

IV.4 Přízemní ozon

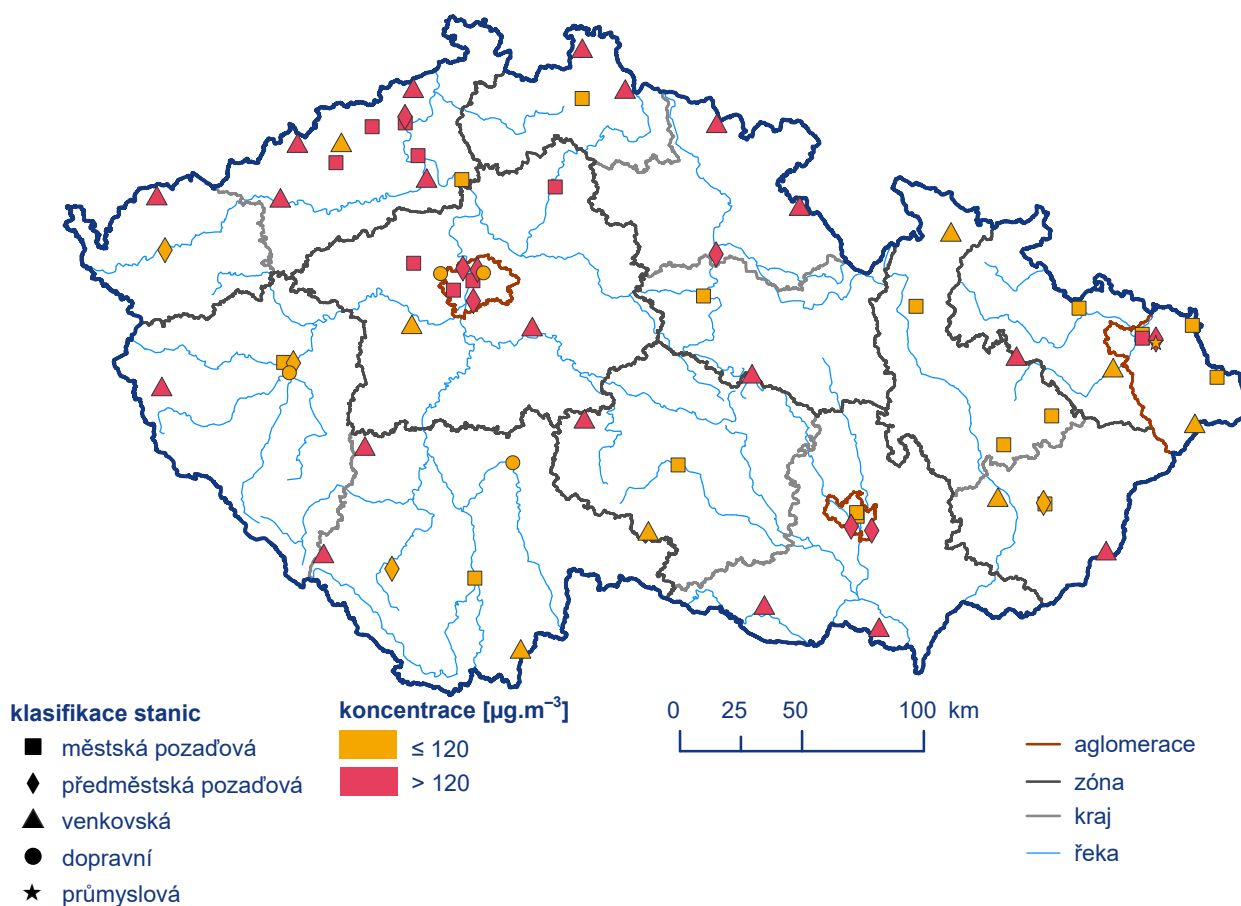
IV.4.1 Znečištění ovzduší přízemním ozonem v roce 2020

Znečištění ovzduší přízemním ozonem v roce 2020 vzhledem k imisním limitům pro ochranu lidského zdraví

Imisní limit přízemního ozonu (O_3) byl za tříleté období 2018–2020¹ překročen na 34 ze 67 stanic (51 %), na kterých byly koncentrace O_3 měřeny (Obr. IV.4.1 a IV.4.2). Za předchozí tříletá období 2017–2019 byl imisní limit přízemního O_3

