází k červnu následujícího kalendářního roku). V datové sadě se vyskytovaly

krátkodobé výpadky, které bylo vhodné doplnit v zájmu co nejsouvislejší analýzy. V tomto případě byla zvolena metoda doplnění chybějících údajů pomocí regresní závislosti s daty z blízké stanice s nejvyšší mírou regresní shody.

Při společném hodnocení ventilačního indexu a koncentrací prašného aerosolu zastoupeného denními průměrnými koncentracemi  $PM_{10}$  bylo třeba mít na zřeteli časový aspekt obou prvků. K hodnotě dané průměrné denní koncentrace  $PM_{10}$  se vážou hodnoty ventilačního indexu vždy z denního měření téhož dne a nočního měření následujícího kalendářního dne, jelikož průměrné denní koncentrace  $PM_{10}$  jsou vypočteny vždy z hodinových průměrů hodnot od 06.00 do 06.00 následujícího kalendářního dne. Pro zhodnocení koncentrací prašného aerosolu v oblasti střední Moravy byla zvolena tzv. průměrná oblastní koncentrace, vypočtená nejprve průměrem dvou olomouckých stanic, a poté aritmetickým průměrem těchto hodnot se zbývajících dvěma stanicemi v Prostějově a Přerově. Do dílčích analýz byl připojen i chod teploty vzduchu, odvozený z přízemní hodnoty teploty u jednotlivých aerologických měření, která probíhají vždy dvakrát denně. Pro potřeby společných grafických vizualizací ventilačního indexu, teploty vzduchu a imisí  $PM_{10}$  byly hodnoty ventilačního indexu vyjádřeny do grafů ve stovkách  $m^2/s$ .

Grafické vizualizace, a stejně tak i závěrečné regresní závislosti byly vytvořeny s použitím programu Microsoft Excel. Pro tvorbu ilustrační mapy byl využit program ArcMap 10.1 s podklady z Geoportálu Cenia, ČÚZK a ArcČR 500.

## 5 Výsledky

### 5.1 Rozptylové podmínky v oblasti střední Moravy v letech 2016–2019

Rozptylové podmínky byly hodnoceny pro oblast střední Moravy za roky 2016–2019 pomocí hodnot ventilačního indexu vypočtených z radiosondáží, k čemuž bylo nutné zjistit i výšku směšovací vrstvy. Výsledky ventilačního indexu byly klasifikovány podle stupnice ČHMÚ (viz. kapitola 3.4.1). Ventilační index byl vypočten z aerologických profilů ze stanice v Prostějově a jeho hodnoty jsou vztaženy na celé sledované území.

**Tab. 1** Zastoupení kategorií rozptylových podmínek v oblasti střední Moravy za období 2016–2019

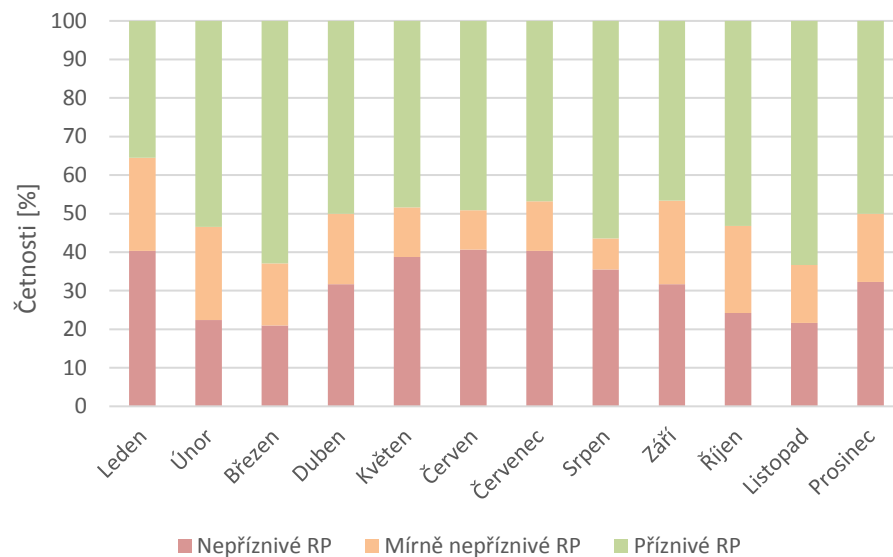
Rok	Počet profilů	Příznivé RP (abs.)	Mírně nepříznivé RP (abs.)	Nepříznivé RP (abs.)	Příznivé RP (%)	Mírně nepříznivé RP (%)	Nepříznivé RP (%)
2016	731	375	124	232	51,3	17,0	31,7
2017	728	374	122	232	51,4	16,7	31,9
2018	729	379	128	222	52,0	17,6	30,4
2019	729	369	122	238	50,6	16,7	32,7

Zdroj: vlastní zpracování.

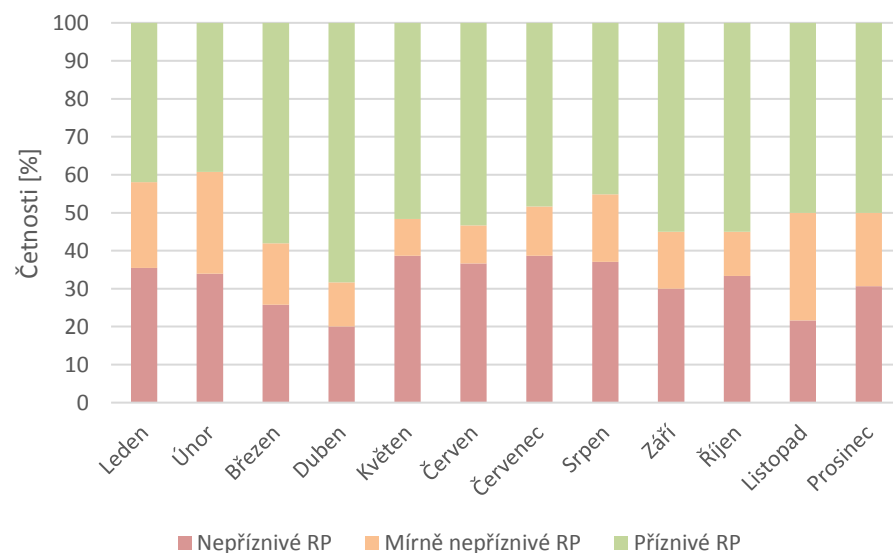
Obecnou strukturu rozptylových podmínek v oblasti střední Moravy za všechny čtyři sledované roky představuje tabulka 1. Počet profilů se za jednotlivé roky liší z důvodu přestupného roku 2016, a také z důvodu několika výpadků aerologického měření. Tabulka obsahuje, jak přesný počet případů za všechny tři kategorie rozptylových podmínek, tak i jejich procentuální poměr. Pokud by se měly zhodnotit jednotlivé roky, tak nejlépe z hlediska rozptylových podmínek na tom byl rok 2018, ve kterém se příznivé rozptylové podmínky objevovaly v 52,0 % případů. Naopak nejhorší situaci vykazuje rok 2019, ve kterém se příznivé rozptylové podmínky objevovaly v 50,6 %

případů a 32,7 % případů se jednalo o nepříznivé rozptylové podmínky. Roky 2016 a 2017 vykazují velmi podobné hodnoty.

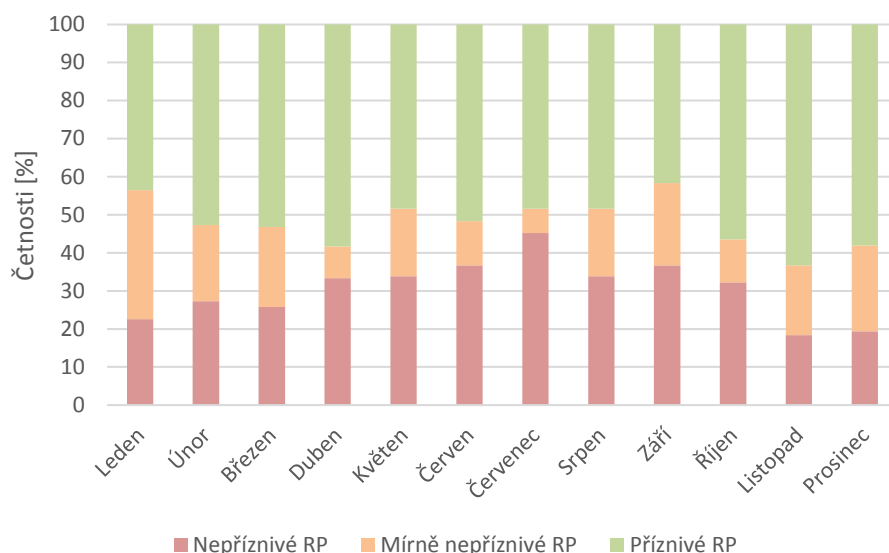
V následujících čtyřech grafech je struktura rozptylových podmínek za jednotlivé roky ukázána podrobněji, jelikož představují četnosti výskytu rozptylových podmínek v jednotlivých měsících u každého sledovaného roku zvlášť.



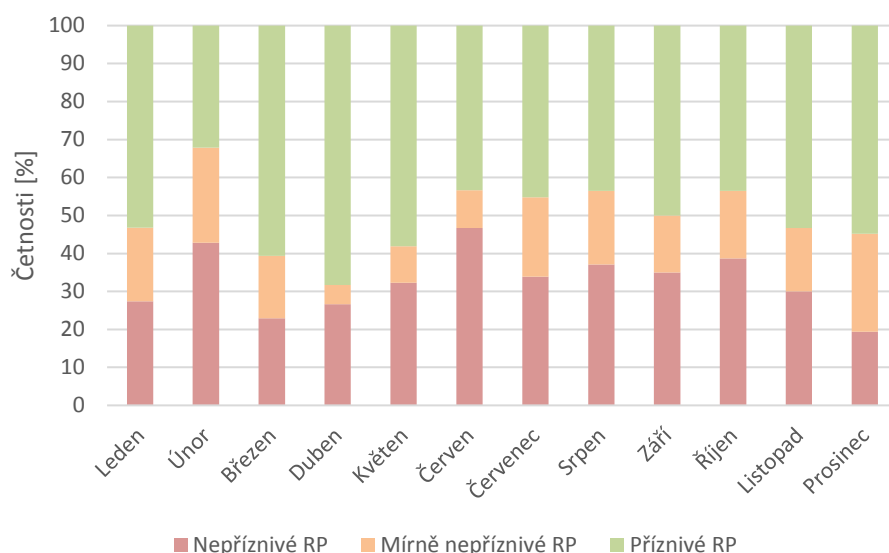
**Obr. 5** Četnosti výskytu rozptylových podmínek v jednotlivých měsících roku 2016 (vlastní zpracování).



**Obr. 6** Četnosti výskytu rozptylových podmínek v jednotlivých měsících roku 2017 (vlastní zpracování).



**Obr. 7** Četnosti výskytu rozptylových podmínek v jednotlivých měsících roku 2018 (vlastní zpracování).



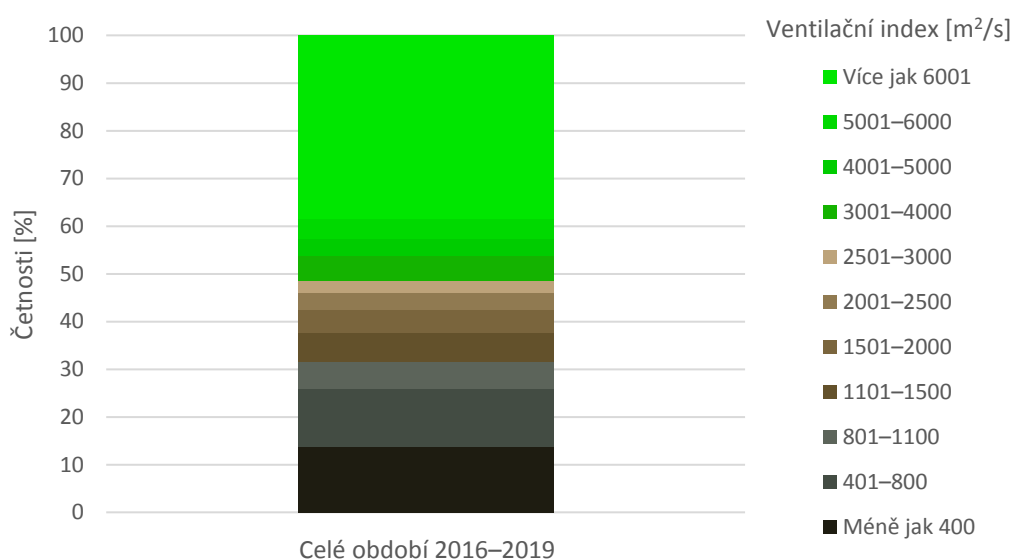
**Obr. 8** Četnosti výskytu rozptylových podmínek v jednotlivých měsících roku 2019 (vlastní zpracování).

Z obrázků 5–8 je patrné, že lepších rozptylových podmínek se dostává v jarním a podzimním období, oproti tomu v letním a zimním období je situace více či méně zhoršena. Největší procento příznivých rozptylových podmínek vykazují obecně měsíce březen a duben. Především roce 2019 jsou hodnoty příznivých rozptylových podmínek v těchto dvou měsících větší než 60,0 %. Stejně tomu bylo i v případě března 2016 a dubna 2017, kdy obě dvě hodnoty u příznivých rozptylových podmínek jsou vyšší než 60,0 %. Z podzimních měsíců je na tom v ohledu rozptylových podmínek nejlépe



listopad, dokonce v roce 2016 a 2018 byl poměr výskytu příznivých rozptylových podmínek také větší než 60,0 %.

Nejméně početnou kategorií rozptylových podmínek za roky 2016–2019 je ta s tzv. *mírně zhoršenými rozptylovými podmínkami*. Jak je vidět z obrázků 5–8, tak v letním období je procentuální poměr této kategorie nejnižší (hodnoty se obecně pohybují okolo 10 %), a naopak v zimním období je výskyt rozptylových podmínek v této kategorii dvojnásobně velký.

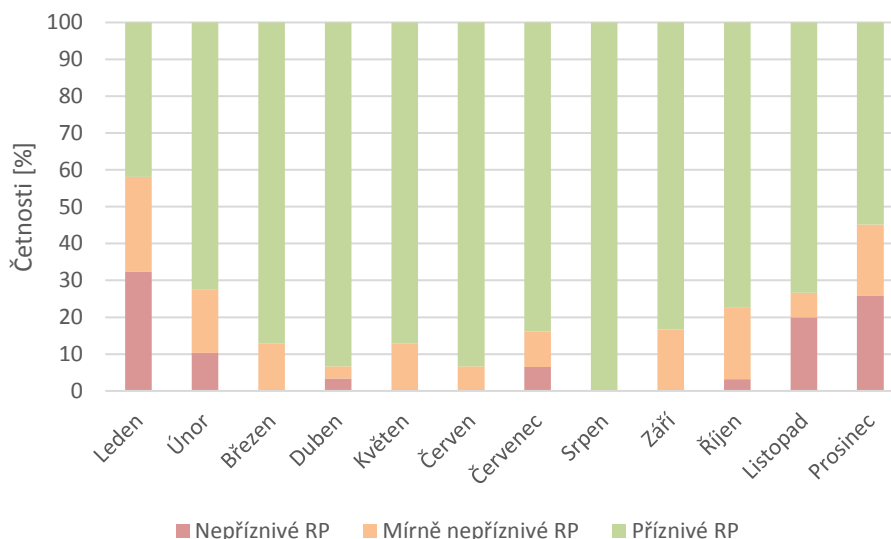


**Obr. 9** Četnosti klasifikace ventilačního indexu pro oblast střední Moravy za celé zkoumané období podle stupnice modelu ALADIN (vlastní zpracování).

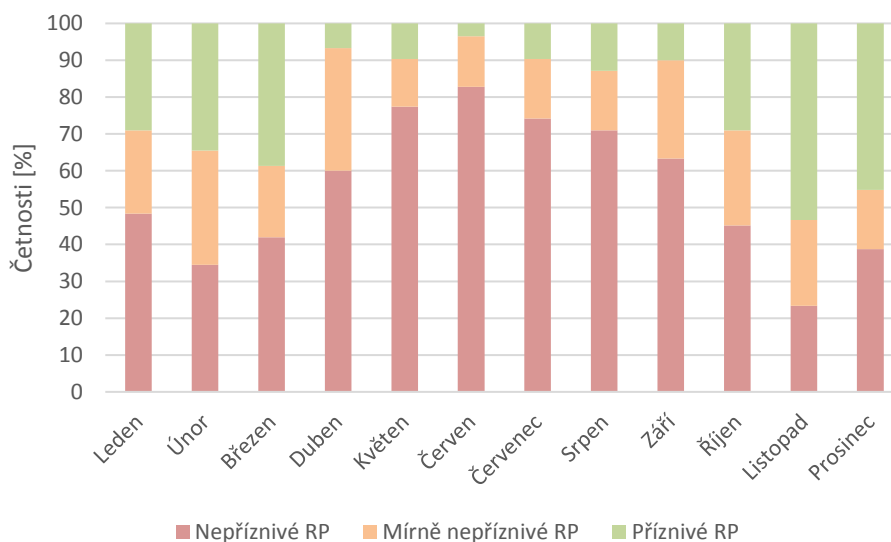
Jiný pohled na strukturu rozptylových podmínek v oblasti střední Moravy za roky 2016–2019 dává obrázek 9, ve kterém jsou ukázány četnosti jednotlivých kategorií ventilačního indexu podle barevné stupnice modelu ALADIN. Stejně jako v předchozích grafech i zde je patrné rozdělení na tzv. *nepříznivé, mírně nepříznivé a příznivé* rozptylové podmínky dle klasifikace ČHMÚ (viz. kapitola 3.4.1). V tomto případě je struktura dělení jemnější. Největší procento četnosti je v případě hodnot ventilačního indexu většího než 6 001 m<sup>2</sup>/s. To jsou případy, kdy se vyskytovaly opravdu dobré rozptylové podmínky v důsledku vyšší hladiny směšovací vrstvy a vysokého provětrávání atmosféry. Naopak druhým nejčetnějším je interval hodnot ventilačního indexu nižšího jak 400 m<sup>2</sup>/s. V tomto intervalu jsou reprezentovány právě ty případy, kdy výška směšovací vrstvy dosahovala pouze několika desítek až stovek metrů, a spolu s tím se vyskytovaly nepříznivé meteorologické podmínky (např. přízemní radiační inverze, bezvětří atd.).

### 5.1.1 Porovnání rozptylových podmínek z denních a nočních profilů

V této kapitole se zkoumají rozptylové podmínky zjištěné z aerologických profilů měřených v Prostějově vždy ve 12.00 UTC a v 00.00 UTC odděleně. Vzniká tím tedy charakteristika denních rozptylových podmínek a těch nočních. Rozptylové podmínky jsou hodnoceny na základě hodnot ventilačního indexu a jeho klasifikace je zmíněna v kapitole 3.4.1.

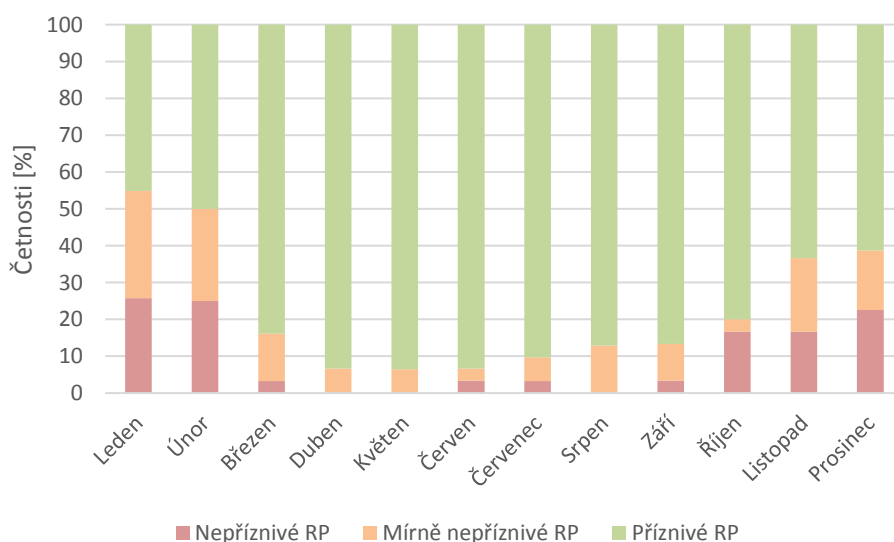


**Obr. 10** Četnosti výskytu denních rozptylových podmínek za jednotlivé měsíce roku 2016 (vlastní zpracování).

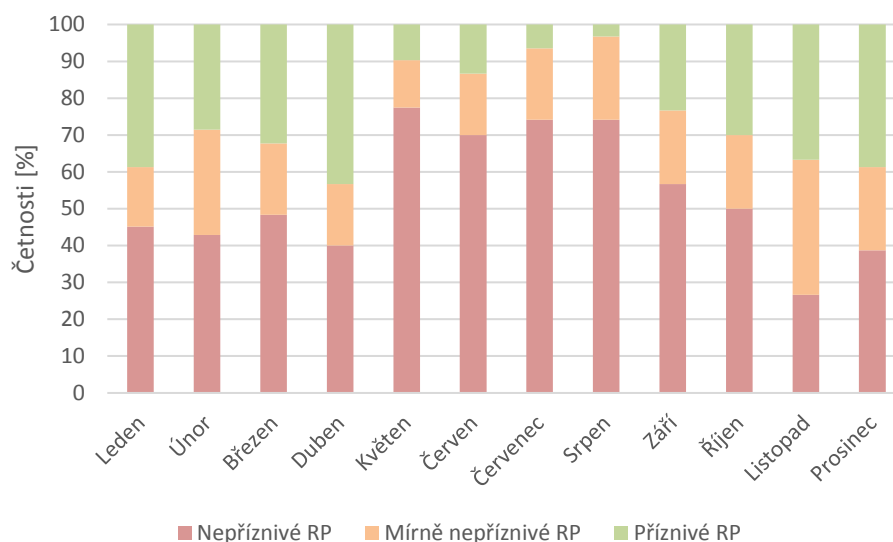


**Obr. 11** Četnosti výskytu nočních rozptylových podmínek za jednotlivé měsíce roku 2016 (vlastní zpracování 2020).

Obrázky 10 a 11 navzájem porovnávají rozptylové podmínky za jednotlivé měsíce roku 2016, a to vždy z denních aerologických profilů a nočních aerologických profilů. V případě měsíců ledna a prosince není rozdíl v poměrovém složení rozptylových podmínek příliš značný. Naopak ve všech zbylých měsících roku 2016 je jasně patrný rozdíl mezi denními a nočními měřeními. Nejvýraznější změna je v případě měsíce srpna, jelikož ve 100 % případů denních rozptylových podmínek se jednalo o příznivé rozptylové podmínky, zatímco v těch nočních se příznivé rozptylové podmínky vyskytovaly pouze v necelých 13,0 %. Březen, květen, červen a září jsou také měsíce, které během dne nevykazovaly žádné případy s nepříznivými rozptylovými podmínkami, objevovaly se pouze případy, které patří do kategorie mírně nepříznivých rozptylových podmínek. Nejčtenější měsíc na nepříznivé rozptylové podmínky roku 2016 je červen s hodnotou 82,8 % (obr. 11). V tomto případě roku 2016 je u nočních rozptylových podmínek patrný pozvolný četnostní nárůst u nepříznivých rozptylových podmínek s počátkem v měsíci únoru, kdy v červnu byla procentuální hodnota nepříznivých rozptylových podmínek největší z celého roku, a poté mírně každý měsíc ubývalo případů s nepříznivými rozptylovými podmínkami, až po měsíc listopad.

