Závislost suspendovaných částic, oxidu dusičitého a benzo[*a*]pyrenu na vybraných meteorologických faktorech

Dependence of suspended particles, nitrogen dioxide, and benzo[*a*]pyrene concentrations on selected meteorological factors

Hana Škáchová
Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany
✉ hana.skachova@chmi.cz

Lucie Školoudová
Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany
✉ lucie.skoloudova@chmi.cz

The article examines the influence of air temperature, precipitation, wind speed, and the ventilation index on concentrations of suspended particulate matter (PM_{10} and $PM_{2.5}$), nitrogen dioxide (NO_2), and benzo[*a*]pyrene using multivariate regression analysis. The assessment was carried out at six Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) stations over the period 2015–2024, with respect to the cold and warm seasons. Concentrations of all evaluated pollutants show a strong relationship with meteorological and dispersion conditions. The resulting levels of PM_{10}, $PM_{2.5}$, and NO_2 pollution are primarily determined by horizontal and vertical mixing and are negatively correlated with the ventilation index and wind speed. The relationship between PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations and air temperature is positively correlated in the warm season but negatively correlated in the cold season. For NO_2, concentrations are negatively correlated with air temperature throughout the year. The relationship between PM_{10}, $PM_{2.5}$, and NO_2 concentrations and precipitation is positively correlated in the cold season, whereas in the warm season it is rather negatively correlated. For benzo[*a*]pyrene, a negative correlation with all monitored meteorological factors was observed at both evaluated locations; in both seasons, its concentrations are most strongly influenced by air temperature. In the warm season, wind speed and precipitation also play a role, while the influence of the ventilation index is not statistically significant. In the cold season, the situation is the opposite.

KLÍČOVÁ SLOVA: kvalita ovzduší – podmínky meteorologické – podmínky rozptylové – částice suspendované – oxid dusičitý – benzo[*a*]pyren

KEYWORDS: air quality – meteorological conditions – dispersion conditions – suspended particles – nitrogen dioxide – benzo[*a*]pyrene

1. Úvod

Jeden z nejzávažnějších problémů životního prostředí v současné době představuje znečištění ovzduší. Přináší negativní dopady nejen na přírodu a ekosystémy, ale také na lidské zdraví. Pro nejvýznamnější znečišťující látky jsou v České republice legislativou stanoveny imisní limity pro ochranu zdraví obyvatelstva. Mezi tyto látky patří suspendované částice frakce PM_{10} a $PM_{2.5}$, benzo[*a*]pyren, oxid dusičitý NO_2, přízemní ozon O_3, oxid siřičitý SO_2, těžké kovy (arsen, kadmium, nikl, olovo) a benzen.

Úroveň znečištění ovzduší je dána různými faktory, které se mohou vzájemně ovlivňovat – od množství vyprodukovaných emisí přes geografii daného místa a využití krajiny až po meteorologické a rozptylové podmínky (Škáchová 2024; ČMeS). Pochopení vztahu mezi těmito proměnnými a úrovní znečištění je pro hodnocení kvality ovzduší klíčové. Dosavadní studie využívají pro hodnocení vztahu mezi koncentracemi znečišťujících látek a meteorologickými faktory různé metody vícerozměrných analýz, jejichž základní typy jsou ordinační metody a shluková analýza. Nejčastěji se setkáváme s vícenásobnou lineární regresí (např. Juneng et al. 2011; Tai et al. 2010; Kalisa et al. 2018; Nakyai et al. 2025) s ohledem na teplou a chladnou sezonu (např. Milukaité 2006; Cichowicz et al. 2017; Nakyai et al. 2025).

Mechanismy, kterými meteorologické faktory ovlivňují kvalitu ovzduší, jsou předmětem řady studií z různých částí světa. Mezi nejčastěji zkoumané meteorologické faktory patří teplota a vlhkost vzduchu, srážky, rychlost a směr větru. V neposlední řadě sem patří i stabilita atmosféry, kterou lze hodnotit pomocí tlaku vzduchu (Girotti et al. 2025) nebo ventilačního indexu (Ferguson 2001; Škáchová, Keder 2025). Vyšší rychlost větru zpravidla zlepšuje podmínky pro rozptyl znečišťujících látek, což potvrzuje např. studie autorů Ma et al. (2019). Naopak, v případě přetrvávající teplotní inverze a nízké rychlosti větru

je rozptyl velmi omezený, což způsobuje akumulaci znečišťujících látek v blízkosti země a nárůst jejich koncentrací (Whiteman et al. 2014; Di Bernardino et al. 2021; Girotti et al. 2025). Důležitým faktorem při hodnocení rychlosti větru je i hustota a charakter zástavby (Wu et al. 2025). Směr větru hraje významnou roli při rozptylu škodlivin, především ukazuje na vliv možných zdrojů z daného směru (např. během přenosu prachových částic ze Sahary; Di Bernardino et al. 2021). Významným meteorologickým faktorem je teplota vzduchu (Ali et al. 2025). V teplém období vykazuje přímo úměrnou závislost s koncentracemi znečišťujících látek (Wu et al. 2025). Srážky napomáhají procesu samočištění atmosféry (např. Nakyai et al. 2025), nicméně závislost koncentrací na srážkách je nelineární a závisí na intenzitě a době trvání srážek (Škáchová 2024).

2. Výběr stanic a použitá data

Pro účely této práce byly zvoleny lokality se souběžným měřením vybraných znečišťujících látek a meteorologických veličin a s dostatečně dlouhou řadou měření. Jedná se o šest lokalit, a to Praha 4-Libuš, Brno-Tuřany, České Budějovice, Košetice, Tušimice a Ústí n.L.-Kočkov. Pět lokalit splňuje požadavek na souběžné měření s výjimkou stanice České Budějovice, ke které byla přiřazena meteorologická data z blízké meteorologické stanice České Budějovice, Rožnov. Všechny lokality jsou klasifikovány jako pozaďové (lokalita v nezatíženém území, která měří typickou úroveň znečištění regionu a není přímo ovlivněna místními zdroji (ČHMÚ 2013)), jsou součástí Státní sítě imisního monitoringu a jsou využívány pro účely Smogového varovného a regulačního systému.

Lokalita Praha 4-Libuš je klasifikována jako pozaďová předměstská, nachází se v areálu ČHMÚ na Libuši a její reprezentativnost má okrskové měřítko (0,5–4 km). Lokalita Brno-Tuřany je klasifikována jako pozaďová předměstská, nachází se na náhorní plošině v areálu letiště Brno-Tuřany a její reprezentativnost má okrskové měřítko (0,5–4 km). Lokalita České Budějovice je klasifikována jako pozaďová městská, nachází se na travnatém prostranství v městské zástavbě a její reprezentativnost má okrskové měřítko (0,5–4 km). Lokalita Košetice je klasifikována jako pozaďová regionální, nachází se v areálu ČHMÚ a její reprezentativnost má oblastní měřítko (desítky až stovky km). Lokalita Tušimice je klasifikována jako pozaďová venkovská, nachází se v areálu Observatoře Tušimice ČHMÚ v těsné blízkosti uhelných tepelných elektráren Tušimice (ETU I a ETU II), nedaleko města Kadaň a vodní nádrže Nechranice a její reprezentativnost má oblastní měřítko (4–50 km). Lokalita Ústí n.L.-Kočkov je klasifikována jako pozaďová předměstská, nachází se v areálu pobočky ČHMÚ Ústí nad Labem v severní části města na západním svahu kopce Velký Brand a její reprezentativnost má oblastní měřítko (4–50 km).

Základní soubor dat obsahuje průměrné hodinové koncentrace suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ a oxidu dusičitého NO_2, meteorologická data z přízemního pozorování (teplota vzduchu, rychlost větru a hodinové úhrny srážek měřené v dané hodině) a vypočítané hodnoty ventilačního indexu (VI) ze všech lokalit pomocí modelu ALADIN (Brožková 2019). Ventilační index je definován jako součin výšky směšovací vrstvy a průměrné rychlosti větru uvnitř této vrstvy, přičemž platí, že čím vyšší hodnota VI, tím lepší rozptylové podmínky. Je nutno zdůraznit, že nízké hodnoty VI nemusí nutně indikovat vysoké koncentrace znečišťujících látek, neboť zde hraje roli i délka trvání dané situace, výchozí úroveň znečištění či rozložení zdrojů a jejich emisí do vrstvy pod inverzí (Ferguson 2001; Kender, Škáchová 2011; Škáchová 2019). Druhý soubor dat obsahuje průměrné třídenní koncentrace benzo[*a*]pyrenu a k nim odpovídající meteorologická data, tj. třídenní průměr teploty vzduchu, rychlosti větru a ventilačního indexu a třídenní úhrn srážek. Měření benzo[*a*]pyrenu je z šesti vybraných lokalit dostupné pouze na lokalitách Praha 4-Libuš a Košetice, a proto je hodnoceno zvlášť. Jako referenční období bylo zvoleno 10letí 2015–2024. Všechny termíny pozorování a data jsou v UTC.

3. Metodika

Pro základní přehled byl zpracován vývoj ročních hodnot ve sledovaném období 2015–2024. Dále byly hodnoceny roční a denní chody znečišťujících látek a vybraných meteorologických faktorů, a to zvlášť pro teplou (duben–září) a chladnou (říjen–březen) sezonu.

