

# Vliv nouzového stavu a epidemie koronaviru na kvalitu ovzduší

Jáchym Brzezina

## Abstrakt

---

Vyhlášení nouzového stavu v České republice v polovině března 2020, které trvalo přibližně dva měsíce, mělo zásadní dopad na způsob života obyvatel a v důsledku toho i životní prostředí. Výrazné snížení intenzity dopravy (dle dostupných dat v Brně o cca 30 až 40 %) samozřejmě vede ke snížení emisí z dopravy.

Cílem této studie bylo posoudit, jak moc se vliv poklesu emisí z dopravy ve městě projevil na imisích. Vzhledem k tomu, že mají na kvalitu ovzduší vliv i další faktory, primárně meteorologické a rozptylové podmínky, není vztah mezi emisemi a imisemi lineární.

Jak ukázaly výsledky studie, meteorologické podmínky se shodou okolností právě kolem doby vyhlášení nouzového stavu prudce změnilly, a to z únorových pro kvalitu ovzduší extrémně příznivých na podmínky spíše nepříznivé. To mělo v konečném důsledku za následek naopak zvýšení koncentrací suspendovaných částic  $PM_{10}$  po vyhlášení nouzového stavu, jelikož má na koncentrace této látky mnohem větší vliv vytápění než doprava.

U oxidů dusíku je situace komplikovanější. Ač muselo dojít k výraznému poklesu emisí danému čistě poklesem dopravy, na imisích se tento pokles tolik neprojevoval, jelikož jej maskovalo právě zhoršení meteorologických a rozptylových podmínek. O poklesu ale svědčí například srovnání koncentrací s dlouhodobým průměrem zvláště pro dopravní a pozad'ové stanice, kde na těch pozad'ových, dopravou méně ovlivněných, byly koncentrace po vyhlášení stavu ve srovnání s dlouhodobým průměrem nadprůměrné, naopak na dopravních průměrné či mírně podprůměrné – byť vyšší, než třeba v době před nouzovým stavem.

Obecně tedy můžeme říci, že k poklesu došlo, ale nemuselo to být nutně patrné v absolutních číslech. Spíše můžeme konstatovat, že bez nouzového stavu by byly koncentrace znečišťujících látek ještě vyšší – nezávisle na tom, zda například byly či nebyly vyšší než v době před nouzovým stavem či ve srovnání s průměrem.

Analýza družicových snímků prokázala pokles zejména v dopravou zatížených lokalitách a prokázala také to, proč se v některých jiných studiích v jiných zemích projevil vliv nouzového stavu na kvalitu ovzduší mnohem více – primárně to bylo dáno odlišnou vahou restrikcí, ale také odlišnými zdroji znečištění v okolí, jejich vzájemným příspěvkem k celkovému znečištění a v neposlední řadě také odlišným potenciálem pro pokles (dlouhodobým stavem).

## 1 Úvod

---

Pandemie koronaviru zcela zásadně ovlivnila globální chod společnosti a přijatá opatření měla vliv i na kvalitu ovzduší. Vyhlášený nouzový stav trvajícím v České republice od 16. 3. 2020 do 17. 5. 2020 znamenal výrazný propad v intenzitě dopravy, v některých případech i omezení některých

průmyslových podniků, na druhou stranu také znamenal delší pobyt osob v domácnostech, tedy potenciální vyšší míru vytápění apod.

Hodnotit kvalitu ovzduší během tohoto stavu a především pokusit se kvantitativně zhodnotit vliv tohoto omezení je však velmi problematické. Na kvalitu ovzduší totiž nemají vliv pouze samotné emise, tedy množství emitovaných znečišťujících látek do ovzduší, ale také další faktory. K nejvýznamnějším patří meteorologické a rozptylové podmínky (He, 2017; Verma, 2008), například také výchozí stav znečištění či sekundární reakce znečišťujících látek v ovzduší (Tomasi, 2017).

Pokles emisí tedy nemusí nutně vést k poklesu imisí, na které mají vliv všechny výše uvedené faktory. Navíc se může nouzový stav projevit odlišně u různých znečišťujících látek.

V rámci této studie byl hodnocen vliv nouzového stavu na kvalitu ovzduší v Aglomeraci Brno. Krátce však byla tato situace zhodnocena i v kontextu České republiky a Evropy. Je třeba mít na paměti, že situace v jiných regionech může být značně odlišná a to jak z důvodu různě přísných opatření a restrikcí (například míra omezení průmyslu a dopravy), tak z důvodu odlišného běžného stavu. Jako příklad můžeme uvést Itálii a Čínu. Obě tyto země zasáhla pandemie koronaviru velmi zásadně a zároveň se jedná o lokality s relativně vysokou mírou znečištění oxidy dusíku. Oba tyto faktory tedy znamenaly velmi výrazně viditelný vliv opatření na kvalitu ovzduší (velmi přísná opatření v kombinaci s vysokým potenciálem pro pokles).

Hodnocení se zaměřilo na koncentrace a změnu koncentrací suspendovaných částic a oxidů dusíku. Hlavním zdrojem suspendovaných částic v České republice, a to jak frakce PM<sub>10</sub>, tak PM<sub>2,5</sub>, je lokální vytápění domácností (přibližně 60, respektive 75 % celkových emisí v ČR). Lze zde tedy očekávat velmi významný vliv meteorologických podmínek, s kterými úzce souvisí míra vytápění domácností. U oxidů dusíku je hlavním zdrojem v České republice doprava a jejich vyšší koncentrace jsou tedy svázány především s dopravně velmi zatíženými lokalitami.

## 2 Metody

Do analýzy byly zahrnuty automatické stanice imisního monitoringu na území Aglomerace Brno (Tabulka 1). Je potřeba zmínit, že vzhledem ke komplexnímu a tudíž i déle trvajícím procesu verifikace dat na ČHMÚ, se jedná o operativní data, jelikož úplně verifikovaná data za toto období nebyla v době psaní tohoto článku dostupná.

*Tabulka 1 - přehled automatických stanic imisního monitoringu zahrnutých do analýzy*

Stanice	typ	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	meteorologické parametry
<b>Brno-Svatoplukova</b>	městská dopravní	ano	ano	ano	ano
<b>Brno-Výstaviště</b>	městská dopravní	ano	ano	ano	ano
<b>Brno-Arboretum</b>	městská pozad'ová	ano	ano	ano	ano
<b>Brno-Zvonařka</b>	městská dopravní	ano	ano	ano	ano
<b>Brno-Líšeň</b>	městská pozad'ová	ano	ano	ne	ne
<b>Brno-Úvoz (hot spot)</b>	městská dopravní	ano	ano	ano	ne
<b>Brno-Lány</b>	městská pozad'ová	ano	ano	ano	ano

<b>Brno-Tuřany</b>	předměstská požadová	ano	ano	ano	ano
<b>Brno-Dětská nemocnice</b>	městská požadová	ano	ano	ano	ne

Pro účely srovnání období 2020 byla použita data ze stanic za pětileté období 2015 až 2019. Období bylo průměrováno podle dní, týdnů i hodin. Data zahrnovala vždy období od ledna do června, tedy první půlrok. Nouzový stav byl v České republice vyhlášen k pondělí 16. 3. 2020 (začátek 12. týdne roku) a ukončen nedělí 17. 5. 2020 (konec 21. týdne roku).

