

IV.4 Přízemní ozon

IV.4.1 Znečištění ovzduší přízemním ozonem v roce 2022

Znečištění ovzduší přízemním ozonem v roce 2022 vzhledem k imisním limitům pro ochranu lidského zdraví

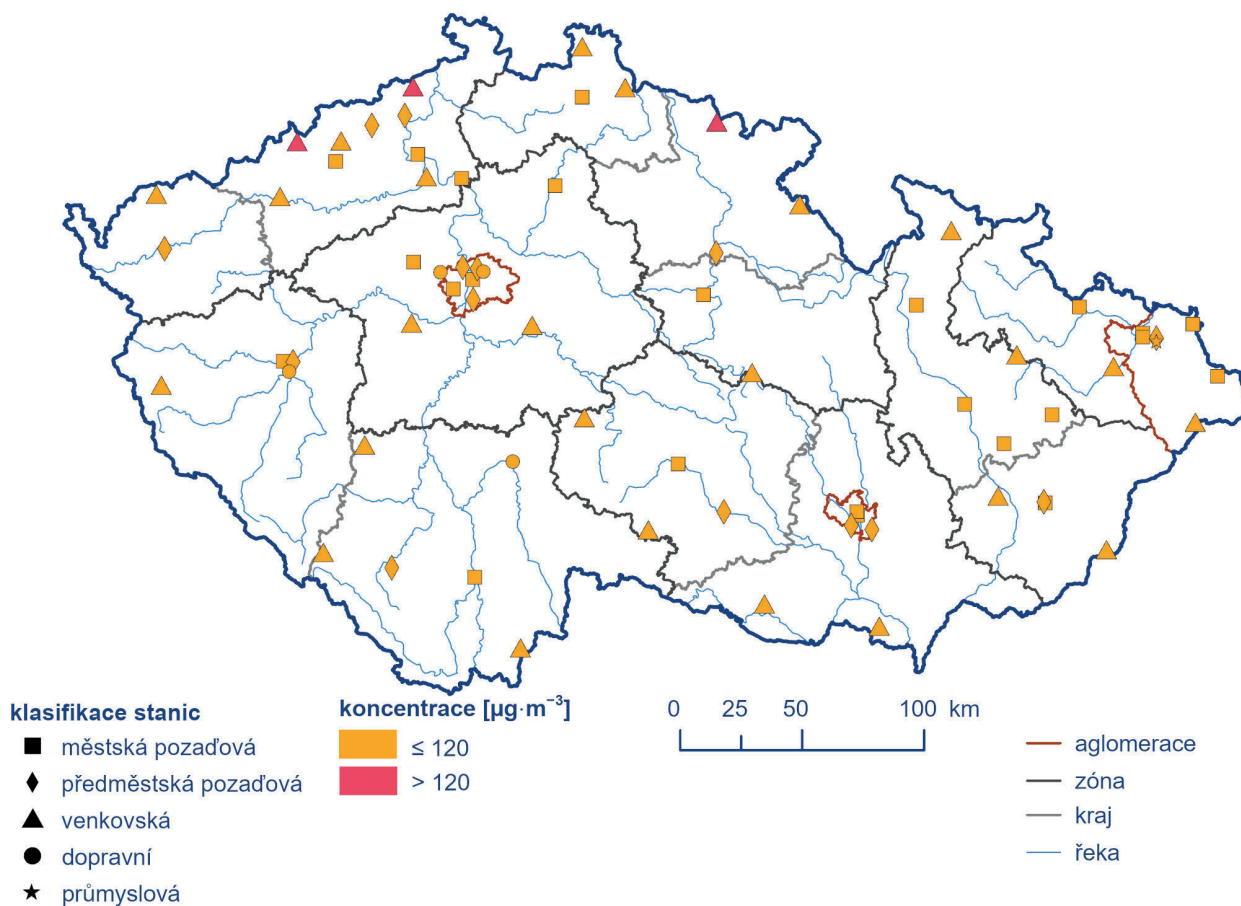
Imisní limit přízemního ozonu (O_3) byl za tříleté období 2020–2022¹ překročen pouze na 3 ze 68 stanic (4 %), na kterých byly koncentrace O_3 měřeny (Obr. IV.4.1 a IV.4.2). Jednalo se o tři regionální stanice (Sněžník, Rudolice v Horách a Krkonoše-Rýchory). Za předchozí tříleté období 2019–2021 byl imisní limit přízemního O_3 překročen na 4 z 66 (6 %), za období 2018–2020 na 34 z 67 stanic (51 %), za období 2017–2019 na 36 z 64 stanic (56 %) a za období 2016–2018 na 33 z 65 (51 %).

K překročení imisního limitu O_3 došlo ve tříletém období 2020–2022 na pouhých 0,2 % území ČR s 0,02 % obyvatel (Obr. IV.4.3). K překro-

čení imisního limitu O_3 došlo na stejně velkém území jako v předchozím tříletém období. V minulosti se jednalo o 62 % území za období 2018–2020, 71 % území za období 2017–2019 a 80 % území za období 2016–2018. V rámci jednotlivých let za období 2020–2022 došlo k nejvyššímu počtu překročení hodnoty imisního limitu v roce 2022, a to na 91 % stanic (Obr. IV.4.4).