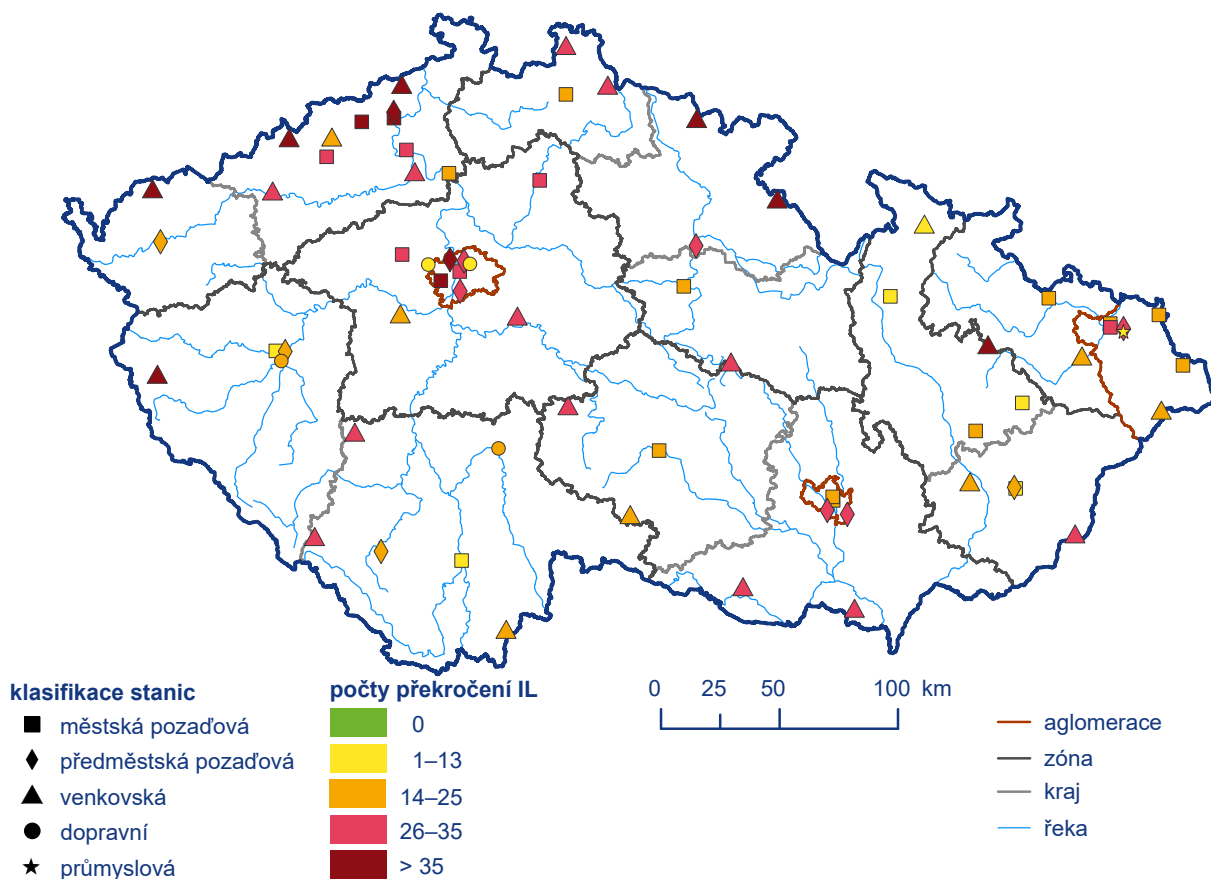
překročen na 36 z 64 stanic (56 %), za období 2016–2018 na 33 z 65 (51 %), 2015–2017 na 21 z 71 (30 %) a za období 2014–2016 na 22 z 75 stanic (29 %). Počet stanic s překročeným imisním limitem se v posledních letech zvyšuje.

K překročení imisního limitu O_3 došlo ve tříletém období 2018–2020 na 62 % území ČR s 52 % obyvatel (Obr. IV.4.3). V porovnání s předchozími pěti tříletými obdobími se velikost území s překročeným imisním limitem pro O_3 v roce 2020 řadí na třetí místo (71 % území s 57 % obyvatel za období 2017–2019, 80 % území s 52 % obyvatel za období 2016–2018, 31 % území s 9 % obyvateli za období 2015–2017 a 18 % území s 4 % obyvatel za období 2014–2016). V rámci jednotlivých let za období 2018–2020 došlo v roce 2020 k nejnižšímu počtu překročení hodnoty imisního limitu (Obr. IV.4.4). Pro přízemní O_3 nebyla v roce 2020 vyhlášena žádná smogová situace (více viz kap. VI).