Pro doplňující srovnání byla použita i data z evropského satelitu Sentinel-5P spadajícího do evropského programu Copernicus.

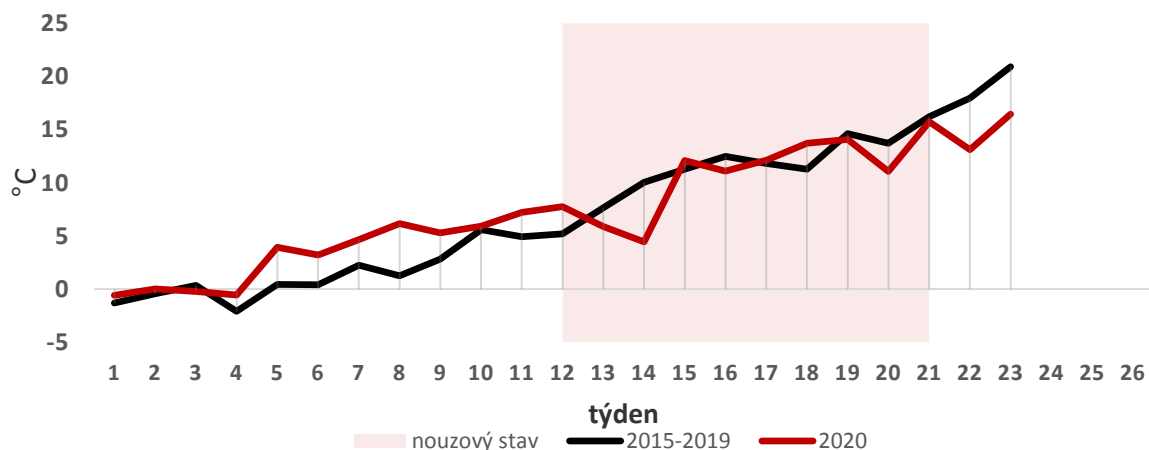
Data o dopravě představují informace ze senzorů Brněnských komunikací a. s. umístěných v blízkosti jednotlivých stanic.

### 3 Výsledky

#### 3.1 Meteorologické podmínky

Teplota vzduchu ovlivňuje kvalitu ovzduší přímo i nepřímo. Přímou ovlivňuje především vertikální rozptyl – teplotní zvrstvení atmosféry má výrazný vliv na rozptyl směrem vzhůru. Zejména např. při teplotní inverzi dochází ke kumulaci znečišťujících látek u země. Nepřímo ovlivňuje kvalitu ovzduší tím, že se snižující se teplotou do velmi nízkých hodnot dochází ke zvyšování potřeby vytápět.

Níže uvedený graf (Obr. 1) ukazuje průměrnou teplotu v jednotlivých týdnech v první polovině roku. Jedná se o průměrnou teplotu ze stanic, které mají k dispozici meteorologické údaje. Srovnání je provedeno mezi rokem 2020 a průměrem let 2015-2019.



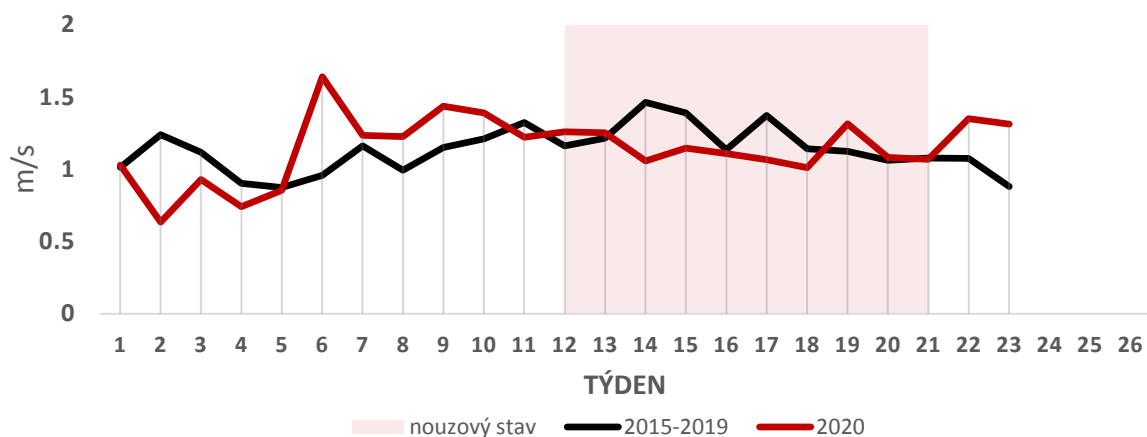
Obrázek 1 – průměrná teplota vzduchu z brněnských stanic imisního monitoringu pro jednotlivé týdny roku jako průměr 2015-2019 a 2020.

Teplotně se na začátku roku 2020 jednalo o mimořádně nadprůměrné období. Průměrná teplota v únoru 2020 v Jihomoravském kraji byla 4,6 °C, což představuje odchylku více než 5 stupňů od normálu 1961-1990! Stejně tak byl začátek roku velmi srážkově bohatý. V průměru napadlo v Jihomoravském kraji v únoru 2020 36 mm srážek, což představuje 120 % normálu 1961-1990. Ve 12. týdnu však, shodou okolností přesně v době vyhlášení nouzového stavu, došlo k výraznému ochlazení, které vyvrcholilo 14.

týden, tedy na konci března 2020. Místy teploty dosáhly hodnot až  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dokonce byl zaznamenán jeden unikát. Teplotní minimum zimy, bylo v zimě 2019/2020 poprvé od dostupných dat v roce 1780 naměřeno v dubnu! Konkrétně prvního dubna. Jedná se tedy o absolutní rekord za posledních 240 let. Navíc byla druhá polovina března bezsrážková a i rychlost větru relativně nízká.

Následně byly teploty opět spíše průměrné a ke snížení došlo opět v květnu, který byl celorepublikově teplotně podprůměrný, stejně jako začátek června 2020.

