

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ



**Vliv nemoci COVID-19 na znečištění ovzduší
v roce 2020**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Mgr. Pavla Dagsson Waldhauserová, Ph.D.

Bakalant: Martin Schuller

2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Schuller

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Vliv nemoci COVID-19 na znečištění ovzduší v roce 2020

Název anglicky

The influence of COVID-19 on air pollution in 2020

Cíle práce

Cílem práce je vypracovat literární rešerši o vlivu nemoci COVID-19 na zdroje znečištění ovzduší v roce 2020 v České republice a vztah nemoci na kvalitu ovzduší ve světě. Součástí práce bude také zpracování dat z vybraných pražských stanic měřících kvalitu ovzduší během nouzových stavů v roce 2020 a posouzení, zda byly změny hodnot znečištění oproti předchozím letům statisticky významné.

Metodika

Literární rešerše, využití odborné literatury a ročenek kvality ovzduší a dopravy. Data o znečištění ovzduší suspendovanými částicemi PM10, PM2,5, NOx a benzo(a)pyrenu za rok 2020 budou posuzována z měřících stanic ALEG – Praha 2-Legerova (hot spot) a ALIB – Praha 4-Libuš. Práce s daty bude provedena statistickou funkcí párového t-testu. Porovnávány budou naměřené hodnoty po dobu nouzového stavu v roce 2020 vždy se stejným dnem v předchozích letech.

Doporučený rozsah práce

30 pages

Klíčová slova

nouzový stav, pandemie, znečištění ovzduší, COVID-19, SARS-CoV-2

Doporučené zdroje informací

- Albayati N., Waisi B., Al-Furajji M., Kadhom M., Alalwan H., 2021: Effect of COVID-19 on air quality and pollution in different countries. *Journal of Transport & Health* Volume 21. P. 101061.
- Barua S., Nath S., 2021: The impact of COVID-19 on air pollution: Evidence from global data. *Journal of Cleaner Production* Volume 298. P. 126755.
- ČHMÚ, 2021: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020. Český hydrometeorologický ústav, Praha.
- Huang G., Blangiardo M., Brown P., Pirani M., 2021: Long-term exposure to air pollution and COVID-19 incidence: A multi-country study. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology* Volume 39. P. 100443.
- Chang H., Meyerhoefer C., Yang F., 2021: COVID-19 prevention, air pollution and transportation patterns in the absence of a lockdown. *Journal of Environmental management* Volume 298. P. 113522.

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

Mgr. Pavla Dagsson Waldhauserová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2022

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2022

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/závěrečnou práci na téma: Vliv nemoci COVID-19 na znečištění ovzduší v roce 2020 vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne

.....

Martin Schuller

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucí práce Mgr. Pavle Dagsson Waldhauserové, Ph.D. za cenné připomínky a vstřícný přístup. Dále bych také rád poděkoval mé rodině, především mé sestře Nikole Schullerové, a přátelům za jejich podporu při studiu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá dopadem protiepidemických opatření spojených s nemocí COVID-19 na zdroje znečištění ovzduší v České republice a na kvalitu ovzduší ve světě. Zároveň byl proveden párový t-test pro zjištění, zda na pražských měřicích stanicích ALEG – Praha 2-Legerova (hot spot) a ALIB – Praha 4-Libuš byly rozdíly polutantů v roce 2020 oproti předchozím letům statisticky významné. Pandemie koronaviru měla v České republice značný vliv na omezení dopravy, což bylo prokázáno statistickým testem na emisích NO_x na měřicí stanici v Legerově ulici. V důsledku zvýšené doby strávené v domácnostech došlo k určitému navýšení emisí z lokálního vytápění. Zmíněné tvrzení avšak nebylo statistickým testem na datech z měřicí stanice v Libuši potvrzeno. Celosvětově měla opatření proti šíření viru SARS-CoV-2 výrazný dopad na znečištění ovzduší, především z důvodu omezení dopravy. Z výsledků práce vychází, že na omezení dopravy reaguje kvalita ovzduší pozitivně, z čehož by mohly plynout cenné poznatky například pro městské plánování.

Klíčová slova: nouzový stav, pandemie, znečištění ovzduší, COVID-19, SARS-CoV-2

Abstract

This bachelor thesis focuses on the impact of anti-epidemic measures associated with COVID-19 on air pollution sources in the Czech Republic and on air quality worldwide. Furthermore, a paired t-test was performed to determine whether the differences of pollutants at the Prague measuring stations ALEG – Praha 2-Legerova and ALIB – Praha 4-Libuš in 2020 compared to previous years were statistically significant. The coronavirus pandemic in the Czech Republic had a significant impact on traffic reduction, which was confirmed by a statistical test on NO_x emissions at the measuring station in Legerova Street, Prague. There was a certain increase in emissions from domestic household heating due to the increased time spent at home. However, this was not confirmed by a statistical test on data from the sub-urban measuring station in Libuš, Prague. Globally, measures against the spread of SARS-CoV-2 had a significant impact on air pollution, mainly due to traffic restrictions. The results show that air quality responds positively to traffic restrictions, which could provide valuable insights for example for urban planning.

Keywords: state of emergency, pandemic, air pollution, COVID-19, SARS-CoV-2

Obsah

1.	Úvod.....	11
1.1.	Zdroje znečištění ovzduší.....	12
1.2.	Zdroje znečištění ovzduší dle sektorů.....	12
1.3.	Vývoj znečištění ovzduší.....	13
1.4.	Legislativa v ochraně ovzduší.....	15
1.5.	Programy a strategie zlepšování kvality ovzduší.....	16
1.5.1.	Národní program snižování emisí.....	16
1.5.2.	Programy zlepšování kvality ovzduší.....	16
1.6.	Nouzový stav.....	17
1.7.	Meteorologické a rozptylové podmínky.....	17
1.8.	Struktura bakalářské práce.....	17
2.	Cíle práce.....	19
3.	Metodika.....	20
3.1.	Rešerše dopadu koronaviru na zdroje znečištění v ČR.....	20
3.2.	Rešerše dopadu koronaviru na znečištění ovzduší ve světě.....	20
3.3.	Analýza dat měřících stanic.....	20
3.4.	Charakteristika studijního území.....	21
3.4.1.	Stanice ALEG – Praha 2-Legerova (hot spot).....	22
3.4.2.	Stanice ALIB - Praha 4-Libuš.....	23
3.5.	Výběr a představení sledovaných znečištění.....	25
3.5.1.	Oxidy dusíku.....	25
3.5.2.	Suspendované částice.....	26
3.5.3.	Benzo(a)pyren.....	27
3.6.	Opatření mající možný vliv na znečištění ovzduší.....	27
3.6.1.	První nouzový stav.....	27
3.6.2.	Druhý nouzový stav.....	28
3.7.	Meteorologické a rozptylové podmínky v roce 2020.....	29
4.	Výsledky.....	30
4.1.	Vliv nemoci COVID-19 na zdroje znečištění ovzduší v ČR.....	30
4.1.1.	Průmysl.....	30

4.1.2. Doprava.....	31
4.1.3. Lokální vytápění.....	34
4.1.4. Energetika	35
4.2. Dopad pandemie koronaviru na znečištění ovzduší ve světě.....	35
4.3. Další souvislosti koronaviru a znečištění ovzduší	37
4.4. Naměřené hodnoty na vybraných měřicích stanicích	38
5. Diskuze.....	43
6. Závěr	48
7. Přehled literatury a použitých zdrojů	49
8. Seznam příloh.....	56

Seznam použitých zkratek a symbolů

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČSÚ – Český statistický úřad

EC – [European Commission] Evropská komise

EEA – [European Environment Agency] Evropská agentura pro životní prostředí

IL – imisní limit

MPO – Ministerstvo průmyslu a obchodu

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

NO₂ – sumární vzorec oxidu dusičitého

NO_x – souhrnné označení pro oxidy dusíku

PM₁₀ – suspendované částice o maximálním aerodynamickém průměru do 10 μm

PM_{2,5} - suspendované částice o maximálním aerodynamickém průměru do 2,5 μm

REZZO – Registr emisí a zdrojů znečišťování emisí

WHO – Světová zdravotnická organizace

1. Úvod

Znečištěné ovzduší je jedno z největších environmentálních rizik na lidské zdraví. Znečištěné vnější ovzduší způsobuje každoročně okolo 4,2 milionu předčasných úmrtí (WHO ©2021). V roce 2019 žilo 99 % světové populace v místech, kde nebyly splněny doporučené úrovně kvality ovzduší WHO (WHO ©2021). Špatná kvalita ovzduší je tak nepochybně tématem, které si zaslouhuje pozornost.

Dne 11. 3. 2020 vyhlásila Světová zdravotnická organizace (WHO) šíření koronaviru SARS-Cov-2 za pandemii. Tou dobou byla nemoc COVID-19, způsobená z nakažení virem, již nahlášena ve 114 zemích. Generální ředitel WHO apeloval na vlády po celém světě, aby přijaly opatření k potlačení rychlého šíření koronaviru (WHO ©2020).

V České republice byl tak již další den 12.3.2020 vyhlášen nouzový stav, opravňující vládu vydávat krizová opatření (usnesení č. 69/2020 Sb.). Tato opatření výrazně proměnila nejen život obyvatel, ale i například kvalitu ovzduší. K 18. 3. 2022 nemoc propukla u téměř půl miliardy lidí a vyžádala si přes 6 milionů obětí (WHO ©2022). Svět se tak ocitl v nebyvalé situaci, která zasáhla do všech sfér našeho života.

Pandemie měla významný vliv na kvalitu ovzduší. Například ve Spojených státech Berman a Ebisu (2020) uvádí statisticky významné poklesy koncentrací oxidu dusičitého (NO₂) a suspendovaných částic v ovzduší v urbanizovaných oblastech v porovnání s historickými daty. Snížení znečištění ovzduší bylo také zaznamenáno na rozsáhlém souboru 367 čínských měst, kde v důsledku zákazu volného pohybu osob v únoru a březnu roku 2020, bylo ve srovnání s předchozím rokem zjištěno významné snížení koncentrací PM_{2,5} PM₁₀, ozonu, oxidu siřičitého, oxidu uhelnatého a oxidu dusičitého. Na úbytek koncentrací polutantů se zde podepsala nejvýrazněji omezená doprava a pozastavení průmyslové produkce (Ye et al. 2021). Během pandemie mohlo docházet ale i k navýšení emisí z lokálních vytápění způsobených zvýšenou dobou strávenou v domácnostech, jak bylo uvedeno například v ročence Evropské agentury pro životní prostředí (EEA ©2020).

1.1. Zdroje znečištění ovzduší

Znečištění ovzduší hraje významnou roli při pandemiích, je ale zároveň ovlivňováno sekundárními opatřeními a vazbami, které pandemii doprovází (Albayati et al. 2021). Zdroje znečištění ovzduší jsou dle jeho původu rozděleny na antropogenní, tedy vyvolané v důsledku činnosti lidí, a přírodní. Antropogenní zdroje jsou rozděleny na mobilní zdroje a stacionární zdroje. Mezi mobilní zdroje řadíme především dopravní prostředky, dále ale i nesilniční mobilní stroje, jakými jsou například stavební stroje, a přenosná nářadí se spalovacím motorem (Vach 2005). Stacionárními zdroji jsou myšleny nejčastěji zařízení spalovacích nebo jiných technologických procesů znečišťující ovzduší, jsou to ale i sklady a skládky paliv, potravin a odpadů nebo i šachty, lomy a jiné plochy, na kterých je možnost zapaření, hoření, úletu znečišťujících látek nebo na kterých jsou prováděny činnosti způsobující znečištění ovzduší (Vach 2005).

Spalovací stacionární zdroje Vach (2005) dále rozděluje dle jejich tepelného příkonu nebo výkonu, respektive tedy dle míry vlivu zdroje na kvalitu ovzduší, do kategorií zvláště velké, velké, střední a malé. Zdroje znečištění ovzduší jsou v České republice sledovány v rámci tzv. Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO). V registru emisí a zdrojů znečišťování se zdroje znečišťování ovzduší rozdělují do čtyř kategorií:

- a) Rezzo 1 – velké a zvláště velké stacionární zdroje znečišťování
- b) Rezzo 2 – střední stacionární zdroje znečišťování
- c) Rezzo 3 – malé stacionární zdroje znečišťování
- d) Rezzo 4 – mobilní zdroje znečišťování (Vach 2005)

Monitoringem kvality ovzduší v České republice se zabývá Český hydrometeorologický ústav (později ČHMÚ). Každoročně je ČHMÚ vydávána publikace Znečištění ovzduší na území České republiky.