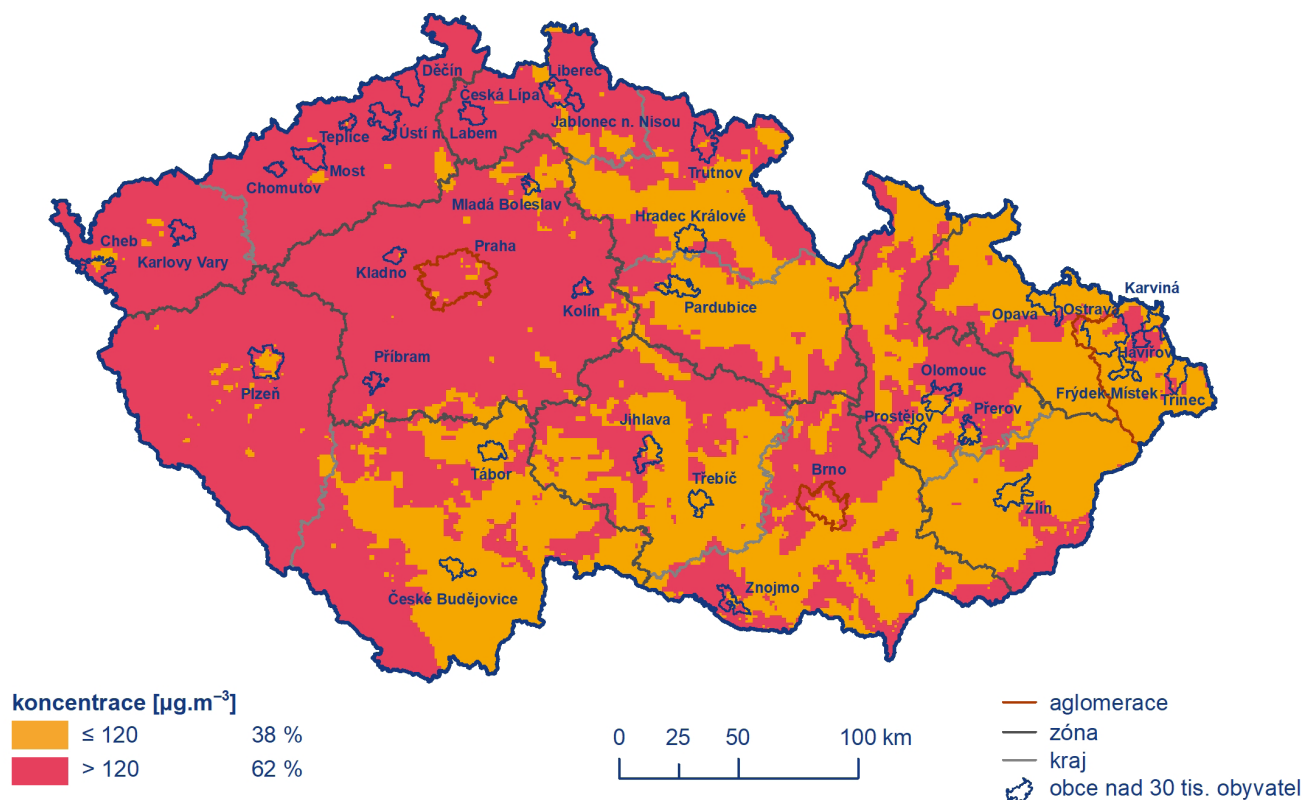


Obr. IV.4.1 26. nejvyšší hodnoty maximálního denního 8hod. klouzavého průměru koncentrací přízemního ozonu v průměru za 3 roky měřené na stanicích imisního monitoringu, 2018–2020

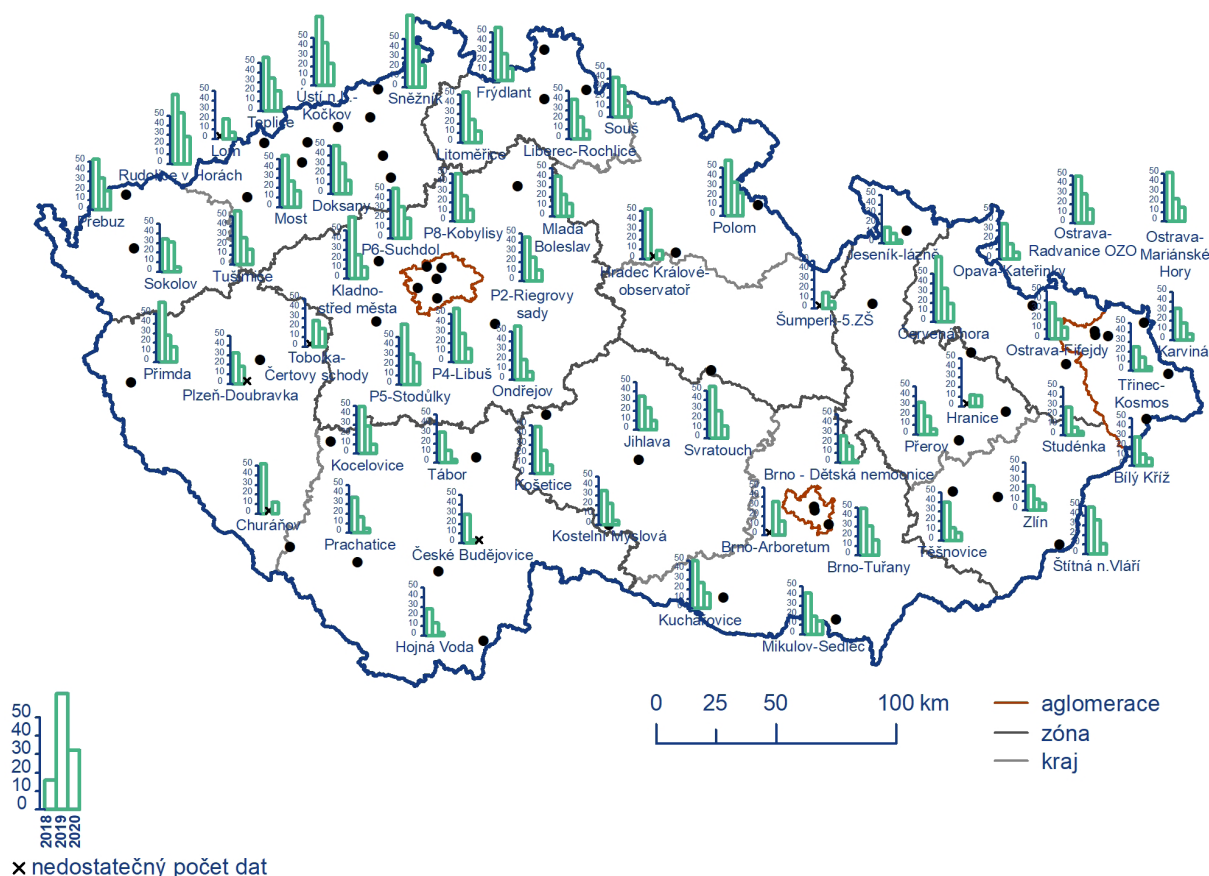
1 Imisní limit je překročen, jestliže byl maximální denní 8hodinový klouzavý průměr O_3 vyšší než $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ alespoň 26× v průměru za 3 roky