Rychlost větru velmi výrazně ovlivňuje kvalitu ovzduší, jelikož má zásadní vliv na rozptylové podmínky a míru rozptylu látek do širšího okolí (zejména v horizontálním směru). Přesný vývoj v roce 2020 a pětiletém průměru ukazuje Obr. 2.

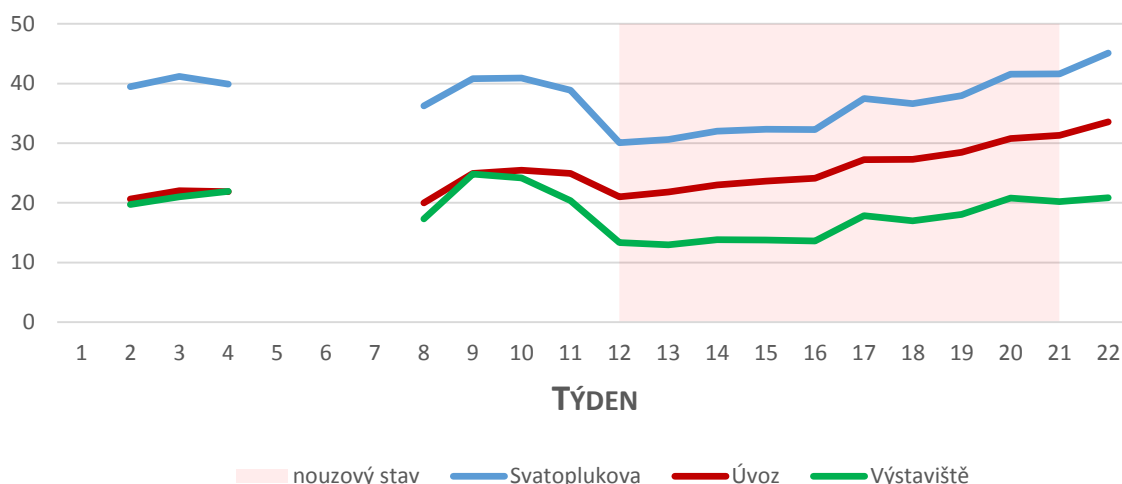


Obrázek 2 - průměrná rychlost větru z brněnských stanic imisního monitoringu pro jednotlivé týdny roku jako průměr 2015-2019 a 2020.

Výše uvedené grafy teploty vzduchu a rychlosti větru ukazují, že hodnocení vlivu nouzového stavu na kvalitu ovzduší je velmi komplikované. Únor byl měsíc teplotně velmi nadprůměrný, srážkově velmi bohatý a s výrazně nadprůměrnými rychlostmi větru. Všechny tři tyto charakteristiky jsou velmi příznivé pro kvalitu ovzduší. Tento stav trval až do poloviny března, kdy došlo k velmi výraznému ochlazení, bylo velmi sucho a rychlosti větru velmi nízké. Paradoxně se tedy přesně v týdnu vyhlášení nouzového stavu výrazně zhoršily rozptylové podmínky a ochladilo se, lze tedy předpokládat horší stav kvality ovzduší. Teploty na konci března klesly tak nízkou, že bylo nutné relativně intenzivně vytápět.

### 3.2 Intenzita dopravy

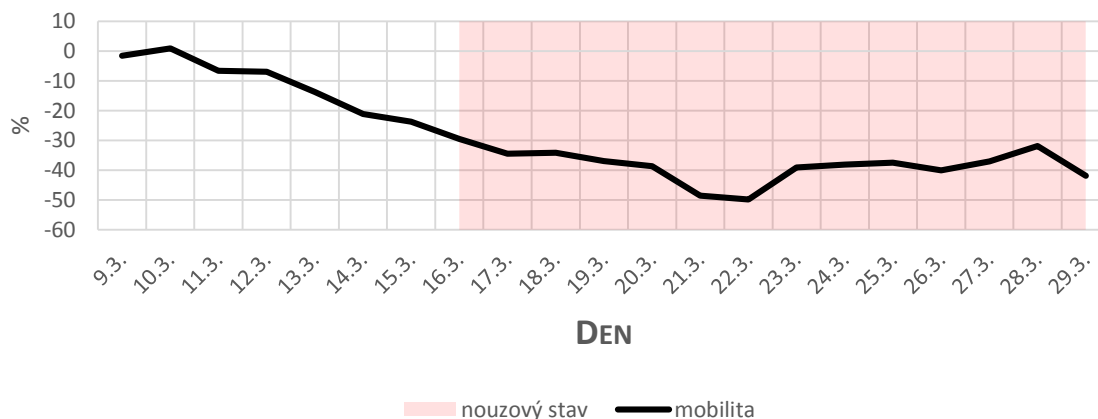
Informace o intenzitě dopravy v Brně lze čerpat z několika různých zdrojů. Tím nejpřesnějším je sčítání dopravy, které je v Brně prováděno senzory Brněnských komunikací a. s. Za účelem tohoto hodnocení byly vytipovány senzory u hlavních komunikací probíhající vedle stanic imisního monitoringu. Intenzita dopravy byla opět zprůměrována podle jednotlivých týdnů v roce. Níže uvedený graf (Obr. 3) ukazuje data o průměrné intenzitě dopravy v prvních týdnech roku 2020 (v arbitrárních jednotkách).



Obrázek 3 – intenzita dopravy v prvních týdnech roku 2020 ze 3 senzorů dopravy v Brně, v blízkosti příslušných stanic imisního monitoringu.

Pokles intenzity ve 12. týdnu roku 2020 je výrazný u všech lokalit. V průměru byl pokles mezi 11. a 12. týdnem asi 25 %. Přesná kvantifikace poklesu je problematická vzhledem k nedostupnosti dlouhodobých dat od roku 2015.

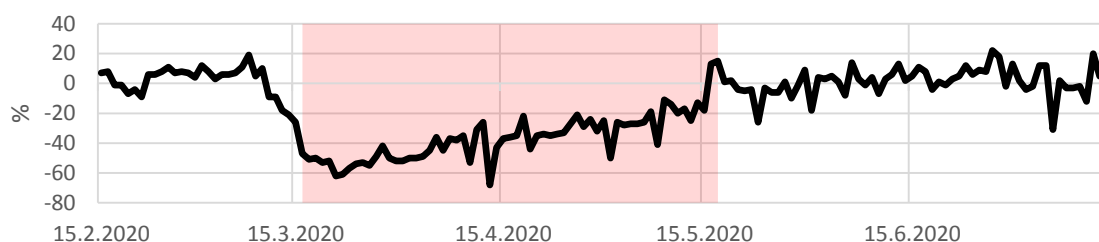
Dalším možným zdrojem dat jsou informace od telefonních operátorů. Tato data nerepresentují přímo dopravu jako takovou, ale spíše mobilitu obyvatel. Na základě využívání mobilních telefonů lze zjistit, zda se osoba s konkrétním telefonem během dne pohybovala (na základě připojování se k odlišným vysílačům). Níže uvedený graf (Obr. 4) ukazuje poměr mobility v daný den k únorovému průměru.