1.2. Zdroje znečištění ovzduší dle sektorů

Znečištění ovzduší je způsobeno především suspendovanými částicemi, oxidy dusíků, oxidy síry, benzo(a)pyrenem a těžkými kovy.

Největším zdrojem znečištění ovzduší suspendovanými částicemi je v České republice lokální vytápění. Domácnosti se v roce 2019 podíleli na celkových emisích PM₁₀ z 55 %, emisích PM_{2,5} dokonce 70 %. Ještě výraznější podíl má na emisích benzo(a)pyrenu, a to z 96 % (ČHMÚ ©2021a).

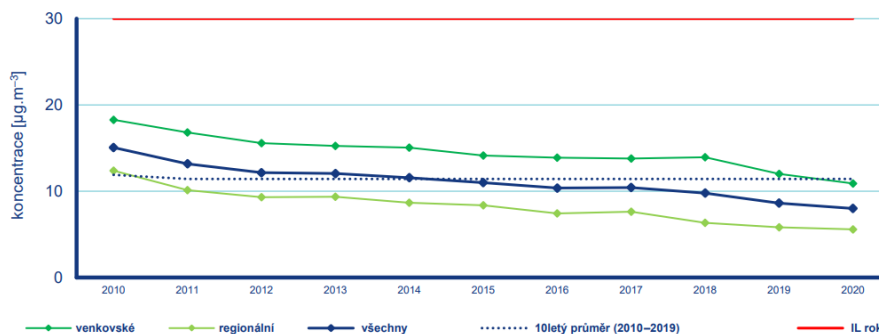
Nejčastějšími emisemi z dopravy jsou oxidy dusíku (NO_x), převážně oxid dusičitý. Doprava se také podílí na ročních průměrných koncentracích suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} z cca 20 %, ve velkých městech je tomu ale až ze 70 % (MŽP 2020a).

Průmysl produkuje přes 15 % celkového znečištění oxidů síry (SO_x), dále se průmyslovou produkcí do ovzduší dostanou také těžké kovy jako jsou kadmium, olovo, nikl a arsen (ČHMÚ ©2021a). Vykazované emise z průmyslu se podílí na znečištění suspendovaných částic z až 30 % (MŽP 2020a).

Kvůli aktuálnímu národnímu energetickému mixu, poměru zastoupení zdrojů energie, se značným zastoupením spalování fosilních paliv, pochází vysoké množství emisí z energetiky (OTE ©2018). Energetika produkuje v České republice okolo 20 % koncentrací oxidů dusíku a téměř polovinu veškerých oxidů síry. Spalováním fosilních paliv do ovzduší unikají také těžké kovy, jako jsou arsen a nikl (ČHMÚ ©2021a).

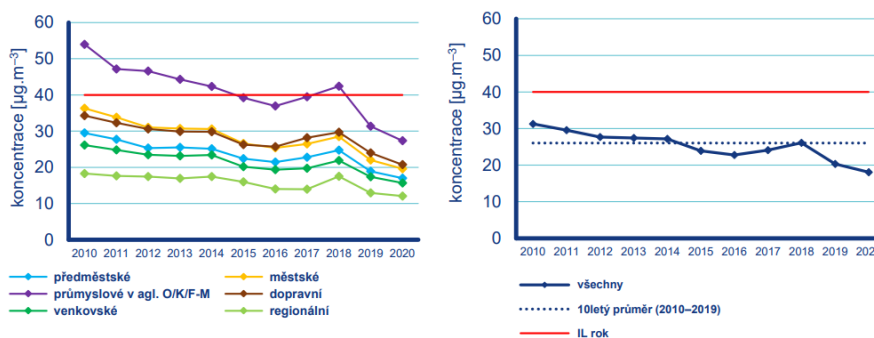
1.3. Vývoj znečištění ovzduší

Roční průměrné koncentrace NO_x se nezávisle na typu stanice dlouhodobě udržují pod imisním limitem, zobrazeným vodorovnou červenou čarou, a v průběhu let mají mírně klesající tendenci (viz obrázek 1).



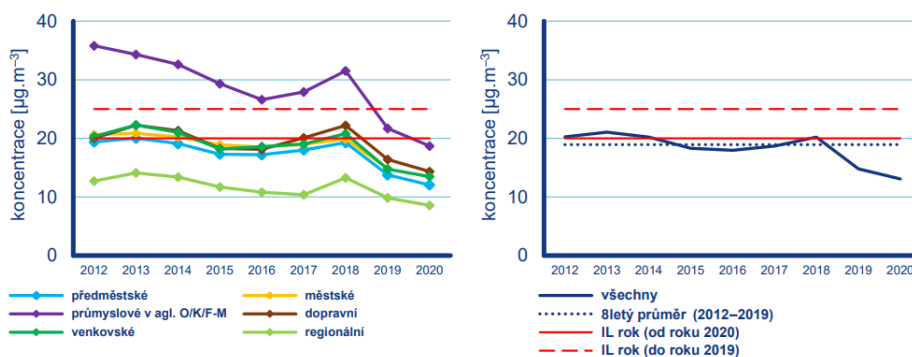
Obrázek 1: Roční průměrné koncentrace NO_x na jednotlivých typech stanic v letech 2010-2020 (ČHMÚ © 2021a).

Roční průměrné koncentrace PM_{10} , zobrazené na obrázku 2, jsou v České republice dlouhodobě pod imisním limitem. Výjimku zde tvořily hodnoty naměřené na průmyslových měřicích stanicích v aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek. Avšak v posledních dvou letech (2019, 2020) byly i zde naměřeny roční průměrné koncentrace PM_{10} , které imisní limit splňovaly.



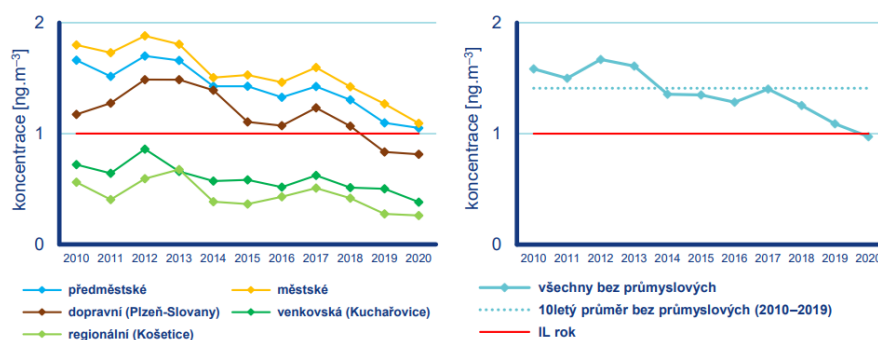
Obrázek 2: Roční průměrné koncentrace PM_{10} na jednotlivých typech stanic v letech 2010-2020 (ČHMÚ © 2021a).

Na obrázku 3 lze vidět, že podobně jako s průměrnými koncentracemi PM_{10} je tomu tak i u ročních koncentrací $PM_{2,5}$. Tedy tak, že imisní limit stanovený zákonem o ochraně ovzduší splňovala většina typů stanic a výjimku zde tvořila průmyslová měřicí stanice v aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek. V grafu je přerušovanou červenou čarou vyobrazen imisní limit platící do roku 2019. Nový imisní limit je vyobrazen červenou plnou čarou.



Obrázek 3: Roční průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ na jednotlivých typech stanic v letech 2012-2020 (ČHMÚ © 2021a).

Roční průměrné koncentrace benzo(a)pyrenu dle obrázku 4 dlouhodobě překračovaly imisní limit, a to především v městských a předměstských typech měřicích stanic. Tato skutečnost poukazuje na významný zdroj znečištění ovzduší benzo(a)pyrenem, tedy vlivu koncentrovaného lokálního vytápění v těchto lokacích. Ve stanicích městského typu bývá vyjma lokálního vytápění také důležitým zdrojem silniční doprava.



Obrázek 4: Roční průměrné koncentrace benzo(a)pyrenu na jednotlivých typech stanic v letech 2010-2020 (ČHMÚ © 2021a).

1.4. Legislativa v ochraně ovzduší

Česká republika, jakožto členský stát Evropské unie, se řídí směrnicemi Evropského parlamentu a Rady. Jednou z těchto směrnic je směrnice 2008/50/ES o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu (EC ©2022).

Dalším dokumentem evropské legislativy je Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/107/ES o arsenu, kadmii, rtuti, niklu a polycyklických aromatických uhlovodících ve vnějším ovzduší (čtvrtá dceřiná směrnice) (EC ©2022).

Přílohy směrnic Evropského parlamentu a Rady 2004/107/ES a 2008/50/ES, kterými se stanoví pravidla týkající se referenčních metod, validace údajů a umístění míst odběru vzorků pro posuzování kvality vnějšího ovzduší, upravuje směrnice (EU) 2015/1480 (EC ©2022).

Pravidla pro vzájemnou výměnu informací a podávání zpráv o kvalitě vnějšího

ovzduší pro směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/107/ES a 2008/50/ES stanoví prováděcí rozhodnutí Komise 2011/850/EU (EC ©2022).

V České republice je základní právní normou upravující hodnocení a řízení kvality ovzduší a provoz zdrojů znečišťování ovzduší zákon č.201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění (dále jen zákon o ochraně ovzduší). Zákon o ochraně ovzduší obsahuje plnou transpozici imisních limitů stanovených směrnicí Evropského parlamentu a Rady č. 2008/50/ES a směrnicí Evropského parlamentu a Rady č. 2004/107/ES (zákon č. 201/2012 Sb.).

1.5. Programy a strategie zlepšování kvality ovzduší

V České republice se zlepšováním kvality ovzduší zabývá především Národní program snižování emisí a programy zlepšování kvality ovzduší.

1.5.1. Národní program snižování emisí

Jedním ze základních strategických dokumentů v oblasti zlepšování kvality ovzduší je Národní program snižování emisí. Byl zpracován na základě zákona o ochraně ovzduší (č. 201/2012 Sb.) a schválen usnesením vlády 2. prosince 2015. V současné době platí Aktualizace národního programu snižování emisí České republiky z roku 2019 (MŽP ©2019a).

1.5.2. Programy zlepšování kvality ovzduší

Programy zlepšování kvality ovzduší jsou strategické dokumenty, které jsou zpracovávány Ministerstvem životního prostředí ve spolupráci s příslušnými krajskými úřady nebo obecními úřady a s příslušným krajem nebo obcí v samostatné působnosti (MŽP ©2020a). Program je zpracováván, pokud byl v zóně nebo aglomeraci překročen imisní limit stanovený v bodech 1–3 přílohy č. 1 zákona o ochraně ovzduší. Takovými zónami nebo aglomeracemi je například aglomerace Praha, Brno, Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek nebo zóny Střední Čechy, Jihozápad či Střední Morava (MŽP ©2020b).

1.6. Nouzový stav

Dle ústavního zákona č. 110/1998 Sb. může vláda vyhlásit nouzový stav v případě živelních pohrom, ekologických nebo průmyslových havárií, nehod nebo jiného nebezpečí, které ve značném rozsahu ohrožují životy, zdraví nebo majetkové hodnoty anebo vnitřní pořádek a bezpečnost. Nouzový stav vyhláší vláda ČR, a to na dobu nejdéle 30 dnů. Tento stav se může prodloužit jen po předchozím souhlasu Poslanecké sněmovny. Nouzový stav je ukončen uplynutím doby, na kterou byl vyhlášen, případně rozhodnutím o jeho zrušení vládou, nebo Poslaneckou sněmovnou (ústavní zákon č. 110/1998 Sb.).

Při vyhlášeném nouzovém stavu mohou být vládou na základě zákona č. 240/2000 Sb. vydávána krizová opatření. Realizací těchto opatření, řešících krizové situace, lze omezit některá práva a svobody nebo uložit konkrétní povinnosti (Ministerstvo zdravotnictví ©2021b).

V roce 2020 byly v České republice vyhlášeny dvě období nouzových stavů.

1.7. Meteorologické a rozptylové podmínky

Významný vliv na kvalitu ovzduší, a tedy i na naměřená data, mají meteorologické a rozptylové podmínky. Meteorologické podmínky mají vliv na množství vypouštěných emisí ze zdrojů znečištění, zároveň ale i umožňují rozptyl znečišťujících látek v ovzduší, ovlivňují tvorbu sekundárních znečišťujících látek a rychlost jejich odstraňování z ovzduší. Základními veličinami ovlivňující rozptyl polutantů v ovzduší jsou teplota vzduchu, rychlost větru a stabilita mezní vrstvy atmosféry, spodní části troposféry, v níž se bezprostředně projevuje vliv zemského povrchu na pole meteorologických prvků. S větší stabilitou mezní vrstvy atmosféry dochází k menšímu vertikálnímu promíchávání vzduchu, v důsledku čehož dochází ke zvýšené koncentraci znečišťujících látek. Při vyšší rychlosti větru dochází k horizontálnímu rozptylu emisí (ČHMÚ ©2021c).

