

III. METEOROLOGICKÉ A ROZPTYLOVÉ PODMÍNKY

Kromě vlastních zdrojů znečišťování ovzduší výrazně ovlivňují kvalitu ovzduší meteorologické podmínky. Umožňují rozptyl znečišťujících látek v ovzduší, mají vliv na množství emisí z antropogenních i přírodních zdrojů, ovlivňují tvorbu sekundárních znečišťujících látek i rychlost jejich odstraňování z ovzduší.

Meteorologické podmínky v roce 2018

Teplotně byl rok 2018 mimořádně nadnormální. Průměrná roční teplota vzduchu byla na území ČR 9,6 °C, což je o 1,7 °C vyšší než normál 1981–2010¹. Rok 2018 se tak stává nejteplejším rokem od roku 1961. Během roku byly zaznamenány pouze dva měsíce se zápornou odchylkou průměrné měsíční teploty od normálu, a to únor (odchylka –2,6 °C) a březen (odchylka –2,1 °C). Oba tyto měsíce hodnotíme jako teplotně podnormální. V ostatních měsících byla hodnota průměrné teploty vyšší než normál a – kromě listopadu – jsou hodnoceny jako teplotně nadnormální až mimořádně nadnormální. Mimořádně teplé byly měsíce duben (odchylka +4,8 °C) a květen (odchylka +3,2 °C). Měsíce leden (odchylka +3,8 °C), červen (odchylka +1,7 °C) a srpen (odchylka +3,3 °C) hodnotíme pak jako silně nadnormální (obr. III.1).

Srážkově byl rok 2018 silně podnormální. Průměrný roční úhrn srážek na území ČR činil 518 mm, což představuje 76 % normálu 1981–2010. Jedná se tak o druhý nejsušší rok za období od roku 1961, rokem s nejnižším úhrnem srážek (503 mm) zůstává rok 2003. Srážkové úhrny se po většinu měsíců roku pohybovaly pod hodnotami normálu. Srážkově mimořádně podnormální byl listopad, kdy na území ČR spadlo pouze 37 % normálu 1981–2010. Srážkově silně podnormální byly měsíce duben (48 % normálu), červenec (47 % normálu) a srpen (45 % normálu), jako podnormální pak hodnotíme únor (37 % normálu). Nadnormální úhrn srážek byl zaznamenán pouze v prosinci, kdy spadlo 140 % srážkového normálu (obr. III.2).

V roce 2018 panovaly v porovnání s dlouhodobým průměrem 2007–2017 zlepšené rozptylové pod-

¹ Standardní klimatické normály podle WMO jsou počítány jako 30leté průměry teploty, srážek a dalších klimatických prvků. Tyto normály jsou aktualizovány každých 30 let, v současnosti je tedy platné normálové období 1961–1990. Vzhledem k probíhajícímu klimatickým změnám WMO doporučuje přepočítávat klimatické normály pro operativní účely každých deset let. Současným standardním klimatickým normálem je tedy normál spočtený za období 1981–2010.

III. METEOROLOGICAL AND DISPERSION CONDITIONS

Apart from the respective air pollution sources, air quality is significantly affected by meteorological conditions. These conditions enable the dispersion of polluting substances in the air, influence the amount of emissions from anthropogenic or natural sources, and affect the formation of secondary pollutants as well as the rate of their removal from the air.

Meteorological conditions in 2018

In terms of temperature, the year 2018 was extremely above normal. The average annual temperature over the territory of the Czech Republic reached 9.6 °C, which is 1.7 °C above the normal of 1981–2010¹. Consequently, 2018 becomes the warmest year since 1961. During the year, only two months were recorded having negative deviation from the monthly temperature normal, namely February (deviation of –2.6 °C) and March (deviation of –2.1 °C). Both of these months can be classified as subnormal in terms of temperature. In other months, the average temperature was higher than normal and, except for November, they are rated as above-normal to extremely over the normal. The months of April (deviation +4.8 °C) and May (deviation +3.2 °C) were extremely warm. January (deviation +3.8 °C), June (deviation +1.7 °C) and August (deviation +3.3 °C) can then be evaluated as highly above normal (Fig. III.1).

Precipitation in 2018 was strongly below normal. The average total annual precipitation over the territory of the Czech Republic reached 518 mm, corresponding to 76% of the normal value of the 1981–2010 period. So, this is the second driest year since 1961, as 2003 remains the year with the lowest precipitation total (503 mm). Precipitation totals were below the normal for most months of the year. The precipitation was extremely subnormal in November, when only 37% of the 1981–2010 normal was recorded on the territory of the Czech Republic. The precipitation was strongly subnormal in April (48% of the normal), July (47% of the normal) and August (45% of the normal). The above-average precipitation was recorded only in December, reaching 140% of the precipitation normal (Fig. III.2).