Obrázek 4 - mobilita obyvatelstva v jednotlivé dny roku 2020 jako rozdíl od dlouhodobého průměru pro Jihomoravský kraj, založeno na datech ze SIM karet. Zdroj dat: data.brno.cz

Z výše uvedeného grafu je dobře vidět výrazný pokles po 12. 3. 2020. Za období 12. 3. až 29. 3. činil průměrný pokles mobility 33,5 %.

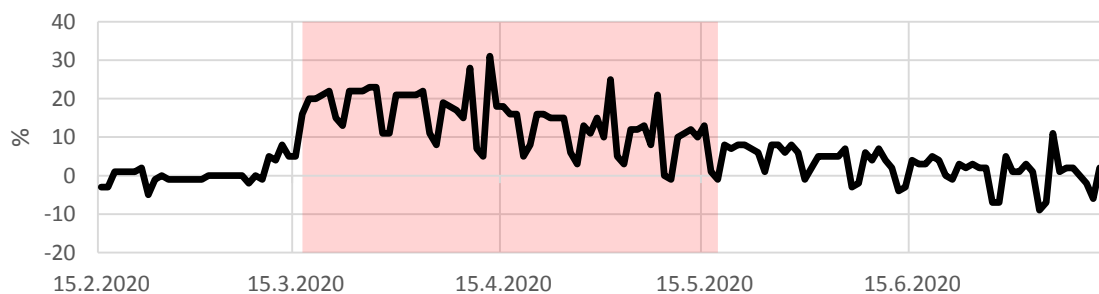
Komplexní statistiku poskytla také společnost Google, která vychází z anonymních dat uživatelů operačního systému Android. Graf níže (Obr. 5) ukazuje dramatický propad mobility po vyhlášení nouzového stavu. Data odpovídají Jihomoravskému kraji jako celku. Průměrný rozdíl za celou dobu nouzového stavu je pokles o 36,2 %.



Obrázek 5 - mobilita obyvatelstva v jednotlivé dny roku 2020 jako rozdíl od dlouhodobého průměru pro Jihomoravský kraj, založeno na datech z operačního systému Android. Zdroj dat: Google Mobility Reports

### 3.3 Pobyt v domácnostech

Na základě dat z operačních systémů mobilních telefonů Android lze vyčíst i odhad délky pobytu v domácnosti. Jak bylo již dříve zmíněno, tento parametr může mít vliv na míru vytápění. Data potvrdila (Obr. 6), že po vyhlášení karantény se podíl času lidí stráveného v domácnostech zvýšil oproti dlouhodobému průměru. Prudký nárůst pobytu v domácnostech je pozorován těsně po vyhlášení nouzového stavu. Za celou dobu trvání nouzového stavu je průměrný rozdíl +14,2 %. Toto číslo mohlo částečně ovlivnit míru vytápění, a tedy především koncentrace suspendovaných částic. Navíc byl pokles v první fázi karantény výrazně vyšší (kolem 20-25 %) a právě v toto období byly teploty velmi nízké, zatímco v pozdější fázi karantény již byly teploty výrazně vyšší.

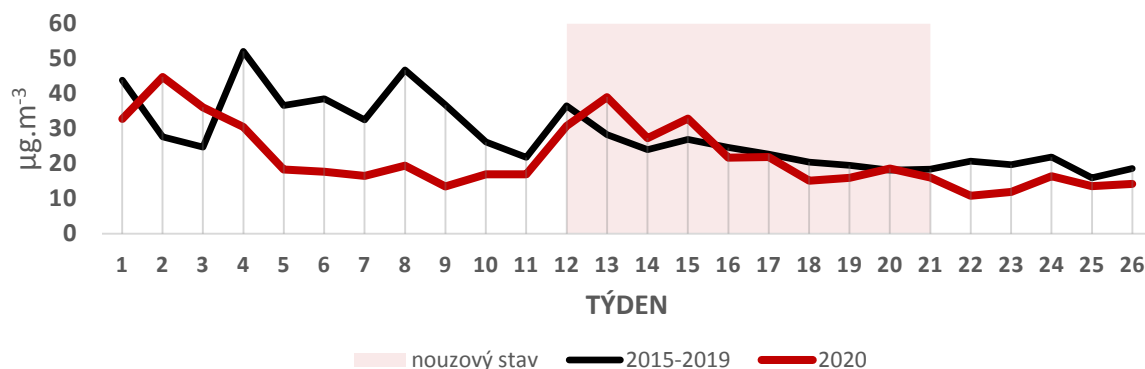


Obrázek 6 - délka pobytu obyvatelstva v domácnostech v jednotlivé dny roku 2020 jako rozdíl od dlouhodobého průměru pro Jihomoravský kraj, založeno na datech z operačního systému Android. Zdroj dat: Google Mobility Reports.

### 3.4 Suspendované částice

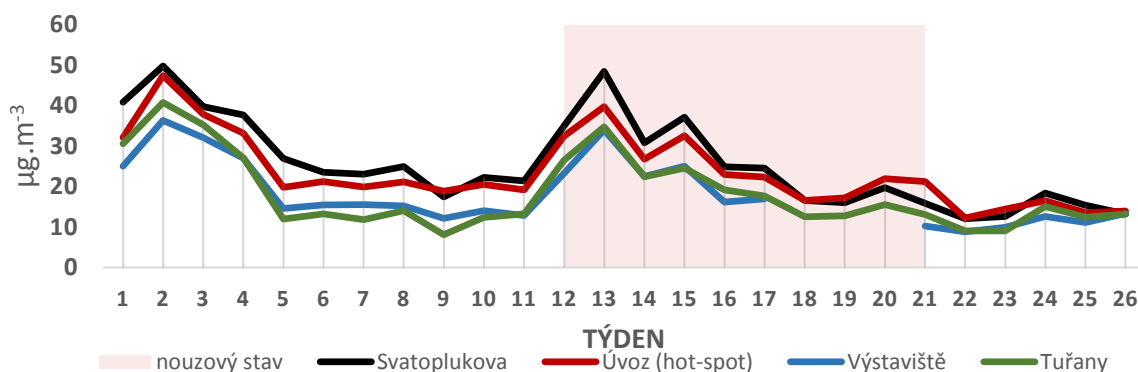
Na koncentrace suspendovaných částic má největší vliv lokální vytápění domácností (přibližně 60 % u  $PM_{10}$ , přibližně 75 % u  $PM_{2,5}$ ) (ČHMÚ, 2018). Vliv tohoto zdroje je výrazně vyšší, než je vliv průmyslu či dopravy. Vzhledem k výraznému ochlazení tedy nebyl očekáván pokles koncentrací po vyhlášení nouzového stavu.