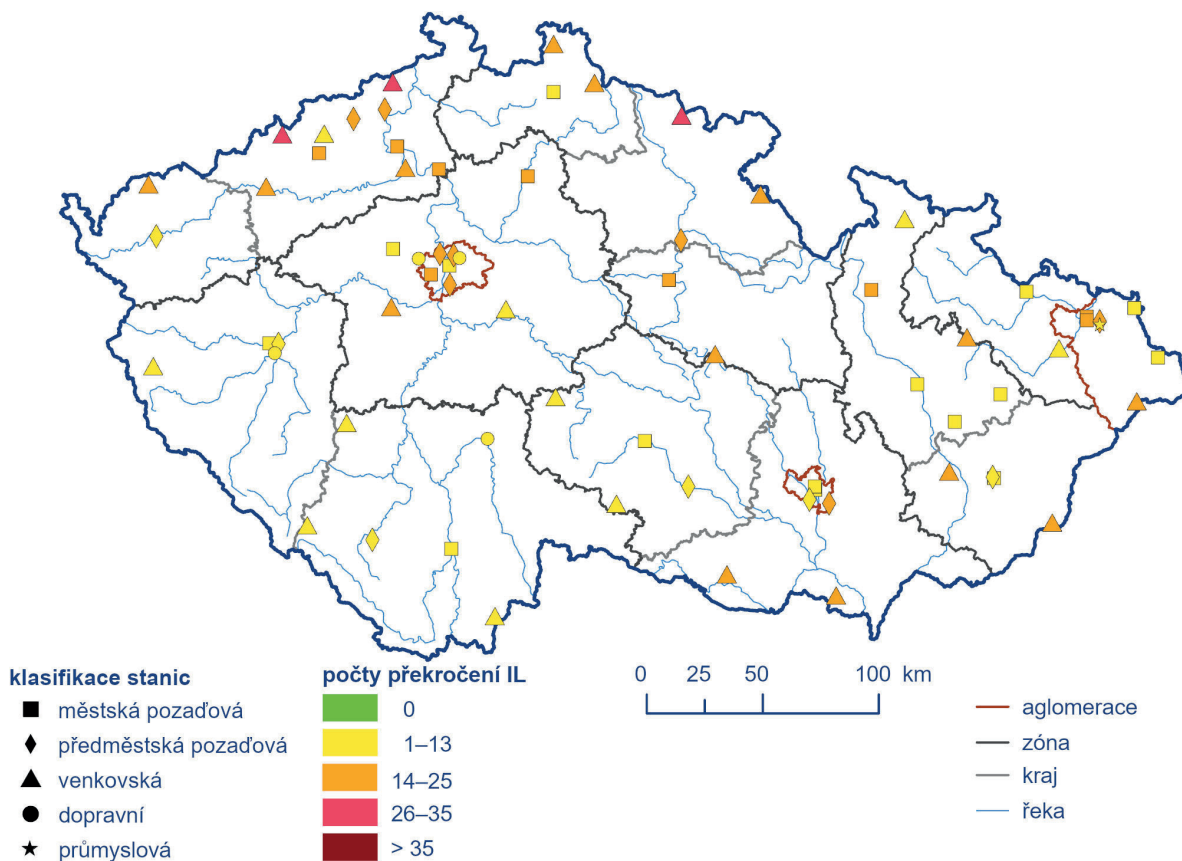
Roční chod průměrných měsíčních koncentrací O_3 (maximální 8hodinový průměr za daný měsíc, průměr pro jednotlivé typy stanic) je obecně charakterizován nárůstem koncentrací v letním období (duben–září) z důvodu výskytu příznivých meteorologických podmínek pro vznik O_3 .

Průměrné měsíční koncentrace O_3 se od května do července roku 2022 pohybovaly kolem hodnoty desetiletého průměru 2012–2021, v dubnu a září byly v porovnání s desetiletým průměrem nižší o 7 % a 15 %, v srpnu vyšší o 10 % (Obr. IV.4.5). V srpnu, tedy v nejteplejším měsíci roku 2022, který je teplotně charakterizován jako nadnormální (více viz kap. III), byly naměřeny i nejvyšší koncentrace O_3 . Druhé nejvyšší pak v červenci. V červenci a srpnu bylo z důvodu překročení prahových hodnot O_3 vyhlášeno celkem pět smogových situací a to pro území aglomerace O/K/F-M ve dnech 22.–23. 7. a pro aglomeraci Praha, zónu Středočeský kraj, Liberec-