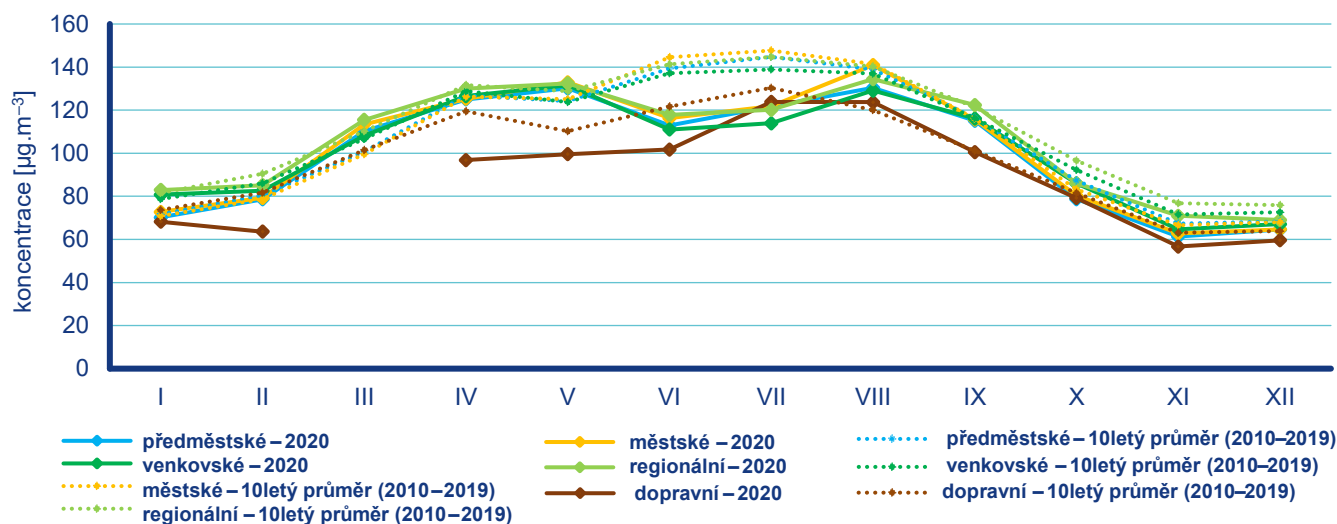
Obr. IV.4.2 Počty překročení hodnoty imisního limitu pro maximální denní 8hod. klouzavý průměr koncentrace přízemního ozonu v průměru za 3 roky, 2018–2020



Obr. IV.4.3 Pole 26. nejvyššího maximálního denního 8hod. klouzavého průměru koncentrace přízemního ozonu v průměru za 3 roky, 2018–2020



Obr. IV.4.4 Počet překročení hodnoty imisního limitu pro maximální denní 8hod. klouzavý průměr koncentrace přízemního ozonu za rok na vybraných stanicích, 2018–2020



Obr. IV.4.5 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací max. 8hod. klouzavého průměru O_3 (průměry pro daný typ stanice), 2020

Roční chod průměrných měsíčních koncentrací přízemního O_3 (maximální 8hodinový průměr za daný měsíc) je charakterizován nárůstem koncentrací v jarních a letních měsících z důvodu výskytu příznivých meteorologických podmínek pro vznik přízemního O_3 . V roce 2020 je patrné setrvání nebo pokles koncentrací v porovnání s desetiletým průměrem 2010–2019 ve všech měsících roku s výjimkou března (Obr. IV.4.5). Snížení koncentrací

v roce 2020 je patrné i v teplejších měsících roku, kdy v minulých letech byly měřeny vysoké koncentrace O_3 , někdy vedoucí až k vyhlášení smogových situací. Propad koncentrací v červnu (o 18 %) a červenci (o 17 %) roku 2020 koresponduje s mimořádně nadnormálním úhrnem srážek v červnu a normálními teplotami v červnu i červenci (tzn. potlačení vhodných podmínek pro vznik přízemního ozonu). Nejvyšší koncentrace O_3 byly v roce 2020 naměřeny

v srpnu, tedy v nejteplejším měsíci roku 2020 (kap. III), ale i tak byly na nižší úrovni než je jejich desetiletý průměr 2010–2019. Nárůst koncentrací O_3 v porovnání s desetiletým průměrem byl pozorován pro měsíc březen, nejvíce na městských stanicích (14 %). V březnu byl v ČR vyhlášen nouzový stav a byl zaznamenán významný pokles dopravy (viz Příloha II). Zvýšení koncentrací O_3 v městském prostředí v důsledku poklesu emisí NO_x z dopravy během lockdownů potvrzují i některé studie (Brancher 2021, Sicard 2020). Vzhledem ke komplikované atmosférické chemii ozonu a množství faktorů, které jeho vznik a zánik ovlivňují, je obtížné změnu koncentrací v březnu detailněji vyhodnotit.