Jak ukazují data, tato hypotéza se potvrdila (Obr. 7). Niže uvedený graf ilustrující průměrné koncentrace  $PM_{10}$  na brněnských stanicích imisního monitoringu ve srovnání s pětiletým obdobím 2015-2019 v jednotlivé týdny ukazuje na výrazněji nadprůměrné hodnoty právě během chladné periody na konci března a na začátku dubna. Naopak vliv teploty a meteorologických podmínek obecně nejlépe ilustrují extrémně podprůměrné koncentrace v únoru 2020 a na začátku března, tedy od 4. do 10. týdne roku.



Obrázek 7 - průměrná koncentrace suspendovaných částic  $PM_{10}$  v jednotlivé týdny roku z brněnských stanic imisního monitoringu jako průměr 2015-2019 a rok 2020.

Jak ukazuje graf průměrných týdenních koncentrací v roce 2020 (Obr. 8) na vybraných stanicích, situace byla obdobná na všech typech stanic. Pozorujeme totožný průběh s pouze odlišnými absolutními hodnotami. Do tohoto grafu jsou zahrnuty dopravní stanice, ale i jedna předměstská pozad'ová (Brno-Tuřany).



Obrázek 8 - průměrná koncentrace suspendovaných částic  $PM_{10}$  v jednotlivé týdny roku 2020 na vybraných brněnských stanicích imisního monitoringu.

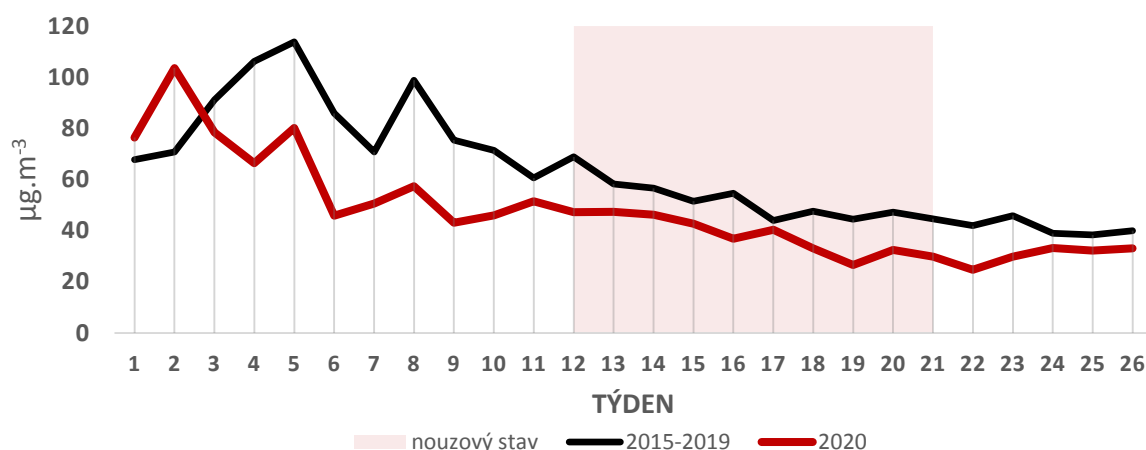
Pravděpodobnou příčinou vyšších koncentrací po vyhlášení nouzového stavu je jak fakt, že se prudce ochladilo a tedy výrazně více vytápělo, ale také to, že lze při karanténě očekávat zvýšený podíl času trávený v domovech a tedy o to možná vyšší spotřebu tepla.

### 3.5 Oxidy dusíku

Oxidy dusíku ( $NO_x$ ) v kontextu kvality ovzduší představují kombinaci látek oxidu dusičitého ( $NO_2$ ) a oxidu dusnatého ( $NO$ ). Právě oxid dusičitý se stal pravděpodobně nejsledovanější látkou v souvislosti s kvalitou ovzduší a epidemií koronaviru nejen v ČR, ale i v zahraničí a to z toho důvodu, že jsou jeho emise primárně dány dopravou a také průmyslem. Omezení dopravy a průmyslu tedy vede ke snížení emisí  $NO_2$  (respektive  $NO_x$ ). Tak jako všechny ostatní znečišťující látky má na imise  $NO_2$  vliv také výchozí stav a především meteorologické a rozptylové podmínky.

Vzhledem k prokazatelnému poklesu dopravy a omezení některých průmyslových procesů muselo dojít ke snížení emisí  $NO_2$ . To však může a nemusí být patrné z imisních dat. Vztah mezi emisemi a imisemi není lineární a závisí právě na významnosti ostatních faktorů.

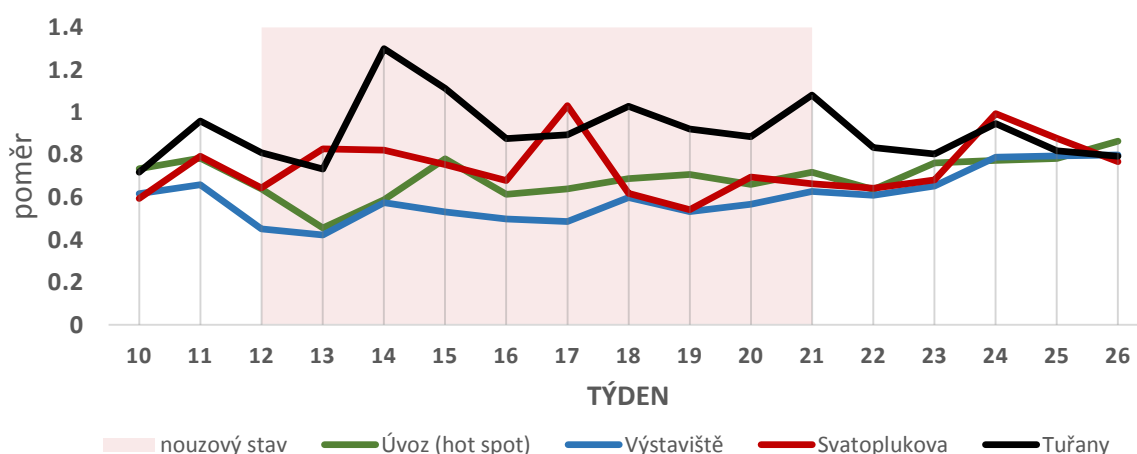
Níže uvedený graf (Obr. 9) ilustruje srovnání průměrné koncentrace  $NO_x$  v jednotlivých týdnech za období 2015 až 2019 a roku 2020.