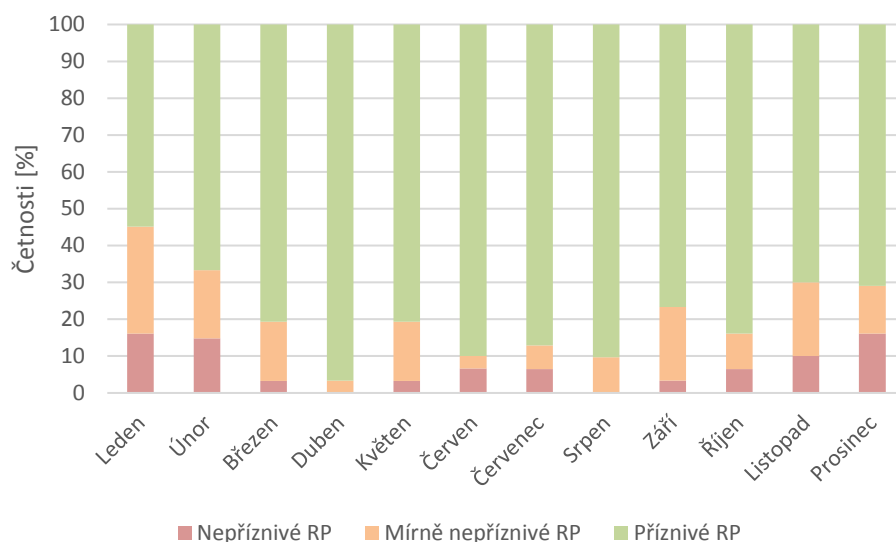


**Obr. 12** Četnosti výskytu denních rozptylových podmínek za jednotlivé měsíce roku 2017 (vlastní zpracování).

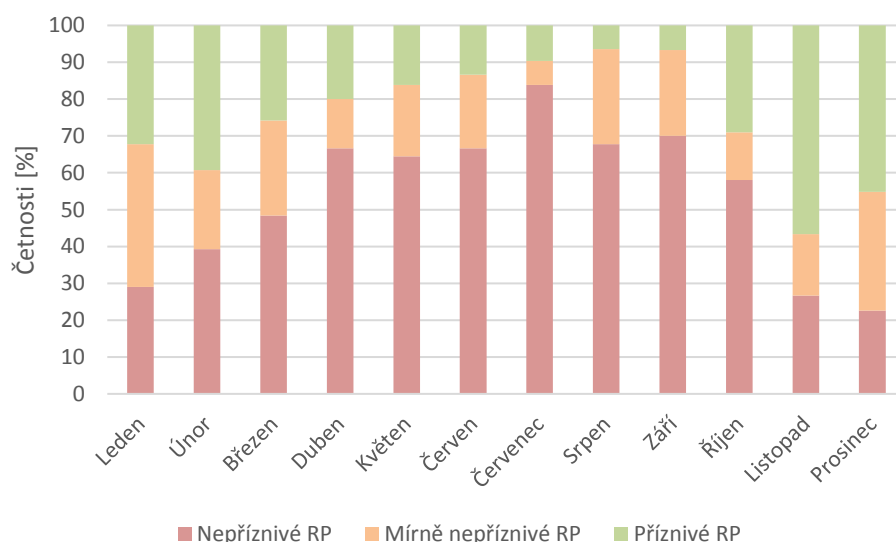


**Obr. 13** Četnosti výskytu nočních rozptylových podmínek za jednotlivé měsíce roku 2017 (vlastní zpracování).

Porovnání denních a nočních rozptylových podmínek za jednotlivé měsíce roku 2017 ukazují obrázky 12 a 13. V případě denních rozptylových podmínek docházelo od počátku roku k postupnému nabývání případů příznivých rozptylových podmínek s vrcholem v měsících duben, květen a červen, kdy příznivým rozptylovým podmínkám odpovídalo vždy více jak 93,0 % případů, poté se až do konce roku procentuální podíl příznivých rozptylových podmínek snižuje. Tuto křivku kupodivu inverzně nekopíruje stav nočních rozptylových podmínek v roce 2017, jelikož v prvních čtyřech měsících tohoto roku poměrové rozložení rozptylových podmínek je velmi podobné a bez výrazných změn. V následující čtveřici měsíců od května do srpna v případě nočních rozptylových podmínek je výrazně vyšší podíl nepříznivých rozptylových podmínek oproti těm příznivým, ale opět rozdíly mezi jednotlivými měsíci jsou minimální. Od září u nočních rozptylových podmínek dochází opět k nárůstu případů s příznivými rozptylovými podmínkami, avšak stále z hlediska celkového poměru nepřevyšují svým počtem nepříznivé rozptylové podmínky.



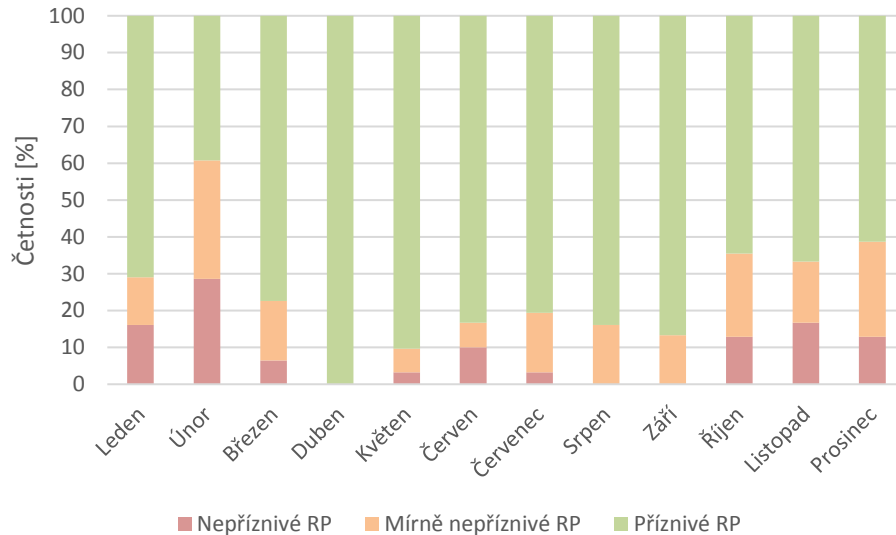
**Obr. 14** Četnosti výskytu denních rozptylových podmínek za jednotlivé měsíce roku 2018 (vlastní zpracování).



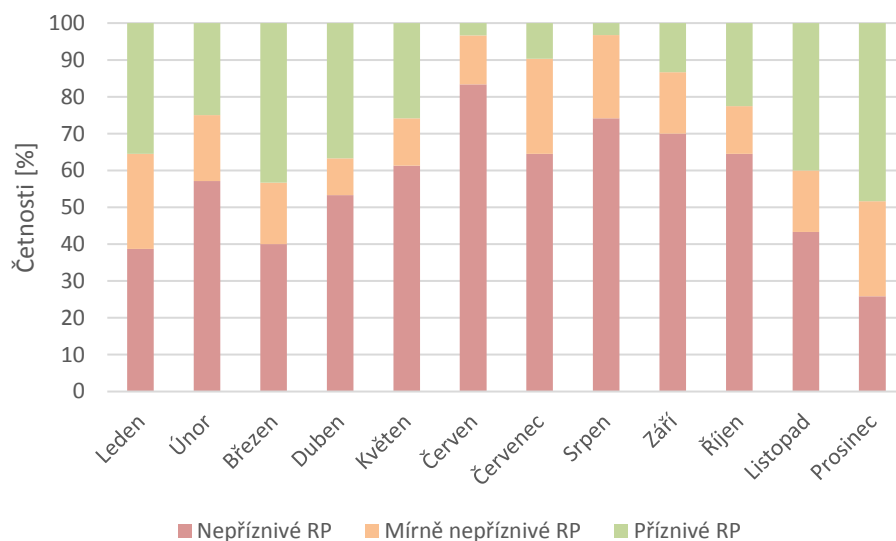
**Obr. 15** Četnosti výskytu nočních rozptylových podmínek za jednotlivé měsíce roku 2018 (vlastní zpracování).

Obrázky 14 a 15 ukazují četnosti výskytu rozptylových podmínek v denních a nočních případech roku 2018 za jednotlivé měsíce. V rámci denních rozptylových podmínek největší procento příznivých rozptylových podmínek vykazuje měsíc duben, a poté pak srpen. V těchto dvou měsících v denních rozptylových podmínkách se ani neobjevily žádné případy s nepříznivými rozptylovými podmínkami. Oproti ostatním rokům se květen 2018 v denních případech vymyká trendu výskytu příznivých rozptylových podmínek v přibližně 90,0 % případů, ale jsou zde zastoupeny pouze v 80,6 % případů. V případě nočních rozptylových podmínek roku 2018 je největší procento případů s nepříznivými rozptylovými podmínkami v měsíci červenci, jeho hodnota odpovídá

83,9 % případů. Zajímavý je i listopad v nočních rozptylových podmínkách, jelikož podíl příznivých rozptylových podmínek je za tento měsíc více jak 50 %, přesněji se jedná o hodnotu 56,7 % případů příznivých rozptylových podmínek.



**Obr. 16** Četnosti výskytu denních rozptylových podmínek za jednotlivé měsíce roku 2019 (vlastní zpracování).

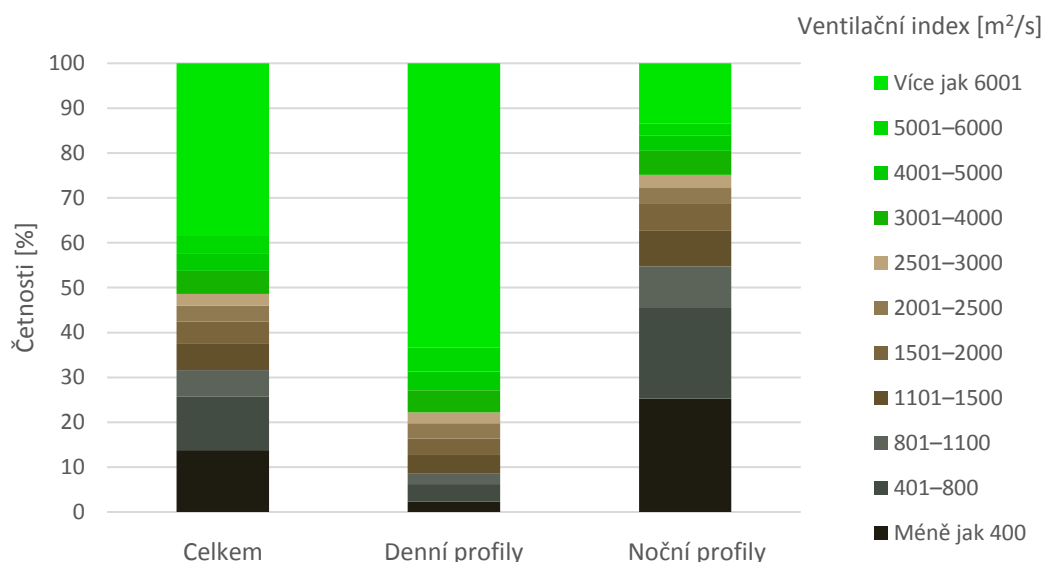


**Obr. 17** Četnosti výskytu nočních rozptylových podmínek za jednotlivé měsíce roku 2019 (vlastní zpracování).

Četnosti výskytu denních a nočních rozptylových podmínek za jednotlivé měsíce roku 2019 představují obrázky 16 a 17. V případě obrázku 16, kde jsou zobrazeny denní rozptylové podmínky, není jasně rozpoznatelný trend pomyslné hladké křivky vývoji příznivých rozptylových podmínek, jako tomu bylo v předchozích letech. Vymyká se především měsíc leden a měsíc únor, a to v případě jak těch denních, tak i nočních

rozptylových podmínek. U obrázku 16 je hodnota četností lednových příznivých rozptylových podmínek neobvykle vysoká, a naopak hodnota únorových četností příznivých rozptylových podmínek neobvykle nízká. Měsíc duben v denních případech vykazuje ve 100 % případů příznivé rozptylové podmínky. V případě nočních rozptylových podmínek je třeba si všimnout hodnoty četností nepříznivých rozptylových podmínek v měsíci únoru, jelikož hodnota 57,1 % je nejvyšší ze všech čtyř sledovaných únorů. Naopak měsíc červenec roku 2019 vykazuje nejnižší podíl nepříznivých rozptylových podmínek, a to pouze 64,5 %, oproti červenci v jiných zkoumaných letech (obr. 17).

Obecně lze shrnout, že rozdíl v rozptylových podmínkách počítaných z denních a nočních aerologických profilů je velmi výrazný. Zatímco v denních případech procento příznivých rozptylových podmínek během celého období čtyř let značně převyšuje procentuální hodnotu nepříznivých podmínek, tak v nočních případech je tomu přesně naopak, takže mnohem čtenější je výskyt nepříznivých rozptylových podmínek než těch příznivých, a to ve většině případů bez ohledu na roční období. Největší rozdíly mezi denním a nočním stavem rozptylových podmínek je jednoznačně během letních měsíců. To je způsobeno především nočními teplotními inverzemi vzduchu, kdy se v létě typicky vyskytují přízemní radiační inverze teploty.



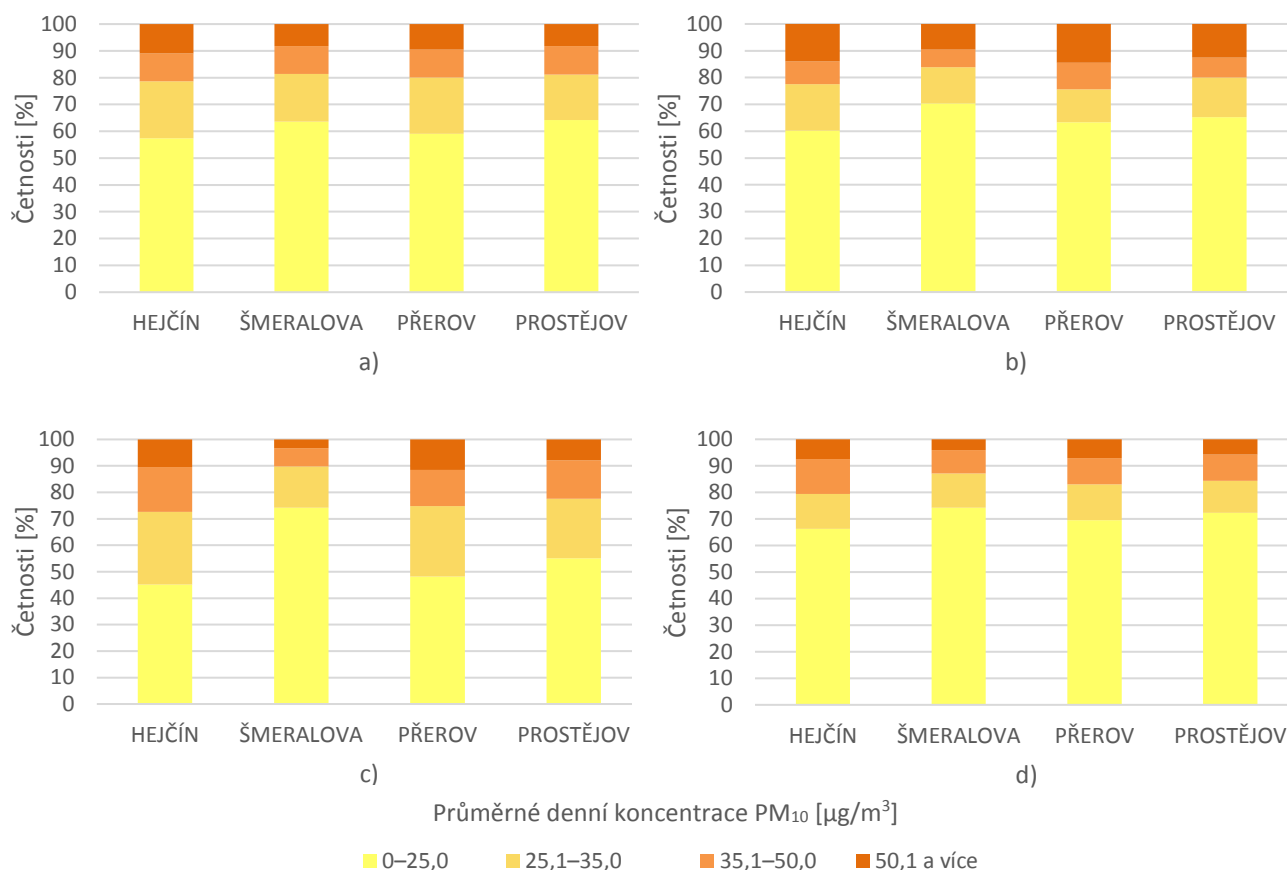
**Obr. 18** Porovnání četností klasifikace ventilačního indexu pro oblast střední Moravy za celé zkoumané období 2016–2019 podle stupnice modelu ALADIN (vlastní zpracování).

Odlišný charakter denních a nočních rozptylových podmínek ze zkoumané oblasti střední Moravy za období 2016–2019 je patrný i z obrázku 18, kde se porovnávají procentuální četnosti jednotlivých kategorií ventilačního indexu dle stupnice modelu ALADIN. V levém sloupci jsou započteny veškeré aerologické profily z let 2016–2019, v prostředním sloupci jsou zobrazeny pouze denní aerologické profily z let 2016–2019 a v pravém sloupci jsou zobrazeny veškeré noční aerologické profily z let 2016–2019. Potvrzuje se zde rozložení patrné z již předešlých grafů, tedy že rozptylové podmínky zjištěné z denních měření jsou zastoupeny převážně vyššími hodnotami ventilačního indexu, a naopak noční rozptylové podmínky jsou ve většině případů nepříznivé s nízkými hodnotami ventilačního indexu. Samozřejmě lze tyto četnosti interpretovat i pomocí klasifikace rozptylových podmínek od ČHMÚ. U denních profilů je rozložení následující: nepříznivé RP (8,6 %), mírně nepříznivé RP (13,6 %), příznivé RP (77,8 %). U nočních profilů je takovéto rozložení: nepříznivé RP (54,7 %), mírně nepříznivé RP (20,5 %), příznivé RP (24,8 %).

## **5.2 Imisní koncentrace škodlivin PM<sub>10</sub> v oblasti střední Moravy v letech 2016–2019**

Představu o imisní situaci prašného aerosolu v prostředí střední Moravy v letech 2016 až 2019 podává série grafů obsažená v této kapitole. Imise PM<sub>10</sub> jsou hodnoceny z průměrných denních koncentrací. Zvolené intervaly legend grafů odpovídají dolní (LAT) a horní (UAT) mezi pro posuzování dle vyhlášky 330/2012 Sb. a 24hodinového imisního limitu pro PM<sub>10</sub> podle zákona 201/2012 Sb. Ve sledovaném území střední Moravy se nacházejí čtyři stanice automatizovaného imisního monitoringu zahrnuté do Státní sítě imisního monitoringu. Jsou jimi požad'ové stanice Olomouc-Hejčín, Olomouc-Šmeralova, stanice Přerov a stanice v Prostějově.





**Obr. 19** Rozložení četností koncentrací PM<sub>10</sub> na vybraných stanicích imisního monitoringu v roce 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).