¹ According to WMO, the standard climate normals are calculated as 30-year average values of temperature, precipitation and other climate parameters. The normals are updated every 30 years, so currently the period of 1961–1990 is in validity. In view of ongoing climate change, the WMO recommends recalculating climate normals for operational purposes every ten years. The current standard climate normal is therefore the normal calculated for the period of 1981–2010.

mínky, které lze charakterizovat jako silně nadnormální. V celorepublikovém průměru se dobré rozptylové podmínky vyskytovaly v 91 % případů, což představuje 120 % dlouhodobého průměru. Na základě hodnocení ventilačního indexu zprůměrovaného pro jednotlivé kraje a aglomerace se nepříznivé rozptylové podmínky během roku vyskytly ve všech krajích a aglomeracích (obr. III.3). Nejčastěji se dobré rozptylové podmínky vyskytovaly v Jihomoravském kraji bez aglomerace Brno (93 %) a ve Zlínském kraji (92 %). Během roku byly nejlepší rozptylové podmínky v květnu a v srpnu (100 %), naopak nejméně často se dobré rozptylové podmínky vyskytovaly v lednu (87 %), únoru (82 %), září (83 %), říjnu (81 %) a listopadu (80 %). V lednu a únoru došlo navíc i k výskytu nepříznivých rozptylových podmínek (obr. III.4).

Vliv meteorologie na rozptylové podmínky

Rozptylové podmínky jsou určeny především stabilitou mezní vrstvy² atmosféry a rychlostí proudění v této vrstvě.

Čím větší je stabilita mezní vrstvy, tím méně dochází k vertikálnímu promíchávání vzduchu. Stabilita přitom závisí na průběhu teploty s výškou. Při nejstabilnějších situacích teplota vzduchu s výškou roste (inverzní zvrstvení) a podmínky pro vertikální promíchávání jsou nejméně příznivé. V důsledku toho dochází k hromadění znečišťujících látek v atmosféře a následně tedy ke zvýšení jejich koncentrací. Při nestabilním zvrstvení klesá teplota s výškou rychleji, než by odpovídalo běžným podmínkám v atmosféře. Projevuje se pak uspořádaná termická konvekce a termická turbulence (Bednář 2008). Rychlost a směr větru ovlivňuje horizontální rozptyl emisí, což vede k jejich rychlejšímu naředění. Tím se koncentrace znečišťujících látek snižují a ovzduší se rychle vyčistí. Kromě toho vede silnější vítr k rozvoji mechanické turbulence, a přispívá tak k vertikálnímu promíchávání.

Jedna z možností, jak číselně vyjádřit rozptylové podmínky, je tzv. **ventilační index (VI)**, který je definován jako součin výšky směšovací vrstvy a průměrné rychlosti větru v ní³. Takto vyjádřený ventilační index nabývá v podmínkách ČR zpra-

In 2018, the dispersion conditions were improved compared to the long-term average of 2007–2017, which can be characterized as highly above the normal. On a national average, good dispersion conditions occurred in 91% of cases, representing 120% of the long-term average. Based on the evaluation of the ventilation index averaged for regions and agglomerations, unfavourable dispersion conditions occurred in all regions and agglomerations during the year (Fig. III.13). The most common dispersion conditions occurred in the South Moravian region without Brno agglomeration (93%) and in the Zlín region (92%). During the year there were the best dispersion conditions in May and August (100%), while the least frequent good dispersion conditions were in January (87%), February (82%), September (83%), October (81%) and November (80%). In addition, unfavourable dispersion conditions also occurred in January and February (Fig. III.4).

The effect of meteorology on dispersion conditions

Dispersion conditions are determined primarily by the stability of the boundary layer² of the atmosphere and the velocity of flow in this layer. The boundary layer refers to the part of the atmosphere adjacent to the surface of the Earth in which, as a consequence of interactions with the surface of the Earth, mechanical and thermal turbulence is induced and leads to intense vertical transfer of momentum, temperature, water vapour and pollutants.

The greater the stability of the boundary layer, the less vertical mixing of the air occurs. Simultaneously, the stability depends on the temperature changes with altitude. Under the most stable conditions, the air temperature increases with height (inverse layering) and the conditions for vertical mixing are the least favourable. As a result, pollutants accumulate in the atmosphere and consequently their concentration increases. In unstable layering, the temperature decreases with height more rapidly than would correspond to normal conditions in the atmosphere. This is then manifested in ordered thermal convection and thermal turbulence (Bednář 2008). The wind speed and direction affect horizontal emission dispersion which results in their more rapid dilution. This reduces pollutant concentrations and cleans the air quickly. In addition, stronger wind leads to the development of mechanical turbulence and thus contributes to vertical mixing.

² Mezní vrstvou označujeme část atmosféry přiléhající k zemskému povrchu, v níž je v důsledku interakce se zemským povrchem rozvinuta mechanická a termická turbulence a dochází v ní k intenzivnímu vertikálnímu přenosu hybnosti, tepla, vodní páry a znečišťujících příměsí.

³ Směšovací vrstvou rozumíme vrstvu ovzduší mezi zemským povrchem a spodní hranicí nejnižší zádržné teplotní vrstvy.