Obrázek 9 - průměrná koncentrace  $NO_x$  v jednotlivé týdny roku z brněnských stanic imisního monitoringu jako průměr 2015-2019 a rok 2020.

Na první pohled je patrné, že k žádnému výraznému propadu po 12. týdnu nedošlo. Vzhledem k výrazně zhoršeným rozptylovým a meteorologickým podmínkám, jak je vidět u dat z  $PM_{10}$ , by se dalo očekávat určité zvýšení koncentrací. Naopak je zde však patrný pokles. Ten sice není nijak výrazný, avšak je potřeba srovnat, jak vypadá běžný únor, což ukazuje černá křivka. Koncentrace  $NO_x$  v únoru 2020 byly vzhledem k podmínkám velmi nízké, výrazně podprůměrné. Po 12. týdnu nebyly podmínky tak příznivé a přesto byly koncentrace ještě nižší než v únoru.

Existují další možnosti, jak lze demonstrovat pokles emisí, a to srovnáním dopravní a pozad'ové stanice. Pokud očekáváme pokles dopravy, lze se domnívat, že na dopravních stanicích budou koncentrace výrazněji podprůměrné ve srovnání s pozad'ovými, kde je vliv dopravy méně výrazný či minimální. Pro toto srovnání byla použita data z předměstské pozad'ové stanice Brno-Tuřany a dopravních stanic Brno-Úvoz (hot spot), Brno-Svatoplukova a Brno-Výstaviště. Graf (Obr. 10) se zaměřuje na období od 10. týdne do 26. týdne, tedy 2 týdny před nouzovým stavem a během a krátce po něm. Jedná se o poměr koncentrace  $NO_x$  v daném týdnu v roce 2020 k průměrnému poměru v letech 2015-2019.



Obrázek 10 - průměrný poměr koncentrace  $NO_x$  v daném týdnu v roce 2020 k průměru 2015-2019 za stejné období na stejné stanici.

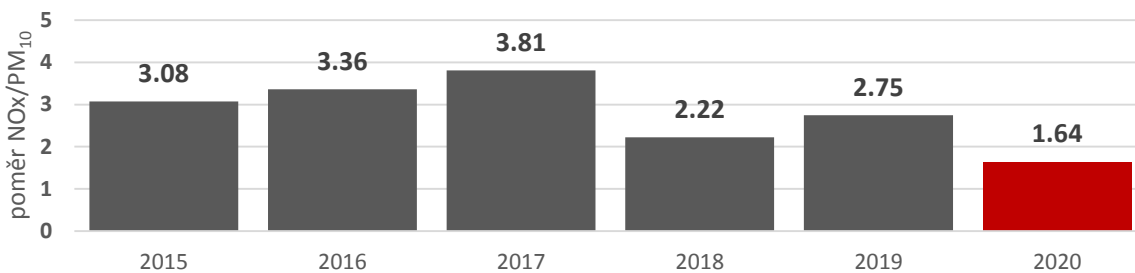
Graf dobře ilustruje výše uvedenou hypotézu. Zatímco na všech dopravních stanicích byly koncentrace  $NO_x$  v první týdny nouzového stavu podprůměrné, na stanici Brno-Tuřany tomu tak nebylo a byly často



i nadprůměrné. To svědčí o nepříznivých meteorologických podmínkách, které shodně ovlivňovaly všechny stanice, ale na dopravních stanicích muselo tedy dojít k výraznému poklesu emisí NO<sub>x</sub>, které i přes horší rozptylové podmínky zůstaly podprůměrné. Pokud vypočítáme průměrný poměr pro Tuřany za celou dobu trvání nouzového stavu a srovnáme jej s průměrným poměrem za celou dobu nouzového stavu pro výše uvedené tři dopravní stanice jako průměr, pak dojdeme k rozdílu 32,9 %, tedy, že na dopravních stanicích byly v průměru koncentrace NO<sub>x</sub> během nouzového stavu o 33 % než na předměstské požadové stanici Brno-Tuřany (poměrem chápeme průměr 2020 k průměru 2015-2019 za stejné období roku). Byť se jedná o výrazné zjednodušení, protože doprava má vliv i v Tuřanech, můžeme obecně říci, že pokles emisí z dopravy na dopravních stanicích byl přibližně o jednu třetinu.

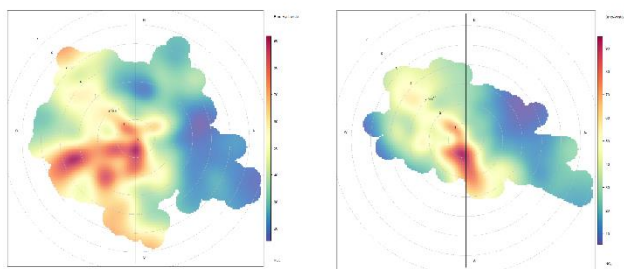
Vzhledem k vzdálenosti všech tří stanic nelze očekávat výrazně odlišné meteorologické podmínky udávající rozptyl, proto fakt, že na dopravních stanicích je pokles oproti průměru výrazně větší, dobře ilustruje pokles doprav. Průměrný poměr koncentrací NO<sub>x</sub> 2020 k průměru 2015-2019 ve sledovaném období na stanici Brno-Výstaviště byl pouze přibližně 49,6 %. Na stanici Brno-Tuřany činí celkový průměrný poměr ze všech dní v týdnu 93,5 %.

Pro stanici Brno-Výstaviště byly také spočteny poměry hodinových koncentrací NO<sub>x</sub>/PM<sub>10</sub> za období 16. 3. – 17. 5. v jednotlivé roky 2015 až 2020. Výsledky této analýzy ukazuje následující graf (Obr. 11). Je patrný výrazný pokles poměru NO<sub>x</sub>/PM<sub>10</sub> v roce 2020. To opět ilustruje předpokládaný vliv poklesu dopravy. Zatímco průměr za období 2015-2019 je na této stanici 3,04 (v průměru jsou tedy koncentrace NO<sub>x</sub> 3,04x vyšší než koncentrace PM<sub>10</sub> v dané hodině), ve stejném období v roce 2020 je to pouze 1,64.



Obrázek 11 - průměrný poměr NO<sub>x</sub>/PM<sub>10</sub> za období 12. až 21. týdne jednotlivých let na stanici Brno-Výstaviště vypočítaný z hodinových koncentrací těchto znečišťujících látek.