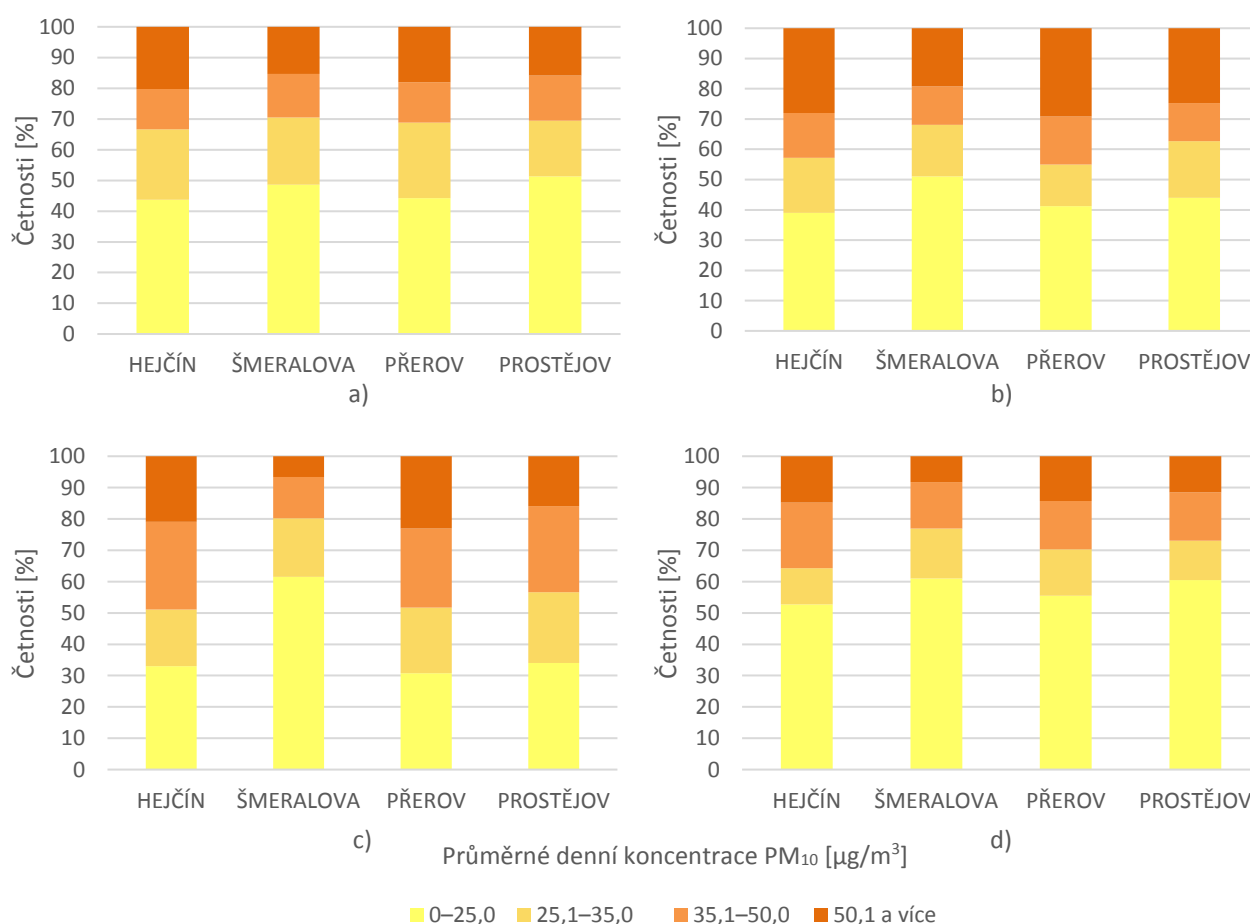
Jak lze vidět na obrázku 19, koncentrace prašného aerosolu v jednotlivých letech se výrazně liší. Rozdíl v četnostech koncentrací PM<sub>10</sub> je patrný i mezi jednotlivými stanicemi imisního monitoringu. V roce 2016 (a) bylo rozložení četností koncentrací na všech čtyřech stanicích velmi podobné. Koncentrace do 25,0 µg/m<sup>3</sup> se vyskytovaly téměř na každé stanici v 60 % případů. V roce 2017 (b) se nejnižší koncentrace PM<sub>10</sub> vyskytovaly v nejvíce případů na stanici Šmeralova, a to přesně v 70,4 % případů. Zbylé stanice vykazují velmi si podobné hodnoty četností ve všech kategoriích. Výraznější rozdíly mezi stanicemi se objevily v roce 2018 (c). Počet případů koncentrací nižších jak 25,0 µg/m<sup>3</sup> se snížil na všech sledovaných stanicích o 10–15 % s výjimkou stanice Olomouc-Šmeralova, na které se nejnižší průměrné denní koncentrace PM<sub>10</sub> vyskytovaly v 74,2 % případů. V roce 2019 (d) byl počet případů koncentrací PM<sub>10</sub> v nejnižší kategorii nejvýraznější, jelikož na všech stanicích se četnosti pohybovaly okolo 70 %.

Kategorie s nadlimitními průměrnými denními koncentracemi byla téměř ve všech letech četnostně nejslabší. Výjimkou byl rok 2017 (b), kde se případy koncentrací

vyšších jak  $50,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vyskytovaly ve více jak 10 % případů na stanicích Olomouc-Hejčín (14,0 %), Přerov (14,5 %) a Prostějov (12,6 %). Mimo rok 2017 se koncentrace v intervalu  $50,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a více vyskytovaly ve třech případech vyšších jak 10 %, a to v roce 2016 na stanici Olomouc-Hejčín (10,9 %) a v roce 2018 opět na stanici Olomouc-Hejčín (10,4 %) a na stanici v Přerově (11,5 %).

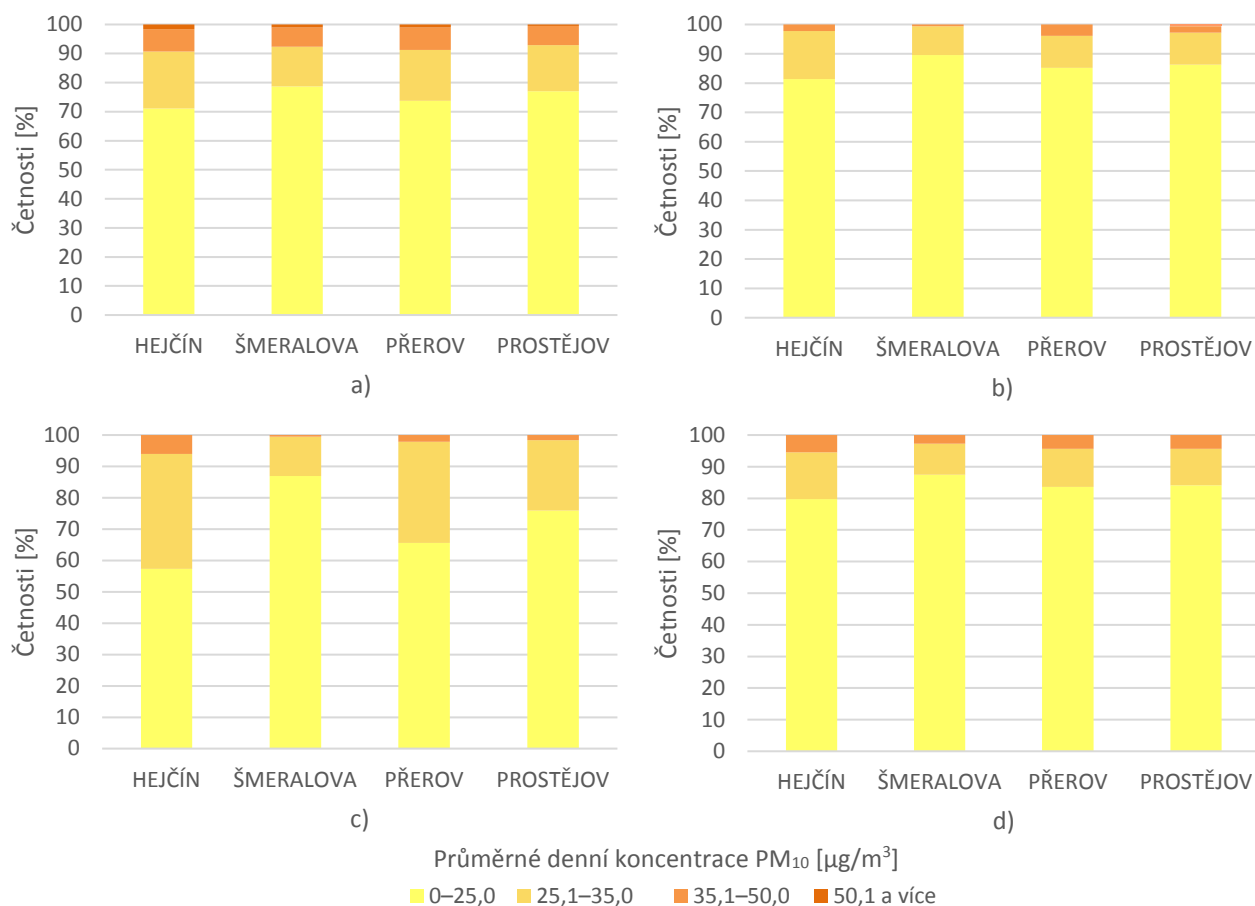
### 5.2.1 Imisní situace v chladných a teplých měsících sledovaného období

Další z metod pro zhodnocení imisních koncentrací  $\text{PM}_{10}$  v prostoru střední Moravy bylo porovnávání chladných půlroků a teplých půlroků za sledované období 2016–2019 zvlášť. Do chladného půlroku byly vždy zařazeny měsíce leden–březen a říjen–prosinec daného roku. Do teplého půlroku byly vybrány měsíce duben–září, vždy za konkrétní rok. Toto hodnocení bylo použito pro všechny čtyři vybrané stanice v oblasti střední Moravy.



**Obr. 20** Rozložení četností koncentrací  $\text{PM}_{10}$  na vybraných stanicích imisního monitoringu v chladném půlroce 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).

Porovnání četností koncentrací PM<sub>10</sub> za měsíce chladných půlroků 2016–2019 představuje obrázek 20, ve kterém jsou zobrazeny všechny čtyři vybrané stanice imisního monitoringu. V chladném půlroce 2016 (a) nejsou příliš výrazné rozdíly v rozložení četností mezi jednotlivými stanicemi. Množství případů v intervalu do 25,0 µg/m<sup>3</sup> je pouze u stanice v Prostějově vyšší jak 50 % (přesně 51,4 %). Největší zastoupení případů v kategorii 50,1 µg/m<sup>3</sup> a více se vyskytuje na stanici Olomouc-Hejčín, kde se vykytují ve 20,2 % případů. V chladném půlroce 2017 (b), oproti chladnému půlroku 2016, na všech stanicích výrazně přibylo množství případů v nadlimitní kategorii, tedy u hodnot 50,1 µg/m<sup>3</sup> a více. Na stanici v Přerově je zastoupení této kategorie až 21,9 %. V chladném půlroce 2018 (c) se objevují výraznější rozdíly mezi stanicemi. Stanice Olomouc-Šmeralova v tomto chladném půlroce dosahuje rekordních 61,5 % případů v intervalu s nejnižšími koncentracemi PM<sub>10</sub> (25,0 µg/m<sup>3</sup> a méně), zatímco u ostatních stanic se vykazují nejnižší četnosti (např. stanice Přerov pouze 30,8 %) v tomto intervalu ve srovnání s ostatními chladnými půlroky ze sledovaného období. V chladném půlroce 2019 (d) celkově přibylo případů s koncentracemi PM<sub>10</sub> do výše 25,0 µg/m<sup>3</sup>, a zároveň výrazně ubylo případů s nadlimitními koncentracemi. Největší četnosti v intervalu 50,1 µg/m<sup>3</sup> a více dosahuje stanice Olomouc-Hejčín 14,8 % v chladném půlroce 2019.



**Obr. 21** Rozložení četností koncentrací PM<sub>10</sub> na vybraných stanicích imisního monitoringu v teplém půlroce 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).

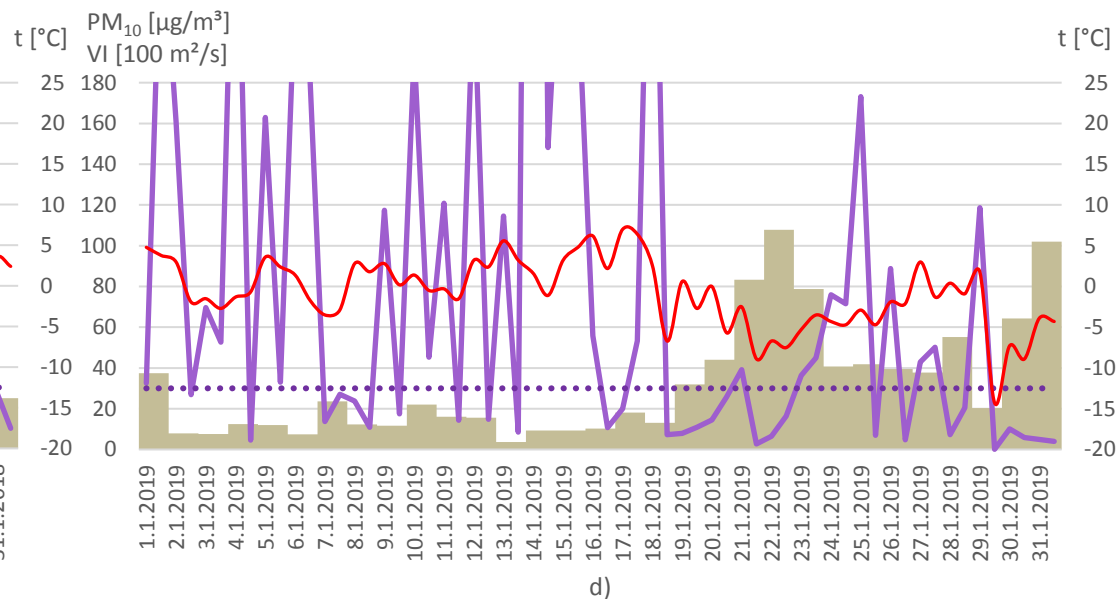
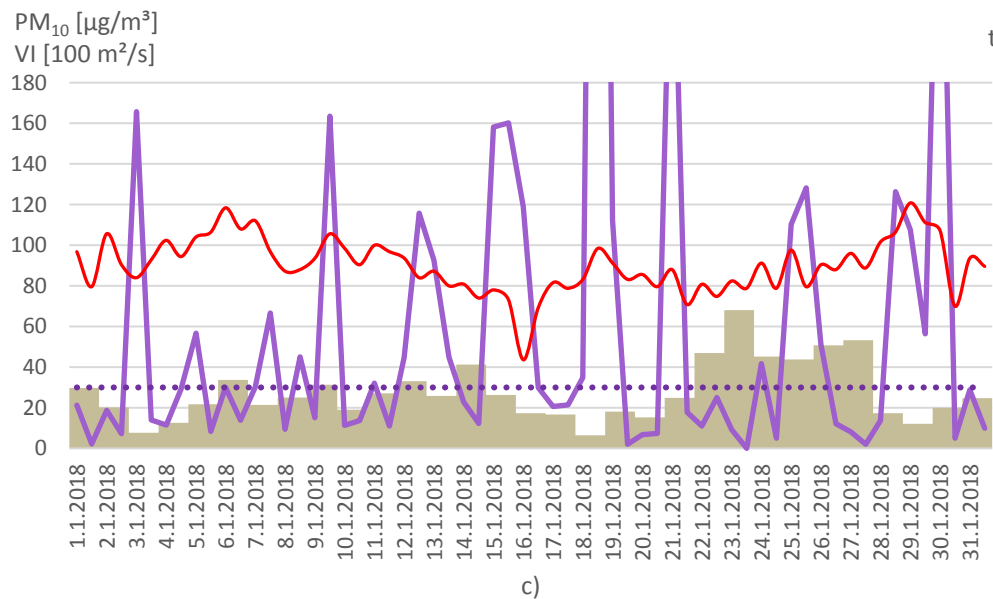
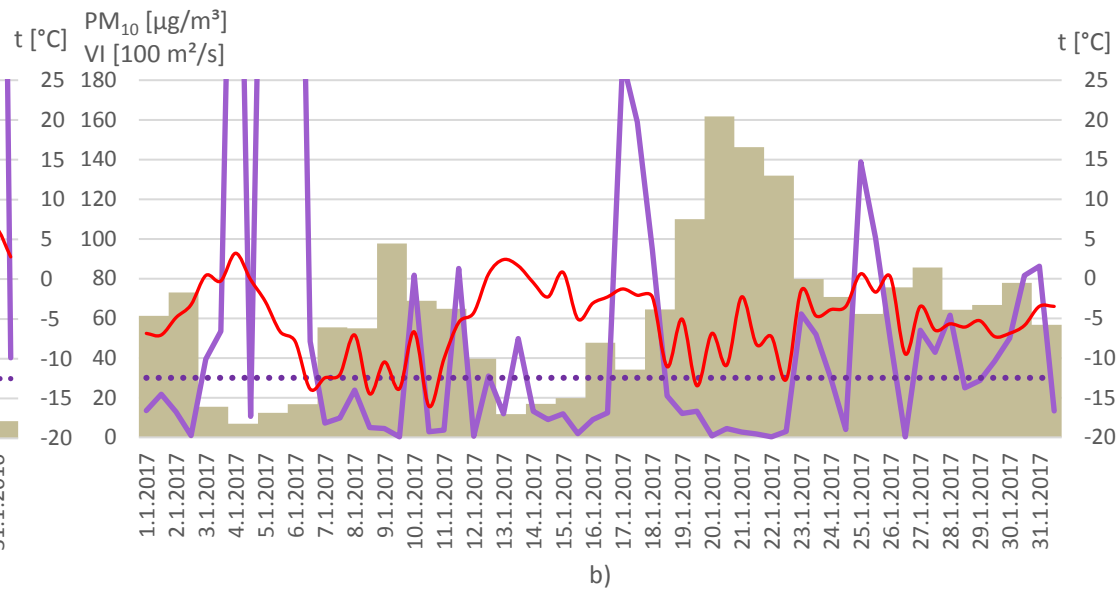
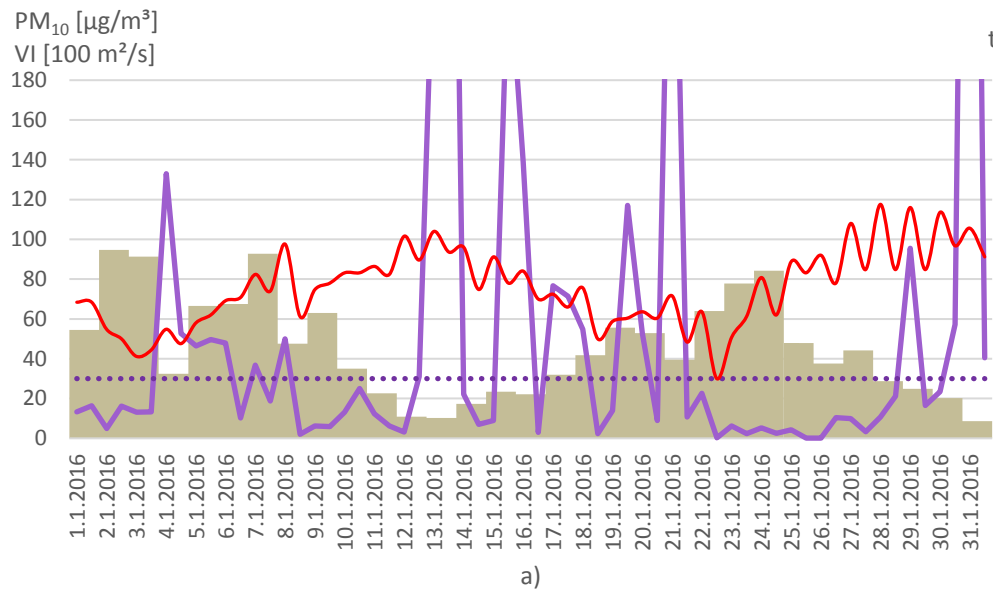
Koncentrace PM<sub>10</sub> za teplé půlroky 2016–2019 jsou zhodnoceny v obrázku 21. V teplém půlroce 2016 (a) se mimo vysoké četnosti u nejnižších koncentrací vyskytovaly jako v jediném i případy z kategorie 50,1 µg/m<sup>3</sup> a více. Hodnoty jsou velice nízké, na žádné ze znázorněných stanic nepřesahují 2 %, ale v ostatních teplých půlrocích sledovaného období se již nevyskytl ani jeden případ průměrné denní koncentrace přesahující hodnotu 50,1 µg/m<sup>3</sup>. V teplém půlroce 2017 (b) se na stanici Olomouc-Šmeralova vyskytlo nejvíce případů denních koncentrací nižších jak 25,0 µg/m<sup>3</sup>, konkrétně se jedná o 89,6 %, což je jednoznačně nejvíce za celé sledované období. Nejvíce případů koncentrací v rozmezí 25,1–35,0 µg/m<sup>3</sup> bylo v teplém půlroce 2018 (c). Na stanici Olomouc-Hejčín se jednalo dokonce až o 36,6 % případů. V teplém půlroce 2019 (d) se opět výrazně zvýšil počet případů koncentrací do 25,0 µg/m<sup>3</sup>. Nejvyšší četnost případů v intervalu 0–25,0 µg/m<sup>3</sup>, 87,4 %, se vyskytla u stanice Olomouc-Šmeralova.