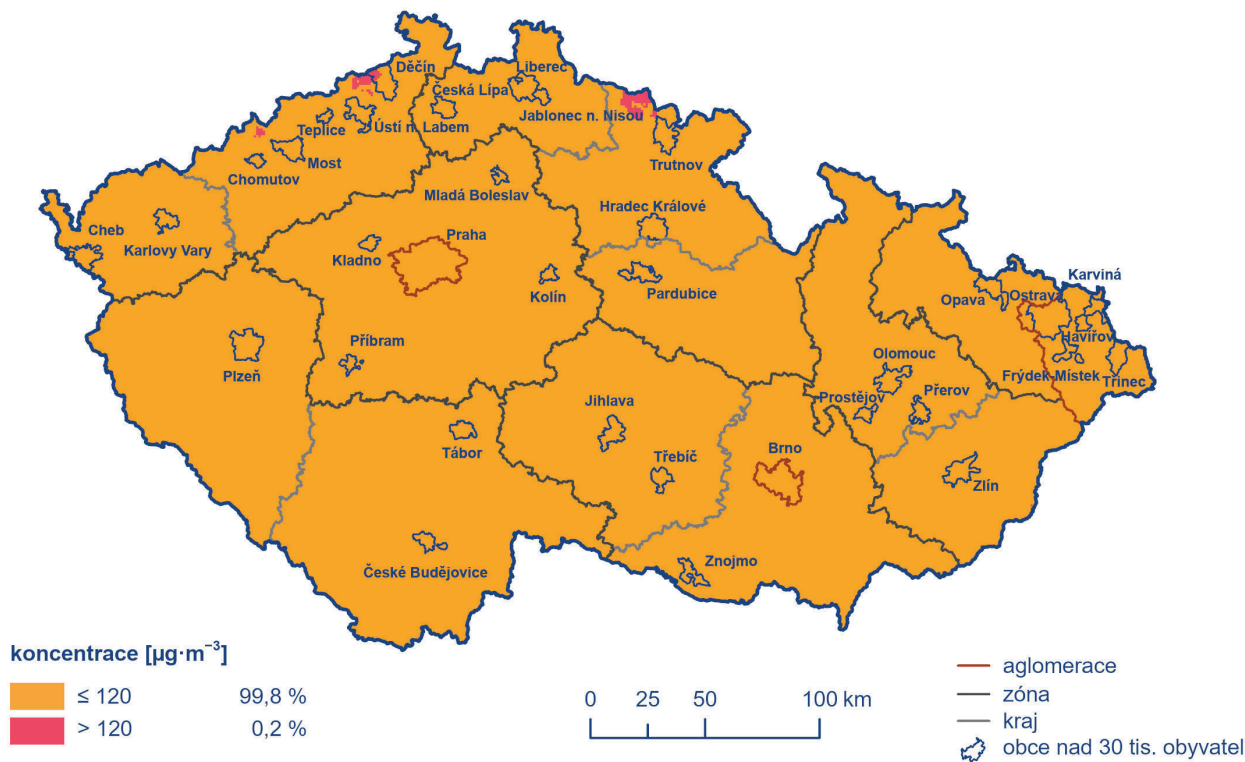


Obr. IV.4.1 26. nejvyšší hodnoty maximálního denního 8hod. klouzavého průměru koncentrací přízemního O_3 v průměru za 3 roky měřené na stanicích imisního monitoringu, 2020–2022

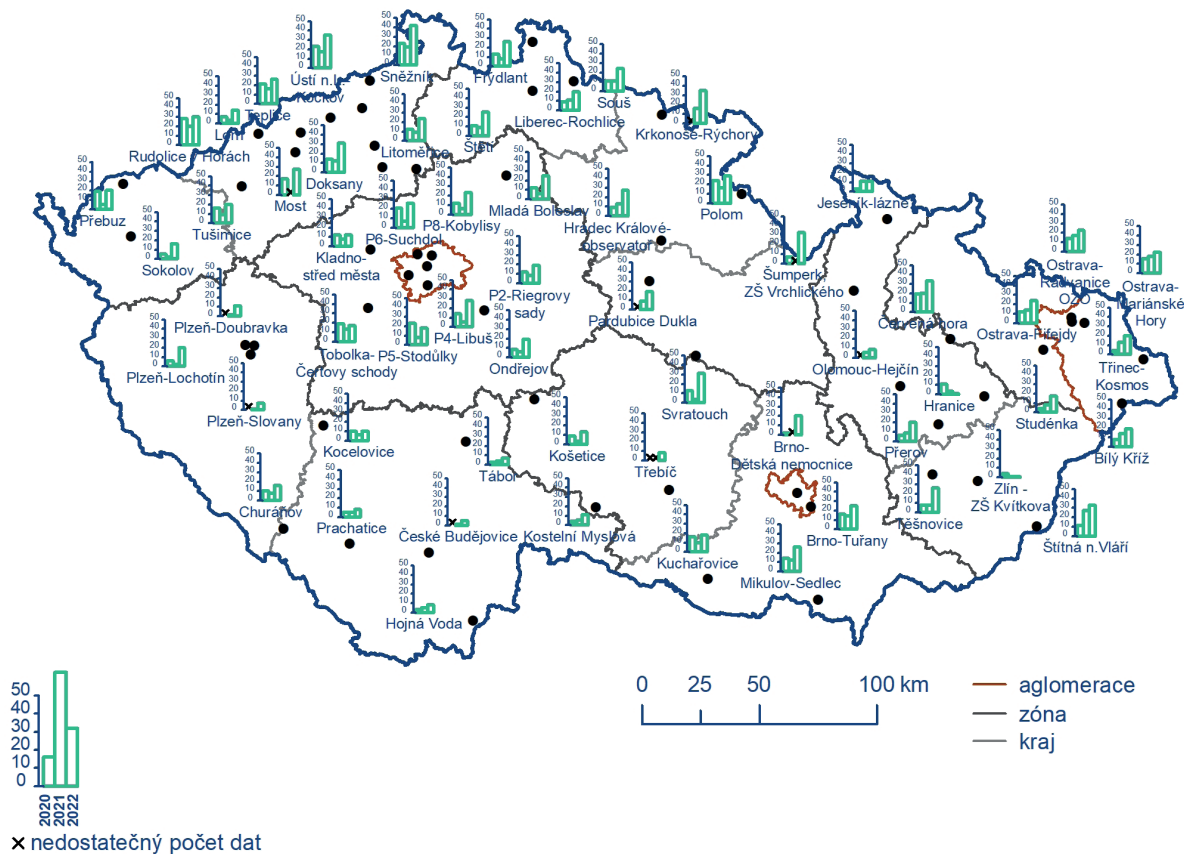
1 Imisní limit je překročen, jestliže byl maximální denní 8hodinový klouzavý průměr O_3 vyšší než $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ alespoň 26× v průměru za 3 roky.