² The boundary layer is the part of the atmosphere that is adjacent to the Earth's surface, where the mechanical and thermal turbulence develops as a result of the interaction with the Earth's surface, resulting in an intense vertical transmission of momentum, heat, water vapour and polluting materials.

vidla hodnot od stovek do desetitisíců $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, přičemž hodnoty nad $3\,000 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ označujeme jako dobré rozptylové podmínky, hodnoty mezi $1\,100$ a $3\,000 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ jako mírně nepříznivé a pod $1\,100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ za nepříznivé. Situace s nepříznivými rozptylovými podmínkami neznamená nutně výskyt vysokých koncentrací znečišťujících látek. Důležitá je délka trvání situace, výchozí úroveň znečištění, rozložení zdrojů a jejich emisí do vrstvy pod inverzí. Naopak k výraznému a plošně rozsáhlému překračování imisních limitů dochází téměř výhradně za mírně nepříznivých a nepříznivých rozptylových podmínek. Četnost výskytu různých typů rozptylových podmínek je významně závislá na denní době a části roku.

Vliv meteorologických podmínek na emise

Meteorologické podmínky mají největší vliv na antropogenní emise z vytápění. Emise z vytápění jsou stanovovány na základě počtu otopných dnů a teplot, které se během nich vyskytly. Dálkové zásobování teplem je upraveno vyhláškou č. 194/2007 Sb.⁴. Domácnosti s vlastním spalovacím zařízením se chovají poněkud odlišně od centrálních dodavatelů tepla. Proto se pro účely této ročenky na rozdíl od vyhlášky považují za otopné ty dny, v nichž průměrná denní teplota v daném místě klesla pod $13 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplotní poměry v otopné sezoně (leden–květen, září–prosinec) nebo její části jsou charakterizovány pomocí tzv. **denostupňů**, tedy součtu rozdílů referenční vnitřní teploty a průměrné denní venkovní teploty v otopných dnech:

$$D_{t_{ref}} = \sum_{\substack{\text{otopné} \\ \text{dny}}} (t_{ref} - t_d)$$

kde $D_{t_{ref}}$ jsou denostupně, t_{ref} referenční teplota vnitřního vzduchu ($21 \text{ }^\circ\text{C}$) a t_d je průměrná denní teplota v jednotlivých otopných dnech. Níže uváděné denostupně pro území ČR (obr. III.5 a III.6) odpovídají průměrným hodnotám z více než 200 klimatologických stanic ČHMÚ. Z porovnání ob-

*One of the ways in which the dispersion conditions can be expressed numerically is in terms of the **ventilation index (VI)**, which is defined as the product of the mixing depth of the layer and the average transport wind speed in $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Under the conditions in the Czech Republic, the ventilation index expressed in this way generally attains values from hundreds up to tens of thousands $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, where values above $3,000 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ are designated as good dispersion conditions, values between $1,100$ and $3,000 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ are considered slightly unfavourable and values below $1,100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ as unfavourable. Situations with unfavourable dispersion conditions do not necessarily mean occurrence of high pollutant concentrations. Important is the duration of the situation, the starting level of pollution, the distribution of sources, and their emissions to the layer under the inversion. On the contrary, substantial and extensive exceeding of the pollution level limits occurs almost exclusively under slightly unfavourable and unfavourable dispersion conditions. The frequency of the occurrence of various types of dispersion conditions strongly depends on the time of day and season of the year.*

The effect of meteorological conditions on emissions

*Meteorological conditions have the greatest effect on anthropogenic emissions from heating. Emissions from heating are determined on the basis of calculation of heating days and the temperatures that occurred during these days. Long-distance heat supply is regulated by Decree No. 194/2007 Coll.⁴. Households with their own heating equipment behave somewhat differently from central heat suppliers. Consequently, for the purposes of this yearbook, in contrast to the Decree, heating days are considered to be days during which the average daily temperature at the relevant site decreased below $13 \text{ }^\circ\text{C}$. Temperature conditions in the heating season (January–May, September–December) or parts thereof are characterized in terms of **degree-days** – i.e. the sum of the differences in the reference indoor tempe-*

⁴Podle vyhlášky č. 194/2007 Sb. se dodávka tepla zahájí v otopném období (tj. období od 1. září do 31. května), klesne-li průměrná denní teplota venkovního vzduchu v místě pod $+13 \text{ }^\circ\text{C}$ ve dvou po sobě následujících dnech a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad $+13 \text{ }^\circ\text{C}$ v následujícím dni. Vytápění se v otopném období omezí nebo přeruší tehdy, jestliže průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě vystoupí nad $+13 \text{ }^\circ\text{C}$ ve dvou po sobě následujících dnech a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den. Při následném poklesu průměrné denní teploty venkovního vzduchu pod $+13 \text{ }^\circ\text{C}$ se vytápění obnoví.

³The mixing layer is understood as the layer of air between the Earth's surface and the lower boundary of the lowest temperature-blocking layer.