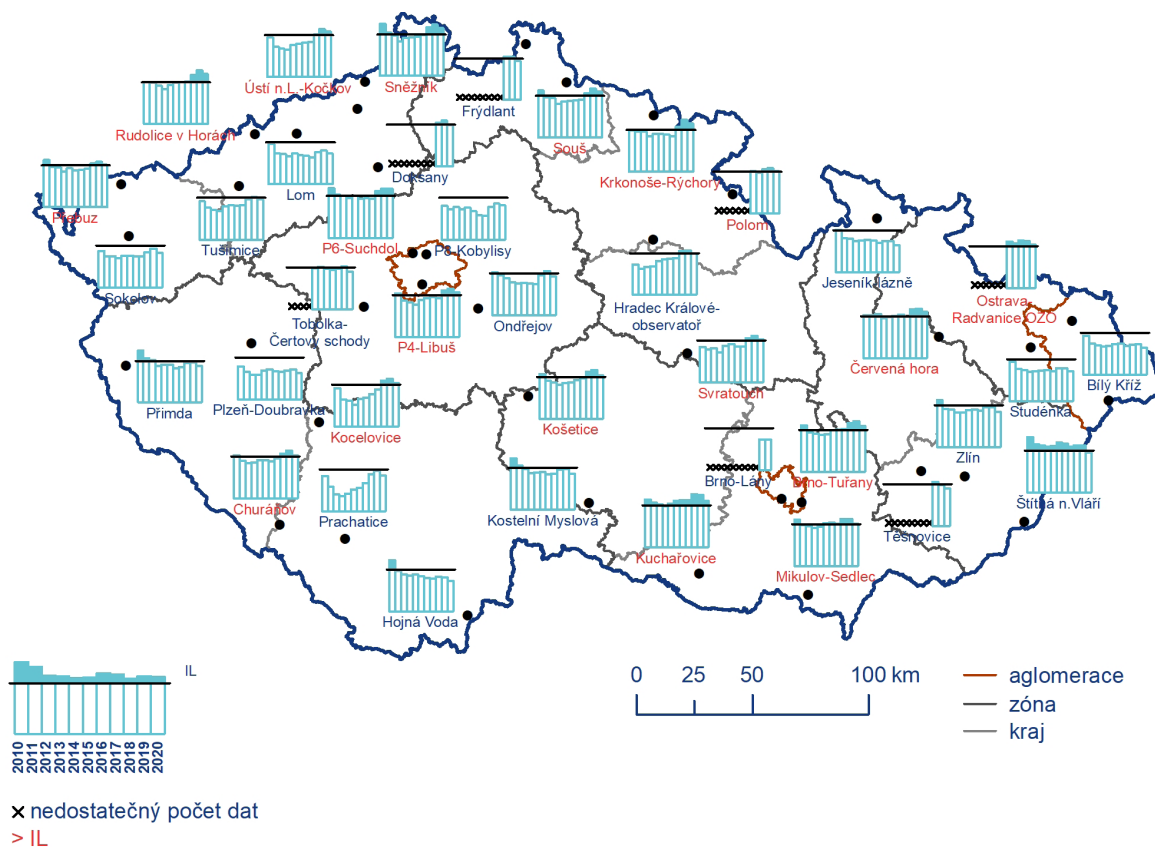
Nejnižší hodnoty koncentrací přízemního O_3 jsou měřeny na dopravně zatížených lokalitách (Obr. IV.4.5, IV.4.9), kde je přízemní O_3 odbouráván chemickou reakcí s NO (NO je součástí NO_x). Lze předpokládat, že koncentrace O_3 jsou nižší až podlimitní i v dalších dopravně zatíženějších oblastech, ve kterých však z důvodu absence měření nelze pomocí stávající metodiky tvorby map toto pravděpodobné snížení dokladovat. Hodnoty koncentrací přízemního O_3 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 měřeními na lokalitách venkovských a městských. Zároveň na těchto stanicích došlo ke snížení maximálních měřených hodnot. Zmiňovaný pokles koncentrací přízemního O_3 je mimo jiné připisován redukci emisí jeho prekurzorů, zejména NO_x ve vyspě-

lých státech. 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).

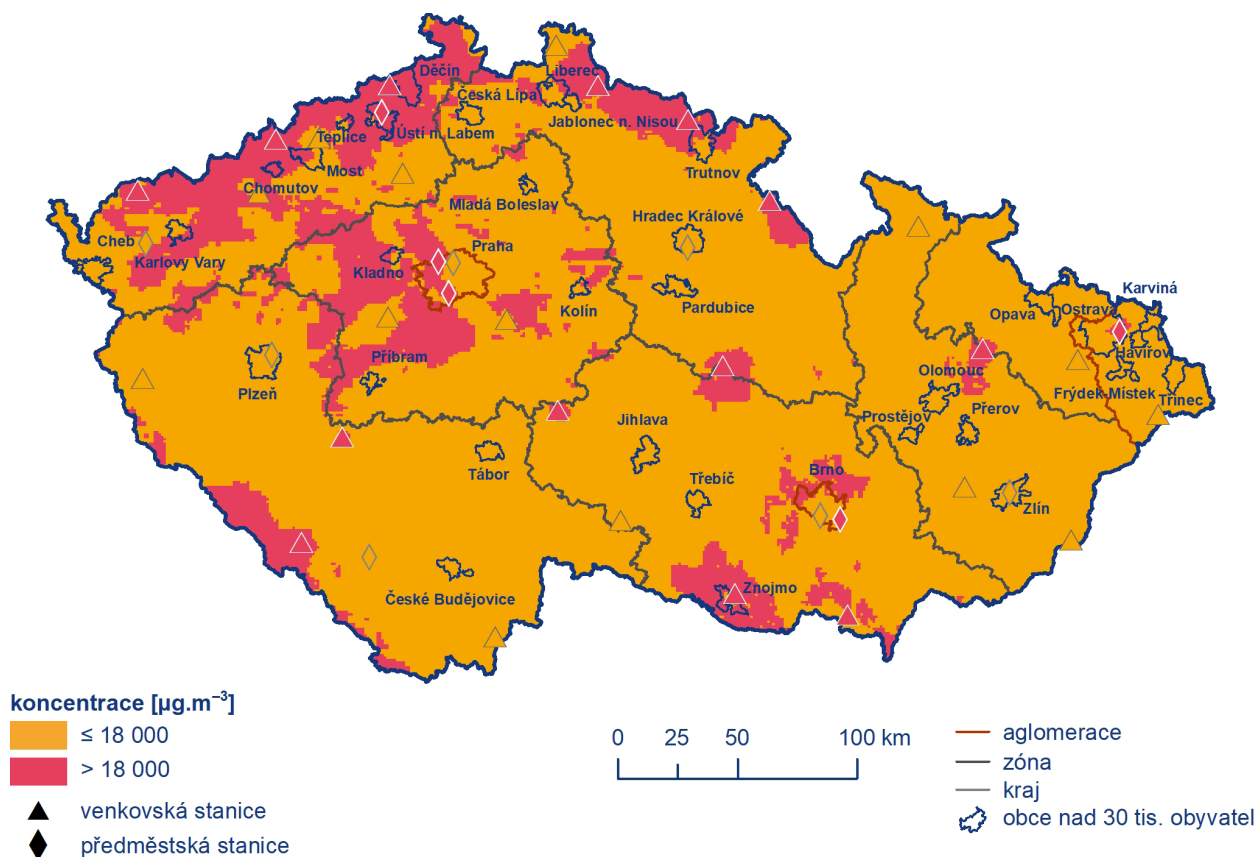
Znečištění ovzduší přízemním ozonem v roce 2020 vzhledem k imisním limitům pro ochranu ekosystémů a vegetace