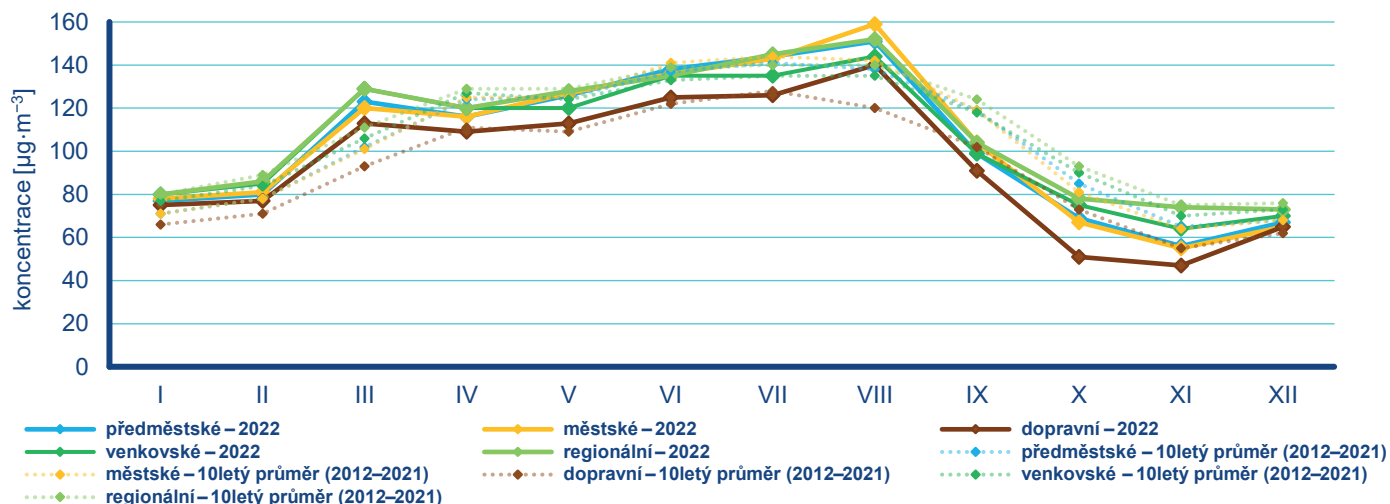
Obr. IV.4.2 Počty překročení hodnoty imisního limitu pro maximální denní 8hod. klouzavý průměr koncentrace přízemního O₃ v průměru za 3 roky, 2020–2022



Obr. IV.4.3 Pole 26. nejvyššího maximálního denního 8hod. klouzavého průměru koncentrace přízemního O₃ v průměru za 3 roky, 2020–2022



Obr. IV.4.4 Počet překročení hodnoty imisního limitu pro maximální denní 8hod. klouzavý průměr koncentrace přízemního O₃ za rok na vybraných stanicích, 2020–2022



Obr. IV.4.5 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací max. 8hod. klouzavého průměru O₃ (průměry pro daný typ stanice), 2022

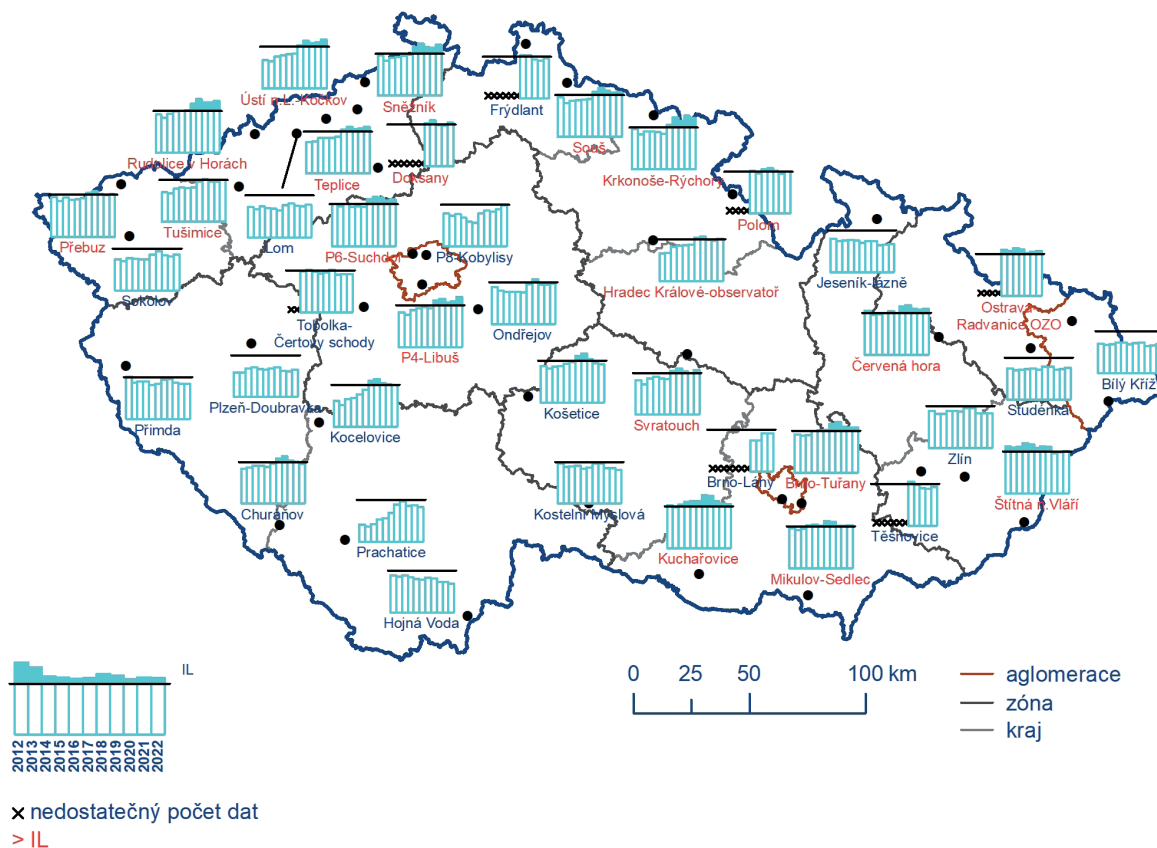
ký kraj a Ústecký kraj dne 5. 8. (více viz kap. VI). Naopak duben byl studený měsíc (teplotně silně podnormální), čemuž odpovídá i propad koncentrací v porovnání s desetiletým průměrem 2012–2021. Výraznější pokles koncentrací v září odpovídá nadnormálnímu úhrnu srážek v tomto měsíci. V roce 2022 byly naměřeny i výjimečně vysoké koncentrace v březnu – nejvyšší průměrné měsíční koncentrace za hodnocené období 2012–2022.