⁴According to Decree No. 194/2007 Coll., supply of heat is commenced in the heating season (i.e. the period from 1 September to 31 May), if the average daily temperature of the outdoor air at the site decreases below $+13 \text{ }^\circ\text{C}$ on two subsequent days and, according to the development of the weather, an increase in this temperature above $+13 \text{ }^\circ\text{C}$ cannot be expected on the following days. Heating in the heating season is reduced or interrupted if the average daily temperature of the outdoor air at the relevant site or location increases above $+13 \text{ }^\circ\text{C}$ on two subsequent days and, following the development of the weather, a decrease in this temperature cannot be expected on the next day. Heating is renewed if the average daily temperature of the outdoor air decreases below $+13 \text{ }^\circ\text{C}$.

rázku III.5 a II.7 je zřejmé, že vyšší spotřeba paliv v roce 2010 odpovídá silně nadnormálním hodnotám a naopak nižší spotřeba paliv v roce 2014 podnormálním hodnotám denostupňů.

Nízké teploty mohou navyšovat spalovací emise z motorových vozidel, obzvláště při studených startech (ATEM 2012; Chan et al. 2013; Vojtíšek 2013). Na teplotě jsou závislé také emise těkavých organických látek (VOC) z rozpouštědel a skladování a distribuce benzínu. Teplota a fotosynteticky aktivní složka slunečního záření mají vliv na biogenní emise nemetanických těkavých organických látek (např. isoprenu a terpenů), které působí jako prekurzor sekundárních organických aerosolů i přízemního ozonu. Významné jsou přitom hlavně emise z lesních porostů (např. Bednář et al. 2013; Zemánková et al. 2010). Vítr s rychlostí přibližně nad $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ může způsobovat resuspenzi, tedy zvýšení a opětovný vnos již sedimentovaných částic zpět do ovzduší. Meteorologické podmínky ovlivňují také míru a rychlost vytěkávání perzistentních organických látek z půdy, kam se dostaly zejména v důsledku zemědělské činnosti.

Vliv meteorologických podmínek na tvorbu sekundárních polutantů a chemismus atmosféry

Meteorologické podmínky, a to zejména teplota, relativní vlhkost vzduchu a sluneční záření, přímo ovlivňují chemické a fyzikální procesy probíhající mezi znečišťujícími látkami v ovzduší (např. Baek et al. 2004). Vliv meteorologických podmínek může být i nepřímý, např. v důsledku intenzivního promíchávání dochází k naředění emitovaných látek, a tedy i ke snížení rychlosti reakcí. Pro průběh fotochemických reakcí je rozhodující sluneční záření. V letním období vysoké teploty a zejména intenzivní sluneční záření přispívají k vysokým koncentracím přízemního ozonu (Blažek et al. 2013).

ratuures and the average daily outdoor temperatures on heating days:

$$D_{t_{ref}} = \sum_{\text{heating days}} (t_{ref} - t_d)$$

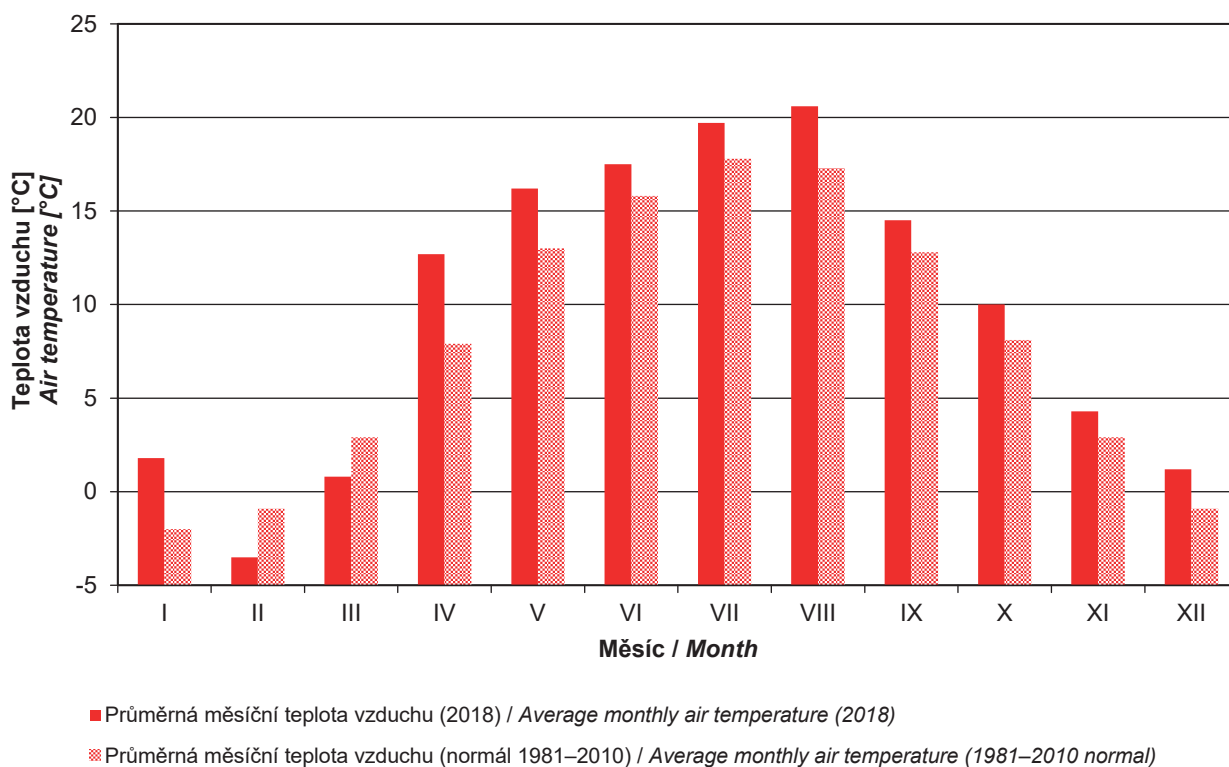
where $D_{t_{ref}}$ are degree-days, t_{ref} is the reference temperature of the indoor air ($21 \text{ }^\circ\text{C}$) and t_d is the average daily temperature on the individual heating days. The degree-days given below for the territory of the Czech Republic (Fig. III.5 and III.6) correspond to the average values for more than 200 CHMI climatological stations. It is apparent from comparison of Fig. III.5 and II.7 that the higher fuel consumption in 2010 corresponded to highly above-normal levels and, on the other hand, the lower fuel consumption in 2014 corresponded to subnormal degree-day values.