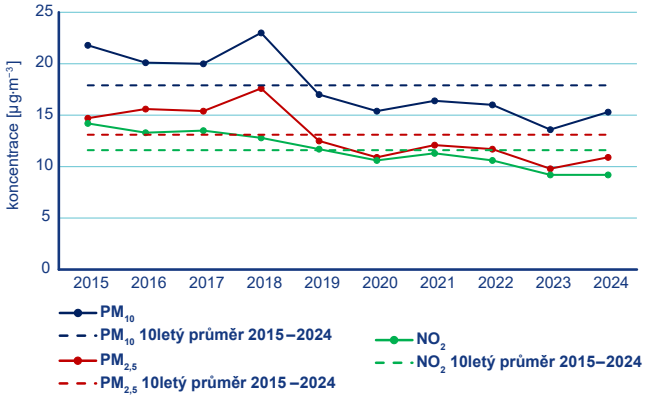
Vzájemné vztahy mezi meteorologickými faktory a znečišťujícími látkami byly analyzovány metodou vícerozměrné vzestupné lineární krokové regrese a případné nedostatky této metody, například náchylnost k nadměrnému přizpůsobení dat a nestabilita výběru proměnných, byly při interpretaci výsledků zohledněny. Tato metoda předpokládá lineární závislost predikované proměnné (znečišťující látky) na zvolených nezávislých proměnných (meteorologické faktory) (Kubánková 1987; Zvára 1989). Ventilační index má exponenciální rozložení a silný nelineární vztah ke koncentracím znečišťujících látek, proto byla zvolena jeho logaritmická transformace ve tvaru dekadického logaritmu log (VI + 1), dále označovaná jako LogVI (Škáchová 2019; Škáchová 2024). Matematická úprava VI + 1 řeší případy, kdy je VI rovno nule (jejíž logaritmus není definován), přičemž z hlediska rozptylových podmínek tato úprava nepředstavuje zásadní rozdíl. Při metodě vícerozměrné vzestupné lineární krokové regrese jsou na základě výchozí korelační matice postupně vybírány prediktory, které jsou postupně přidávány do regresní rovnice, a to počínaje nejvyšším parciálním korelačním koeficientem, dokud je přidáním dalšího prediktoru významně zvyšován koeficient determinace R^2. Ten vyjadřuje míru rozptylu, který lze vysvětlit příslušnou regresí. Jedná se o explorační metodu, jejímž cílem je co nejlepší predikce, resp. vysvětlení hodnot analyzované proměnné pomocí co nejmenšího počtu prediktorů.

4. Výsledky

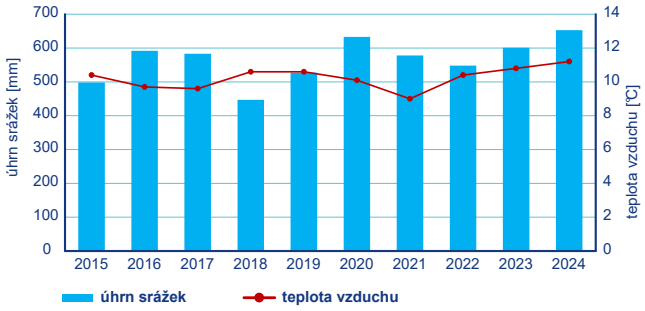
4.1 Vývoj ročních hodnot v období 2015–2024

Všechny sledované znečišťující látky (PM_{10}, $PM_{2,5}$ a NO_2) na uvažovaných stanicích vykazují v průběhu hodnoceného období 2015–2024 klesající trend (obr. 1) a od roku 2019 se pohybují pod hodnotami svých 10letých průměrů 2015–2024. Vývoj koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ má obdobný průběh, neboť skladba emisních zdrojů obou látek je obdobná, stejně jako významná závislost na meteorologických a rozptylových podmínkách.

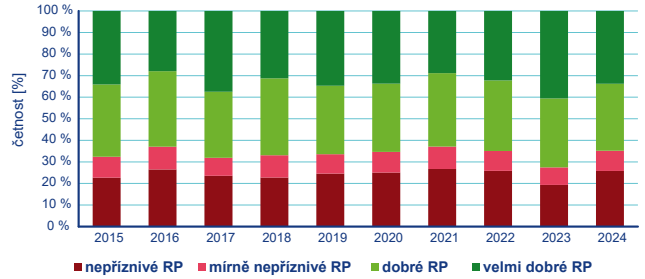
Nejvyšší koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$ byly naměřeny v roce 2018, který je z klimatologického hlediska hodnocen jako teplotně mimořádně nadnormální a srážkově silně podnormální (obr. 2). Druhé nejnižší koncentrace byly zaznamenány v roce 2020, kdy se pravděpodobně projevil důsledek opatření v rámci pandemie SARS-CoV-2 (ČHMÚ 2021). Nejnižší hodnoty koncentrací v roce 2023 souvisí s výrazně lepšími rozptylovými



Obr. 1 Průměrné roční koncentrace PM_{10}, $PM_{2,5}$ a NO_2, 2015–2024.
Fig. 1. Average annual concentrations of PM_{10}, $PM_{2.5}$ and NO_2, 2015–2024.



Obr. 2 Průměrné roční teploty vzduchu a úhrny srážek, 2015–2024.
Fig. 2. Average annual air temperatures and precipitation totals, 2015–2024.



Obr. 3 Četnosti výskytu rozptylových podmínek, 2015–2024.
Fig. 3. Frequencies of dispersion conditions, 2015–2024.

podmínkami v tomto roce (obr. 3). V roce 2024 se koncentrace PM_{10} opět vrátily na úroveň z roku 2022, celkový pokles oproti počátku hodnoceného období, tedy roku 2015, však zůstává zřejmý. V případě koncentrací NO_2 lze v hodnoceném období pozorovat setrvalý pokles od roku 2015. Stejně jako u koncentrací PM je v roce 2020 pozorován výraznější pokles, zapříčiněný omezeními pohybu v rámci pandemie SARS-CoV-2 (ČHMÚ 2021). Oproti koncentracím suspendovaných částic jsou nejnižší hodnoty pozorovány v roce 2023 i 2024, což odpovídá příznivým meteorologickým a rozptylovým podmínkám a snižování emisí v důsledku opatření pro zlepšení kvality ovzduší (ČHMÚ 2025).

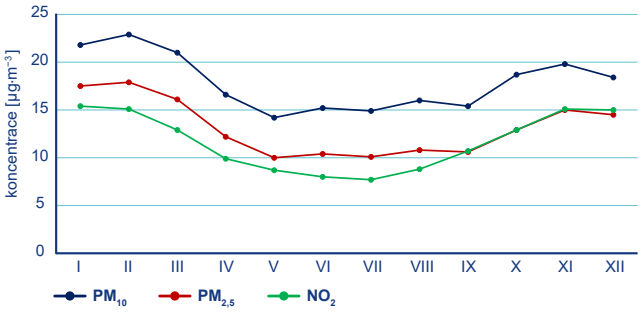
Hodnoceno po jednotlivých lokalitách, byly nejnižší koncentrace všech tří znečišťujících látek naměřeny na pozaďové regionální lokalitě Košetice. Nejvyšší koncentrace PM_{10} i $PM_{2,5}$ pak byly měřeny na lokalitě Brno-Tuřany, NO_2 na lokalitě Praha 4-Libuš.

4.2 Roční chod

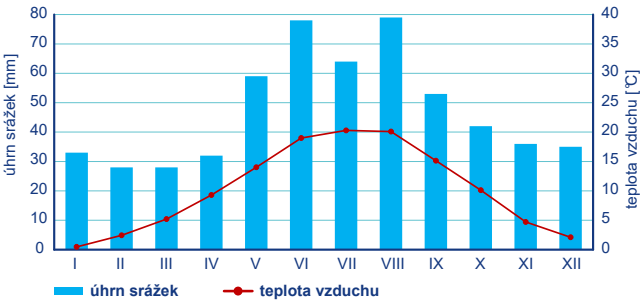
Koncentrace všech tří hodnocených znečišťujících látek vykazují zřetelný roční chod s minimem v letních a maximem v zimních měsících (obr. 4). Naopak teplota vzduchu a srážky dosahují maximálních hodnot v letních a minimálních v zimních měsících, přičemž u srážek je třeba zohlednit jejich specifický sezónní charakter (obr. 5).

Roční chod koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ je opět obdobný. Vyšší koncentrace PM v ovzduší během chladného období roku souvisejí jak s vyššími hodnotami emisí suspendovaných částic ze sezonně provozovaných tepelných zdrojů, tak i se zhoršenými rozptylovými podmínkami (ČHMÚ 2025). V teplé sezoně je patrný pokles koncentrací NO_2. Důvodem je vyšší intenzita slunečního záření v tomto ročním období, která má za následek rozklad NO_2 a jeho účast při fotochemických reakcích za vzniku ozonu. V letních prázdninových měsících také dochází ke snížení intenzity dopravy ve velkých městech, čímž dochází k poklesu koncentrací NO_2 (ČHMÚ 2025). V chladnějších měsících se častěji vyskytují špatné rozptylové podmínky (obr. 6) a vzhledem k nízkým teplotám jsou navíc koncentrace NO_2 ovlivněny navýšením emisí z vytápění a ze studených startů automobilů.

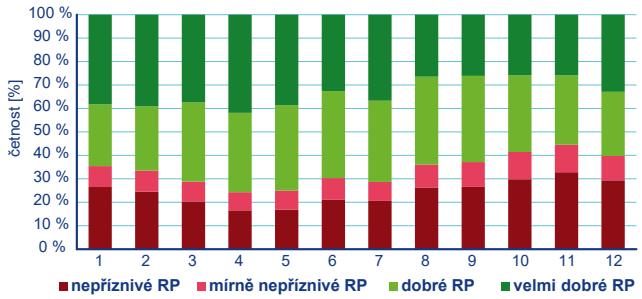
Hodnoceno po jednotlivých lokalitách, byly nejnižší koncentrace všech tří znečišťujících látek naměřeny na pozaďové regionální lokalitě Košetice. Nejvyšší koncentrace PM_{10} byly měřeny na lokalitě Tušimice, $PM_{2,5}$ na lokalitě Brno-Tuřany a NO_2 na lokalitě Praha 4-Libuš.



Obr. 4 Roční chod koncentrací PM_{10}, $PM_{2,5}$ a NO_2, 2015–2024.
Fig. 4. Annual course of PM_{10}, $PM_{2.5}$ and NO_2 concentrations, 2015–2024.



Obr. 5 Roční chod teplot vzduchu a úhrnů srážek, 2015–2024.
Fig. 5. Annual course of air temperatures and precipitation totals, 2015–2024.