K výskytu zvýšených koncentrací O₃ v březnu došlo v jeho druhé polovině, kdy se průměrná teplota držela většinou nad normálem (zaznamenané denní maximum 22,7 °C, podrobnosti viz Škáchová (ed.), 2022). Navíc byl březen charakterizován jako srážkově podnormální.

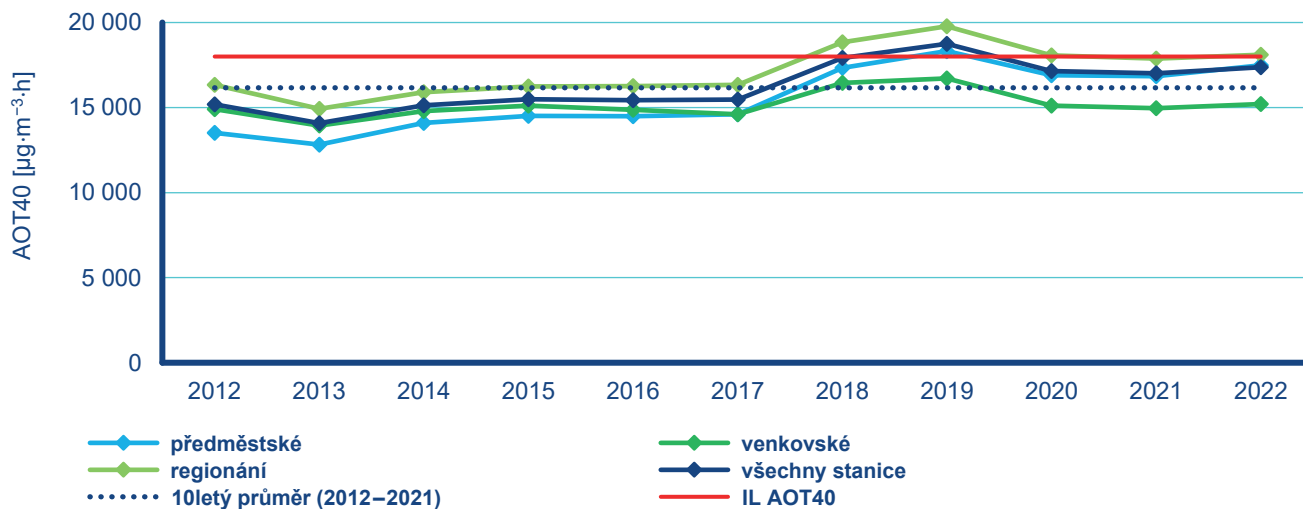
Nejnižší hodnoty koncentrací přízemního O₃ jsou měřeny na dopravně zatížených lokalitách (Obr. IV.4.5, IV.4.9), kde je přízemní

O₃ odbouráván chemickou reakcí s oxidem dusnatým (NO), který je součástí oxidů dusíku (NO_x). Lze předpokládat, že koncentrace O₃ jsou nižší až podlimitní i v dalších dopravně zatíženějších oblastech. Z důvodu absence měření nelze pomocí stávající metodiky tvorby map toto pravděpodobné snížení dokladovat. Hodnoty koncentrací přízemního O₃ na venkovských, předměstských a městských stanicích dosahují podobných úrovní a jsou v porovnání s koncentracemi na dopravních stanicích vyšší (Obr. IV.4.5). Toto potvrzuje i studie Paoletti et al. (2014), kdy v letech

1990–2010 bylo na stanicích v Evropě a USA pozorováno snížení rozdílů mezi koncentracemi měřenými na lokalitách venkovských a městských. Zároveň na těchto stanicích došlo ke snížení maximálních měřených hodnot. Zmiňovaný pokles koncentrací přízemního O₃ je mimo jiné připisován redukcí emisí jeho prekurzorů, zejména NO_x ve vyspělých státech. Snížení koncentrací v relativně čistých oblastech je přisuzováno snížení emisí jak NO_x, tak i volatilních organických látek (VOC) v širším (evropském až globálním) měřítku (Sicard et al. 2013).



Obr. IV.4.6 Hodnoty expozičního indexu AOT40 na vybraných stanicích, klouzavý 5letý průměr, 2012–2022



Obr. IV.4.7 Hodnoty expozičního indexu AOT 40, klouzavý 5letý průměr, 2012–2022

Znečištění ovzduší přízemním ozonem v roce 2022 vzhledem k imisním limitům pro ochranu ekosystémů a vegetace

Imisní limit přízemního O_3 pro ochranu vegetace $18\,000\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ (průměr za pět let, Tab. I.2) byl překročen na 20 stanicích (50 %) z celkového počtu 40 venkovských a předměstských stanic, pro které byl podle legislativy relevantní výpočet expozičního indexu AOT40² (jedná se o průměr za roky 2018–2022). Nejvyšší hodnoty indexu AOT40 byly za hodnocené období 2012–2022 zjištěny v letech 2018 a 2019 (v průměru pro 32 venkovských a předměstských stanic s úplnou časovou řadou 2012–2022). V roce 2022 byly hodnoty indexu AOT40 třetí nejvyšší za období 2012–2022 (Obr. IV.4.6, Obr. IV.4.7). Nejvyšší hodnoty indexu AOT40 byly v roce 2022 zjištěny na stanicích Rudolice v Horách, Krkonoše-Rýchory Sněžník, Praha 4-Libuš a Ústí nad Labem-Kočkov. K výskytu nadlimitních hodnot AOT40 došlo v roce 2022 na území téměř celého Libereckého kraje, ve významných částech Královehradeckého a Ústeckého kraje a Prahy, dále v menší části Středočeského a Pardubického kraje, Vysočiny a v menších územních celcích Moravy (Obr. IV.4.8).