Lower temperatures can lead to increase of combustion emissions from motor vehicles, especially during cold starts (ATEM 2012; Chan et al. 2013; Vojtíšek 2013). Volatile organic compounds (VOCs) emissions from solvents and storage and distribution of petrol also depend on the temperature. The temperature and photosynthetically active components of solar radiation affect biogenic emissions of non-methane volatile organic compounds (e.g. isoprene and terpenes), which act as precursors for secondary organic aerosols and ground-level ozone. Emissions from forested areas are especially important (e.g. Bednář et al. 2013; Zemánková et al. 2010). Wind of a speed above approximately $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ can cause resuspension, i.e. eddying and repeated lifting of already settled particles back into the air. Meteorological conditions also affect the degree and rate of evaporation of persistent organic substances from the soil, where they were deposited mainly through agricultural activities.

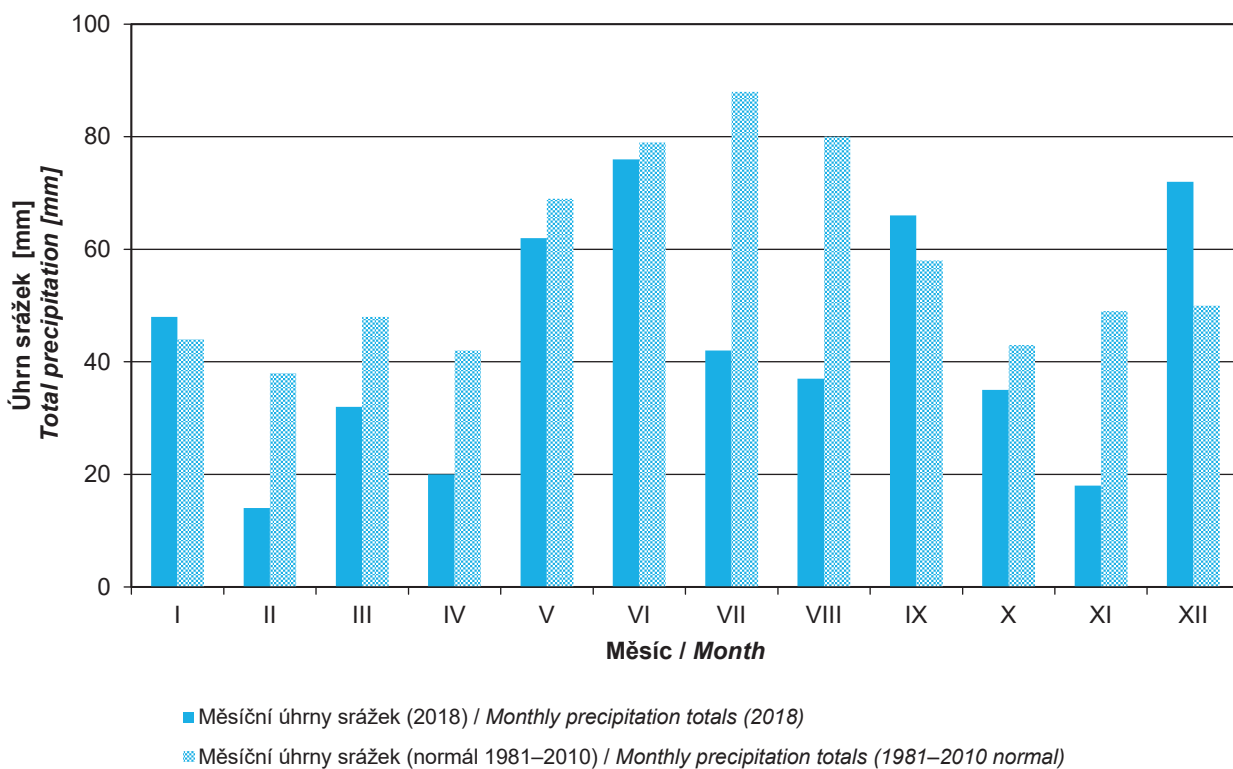
The effect of meteorological conditions on the formation of secondary pollutants and the chemistry of the atmosphere