1.8. Struktura bakalářské práce

V této práci byly nejprve představeny zdroje znečištění ovzduší. Dále byla

uvedena platná legislativa, programy a strategie ke snižování znečištění ovzduší. V cílech práce byly stanoveny hypotézy o tom, jaký bude mít šíření viru vliv na zdroje znečištění ovzduší a jaký bude mít vliv na kvalitu ovzduší ve světě. V metodice byly více přiblíženy postupy zjištění stanovených hypotéz a o provedení statistického testu. Výsledky byly porovnány s daty ze dvou pražských měřících stanic zaznamenávajících kvalitu ovzduší.

2. Cíle práce

Cílem práce je zpracování dat z vybraných pražských stanic měřících kvalitu ovzduší během nouzových stavů v roce 2020 a posouzení, zda byly změny hodnot znečištění oproti předchozím letům statisticky významné. Součástí práce je také vypracování literární rešerše o vlivu nemoci COVID-19 na zdroje znečištění ovzduší v roce 2020 v České republice a vztah nemoci na kvalitu ovzduší ve světě.

Otázky, které má tato práce odpovědět o nemoci COVID-19 a opatření spojenými se zamezením šíření, se týkají následujících předpokládaných dopadů:

- a) Minimální zmenšení znečištění ovzduší způsobené průmyslovou produkcí. Produkce může na vládní restrikce reagovat určitým útlumem z důvodů úpravy směn pracovníků k zabezpečení menšího kontaktu vedoucí k menší možnosti přenosu nemoci, a také z menší poptávky po zboží z průmyslu.
- b) Z důvodu doporučované práce z domova a omezenému pohybu osob je očekáván vysoce snížený objem dopravy, což povede k úbytku emisí ze sektoru dopravy.
- c) Dojde k vyššímu znečištění pocházejícím z lokálních vytápění z důvodu zvýšené doby strávené v domácnostech.
- d) Energetika by vládními opatřeními neměla být ovlivněna, jelikož při činnostech s nimi spojenými nedochází k častému styku osob.

3. Metodika

3.1. Rešerše dopadu koronaviru na zdroje znečištění v ČR

Data o dopadu protipandemických opatření proti šíření koronaviru na zdroje znečištění ovzduší byla čerpána převážně z ročenky Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020 vydanou Českým hydrometeorologickým ústavem, ročenek dopravy na území České republiky a dat publikovaných Českým statistickým úřadem (dále ČSÚ).

Data o sociálním chování obyvatel, typech jejich aktivit, míře kontaktů a ekonomických dopadech pandemie shromažďuje výzkum Život během pandemie. Výzkum probíhal formou dotazníku (Život během pandemie ©2022).

3.2. Rešerše dopadu koronaviru na znečištění ovzduší ve světě

K vyhledání odborných článků zabývajících se dopadem šíření nemoci COVID-19 na znečištění ovzduší ve světě byly použity odborné databáze ScienceDirect a Google Scholar. Byly především vybírány články, které se již zaměřovaly na srovnání mnoha různých území.

3.3. Analýza dat měřících stanic

Naměřené hodnoty koncentrací polutantů v ovzduší z měřících stanic byly získány z tabelárních ročenek, které jsou volně dostupné na internetových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu v sekci historická data ovzduší (ČHMÚ ©2021d). Statistická analýza dat byla provedena pomocí softwaru Microsoft Excel. Hladina významnosti α byla určena na 0,05, za statisticky významné tak byly považovány hodnoty $p < 0,05$. Porovnávány byly koncentrace NO_x a částic PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ v období nouzových stavů vždy ve stejný den zkoumaného roku oproti jednotlivým předchozím rokům. Hodnoty benzo(a)pyrenu jsou zveřejněny pouze v řádu měsíců, nikoliv dní. Proto zde byly porovnávány celé měsíce, ve kterých byl nouzový stav platný, oproti stejným měsícům předchozích let.

Testována byla hypotéza, že oba výběry naměřených hodnot jsou stejné ($H_0: \mu_1 = \mu_2$) oproti alternativní hypotéze, kde si jsou výběry rozdílné ($H_A: \mu_1 \neq \mu_2$). Při výsledku párového t-testu kdy hodnota p je menší, než hladina významnosti α 0,05, zamítám původní hypotézu H_0 a přijímám alternativní hypotézu H_A . V případě opačného výsledku hypotézu H_0 nezamítám.

Párový t-test byl proveden statickou funkcí T.TEST, kde za matice dat byly označeny množiny dat uvádějící denní průměry polutantů na stanicích ve sledovaném roce a k nim odpovídající data z jednotlivých předešlých let. Chvosty byly nastaveny kvůli dvoustranné hypotéze na 2, typ t-testu označením 1, jakožto označení pro spárované výběry. Tento postup byl proveden pro každý polutant a stanici zvlášť. T-test byl pro lepší interpretaci výsledků proveden pro první a druhý nouzový stav odděleně. Počet vzorků byl při testu prvního nouzového stavu 67, při druhém nouzovém stavu 88. Při párovém t-testu benzo(a)pyrenu byl uvažován měsíc březen, duben, květen, říjen, listopad a prosinec. K popisu koncentrací látek znečišťujících ovzduší byl vytvořen průměr naměřených hodnot se směrodatnou odchylkou. Průměr hodnot byl v Microsoft Excel vytvořen funkcí AVERAGEA, směrodatná odchylka funkcí SMODCH.VÝBĚR.S. Pro lepší interpretaci výsledků a vyhnutí se kauzalitám spojenými se srovnáním výsledku pouze s hodnotou z přechozího roku, byl test proveden oproti letům 2017, 2018, 2019 a mezi jednotlivými lety navzájem.

Práce je zaměřena pouze na rok 2020. Je tomu tak kvůli absenci některých dat v době vypracování bakalářské práce, které jsou pro posouzení vlivu nemoci COVID-19 na znečištění ovzduší klíčové.

3.4 Charakteristika studijního území

Při výběru stanic, s jejichž naměřenými hodnotami koncentrací polutantů byl test proveden, byla brána v potaz především vhodnost lokality k určení typu znečištění ovzduší. Zároveň daná měřicí stanice musela po dostačující dobu měřit vybrané parametry. Stanice by také měly být poměrně blízko sebe, aby měly dlouhodobě podobné meteorologické a rozptylové podmínky. Těmto kritériím vyhovovala měřicí stanice ALEG – Praha 2-Legerova (hot spot) a ALIB – Praha 4-Libuš.

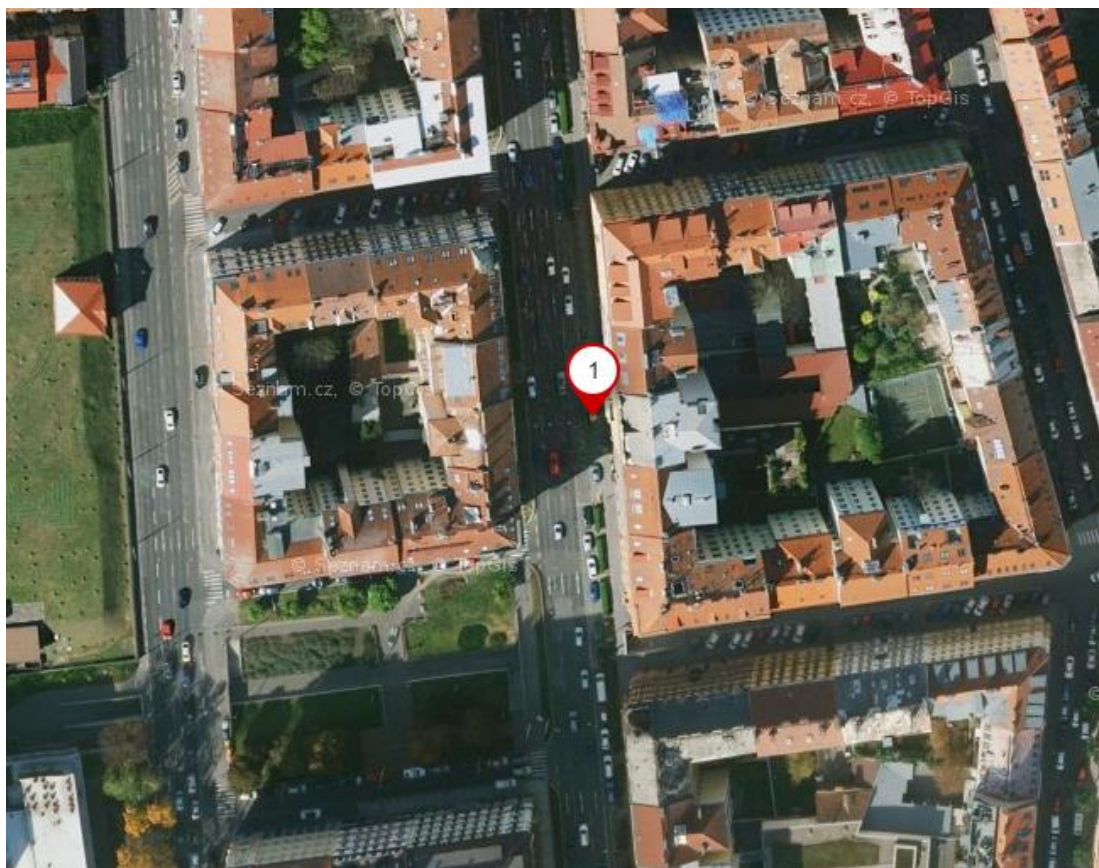
3.4.1 Stanice ALEG – Praha 2-Legerova (hot spot)

Tato stanice (obrázek 5) byla vybrána, jelikož se, dle popisu na internetových stránkách ČHMÚ, nachází „bezprostředně u komunikace s velmi hustým provozem“ (ČHMÚ ©2022a). Kategorizace stanice je dopravní – městská s reprezentativností několika metrů až 100 metrů (ČHMÚ ©2022a). Stanice se nachází v Praze 2 v ulici Legerova (viz obrázek 6), která je součástí Severojižní magistrály. Denně zde za normálních podmínek projede okolo 40 000 vozidel. Do 100 metrů od stanice se nachází další vytižená ulice, ulice Sokolská s průměrnou denní intenzitou dopravy okolo 34 000 vozidel (MŽP ©2020a). Naměřené hodnoty by tak měly dobře odrážet intenzitu silniční dopravy.

Na této stanici byly porovnávány hodnoty $PM_{2,5}$, PM_{10} a NO_x , tedy znečištění, na kterém se výrazně podílí pozemní doprava. Celkově se silniční doprava na znečištění NO_2 na této stanici v roce 2018 podílela ze 74 % (MŽP ©2019b).



Obrázek 5: Stanice ALEG – Praha 2-Legerova (hot spot) (ČHMÚ ©2022a).



Obrázek 6: Umístění měřicí stanice ALEG - Praha 2-Legerova (hot spot) (mapy.cz).

3.4.2. Stanice ALIB - Praha 4-Libuš

Kategorizace stanice (obrázek 7) je pozad'ová, předměstská s reprezentativností 0,5–4 km. Stanice se nachází v areálu Českého hydrometeorologického ústavu na Praze 4 – Libuš (viz obrázek 8) (ČHMÚ ©2021b).

Stanice je ovlivněna komunikací Generála Šišky, která má denní intenzitu dopravy okolo 14 000 vozidel denně. Dále měření na stanici významně ovlivňuje místní zástavba rodinných a bytových domů (MŽP ©2020a).

Na této stanici byly posuzovány hodnoty $PM_{2,5}$, PM_{10} a benzo(a)pyrenu. Naměřený benzo(a)pyren na této stanici pochází především ze zahraničních zdrojů (mimo oblast reprezentativnosti) a to z 43 %. Dalším významným zdrojem je zde pak lokální vytápění (37 %) a silniční doprava (19 %) (MŽP ©2019b).



Obrázek 7: Stanice ALIB – Praha 4-Libuš (ČHMÚ ©2021b).



Obrázek 8: Umístění stanice ALIB - Praha 4-Libuš (mapy.cz).

