

IV.4 Přízemní ozon

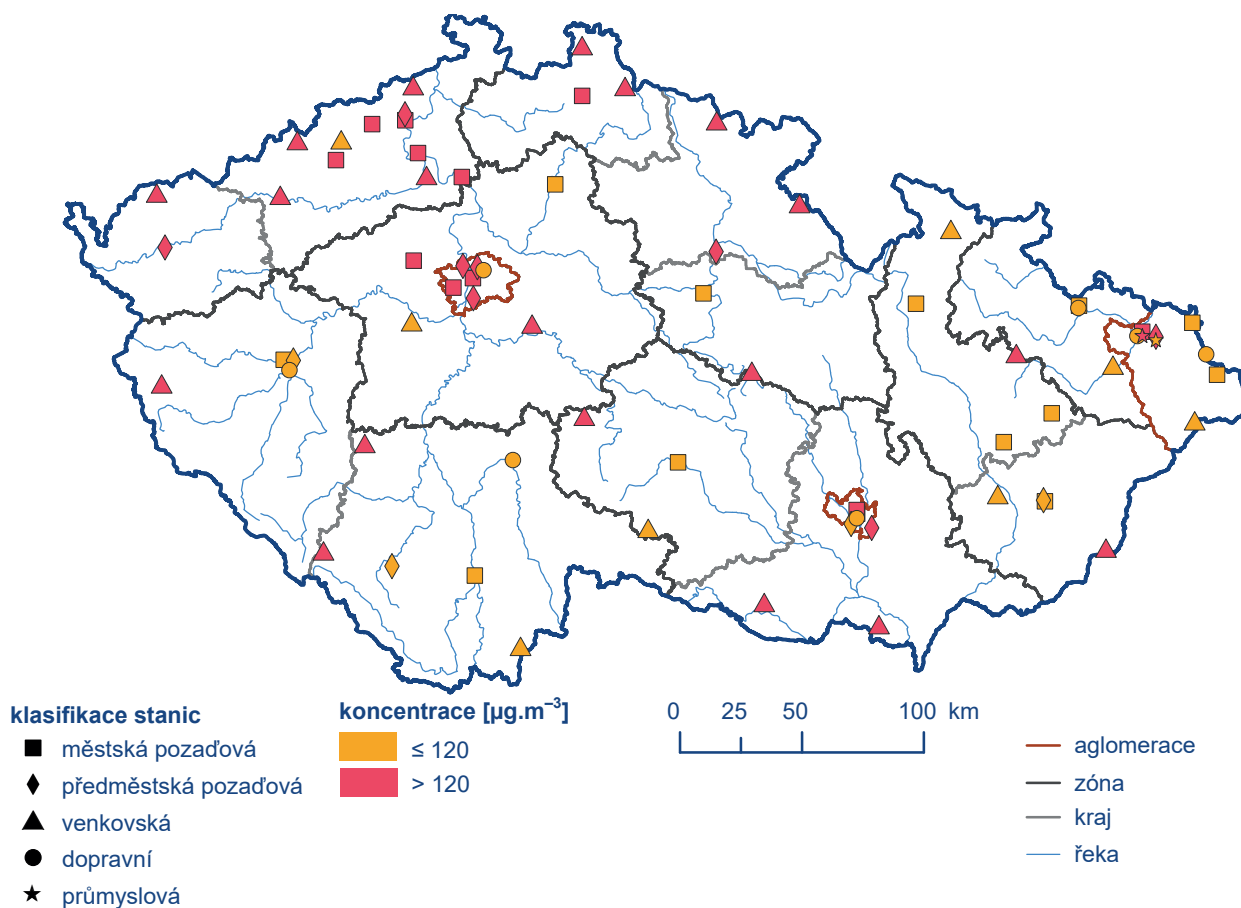
IV.4.1 Znečištění ovzduší přízemním ozonem v roce 2019

Znečištění ovzduší přízemním ozonem v roce 2019 vzhledem k imisním limitům pro ochranu lidského zdraví

Imisní limit přízemního ozonu (O_3) byl za tříleté období 2017–2019¹ překročen na 56% stanic, tj. na 36 ze 64 stanic, na kterých byly koncentrace O_3 měřeny (tab. XI.10; obr. IV.4.1