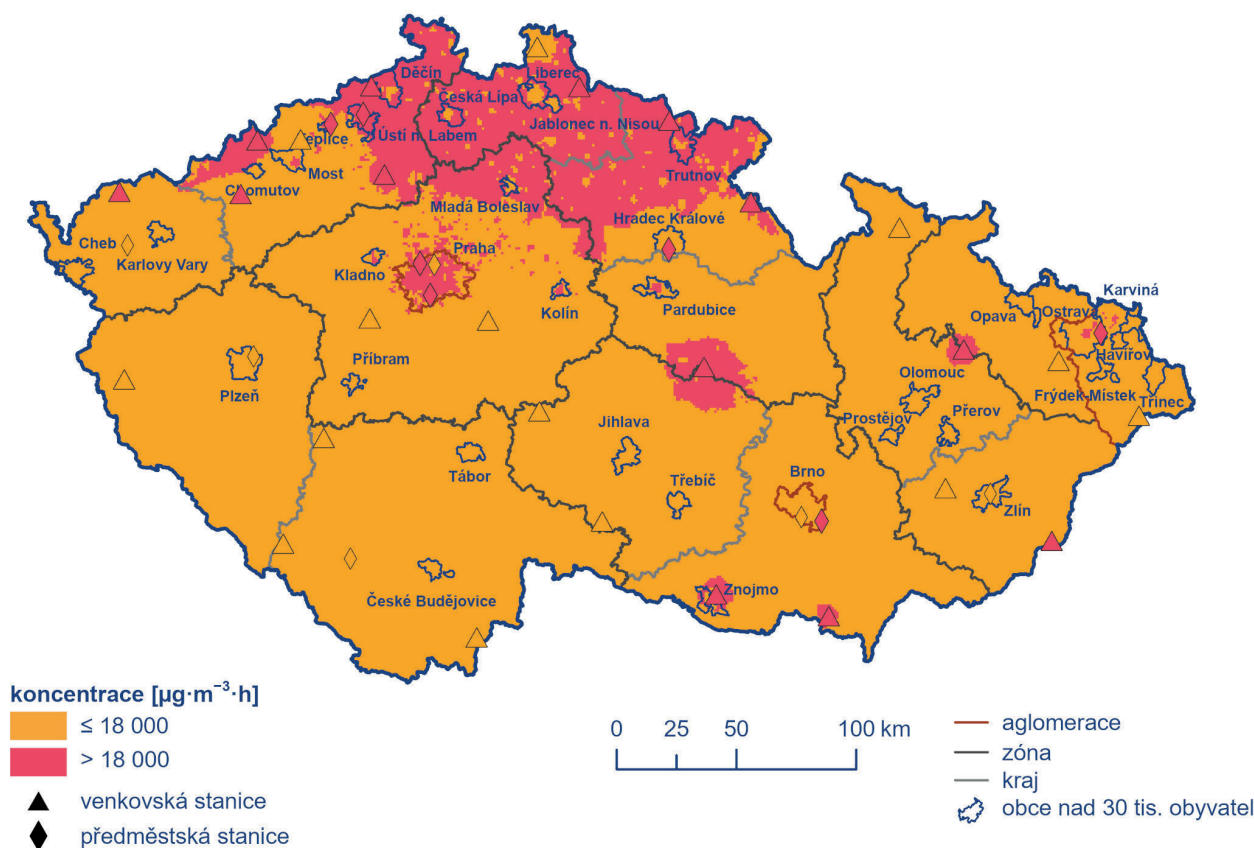
Roční hodnoty indexu AOT40 dlouhodobě překračují hodnotu dlouhodobého imisního limitu ($6\,000\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$) na všech venkovských a předměstských stanicích (stejný soubor stanic pro posledních pět let, Obr. IV.4.9). V rámci hodnoceného pětiletí byly roční

hodnoty indexu AOT40 v roce 2022 na většině stanicích druhé nebo třetí nejvyšší.

IV.4.2 Vývoj koncentrací přízemního ozonu

Vývoj koncentrací přízemního O_3 , na rozdíl od přecházejícího hodnocení založeného převážně na tříletých obdobích, hodnotíme na základě maximální 8hod. průměrné koncentrace a 26. maximální 8hod. průměrné koncentrace v daném roce. První z těchto imisních charakteristik je možné porovnat s dlouhodobým imisním cílem pro přízemní O_3 resp. s hodnotou imisního limitu ($120\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Maximální roční 8hod. průměrná koncentrace (v průměru ze všech stanic, pro které je k dispozici měření za celé hodnocené období) se v letech 2012–2022 pohybovala v rozmezí od 135 do 173 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 26. maximální 8hod. průměrné koncentrace pak od cca 109 do 129 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Maximální denní 8hod. a 26. nejvyšší maximální 8hod. průměrné koncentrace O_3 nevykazují od roku 2012 výrazný vývoj (Obr. IV.4.9, Obr. IV.4.10), neboť koncentrace ozonu jsou silně závislé na meteorologických podmínkách. Nejvyšší maximální denní 8hod. koncentrace byly naměřeny v letech 2013, 2015 a 2018, v případě 26. nejvyšší maximální denní 8hod. koncentrace v le-



Obr. IV.4.8 Pole hodnot expozičního indexu AOT40, průměr za 5 let, 2018–2022

² AOT40 znamená součet rozdílů mezi hodinovou koncentrací větší než $80\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ($= 40\ \text{ppb}$) a hodnotou $80\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v dané periodě užitím pouze hodinových hodnot změřených každý den mezi 8:00 a 20:00 SEČ.