3.5. Výběr a představení sledovaných znečištění

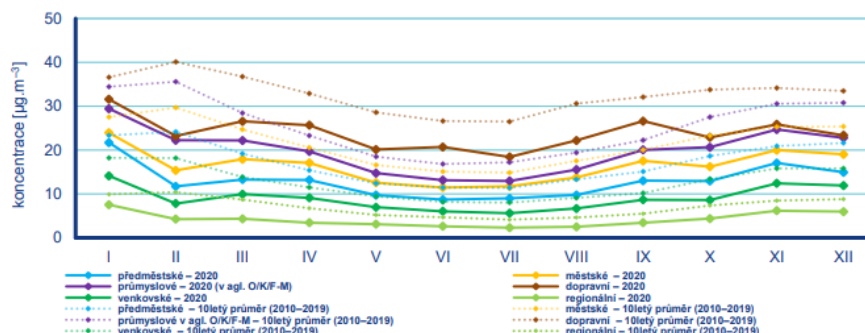
Ke sledování znečištění byly vybrány takové polutanty, které jsou dobře měřitelné, které mají významný vliv na zdraví obyvatelstva a které lze zároveň vhodně přisoudit určitému zdroji znečištění. Vybrány byly oxidy dusíku, suspendované částice PM₁₀ a PM_{2,5} a benzo(a)pyren.

3.5.1. Oxidy dusíku

Oxidy dusíku jsou označovány především látky oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO₂). Patří sem ale také další dusíkaté sloučeniny, ostatní oxidy dusíku nebo nitrózní plyny. Oxid dusnatý je bezbarvý, nehořlavý plyn bez zápachu. Na podílu emisí NO_x se podílí z více než 90 %. Oxid dusičitý je červenohnědý plyn s velmi štiplavým zápachem. Oxidy dusíku vznikají při vysokoteplotním spalování fosilních paliv, především v silniční dopravě. NO i NO₂ jsou na člověka ve vyšších koncentracích toxické, způsobují potíže horních cest dýchacích a další respirační problémy (Hemerka et Vybíral 2010).

V roce 2019 se nejvýznamněji na emisích oxidů dusíku podílel sektor silniční nákladní dopravy, osobní automobilové dopravy, nesilničních vozidel a ostatních strojů například v zemědělství a lesnictví, a to ze 40 % (ČHMÚ ©2021a). Dle § 44 zákona o ochraně ovzduší je pro oxidy dusíku stanoven imisní limit (IL) vyhlášený pro ochranu ekosystémů a vegetace 30 µg/m³ při době průměrování jednoho kalendářního roku. Pro oxid dusičitý je stanoven limit pro ochranu lidského zdraví 200 µg/m³ při době průměrování 1 hodiny s 18 možnými překročeními za kalendářní rok, a zároveň 40 µg.m³ při době průměrování jednoho kalendářního roku s žádným povoleným počtem překročení (zákon č. 201/2012 Sb.).

Graf na obrázku 9 znázorňuje vývoj měsíčních koncentrací NO₂ v ovzduší v roce 2020 dle typu měřicí stanice. Součástí grafu jsou také průměry měření typů stanic z let 2010-2019. Z grafu vychází, že k vyšším rozdílům mezi průměrnými hodnotami měření z roku 2020 a předešlých let dochází v období nouzových stavů, a to na stanicích městského a dopravního typu, kde je doprava hlavním emitentem emisí NO₂.



Obrázek 9: Roční chod průměrných měsíčních koncentrací NO_2 (průměry pro daný typ stanice) v roce 2020 (ČHMÚ ©2021).

3.5.2. Suspendované částice

Suspendovanými částicemi nazýváme směs pevných a kapalných částic suspendovaných v ovzduší. Tyto částice jsou děleny dle jejich maximálního aerodynamického průměru nejčastěji na PM_{10} (do $10 \mu\text{m}$), $\text{PM}_{2,5}$ (do $2,5 \mu\text{m}$) a PM_1 (do $1 \mu\text{m}$).

Čím menší jsou suspendované částice, tím hlouběji se v plicním systému dostanou. Zatímco hrubé částice bývají zachyceny sliznicí, $\text{PM}_{2,5}$ se dostanou i do krevního oběhu, menší částice (PM_1) pak způsobují škodu i na buněčné úrovni. Pevné částice způsobují kardiovaskulární onemocnění, které může zhoršit či způsobit srdeční arytmií, ischemickou srdeční chorobu, infarkt myokardu, vaskulární dysfunkci, hypertenzi a aterosklerózu (Rao et Vizuite 2020).

3.5.2.1. PM_{10}

V roce 2019 se na emisích PM_{10} nejvíce podílelo lokální vytápění, a to z 55 % (ČHMÚ ©2021a). Dle § 44 zákona 201/2012 Sb. je stanoven imisní limit pro ochranu zdraví lidí pro částice PM_{10} $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ při době průměrování za 24 hodin a 35 maximálním počtem překročení za kalendářní rok, a zároveň $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ při době průměrování jednoho kalendářního roku s žádným povoleným počtem překročení (zákon č. 201/2012 Sb.).

3.5.2.2. PM_{2,5}

Na znečištění ovzduší emisemi PM_{2,5} má vysoký podíl lokální vytápění. V roce 2019 tomu tak bylo u 71 % znečištění PM_{2,5} (ČHMÚ ©2021a). Dle § 44 zákona 201/2012 Sb. je stanoven imisní limit pro ochranu zdraví lidí pro částice PM_{2,5} 20 µg/m³ při době průměrování za jeden kalendářní rok s žádným povoleným počtem překročení (zákon č. 201/2012 Sb.).

3.5.3. Benzo(a)pyren

Benzo(a)pyren je polycyklický aromatický uhlovodík, který vzniká při nedokonalém spalování organických částic při teplotách okolo 300–600 °C. Výskyt benzo(a)pyrenu v ovzduší, který je zde většinou navázán na jemné frakce suspendovaných částic, vzbuzuje stále větší obavy kvůli jeho karcinogenitě a mutagenitě (Kim et al. 2013). Zdaleka nejvyšší podíl na emisích benzo(a)pyrenu má lokální vytápění (v roce 2019 tomu tak bylo u 96 % emisí) (ČHMÚ ©2021a). Dle § 44 zákona 201/2012 Sb. je stanoven imisní limit pro celkový obsah znečišťující látky v částicích PM₁₀ vyhlášené pro zdraví lidí pro benzo(a)pyren 1 ng/m³ při průměrování za jeden kalendářní rok (zákon č. 201/2012 Sb.).

3.6. Opatření mající možný vliv na znečištění ovzduší

V praktické části této bakalářské práce byly naměřené koncentrace znečišťujících látek v ovzduší porovnány párovým t-testem právě po dobu trvání nouzových stavů, kdy měla většina restriktivních omezení v rámci protiepidemických opatření platnost.

V roce 2020 byly v České republice vyhlášeny dvě období nouzových stavů.

3.6.1. První nouzový stav

První nouzový stav v roce 2020 na území České republiky byl vyhlášen usnesením vlády č. 69/2020 Sb. 12. března 2020 a následně byl prodloužen usneseními

vlády č. 156/2020 Sb. a č. 219/2020 Sb. (usnesení č. 69/2020 Sb.; usnesení č. 156/2020 Sb.; usnesení č. 219/2020 Sb.).

12. března byla také usnesením č. 201 zakázána školní docházka na základních, středních i vysokých školách (usnesení č. 74/2020 Sb.).

Dne 15. března 2020 vydala vláda České republiky usnesení č. 215 o zákazu volného pohybu osob. Tímto usnesením vláda ČR rozhodla o přijetí krizových opatření, která zakazují volný pohyb osob na území České republiky. Výjimkami omezení pohybu osob byly mimo jiné cesty do zaměstnání, nezbytné cesty za rodinou nebo osobami blízkými nebo cesty nezbytně nutné k obstarávání základních životních potřeb. Dále toto usnesení nařídilo osobám pobývajícím na území České republiky omezit pohyb na veřejně dostupných místech po dobu nezbytně nutnou a omezit kontakty s jinými osobami na nezbytně nutnou míru. Současně také usnesení doporučilo zaměstnavatelům nejvyšší možnou měrou využívání práce na dálku, podporu dovolené a placeného volna pro zaměstnance a omezení výkonu prací, které nejsou významné pro zachování činnosti zaměstnavatele (usnesení č. 85/2020 Sb.).

Nouzový stav trval až do jeho zrušení do 17. května. Trval tak dohromady 67 dní.

3.6.2. Druhý nouzový stav

Druhý nouzový stav byl vyhlášen usnesením vlády č. 391/2020 Sb. od 5. října 2020 ve spojitosti s opětovně vzrůstajícím počtem nakažených nemocí COVID-19. (usnesení č. 391/2020 Sb.).

S účinností ode dne 12. října 2020 vláda České republiky značně omezila provoz základních středních a vysokých škol (usnesení č. 401/2020 Sb.).

22. října 2020 bylo usnesením č. 1078 uvedeno v platnost krizové opatření o zákazu volného pohybu osob s podobnými zákazy, nařízeními a doporučeními jako v usnesení č. 215 ze dne 15. března (usnesení č. 424/2020 Sb.).

Tento nouzový stav trval až do 14. února roku 2021 s celkovou délkou 133 dní. V roce 2020 tento nouzový stav platil 88 dní.

Nouzový stav byl po dobu pandemie nemoci COVID-19 vyhlášen ještě několikrát. V roce 2021 v rozmezí od 1. března do 11. května platil na území České republiky dokonce zákaz cestování mezi okresy (usnesení č. 113/2021 Sb.). Toto omezení musí být dozajista zajímavé vzhledem k jeho vlivům na znečištění ovzduší na naměřené hodnoty, avšak tato bakalářská práce se věnuje pouze roku 2020.

3.7. Meteorologické a rozptylové podmínky v roce 2020

V roce 2020 byla na území České republiky naměřena průměrná teplota vzduchu 9,1°C. Teplota vzduchu byla tak o 1,2 °C vyšší, než byla průměrná teplota mezi lety 1981-2010, rok 2020 byl tedy nadnormální. Nejvýraznějšího navýšení teploty bylo v únoru, a to o 4,6 °C více, než je průměr let 1981-2010 (ČHMÚ ©2021a).

Průměrný roční úhrn srážek v roce 2020 na území ČR činil 766 mm. Představuje tak 112 % normálu 1981-2010 (ČHMÚ ©2021a).

Dobré rozptylové podmínky byly v ČR v roce 2020 zaznamenány ve 315 dnech, ve srovnání s desetiletým průměrem 2009-2019 je to navýšení o 7 % (ČHMÚ ©2021a).

4. Výsledky

4.1. Vliv nemoci COVID-19 na zdroje znečištění ovzduší v ČR

Šíření koronaviru SARS-CoV-2 a s ním spojená vládní nařízení mohla ovlivnit intenzitu znečištění v České republice z různých zdrojů. Těmi nejvýznamnějšími mohl být průmysl, doprava, lokální vytápění a energetika.

4.1.1. Průmysl

Za rok 2020 průmyslová produkce klesla meziročně o 8 % (ČSÚ 2021a).

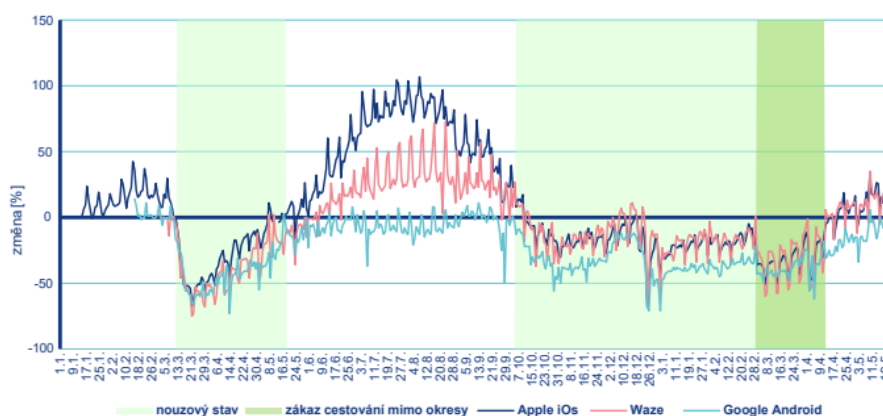
K meziroční změně průmyslové produkce nejvíce přispěla odvětví výroba motorových vozidel, přívěsů a návěsů (pokles o 12,3 %), výroba strojů a zařízení (pokles o 12,3 %) a výroba kovových konstrukcí a kovodělných výrobků (pokles o 9,2 %) (ČSÚ ©2021a).