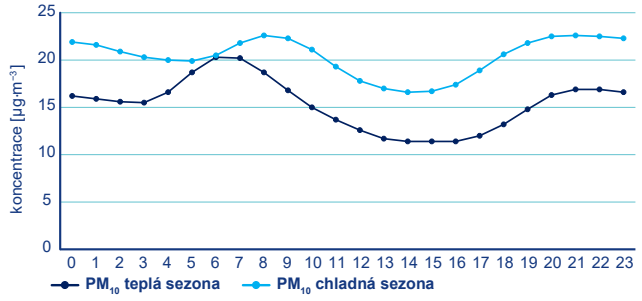


Obr. 6 Roční chod četností výskytu rozptylových podmínek, 2015–2024.
Fig. 6. Annual course of dispersion conditions, 2015–2024.

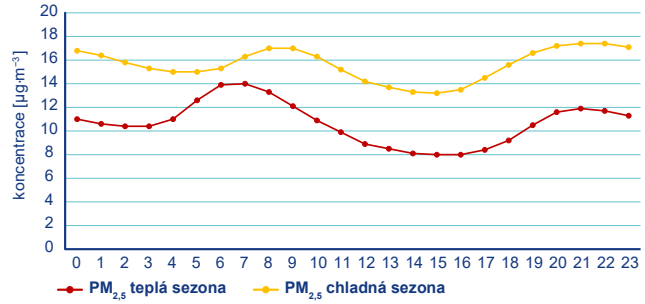
4.3 Denní chod

Koncentrace všech tří hodnocených znečišťujících látek vykazují výrazný denní chod, který do značné míry kopíruje denní chod rozptylových podmínek (obr. 7–9, obr. 11–12), a je charakteristický dvěma maximy v ranních a večerních hodinách a dvěma minimy v odpoledních a nočních hodinách. Během teplé sezony koncentrace znečišťujících látek dosahují nižších hodnot než v sezoně chladné. V teplé sezoně jsou ranní maxima výraznější než v chladné a z důvodu změn času jsou ranní špičky koncentrací posunuty o hodinu zpět. Odpolední maximum je pak v teplé sezoně posunuto do pozdějších hodin, což je více patrné u NO_2.

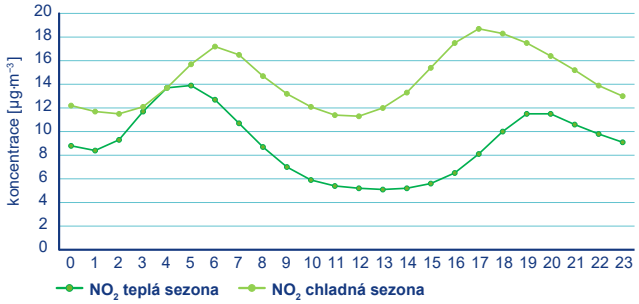
Rozdíl denního chodu mezi teplou a chladnou sezonou vykazují zejména rozptylové podmínky (obr. 11–12), jejichž denní amplituda je v teplém období výrazná (ranní maxima a odpolední minima nepříznivých rozptylových podmí-



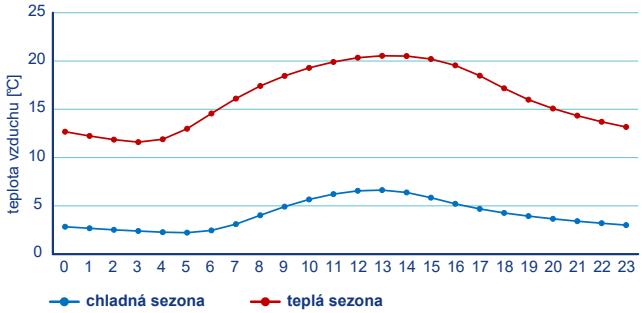
Obr. 7 Denní chod průměrných hodinových koncentrací PM_{10} v chladné a teplé sezoně, 2015–2024.
Fig. 7. Daily course of average hourly PM_{10} concentrations in the cold and warm seasons, 2015–2024.



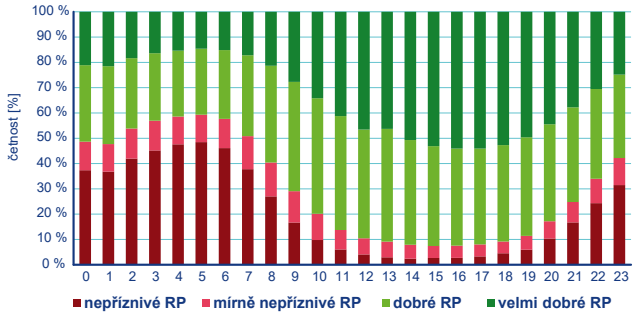
Obr. 8 Denní chod průměrných hodinových koncentrací $PM_{2,5}$ v chladné a teplé sezoně, 2015–2024.
Fig. 8. Daily course of average hourly $PM_{2.5}$ concentrations in the cold and warm seasons, 2015–2024.



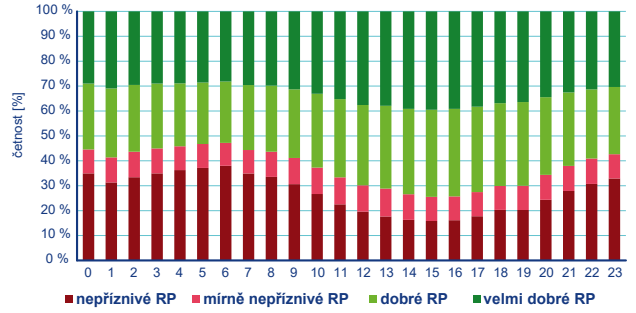
Obr. 9 Denní chod průměrných hodinových koncentrací NO_2 v chladné a teplé sezoně, 2015–2024.
Fig. 9. Daily course of average hourly NO_2 concentrations in the cold and warm seasons, 2015–2024.



Obr. 10 Denní chod teploty vzduchu v chladné a teplé sezoně, 2015–2024.
Fig. 10. Daily course of air temperature in the cold and warm seasons, 2015–2024.



Obr. 11 Denní chod četností výskytu rozptylových podmínek v teplé sezoně, 2015–2024.
Fig. 11. Daily course of frequencies of occurrence of dispersion conditions in the warm season, 2015–2024.



Obr. 12 Denní chod četností výskytu rozptylových podmínek v chladné sezoně, 2015–2024.
Fig. 12. Daily course of frequencies of occurrence of dispersion conditions in the cold season, 2015–2024.

nek), zatímco v chladné sezoně je amplituda nevýrazná. Denní chod teploty vzduchu v teplé sezoně vykazuje větší amplitudu a výraznější minimum v brzkých ranních hodinách, naopak v chladné sezoně je amplituda výrazně menší (obr.10).

4.4 Korelace

Korelace mezi rychlostí větru a ventilačním indexem a všemi třemi znečišťujícími látkami je statisticky významná na hladině 0,05 na všech lokalitách v obou uvažovaných obdobích (tab. 1). Statisticky významná je i korelace teploty vzduchu, s výjimkou korelace s NO_2 v teplém období na lokalitách Praha 4-Libuš, Tušimice a Ústí nad Labem-Kočkov. Korelace mezi srážkami a znečišťujícími látkami jsou statisticky významné pouze s NO_2 v teplém období na lokalitě České Budějovice, se všemi třemi látkami v chladném období na lokalitě Košetice, s PM_{10} v teplém období na lokalitě Tušimice, s PM_{10} v teplém období na lokalitě Ústí nad Labem-Kočkov a s PM_{10} a $PM_{2,5}$ v chladném období na lokalitě Ústí nad Labem-Kočkov.

Korelační koeficienty uvažovaných meteorologických faktorů a znečišťujících látek jsou převážně záporné, tj. koncentrace znečišťujících látek klesají s rostoucí hodnotou meteorologických faktorů, bez ohledu na statistickou významnost. Kladně koreluje teplota vzduchu s PM_{10} a $PM_{2,5}$ v teplém období na všech uvažovaných lokalitách a s NO_2 v teplém období na lokalitách Tušimice a Ústí nad Labem-Kočkov. Kladně korelují i srážky, a to na lokalitě Praha 4-Libuš v teplém období se všemi třemi znečišťujícími látkami a v chladném období s NO_2. Na lokalitě Brno-Tuřany korelují kladně v chladném období s $PM_{2,5}$. Se všemi třemi znečišťujícími látkami korelují srážky kladně na lokalitě Tušimice v obou obdobích a na lokalitě Ústí nad Labem-Kočkov v období teplém.

Obecně jsou korelace znečišťujících látek s meteorologickými faktory vyšší v teplém období bez ohledu na statistickou významnost. Nejnižší hodnoty a nejmenší rozdíl mezi teplým a chladným obdobím vykazují korelace znečišťujících látek se srážkami, kdy se v teplém období korelace pohybují v rozmezí 0,09 až –0,07, zatímco v chladném období v rozmezí 0,03 až –0,18. Korelace s rychlostí větru se pohybují v teplé sezoně od –0,08 do –0,39, v chladné sezoně od –0,29 do –0,61 a korelace s ventilačním indexem v teplé sezoně od –0,12 do –0,46, v chladné sezoně od –0,45 do –0,68. Největší rozdíl mezi teplým a chladným obdobím je pozorován u teploty vzduchu, kdy korelace v teplém období mají rozsah 0,43 a –0,09, zatímco v chladném období –0,18 a –0,38.

4.5 Vícerozměrná regrese

V souhrnných regresních tabulkách (tab. 2–4) je pro každou lokalitu a sezonu uveden počet případů (N) a statistika celkové regrese (F), přičemž všechny regrese jsou statisticky významné na hladině $p < 0,0000$. Dále jsou uvedeny parciální regresní koeficienty (b) výsledné regrese, jejich t-statistiky (t) a statistické významnosti (sig. (p)) a vícenásobné regresní koeficienty (R) a koeficienty determinace (R^2) při daném počtu proměnných zahrnutých do jednotlivých postupných kroků

Tab. 1 Korelační matice pro teplotu vzduchu, srážky, rychlost větru, logVI vs. PM_{10}, $PM_{2,5}$ a NO_2.
Table 1. Correlation matrix for air temperature, precipitation, wind speed, logVI vs. PM_{10}, $PM_{2,5}$ and NO_2.