Denní průměrné koncentrace  $PM_{10}$  v chladných měsících jsou oproti průměrům za celé roky výrazně vyšší. Dokazují to vyšší četnosti v intervalu  $50,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a více, a zároveň nižší četnosti v intervalu do  $25,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Teplé měsíce obecně vykazují naopak nadprůměrný počet případů průměrných denních koncentrací  $PM_{10}$  nižších jak  $25,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Zároveň se v průběhu teplých měsíců nevyskytují, anebo jen velmi omezeně, případy denních průměrných koncentrací  $PM_{10}$  vyšších jak  $50,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Z celkového hodnocení nejvyšší počet nízkých koncentrací  $PM_{10}$  vykazuje v průběhu sledovaného období 2016–2019 jednoznačně stanice Olomouc-Šmeralova. Druhou stanicí co do počtu nejnižších denních průměrných koncentrací  $PM_{10}$  je stanice v Prostějově. Na stanici v Přerově se oproti dvou předešlým vyskytuje více případů se zvýšenými průměrnými denními koncentracemi  $PM_{10}$  a na stanici Olomouc-Hejčín je situace z let 2016–2019 nejhorší.

### **5.3 Koncentrace $PM_{10}$ a ventilační index v oblasti střední Moravy v letech 2016–2019**

Chod denní průměrné oblastní koncentrace  $PM_{10}$  a hodnoty ventilačního indexu v oblasti střední Moravy v letech 2016–2019 jsou znázorněny a popsány v následující kapitole. Jako doprovodný ukazatel zde byla doplněna teplota vzduchu. Porovnávány jsou vždy stejné měsíce za všechny roky z období 2016–2019. V grafu je vždy vedena i tečkovaná linie znázorňující hranici příznivých rozptylových podmínek, která odpovídá hodnotě  $3\,000 \text{ m}^2/\text{s}$  ventilačního indexu.

Na obrázku 22 lze vidět vývoj ventilačního indexu a průměrné denní oblastní koncentrace  $PM_{10}$  vždy za měsíc **leden** daného roku. V lednu 2016 (a) se hned z počátku měsíce vyskytují vysoké koncentrace  $PM_{10}$  a současně nízké hodnoty ventilačního indexu. V průběhu této situace došlo ke krátkému, ale intenzivnímu provětrání atmosféry dne 4.1.2016 v denním měření, kdy se hodnota ventilačního indexu dostala až na  $13\,298 \text{ m}^2/\text{s}$ . V důsledku toho poklesla i hodnota koncentrací  $PM_{10}$  pro tento den na  $32,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

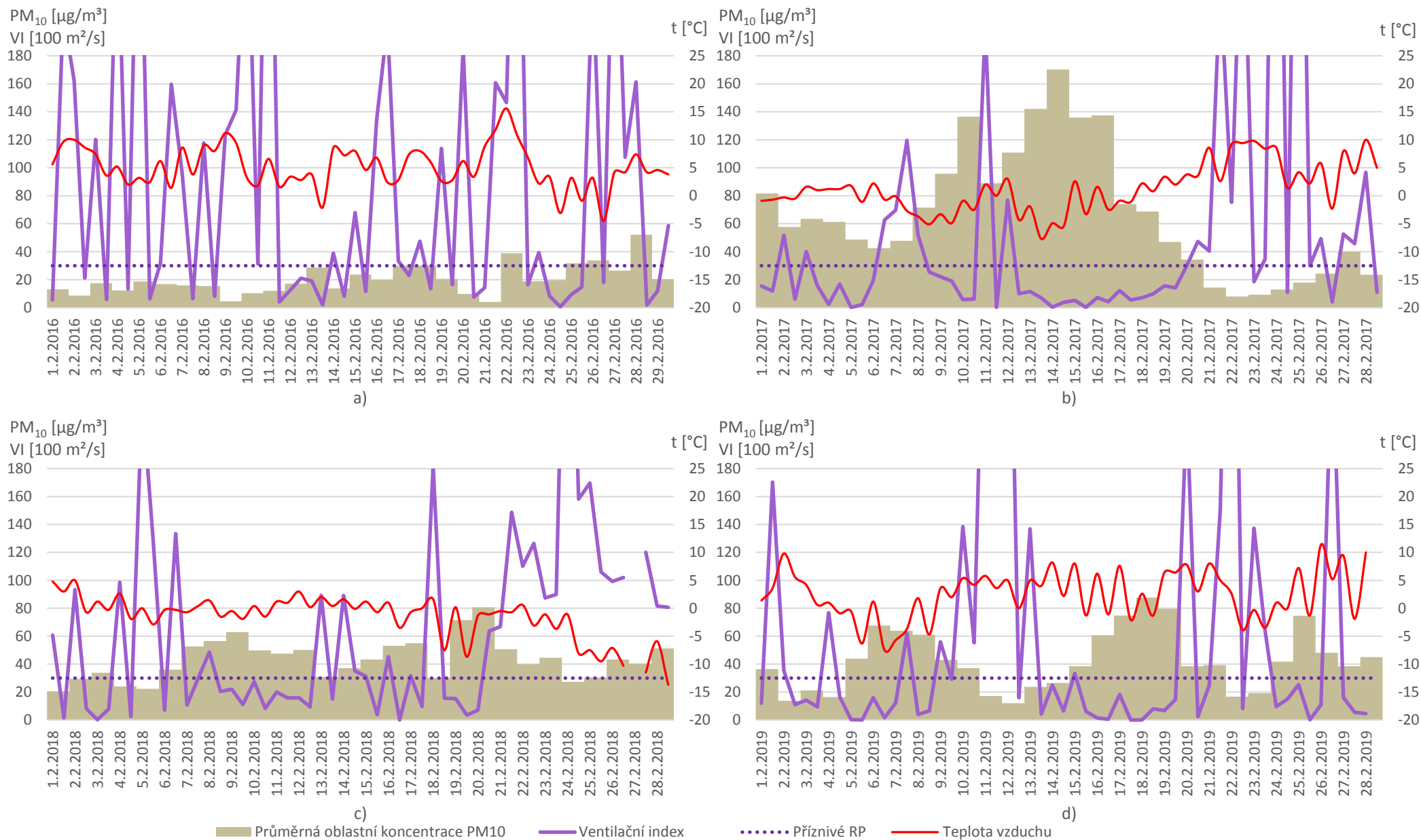


Průměrná oblastní koncentrace PM10
  Ventilační index
  Příznivé RP
  Teplota vzduchu

**Obr. 22** Průměrná oblastní koncentrace PM<sub>10</sub> a ventilační index za měsíc leden roku 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).

Uprostřed ledna 2016 panovaly výrazně lepší rozptylové podmínky, které byly doprovázeny i nižšími koncentracemi PM<sub>10</sub>. Další dlouhodobější situace zhoršených rozptylových podmínek se vyskytla ve dnech 22. 1. 2016–28. 1. 2016, kdy ani v odpoledních měřeních nedocházelo k překročení hranice ventilačního indexu 1 100 m<sup>2</sup>/s. V této epizodě se vyskytovaly vysoké hodnoty koncentrací PM<sub>10</sub>, které po dobu 7 dní neklesly pod 50,0 µg/m<sup>3</sup>. V lednu 2017 (b) se objevily vysoké koncentrace PM<sub>10</sub> nejprve 7. 1. 2017–12. 1. 2017, a poté v ještě rozsáhlejší míře od 18.1.2017 do konce měsíce s přesahem až do 5. února 2017. V této epizodě se vyskytly velmi vysoké koncentrace PM<sub>10</sub>, dosahující až 161,7 µg/m<sup>3</sup>. V průběhu těchto dvou týdnů se několikrát vyskytly příznivé hodnoty ventilačního indexu, překračující 3 000 m<sup>2</sup>/s, ale pro výraznější pokles koncentrací PM<sub>10</sub> to nestačilo. Měsíc leden 2018 (c) byl ze všech čtyř zkoumaných let co do výše koncentrací PM<sub>10</sub> nejvyrovnanější. V průběhu tohoto měsíce nenastala situace, kdy by koncentrace PM<sub>10</sub> po dobu minimálně tří po sobě jdoucích dní přesahovala 50,0 µg/m<sup>3</sup>. Nejvyšší koncentrace PM<sub>10</sub> se objevovaly ve dnech 22. 1. 2018–27. 1. 2018. První polovina měsíce ledna 2019 (d) byla vzhledem k ventilačnímu indexu velice dobře provětrávaná. Hodnoty ventilačního indexu v nočních i denních měřeních byly nad hranicí 3 000 m<sup>2</sup>/s, proto průměrné denní koncentrace PM<sub>10</sub> byly nízké. V druhé polovině měsíce se koncentrace PM<sub>10</sub> začaly postupně zvyšovat až k hodnotě 107,8 µg/m<sup>3</sup>. Ke snížení koncentrací PM<sub>10</sub> došlo až 25.1.2019, kdy se ventilační index dostal až na 17 311 m<sup>2</sup>/s. Poté se několik dní koncentrace PM<sub>10</sub> držely v hladině okolo 40 µg/m<sup>3</sup>, než začaly opět růst v důsledku prudkého poklesu teploty vzduchu s přelomem měsíce ledna a února 2019.

Průběh ventilačního indexu a výše průměrné denní oblastní koncentrace PM<sub>10</sub> za všechny měsíce **únor** v období 2016–2019 jsou znázorněny na obrázku 23. V případě měsíce února roku 2016 (a) se nevyskytla žádná situace, kdy by koncentrace PM<sub>10</sub> přesahovala 50 µg/m<sup>3</sup> déle než 1 den. Teplotně byl únor 2016 nadprůměrný, nejnižší naměřená teplota za celý měsíc byla –4,5 °C. I v nočních měřeních byla teplota ve většině případů v kladných hodnotách. I z hlediska ventilačního indexu je patrné, že šlo o velice dobře provětrávané období. Křivka chodu ventilačního indexu je podobná spíše teplým měsícům. Momentem, kdy došlo k výraznému snížení hodnot ventilačního indexu, byla doba od 12. 2. do 16. 2. 2016, kdy se ventilační index i v denních měřeních pohyboval pod hranicí 3 000 m<sup>2</sup>/s nebo jen lehce nad ní. V průběhu této epizody nedošlo k růstu koncentrací PM<sub>10</sub>, nejspíše i díky relativně vysokým teplotám vzduchu.

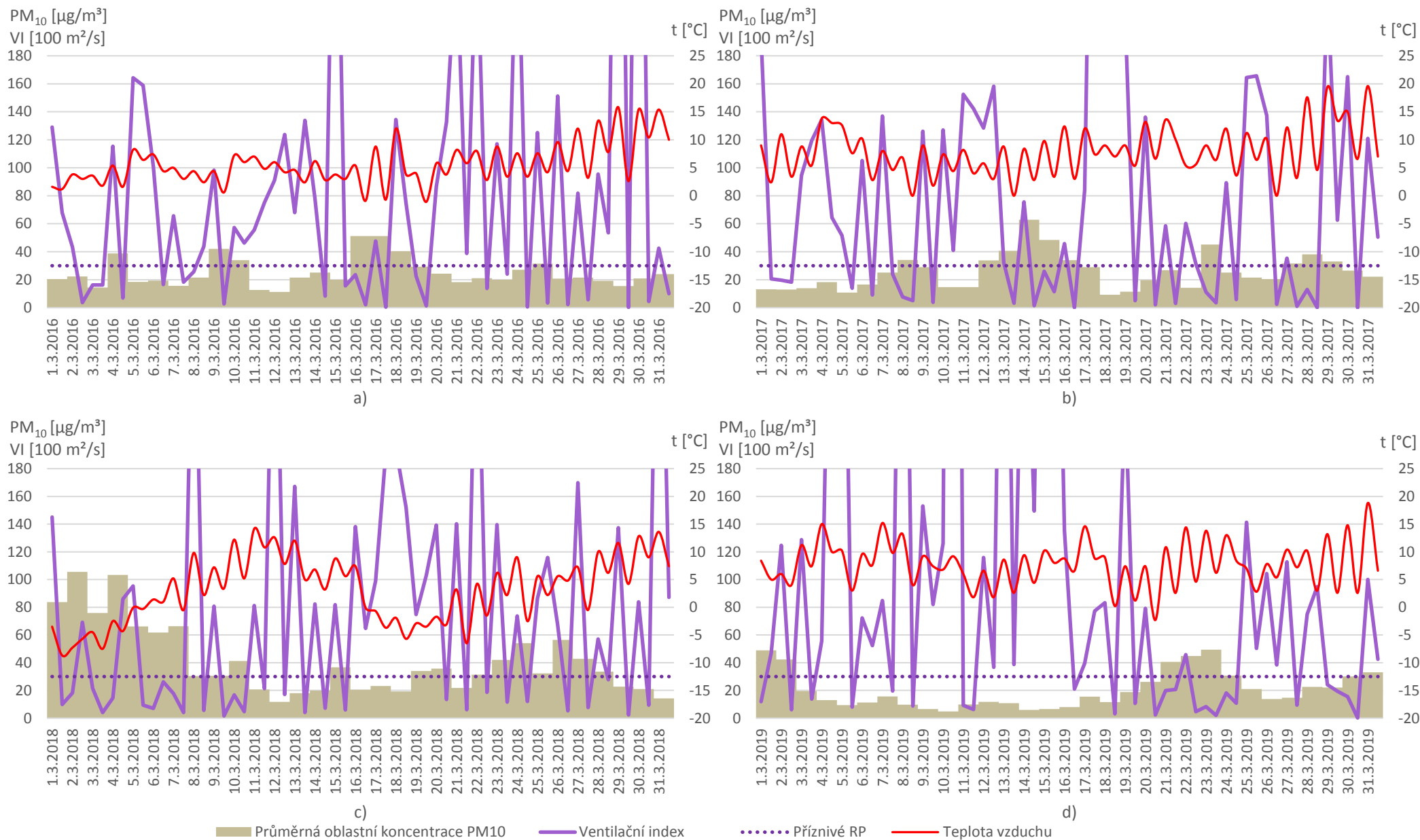


**Obr. 23** Průměrná oblastní koncentrace PM<sub>10</sub> a ventilační index za měsíc únor roku 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).



Naprostým opakem k únoru 2016 je únor 2017 (b). V tomto měsíci se vyskytovaly nejvyšší hodnoty  $PM_{10}$  za celý průběh sledovaného období 2016–2019. Špatná situace se zde nesla už z konce ledna 2017 a pokračovala až do 20. 2. 2017. Celou tuto dobu byly zaznamenávány především záporné teploty, a také špatné rozptylové podmínky. Průměrná oblastní koncentrace dne 14. 2. 2017 byla  $170,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , což se jedná o absolutně nejvyšší koncentraci  $PM_{10}$  za všechny čtyři sledované roky. Konkrétně v období od 13. 2. do 20. 2. 2017 se po celou dobu ventilační index držel v kategorii nepříznivé rozptylové podmínky. Koncem měsíce února 2017 se postupně začala zvyšovat teplota vzduchu a také hodnoty ventilačního indexu se výrazně zvýšily, koncentrace  $PM_{10}$  přitom klesly pod hranici  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vysoké hodnoty průměrné oblastní koncentrace  $PM_{10}$  se v únoru 2018 (c) vyskytovaly od 7. 2. do 12. 2. 2018, kdy panovaly nepříznivé rozptylové podmínky, a také od 16. 2. 2018 do 21. 2. 2018 s intenzivním provětráním atmosféry 18. 2. 2018. Koncem měsíce se vyskytovaly mírně zvýšené koncentrace  $PM_{10}$ , nejspíše v důsledku poklesu teploty vzduchu, ale ventilační index atmosféry se pohyboval ve velice vysokých hodnotách. V únoru 2019 (d) se objevily tři kratší epizody zvýšených koncentrací  $PM_{10}$ , pokaždé se u nich projevil aspekt snížení teploty vzduchu, ale i pokles ventilačního indexu pod hranici  $3\ 000 \text{ m}^2/\text{s}$ .

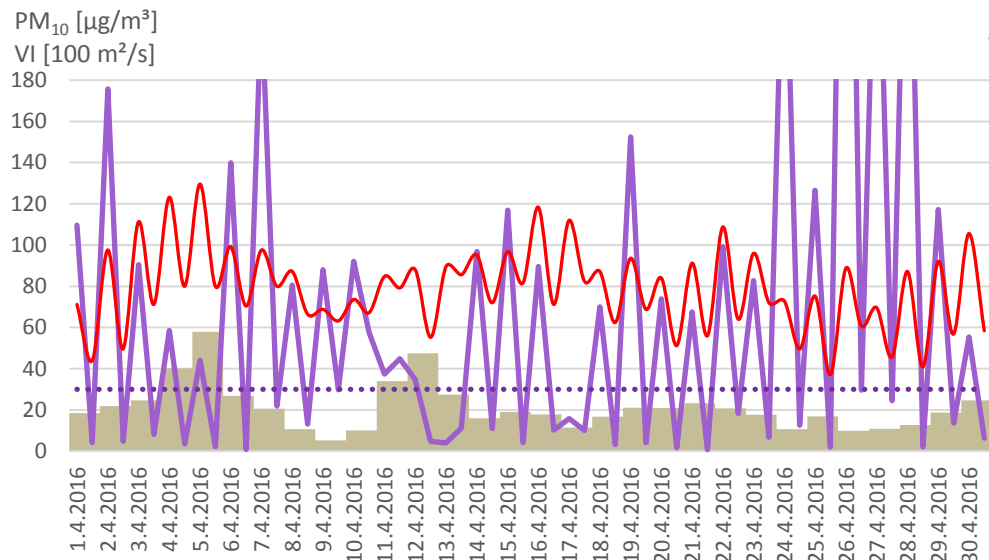
Na obrázku 24 jsou znázorněny situace z měsíce **března** za konkrétní rok z období 2016–2019. V březnu 2016 (a) se objevil případ zvýšených koncentrací  $PM_{10}$  ve třech po sobě jdoucích dnech od 16. 3. do 19. 3. 2016, kdy ani v denních měřeních nedocházelo k tak výraznému provětrání atmosféry, a v nočních měřeních se vyskytovaly teploty vzduchu mírně pod  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Druhá polovina měsíce je velice dobře provětrávaná, především v denních měřeních, a v nočních měřeních se začínají projevovat přízemní inverze. V březnu 2017 (b) se objevila jedna pětidenní situace, kdy se průměrná oblastní koncentrace vyskytovala nad hranicí  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , doprovázely ji nižší hodnoty ventilačního indexu. Březen 2018 (c) je velice odlišný od březnů v ostatních letech. Hned z počátku měsíce se vyskytovaly velmi vysoké koncentrace  $PM_{10}$ , které přecházejí již z února 2018. Od 1. 3. do 7. 3. 2018 je křivka teploty vzduchu pod hranicí  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , ale ventilační index se může zdát poměrně vysoký. Avšak zásadní v tomto případě je to, že pokud se ventilační index drží pod hranicí  $3\ 000 \text{ m}^2/\text{s}$  vždy v nočním i denním měření za sebou, způsobuje to výrazné zvýšení koncentrací  $PM_{10}$ , v tomto případě se dostaly až nad hranici  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . K ukončení nepříznivé situace došlo dne 8.3.2018 zvýšením teploty vzduchu a velice vysokým ventilačním indexem.



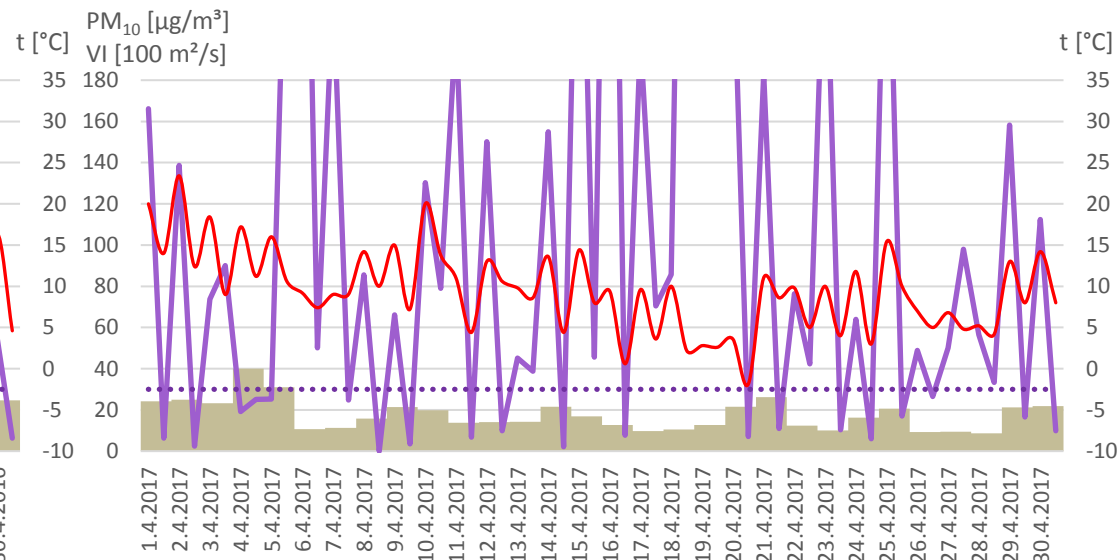
**Obr. 24** Průměrná oblastní koncentrace PM<sub>10</sub> a ventilační index za měsíc **březen** roku 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).

Další zajímavá situace se vyskytla v době od 16. 3. do 20. 3. 2018, kdy teplota vzduchu sice klesla do záporných hodnot, ale rozptylové podmínky byly vysoce příznivé, a tak koncentrace  $PM_{10}$  v těchto pěti dnech byla nejnižší za celý průběh měsíce března 2018. Atmosféra v první polovině března 2019 (d) je velice dobře provětrávaná, vyskytují se zde nízké koncentrace  $PM_{10}$ . Ventilační index byl ve většině případů vysoko nad hranicí  $3\ 000\ m^2/s$  i v nočních měřeních. Situace se zvýšenými koncentracemi  $PM_{10}$  se vyskytla od 21. 3. do 24. 3. 2019. V této době nedošlo k výraznému poklesu teploty vzduchu, ale právě ventilační index se zásadně snížil, téměř po celou dobu se v nočních i denních měření pohyboval pod hranicí  $3\ 000\ m^2/s$ .