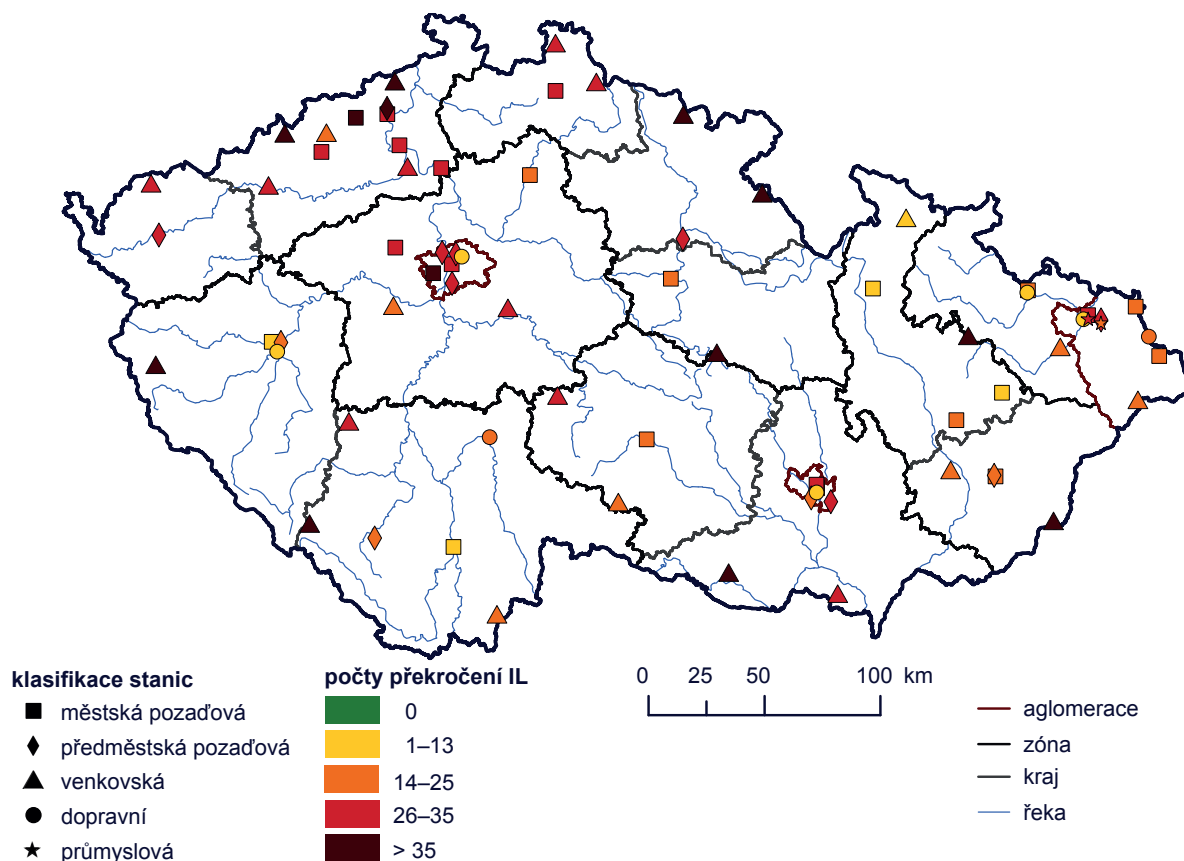
a IV.4.2). Za předchozí tříletá období 2016–2018 a 2015–2017 byl imisní limit přízemního O_3 překročen na 33 z 65 (51%) resp. na 21 z 71 (30%) stanic.

K překročení imisního limitu O_3 došlo ve tříletém období 2017–2019 na 70,5% území ČR s cca 56,9% obyvatel (obr. IV.4.3). V porovnání s předchozími pěti tříletými obdobími se jedná o druhé největší území s překročením imisního limitu pro O_3 (80% území v období 2016–2018, 31,2% území za období 2015–2017, 18,1% území za období 2014–2016 a 26,8% území za období 2013–2015). Důvodem jsou trvalé příznivé meteorologické podmínky pro vznik přízemního O_3 (více viz kap. III), které vedly k navýšení koncentrací a častějšímu překročení hodnoty imisního limitu O_3 v roce 2019 (obr. IV.4.4).