Meteorological conditions, especially the temperature, relative humidity of the air and solar radiation, directly affect the chemical and physical processes taking place among the pollutant substances in the air (e.g. Baek et al. 2004). Meteorological conditions can also have an indirect impact, e.g. intense mixing can lead to dilution of emitted substances and thus to a reduction in the rate of a reaction. Solar radiation is decisive during photochemical reactions. In the summer, high temperatures and especially intense solar radiation contribute to high ground-level ozone concentrations (Blažek et al. 2013).

III. METEOROLOGICKÉ A ROZPTYLOVÉ PODMÍNKY III. METEOROLOGICAL AND DISPERSION CONDITIONS



Obr. III.1 Průměrné měsíční teploty vzduchu v roce 2018 v porovnání s normálem 1981–2010
Fig. III.1 Average monthly air temperature in 2018 compared to the long-term temperature mean 1981–2010



Obr. III.2 Měsíční úhrny srážek v roce 2018 v porovnání s normálem 1981–2010
Fig. III.2 Monthly precipitation totals compared to the long-term precipitation mean 1981–2010

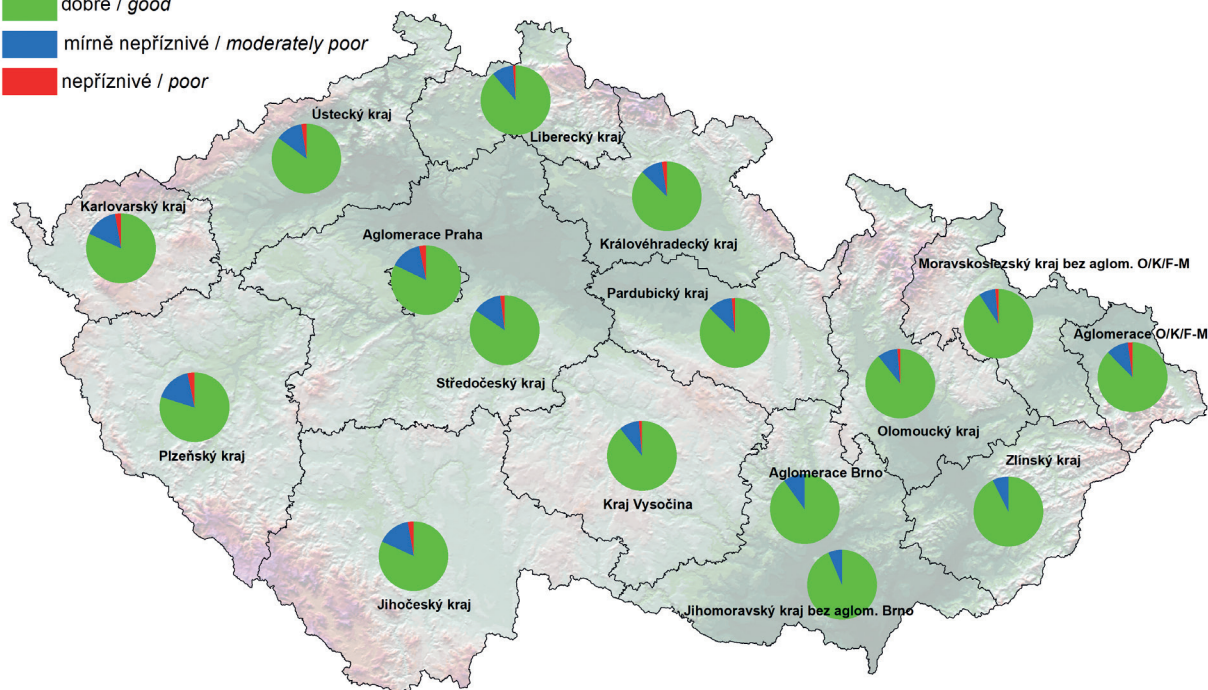
III. METEOROLOGICKÉ A ROZPTYLOVÉ PODMÍNKY III. METEOROLOGICAL AND DISPERSION CONDITIONS