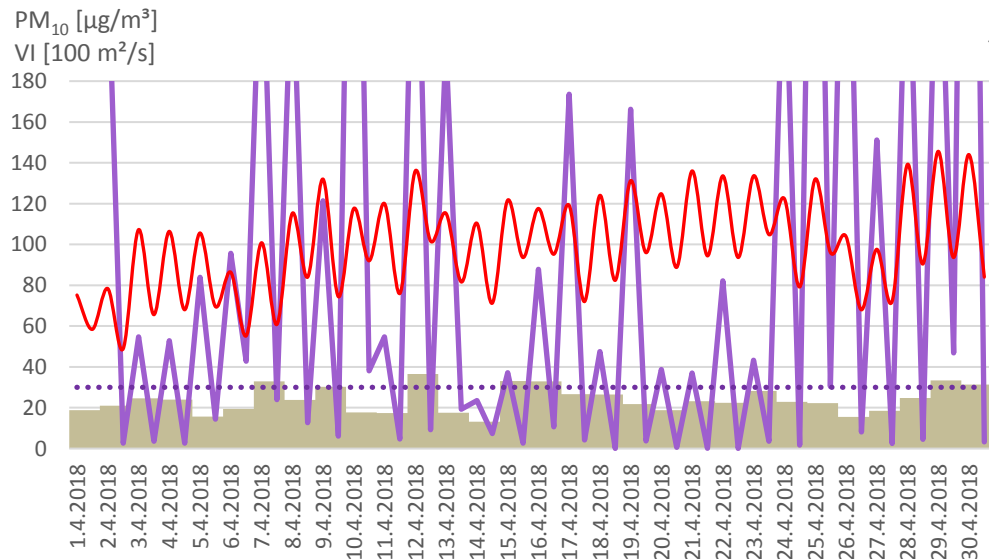
Obrázek 25 představuje chod průměrné denní oblastní koncentrace  $PM_{10}$  a ventilačního index vždy v **dubnu** 2016–2019. Ve všech čtyřech případech se začíná projevovat ostrá zubovitost křivky chodu ventilačního indexu, typická pro teplé (letní) měsíce. Stejně tak se zvyšuje rozdíl teplot u denních a nočních měření. V dubnu 2016 (a) se vyskytla zajímavá situace 11. 4.–13. 4. 2016, kdy došlo ke zhoršení rozptylových podmínek, a zároveň k výraznějšímu poklesu teploty vzduchu, které vzájemně způsobilo mírné navýšení koncentrací  $PM_{10}$ . V dubnu 2017 (b) se podobná situace odehrála ve dnech 4. a 5. 4. 2017, kdy ventilační index po dobu tří po sobě jdoucích měření nepřekonal hranici  $3\ 000\ m^2/s$ , což způsobilo, že koncentrace  $PM_{10}$  se dostala na  $40\ \mu g/m^3$ . Poněkud delší zajímavá situace se odehrála v dubnu 2018 (c). Ve dnech 14. 4. až 24. 4. 2018 se denní hodnoty ventilačního indexu snížily k hranici  $3\ 000\ m^2/s$ . Stále se jednalo o příznivé rozptylové podmínky, ale v porovnání se zbytkem měsíce se jednalo o výrazný pokles. V dubnu 2019 (d) se vyskytly od 10. 4. do 13. 4. 2019 velmi vysoké hodnoty ventilačního indexu i v nočních měřeních, doprovázené menšími rozdíly teplot mezi dnem a nocí, které se právě v tuto dobu objevovaly.



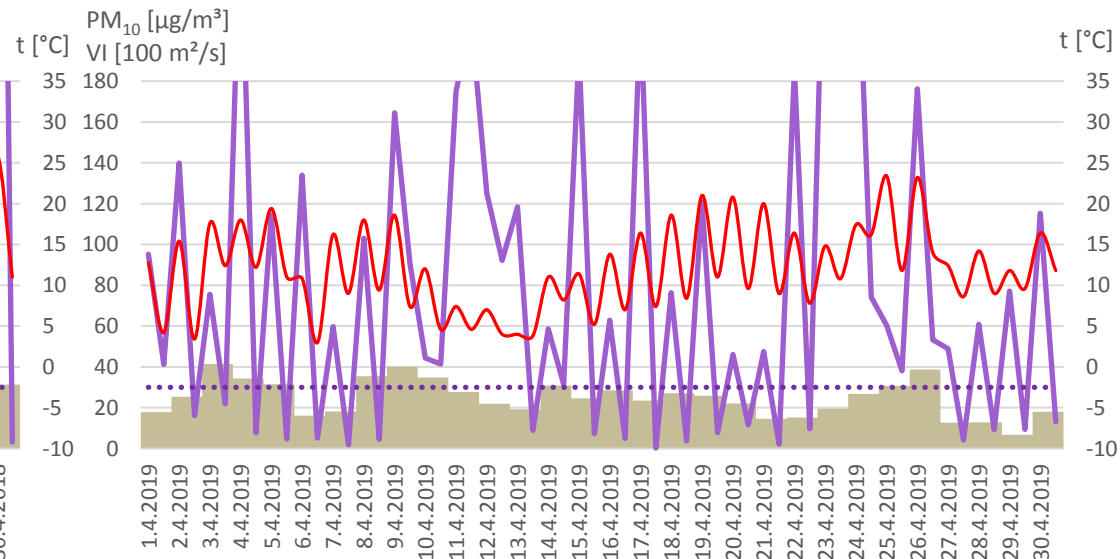
a)



b)



c)



d)

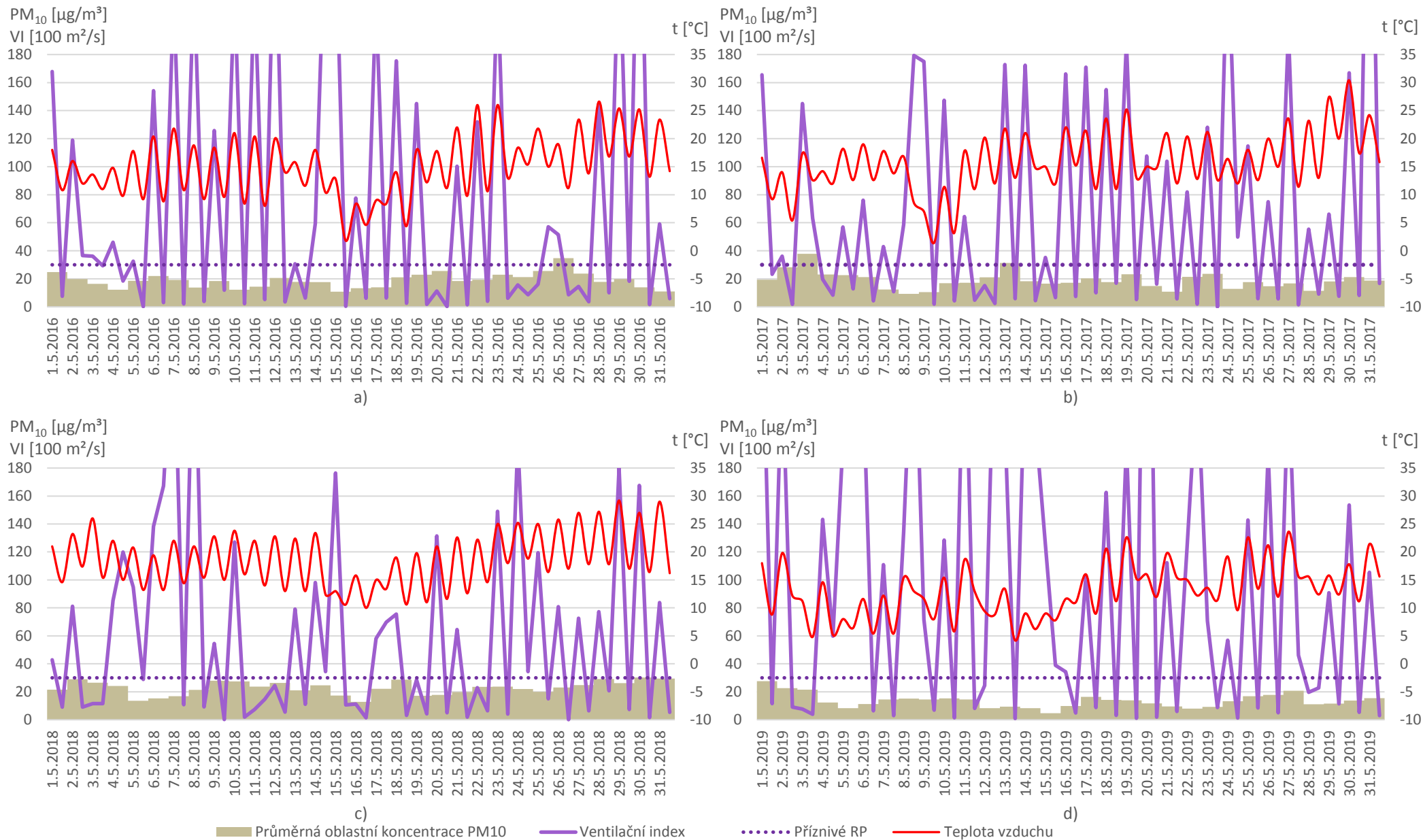
Průměrná oblastní koncentrace PM10
  Ventilační index
  Příznivé RP
  Teplota vzduchu

**Obr. 25** Průměrná oblastní koncentrace PM<sub>10</sub> a ventilační index za měsíc **duben** roku 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).

Na obrázku 26 jde vidět srovnání měsíce **května** vždy za příslušný rok. U všech se projevuje výrazná zubovitost křivky ventilačního indexu, avšak v konkrétních případech se tento trend narušil. V květnu 2016 (a) se takových případů vyskytlo hned 5, kdy ventilační index má nižší hodnotu než  $3\,000\text{ m}^2/\text{s}$  v minimálně třech po sobě jdoucích měřeních. Nelze spolehlivě říct, že by tato situace nějak výrazně ovlivnila výši koncentrací  $\text{PM}_{10}$ . V květnu 2017 (b) se tento zvláštní případ s nepříznivými rozptylovými podmínkami objevil pouze jednou. Zajímavý je i výrazný pokles v teplotní křivce, kdy v noci 10. 5. 2017 teplota poklesla až na pouhý  $1,4\text{ }^\circ\text{C}$ . Nepříznivé rozptylové podmínky ve třech po sobě jdoucích měřeních se v květnu 2018 (c) vyskytly v 5 případech. V květnu 2019 (d) tato situace nastala ve 3 případech.

Na obrázku 27 je popsána situace vždy z měsíců **června** čtyř let z období 2016–2019. Na všech čtyřech grafech je patrné začínání projevování se letních přízemních inverzí v nočních měřeních. V červnu 2016 (a) se vyskytly dva případy, kdy ventilační index poklesl maximálně k hranici  $3\,000\text{ m}^2/\text{s}$  ve třech po sobě jdoucích měřeních. Stejně tak tomu bylo i v červnu 2017 (b). Dva takovéto případy se objevily i v červnu 2018 (c), ale v jednom z nich se tyto nepříznivé rozptylové podmínky držely po dobu pěti po sobě jdoucích měření. V červnu 2019 (d) se tato situace opakovala hned ve čtyřech případech, což je nejvíce za všechny zkoumané měsíce červen.

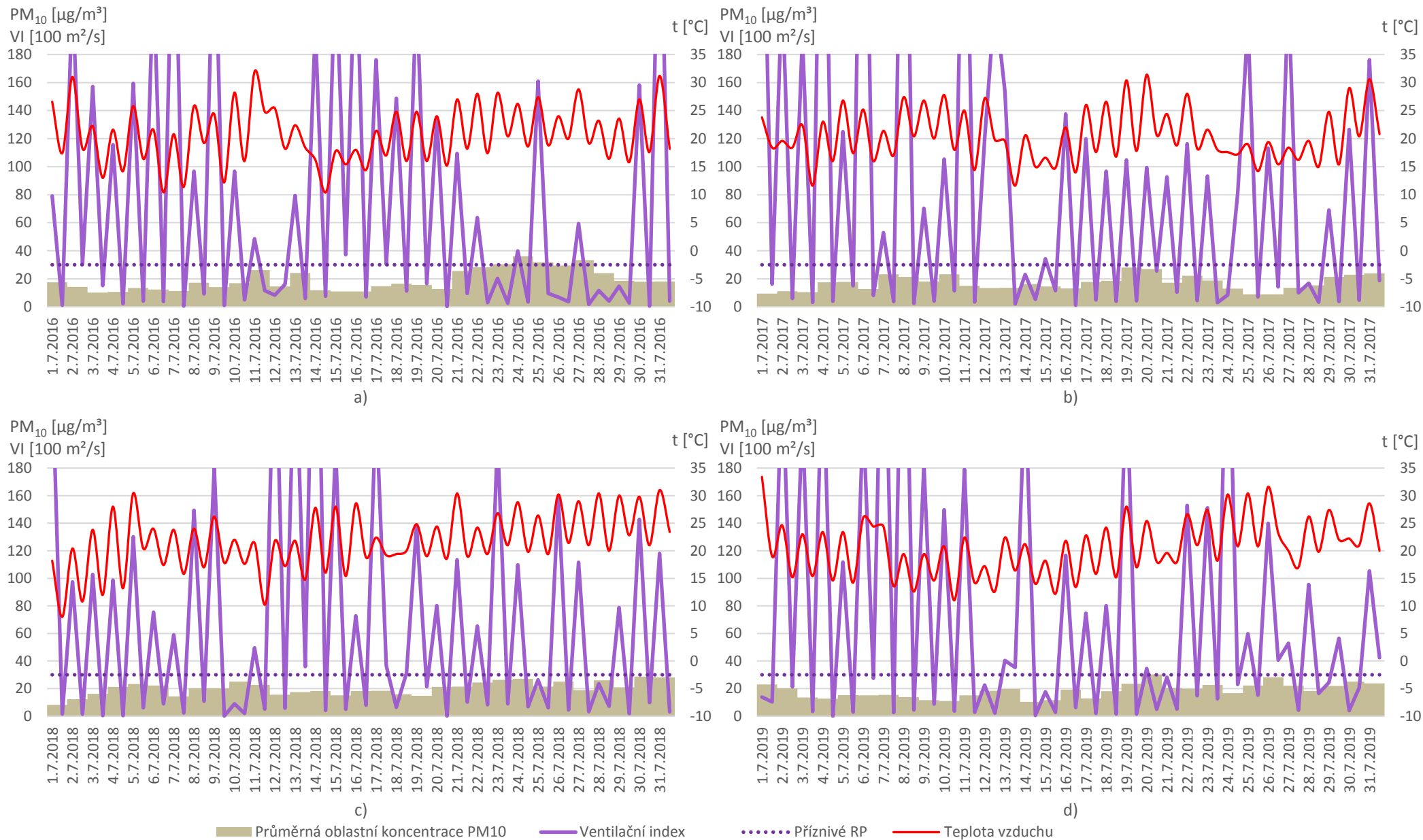
Situace z měsíců **července** 2016–2019 je znázorněna v obrázku 28. Velmi výrazné rozdíly ve ventilačním indexu mezi nočním a denním měření jsou občas narušeny déle působícími nepříznivými rozptylovými podmínkami. K takové situaci došlo v červenci 2016 (a) hned čtyřikrát. V prvním případě se zhoršené rozptylové podmínky objevily za doprovodu zvýšených nočních teplot vzduchu. V červenci 2017 (b) se situace s déle působícími nepříznivými rozptylovými podmínkami vyskytla ve třech případech. Stejně tomu bylo v červenci 2018 (c), kdy ve třech po sobě jdoucích měřeních ventilační index nedosahoval hodnot vyšších jak  $3\,000\text{ m}^2/\text{s}$ . Tato situace se opakovala i ve třech případech v červenci 2019 (d), kdy déle trvající nepříznivé rozptylové podmínky se objevily za situace, kdy poklesla denní teplota vzduchu.



**Obr. 26** Průměrná oblastní koncentrace PM<sub>10</sub> a ventilační index za měsíc květen roku 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).



**Obr. 27** Průměrná oblastní koncentrace PM<sub>10</sub> a ventilační index za měsíc červen roku 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).

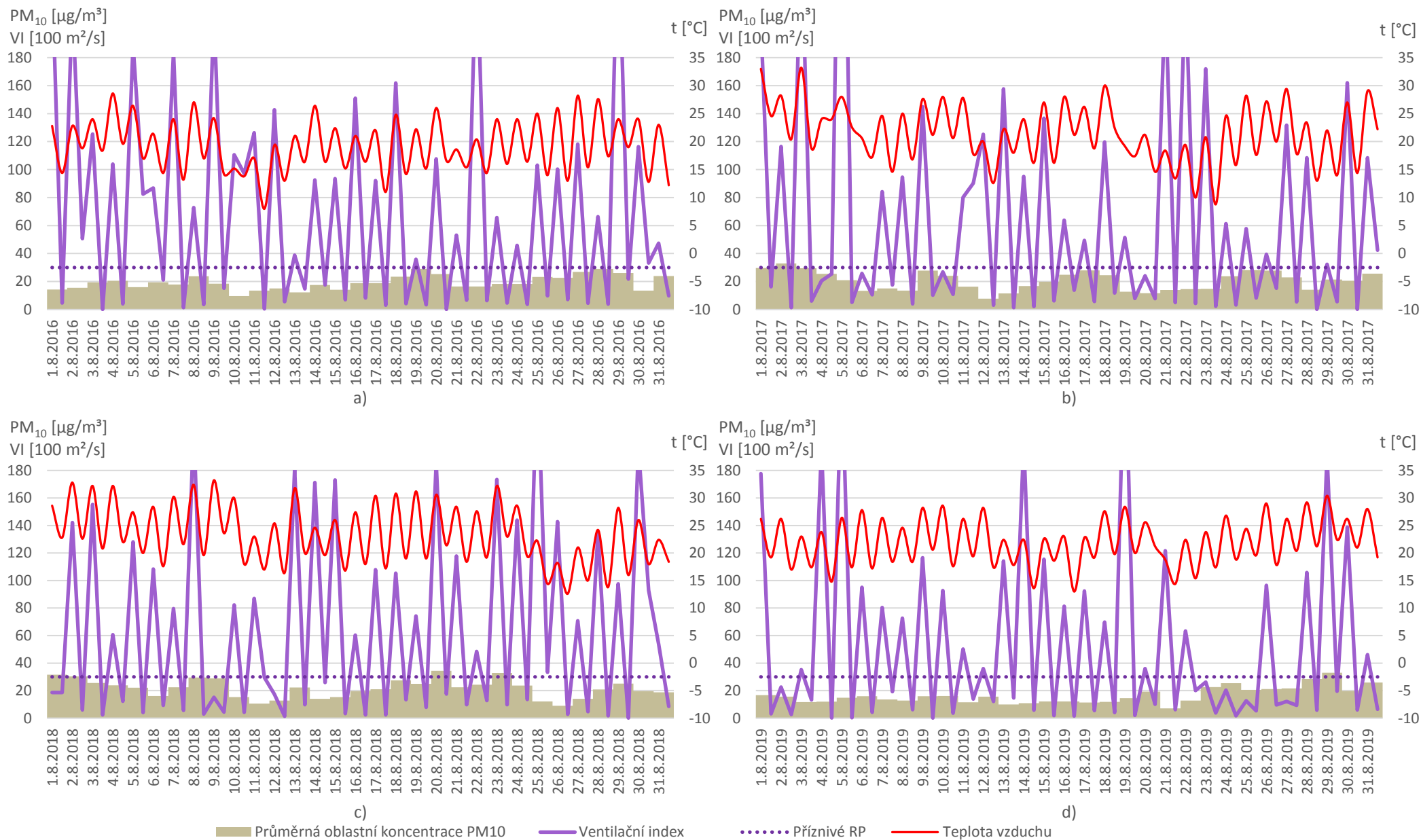


**Obr. 28** Průměrná oblastní koncentrace PM<sub>10</sub> a ventilační index za měsíc červenec roku 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).



Na obrázku 29 je znázorněn chod ventilačního indexu a průměrné denní oblastní koncentrace  $PM_{10}$  pro měsíc **srpen** let 2016–2019. Zatímco u koncentrací  $PM_{10}$  nedochází v letních měsících k výrazným hodnotovým rozdílům, tak u ventilačního indexu se hodnoty liší, a to zejména u nočních a denních měření, což souvisí s výskytem přízemních radiačních inverzí. V srpnu 2016 (a) panovaly dlouhodobě velmi dobré rozptylové podmínky. Nevyskytla se zde žádná situace s nepříznivými rozptylovými podmínkami, která by trvala déle jak 24 hodin. Naopak v srpnu 2017 (b) se situace s ventilačním indexem pod hranicí  $3\ 000\ m^2/s$  držící se minimálně ve třech po sobě jdoucích měření objevila čtyřikrát. V jednom z těchto případů v druhé polovině měsíce je patrné, že pokles ventilačního indexu byl doprovázen poklesem teploty vzduchu. V srpnu 2018 (c) se déle trvající nepříznivé rozptylové podmínky objevily pouze v jednom případě. O něco delší situace, konkrétně týkající se sedmi po sobě jdoucích měření, nastala ve druhé polovině srpna 2019 (d). Celkem se ventilační index v srpnu 2019 dlouhodoběji zdržel pod hranicí  $3\ 000\ m^2/s$  ve třech případech.