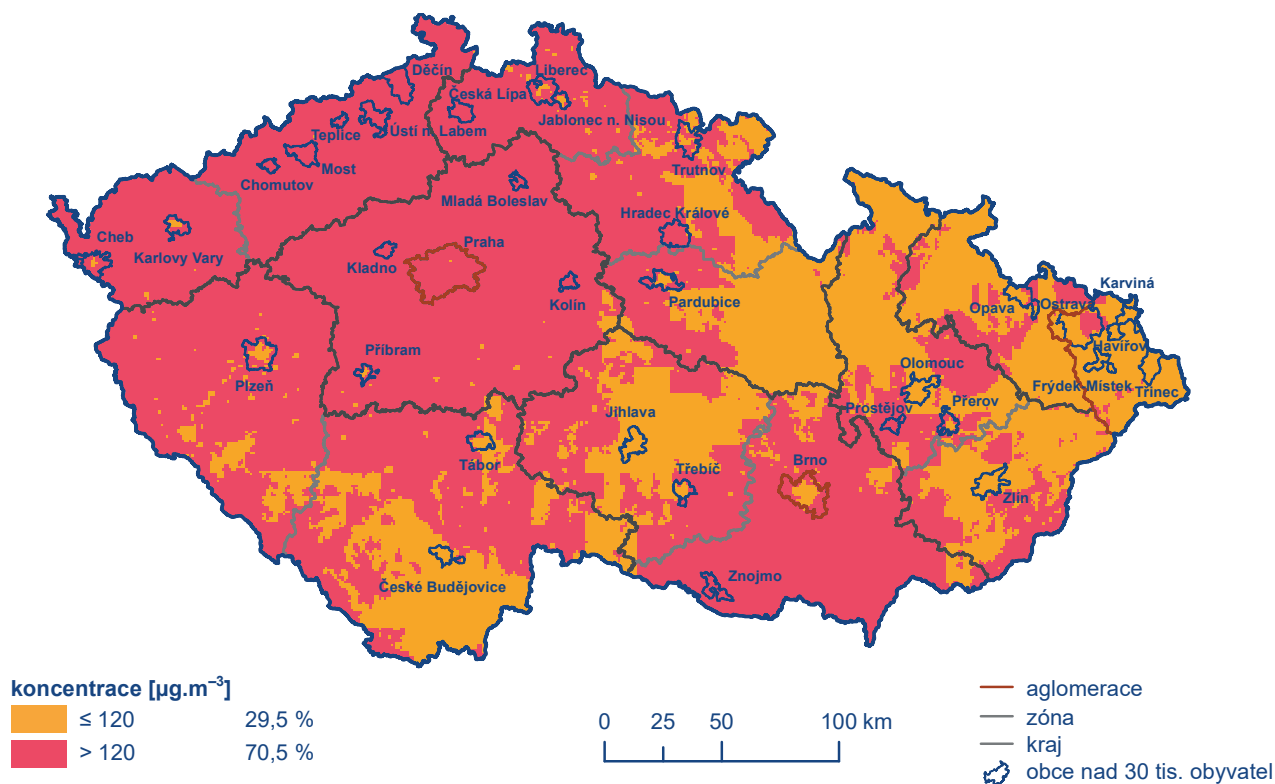


Obr. IV.4.1 26. nejvyšší hodnoty maximálního denního 8hod. klouzavého průměru koncentrací přízemního ozonu v průměru za 3 roky měřené na stanicích imisního monitoringu, 2017–2019

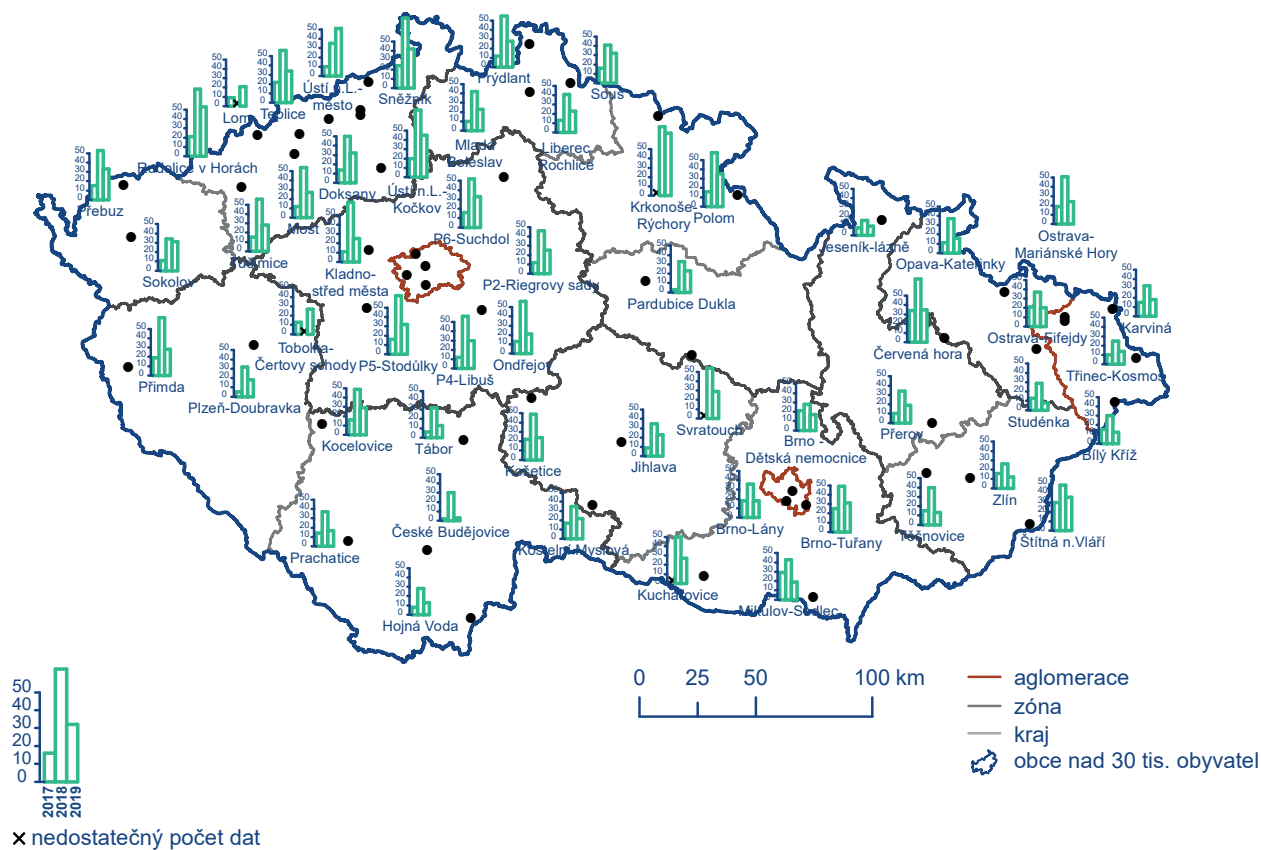
1 Imisní limit je překročen, jestliže byl maximální denní 8hodinový klouzavý průměr O_3 vyšší než $120 \mu\text{g.m}^{-3}$ alespoň 26x v průměru za 3 roky.