Průmyslová produkce začala výrazně klesat v březnu, tedy v měsíci prvních restrikcí v souvislosti s pandemií koronaviru. Průmyslová produkce po očištění vlivu pracovních dnů meziročně klesla o 10,8 %, po vyloučení sezónních vlivů klesla meziměsíčně o 8,7 %. K meziroční změně průmyslové produkce v březnu roku 2020 nejvíce přispěla odvětví výroby motorových vozidel, přívěsů a návěsů (příspěvek -5,0 procentního bodu, pokles o 25,8 %) a výroby strojů a zařízení (příspěvek -1,6 p. b., pokles o 17,9 %) (ČSÚ ©2020a). V měsíci dubnu se meziroční průmyslová produkce snížila ještě razantněji, a to o 33,7 %, měsíčně o 23,4 %. V tomto období dosáhla průmyslová produkce ročního minima (ČSÚ ©2020b). Květen znamenal pro průmyslovou produkci po očištění o vliv počtu pracovních dnů meziroční pokles o 25,7 %. Meziměsíčně se ale produkce zvýšila a to o 13,8 %, po vyloučení sezónních vlivů (ČSÚ ©2020c).

Hrubá přidaná hodnota, představující nově vytvořenou hodnotu získanou institucionálními jednotkami z využívání svých výrobních kapacit, také odráží stav průmyslu v daném roce (ČSÚ ©2014). V roce 2020 se hrubá přidaná hodnota snížila oproti roku 2019 o 5,5 %. Na poklesu se průmysl podílel z 2,1procentního bodu (ČSÚ ©2021b).

4.1.2. Doprava

Pohyb obyvatelstva je dobře zjištělný pomocí anonymizovaných geolokačních dat z mobilních telefonů. Data mobility obyvatel byla poskytnuta od společností Google, Waze a Apple. Graf na obrázku 10 vyobrazuje vývoj mobility lidí na území České republiky v roce 2020 a první polovině roku 2021 v procentech oproti dlouhodobým průměrům. Na grafu je přehledně vyobrazeno období nouzového stavu světle zelenou barvou. Oproti dlouhodobým průměrům mobilita obyvatelstva klesla během nouzových stavů i o více než 50 %. Oproti tomu během léta 2020 byla mobilita uživatelů produktů Apple dle dat společnosti až čtyřikrát vyšší než během nouzových stavů (ČHMÚ ©2021a).

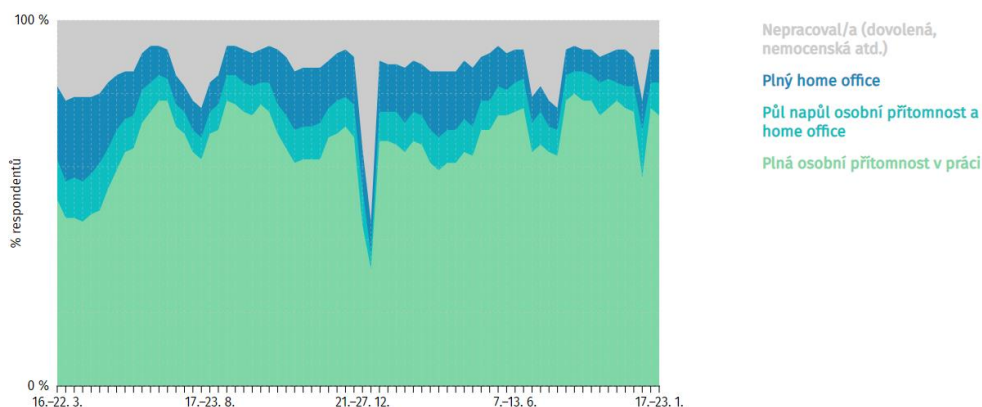


Obrázek 10: Vývoj mobility obyvatelstva v České republice od začátku roku 2020 do druhé poloviny května 2021. Vyjádřeno v procentech změny oproti dlouhodobým průměrům. (ČHMÚ ©2021a).

Práce z domova efektivně omezuje kontakty osob a tím pomáhá v zamezení předání viru SARS-CoV-2 na další osobu (Ministerstvo zdravotnictví ©2021a). Maximální možná míra práce z domova byla doporučena již usnesením vlády České republiky č. 215 z 15. března 2020, které na území České republiky zakázalo volný pohyb osob (usnesení č. 85/2020 Sb.).

Na obrázku 11 je pomocí dat o sociálním chování obyvatel vyobrazen poměr respondentů, kteří v určité dny pracovali formou plného home office, částečného home office, plnou přítomností v práci, či nepracovali. Nejvíce využívalo plného home office při jarní vlně epidemie v týdnu 6.-12.4.2020, kdy pracovalo z domova 23 % respondentů. Toto číslo se následně snižovalo, až v týdnu 15.-21.6.2020 kleslo

pod 10 %. Tohoto stavu bylo opět dosaženo až vyhlášením druhého nouzového stavu, v týdnu 5.-11.10.2020. Nejvyššího podílu respondentů pracujících z domova v druhé vlně pandemie bylo dosaženo v rozmezí od 19.10.-15.11.2020, na plného home office se účastnilo 16 % dotázaných. (Život během pandemie ©2022)



Obrázek 11: Graf představující vývoj poměru osob využívajících home office (Život během pandemie ©2022).

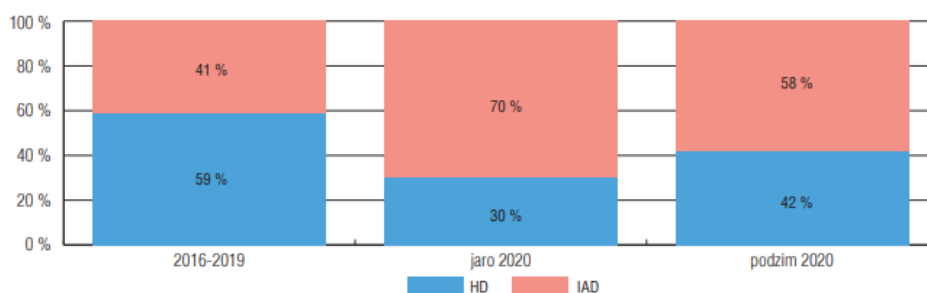
V roce 2020 došlo na území České republiky v souvislosti s pandemií COVID-19 ke značnému snížení přepravního objemu celkově o 25 % oproti přechodnému roku. Největší pokles ze všech typů přepravy měla letecká doprava. Ta kvůli omezením vstupu do ČR a omezením cestování do rizikových zemí zaznamenala velký úbytek přepravených osob. U českých dopravců byl tento pokles celoročně o zhruba 84 %. Městská hromadná doprava na území České republiky zaznamenala celkový pokles o 30 %. Individuální automobilová doprava byla pandemií COVID-19 omezena také, avšak oproti ostatním typům dopravy nejméně. Individuální osobní doprava poklesla o 17 %. (Ministerstvo dopravy ©2020)

4.1.2.1. Doprava v Praze

Automobilová doprava v Praze zaznamenala nejvyšší pokles ve 13. týdnu roku 2020 (23.-29.3.2020), 11 dní po vyhlášení nouzového stavu, kdy úbytek automobilové dopravy ve vztahu k hodnotám ze 7. týdne roku dosáhl zhruba 30 % poklesu. Během

letních prázdnin se automobilová doprava dostala na téměř standartní úroveň. Při druhé vlně pandemie roku 2020 automobilová doprava taktéž poklesla, ale propad počtu aut již nebyl tak výrazný, dosáhl jen poloviny poklesu oproti 13. týdnu (TSK hl. m. Prahy ©2021).

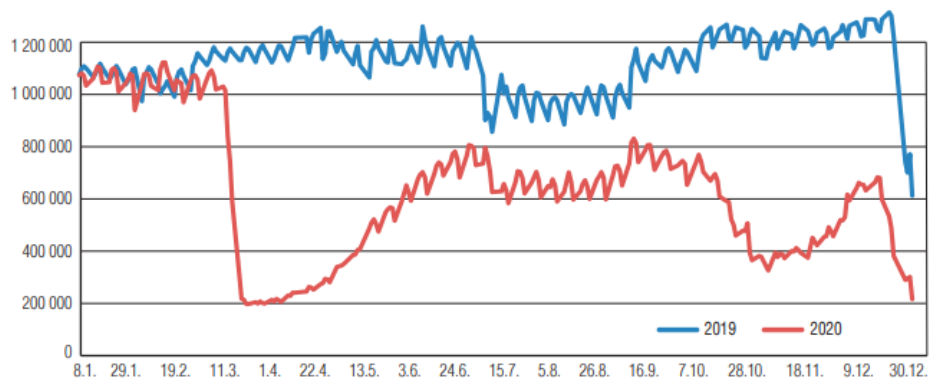
Graf (obrázek 12) zveřejněný Technickou správou komunikací hlavního města Prahy (TSK hl. m. Prahy) v ročence dopravy v Praze v roce 2020 ukazuje vývoj dělby přepravní práce. Porovnávána je zde proti sobě bilance cest hromadnou dopravou oproti individuální automobilové dopravě. Ve vývoji dělby přepravní práce došlo na jaře 2020 k poklesu hromadné dopravy na téměř poloviční úroveň z předešlých 59 % na 30 %. Naproti tomu individuální automobilová doprava posílila o 29 %. V období podzimu 2020 na rozdíl od předešlých let hromadná doprava poklesla mírněji, tentokrát o 17 %, individuální automobilová doprava vzrostla v tomto období o 17 % (TSK hl. m. Prahy ©2020).



Obrázek 12: Vývoj dělby přepravní práce (HD/IAD - hromadná doprava/individuální automobilová doprava) (TSK hl. m. Prahy ©2020).

V pražském metru došlo k prvnímu výraznému poklesu přepravovaných osob již pár dní před vyhlášeným nouzovým stavem (první nouzový stav v roce 2020 platný od 12.03.2020). Počet přepravovaných osob denně poklesl během jednoho týdne z normálního provozu více jak 1 milionu na 200 000 lidí (viz obrázek 13). V minulém roce v tomto období bylo přepravováno metrem denně 1 150 000 lidí, metro bylo tak využíváno pouze ze 17 % oproti roku 2019. Po úvodním skokovém propadu přepravovaných osob se jejich počet postupně navyšoval až do období letních prázdnin, kdy se úbytek poptávky osob zastavil na přibližně dvou třetinách oproti normálnímu stavu (TSK hl. m. Prahy ©2020).

Po začátku druhého nouzového stavu 5.10.2020 začal počet cestujících opět klesat, nicméně již ne tak náhle jako tomu bylo v březnu téhož roku. Ke konci roku 2020 si můžeme povšimnout dalšího razantního poklesu cestujících. K tomuto úbytku avšak dochází prakticky každý rok kvůli menší poptávce způsobené vánočními svátky. (TSK hl. m. Prahy ©2020).



Obrázek 13: Vývoj počtu přepravených osob v pracovní dny v metru v Praze v letech 2019 a 2020 (TSK hl. m. Prahy ©2020).

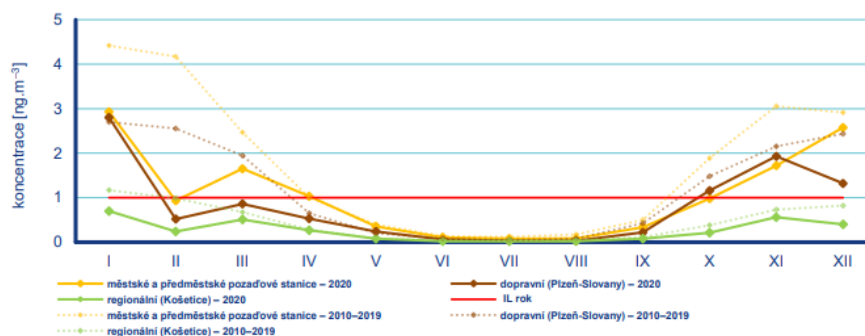
Vlivem koronavirové krize poklesl celkový roční počet přepravených osob v pražské integrované dopravě na území Prahy o cca 40 %. Jediným typem dopravy, který měl větší vytíženost oproti roku 2019, je cyklistická doprava. Ta dle automatických cyklosčítačů vzrostla meziročně o 38 % (TSK hl. m. Prahy ©2020).