Praha 4-Libuš							
teplá sezona				chladná sezona			
	PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_2		PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_2
T	**0,284**	**0,220**	**–0,044**	T	**–0,307**	**–0,368**	**–0,348**
SRA	0,033	0,029	0,030	SRA	–0,031	–0,035	0,015
F	**–0,304**	**–0,258**	**–0,379**	F	**–0,514**	**–0,497**	**–0,601**
LogVI	**–0,343**	**–0,322**	**–0,457**	LogVI	**–0,664**	**–0,644**	**–0,681**

Košetice							
teplá sezona				chladná sezona			
	PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_2		PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_2
T	**0,321**	**0,239**	**–0,095**	T	**–0,300**	**–0,352**	**–0,309**
SRA	–0,028	–0,058	–0,042	SRA	**–0,179**	**–0,178**	**–0,100**
F	**–0,372**	**–0,350**	**–0,181**	F	**–0,503**	**–0,506**	**–0,437**
LogVI	**–0,268**	**–0,313**	**–0,209**	LogVI	**–0,573**	**–0,580**	**–0,510**

Brno, Tuřany							
teplá sezona				chladná sezona			
	PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_2		PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_2
T	**0,397**	**0,275**	**–0,083**	T	**–0,300**	**–0,359**	**–0,334**
SRA	–0,029	–0,034	–0,011	SRA	–0,014	0,004	–0,007
F	**–0,120**	**–0,077**	**–0,359**	F	**–0,334**	**–0,292**	**–0,487**
LogVI	**–0,124**	**–0,166**	**–0,364**	LogVI	**–0,486**	**–0,456**	**–0,448**

Tušimice							
teplá sezona				chladná sezona			
	PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_2		PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_2
T	**0,417**	**0,400**	0,055	T	**–0,299**	**–0,381**	**–0,349**
SRA	**0,074**	0,065	0,067	SRA	0,026	0,020	0,031
F	**–0,281**	**–0,274**	**–0,385**	F	**–0,546**	**–0,489**	**–0,615**
LogVI	**–0,290**	**–0,305**	**–0,404**	LogVI	**–0,603**	**–0,578**	**–0,660**

České Budějovice							
teplá sezona				chladná sezona			
	PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_2		PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_2
T	**0,315**	**0,223**	**–0,074**	T	**–0,338**	**–0,372**	**–0,281**
SRA	–0,025	–0,041	**–0,074**	SRA	–0,032	–0,020	–0,021
F	**–0,218**	**–0,183**	**–0,316**	F	**–0,393**	**–0,385**	**–0,549**
LogVI	**–0,276**	**–0,275**	**–0,330**	LogVI	**–0,526**	**–0,526**	**–0,493**

Ústí n.L.-Kočkov							
teplá sezona				chladná sezona			
	PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_2		PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_2
T	**0,428**	**0,355**	0,002	T	**–0,199**	**–0,287**	**–0,179**
SRA	**0,091**	0,069	0,014	SRA	**–0,090**	**–0,088**	–0,052
F	**–0,259**	**–0,219**	**–0,257**	F	**–0,459**	**–0,430**	**–0,579**
LogVI	**–0,223**	**–0,224**	**–0,236**	LogVI	**–0,584**	**–0,574**	**–0,626**

Pozn.: Tučně jsou označeny korelace významné na hladině p<0,05.
Note: Correlations significant at the p<0.05 level are marked in bold.

Tab. 2 Souhrnné výsledky vícenásobných regresí PM_{10} vs. teplota vzduchu, srážky, rychlost větru a logVI.
Table 2. Summary results of multiple regressions of PM_{10} vs. air temperature, precipitation, wind speed and logVI.

	b	t	sig. (p)	Vícenás. (R)	Vícenás. (R^2)
Praha 4-Libuš; teplá sezona; N=760; F=54,252; p<0,0000					
abs. člen	**34,129**	**10,609**	**0,000**		
LogVI	**−6,120**	**−6,485**	**0,000**	**0,338**	**0,115**
T	**0,281**	**6,874**	**0,000**	**0,419**	**0,176**
F	−0,426	−1,147	0,252	0,421	0,177
Brno, Tuřany; teplá sezona; N=721; F=39,523; p<0,0000					
abs. člen	**20,751**	**5,403**	**0,000**		
T	**0,538**	**11,807**	**0,000**	**0,401**	**0,161**
LogVI	**−4,044**	**−3,685**	**0,000**	**0,416**	**0,173**
SRA	**−0,068**	**−2,113**	**0,035**	**0,422**	**0,178**
F	0,383	1,668	0,096	0,425	0,181
České Budějovice; teplá sezona; N=815; F=50,598; p<0,0000					
abs. člen	**23,698**	**10,970**	**0,000**		
T	**0,307**	**8,874**	**0,000**	**0,298**	**0,089**
LogVI	**−4,382**	**−8,005**	**0,000**	**0,395**	**0,156**
SRA	−0,025	−1,159	0,247	0,397	0,158
Košetice; teplá sezona; N=788; F=57,513; p<0,0000					
abs. člen	**18,320**	**5,820**	**0,000**		
F	**−1,073**	**−4,862**	**0,000**	**0,363**	**0,132**
T	**0,277**	**6,816**	**0,000**	**0,421**	**0,178**
LogVI	−1,517	−1,612	0,107	0,425	0,180
Tušimice; teplá sezona; N=737; F=102,92; p<0,0000					
abs. člen	**29,940**	**8,207**	**0,000**		
T	**0,611**	**11,311**	**0,000**	**0,411**	**0,169**
LogVI	**−6,158**	**−6,884**	**0,000**	**0,468**	**0,219**
Ústí n.L.-Kočkov; teplá sezona; N=775; F=48,112; p<0,0000					
abs. člen	15,563	4,902	0,000		
T	**0,453**	**10,859**	**0,000**	**0,425**	**0,181**
LogVI	**−2,002**	**−2,211**	**0,027**	**0,444**	**0,197**
SRA	0,045	1,305	0,192	0,445	0,198
F	−0,274	−1,229	0,219	0,447	0,200

	b	t	sig. (p)	Vícenás. (R)	Vícenás. (R^2)
Praha 4-Libuš; chladná sezona; N=864; F=257,28; p<0,0000					
abs. člen	**78,161**	**32,834**	**0,000**		
LogVI	**−15,343**	**−24,748**	**0,000**	**0,663**	**0,440**
T	**−0,505**	**−7,296**	**0,000**	**0,687**	**0,472**
SRA	**0,126**	**1,329**	**0,184**	**0,688**	**0,473**
Brno, Tuřany; chladná sezona; N=737; F=148,24; p<0,0000					
abs. člen	**77,411**	**20,781**	**0,000**		
LogVI	**−13,931**	**−14,352**	**0,000**	**0,491**	**0,241**
T	**−0,672**	**−6,955**	**0,000**	**0,536**	**0,288**
České Budějovice; chladná sezona; N=792; F=131,18; p<0,0000					
abs. člen	**66,083**	**18,814**	**0,000**		
LogVI	**−11,937**	**−10,517**	**0,000**	**0,529**	**0,280**
T	**−0,705**	**−7,868**	**0,000**	**0,576**	**0,332**
F	−0,561	−1,114	0,265	0,577	0,333
Košetice; chladná sezona; N=924; F=176,34; p<0,0000					
abs. člen	**55,426**	**16,646**	**0,000**		
LogVI	**−9,644**	**−9,128**	**0,000**	**0,571**	**0,326**
T	**−0,442**	**−7,054**	**0,000**	**0,599**	**0,359**
F	**−0,737**	**−3,060**	**0,002**	**0,604**	**0,365**
Tušimice; chladná sezona; N=858; F=144,38; p<0,0000					
abs. člen	**74,504**	**18,629**	**0,000**		
LogVI	**−12,304**	**−9,881**	**0,000**	**0,596**	**0,355**
F	**−1,725**	**−5,471**	**0,000**	**0,614**	**0,377**
T	**−0,618**	**−5,747**	**0,000**	**0,632**	**0,400**
SRA	**0,377**	**2,292**	**0,022**	**0,635**	**0,404**
Ústí n.L.-Kočkov; chladná sezona; N=1041; F=141,42; p<0,0000					
abs. člen	**77,919**	**21,674**	**0,000**		
LogVI	**−14,897**	**−12,996**	**0,000**	**0,584**	**0,341**
T	**−0,339**	**−4,008**	**0,000**	**0,591**	**0,349**
F	**−0,721**	**−2,303**	**0,021**	**0,594**	**0,352**
SRA	0,148	1,218	0,224	0,594	0,353

Pozn.: Tučně jsou vyznačeny kroky regresí do momentu, kdy další přidání prediktoru již nezvyšuje celkovou determinaci regrese
N ... počet případů, F ... statistika celkové regrese, p ... statistická významnost celkové regrese
b ... parciální regresní koeficienty výsledné regrese, t ... t-statistiky regresních koeficientů, sig. (p) ... statistická významnost
R ... vícenásobné regresní koeficienty, R^2 ... koeficienty determinace při daném počtu
proměnných zahrnutých do jednotlivých postupných kroků regrese

Note: The regression steps are marked in bold up to the point where adding another predictor
no longer increases the overall determination of the regression
N ... number of cases, F ... overall regression statistic, p ... statistical significance of the overall regression
b... partial regression coefficients of the resulting regression, t ... t-statistics of the regression coefficients, sig. (p) ... statistical significance
R ... multiple regression coefficients, R^2 ... coefficients of determination for a given number
of variables included in the individual steps of the regression

regrese. Tučně jsou označeny kroky, kdy přidáním příslušné meteorologické proměnné se ještě zvýšil celkový koeficient determinace R^2.