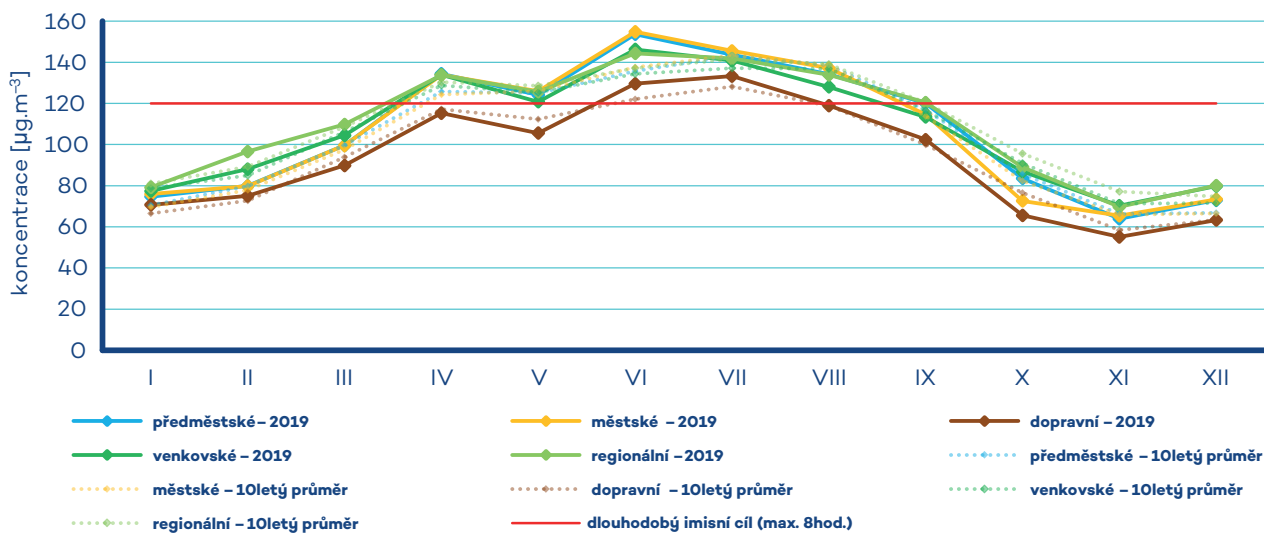
Obr. IV.4.2 Počty překročení hodnoty imisního limitu pro maximální denní 8hod. klouzavý průměr koncentrace přízemního ozonu v průměru za 3 roky, 2017–2019



Obr. IV.4.3 Pole 26. nejvyššího maximálního denního 8hod. klouzavého průměru koncentrace přízemního ozonu v průměru za 3 roky, 2017–2019



Obr. IV.4.4 Počet překročení hodnoty imisního limitu pro maximální denní 8hod. klouzavý průměr koncentrace přízemního ozonu za rok na vybraných stanicích, 2017–2019



Obr. IV.4.5 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací max. 8hod. klouzavého průměru O_3 (průměry pro daný typ stanice), 2019

Roční chod průměrných měsíčních a denních koncentrací O_3 (maximální 8hodinový průměr za daný měsíc a den) je charakterizován nárůstem koncentrací v jarních a letních měsících (obr. IV.4.5) z důvodu výskytu příznivých meteorologických podmínek pro vznik O_3 . V roce 2019 se průměrné měsíční koncentrace pohybovaly nad hodnotou imisního limitu O_3 od dubna až do srpna (až do září na předměstských pozadových a regionálních stanicích).

Nejvyšší koncentrace O_3 byly naměřeny od června do srpna, což koresponduje s obvyklým výskytem podmínek příznivých pro vznik přízemního O_3 (více viz podkapitola IV.4.3).

Na základě porovnání měsíčních průměrů koncentrací O_3 s desetiletým průměrem (2009–2019) lze konstatovat, že průměrné měsíční koncentrace na měřicích stanicích byly v období duben–září,

kdy koncentrace O_3 dosahují zvýšených až nadlimitních úrovní, na podobné až vyšší úrovni (o cca -6% až 13%). Nárůst koncentrací v červnu pravděpodobně souvisí s výskytem mimořádně nadnormálně vysokých teplot a s podnormálním množstvím srážek v červnu 2019. Naopak mírný propad koncentrací přízemního O_3 v květnu 2019 koresponduje s výskytem nižších teplot a vyšších srážek (květen je charakterizován jako teplotně silně podnormální a srážkově nadnormální).