4.1.3. Lokální vytápění

Zvýšenou dobou strávenou v domácnostech dochází ke zvýšenému využívání lokálního vytápění a s ním spojených zvýšených negativních vlivů na kvalitu ovzduší. Zvýšenou spotřebu lokálního vytápění lze tak usoudit dle grafu na obrázku 10 o mobilitě osob na území České republiky a obrázku 11 znázorňující zastoupení lidí pracujících z domova z výzkumu Život během pandemie.

Dle analýzy dat na venkovské měřicí stanici na Ostravsku, která se zaměřuje především lokálním vytápěním nebyl zjištěn žádný pokles koncentrací PM_{2,5}. Protiepidemická opatření tak zde neměla výrazný vliv na lokální vytápění (Bitta et al. 2021).

Jedním z ukazatelů rozdílu lokálního vytápění oproti předešlým letům je koncentrace benzo(a)pyrenu (viz obrázek 14). Emise tohoto polutantu byly výrazně menší oproti průměru z let 2010-2019.



Obrázek 14: Roční chod průměrných měsíčních koncentrací benzo(a)pyrenu (průměry pro daný typ stanice) v roce 2020 a v průměru let 2010-2019 (ČHMÚ ©2021a).

4.1.4. Energetika

V roce 2020 bilance výroby elektrické energie dle předběžných údajů poklesla oproti roku 2019 o 6 % na 81 443 GWh z původních 87 031 GWh. Na úbytku se podílela prakticky výhradně jen výroba elektřiny z parních elektráren (ČSÚ ©2022). Na tomto úbytku se z velké části podílelo uzavření hnědouhelné elektrárny Prunéřov I (Obnovitelně.cz ©2020).

4.2. Dopad pandemie koronaviru na znečištění ovzduší ve světě

Dle výzkumu dat ze satelitních snímků v Číně byl po zavedení vládních opatření zaznamenán prudký pokles emisí NO₂, polutantu, jež bývá občas nazýván ukazatelem životního prostředí. Dospělo se tak k závěru, že místní přísná karanténní opatření prospívají životnímu prostředí. Snižující se ekonomické aktivity vedly ke snížení spotřeby energie a emisí NO₂. Ke snížení koncentrací NO₂ došlo nejprve v okolí Wuhanu a dále i v celé zemi. Zlepšení kvality ovzduší tak kopírovalo trasu silných opatření proti nákaze koronaviru. Následně stále více regionů přijímalo karanténní opatření, což vedlo k výrazně zlepšené kvalitě ovzduší. Tento jev zřejmě

naznačuje úzkou souvislost mezi ekonomikou a znečištěním životního prostředí. Snížení ekonomických aktivit a dopravní omezení přímo ovlivňují změny ve spotřebě energie v Číně a účinně snižují tvorbu znečištění životního prostředí (Wang et Su 2020).

Naměřené hodnoty koncentrací znečištění NO_x , $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} a dalších polutantů se extrémně snížily po zavedení lockdownu především v průmyslových zemích, kde byly zastaveny výrobní linky, a kde zaměstnanci začali pracovat z domova. Takovými zeměmi byla například Čína, Indie a Itálie (Albayati et al. 2021).

Evropská agentura pro životní prostředí (EEA) ve své zprávě o kvalitě ovzduší v Evropě, kterou každoročně vydává, prohlašuje, že všechny odhady ukazují, že se v dubnu roku 2020 koncentrace NO_2 v ovzduší značně snížily, a to nezávisle na meteorologických podmínkách (EEA ©2020). Naměřená relativní snížení NO_2 se napříč městy a zeměmi značně lišila. Relativní snížení koncentrací polutantů v ovzduší byla nejvyšší tam, kde byla pandemická opatření proti šíření COVID-19 přísnější, jako tomu bylo ve Španělsku, Itálii a Francii (snížení až o 70 %) a zároveň jak moc bylo místo měření blízko dopravě. Menší snížení koncentrací NO_2 bylo v centrální a východní Evropě (EEA ©2020).

K většinovému poklesu došlo také u koncentrace PM_{10} napříč Evropou jako důsledek omezení pohybu osob, avšak menší mírou, než tomu tak bylo u emisí NO_2 . K nejvyššímu snížení znečištění PM_{10} došlo ve Španělsku a Itálii, a to až o 40 %. Posouzení o změnách koncentrací PM_{10} bylo více nejisté než u NO_2 , především kvůli navýšení jiného zdroje emisí, v tomto případě hlavně lokálního vytápění (EEA ©2020).

Srovnávací analýza koncentrace zdraví škodlivých částic $\text{PM}_{2,5}$ v typickém období běžného režimu a během platících protiepidemických opatřeních byla provedena autory Rodríguez-Urrego et Rodríguez-Urrego (2020). Analýza byla prováděna v 50 hlavních městech, která jsou nejvíce znečištěná $\text{PM}_{2,5}$. Mezi těmito městy byla i Praha. Obecně výsledky ukázaly, že demobilizace automobilů a ukončení provozu továren hrají důležitou roli při snižování znečištění v hlavních městech. U většiny analyzovaných měst došlo ke snížení koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ během restriktivních opatřeních osob a k příznivé obnově kvality ovzduší (Rodríguez-Urrego

et Rodríguez-Urrego 2020).

Dopadem nemoci COVID-19 na koncentrace oxidu uhelnatého (CO) se zabýval Barua et Nath (2021). Článek mimo jiné obsahuje zjištění ukazující konzistentní důkaz na úrovni všech 35 zkoumaných zemí a napříč regiony, že dlouhodobé zvýšení mobility uvnitř budov snižuje emise oxidu uhelnatého, zatímco zvýšení venkovní mobility emise zvyšuje. Zjištění celkově naznačují, že snížení zbytečné venkovní mobility by mohlo přispět ke zlepšení kvality ovzduší v postpandemickém světě (Barua et Nath 2021).

V zemích, kde opatření přijata nebyla, docházelo i k nárůstu znečištění ovzduší jako například na Taiwanu. Během pandemie se zaznamenalo 3-7 % navýšení polutantů CO, O₃, SO₂, PM₁₀ a PM_{2,5}. Tento nárůst znečištění je především důsledkem změny preferovaného způsobu přepravy od veřejné dopravy k osobním motorovým vozidlům (Chang et al. 2021). Taiwan je tak jeden z případů, kdy se během pandemie viru SARS-CoV-2 kvalita ovzduší zhoršila.

4.3. Další souvislosti koronaviru a znečištění ovzduší

Mezi onemocněním COVID-19 a znečištěním ovzduší existují i další vztahy, než je změna koncentrací znečišťujících látek v ovzduší po implementaci opatření proti šíření nemoci. Existuje zde možná souvislost dlouhodobého vystavení znečištění ovzduší na zranitelnost a citlivost na nemoc COVID-19. Dále se také ukazuje, že znečištěné ovzduší může být dalším faktorem při šíření viru SARS-CoV-2 (EEA ©2020).

Znečištěné ovzduší je jednou z příčin onemocnění plic. Onemocnění COVID-19 často provází dýchací potíže. Vyskytuje se tak podezření, že dlouhodobé znečištění ovzduší obzvláště jemnými částicemi způsobuje vyšší počet případů COVID-19. Znečišťující látky snižují zdravotní stav plic a způsobují zvýšený příjem viru SARS-CoV-2. To má za následek vážné stavy u pacienta a může způsobit smrt (Albayati et al. 2021).

Souvislost vyšší nákazy COVID-19 v prostředí se zhoršeným znečištěním ovzduší bylo zkoumáno mimo jiné v Německu, kde dle dat o znečištění z let 2002-2020 v 400 německých regionech bylo zjištěno, že na území dlouhodobě

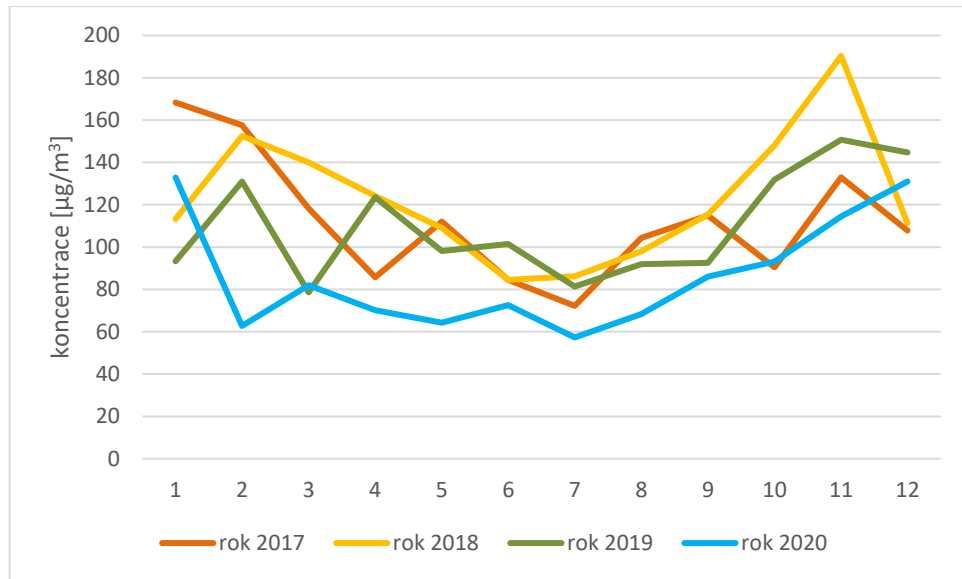
znečištěném PM_{2,5} o 1 µg/m³ vyšším, je spojeno s o 199,46 (SD=29.66) více onemocněními COVID-19 na 100 000 obyvatel. Při stejném znečištění PM₁₀ je o 52,38 (SD=12,99) více onemocněními COVID-19 na 100 000 obyvatel. Vyšší dlouhodobé znečištění ovzduší může dokonce zvýšit úmrtnost na COVID-19 (Prinz et Richter 2022).

Podobný výzkum byl proveden i ve vědeckém článku zabývající se vlivem dlouhodobého vystavení znečištění ovzduší na výskyt COVID-19 v Kanadě, Itálii, Anglii a Spojených státech. Článek mimo jiné prohlašuje, že u zvýšení dlouhodobé expozice PM_{2,5} o 1 µg/m³ v USA, se navyšuje míra výskytu COVID-19 o 12,6 %. Oproti tomu Anglie (2,9 %), Itálie (0,5 %) a Kanada zaznamenala dokonce ochranný efekt znečištěním PM_{2,5}. Tento ochranný efekt je ale charakterizovaný velkou nejistotou měření. Analýza zjistila, že odvozený vztah mezi dlouhodobými vnějšími expozicemi PM_{2,5} a NO₂ a výskyt COVID-19 je ve zkoumaných zemích nekonzistentní (Huang et al. 2021). K existenci přímého vztahu mezi znečištěním ovzduší a úmrtností na nemoc COVID-19 dospěli ve svém výzkumu také Albayati et al. (2021).

K přenosu viru SARS-CoV-2 nejspíše přispívá nejen dlouhodobé znečištění ovzduší částicemi PM_{2,5}, ale i krátkodobé. Vir je schopen se přichytit na suspendované částice a zůstat životaschopný až několik hodin. Následným vdechnutím částice i s virem se tak vir dostane až hluboko do plic, kde může napáchat větších škod na zdraví (Xu et al. 2022). Z důvodů přilnutí viru na pevné částice hraje důležitou roli také rychlost větru. Zatímco malý nebo žádný vítr způsobuje stagnaci částicových sloučenin smíchaných s virovými látkami, které mohou podpořit šíření COVID-19 ve městech, tak vysoká rychlost větru rozptýlí částic zlepšuje a zmírňuje tak šíření nemoci COVID-19 (Coccia 2021).

4.4. Naměřené hodnoty na vybraných měřících stanicích

Z dat měřící stanice ALEG – Praha 2-Legerova (hot spot), dostupných v tabelárních ročenkách na internetových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu, byl nejprve vytvořen graf (obrázek 15) ročního chodu průměrných měsíčních koncentrací NO_x v letech 2017, 2018, 2019 a 2020. Průměrné koncentrace byly v roce 2020 na značně nižších hladinách, než tomu bylo v předešlých letech.



Obrázek 15: Roční chod průměrných měsíčních koncentrací NO_x ze stanice ALEG - Praha 2-Legerova (hot spot) v letech 2017, 2018, 2019 a 2020.