Na obrázku 30 je patrný chod ventilačního indexu a výše průměrné oblastní koncentrace vždy za **září** z let 2016–2019. Oproti letním měsícům zde ve všech grafech dochází k častějšímu narušování zubovitého chodu křivky ventilačního indexu. V září 2016 (a) se vyskytly dva případy, kdy ventilační index byl minimálně po dobu tří po sobě jdoucích měření pod hranicí  $3\ 000\ m^2/s$ . Navíc se zde začátkem měsíce objevila situace s postupným poklesem teploty, na který reagoval ventilační index svými vysokými hodnotami. Atmosféra v první polovině měsíce září 2017 (b) byla velice dobře provětrávaná. Případy, kdy nepříznivé rozptylové podmínky se přenesly i do denních měření, byly ke konci měsíce dva. Jinak tomu bylo v případě září 2018 (c), kdy nepříznivé rozptylové podmínky se držely déle jak 24 hodin hned v pěti případech. Navíc se v září roku 2018 odehrála situace, kdy od 21. 9. do 26. 9. 2018 postupně, ale výrazně klesala teplota vzduchu, ovšem ventilační index se především v nočních případech zvýšil, na což reagovala i průměrná oblastní koncentrace  $PM_{10}$  výrazným poklesem hodnot. V září 2019 (d) došlo k mnoha případům, kdy denní ventilační index klesl k nižším hodnotám, ale pouze ve čtyřech případech pod hranici  $3\ 000\ m^2/s$ .

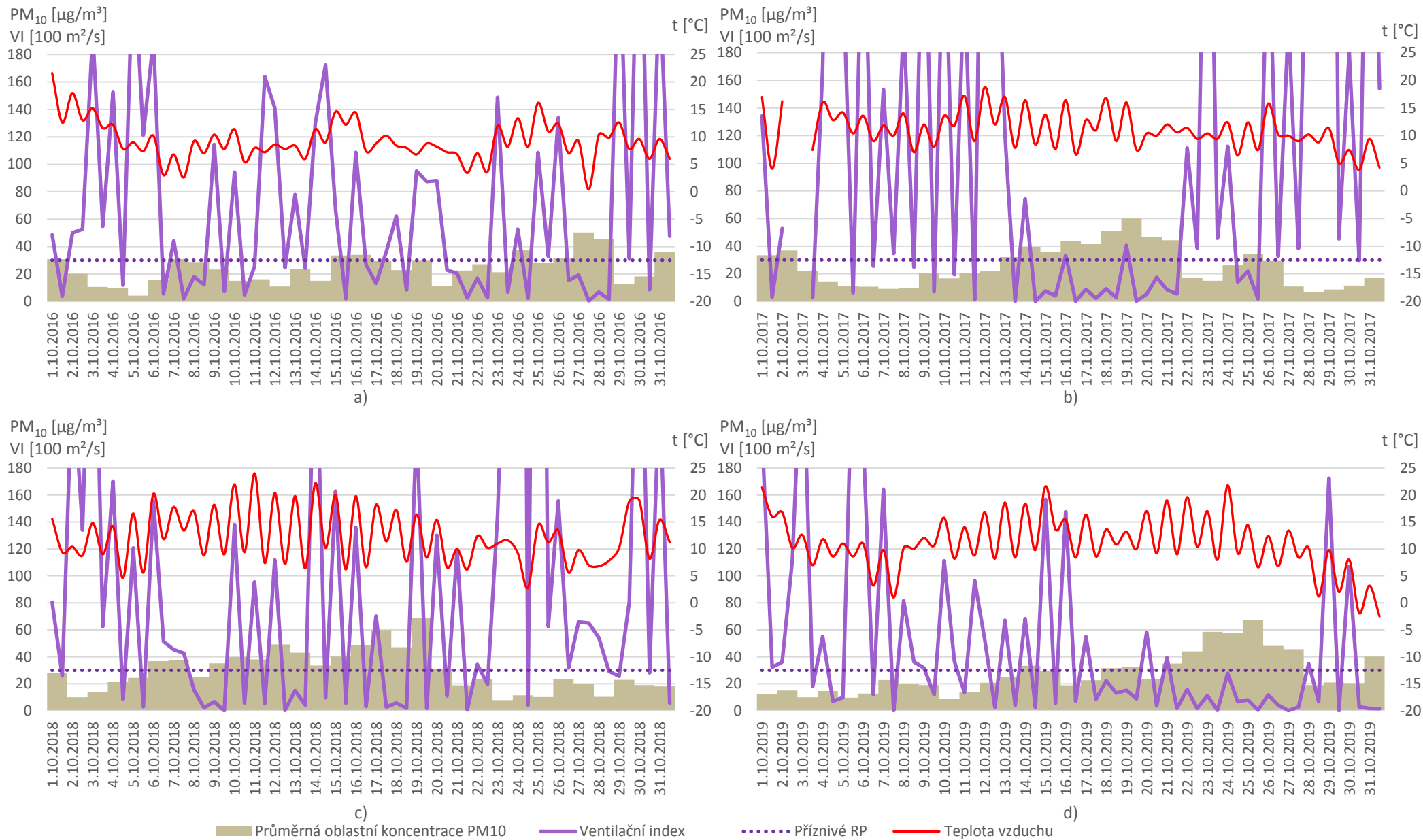


**Obr. 29** Průměrná oblastní koncentrace  $\text{PM}_{10}$  a ventilační index za měsíc srpen roku 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).



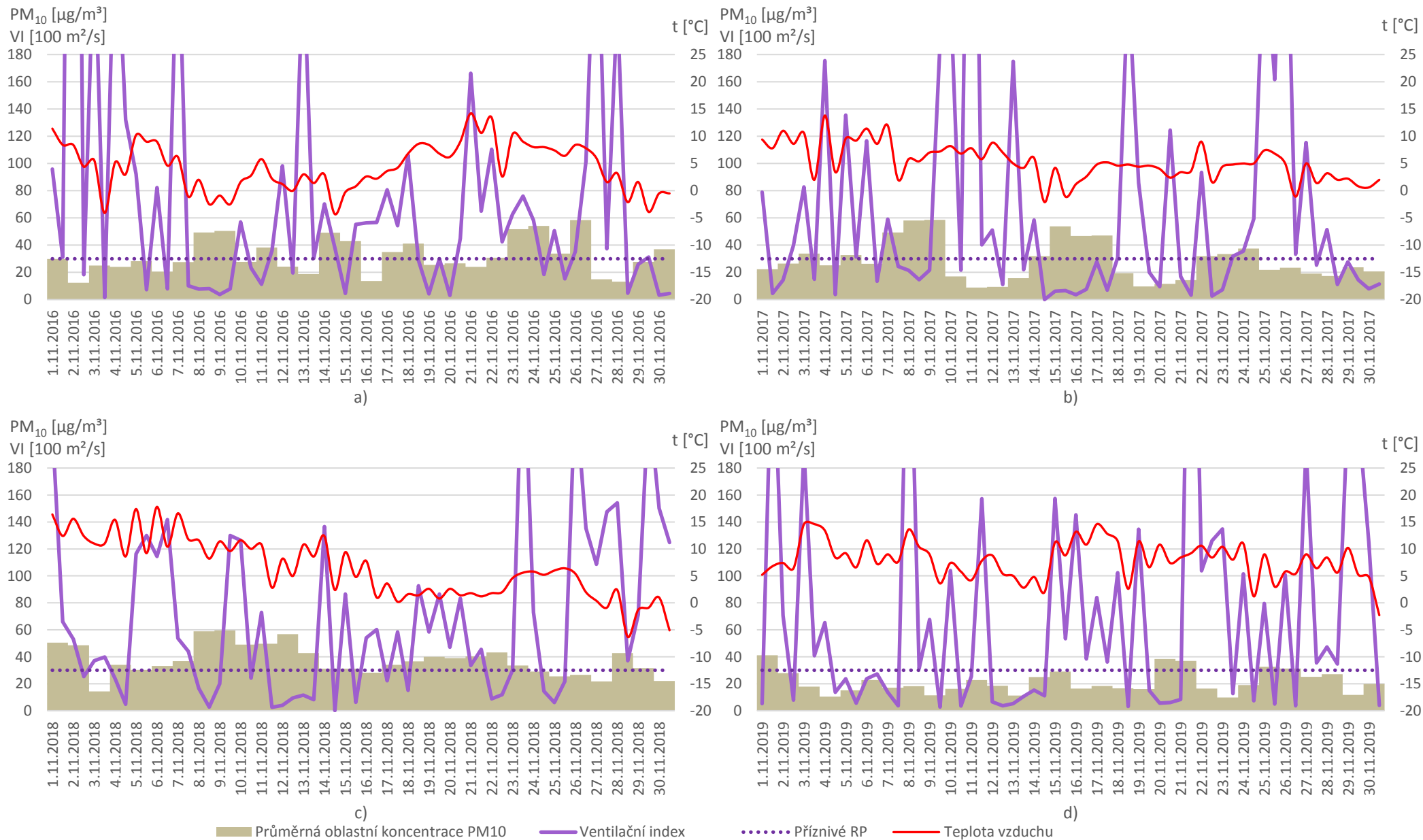
**Obř. 30** Průměrná oblastní koncentrace PM<sub>10</sub> a ventilační index za měsíc **zář** roku 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).

Na obrázku 31 jsou znázorněny měsíce **říjen** 2016 až 2019. V říjnu 2016 (a) nedošlo k situaci kdy by koncentrace  $PM_{10}$  přesahovaly hodnotu  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  déle než dva po sobě jdoucí dny. V ojedinělých případech se průměrná oblastní koncentrace mírně zvýšila, a to vždy, když nedošlo k dennímu provětrání atmosféry, tedy když ventilační index držel své hodnoty pod hranicí  $3\,000 \text{ m}^2/\text{s}$  i v denních měřeních. Říjen 2017 (b) je naprosto ukázkový v tom, jak výše koncentrací  $PM_{10}$  opisuje chod ventilačního indexu. V první polovině měsíce se atmosféra velice dobře provětrávala v důsledku vysokých hodnot ventilačního indexu i v nočních měřeních a koncentrace  $PM_{10}$  se držela na nízkých hodnotách. Od 14. 10. do 21. 10. 2016 se však rozptylové podmínky zásadně zhoršily, a na to reagovala i koncentrace  $PM_{10}$ , která se pohybovala v rozmezí od  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  do  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , výrazně výše než ve zbytku měsíce. V říjnu 2018 (c) se objevily mírně zvýšené koncentrace  $PM_{10}$  od 6. 10. až do 20. 10. 2018. V tomto období se třikrát objevila situace, kdy nedošlo k dostatečnému provětrání atmosféry v důsledku nízkých hodnot ventilačního indexu i v denním měření, a zřejmě to napomohlo k udržení se vyšších koncentrací  $PM_{10}$  po tak dlouhou dobu. Ve zbytku měsíce se ventilační index i v nočních měřeních držel nad hranicí  $3\,000 \text{ m}^2/\text{s}$  a i koncentrace  $PM_{10}$  zůstávaly na nízkých hodnotách. První polovina měsíce října 2019 (d) disponovala vysokým ventilačním indexem a nedocházelo k případům překročení denního limitu  $PM_{10}$ . Ve druhé polovině měsíce se objevila situace, kdy se hodnoty ventilačního indexu snížily pod hranici  $3\,000 \text{ m}^2/\text{s}$  především i v denních měřeních a koncentrace  $PM_{10}$  se výrazně zvýšily. Tato situace je dobře zřetelná v rozmezí dnů 22. 10.–28. 10. 2019.



**Obr. 31** Průměrná oblastní koncentrace PM<sub>10</sub> a ventilační index za měsíc říjen roku 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).

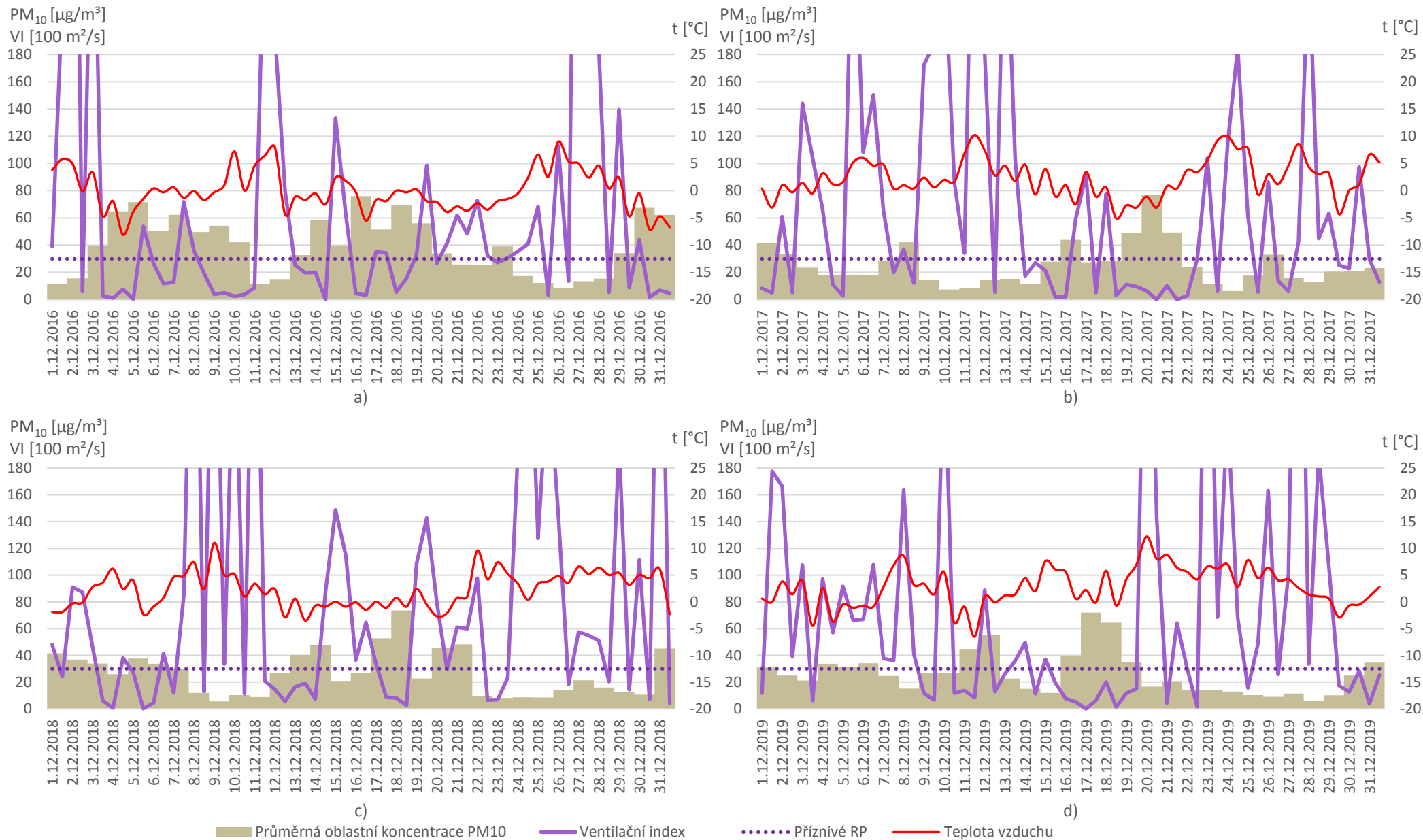
Obrázek 32 popisuje stav průměrné oblastní koncentrace a ventilačního indexu v průběhu měsíce **listopadu** ve všech zkoumaných letech 2016–2019. V listopadu 2016 (a) se objevila krátká situace ve dnech od 8. 11. do 10. 11. 2016, kdy rozptylové podmínky byly nepříznivé, a na to reagovaly koncentrace  $PM_{10}$  zvýšením hodnot. Další zajímavá situace se objevila ve dnech 23. 11.–26. 11. 2016, kdy sice ventilační index neklesl až do rozmezí nepříznivých rozptylových podmínek, ale byl dlouhodoběji snížený a koncentrace  $PM_{10}$  jsou poměrně vysoké, vykazují i nadlimitní hodnoty. Z počátku listopadu 2017 (b) se objevila epizoda se zvýšenými koncentracemi  $PM_{10}$  v období nízkého ventilačního indexu mezi dny 7. 11.–10. 11. 2017. Další, výraznější situace nastala i ve dnech 15. 11.–18. 11. 2017. Zde se po celou dobu vyskytovaly nepříznivé rozptylové podmínky, tedy ventilační index se v průběhu všech čtyř dní držel pod hranicí 3 000  $m^2/s$ . Průměrná oblastní koncentrace  $PM_{10}$  se v průběhu listopadu 2018 (c) držela na mírně zvýšených hodnotách. K překročení denního limitu v minimálně třech po sobě jdoucích dnech došlo v době od 8. 11. do 14. 11. 2018. Byť se v průběhu období ventilační index přechodně zvýšil, celkově byl během epizody nízký. Koncentrace  $PM_{10}$  se během celé epizody držely vysoké a v době přechodného zvýšení ventilačního indexu se snížily jen dočasně a mírně. V listopadu 2019 (d) panovaly poměrně dobré rozptylové podmínky, za výjimky lze považovat situace ze dní 12. 11.–15. 11. 2019, kdy hodnoty ventilačního indexu se i v denních měřeních držely na velice nízkých hodnotách, a stejně tak tomu bylo i ve dnech 19. 11.–21. 11. 2019



**Obr. 32** Průměrná oblastní koncentrace PM<sub>10</sub> a ventilační index za měsíc **listopad** roku 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).

Obrázek 33 ukazuje průběh ventilačního indexu a výši průměrné oblastní koncentrace  $PM_{10}$  v měsících **prosince** 2016–2019. V prosinci 2016 (a) se vyskytly hned dvě dlouhodobější situace se zvýšenými hodnotami koncentrace  $PM_{10}$ . První byla ve dnech 4. 12.–10. 12. 2016, kdy v prvních dnech této situace výrazně poklesla teplota vzduchu a ventilační index se také držel v mezích pro nepříznivé rozptylové podmínky. K dobrému provětrání atmosféry došlo 11. 12. 2016, kdy se zvedly i teploty vzduchu. Poté následovala druhá ze situací s vysokými hodnotami koncentrací  $PM_{10}$ , a to přesně od 14. 12. do 20. 12. 2016, kdy také nedocházelo k výraznému provětrávání atmosféry. V prosinci 2017 (b) se objevila jedna epizoda s nepříznivými rozptylovými podmínkami, během níž se hodnoty koncentrací  $PM_{10}$  zvýšily až na  $76,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Z počátku prosince 2018 (c) se objevilo několik případů s ventilačním indexem pod hranicí  $3\,000 \text{ m}^2/\text{s}$  a mírně zvýšenými koncentracemi  $PM_{10}$ . Poté od 8. 12. do 11. 12. 2018 došlo k výraznému provětrávání ovzduší, jelikož ventilační index vykazuje vysoké hodnoty, a naopak koncentrace  $PM_{10}$  jsou výrazně nižší než předtím. Dále v průběhu prosince 2018 došlo ke třem krátkým zvýšením koncentrací  $PM_{10}$ , které reagují na v tu dobu nepříznivé rozptylové podmínky. V jednom z těchto případů se průměrná oblastní koncentrace dostala až na  $73,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Naopak zbytek měsíce vykazuje nízké hodnoty koncentrací  $PM_{10}$ . V prosinci 2019 (d) došlo k jedné výraznější epizodě se zvýšenými koncentracemi  $PM_{10}$ , a to 16. 12.–20. 12. 2019, kdy jejich maximální hodnota byla  $72,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . V této epizodě se vyskytoval nízký ventilační index, který zhoršil rozptylové podmínky. Atmosféra v druhé třetině prosince 2019 byla velmi dobře provětrávaná, a i koncentrace  $PM_{10}$  se pohybovaly v příznivých hodnotách.





**Obr. 33** Průměrná oblastní koncentrace PM<sub>10</sub> a ventilační index za měsíc **prosinec** roku 2016 (a), 2017 (b), 2018 (c) a 2019 (d) (vlastní zpracování).

Při srovnávání jednotlivých měsíců za celé zkoumané období čtyř let bylo vysledováno několik poznatků. V zimních měsících je průběh ventilačního indexu i koncentrací  $PM_{10}$  více různorodý oproti případům v letních měsících. Hodnoty ventilačního indexu v celém sledovaném období vykazují vysokou variabilitu a nebylo možné v jednotlivých grafech plně vizualizovat celý rozsah hodnot, konkrétní výše extrémních maxim je však méně podstatná než výskyt nízkých hodnot ventilačního indexu. Hranice příznivých rozptylových podmínek stanovená ČHMÚ je v  $3\,000\text{ m}^2/\text{s}$  ventilačního indexu, a sice v mnoha ukázaných případech může působit jako nedostatečná pro kvalitní provětrání atmosféry, především v déletrvajících silných zimních inverzních stavech atmosféry. Poměrně spolehlivá vazba koncentrací  $PM_{10}$  na ventilačním indexu se ukázala v případech, kdy ventilační index vykazoval hodnoty v mezích nepříznivých rozptylových podmínek v minimálně jednom nočním i denním měření za sebou, což způsobovalo nárůst koncentrací  $PM_{10}$ . Chod teploty vzduchu je také důležitým aspektem při hodnocení koncentrací prашného aerosolu s ohledem na významný podíl emisí z lokálních topenišť, tudíž i v tomto hodnocení hrál svou roli při popisu jednotlivých situací.