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 18 stanicích (46,2 %) z celkového počtu 39 venkovských a předměstských stanic, pro které byl podle legislativy relevantní výpočet expozičního indexu AOT40 (jedná o průměr za roky 2016–2020). Nejvyšší hodnoty indexu AOT40 byly za posledních 11 let (hodnocené období 2010–2020) zjištěny v roce 2019 a dále 2010 a 2018 (v průměru pro 32 venkovských a předměstských stanic s úplnou časovou řadou 2010–2020). V roce 2020 byly hodnoty indexu AOT40 čtvrté nejvyšší za období 2010–2020 (Obr. IV.4.6, IV.4.10). Nejvyšší hodnoty indexu AOT40 byly v roce 2020 zjištěny na stanicích Rudolice v Horách, Praha 6-Suchdol, Sněžník, Krkonoše-Rýchořy a Kuchařovice. K výskytu nadlimitních hodnot AOT40 došlo v roce 2020 zejména v horských oblastech Ústeckého a Libereckého kraje, dále v části Šumavy, Středočeského kraje a na jižní Moravě (Obr. IV.4.7).

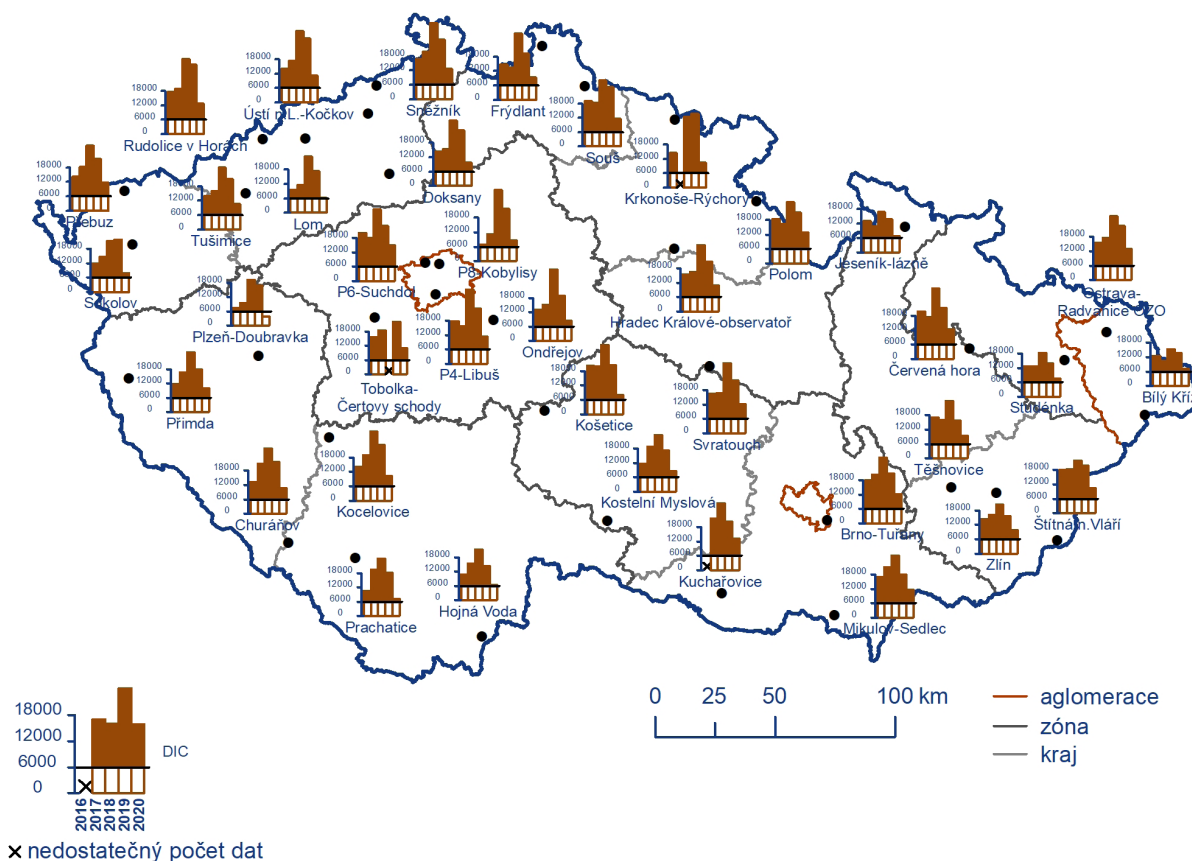
Roční hodnoty indexu AOT40 dlouhodobě překračují hodnotu dlouhodobého imisního limitu ($6\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$, Tab. I.2) na všech



Obr. IV.4.6 Hodnoty expozičního indexu AOT40 na vybraných stanicích, průměr za 5 let, 2010–2020



Obr. IV.4.7 Pole hodnot expozičního indexu AOT40, průměr za 5 let, 2016–2020



Obr. IV.4.8 Roční hodnoty expozičního indexu AOT40 na vybraných stanicích v porovnání s dlouhodobým imisním cílem (DIC), 2016–2020

venkovských a předměstských stanicích (stejný soubor stanic pro posledních pět let, Obr. IV.4.8). V rámci hodnoceného pětiletí byly roční hodnoty indexu AOT40 v roce 2020 na většině stanicích nejnižších.