Obr. IV.4.9 Roční hodnoty expozičního indexu AOT40 na vybraných stanicích v porovnání s dlouhodobým imisním cílem (DIC), 2018–2022

tech 2015, 2018 a 2019. Všechny tyto roky jsou charakterizovány výskytem meteorologických podmínek vhodných pro vznik O_3 – v roce 2013 došlo k výskytu vysokých koncentrací O_3 zejména na přelomu července a srpna během řady tropických dnů. Roky 2015, 2018 a 2019 byly teplotně mimořádně nadprůměrné, roky 2015 a 2018 i srážkově silně podprůměrné (ČHMÚ 2016; ČHMÚ 2019 a ČHMÚ 2020). Koncentrace v roce 2022 ($152 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro maximální denní 8hod. a $118 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro 26. maximální denní 8hod. průměrnou koncentraci) byly v rámci jedenáctiletého období 2012–2022 čtvrté nejvyšší a mírně překračují desetileté průměry pro období 2012–2021 ($150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro maximální denní 8hod. a $117 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro 26. maximální denní 8hod. průměrnou koncentraci).

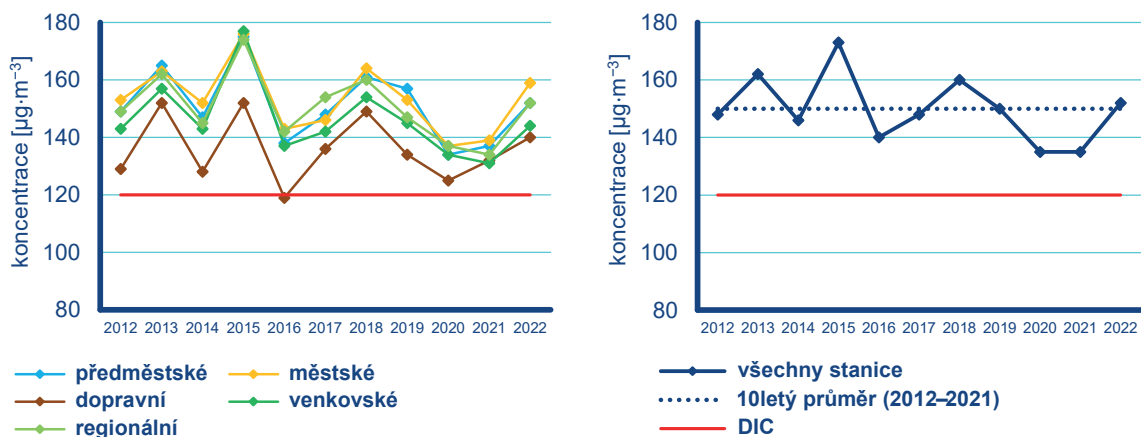
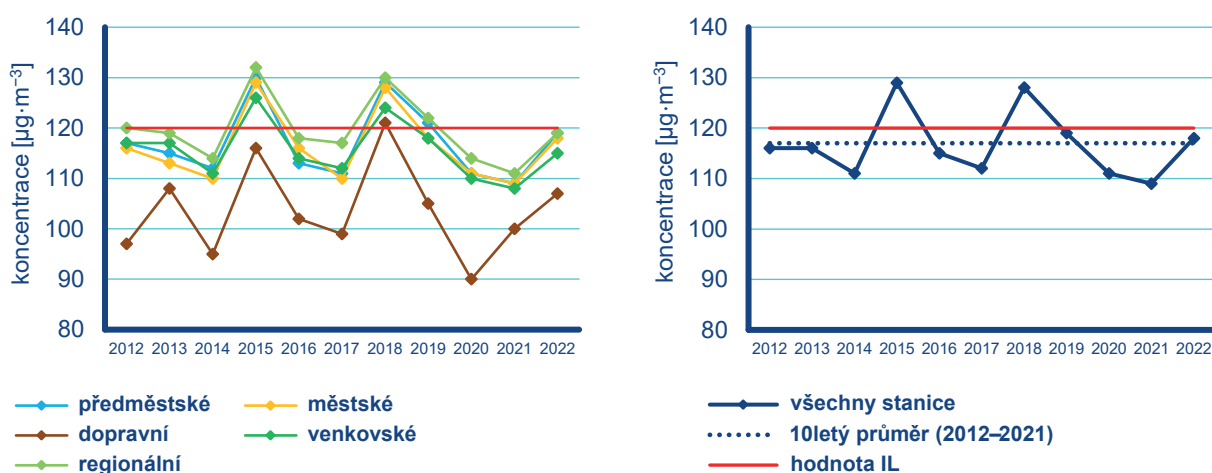
Ve srovnávání koncentrací hrají zásadní roli emise prekurzorů a meteorologické podmínky, tj. intenzita a délka slunečního svitu, teplota, rychlost větru a výskyt srážek, resp. relativní vlhkost vzduchu (Blanchard et al. 2010; Ooka et al. 2011). Vztah mezi množstvím emitovaných prekurzorů a koncentracemi přízemního O_3 však není lineární. Tato nelinearita je způsobena komplikovanou atmosférickou chemií vzniku a zániku O_3 , dálkovým přenosem O_3 a jeho prekurzorů a dalšími faktory, mezi které se řadí meteorologické podmínky, změna klimatu, emise nemetanických těkavých organických látek (NMVOC) z vegetace a požáry lesních porostů (EEA 2013b). Vzhledem k výše uvedeným faktorům nelze meziroční změny blíže komentovat.