Ze stejného zdroje dat, jako byl vytvořen graf na obrázku 15, byla pro ověření hypotézy, zda jsou rozdíly mezi měřeními mezi jednotlivými roky na testované hladině statisticky významné, provedena statistická analýza použitím párového t-testu.

stanice ALEG Praha 2-Legerova (hot spot)				
1. nouzový stav				
rok	2017	2018	2019	2020
NO _x [µg/m ³]	107,27 ± 50,26	118,75 ± 49,17	104,77 ± 47,98	71,91 ± 32,6
p-hodnota	(ref)	0,156	0,751	<0,001
		(ref)	0,083	<0,001
			(ref)	<0,001
PM ₁₀ [µg/m ³]	19,69 ± 8,51	29,35 ± 11,26	24,27 ± 12,54	25,9 ± 14,17
p-hodnota	(ref)	<0,001	0,034	0,006
		(ref)	0,009	0,069
			(ref)	0,47
PM _{2.5} [µg/m ³]	13,59 ± 6,63	17,38 ± 8,66	16,31 ± 9,32	15,61 ± 9,49
p-hodnota	(ref)	0,005	0,084	0,197
		(ref)	0,454	0,195
			(ref)	0,679

2. nouzový stav				
rok	2017	2018	2019	2020
NO _x [μg/m ³]	111,02 ± 71,4	152,09 ± 77,53	144,99 ± 81,86	111,74 ± 51,03
	(ref)	<0,001	0,002	0,969
p-hodnota		(ref)	0,497	<0,001
			(ref)	0,002
PM ₁₀ [μg/m ³]	20,66 ± 13,83	36,03 ± 21,18	29,23 ± 15,56	23,76 ± 11,82
	(ref)	<0,001	<0,001	0,067
p-hodnota		(ref)	0,015	<0,001
			(ref)	0,007
PM _{2.5} [μg/m ³]	15,34 ± 11,17	26,65 ± 15,58	21,64 ± 12,59	17 ± 9,39
	(ref)	<0,001	0,001	0,198
p-hodnota		(ref)	0,023	<0,001
			(ref)	0,003

Tabulka 1: Průměr a směrodatná odchylka denních průměrných hodnot polutantů NO_x, PM₁₀ a PM_{2.5} v období nouzových stavů na měřící stanici ALEG - Praha 2-Legerova (hot spot) v letech 2017, 2018, 2019 a 2020. Tabulka zobrazuje také p-hodnoty párového t-testu mezi jednotlivými roky.

Statisticky významným se ukazuje rozdíl mezi naměřenými hodnotami NO_x ve zkoumaných dnech prvního nouzového stavu roku 2020 oproti všem předešlým srovnávaným rokům (tabulka 1). Tento rozdíl mezi naměřenými hodnotami je o to více signifikantní, že vzájemně mezi předchozími lety data vyšla dle testované hladiny jako stejná (jejich rozdíl nebyl statisticky významný). V porovnání s předchozím rokem se koncentrace NO_x snížila o 31 %. V období druhého nouzového stavu byla situace podobná s tím rozdílem, že rozdíl NO_x je zde statisticky významný jen ve srovnání s lety 2018 a 2019. Oproti roku 2019 poklesla koncentrace oxidů dusíku o 23 %. Znečištění ovzduší NO_x v roce 2017 zde bylo vůči dvěma nadcházejícím letům malé, jak i dokazuje velmi malá p-hodnota mezi těmito roky. Koncentrace NO_x v roce 2020 v období druhého nouzového stavu dosáhla velmi podobných hodnot jako tomu bylo v roce 2017.

Rozdíl naměřených koncentrací PM₁₀ v období prvního nouzového stavu byl na stanici v Legerově statisticky významný pouze ve srovnání s rokem 2017. Oproti letům 2018 i 2019 byl rozdíl koncentrací PM₁₀ příliš malý, aby byl uznán statisticky

významným. Naprosto opačně tomu tak bylo u druhého nouzového stavu. Zde byl pokles naměřené koncentrace částic PM₁₀ statisticky významný vůči rokům 2018 a 2019 a nebylo tomu tak v roce 2017. První nouzový stav neměl významný dopad na koncentraci částic PM_{2,5} vůči žádným předchozím zkoumaným rokům. Naproti tomu v období druhého nouzového stavu byly naměřené hodnoty PM_{2,5} významně nižší oproti letům 2018 a 2019.

stanice ALIB Praha 4-Libuš				
1. nouzový stav				
rok	2017	2018	2019	2020
Benzo(a)pyren [ng/m ³]	0,47 ± 0,38 (ref)	0,43 ± 0,42 0,423	0,43 ± 0,21 0,84	0,53 ± 0,34 0,626
p-hodnota		(ref)	1 (ref)	0,433 0,358
PM ₁₀ [μg/m ³]	18,17 ± 7,36 (ref)	23,82 ± 10,39 <0,001	19,63 ± 9,04 0,136	19,57 ± 10,9 0,416
p-hodnota		(ref)	0,012 (ref)	0,029 0,97
PM _{2,5} [μg/m ³]	14,52 ± 6,49 (ref)	18,44 ± 7,65 0,001	14,02 ± 8,38 0,567	16,02 ± 8,16 0,29
p-hodnota		(ref)	0,002 (ref)	0,061 0,151
2. nouzový stav				
rok	2017	2018	2019	2020
Benzo(a)pyren [ng/m ³]	1,07 ± 0,51 (ref)	1,27 ± 0,4 0,225	1,23 ± 0,68 0,701	0,85 ± 0,33 0,194
p-hodnota		(ref)	0,947 (ref)	0,066 0,366
PM ₁₀ [μg/m ³]	16,71 ± 10,09 (ref)	25,4 ± 15,02 <0,001	17,56 ± 9,43 0,438	15,37 ± 7,05 0,283
p-hodnota		(ref)	<0,001 (ref)	<0,001 0,063

PM _{2.5} [µg/m ³]	13,35 ± 8,21	21,82 ± 13,3	13,64 ± 7,59	12,04 ± 6,54
	(ref)	<0,001	0,651	0,224
p-hodnota		(ref)	<0,001	<0,001
			(ref)	0,118

Tabulka 2: Průměr a směrodatná odchylka denních průměrných hodnot polutantů NO_x, PM₁₀ a PM_{2,5} v období nouzových stavů na měřicí stanici ALIB – Praha 4-Libuš v letech 2017, 2018, 2019 a 2020. Tabulka zobrazuje také p-hodnoty párového t-testu mezi jednotlivými roky.

Rozdíly hodnot benzo(a) pyrenu naměřené na stanici v Libuši nebyly statisticky významné oproti žádnému z přechozích let. Průměrná koncentrace benzo(a)pyrenu se za měsíce březen, duben a květen zvýšila z hodnoty 0,43 ng/m³ v roce 2019 na 0,53 ng/m³. Za měsíce říjen, listopad a prosinec se průměrná koncentrace benzo(a)pyrenu snížila na hodnotu 0,85 ng/m³ v roce 2020, zatímco v předchozím roce dosahovala 1,23 ng/m³.

Rozdílné množství koncentrace naměřených částic PM₁₀ i PM_{2,5} v ovzduší na stanici v Libuši v roce 2020 nebylo oproti ostatním rokům statisticky významné. Výjimkou je zde srovnání s rokem 2018. Naproti tomu byl ale tento rok rozdíl částic PM₁₀ a PM_{2,5} významný se všemi srovnávanými hodnotami z předešlých let.

5. Diskuze

Protiepidemická opatření mohou mít pozitivní i negativní efekt na znečištění ovzduší. Lepší kvalita ovzduší mohla být způsobena omezením průmyslu a poklesem dopravy a s nimi spojenými emisemi. Negativní efekt na ovzduší spojený s pandemií koronaviru je způsoben vyšším využíváním lokálního vytápění a změnou preference jízdy osobním automobilem, nežli hromadnou dopravou (EEA ©2020; Chang et al. 2021).

Zdroje znečištění ovzduší v České republice byly značně ovlivněny vládními opatřeními proti šíření nemoci COVID-19. Nebylo tomu jinak ani u průmyslové produkce. Dle vyjádření Radka Matějky, ředitele odboru statistiky zemědělství a lesnictví, průmyslu, stavebnictví a energetiky, poklesla průmyslová produkce nejvíce od krize v roce 2009 (ČSU ©2021). I tak ale neměla na průmyslové odvětví pandemie viru SARS-CoV-2 tak významný vliv, jako tomu bylo v jiných industriálních zemích, jako tomu tak bylo v Číně, Indii, či Itálii (Albayati et al. 2021).

K poklesu průmyslu došlo především v období prvního nouzového stavu, po zavedení prvních restrikcí týkajících se pohybu. Nejvýraznější pokles průmyslové produkce se uskutečnil v měsících dubnu a květnu, v ostatních měsících produkce již nebyla protiepidemickými opatřeními zřejmě natolik ovlivněna. Dokonce ani vyhlášení nouzového stavu v měsíci srpnu nemělo na průmyslovou produkci výrazný efekt. Průmyslová produkce se postupně přizpůsobila omezenému fungování způsobeným restriktivními opatřeními, což mohlo mít určitý dopad na změnu reakce produkce mezi prvním a druhým nouzovým stavem.

Výroba elektrické energie v roce 2020 oproti předchozímu roku poklesla. Daný pokles je ale způsoben především vyřazením elektrárny Prunéřov I, a tak tento rozdíl nemůže být brán jako důsledek opatření proti šíření koronaviru.

Dalším zkoumaným odvětvím byla doprava. Data o dopravě na území České republiky korelovala s daty o využívání práce z domova i celkové mobilitě dat dle mobilní geolokace. Měření intenzity dopravy a mobility také ukázala, že se vyvíjela v přímé závislosti na vládních opatřeních. Dle očekávání v České republice poklesla doprava napříč jejími typy – letecká, automobilová i hromadná. Jedinou výjimku zde

tvořila cyklistická doprava. Zajímavé je zjištění o vývoji dělby přepravní práce mezi hromadnou a individuální automobilovou dopravou v Praze. Z dílčích výsledků vyplývá, že lidé při výběru způsobu přepravy měli tendence k omezení styků s ostatními účastníky dopravy. Vybírali tak nejen na základě v tu dobu platných opatření, ale i s ohledem na svoji vlastní bezpečnost. V období druhé vlny pandemie se vytíženost pražského metra i poměry dělby přepravní práce přiblížily původnímu stavu, což může značit menší obavy lidí z přenosu nemoci.

Ukazuje se, že útlum dopravy měl na znečištění ovzduší pozitivní efekt. Lze tak vidět z průměrných měsíčních koncentrací NO_x v ulici Legerova v porovnání s předchozími lety a bylo tak i potvrzeno provedeným statistickým testem na měřicí stanici ALEG. Dle výsledků se také ukázalo, že prací z domova lze omezit vypouštění různých emisí do ovzduší především skrze omezení mobility a s ní spojeným vypouštěním emisí z dopravy. Nabídka častějšího home office by tak mohla přinést nejen vyšší kvalitu vzduchu, který dýcháme, ale také například zmenšit náklady za kanceláře pro firmy. Bude zajímavé pozorovat, jak se k tomuto zaměstnavatelé postaví a jestli se stane home office součástí běžného pracovního vytížení.

Z obrázku 14 lze vidět, že průměrné koncentrace benzo(a)pyrenu na všech typech stanic byly v roce 2020 nižší, nežli v průměru let 2010-2019. Nicméně ke zlepšování kvality ovzduší, co se týče benzo(a)pyrenu, dochází každoročně již od roku 2016. Na grafu je ale přeci jen vidět zmenšený rozdíl průměrné koncentrace polutantu oproti srovnávaným průměrům z předchozích let. Tato skutečnost by i nahrávala předpokladu, že se kvůli protiepidemickými opatřeními zvednou emise z lokálního vytápění. Je nutné také vzít v úvahu, že nadprůměrně dobré meteorologické a rozptylové podmínky pozitivně ovlivnily naměřené emise. Pozorování je tak nutné při porovnávání s předchozími lety brát jen v omezené míře. Dobré kvality ovzduší bylo dosaženo zajisté také kvůli obměně kotlů v domácnostech, které mají podstatný vliv na znečištění PM₁₀, PM_{2,5} a benzo(a)pyrenu. V roce 2020 poklesl prodej kotlů oproti předchozímu roku o 33 %, zatímco zastoupení nízkoemisních kotlů se každým rokem navyšuje (MPO ©2021). Tato obměna kotlů byla podporována například takzvanými „kotlíkovými dotacemi“ (SFŽP ©2022). Dalšími zdroji, které mají vliv na kvalitu ovzduší, ale nesouvisí s nemocí COVID-19, jsou například obnova vozového parku nebo vyšší nabídka pokročilejších technologií, které jsou více šetrné k životnímu

prostředí.