IV.4.2 Vývoj koncentrací přízemního ozonu

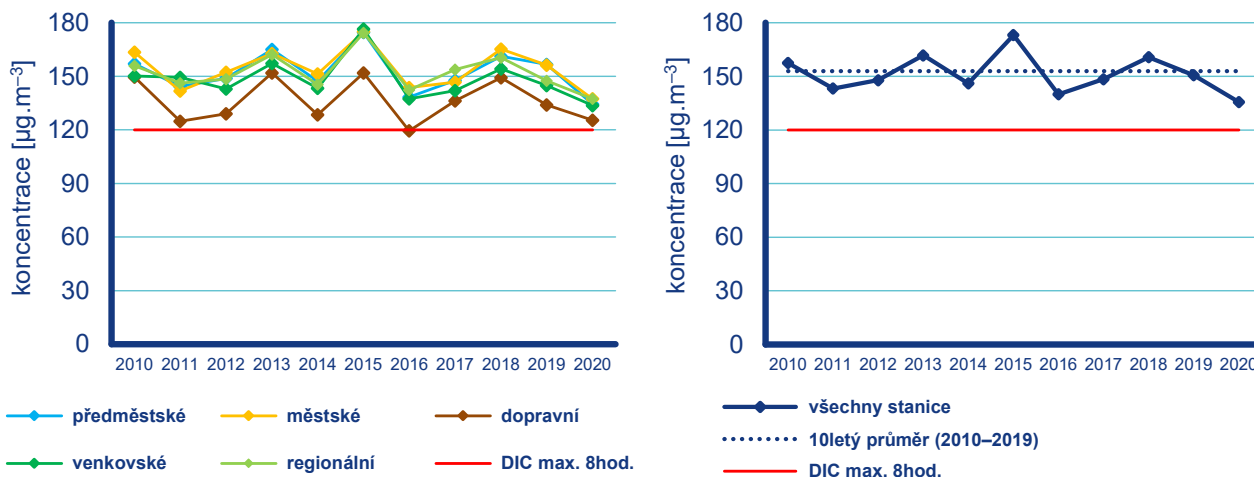
Vývoj koncentrací přízemního O_3 , na rozdíl od předcházejících hodnocení založených převážně na tříletých obdobích, vychází z imisní charakteristiky v jednom roce, tj. z průměrné maximální denní 8hod. koncentrace pro daný typ stanice a pro všechny stanice. Tuto imisní charakteristiku je možné porovnávat s dlouhodobým imisním cílem pro přízemní O_3 ($120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, Tab. I.1). Maximální denní 8hod. koncentrace (průměr pro všechny stanice, pro které je k dispozici měření za celé hodnocené období) se v letech 2010–2020 pohybovaly v rozmezí od cca $136 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ do $173 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Maximální denní 8hod. průměrné koncentrace O_3 nevykazují od roku 2010 výrazný vývoj (Obr. IV.4.9); nejvyšší koncentrace byly naměřeny v letech 2013, 2015 a 2018. Všechny tyto roky jsou charakterizovány výskytem příznivých meteorologických podmínek (více v kap. IV.4.3) pro vznik O_3 – v roce 2013 došlo k výskytu vysokých koncentrací přízemního O_3 zejména na přelomu července a srpna během řady tropických dnů. Roky 2015 a 2018 jsou hodnoceny jako teplotně mimořádně nadprůměrné a srážkově silně podprůměrné (ČHMÚ 2016, 2019). Hodnota koncentrace přízemního O_3 v roce 2020 (maximální denní 8hod. průměrná koncentrace, již zmíněných $136 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) se v rámci jedenáctiletého hodnoceného období 2010–2020 řadí na poslední místo a je tedy za hodnocené období nejnižší; v porovnání s desetiletým průměrem 2010–2019 ($153 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) je o 11 % nižší. Pokles roční charakteristiky přízemního O_3 je výsledkem již zmíněných výrazných poklesů koncentrací během června a července a dosažením průměrných až mírně podprůměrných koncentrací v teplejší části roku (duben–září), kdy během poloviny měsíců byly teploty sil-

ně podnormální (květen) až normální (červen, červenec) a během čtyř měsíců normální (květen), nadnormální (srpen a září) až mimořádně nadnormální úhrny srážek (červen) (více v kap. III).

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 25letá řada imisních koncentrací přízemního 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). Analýza změn prostorového rozložení přízemního O_3 , konkrétně charakteristiky 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). Statisticky významný vliv meteorologických podmínek a znečištění ovzduší na denní variabilitu koncentrací přízemního O_3 byl potvrzen i na naměřených datech. Kromě vlivu jednotlivých vysvětlujících proměnných na denní koncentrace přízemního O_3 se ukázaly jako statisticky významné pro denní variabilitu pří-



Obr. IV.4.9 Koncentrace O_3 (max. denní 8hod. klouzavý průměr) na jednotlivých typech stanic, 2010–2020

zemního O_3 i interakce mezi některými meteorologickými charakteristikami, jako např. mezi teplotou vzduchu a slunečním zářením, teplotou a relativní vlhkostí vzduchu a slunečním zářením a relativní vlhkostí vzduchu (Hůnová et al. 2019b).