Pro úplnost hodnocení byly také zkonstruovány koncentrační růžice pro NO<sub>x</sub> (Obr. 12) v období od 12. do 21. týdne roku a to jako průměr období 2015-2019 a rok 2020, které vyjadřují vztah mezi mírou znečištění NO<sub>x</sub>, směrem a rychlostí větru. Růžice byly vytvořeny pro dopravní stanici Brno-Výstaviště, kde byl zaznamenán výrazný pokles v roce 2020. Z růžic je patrné, že v roce 2020 bylo znečištění vyšší pouze při velmi nízkých rychlostech větru. Naopak v průměru v letech 2015-2019 bylo znečištění vyšší i při vyšších rychlostech větru při jihozápadním až západním proudění. Právě v tomto směru se nachází významná dopravní komunikace. Růžice tedy naznačují, že v roce 2020 byly koncentrace vyšší pouze při nízkých rychlostech větru, kdy bývá znečištění vyšší plošně. Z dopravní komunikace se ale znečištění tolik neprojevovalo (při vyšších rychlostech nebyl v jihozápadním a západním směru pozorován nárůst koncentrací NO<sub>x</sub>).



Obrázek 12 - koncentrační růžice  $\text{NO}_x$  ze stanice Brno-Výstaviště za období od 12. do 21. týdne roku. Vlevo průměr 2015-2019, vpravo růžice z dat z roku 2020.

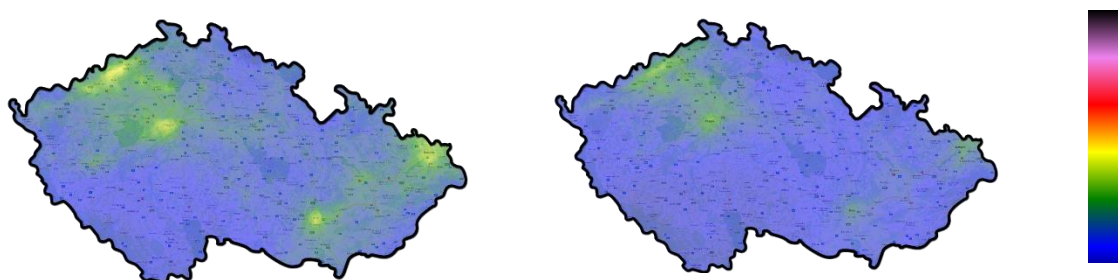
### 3.6 Družicové snímky

Koncentrace  $\text{NO}_2$  lze monitorovat orientačně i prostřednictvím satelitních snímků. Níže uvedené mapy (Obr. 13) vychází z dat o koncentracích  $\text{NO}_2$  z evropského satelitu Sentinel-5P v rámci programu Copernicus. Data byla autorem práce agregována jako průměr 16. 3. až 17. 5. a srovnáno totožné období 2019 a 2020. Ačkoliv má toto měření výrazně nižší rozlišovací schopnost než měření na stanicích, umožňuje alespoň orientačně sledovat poměry na různých lokalitách a vzájemně mezi různými obdobími, bez samotné přesné kvantifikace koncentrace jako takové. Družicové měření využívá jiné jednotky a proto je nutné níže uvedené snímky vnímat pouze z relativního pohledu, nikoliv z pohledu absolutních hodnot.



Obrázek 13 - průměrné koncentrace  $\text{NO}_2$  nad územím Brna v relativním měřítku ze satelitních snímků. Období 16. 3. – 17. 5. 2019 (nahore) a 16. 3. – 17. 5. 2020 (dole). Zdroj surových dat: Sentinel-5P, Copernicus.

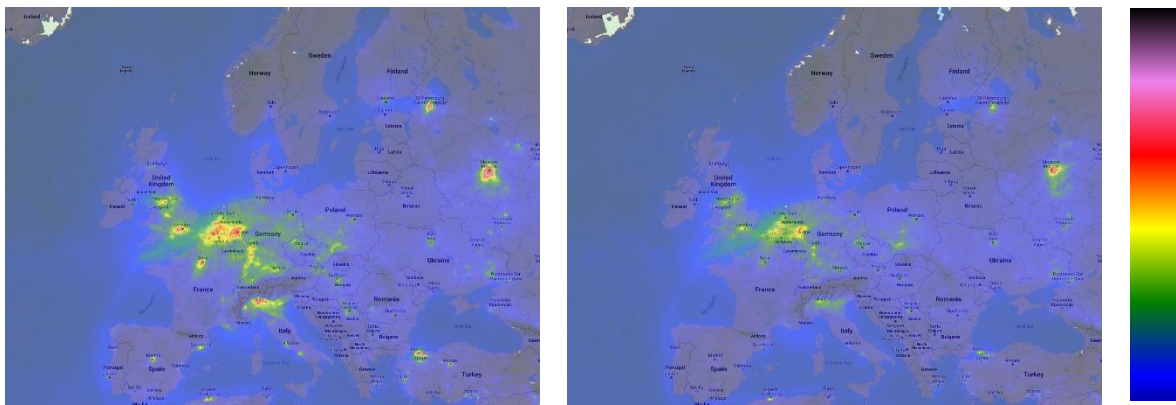
Pro srovnání ještě mapa celé České republiky (Obr. 14) v totožná období.



Obrázek 14 - - průměrné koncentrace  $\text{NO}_2$  nad územím České republiky v relativním měřítku ze satelitních snímků. Období 16. 3. – 17. 5. 2019 (nahore) a 16. 3. – 17. 5. 2020 (dole). Zdroj surových dat: Sentinel 5-P, Copernicus.

Následující mapa (Obr. 15) ukazuje srovnání pro celou Evropu, kde je mj. dobře vidět, jak odlišné jsou koncentrace  $\text{NO}_2$  v různých částech Evropy. Nejproblématictější je v tomto ohledu dlouhodobě oblast

Beneluxu, části Německa a právě severní Itálie. V těchto oblastech je tedy mnohem větší potenciál pro případný pokles koncentrací než v České republice.



*Obrázek 15 - průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> nad územím Evropy v relativním měřítku ze satelitních snímků. Období 16. 3. – 17. 5. 2019 (nahore) a 16. 3. – 17. 5. 2020 (dole). Zdroj surových dat: Sentinel 5-P, Copernicus.*

Tyto mapy sice mají nižší rozlišení (například nelze pozorovat vyšší koncentrace NO<sub>2</sub> v dopravně zatížených ulicích), avšak plošné znečištění zde pozorovat lze a to zejména na území měst, kde je vyšší míra dopravy. Tyto mapy tedy potvrzují hypotézu o poklesu koncentrací oxidů dusíku. Srovnání s rokem 2019 namísto s průměrem 2015-2019 je z důvodu nedostupnosti delší časové řady (družice měří od konce roku 2017).