Rozptylové podmínky / Dispersion conditions

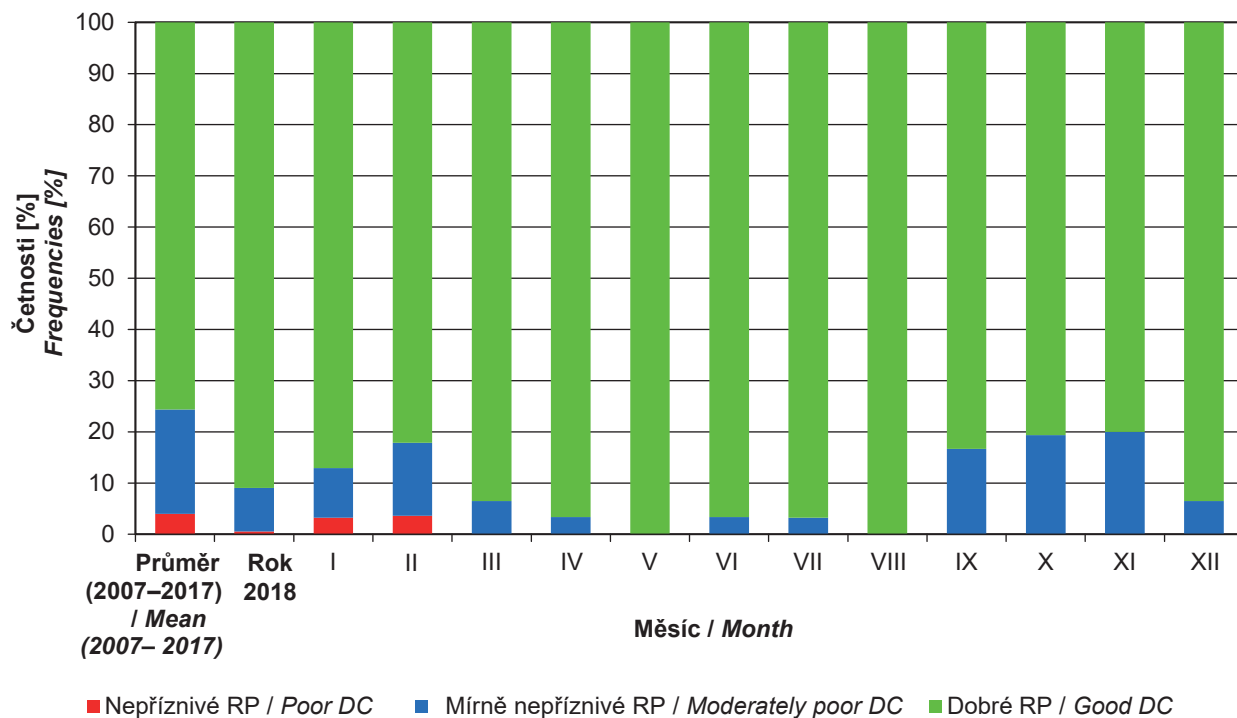
dobré / good

mírně nepříznivé / moderately poor

nepříznivé / poor

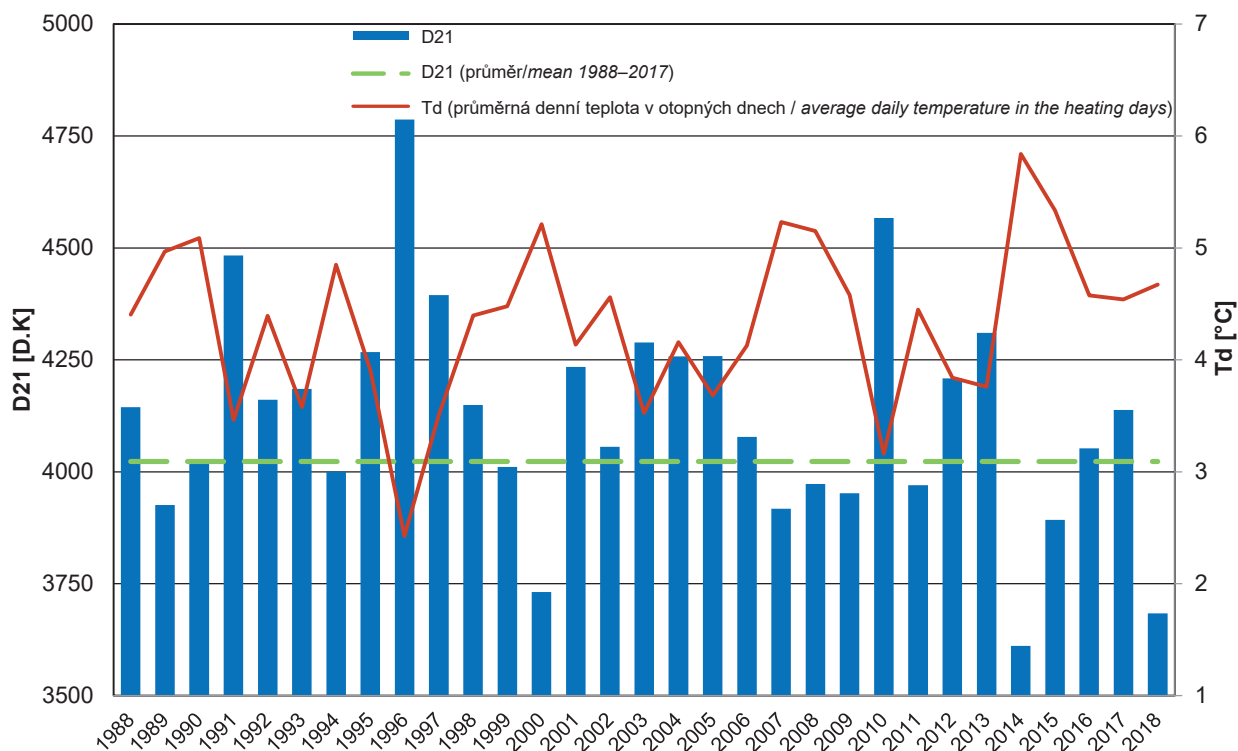


Obr. III.3 Skladba denních průměrů ventilačního indexu v krajích a aglomeracích České republiky
Fig. III.3 Composition of daily averages of ventilation index in regions and agglomerations of the Czech Republic

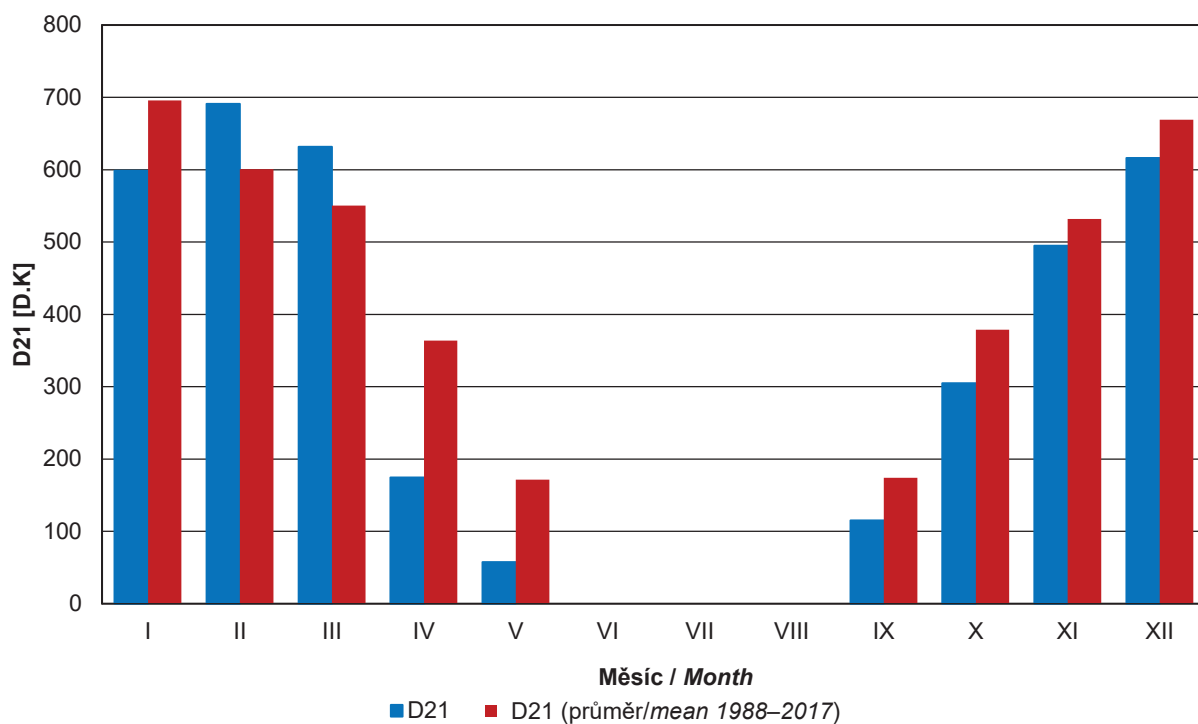


Obr. III.4 Četnosti výskytu rozptylových podmínek (RP) v jednotlivých měsících, 2018
Fig. III.4 Frequency of occurrence of dispersion conditions (DC) by months, 2018

III. METEOROLOGICKÉ A ROZPTYLOVÉ PODMÍNKY III. METEOROLOGICAL AND DISPERSION CONDITIONS



Obr. III.5 Roční otopné sezony v ČR vyjádřené v denostupních (D21) a jejich průměr za období 1988–2017
Fig. III. 5 Annual heating seasons in the CR expressed in degree days (D21) and their average for the period 1988–2018



Obr. III.6 Roční chod denostupňů na území ČR v otopné sezoně 2018 (I–V, IX–XII) v porovnání s průměrem 1988–2017
Fig. III.6 Annual course of degree days in the territory of the CR in the heating season 2018 (I–V, IX–XII) in comparison with the average for 1988–2017