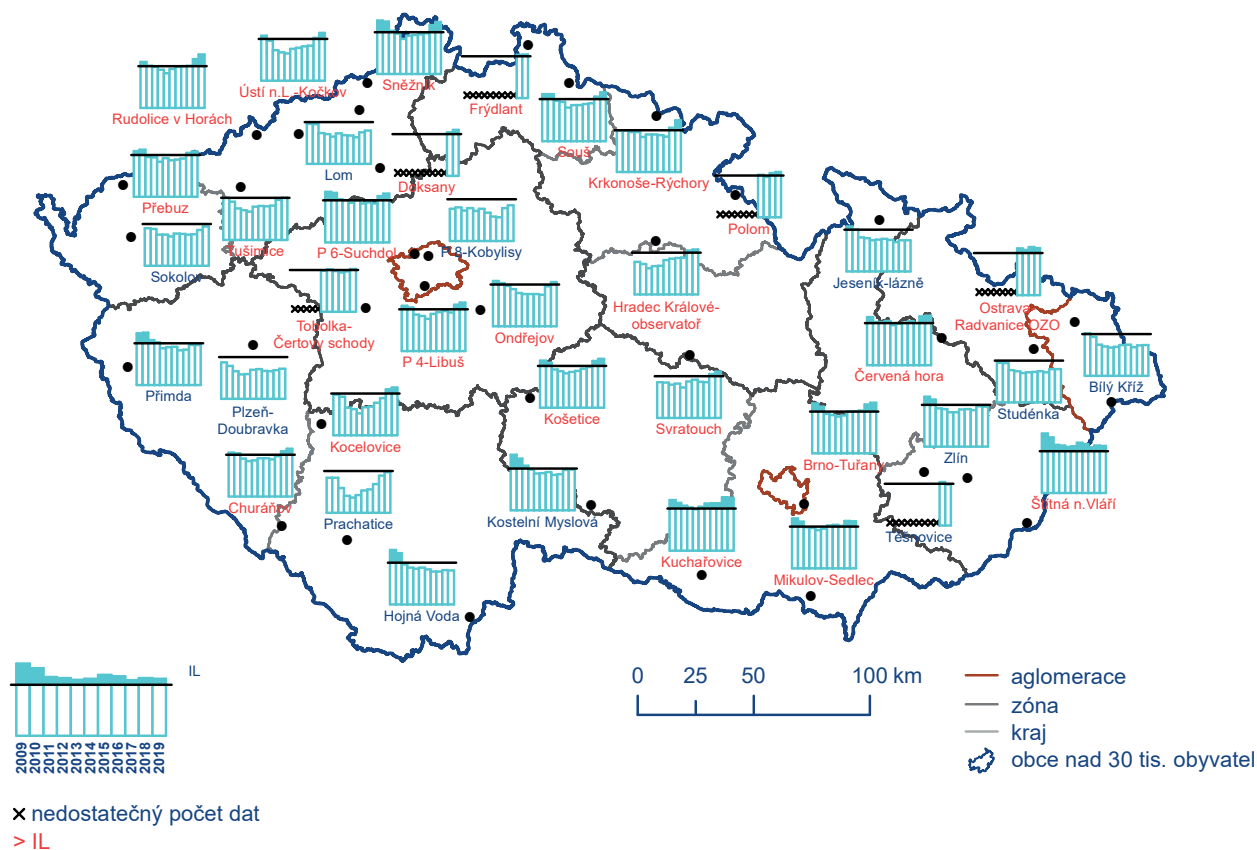
Z tohoto hodnocení je zřejmé, že nejnižší hodnoty koncentrací jsou měřeny na dopravně zatížených lokalitách (obr. IV.4.5, IV.4.9), kde je O_3 odbouráván chemickou reakcí s NO . Lze předpokládat, že koncentrace O_3 jsou nižší až podlimitní i v dalších dopravně zatíženějších oblastech, ve kterých však z důvodu absence měření nelze pomocí stávající metodiky konstrukce map toto pravděpodobné snížení dokladovat. Hodnoty koncentrací na venkovských, předměstských a městských stanicích jsou v porovnání s koncentracemi na dopravních stanicích vyšší a dosahují podobných úrovní (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 (Paoletti et al. 2014). Zároveň na těchto stanicích došlo ke snížení maximálních měřených hodnot. Zmiňovaný pokles koncentrací přízemního O_3 je mimo jiné připisován redukcí emisí jeho prekurzorů, zejména NO_x ve vyspělých státech, kdy ve městech nedochází v takové míře k rozkladu O_3 v důsledku reakce s NO . Snížení koncentrací v relativně čistých oblastech je přisuzováno snížení emisí jak NO_x , tak i VOC v širším (evropském

až globálním) měřítku (Sicard et al. 2013). Zvýšení koncentrací O_3 v důsledku poklesu emisí NO_x (modernizace a denitrifikace velkých emisních zdrojů) je pozorováno i v severozápadních Čechách (Hůnová, Baumelt 2018).