Vliv srážek na koncentrace PM_{10}, $PM_{2,5}$ a NO_2 je v rámci vícenásobných lineárních regresí prakticky zanedbatelný.

Koncentrace PM_{10}

V teplé sezoně se na lokalitě Praha 4-Libuš nejvíce uplatňuje vliv ventilačního indexu, v menší míře pak teploty vzduchu (tab. 2). Na lokalitě Košetice hraje největší roli rychlost větru, následována teplotou vzduchu. Na ostatních lokalitách se nejvíce uplatňuje teplota vzduchu, o něco méně pak ventilační index. V chladné sezoně je situace jednodušší, na všech stanicích se nejvíce uplatňuje ventilační index, následován teplotou vzduchu a rychlostí větru, vyjma lokality Tušimice, kde je na druhém místě rychlost větru následována teplotou vzduchu.

Závislost koncentrací PM_{10} na ventilačním indexu je nepřímo úměrná (s rostoucí hodnotou ventilačního indexu koncentrace klesají) po celý rok, závislost na teplotě vzduchu je v chladné sezoně také nepřímo úměrná, v teplé naopak přímo úměrná (koncentrace stoupají s rostoucí teplotou). Závislost na rychlosti větru je po celý rok nepřímo úměrná s výjimkou lokality Brno-Tuřany v teplé sezoně, nicméně v tomto případě je vliv rychlosti větru zanedbatelný. Závislost na srážkách je v chladné sezoně nepřímo úměrná, v teplé pak nepřímo úměrná na lokalitách Brno-Tuřany a České Budějovice a přímo úměrná na lokalitě Ústí nad Labem-Kočkov.

Regresí lze vysvětlit cca 9–22 % rozptylu koncentrací PM_{10} v teplé sezoně a 24–47 % v chladné sezoně.

Tab. 3 Souhrnné výsledky vícenásobných regresí $PM_{2,5}$ vs. teplota vzduchu, srážky, rychlost větru a logVI.
Table 3. Summary results of multiple regressions of $PM_{2.5}$ vs. air temperature, precipitation, wind speed and logVI.

	b	t	sig. (p)	Vícenás. (R)	Vícenás. (R^2)
Praha 4-Libuš; teplá sezona; N=752; F=59,400; p<0,0000					
abs. člen	**27,605**	**11,504**	**0,000**		
LogVI	**−5,232**	**−8,778**	**0,000**	**0,321**	**0,103**
T	**0,173**	**5,413**	**0,000**	**0,370**	**0,137**
Brno, Tuřany; teplá sezona; N=722; F=23,670; p<0,0000					
abs. člen	**23,158**	**7,487**	**0,000**		
T	**0,300**	**8,276**	**0,000**	**0,274**	**0,075**
LogVI	**−4,938**	**−5,550**	**0,000**	**0,315**	**0,099**
F	**0,584**	**3,178**	**0,002**	**0,333**	**0,111**
SRA	**−0,056**	**−2,215**	**0,027**	**0,342**	**0,117**
České Budějovice; teplá sezona; N=802; F=35,888; p<0,0000					
abs. člen	**20,284**	**11,186**	**0,000**		
LogVI	**−3,684**	**−8,025**	**0,000**	**0,280**	**0,078**
T	**0,174**	**5,995**	**0,000**	**0,342**	**0,117**
SRA	−0,024	−1,316	0,188	0,345	0,119
Košetice; teplá sezona; N=808; F=31,573; p<0,0000					
abs. člen	**17,103**	**7,932**	**0,000**		
F	**−0,488**	**−3,181**	**0,002**	**0,323**	**0,104**
T	**0,128**	**4,589**	**0,000**	**0,348**	**0,121**
LogVI	**−2,293**	**−3,561**	**0,000**	**0,366**	**0,134**
SRA	−0,026	−1,463	0,144	0,369	0,136
Tušimice; teplá sezona; N=721; F=101,46; p<0,0000					
abs. člen	**22,363**	**8,643**	**0,000**		
T	**0,422**	**10,816**	**0,000**	**0,396**	**0,157**
LogVI	**−4,864**	**−7,644**	**0,000**	**0,469**	**0,220**
Ústí n.L.-Kočkov; teplá sezona; N=772; F=45,177; p<0,0000					
abs. člen	**13,739**	**6,351**	**0,000**		
T	**0,283**	**9,327**	**0,000**	**0,358**	**0,128**
LogVI	**−2,274**	**−4,320**	**0,000**	**0,386**	**0,149**
SRA	0,027	1,006	0,315	0,387	0,150

Pozn.: Tab. 2
Note: Table 2

	b	t	sig. (p)	Vícenás. (R)	Vícenás. (R^2)
Praha 4-Libuš; chladná sezona; N=860; F=197,15; p<0,0000					
abs. člen	**66,100**	**23,772**	**0,000**		
LogVI	**−12,477**	**−13,612**	**0,000**	**0,646**	**0,417**
T	**−0,651**	**−10,167**	**0,000**	**0,691**	**0,477**
SRA	0,128	1,472	0,141	0,692	0,479
F	−0,518	−1,307	0,192	0,693	0,480
Brno, Tuřany; chladná sezona; N=736; F=99,918; p<0,0000					
abs. člen	**62,677**	**19,304**	**0,000**		
LogVI	**−11,119**	**−13,122**	**0,000**	**0,461**	**0,212**
T	**−0,749**	**−8,913**	**0,000**	**0,537**	**0,289**
SRA	0,139	1,309	0,191	0,539	0,291
České Budějovice; chladná sezona; N=794; F=214,39; p<0,0000					
abs. člen	**56,402**	**23,126**	**0,000**		
LogVI	**−10,517**	**−16,185**	**0,000**	**0,534**	**0,286**
T	**−0,663**	**−8,964**	**0,000**	**0,593**	**0,352**
Košetice; chladná sezona; N=931; F=199,96; p<0,0000					
abs. člen	**41,986**	**16,714**	**0,000**		
LogVI	**−7,274**	**−9,129**	**0,000**	**0,574**	**0,329**
T	**−0,448**	**−9,565**	**0,000**	**0,622**	**0,386**
F	**−0,572**	**−3,151**	**0,002**	**0,627**	**0,393**
Tušimice; chladná sezona; N=823; F=142,20; p<0,0000					
abs. člen	**56,973**	**18,571**	**0,000**		
LogVI	**−9,946**	**−10,414**	**0,000**	**0,581**	**0,337**
T	**−0,757**	**−9,336**	**0,000**	**0,632**	**0,399**
F	**−0,729**	**−3,014**	**0,003**	**0,638**	**0,407**
SRA	**0,262**	**2,100**	**0,036**	**0,640**	**0,410**
Ústí n.L.-Kočkov; chladná sezona; N=1 041; F=148,58; p<0,0000					
abs. člen	**60,815**	**21,225**	**0,000**		
LogVI	**−11,746**	**−12,858**	**0,000**	**0,574**	**0,329**
T	**−0,507**	**−7,519**	**0,000**	**0,601**	**0,362**
F	−0,427	−1,710	0,087	0,603	0,363
SRA	0,131	1,349	0,177	0,604	0,365

Koncentrace $PM_{2,5}$

V teplé sezoně se na lokalitě Košetice nejvíce uplatňuje vliv rychlosti větru, která je následována teplotou vzduchu a ventilačním indexem (tab. 3). Na lokalitách Praha 4-Libuš a České Budějovice se nejvíce uplatňuje vliv ventilačního indexu, v menší míře teploty vzduchu. Na ostatních lokalitách je tomu naopak, největší vliv má teplota vzduchu, v menší míře ventilační index a na lokalitě Brno, Tuřany se uplatňuje i rychlost větru a srážky. V chladné sezoně je situace obdobná jako u PM_{10}, tedy se nejvíce uplatňuje vliv ventilačního indexu, v menší míře pak teploty vzduchu. Na lokalitách Košetice a Tušimice pak hraje roli i rychlost větru a v Tušimicích i srážky.

Stejně jako u koncentrací PM_{10} je závislost koncentrací $PM_{2,5}$ na ventilačním indexu po celý rok nepřímo úměrná, závislost na teplotě vzduchu je v chladné sezoně také nepřímo úměrná, v teplé naopak přímo úměrná. Rychlost větru vykazuje nepřímo úměrnou závislost v chladné sezoně na všech lokalitách, v teplé sezoně na lokalitě Brno, Tuřany přímo úměrnou a v Košeticích nepřímo úměrnou. Závislost na srážkách je v chladné sezoně nepřímo úměrná, v teplé pak nepřímo úměrná na lokalitách Brno-Tuřany, České Budějovice a Košetice a přímo úměrná na lokalitě Ústí nad Labem-Kočkov.

Regresí lze vysvětlit cca 8–22 % rozptylu koncentrací $PM_{2,5}$ v teplé sezoně a 21–48 % v chladné sezoně.

Koncentrace NO_2

V teplé sezoně se na lokalitě Ústí nad Labem-Kočkov uplatňuje nejvíce vliv rychlosti větru, v menší míře pak teploty vzduchu a ventilačního indexu (tab. 4). Na ostatních lokalitách hraje největší roli ventilační index, méně pak rychlost větru a teplota vzduchu. V chladné sezoně se na lokalitách Brno-Tuřany a České Budějovice uplatňuje největší vliv rychlosti větru, v menší míře pak teplota vzduchu a ventilační index. Na ostatních lokalitách hraje největší roli ventilační index, méně pak teplota vzduchu a rychlost větru. Na lokalitách Praha 4-Libuš, Košetice, Tušimice a Ústí nad Labem-Kočkov se v malé míře projevuje i vliv srážek.

Závislost koncentrací NO_2 na ventilačním indexu, teplotě vzduchu i rychlosti větru je nepřímo úměrná po celý rok. Závislost na srážkách v teplé sezoně je také nepřímo úměrná, je však třeba brát v úvahu, že jejich vliv je zanedbatelný. Závislost na srážkách v chladné sezoně je naopak přímo úměrná.