### 3.7 Diskuze a závěr

V rámci této studie byl hodnocen vliv pandemie koronaviru a s ní spojených opatření (nouzový stav, karanténa) na kvalitu ovzduší. Pro analýzu byla použita primárně data z automatických stanic imisního monitoringu na území aglomerace Brno, ale také data o sčítání dopravy, sledování mobility prostřednictvím SIM karet, mobilních operátorů a operačního systému Android a také satelitní snímky evropské družice Sentinel-5P.

Kvantifikace vlivu nouzového stavu na kvalitu ovzduší je velmi obtížná a komplexní, protože na samotných imisích, tedy měřených koncentracích na stanicích, se podílí celá řada dalších faktorů, především pak rozptylové a meteorologické podmínky a výchozí koncentrace.

Z analýzy meteorologických podmínek vyplynulo, že právě v týdnu vyhlášení karantény došlo k výraznému poklesu teplot a poklesu rychlosti větru. Naopak období před nouzovým stavem bylo velmi srážkově bohaté, větrné a teplotně výrazně nadprůměrné. Změna z velmi příznivých na méně příznivé rozptylové podmínky s sebou nese zvýšení imisí. Toto zvýšení může být pozorováno i například při snížení emisí, jelikož vztah mezi imisemi a emisemi není lineární.

U koncentrací suspendovaných částic PM<sub>10</sub> byl po vyhlášení nouzového stavu pozorován nárůst, daný primárně výrazným ochlazením, a tedy vyšší intenzitou vytápění (které představuje hlavní zdroj suspendovaných částic PM<sub>10</sub> v České republice). Do hry mohl vstoupit také delší podíl času tráveného v domácnostech (o přibližně 25 % ze začátku nouzového stavu a 15 % v průměru za nouzový stav) jak ukázala data z operačních systémů Android. Průměrná koncentrace PM<sub>10</sub> v období od 12. do 21. týdne roku za období 2015-2019 je na brněnských stanicích 23,96  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . V totožném období v roce 2020 byla průměrná koncentrace PM<sub>10</sub> 23,92  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Lze tedy říci, že za celé nouzové období jsou oba průměry totožné. V první týdny nouzového stavu však byly koncentrace PM<sub>10</sub> výrazně nadprůměrné a poté podprůměrné. Můžeme zde například vysledovat přímou závislost na venkovní teplotě, která je hlavním faktorem determinujícím koncentrace PM<sub>10</sub> spíše než doprava, jejíž vliv na koncentrace

suspendovaných částic je ve srovnání s lokálním vytápěním domácností a vytápěním obecně výrazně menší.

Oxidy dusíku jsou v České republice primárně emitovány do ovzduší z dopravy. Průměrná koncentrace NO<sub>x</sub> na brněnských stanicích za období 2015 až 2019 v 12. až 21. týdnu roku je 51,76 µg.m<sup>-3</sup>. V roce 2020 v totožném období to bylo pouze 38,24 µg.m<sup>-3</sup>, tedy pokles o přibližně 26 %. Koncentrace NO<sub>x</sub> jsou však také ovlivňovány meteorologickými a rozptylovými podmínkami. Přibližnou míru poklesu danou redukcí dopravy lze sledovat také srovnáním rozdílů na dopravních a pozadových stanicích oproti dlouhodobému průměru. Za tímto účelem byl vypočítán průměrný rozdíl oproti pětiletému průměru 2015-2019 na třech dopravně zatížených stanicích v Brně (Brno-Úvoz (hot spot), Brno-Svatoplukova a Brno-Výstaviště) a tento rozdíl srovnán s rozdílem na předměstské pozadové stanici Brno-Tuřany. Bylo zjištěno, že na dopravních lokalitách byl pokles imisí NO<sub>x</sub> oproti průměru 2015-2019 výrazně vyšší než na stanici Brno-Tuřany (přibližně o 33 %). Stanice Brno-Tuřany je sice také ovlivňována dopravou, ale toto číslo může sloužit jako orientační odhad poklesu imisí NO<sub>x</sub> díky poklesu dopravy. Pokles o přibližně třetinu je navíc ve shodě s daty o dopravě a mobilitě ze sčítačů dopravy po Brně a zpráv o mobilitě obyvatelstva na základě používání SIM karet a geolokačních údajích od uživatelů systémů Android.

Jak ukazují studie ze zahraničí, například ta z Itálie (Collivignarelli, 2020), v některých zemích se vliv koronavirové pandemie projevil výrazně více a navíc například také poklesem suspendovaných částic. Roli zde pravděpodobně hraje odlišná skladba zdrojů v Itálii (vytápění zde není tak významné vzhledem k teplejšímu podnebí, na severu Itálie velmi významný průmysl) a odlišný charakter restrikcí (omezení průmyslu atd.). Zároveň má vliv fakt, že například v severní Itálii jsou jedny z dlouhodobě nejvyšších koncentrací oxidů dusíku v Evropě (Obr. 15), tudíž je zde mnohem větší potenciál pro pokles.

Výsledky studie potvrdily několik poznatků. Prvním je velmi zásadní vliv meteorologických a rozptylových podmínek na kvalitu ovzduší. Dále se prokázalo, že vliv dopravy je často přeceňován. Například podíl dopravy na celkových emisích PM<sub>x</sub> v ČR je velmi malý ve srovnání s lokálním vytápěním domácností. Potvrdilo se také, že působí doprava relativně lokálně, na pozadové předměstské stanici, která je stále od centra města vzdálená necelých 8 km, se pokles dopravy projevil velmi málo. Obecně tedy můžeme říci, že k poklesu došlo, ale nemuselo to nutně být v absolutních číslech, spíše můžeme konstatovat, že bez nouzového stavu by byly koncentrace znečišťujících látek ještě vyšší – nezávisle na tom, zda například byly či nebyly vyšší než v době před nouzovým stavem či ve srovnání s průměrem.

## 4 Literatura

Collivignarelli, M.C., Abbà, A., Bertanza, G., Pedrazzani, R., Ricciardi, P. and Miino, M.C., 2020. Lockdown for CoViD-2019 in Milan: What are the effects on air quality?. *Science of The Total Environment*, 732, p.139280.

ČHMÚ, Znečištění ovzduší na území České republiky 2018, ČHMÚ, 2018.

He, J., Gong, S., Yu, Y., Yu, L., Wu, L., Mao, H., Song, C., Zhao, S., Liu, H., Li, X. and Li, R., 2017. Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014–2015 in major Chinese cities. *Environmental pollution*, 223, pp.484-496.

Tomasi, C., Fuzzi, S. and Kokhanovsky, A. eds., 2017. *Atmospheric aerosols: Life cycles and effects on air quality and climate*. John Wiley & Sons.

Verma, S.S. and Desai, B., 2008. Effect of meteorological conditions on air pollution of Surat city. *J. Int. Environmental Application & Science*, 3(5), pp.358-367.