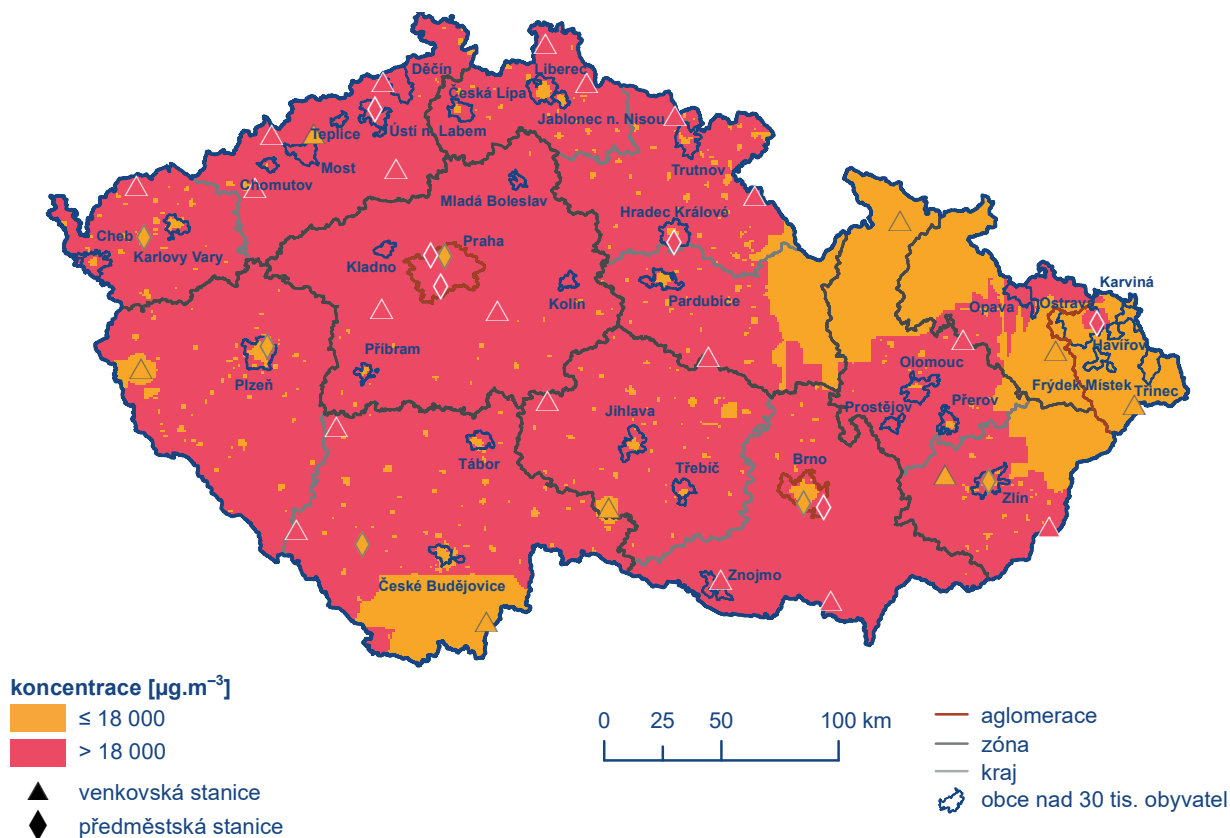
Pro přízemní O_3 bylo v roce 2019 vyhlášeno 6 smogových situací v celkové délce trvání 90 hodin. Smogové situace byly vyhlášeny zejména ve třetí dekádě června 2019 a na území Ústeckého kraje i na sklonku července (více viz kap. VI). Prahová hodnota pro varování nebyla v roce 2019 na žádné reprezentativní stanici SVRS překročena.

Znečištění ovzduší přízemním ozonem v roce 2019 vzhledem k imisním limitům pro ochranu ekosystémů a vegetace

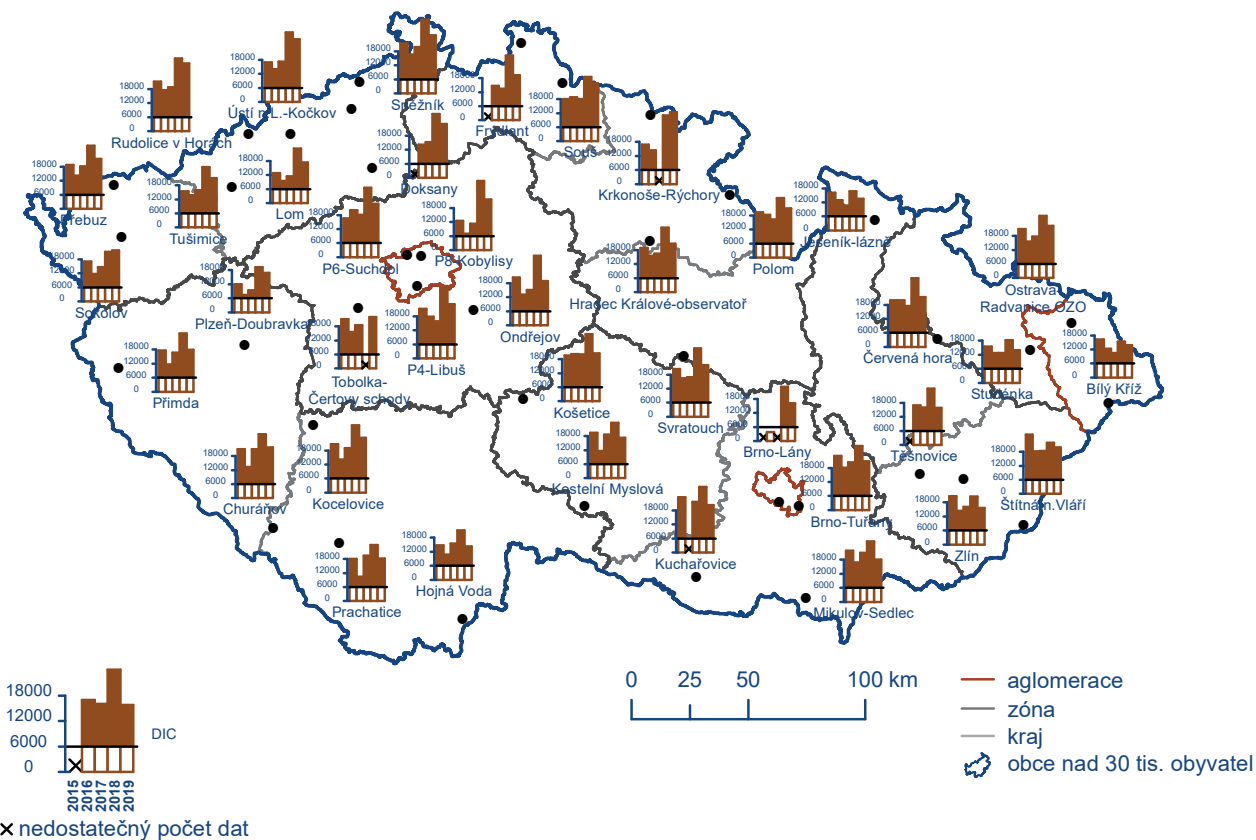
Imisní limit O_3 pro ochranu vegetace $18\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ byl překročen na 25 stanicích (64,1%) z celkového počtu 39 venkovských a předměstských stanic (obr. IV.4.6), pro které byl podle legislativy relevantní výpočet expozičního indexu AOT40 (jedná o průměr za roky 2015–2019). Nejvyšší hodnoty AOT40 byly naměřeny na stanicích Rudolice v Horách, Kuchařovice, Krkonoše-Rýchory, Sněžník s Brno-Tuřany (ucelený přehled viz tab. XI.11). Na základě stejného souboru 32 venkovských a regionálních stanic lze konstatovat, že index AOT40 byl v roce 2019 (průměr 2015–2019) překročen na 20 stanicích v porovnání s 18 stanicemi v roce 2018 (průměr 2014–2018) Zároveň došlo i k navý-