Regresí lze vysvětlit cca 4–24 % rozptylu koncentrací NO_2 v teplé sezoně a 23–55 % v chladné sezoně.

Tab. 4 Souhrnné výsledky vícenásobných regresí NO_2 vs. teplota vzduchu, srážky, rychlost větru a logVI.
Table 4. Summary results of multiple regressions of NO_2 vs. air temperature, precipitation, wind speed and logVI.

	b	t	sig. (p)	Vícenás. (R)	Vícenás. (R^2)
Praha 4-Libuš; teplá sezona; N=755; F=78,404; p<0,0000					
abs. člen	**38,998**	**16,372**	**0,000**		
LogVI	**−5,865**	**−8,398**	**0,000**	**0,456**	**0,208**
F	**−1,251**	**−4,559**	**0,000**	**0,470**	**0,221**
T	**−0,127**	**−4,178**	**0,000**	**0,488**	**0,239**
Brno, Tuřany; teplá sezona; N=728; F=52,845; p<0,0000					
abs. člen	**27,258**	**11,751**	**0,000**		
LogVI	**−3,035**	**−4,570**	**0,000**	**0,361**	**0,130**
F	**−0,823**	**−5,920**	**0,000**	**0,399**	**0,159**
T	**−0,118**	**−4,280**	**0,000**	**0,424**	**0,180**
České Budějovice; teplá sezona; N=812; F=32,673; p<0,0000					
abs. člen	**20,572**	**13,835**	**0,000**		
LogVI	**−2,135**	**−4,837**	**0,000**	**0,319**	**0,102**
F	**−0,902**	**−4,699**	**0,000**	**0,348**	**0,121**
T	**−0,080**	**−3,680**	**0,000**	**0,370**	**0,137**
SRA	−0,022	−1,625	0,104	0,373	0,139
Košetice; teplá sezona; N=774; F=18,813; p<0,0000					
abs. člen	**8,083**	**7,937**	**0,000**		
LogVI	**−0,783**	**−2,576**	**0,010**	**0,210**	**0,044**
T	**−0,055**	**−4,192**	**0,000**	**0,240**	**0,058**
F	**−0,214**	**−2,964**	**0,003**	**0,261**	**0,068**
Tušimice; teplá sezona; N=744; F=58,418; p<0,0000					
abs. člen	**20,051**	**13,327**	**0,000**		
LogVI	**−2,690**	**−6,255**	**0,000**	**0,404**	**0,163**
F	**−0,565**	**−5,086**	**0,000**	**0,436**	**0,190**
T	−0,021	−1,010	0,313	0,438	0,191
Ústí n.L.-Kočkov; teplá sezona; N=777; F=23,702; p<0,0000					
abs. člen	**16,136**	**8,688**	**0,000**		
F	**−0,589**	**−4,501**	**0,000**	**0,256**	**0,065**
T	**−0,072**	**−2,961**	**0,003**	**0,276**	**0,076**
LogVI	**−1,372**	**−2,589**	**0,010**	**0,290**	**0,084**

	b	t	sig. (p)	Vícenás. (R)	Vícenás. (R^2)
Praha 4-Libuš; chladná sezona; N=869; F=263,75; p<0,0000					
abs. člen	**54,416**	**26,933**	**0,000**		
LogVI	**−8,262**	**−12,405**	**0,000**	**0,690**	**0,476**
T	**−0,496**	**−10,677**	**0,000**	**0,724**	**0,524**
F	**−1,729**	**−6,036**	**0,000**	**0,737**	**0,543**
SRA	**0,226**	**3,558**	**0,000**	**0,741**	**0,550**
Brno, Tuřany; chladná sezona; N=738; F=121,70; p<0,0000					
abs. člen	**34,035**	**15,849**	**0,000**		
F	**−1,413**	**−8,388**	**0,000**	**0,483**	**0,233**
T	**−0,426**	**−8,682**	**0,000**	**0,560**	**0,313**
LogVI	**−2,938**	**−4,540**	**0,000**	**0,576**	**0,332**
České Budějovice; chladná sezona; N=810; F=150,42; p<0,0000					
abs. člen	**32,164**	**17,024**	**0,000**		
F	**−2,673**	**−10,091**	**0,000**	**0,555**	**0,308**
T	**−0,297**	**−6,184**	**0,000**	**0,589**	**0,347**
LogVI	**−2,395**	**−3,925**	**0,000**	**0,599**	**0,359**
Košetice; chladná sezona; N=919; F=101,66; p<0,0000					
abs. člen	**18,629**	**15,966**	**0,000**		
LogVI	**−3,032**	**−8,185**	**0,000**	**0,510**	**0,260**
T	**−0,170**	**−7,807**	**0,000**	**0,551**	**0,303**
F	−0,154	−1,860	0,063	0,553	0,306
SRA	0,045	1,667	0,096	0,555	0,308
Tušimice; chladná sezona; N=867; F=223,47; p<0,0000					
abs. člen	**38,652**	**23,651**	**0,000**		
LogVI	**−5,682**	**−11,180**	**0,000**	**0,660**	**0,435**
F	**−0,991**	**−7,749**	**0,000**	**0,687**	**0,472**
T	**−0,336**	**−7,669**	**0,000**	**0,711**	**0,505**
SRA	**0,182**	**2,719**	**0,007**	**0,714**	**0,509**
Ústí n.L.-Kočkov; chladná sezona; N=1038; F=199,93; p<0,0000					
abs. člen	**50,040**	**23,589**	**0,000**		
LogVI	**−7,726**	**−11,417**	**0,000**	**0,626**	**0,392**
F	**−1,476**	**−7,962**	**0,000**	**0,650**	**0,422**
T	**−0,206**	**−4,109**	**0,000**	**0,657**	**0,431**
SRA	**0,224**	**3,080**	**0,002**	**0,661**	**0,436**

Pozn.: Tučně jsou vyznačeny kroky regresí do momentu, kdy další přidání prediktoru již nezvyšuje celkovou determinaci regrese
N ... počet případů, F ... statistika celkové regrese, p ... statistická významnost celkové regrese
b ... parciální regresní koeficienty výsledné regrese, t ... t-statistiky regresních koeficientů, sig. (p) ... statistická významnost
R ... vícenásobné regresní koeficienty, R^2 ... koeficienty determinace při daném počtu
proměnných zahrnutých do jednotlivých postupných kroků regrese

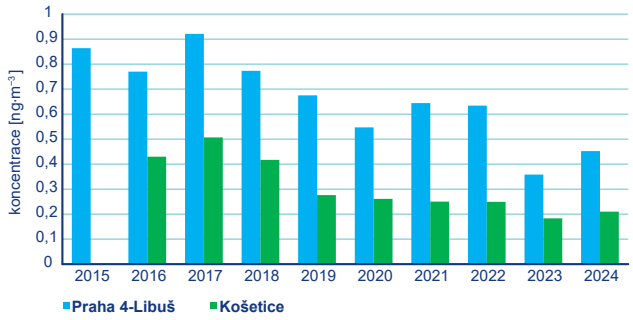
Note: The regression steps are marked in bold up to the point where adding another predictor
no longer increases the overall determination of the regression
N ... number of cases, F ... overall regression statistic, p ... statistical significance of the overall regression
b... partial regression coefficients of the resulting regression, t ... t-statistics of the regression coefficients, sig. (p) ... statistical significance
R ... multiple regression coefficients, R^2 ... coefficients of determination for a given number
of variables included in the individual steps of the regression

4.6 Závislost benzo[*a*]pyrenu na meteorologických faktorech

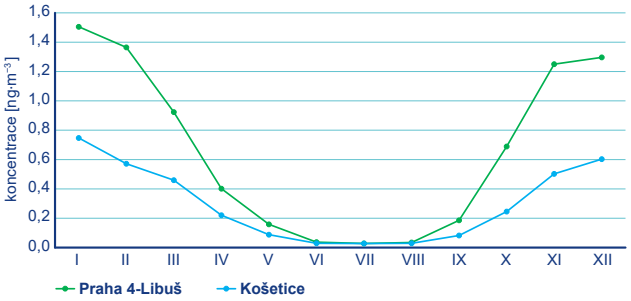
Závislost benzo[*a*]pyrenu na meteorologických faktorech je hodnocena samostatně, protože koncentrace benzo[*a*]pyrenu jsou měřeny manuálními metodami, které jsou časově náročné na zpracování vzorků v laboratořích ČHMÚ a mají tedy i jiný interval měření. Z šesti uvažovaných lokalit je navíc měřen pouze na lokalitách Praha 4-Libuš a Košetice.

Koncentrace benzo[*a*]pyrenu v období 2015–2024

Na obou hodnocených lokalitách je patrný klesající vývoj koncentrací benzo[*a*]pyrenu od roku 2015 (obr. 13). Koncentrace jsou na lokalitě Košetice nižší než na lokalitě Praha 4-Libuš, což je dáno především odlišným charakterem obou lokalit, a tedy skladbou okolních zdrojů a klimatologických a rozptylových podmínek. Nejvyšší koncentrace byly naměřeny v roce 2017, který je hodnocen jako teplotně nadnormální a srážkově normální. Nejnižší koncentrace pak byly, stejně jako u ostatních znečišťujících látek, naměřeny v roce 2023 a druhé nej-



Obr. 13 Průměrné roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu, Praha 4-Libuš a Košetice, 2015–2024.
Fig. 13. Average annual concentrations of benzo[*a*]pyrene, Prague 4-Libuš and Košetice, 2015–2024.



Obr. 14 Roční chod koncentrací benzo[*a*]pyrenu, Praha 4-Libuš a Košetice, 2015–2024.
Fig. 14. Annual trend of benzo[*a*]pyrene concentrations, Prague 4-Libuš and Košetice, 2015–2024.

nižší v roce 2024. Roční chod má výrazné minimum v teplé sezoně, kdy jsou koncentrace na hranici měřitelnosti a výrazné maximum v chladné sezoně (obr. 14). To odpovídá tomu, že emise benzo[*a*]pyrenu jsou produkovány téměř výhradně spalovacími procesy s nedokonalým spalováním (ČHMÚ 2025), tedy převážně domácími topeništi.