#### **5.4 Vazba koncentrací $PM_{10}$ na ventilační index v oblasti střední Moravy**

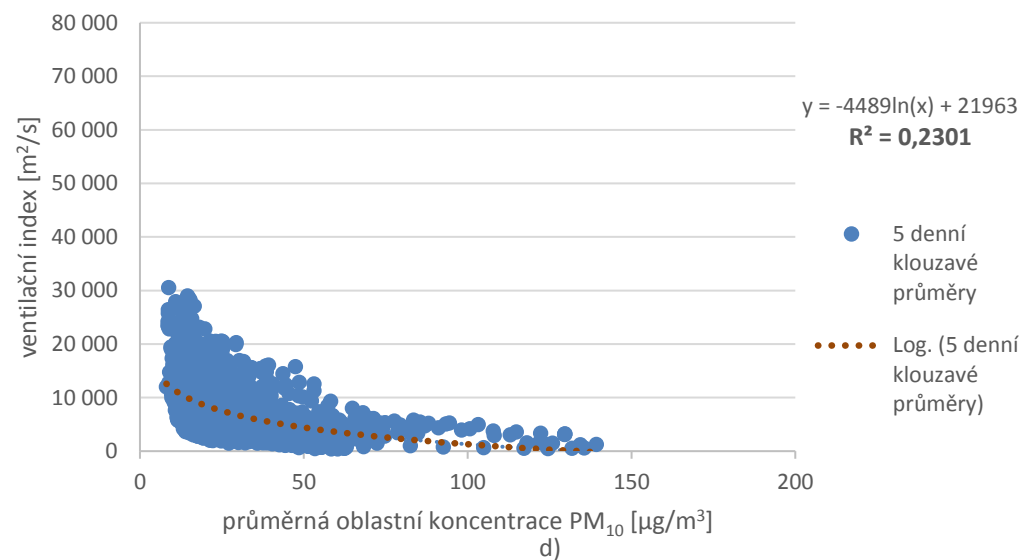
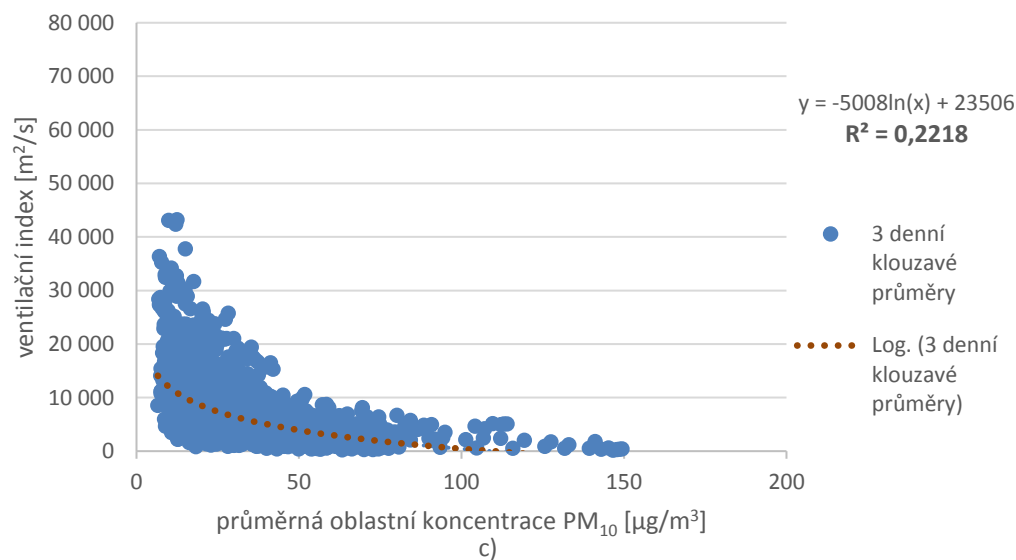
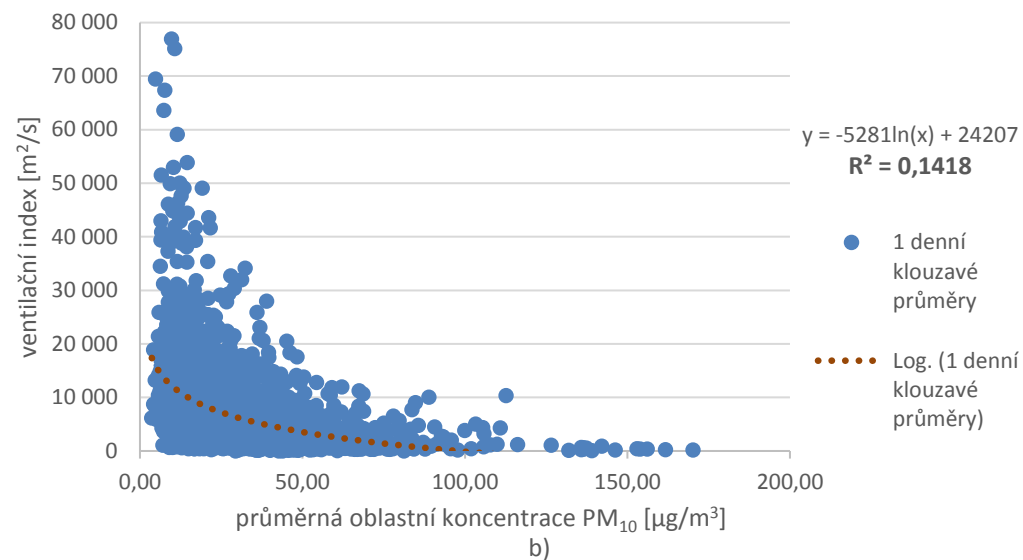
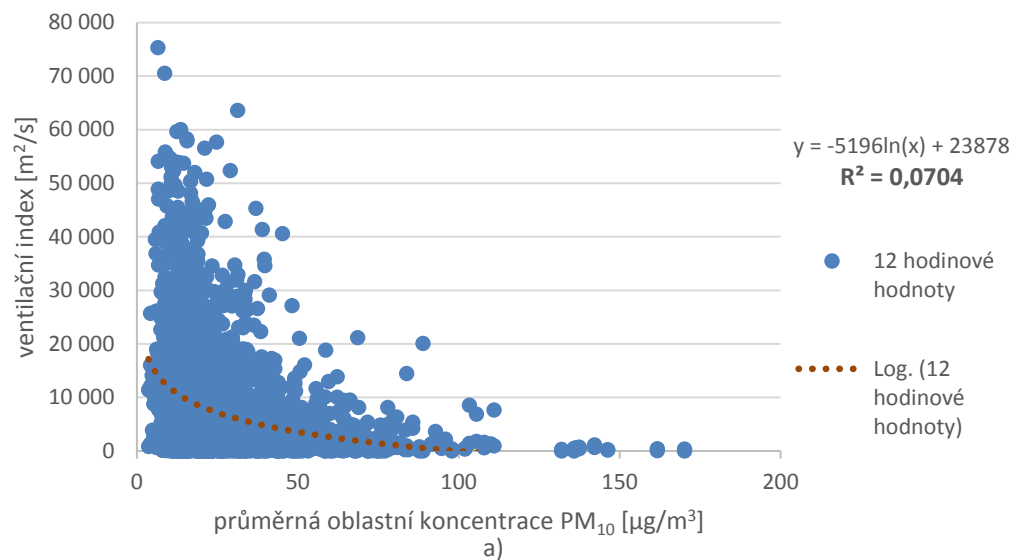
Výsledná analýza průměrné oblastní koncentrace  $PM_{10}$  a ventilačního indexu pro oblast střední Moravy sleduje jejich statistickou závislost za období let 2016–2019. Zvolena regresní závislost s logaritmickou spojnicí trendu, jelikož sledované hodnoty jsou k sobě v nepřímé úměře, sleduje se tedy jejich nepřímá závislost. Pomocí této analýzy lze lépe odhadovat, do jaké míry jsou hodnoty koncentrací prашného aerosolu navázány na stav rozptylových podmínek daných ventilačním indexem. Předpokládá se, že k projevu silnější vazby imisí  $PM_{10}$  na stavu rozptylových podmínek je v oblasti střední Moravy nutné počítat s jistým časem potřebným pro nashromáždění škodlivin v přízemní vrstvě atmosféry. Proto je zřejmé, že vyšší hodnotu koeficientu determinace budou vykazovat případy s klouzavými průměry za delší čas.

Na obrázku 34 lze vidět regresní závislosti prашného aerosolu  $PM_{10}$  a ventilačního indexu za celé období 2016–2019. Rozděleny jsou postupně na 12hodinové hodnoty, hodnoty 1denních klouzavých průměrů, hodnoty 3denních klouzavých průměrů a

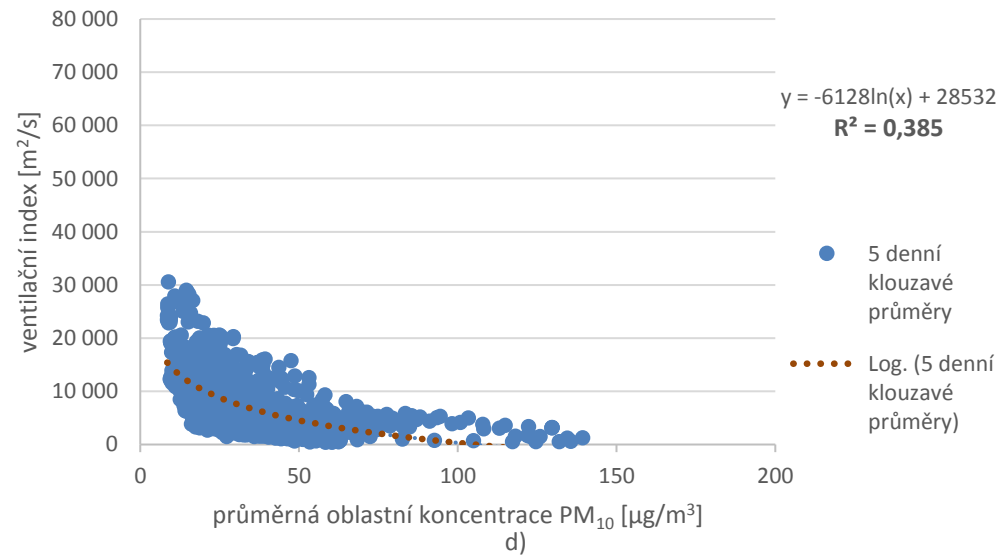
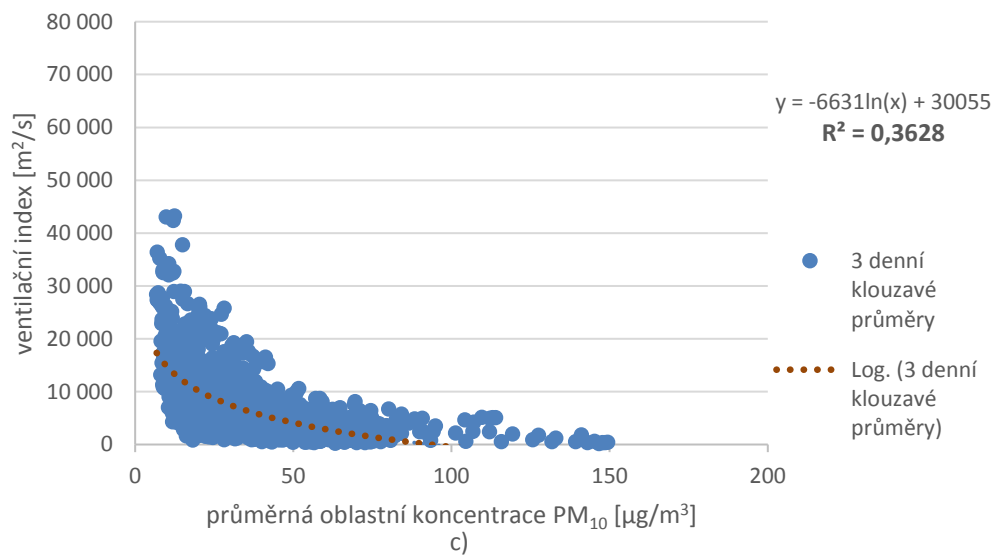
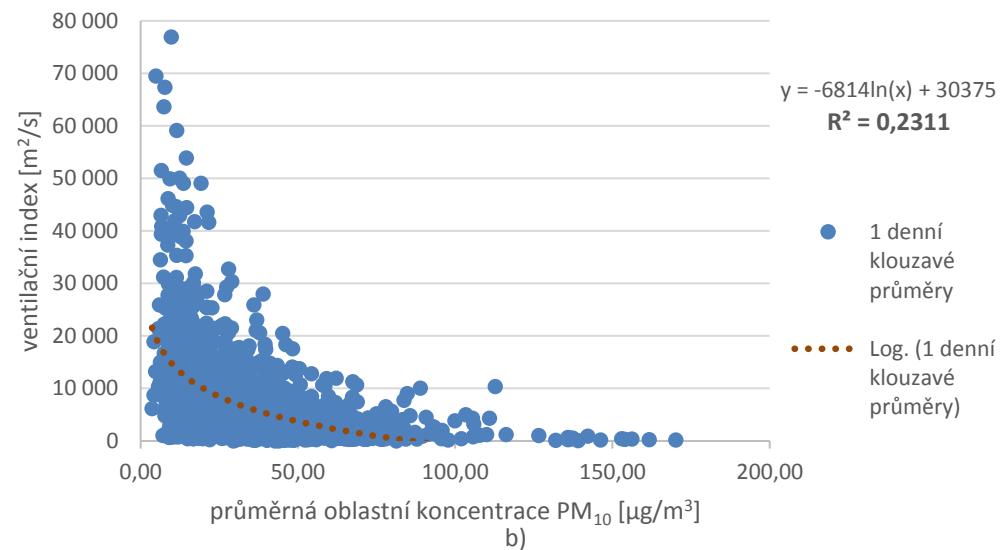
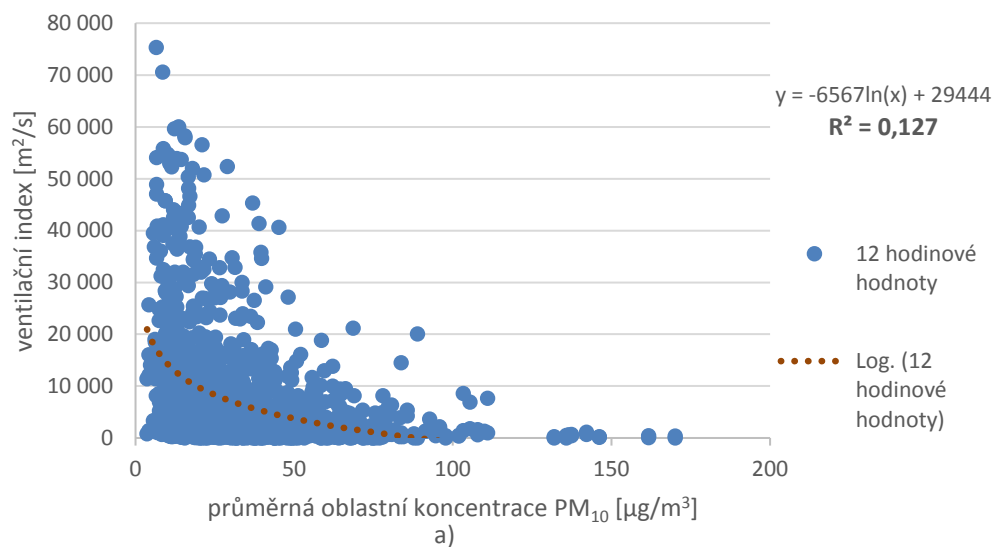
5denních klouzavých průměrů. Je patrné, že s delším průměrováním se zvyšuje hodnota spolehlivosti, od 0,0704 za 12hodinové hodnoty po 0,2301 u 5denních klouzavých průměrů, u kterých již lze mluvit o existenci vazby.

V rámci regresních závislostí se hodnotila zvlášť vazba u chladných a teplých měsíců za celé sledované období (obr. 35 a 36). Do chladných měsíců je počítán vždy leden až březen a říjen až prosinec všech 4 let. Naopak teplé měsíce jsou duben až září za všechny sledované roky 2016–2019. Opět je zde znázorněna posloupnost v průměrování hodnot od 12hodinových případů po 5denní klouzavé průměry oblastní koncentrace  $PM_{10}$  a ventilačního indexu. U chladných měsíců (obr. 35) se regresní závislost projevuje mnohem výrazněji než u teplých měsíců (obr. 36). V případě 12hodinových hodnot koncentrací  $PM_{10}$  a ventilačního indexu chladných měsíců je hodnota spolehlivosti 0,127 a u teplých měsíců dokonce pouhých 0,0213. S delší dobou průměrování roste těsnost vazby i v těchto případech. Nejvyšší hodnota spolehlivosti je u 5denních klouzavých průměrů jak chladných měsíců, tak i teplých měsíců, ale rozdíl v těsnosti je znatelný. V případě 5denních klouzavých průměrů chladných měsíců se jedná o hodnotu 0,385 a u teplých měsíců v 5denních klouzavých průměrech je hodnota spolehlivosti 0,1307.

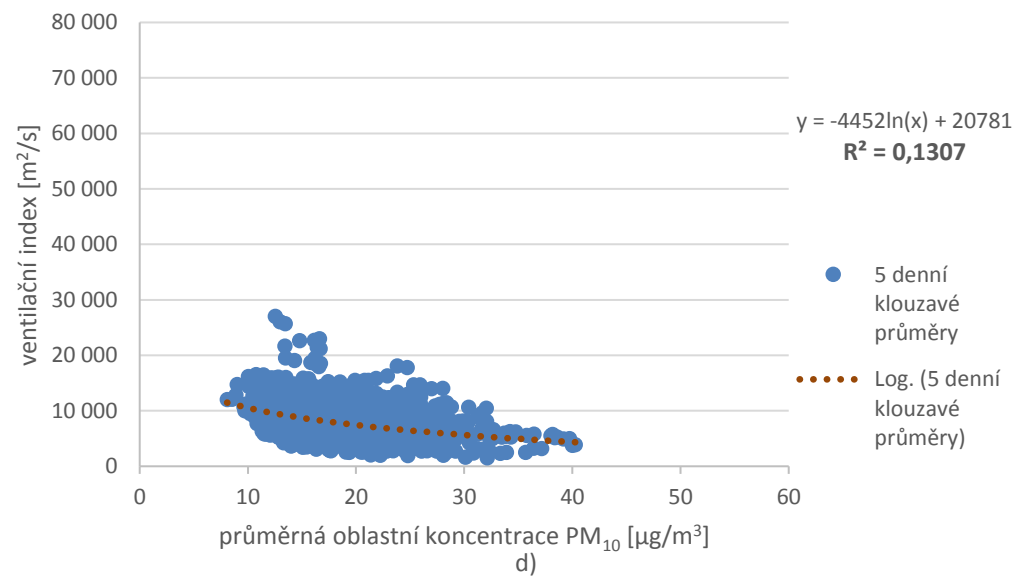
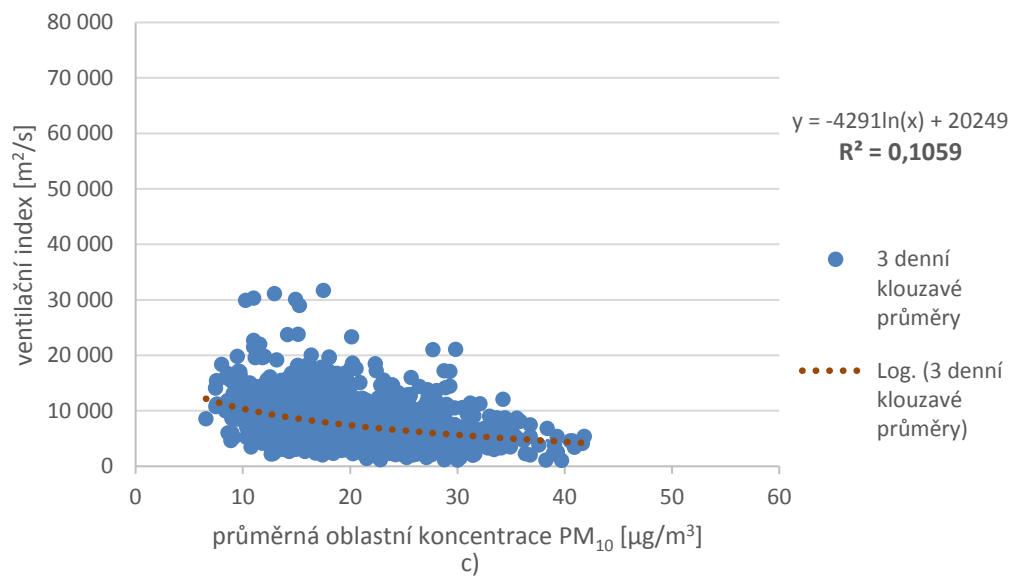
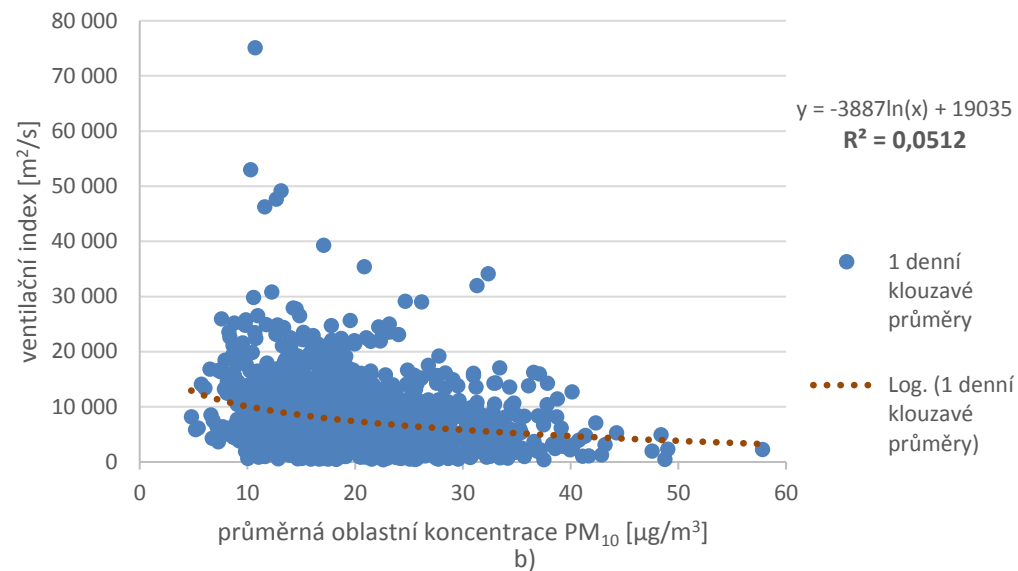
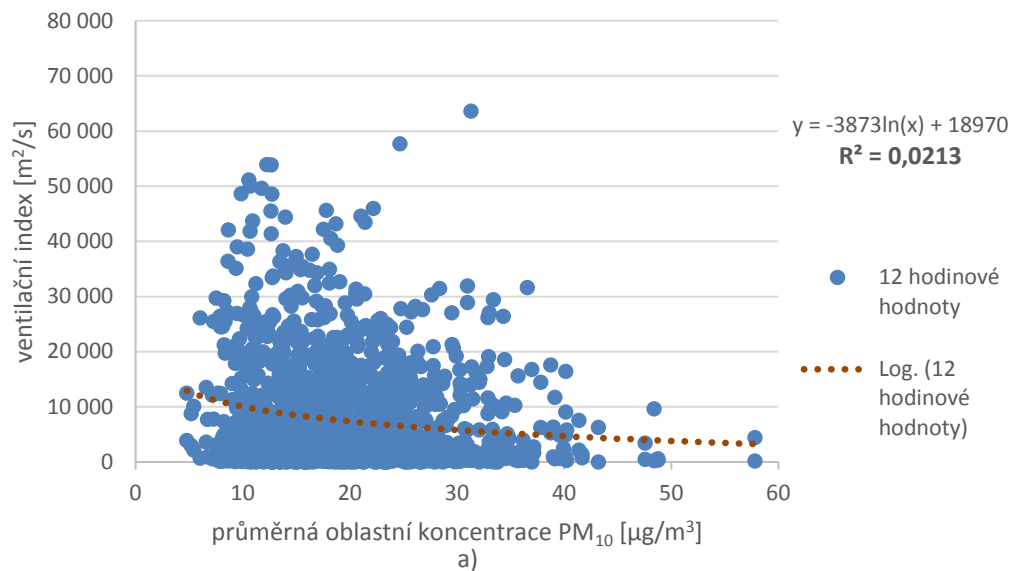
Z těchto výsledků je zřejmé, že těsnější vazba koncentrací prашného aerosolu na ventilačním indexu se projevuje v chladnějším období, tedy v měsících s větší pravděpodobností výskytu zvýšených koncentracemi  $PM_{10}$ . V období teplého půlroku se v tomto srovnání regresních závislostí nevyskytují příliš vysoké hodnoty koeficientu determinace, které by poukazovaly na jednoznačnější závislost.