Obr. IV.4.6 Hodnoty expozičního indexu AOT40 na vybraných stanicích, průměr za 5 let, 2009–2019



Obr. IV.4.7 Pole hodnot expozičního indexu AOT40, průměr za 5 let, 2015–2019



Obr. IV.4.8 Roční hodnoty expozičního indexu AOT40 na vybraných stanicích v porovnání s dlouhodobým imisním cílem (DIC), 2015–2019

šení plochy území s výskytem nadlimitních hodnot AOT40 (obr. IV.4.7). Nárůst hodnoty expozičního indexu AOT40 za rok 2019 byl oproti roku 2018 zaznamenán na většině z 32 stanic hodnocených v obou obdobích, a to až o 3 183 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$.

Roční hodnoty expozičního indexu AOT40 dlouhodobě překračují hodnotu dlouhodobého imisního limitu (6000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$, tab. I.2) na všech venkovských a regionálních stanicích (stejný soubor stanic pro posledních pět let, obr. IV.4.8). V rámci hodnoceného pětiletí byly hodnoty indexu AOT40 v roce 2019 na většině stanic druhé nejvyšší po roce 2018.

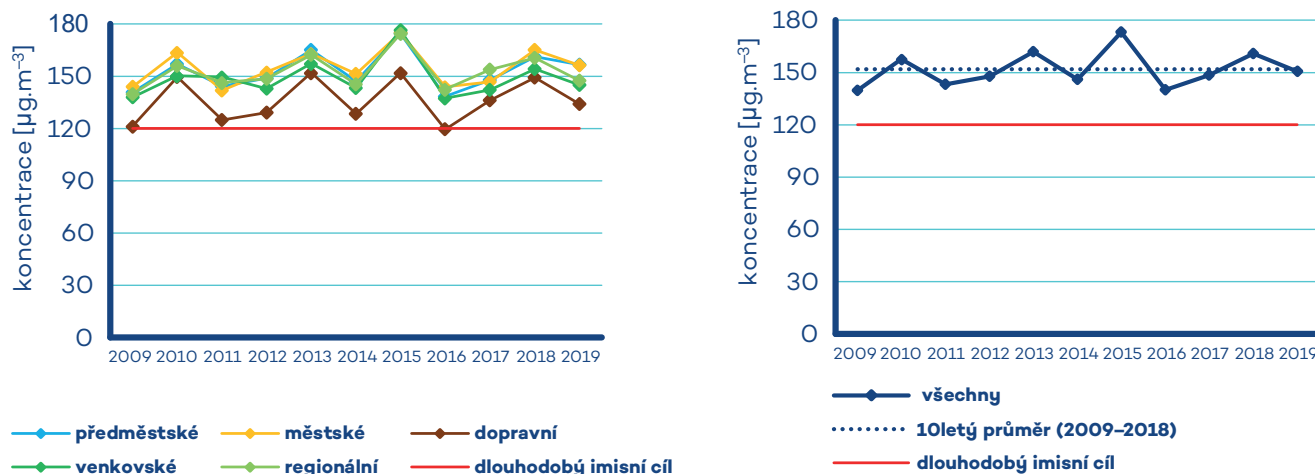
IV.4.2 Vývoj koncentrací přízemního ozonu