Na základě výsledků dlouhodobého monitoringu v ČR, kdy je k dispozici na řadě stanic již 30letá řada imisních koncentrací pří-

zemního O_3 , je možné – navzdory vysoké meziroční variabilitě O_3 – smysluplně hodnotit jeho dlouhodobé trendy (Weatherhead et al. 1998). Detailní analýza časoprostorových trendů dlouhodobého měření 26 stanic různého typu (městské, venkovské, horské) za období 1994–2015 ukázala, že navzdory podstatnému snížení emisí prekurzorů i snížení imisních koncentrací přízemního O_3 na většině stanic představuje přízemní O_3 v ČR stále značný problém. Jasně se prokázalo, že pro žádoucí snížení imisních úrovní přízemního O_3 je kritický poměr NO/NO_2 , a samotný současný významný pokles celkových emisí NO_x není tedy pro snížení O_3 postačující (Hůnová, Baumelt 2018). Současně bylo z výsledků měření ČHMÚ zjištěno, že v posledních letech (přibližně od r. 2014) střední koncentrace O_3 na českých stanicích rostou, což patrně souvisí s probíhající klimatickou změnou (Hůnová et al. 2020).

IV.4.3 Vznik přízemního ozonu

Přízemní O_3 nemá v atmosféře vlastní významný zdroj. Jedná se o tzv. sekundární látku vznikající v celé řadě velmi komplikovaných nelineárních fotochemických reakcí (např. Seinfeld, Pandis 2006). Prekurzory O_3 jsou NO_x a nemetanické NMVOC, v globálním měřítku hrají roli i metan (CH_4) a oxid uhelnatý (CO). Důležitou reakcí je fotolýza oxidu dusičitého (NO_2) slunečním zářením o vlnové délce 280–430nm, při které vzniká NO a atomární kyslík (O). Reakcí atomárního a molekulárního kyslíku (O_2) pak za přítomnosti katalyzátoru dochází ke vzniku molekuly O_3 . Současně probíhá titrace O_3 oxidem dusnatým za vzniku NO_2 a O_2 . Pokud je při této reakci O_3 nahrazen radikály, jeho koncentrace v atmo-

Obr. IV.4.10 Koncentrace O₃ (max. denní 8hod. klouzavý průměr) na jednotlivých typech stanic, 2012–2022Obr. IV.4.11 Koncentrace O₃ (26. nejvyšší max. denní 8hod. klouzavý průměr), 2012–2022

sféře rostou. Důležitou úlohu při těchto reakcích hraje zejména hydroxilový radikál (OH) (podrobněji např. Hůnová, Bäumelt 2018). NO_x vznikají při veškerých spalovacích procesech. NMVOC jsou emitovány z celé řady zdrojů antropogenních (doprava, manipulace s ropou a jejími deriváty, rafinerie, použití barev a rozpouštědel atd.), ale i přirozených, např. biogenní emise z vegetace (Seinfeld, Pandis 2006).

Při vzniku přízemního O₃ nezáleží pouze na absolutním množství prekurzorů, ale i na jejich vzájemném poměru (Sillman et al. 1990; Fiala, Závodský 2003). Ve venkovských oblastech, kde je režim limitovaný NO_x, charakterizovaný relativně nízkými koncentracemi NO_x a vysokými koncentracemi VOC, narůstají koncentrace O₃ s rostoucími koncentracemi NO_x, zatímco se vzrůstajícími koncentracemi VOC se mění jen málo. Naopak v oblastech s režimem limitovaným VOC dochází k poklesu koncentrací O₃ s rostoucími koncentracemi NO_x a k nárůstu koncentrací O₃ s rostoucími koncentracemi VOC. Zvýšení koncentrací O₃ v důsledku poklesu emisí NO_x, respektive rostoucího poměru NO₂/NO (modernizace a denitrifikace velkých emisních zdrojů) bylo pozorováno v severozápadních Čechách (Hůnová, Bäumelt 2018).

Oblasti s vysokým poměrem NO_x/VOC jsou typicky znečištěné oblasti okolo center velkých měst. Závislost vzniku přízemního O₃ na počátečních koncentracích VOC a NO_x se často vyjadřují na diagramech ozonových isopleť. Jedná se o zobrazení maximální dosažené koncentrace přízemního O₃ jako funkce počáteční koncentrace NO_x a VOC (Moldanová 2009). Významnou roli při vzniku přízemního O₃ hrají nejen koncentrace prekurzorů, ale i meteorologické podmínky (Colbeck, Mackenzie 1994). Imisní koncentrace přízemního O₃ narůstají s rostoucím ultrafialovým zářením a teplotou vzduchu, naopak klesají s rostoucí relativní vlhkostí vzduchu. Tyto závislosti byly prokázány i na výsledcích dlouhodobých měření ČHMÚ (Hůnová et al. 2019b). Vysoké koncentrace bývají spojeny s déletrvající anticiklonální situací. Kromě výše popsaného fotochemického mechanismu se koncentrace přízemního O₃ mohou zvyšovat i epizodicky v důsledku průniku stratosférického ozonu do troposféry a také při bouřkách. V poslední době se rovněž zvyšuje význam dálkového přenosu přízemního O₃ v rámci proudění na severní polokouli do Evropy a Severní Ameriky ze zdrojových oblastí jihovýchodní Asie. Přízemní O₃ je z atmosféry odstraňován reakcí s NO, mechanismem suché či mokré depozice a interakcí s rostlinami (stomatárním tokem).