**Obr. 34** Oblastní průměrná koncentrace PM<sub>10</sub> na střední Moravě a ventilační index v 12hodinových hodnotách (a), v jednodenních klouzavých průměrech (b), v třídenních klouzavých průměrech (c) a pětidenních klouzavých průměrech (d) za období 2016–2019 (vlastní zpracování).



**Obr. 35** Oblastní průměrná koncentrace  $\text{PM}_{10}$  a ventilační index v půldenních hodnotách (a), v jednodenních klouzavých průměrech (b), v třídenních klouzavých průměrech (c) a v pětidenních klouzavých průměrech (d) za **chladné měsíce** zkoumaného období 2016–2019 (vlastní zpracování).



**Obr. 36** Oblastní průměrná koncentrace  $\text{PM}_{10}$  a ventilační index v půldenních hodnotách (a), v jednodenních klouzavých průměrech (b), v třídenních klouzavých průměrech (c) a v pětidenních klouzavých průměrech (d) za **teplé měsíce** zkoumaného období 2016–2019 (vlastní zpracování).

## 6 Diskuse

Z analýzy chodu hodnot ventilačního indexu a koncentrací  $PM_{10}$  je patrné, že ventilační index v daném dni není jediným určujícím parametrem pro výši koncentrací  $PM_{10}$ . Důležitou roli sehrává jednak teplota vzduchu, ovlivňující potřebu vytápění a tím i objem emisí pevných částic z lokálních topenišť, ale také dlouhodobější situace chodu hodnot ventilačního indexu. Ačkoli v teplých měsících roku se pravidelně vyskytují noční nepříznivé rozptylové podmínky, jsou pravidelně střídány příznivými rozptylovými podmínkami během denních hodin. Navíc zdroje emisí prашného aerosolu jsou v době nepříznivých nočních situací aktivní jen málo (lokální topeniště zcela minimálně a také silniční doprava je v nočních hodinách na mnohem nižší intenzitě než ve dne). Pokud se i v teplých měsících vyskytne déletrvající epizoda nízkých hodnot ventilačního indexu, tedy když i denní hodnoty indexu zůstávají nízké, dochází k nárůstu koncentrací  $PM_{10}$ , vzhledem k celkovému emisnímu toku ze zdrojů však nebývají na hodnocených stanicích v rámci střední Moravy překračovány imisní limity.

V období od října do března, tedy v chladných měsících roku, je z hodnoceného období patrný mnohem více proměnlivý chod hodnot ventilačního indexu. Pravidelné kolísání mezi vysokými denními hodnotami a nízkými nočními hodnotami je zde vystřídáno delšími obdobími nižších hodnot ventilačního indexu, přitom noční hodnoty indexu jsou v tomto období obecně vyšší než v teplých měsících (byť stále zůstávají nízké). Celkový tok emisí tuhých znečišťujících látek ze zdrojů není v oblasti střední Moravy tak vysoký, aby při zhoršení rozptylových podmínek okamžitě docházelo k překročení imisních limitů, jakmile však situace s nepříznivými podmínkami trvá více dnů za sebou, mohou koncentrace postupně vystoupat až na násobky imisního limitu.

Vzájemná závislost koncentrací prашného aerosolu vůči ventilačnímu indexu je tak více patrná z klouzavých průměrů obou veličin. V případě dvanáctihodinových hodnot je vazba prakticky zanedbatelná, avšak s délkou období zahrnutého do klouzavých průměrů se hodnota spolehlivosti zvyšuje, a to zejména v chladných měsících roku. Zatímco v teplých měsících, kdy nedochází k výrazně zvýšeným hodnotám koncentrací  $PM_{10}$  nedochází ani k výraznějšímu zvýšení míry těsnosti vazby v klouzavých průměrech, v chladných měsících je tato vazba výraznější už u třídních, ale také pětidenních klouzavých průměrů.

Na těsnost vzájemné vazby koncentrací prašného aerosolu a ventilačního indexu mají zajisté vliv i jiné faktory. Ve výpočtu ventilačního indexu, pomocí kterého se udávají rozptylové podmínky, se počítá s výškou směšovací vrstvy a průměrnou rychlostí větru v ní, přičemž koncentrace ovlivňuje také teplota vzduchu (určuje intenzitu potřeby vytápění) a naopak vymýváním částic z atmosféry snižuje koncentrace  $PM_{10}$  srážková činnost. Naměřené hodnoty závisí i na charakteru prašného aerosolu, tedy především jeho původu – zda se jedná o intenzivní lokální antropogenní činnost či emise z přírodních procesů. Srovnání průběhu průměrných denních koncentrací  $PM_{10}$  a stavu rozptylových podmínek za období let 2016–2019 ukázalo, že jednotlivé chladné měsíce vykazují poměrně variabilní průběh obou veličin a na větší zobecnění závěrů by bylo nutné prozkoumat ještě delší období. Ukázaly se však významné rozdíly v chodu ventilačního indexu a množství koncentrací prašného aerosolu v ovzduší mezi jednotlivými měsíci v kalendářním roce. Klíčové pro další zkoumání by bylo zaměření pouze na chladné měsíce, nebo z hlediska návaznosti jednotlivých měsíců i celé chladné sezóny. Případně by bylo vhodné studovat detailně jen určité epizody se zhoršeným průběhem rozptylových podmínek a vysokými koncentracemi prašného aerosolu. Pro ně by bylo vhodné studovat chod ventilačního indexu v podrobnějším časovém rozlišení než jen denní a noční sondážní profil, například užitím detekce směšovací vrstvy pomocí lidarů, sodarů a dalších metod.



## 7 Závěr

Tato diplomová práce navazuje na výzkum z předešlé bakalářské práce (Matysková 2018), která hodnotila vazbu koncentrací prašného aerosolu na výskyt teplotních inverzí v atmosféře. Zkoumaná oblast, region střední Moravy, zůstala stejná, ale rozšířil se časový horizont z dvou let na období čtyř let 2016–2019. Navíc se k analýze teplotního zvrstvení atmosféry zapojil i další významný faktor, a to rychlost větru. Vedle množství koncentrací  $PM_{10}$ , které byly zvoleny jako vhodný prvek reprezentující prašný aerosol, bylo důležité správně analyzovat rozptylové podmínky, které se určovaly z vypočteného ventilačního indexu. Do analýzy bylo zahrnuto 2 922 aerologických profilů z meteorologické a aerologické stanice v Prostějově, ze kterých byla odhadnuta výška směšovací vrstvy a z ní spolu s hodnotami rychlosti větru byl vypočítán ventilační index. Takto připravené 12hodinové hodnoty rozptylových podmínek byly porovnány s průměrnými denními koncentracemi  $PM_{10}$  vyjádřené oblastním průměrem ze čtyř stanic automatizovaného imisního monitoringu ze zkoumané oblasti.

U rozptylových podmínek byly porovnány četnosti kategorií v nočních a denních profilech atmosféry, které mezi sebou vykazovaly výrazné rozdíly. V nočních profilech se objevovaly velice často nepříznivé rozptylové podmínky, které zamezují kvalitnímu provětrávání atmosféry, ale naopak v denních měřeních převažovaly příznivé rozptylové podmínky. Průměrná oblastní koncentrace  $PM_{10}$  byla vyhodnocena za chladné měsíce a teplé měsíce zvlášť. Za chladné měsíce se považovaly vždy leden–březen a říjen–prosinec daného roku, a duben–září byly vždy hodnoceny jako teplé měsíce. Při takovémto rozdělení se projevila odlišnost ve výši koncentrací  $PM_{10}$  v průběhu kalendářního roku. Chladné měsíce vykazují mnohem častěji vyšší koncentrace škodlivin  $PM_{10}$  než teplé měsíce, ve kterých převažují případy s nízkými koncentracemi  $PM_{10}$ . Při společném sledování průběhu ventilačního indexu a množství koncentrací  $PM_{10}$  je zřejmé, že rozptylové podmínky významněji ovlivňují výši koncentrací prašného aerosolu zejména při delším trvání výskytu nízkých denních hodnot ventilačního indexu, neboť je nutné brát v potaz dobu nutnou pro akumulaci škodlivin ze zdrojů znečištění ovzduší.

## Summary

This thesis follows up research from previous Bachelor Thesis (Matysková, 2018) where the linkage of particulate matter concentration and air temperature inversions was evaluated. Central Moravian Region remained as monitored area, but the timescale expanded from 2 to 4 years (2016 – 2019). Additionally, wind speed has been involved as another important factor to vertical air temperature profile analyses. Apart from PM<sub>10</sub> concentration level, that was chosen as suitable element representing particulate matter, it was important to analyse correctly dispersion conditions, which have been determined from ventilation index calculation. 2922 aerological profiles from meteorological and aerological station in Prostějov have been involved in analysis and used for estimation of approximate mixing layer height and ventilation index was calculated from wind speed and related to whole area of Central Moravia. Daily concentrations of PM<sub>10</sub> from 4 automated air pollution monitoring stations within research area were linked to these formerly prepared 12 hour atmospheric profiles.

There were several categories monitored. Dispersion conditions were compared during night and day profiles, which were showing significant difference. Night profiles were showing very often unfavourable dispersion conditions, which limit quality of atmospheric ventilation but during day monitoring, favourable dispersion conditions prevailed. Average daily concentration of PM<sub>10</sub>, that was used as an average regional concentration, was monitored separately during cold and warm months. January – March and October – December of monitored year were considered as cold months and April – September as warm months. Given by monthly distribution of monitoring, the difference in concentration of PM<sub>10</sub> levels appeared. Cold months show higher concentration of PM<sub>10</sub> pollutants more often than warm months, that are showing lower PM<sub>10</sub> concentration. During concurrent monitoring of ventilation index run and PM<sub>10</sub> concentration level, it is obvious, that dispersion conditions influence particulate matter concentration level in a way that in cases with low ventilation index value reflecting unfavourable dispersion conditions, particulate matter concentrations increase. This indirect dependence does not show immediately due to the fact, that it is important to consider the time that is necessary for air pollution accumulation in atmosphere. This statement is also confirmed by individual regression analyses.

## Použitá literatura a zdroje

American Meteorological Society (2012): *Meteorology glossary-Virtual potential temperature*. [online, cit. 2020-03-27]. Dostupné z: [http://glossary.ametsoc.org/wiki/Virtual\\_potential\\_temperature](http://glossary.ametsoc.org/wiki/Virtual_potential_temperature)

Bachtiar, V. S. et al. (2014): A combined model for improving estimation of atmospheric boundary layer height. *Atmospheric Environment* 98, 461–473.

Bednář, J. (2003): *Meteorologie*. Praha: Portál, 223 s. ISBN 80-7178-653-5.

Bednář, J., Zikmunda, O. (1985): *Fyzika mezní vrstvy atmosféry*. Praha: Academia.

Blažek, Z. (2016): Dlouhodobý režim meteorologických podmínek rozptylu na ostravsku. *Meteorologické zprávy*, roč. 69, č. 6, s. 161–170. ISSN 0026-1173

Braniš, M., Hůnová, I. et al. (2009): *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-1598-1.

Bubník, J., Keder, J., Mocoun J., a J., Maňák. (1998): *SYMOS'97 - Metodická příručka: Systém modelování stacionárních zdrojů*. Praha. ISBN 80-85813-55-6.

ČHMÚ (2012): *ISKO: Úsek kvality ovzduší* [online, cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/smog/qa.html>

ČHMÚ. (2017): *Předběžné zhodnocení kvality ovzduší a rozptylových podmínek v roce 2016*. Úsek ochrany čistoty ovzduší.

ČHMÚ. (2018): *Předběžné zhodnocení kvality ovzduší a rozptylových podmínek v roce 2017*. Úsek ochrany čistoty ovzduší.

ČHMÚ. (2019): *Předběžné zhodnocení kvality ovzduší a rozptylových podmínek v roce 2018*. Úsek ochrany čistoty ovzduší.

ČHMÚ. (2020): *Předběžné zhodnocení kvality ovzduší a rozptylových podmínek v roce 2019*. Úsek ochrany čistoty ovzduší.

ČHMÚ (2020a): *Kvalita ovzduší a rozptylové podmínky na území České republiky*. [online, cit. 2020-03-27]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/mes\\_zpravy/mesprehledy.html#ventindex](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/mes_zpravy/mesprehledy.html#ventindex)

- ČHMÚ (2020b): *Předpovědi modelu ALADIN* [online, cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ov/aladin/results/ala.html#veind>
- ČMeS (2017): *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. [online, cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/>
- ČSÚ (2019a): *Charakteristika okresu Přerov*. [online, cit. 2020-03-27]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/documents/11276/17843076/okres\\_Prerov.pdf/ed93c9b1-7f9a-4d9e-b61a-87a9b8e2329d?version=1.1](https://www.czso.cz/documents/11276/17843076/okres_Prerov.pdf/ed93c9b1-7f9a-4d9e-b61a-87a9b8e2329d?version=1.1)
- ČSÚ (2019b): *Charakteristika okresu Prostějov*. [online, cit. 2020-03-27]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/documents/11276/17838488/okres\\_+Prostejov.pdf/3a4b7e6b-208e-473e-b0a1-1cc87256f816?version=1.1](https://www.czso.cz/documents/11276/17838488/okres_+Prostejov.pdf/3a4b7e6b-208e-473e-b0a1-1cc87256f816?version=1.1)
- ČSÚ (2019c): *Charakteristika okresu Olomouc*. [online, cit. 2020-03-27]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/documents/11276/17839886/okres\\_Olomouc.pdf/24d8fda0-00c0-439c-b539-6aa6adceab4b?version=1.1](https://www.czso.cz/documents/11276/17839886/okres_Olomouc.pdf/24d8fda0-00c0-439c-b539-6aa6adceab4b?version=1.1)
- Demek, J., Mackovčín, P. eds. (2006): *Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny*. Brno: AOPK ČR, 580 s. ISBN 80-86064-99-9.
- Dupont, E. et al. (1999): Comparison between the atmospheric boundary layer in Paris and its rural suburbs during the ECLAP experiment. *Atmospheric Environment* 33, 979–994.
- Hardy, C. C. et al. (2001): Smoke management guide for prescribed and wildland fire. *National Wildfire Coordinating Group*.
- Heffer, J. L. (1980): Atmospheric transport and dispersion model. *Air resources laboratories, NOAA*.
- Holtzworth, G. C. (1972): Mixing heights, wind speeds, and potential for urban air pollution throughout the contiguous United states. *Environmental protection agency*.
- Keder, J., Škáchová, H., (2011): Hodnocení rozptylových podmínek pro šíření znečišťujících látek pomocí ventilačního indexu. In: *Ochrana ovzduší ve státní správě – teorie a praxe VII*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, s. 19–23. ISBN 978-80-86832-62-3.

- Kotthaus, S. et al. (2018): Volum efor pollution dispersion: London's atmospheric boundary layer during ClearfLo observed with two ground-based lidar types. *Atmospheric Environment* 190, 401–414.
- Leventidou, E. (2013): Factors affecting the comparisons of planetary boundary layer height retrievals from CALIPSO, ECMWF and radiosondes over Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Environment* 74, 360–366.
- Matysková, M. (2018): *Hodnocení koncentrací prашného aerosolu ve vztahu k aerologickému profilu v Prostějově*. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta.
- Město Olomouc (2020): *Počasi*. [online, cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <http://tourism.olomouc.eu/basic-information/facts-and-attractions/climate/cs>
- Olomoucká aglomerace (2020): *Vymezení území*. [online, cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://www.olomoucka-aglomerace.eu/zakladni-informace/vymezeni-uzemi>
- Pasch, A. N. et al. (2011): Meteorological characteristics associated with PM<sub>2,5</sub> air pollution in Cleveland, Ohio, during the 2009–2010 Cleveland Multiple Air Pollutants Study. *Atmospheric Environment* 45, 7026–7035.
- Quitt, E. (1971): *Klimatické oblasti Československa*. Brno: Geografický ústav ČSAV.
- Rein, F. (1971): Znečištění ovzduší a mezní vrstva atmosféry z hlediska klimatologie. *Meteorologické zprávy*, roč. 24, č. 3-4, s. 74-79. ISSN 0026-1173.
- Řezáčová, D., Novák, P., Kašpar, M., a Setvák, M. (2007): *Fyzika oblaků a srážek*. Praha: Academia. ISBN 978-80-200-1505-1.
- Seibert, P. et al. (2000): Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height. *Atmospheric environment* 34, 1001–1027.
- Seidel, D. J., C. O. Ao, a K. Li (2010): Estimating climatological planetary boundary layer heights from radiosonde observations: Comparison of methods and uncertainty analysis. *Journal of geophysical research* 115, 1–15.

- Shaw, W. J. et al. (2005): Boundary-layer evolution over Phoenix, Arizona and the premature mixing of pollutants in the early morning. *Atmospheric Environment* 39, 773–786.
- Taylor, E. (2006): The venting index. *British Columbia, Ministry of Environment*.
- Termonia, P. et al. (2018): The ALADIN systém and its canonical model configurations AROME CY41T1 and ALARO CY40T1. *Geoscientific Model Development*, roč. 11, č. 1, s. 257–281. ISSN 1991-9603.
- Tripathi, S. N. et al. (2007): The vertical profile of atmospheric heating rate of black carbon aerosols at Kanpur in northern India. *Atmospheric Environment* 41, 6909–6915.
- Ulke A. G., Mazzeo, N. A. (1998): Climatological aspects of the daytime mixing height in Buenos Aires city, Argentina. *Atmospheric Environment* 32, 1615–1622.
- University of Wyoming (2020): *Atmospheric Soundings* [online, cit. 2020-01-04]. Dostupné z <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- Volná, V., Blažek, Z., Krejčí, B. (2018): Zimní smogové situace na Ostravsku a Olomoucku v letech 2001–2016. *Meteorologické zprávy*, roč. 71, č. 3, s. 86–92. ISSN 0026-1173.
- Volná, V., Hladký, D. (2019): Koncentrace suspendovaných částic PM<sub>10</sub> a výšky směšovací vrstvy v Moravskoslezském kraji během chladných sezon 2016/2017 a 2017/2018. *Meteorologické zprávy*, roč. 72, č. 3, s. 77–87. ISSN 0026-1173.
- Vysoudil, M. (2013): *Meteorologie a klimatologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3893-1.
- Wang, X. Y, Wang, K. C. (2014): Estimation atmospheric mixing layer height from radiosonde data. *Atmospheric measurement techniques* 7, 1701–1709.
- Wu, M. et al. (2013): Observational studies of the meteorological characteristics associated with poor air quality over the Pearl River Delta in China. *Atmospheric, Chemistry and Physics* 13, 10755–10766.

Xu, J. et al. (2015): Impact of meteorological conditions on a nine-day particulate matter pollution event observed in December 2013, Shanghai, China. *Particuology* 20, 69–79.

Zheng, X. et al. (2018): The development of boundary layer structure index (BLSI) and its relationship with ground air quality. *Atmosphere* 10, 1–21.