Vývoj koncentrací přízemního O_3 , na rozdíl od předcházejících hodnocení založených převážně na tříletých obdobích, vychází z imisní charakteristiky v jednom roce, resp. z průměrné maximální denní 8hod. koncentrace pro daný typ stanice a pro všechny stanice. Tuto imisní charakteristiku je možné porovnávat s dlouhodobým imisním cílem pro přízemní O_3 (120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tab. I.2). Maximální denní 8hod. koncentrace (průměr pro všechny stanice, pro které je k dispozici měření za celé hodnocené období) se v letech 2009–2019 pohybovaly v rozmezí od cca 140 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ do 170 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Koncentrace O_3 nevykazují od roku 2009 výrazný vývoj; nejvyšší koncentrace (průměr pro všechny stanice) byly naměřeny v letech 2013, 2015 a 2018 (obr. IV.4.9). Všechny tyto roky jsou charakterizovány výskytem příznivých meteorologických podmínek 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 a 2018 byly teplotně mimořádně nadprůměrné a srážkově silně podprůměrné. Hodnota koncentrace v roce 2019 (150,7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) se v rámci jedenáctiletého období 2009–2019 řadí na páté místo a je velice blízká hodnotě koncentrace desetiletého průměru.

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 (kap. IV.4.3.) a změna klimatu, emise nemetanických těkavých organických látek (NMVOC) z vegetace a požáry lesních porostů (EEA 2013b). Vzhledem k výše uvedeným faktorům a též k závislosti imisních koncentrací O_3 nejen na absolutním množství, ale i na relativním zastoupení jeho prekurzorů v ovzduší je obtížné meziroční změny blíže komentovat.

Na základě výsledků dlouhodobého monitoringu v ČR, kdy je k dispozici na řadě stanic již 25letá řada imisních koncentrací 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 O_3 na většině stanic představuje O_3 v ČR stále značný problém. Jasně se prokázalo, že pro žádoucí snížení imisních úrovní 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). Analýza změn prostorového rozložení O_3 , konkrétně charakteristiky expozičního indexu AOT40 za období 2000–2015, indikovala, že území permanentně zatížené vysokou expozicí je zejména jižní část ČR, a to patrně v souvislosti s délkou a intenzitou slunečního záření (Hůnová et al. 2019a). Signifikantní vliv meteorologických podmínek a znečištění ovzduší na denní variabilitu koncentrací O_3 byl potvrzen i na naměřených datech. Kromě vlivu jednotlivých vysvětlujících proměnných na denní koncentrace O_3 se ukázaly jako statisticky významné pro denní variabilitu O_3 i interakce mezi některými meteorologickými charakteristikami, jako např. mezi teplotou a slunečním zářením, teplotou a relativní vlhkostí a slunečním zářením a relativní vlhkostí (Hůnová et al. 2019b).



Obr. IV.4.9 Vývoj koncentrací O_3 (max. denní 8hod. klouzavý průměr) na jednotlivých typech stanic v České republice, 2009–2019

IV.4.3 Vznik přízemního ozonu

O₃ 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 O₃ jsou oxidy dusíku (NO_x) a nemetanické těkavé organické látky (NMVOC), v globálním měřítku hrají roli i metan (CH₄) a oxid uhelnatý (CO). Důležitou reakcí je fotolýza NO₂ slunečním zářením o vlnové délce 280–430 nm, při které vzniká NO a atomární kyslík. Reakcí atomárního a molekulárního kyslíku pak za přítomnosti katalyzátoru dochází ke vzniku molekuly O₃. Současně probíhá titrace O₃ oxidem dusnatým za vzniku NO₂ a O₂. Pokud je při této reakci O₃ nahrazen radikály, jeho koncentrace v atmosféře rostou. Důležitou úlohu při těchto reakcích hraje zejména radikál OH (podrobněji např. Hůnová, Baumelt 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).

Při vzniku O₃ nezáleží pouze na absolutním množství prekurzorů, ale i na jejich vzájemném poměru (Sillman et al. 1990; Fiala, Závodský 2003). V 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. Oblasti s vysokým poměrem NO_x/VOC jsou typicky znečištěné oblasti okolo center velkých měst. Závislost vzniku O₃ na počátečních koncentracích VOC a NO_x se často vyjadřují na diagramech ozonových isopleť. Jedná se o zobrazení maximální dosažené koncentrace O₃ jako funkce počáteční koncentrace NO_x a VOC (Moldanová 2009). Významnou roli při vzniku O₃ hrají nejen koncentrace prekurzorů, ale i meteorologické podmínky (Colbeck, Mackenzie 1994). Imisní koncentrace O₃ rostou s rostoucím ultrafialovým zářením a teplotou, 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 anticyklonální situací. Kromě výše popsaného fotochemického mechanismu se koncentrace O₃ mohou zvyšovat i epizodicky v důsledku průniku stratosférického O₃ do troposféry a také při bouřkách. V poslední době se rovněž zvyšuje význam dálkového přenosu O₃ v rámci proudění na severní polokouli do Evropy a Severní Ameriky ze zdrojových oblastí jihovýchodní Asie. O₃ je z atmosféry odstraňován reakcí s NO, mechanismem suché či mokré depozice a interakcí s rostlinami (stomatárním tokem).