Korelace

Korelace meteorologických faktorů s koncentracemi benzo[*a*]pyrenu jsou statisticky významné na hladině 0,05 na obou lokalitách v obou uvažovaných sezonách, s výjimkou ventilačního indexu v teplé sezoně (tab. 5). Korelační koeficienty uvažovaných meteorologických faktorů a benzo[*a*]pyrenu jsou převážně záporné, bez ohledu na statistickou významnost. Kladně koreluje pouze rychlost větru v teplé sezoně na obou lokalitách a ventilační index v teplé sezoně na lokalitě Košetice. Korelace koncentrací benzo[*a*]pyrenu s teplotou vzduchu jsou v chladné sezoně vyšší než v teplé. Naopak korelace s ostatními meteorologickými faktory jsou vyšší v teplé sezoně bez ohledu na statistickou významnost. Nejmenší rozdíl mezi teplou a chladnou sezonou vykazují korelace se srážkami (<0,04). Naopak největší rozdíl je pozorován u rychlosti větru (0,4).

Vícerozměrná regrese

V obou sezonách se nejvíce uplatňuje vliv teploty vzduchu (tab. 6). V teplé sezoně má vliv i rychlost větru a srážky, zatímco vliv ventilačního indexu je zanedbatelný. V chladné sezoně má naopak největší vliv ventilační index. Na lokalitě Praha 4-Libuš byla v teplé sezoně rychlost větru v průběhu krokové regrese v jednom z mezikroků označena jako statisticky významná, nicméně po doplnění dalších proměnných překročila její p-hodnota hranici významnosti a celkově tedy významná není. Naopak úhrn srážek v chladné sezoně na stejné lokalitě byl v průběhu krokové regrese vyhodnocen jako statistic-

Tab. 5 Korelační matice pro teplotu vzduchu, srážky, rychlost větru, logVI vs. benzo[*a*]pyren.
Table 5. Correlation matrix for air temperature, precipitation, wind speed, logVI vs. benzo[*a*]pyrene.

Praha 4-Libuš		
	teplá sezona	chladná sezona
T	**–0,652**	**–0,553**
SRA	**–0,118**	**–0,143**
F	**0,117**	**–0,307**
LogVI	–0,018	**–0,349**

Košetice		
	teplá sezona	chladná sezona
T	**–0,650**	**–0,553**
SRA	**–0,109**	**–0,143**
F	**0,135**	**–0,307**
LogVI	0,016	**–0,349**

Pozn.: Tučně jsou označeny korelace významné na hladině p<0,05.
Note: Correlations significant at the p<0.05 level are marked in bold.

Tab. 6 Souhrnné výsledky vícenásobných regresí benzo[*a*]pyren vs. teplota vzduchu, srážky, rychlost větru a logVI.
Table 6. Summary results of multiple regressions of benzo[*a*]pyrene vs. air temperature, precipitation, wind speed and logVI.

	b	t	sig. (p)	Vícenás. (R)	Vícenás. (R^2)
Praha 4-Libuš; teplá sezona; N=585; F=119,77; p<0,0000					
abs. člen	**0,945**	**7,004**	**0,000**		
T	**–0,027**	**–20,544**	**0,000**	**0,652**	**0,424**
F	–0,024	–1,313	0,190	**0,663**	**0,440**
SRA	**–0,002**	**–3,370**	**0,001**	**0,670**	**0,449**
LogVI	–0,074	–1,775	0,076	0,673	0,452
Košetice; teplá sezona; N=544; F=147,79; p<0,0000					
abs. člen	**0,342**	**18,213**	**0,000**		
T	**–0,014**	**–20,183**	**0,000**	**0,650**	**0,422**
F	**–0,014**	**–3,687**	**0,000**	**0,664**	**0,442**
SRA	**–0,001**	**–3,027**	**0,003**	**0,671**	**0,451**

	b	t	sig. (p)	Vícenás. (R)	Vícenás. (R^2)
Praha 4-Libuš; chladná sezona; N=599; F=83,973; p<0,0000					
abs. člen	**4,617**	**10,120**	**0,000**		
T	**–0,092**	**–11,806**	**0,000**	**0,477**	**0,228**
LogVI	**–0,723**	**–4,468**	**0,000**	**0,597**	**0,356**
SRA	**–0,016**	**–1,979**	**0,048**	0,600	0,360
F	–0,089	–1,100	0,272	0,601	0,361
Košetice; chladná sezona; N=539; F=110,03; p<0,0000					
abs. člen	**1,765**	**6,909**	**0,000**		
T	**–0,057**	**–14,981**	**0,000**	**0,553**	**0,306**
LogVI	**–0,227**	**–2,689**	**0,007**	**0,614**	**0,378**
F	–0,042	–1,867	0,062	0,618	0,382

Pozn.: Tab. 4
Note: Table 4

ky nevýznamný, avšak v celkovém modelu je hodnocen jako statisticky významný. To může být dáno např. kolinearitou s ostatními proměnnými, nebo tím, že se unikátní příspěvek k vysvětlení závislé proměnné po zahrnutí dalších prediktorů snížil. Závislost koncentrací benzo[*a*]pyrenu na všech meteorologických faktorech je nepřímo úměrná na obou lokalitách po celý rok. Regresí lze vysvětlit cca 36–45 % rozptylu koncentrací benzo[*a*]pyrenu v obou sezonách.

5. Diskuse

Vztah kvality ovzduší a meteorologických faktorů je vhodné hodnotit v jednotlivých ročních obdobích, příp. sezonách (např. Whiteman et al. 2014; Cichowicz et al. 2017; Wu et al. 2025), což lépe reflektuje podíl emisních zdrojů a jejich rozdíly v jednotlivých sezonách. Chladná sezona (říjen–březen) odpovídá topné sezoně, kdy je hladina znečištění venkovního ovzduší výrazně ovlivněna domácími topeništi. Teplá sezona (duben–září) zahrnuje především zemědělské práce, jako je orba či sklizeň a přejezdy obyvatel na víkendová obydlí a na dovolenou (Škáchová 2024; ČHMÚ 2025).

Na rozdíl od předchozí práce (Škáchová 2024) jsou korelace znečišťujících látek s meteorologickými faktory vyšší v teplé sezoně oproti chladné. Tento rozdíl lze vysvětlit rozdílem mezi analyzovaným obdobím i výběrem měřicích lokalit. Předchozí práce se zabývala pouze lokalitami v Ústeckém kraji, který je z hlediska geografického i meteorologického specifický, zatímco v předkládaném článku bylo vybráno šest lokalit v rámci celé České republiky. Rozdíl mezi obdobím 2011–2020 (Škáchová 2024) a aktuálně analyzovaným obdobím 2015–2024 je především v meteorologických podmínkách a také v důsledku snižování emisí v souvislosti s opatřeními pro zlepšování kvality ovzduší (ČHMÚ 2025).

Z výsledků vyplývá, že úroveň koncentrací PM_{10}, $PM_{2,5}$ a NO_2 v ovzduší je ovlivňována především horizontálním a vertikálním promícháváním. Ventilační index odráží vertikální promíchávání a stabilitu atmosféry, rychlost větru je ukazatelem horizontálního přenosu znečištění. Závislost znečišťujících látek na ventilačním indexu a rychlosti větru je nepřímo úměrná. Výjimkou je lokalita Brno-Tuřany v teplé sezoně, kde je závislost koncentrací suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ přímo úměrná. To lze vysvětlit tím, že při vyšších rychlostech větru může docházet k resuspenzi, tj. opětovnému zvíření suspendovaných částic a lokalita je ovlivněna okolní zemědělskou činností či letištním provozem. Úroveň znečištění závisí nejenom na vzdálenosti od zdroje znečištění, ale i na geografii místa. Rychlost větru má podstatný vliv na kvalitu ovzduší v méně zastavěných oblastech, což odpovídá zjištění Wua et al. (2025), naopak hustá zástavba, přírodní překážky či uzavřená údolí s častými inverzemi rozptyl koncentrací výrazně omezují (Whiteman 2014).

Závislost koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ na teplotě vzduchu je v teplé sezoně přímo úměrná, což odpovídá analýzám Taie et al. (2010), Junenga et al. (2011) či Wua et al. (2025). Naopak v chladné sezoně je nepřímo úměrná. Vliv teploty na suspendované částice odráží skutečnost, že v chladné sezoně se při nižších teplotách více topí, a zvyšuje se tak množství emisí z vytápění. Naopak v teplé sezoně jsou vysoké teploty charakteristické zejména pro anticyklonální situace provázené stabilním zvrstvením atmosféry, příp. při vyšších rychlostech větru dochází častěji k resuspenzi suspendovaných částic. Naopak závislost koncentrací NO_2 je na teplotě vzduchu nepřímo úměrná po celý rok.

Závislost koncentrací PM_{10}, $PM_{2,5}$ a NO_2 na srážkách je v chladné sezoně přímo úměrná, tedy vyšší srážky zapříčiňují vyšší koncentrace, jak zmiňuje i Nakyai et al. (2025), naopak v teplé sezoně je závislost spíše nepřímo úměrná. Vztah srážek a koncentrací je nelineární, přičemž v teplé sezoně jsou větší úhrny obvykle krátkodobé (přeháňky, bouřky) a častěji v odpoledních až večerních hodinách, zatímco v chladné sezoně mají srážky spíše trvalejší charakter bez ohledu na denní dobu. V chladné sezoně se zároveň projevuje kombinace množství srážek, nízké teploty a zvýšeného automobilového provozu. Vliv srážek se mění v závislosti na jejich charakteru (intenzita, doba trvání, denní doba) a sezónní variabilitě.