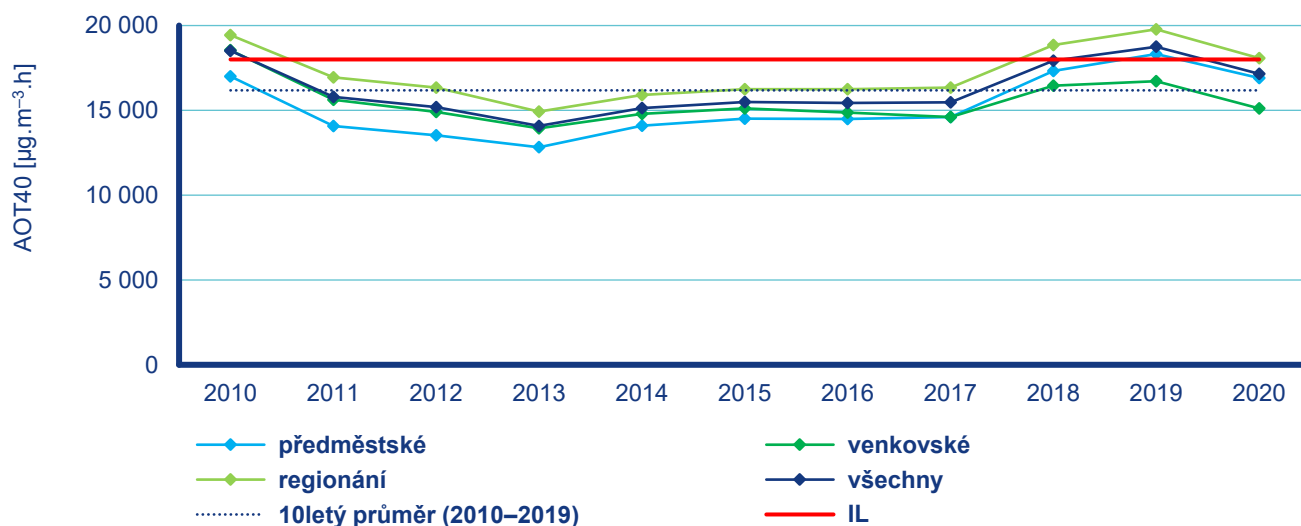
IV.4.3 Vznik přízemního ozonu

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 přízemního O_3 jsou oxidy dusíku (NO_x) a nemanické těkavé organické látky (NMVOC), v globálním měřítku hrají roli i metan (CH_4) a oxid uhelnatý (CO). Důležitou reakcí je fotolýza oxidu uhličitého (NO_2) slunečním zářením o vlnové délce 280–430nm, při které vzniká oxid dusnatý (NO) a atomární kyslík (O). Reakcí atomárního a molekulárního kyslíku (O_2) pak za přítomnosti katalyzátoru dochází ke vzniku molekuly přízemního O_3 . Současně probíhá titrace O_3 oxidem dusnatým za vzniku NO_2 a O_2 . Pokud je při této reakci přízemní O_3 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 přízemního O_3 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 O_3 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 O_3 s rostoucími koncentracemi NO_x a k nárůstu koncentrací O_3 s rostoucími

koncentracemi VOC. Zvýšení koncentrací O_3 v důsledku poklesu emisí NO_x (modernizace a denitrifikace velkých emisních zdrojů) bylo pozorováno v severozápadních Čechách (Hůnová, Baumelt 2018). Studie Branchera et al. (2021) zabývající se změnou koncentrací přízemního O_3 během pandemie koronaviru poukazuje na nárůst koncentrací přízemního O_3 v důsledku poklesu emisí NO_x během lockdownů a následné snížené titrace přízemního O_3 oxidem dusnatým. Sicard et al. (2020) dokonce poukazuje na možnost zvýšení emisí VOC během lockdownů v důsledku domácích a zahradních aktivit (uklizení, grilování, spalování biomasy). Tato studie poukazuje i na skutečnost, že emise VOC klesají pomaleji než emise NO_x .

Oblasti s vysokým poměrem NO_x/VOC jsou typicky znečištěné oblasti okolo center velkých měst. Závislost vzniku přízemního O_3 na počátečních koncentracích VOC a NO_x se často vyjadřují na diagramech ozonových isopleť. Jedná se o zobrazení maximální dosažené koncentrace přízemního O_3 jako funkce počáteční koncentrace NO_x a VOC (Moldanová 2009). Významnou roli při vzniku přízemního O_3 hrají nejen koncentrace prekurzorů, ale i meteorologické podmínky (Colbeck, Mackenzie 1994). Imisní koncentrace přízemního O_3 rostou 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 O_3 mohou zvyšovat i epizodicky v důsledku průniku stratosférického O_3 do troposféry a také při bouřkách. V poslední době se rovněž zvyšuje význam dálkového přenosu přízemního O_3 v rámci proudění na severní polokouli do Evropy a Severní Ameriky ze zdrojových oblastí jihovýchodní Asie. Přízemní O_3 je z atmosféry odstraňován reakcí s NO, mechanismem suché či mokré depozice a interakcí s rostlinami (stomatárním tokem).



Obr. IV.4.10 Hodnoty expozičního indexu AOT 40, průměr za 5 let, 2010–2020