Samostatně je hodnocen vliv meteorologických faktorů na koncentrace benzo[*a*]pyrenu. Stejně jako u předchozích znečišťujících látek jsou i zde vyšší korelace v teplé sezoně oproti chladné, s výjimkou korelace s teplotou vzduchu, kde je to naopak. Téměř všechny korelace jsou statisticky významné na hladině 0,05. Závislost koncentrací benzo[*a*]pyrenu na všech meteorologických faktorech je nepřímo úměrná na obou lokalitách po celý rok. V obou sezonách jsou koncentrace nejvíc závislé na teplotě vzduchu, čemuž odpovídá i roční chod koncentrací s výraznou amplitudou s minimem v teplé a s maximem v chladné sezoně (Milukaité 2006). V teplé sezoně má vliv i rychlost větru a srážky, zatímco vliv ventilačního indexu je zanedbatelný. V chladné sezoně je tomu naopak.

6. Závěr

Od roku 2015 je patrný postupný pokles ročních průměrných koncentrací PM_{10}, $PM_{2,5}$, NO_2 i benzo[*a*]pyrenu na všech uvažovaných lokalitách, provázený občasnými výkyvy v závislosti na meteorologických podmínkách, množství emisí a vlivu zdrojů znečišťování.

V chladné sezoně (říjen–březen), v porovnání s teplou sezonou (duben–září), je obecně nižší výskyt dobrých rozptylových podmínek, méně srážek a nižší teploty a jsou měřeny vyšší koncentrace PM_{10}, $PM_{2,5}$, NO_2 i benzo[*a*]pyrenu.

Koncentrace suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$, oxidu dusičitého NO_2 a benzo[*a*]pyrenu vykazují úzkou vazbu na meteorologické a rozptylové podmínky. Regresí lze vysvětlit cca 9–22 % rozptylu v teplé a 24–47 % v chladné sezoně koncentrací PM_{10}. U koncentrací $PM_{2,5}$ to činí cca 8–22 % rozptylu v teplé a 21–48 % v chladné sezoně a u koncentrací NO_2 cca 4–24 % rozptylu v teplé a 23–55 % v chladné sezoně. V případě benzo[*a*]pyrenu lze vysvětlit cca 36–45 % rozptylu v obou sezonách.

Koncentrace PM_{10}, $PM_{2,5}$ a NO_2 jsou ovlivňovány především horizontálním a vertikálním promícháváním, přičemž závislost na ventilačním indexu a rychlosti větru je převážně nepřímo úměrná. Závislost koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ na teplotě vzduchu je v teplé sezoně přímo, v chladné sezoně nepřímo úměrná. Závislost koncentrací NO_2 je na teplotě vzduchu nepřímo úměrná po celý rok. Závislost koncentrací PM_{10}, $PM_{2,5}$ a NO_2 na srážkách je v chladné sezoně přímo, v teplé sezoně je spíše nepřímo úměrná.

Závislost koncentrací benzo[*a*]pyrenu na všech meteorologických faktorech je nepřímo úměrná na obou lokalitách po celý rok. V obou sezonách jsou koncentrace nejvíce závislé na teplotě vzduchu. V teplé sezoně má vliv i rychlost větru a srážky, zatímco vliv ventilačního indexu je zanedbatelný. V chladné sezoně je tomu naopak.

Poděkování:

Článek byl připraven s finanční podporou Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci projektu SS 02030031 ARAMIS poskytnutého Českému hydrometeorologickému ústavu (ČHMÚ).

Literatura:

ALI, D., SINGH, M., ALI KHAN, A., VIDYARTHI, A. K., AHMED, S., 2025. Impact of meteorological drivers on air quality index: A case study from Delhi. *Environmental Pollution*, Vol. **388**, 127324. ISSN 0269-7491. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.127324.

BROŽKOVÁ, R., BUČÁNEK, A., MAŠEK, J., SMOLÍKOVÁ, P., TROJÁKOVÁ, A., 2019. Nová provozní konfigurace modelu ALADIN ve vysokém rozlišení. *Meteorologické zprávy*, roč. **72**, č. 5, s. 129–139. ISSN 0026-1173. Dostupné z: https://www.chmi.cz/documents/42501/55105/chmu_mz_5-19.pdf.

CICHOWICZ, R., WIELGOSIŃSKI, G., FETTER, W., 2017. Dispersion of atmospheric air pollution in summer and winter season. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. **189**, No. 12, s. 605–605. ISSN 0167-6369. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s10661-017-6319-2.

ČHMÚ, 2013. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2012 [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 28.01.2026]. Dostupné z: https://opendata.chmi.cz/air_quality/products/yearbooks.

ČHMÚ, 2021. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020 [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 28.01.2026]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/documents/42501/444216/KO_gR_2020.pdf.

ČHMÚ, 2025. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2024 [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 29.12.2025]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/documents/42501/444216/Rocenka_kvality_ovzdusi_2024.pdf.

ČMeS, 2025. Elektronický meteorologický slovník (eMS) [online]. [cit. 23.03.2026]. Dostupné z: http://slovnik.cmes.cz.

DI BERNARDINO, A., IANNARELLI, A. M., CASADIO, S., PERRINO, C., BARNABA, F. et al., 2021. Impact of synoptic meteorological conditions on air quality in three different case studies in Rome, Italy. *Atmospheric Pollution Research*, Vol. **12**, Issue 4. s. 76–88. ISSN 1309-1042. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.02.019.

FERGUSON, S., 2001. Smoke dispersion prediction systems. In: HARDY, C., OTTMAR, R., PETERSON, J., CORE, J., SEAMON, P., 2001. *Smoke Management Guide for Prescribed and Wildland Fire: 2001 Edition* [online]. National Wildfire Coordination Group [cit. 28.01.2026], s. 163–178. Dostupné z: https://www.frames.gov/documents/smoke/mgmt_docs/smoke-mgt-guide-2001-pms420-2.pdf.

GIROTTI, C., KOWALSKI, L. F., SILVA, T., CORREIA, E., SHIMOMURA, A. R. P. et al., 2025. Air pollution Dynamics: The role of meteorological factors in PM_{10} concentration patterns across urban areas. *City and Environment Interactions*, Vol. **25**, 100184. ISSN 2590-2520. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.cacint.2024.100184.

JUNENG, L., LATIF, M., TANGANG, F., 2011. Factors influencing the variations of PM_{10} aerosol dust in Klang Valley, Malaysia during the summer. *Atmospheric Environment*, Vol. **45**, No. 26, s. 4370–4378. ISSN 1352-2310. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.05.045.

KALISA, E., FADLALLAH, S., AMANI, M., NAHAYO, L., HABIYAREMYE, G., 2018. Temperature and air pollution relationship during heatwaves in Birmingham, UK. *Sustainable Cities and Society*, Vol. **43**, s. 111–120. ISSN 2210-6707. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.033.

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.

KUBÁNKOVÁ, V., HENDL, J., 1987. Statistika pro zdravotníky: Zdravotnické aktuality Ministerstva zdravotnictví ČSR. Svazek 208. Praha: Avicen, zdravotnické nakladatelství, n. p.

MA, T., DUAN, F., HE, K., QUIN, Y., TONG, D. et al., 2019. Air pollution characteristics and their relationship with emissions and meteorology in the Yangtze River Delta region during 2014–2016. *Journal of Environmental Sciences*, Vol. **83**, s. 8–20. ISSN 1001-0742. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.02.031.

MILUKAITE, A., 2006 Long-term trends of benzo(*a*)pyrene concentration on the eastern coast of the Baltic Sea. *Atmospheric Environment*, Vol. **40**, No. 11, s. 2046–2057. ISSN 1352-2310. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.045.

NAKYAI, T., SANTASNACHOK, M., THETKATHUTEK, A., PHATRABUDDHA, N., 2025. Influence of meteorological factors on air pollution and health risks: A comparative analysis of industrial and urban areas in Chonburi Province, Thailand. *Environmental Advances*, Vol. **19**, 100608. ISSN 2666-7657. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100608.

ŠKÁCHOVÁ, H., 2020. Hodnocení metod stanovení podmínek pro rozptyl znečišťujících látek v období 2007–2018 v Ústeckém kraji. *Meteorologické zprávy*, roč. **73**, č. 4, s. 103–109. ISSN 0026-1173. Dostupné z: https://www.chmi.cz/documents/42501/55105/CHMU_MZ_4-20.pdf.

ŠKÁCHOVÁ, H., 2024. Vliv meteorologických faktorů na koncentrace vybraných látek znečišťujících ovzduší. *Meteorologické zprávy*, roč. **77**, č. 4, s. 124–130. ISSN 2788-3140. Dostupné z: https://www.chmi.cz/documents/42501/55105/MZ_04_2024.pdf.

ŠKÁCHOVÁ, H., KEDER, J., 2025. Nová metodika pro stanovení tříd rozptylových podmínek pomocí ventilačního indexu. *Meteorologické zprávy*, roč. **78**, č. 1, s. 21–29. ISSN 0026-1173. Dostupné z WWW: https://www.chmi.cz/documents/42501/55105/MZ_01_2025.pdf.

TAI, A., MICKLEY, L., JACOB, D., 2010. Correlations between fine particulate matter ($PM_{2.5}$) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of $PM_{2.5}$ to climate change. *Atmospheric Environment*. Vol. **44**, No. 32, s. 3976–3984. ISSN 1352-2310. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.06.060.

WHITEMAN, C., HOCH, S., HOREL, J., CHARLAND, A., 2014. Relationship between particulate air pollution and meteorological variables in Utah's Salt Lake Valley. *Atmospheric Environment*. Vol. **94**, s. 742–753. ISSN 1352-2310. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.06.012.

WU, B., ZHAO, S., LIU, Y., ZHANG, CH., 2025. Do meteorological variables impact air quality differently across urbanization gradients? A case study of Kaohsiung, Taiwan, China. *Heliyon*. Vol. **11**, Issue 2, e41694. ISSN 2405-8440. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41694.

ZVÁRA, K., 1989. Regresní analýza. Praha: Academia, ISBN 80-200-0125-5.

Lektoři (Reviewers):
doc. Mgr. Michal Žák, Ph.D., RNDr. Vladimíra Volná, Ph.D.