Na šíření viru SARS-CoV-2 reagovaly země napříč světem různě. Ukázalo se, že změna kvality ovzduší byla závislá na míře vládních restrikcí. Na téměř všech lokalitách se zmenšila koncentrace oxidů dusíku, a to jednak kvůli omezené průmyslové výrobě, ale také z důvodu omezené dopravy. Výjimku v tomto případě tvořil Taiwan, kde kvůli strachu z nákazy nemoci COVID-19 obyvatelé upřednostňovali jízdu autem oproti městské hromadné dopravě (Chang et al. 2021).

Zpráva o kvalitě ovzduší v Evropě od Evropské agentury pro životní prostředí poukazuje na zkreslení přisuzování určitého polutantu ke konkrétnímu zdroji znečištění. Zatímco na dané lokalitě se mohly snížit například emise z dopravy, mohl je nahradit naopak zvýšený počet částic polutantu z lokálního vytápění a zkreslit tak interpretaci výsledků (EEA ©2020). Toto tvrzení je důležité i pro předcházející a následující odhady poklesů emisí zdrojů znečištění ovzduší.

Další pozitivní efekt protiepidemických opatření uvádí Ye et al. (2021) na příkladu 367 čínských měst, které byly výrazně zasaženy pandemií koronaviru. Bylo zde odhadnuto, že zlepšením kvality ovzduší z nakázaného lockdownu, bylo zabráněno 11 617 úmrtím. Z těchto zamezených úmrtí byly vypočteny přínosy o celkové výši okolo 10 miliard amerických dolarů (Ye et al. 2021).

Napříč odbornými články bylo prokázáno, že kvalita ovzduší především v městských oblastech velmi dobře reaguje na omezení zdrojů znečištění, a tedy že znečištěné ovzduší není nutnou součástí života ve městě. Důležité pak bude ohlédnutí zpět na dobu v pandemii. Nabízí se zde možnost nahlédnutí na celý lockdown jako na jeden velký experiment, který ukazuje, jak by vypadal svět s omezenou lidskou mobilitou. Pandemie koronaviru by tak mohla být přínosem v otázkách městského plánování a udržitelnosti lidského fungování. Toto období, které dozajista nebylo pro nikoho jednoduché, by tak mohlo být přínosem pro mnoho nadcházejících generací.

Z výsledku párového t-testu mezi denním měřením koncentrací polutantů lze usoudit, že největší rozdíl mezi lety v období nouzových stavů byl u emisí NO_x. V porovnání s rokem 2019 se koncentrace NO_x naměřené během prvního nouzového stavu snížily o 31 %, v období druhého nouzového stavu o 23 %. Tyto emise byly měřeny na dopravní stanici ALEG v Praze 2 Legerova (hot spot), kde má silniční

doprava výrazný podíl na emise NO₂, a tedy i NO_x. Lze usoudit, že za poklesem NO_x na stanici stál právě úbytek dopravy. Bylo by tak i potvrzeno, že útlum dopravy, který se odehrál po celé České republice i Praze, měl významný efekt na kvalitu ovzduší v okolí stanice.

Během druhého nouzového stavu došlo k většímu poklesu částic PM₁₀ a PM_{2,5} na dopravní stanici blíže centru města, nežli u pozad'ové stanice nacházející se více na městském okraji. Znamená to, že v tomto období byl větší dopad pandemie a opatření proti šíření viru na zdroje znečištění ovzduší v centru Prahy, kde má také výraznější vliv na naměřené emise doprava. Neočekávaným výsledkem je, že v druhém nouzovém stavu na stanici ALEG – Praha 2-Legerova (hot spot) byly rozdíly naměřených hodnot statisticky významnější, nežli v prvním nouzovém stavu. Takové zjištění by bylo v rozporu s výsledkem, kdy zdroje znečištění byly za období druhého nouzového stavu ovlivněny pandemií podstatně méně než za prvního nouzového stavu.

Koncentrace benzo(a)pyrenu se na stanici v Libuši v období prvního nouzového stavu meziročně lehce zvýšila, v období druhého nouzového stavu naopak meziročně snížila, přičemž ani jeden z uvedených rozdílů nebyl párovým t-testem uznán za statisticky významný. Podle analýzy dat tak nedošlo v lokalitě stanice k významné změně koncentrací benzo(a)pyrenu, z čehož lze usoudit, že dopad pandemie koronaviru na lokální vytápění zde nebyl natolik výrazný. Analýza stanice v Libuši tak došla ke stejnému závěru jako analýza venkovské monitorovací stanice na Ostravsku (Bitta et al. 2021).

Důležitým faktorem, který nebyl analýzou uvažován, jsou meteorologické a rozptylové podmínky. Je tak nutno brát v potaz, že data mohou být zkreslená. Vhodná by byla analýza, která by s meteorologickými a rozptylovými faktory počítala. Vývojem analytické metody, která by byla schopna zohlednit vliv meteorologických podmínek se věnovali Bitta et al. (2021), kteří metodu shlukové analýzy použili na odhad vlivu protiepidemických opatření na kvalitu ovzduší na Ostravsku.

Kvůli velmi novému a aktuálnímu tématu nebyla nalezena žádná bakalářská ani diplomová práce, která by se zabývala dopadem pandemie koronaviru na zdroje znečištění ovzduší v České republice a dopadem pandemie na kvalitu ovzduší ve světě. Porovnání prací se nabízí s publikací od Českého hydrometeorologického ústavu s názvem Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020, která kromě

každoročního souhrnu kvality ovzduší v České republice obsahuje i přílohu, která se věnuje kvalitě ovzduší na území České republiky během nouzových stavů. Po určení kategorií opatření, které mohly mít vliv na kvalitu ovzduší, zde byly srovnány uvedené dopady pandemie na kvalitu znečištění oproti evropským zemím. Toto porovnání proběhlo na základě Zprávy o kvalitě ovzduší v Evropě publikovanou Evropskou agenturou pro životní prostředí. I tato zpráva obsahovala, vyjma každoroční zprávy o kvalitě ovzduší, i speciální kapitolu o vlivu lockdownu v souvislosti s nemocí COVID-19 na kvalitu ovzduší, ve které bylo srovnání evropských zemí z pohledu vývoje polutantů NO_2 a PM_{10} . Podobným tématem této bakalářské práci se zabývala Bočková (2022) ve své diplomové práci s názvem Analýza znečištění ovzduší metodami dálkového průzkumu Země na území Ukrajiny se zaměřením na COVID-19. V této práci byly zkoumány koncentrace polutantů na území Ukrajiny z družicových snímků mimo jiné také na jaře 2020. V práci bylo zjištěno, že na sledovaném území došlo k výrazným poklesům polutantů (Bočková 2022).

Dopadem pandemie COVID-19 na znečištění ovzduší se zabýval také článek od Víchová et al. (2021). Na datech z hodinových měření koncentrací PM_{10} a NO_2 na dopravní stanici v Uherském Hradišti zde bylo cílem zjistit, zda v roce 2020 byly hladiny emisí polutantů nižší než v roce 2019. Pro porovnání úrovně znečištění v jednotlivých měsících byl zde použit dvouvýběrový t-test. V období, kdy byly vyhlášeny stavy nouze, bylo v roce 2020 ve srovnání s rokem 2019 pozorováno statisticky významné snížení naměřených koncentrací (Víchová et al. 2021).

6. Závěr

Nemoc COVID-19 a s ní spojená protiepidemická opatření měly vliv na zdroje znečištění ovzduší v České republice. Nejvíce dotčeným zdrojem znečištění byla doprava. Především v lokalitách, kde má silniční doprava četné zastoupení, došlo ke značnému zmenšení emisí oxidů dusíku. Úbytek tohoto polutantu potvrdilo také srovnání párovým t-testem na naměřených hodnotách ze stanice v centru Prahy, kde se koncentrace NO_x snížila ve srovnání s předchozím rokem až o 31 %. Analýza dat z měřících stanic potvrdila, že nemoc COVID-19 měla na naměřené hodnoty oxidů dusíku statisticky významný vliv. Nouzový stav měl větší dopad na dopravní stanici v ulici Legerova nežli na pozadřovou stanici v Libuši.

Srovnáním dopadů vládních opatření na zdroje znečištění ovzduší v období prvního a druhého nouzového stavu bylo zjištěno, že v prvním nouzovém stavu byly zdroje znečištění ovlivněny pandemií více. Z dosažených výsledků bylo odvozeno, že v případě omezení dopravy kvalita ovzduší výrazně a pozitivně zareaguje. Toto zjištění by mohlo být významné pro plánování dopravy a urbanizovaných území. Dále bylo z výsledků shledáno, že při restriktivních opatřeních dochází k určitému navýšení emisí z lokálního vytápění. Toto tvrzení avšak nebylo statistickým testem na datech z měřící stanice v Libuši potvrzeno. Méně výrazný dopad měla pandemie koronaviru na průmyslové odvětví a nepatrný vliv na energetiku.

Celosvětově měla opatření proti šíření viru SARS-CoV-2 výrazný dopad na znečištění ovzduší. Hlavním hybatelem snížení znečištění ovzduší se ukázala být doprava. Kvalita ovzduší hrála dokonce i významnou roli v šíření viru jejím navázáním na suspendované částice a usnadnily tak její přenos a vniknutí do dýchacího systému. Do budoucna je určitě důležité zhodnotit celkové dopady nemoci COVID-19 na znečištění ovzduší za celou dobu pandemie, nejen za rok 2020. Bylo by záhodné zvážit smysl průmyslové produkce ve srovnání s jejím dopadem na životní prostředí. Pandemie poukázala na to, který průmysl je nezbytný a v jaké míře má omezení průmyslu vliv na znečištění ovzduší. Data z mobility prokázala její negativní dopad na kvalitu ovzduší. Do budoucna bude důležité rozhodnout, zda by podstatnější omezení dopravy neměla smysl vzhledem ke zlepšenému životnímu prostředí.

7. Přehled literatury a použitých zdrojů

Odborná literatura

Albayati N., Waisi B., Al-Furaiji M., Kadhom M., Alalwan H., 2021: Effect of COVID-19 on air quality and pollution in different countries. *Journal of Transport & Health* Volume 21. P. 101061.

Bitta J., Svozilík V., Svozilíková Krakovská A., 2021: Effect of the COVID-19 Lockdown on Air Pollution in the Ostrava Region. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18. P. 8265.

Barua S., Nath S., 2021: The impact of COVID-19 on air pollution: Evidence from global data. *Journal of Cleaner Production* Volume 298. P. 126755.

Berman J., Ebisu K., 2020: Changes in U.S. air pollution during the COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment* Volume 739. P. 139864.

Chang H., Meyerhoefer C., Yang F., 2021: COVID-19 prevention, air pollution and transportation patterns in the absence of a lockdown. *Journal of Environmental management* Volume 298. P. 113522.

Coccia M., 2021: How do low wind speeds and high levels of air pollution support the spread of COVID-19? *Atmospheric Pollution Research* Volume 12 Issue 1. P. 437-445.

Hemerka J., Vybíral P., 2010: Ochrana ovzduší. České vysoké učení technické, Praha.

Huang G., Blangiardo M., Brown P., Pirani M., 2021: Long-term exposure to air pollution and COVID-19 incidence: A multi-country study. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology* Volume 39. P. 100443.

Kim K., Jahan S., Kabir E., Brown R., 2013: A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. *Environment International* Volume 60. P. 71-80.

Prinz A., Richter D., 2022: Long-term exposure to fine particulate matter air pollution: An ecological study of its effect on COVID-19 cases and fatality in

Germany. Environmental Research Volume 204, Part A. P. 111948.

Rao V., Vizuete W., 2020: Particulates Matter: Impact, Measurement, and Remediation of Airborne Pollutants. Elsevier, United States.

Rodríguez-Urrego D., Rodríguez-Urrego L., 2020: Air quality during the COVID-19: PM2.5 analysis in the 50 most polluted capital cities in the world. Environmental Pollution Volume 266 Part 1. P. 115042.

Vach M., 2005: Ochrana ovzduší. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Víchová K., Veselík P., Heinzová R., Dvořáček R., 2021: Road Transport and Its Impact on Air Pollution during the COVID-19 Pandemic. Sustainability 13 (21). P. 11803.

Wang Q., Su M., 2020: A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on environment – A case study of China. Science of The Total Environment Volume 728. P.138915.

Xu L., Taylor J., Kaiser J., 2022: Short-term air pollution exposure and COVID-19 infection in the United States. Environmental Pollution Volume 292 Part B. P. 118368.

Ye T., Guo S., Xie Y., Chen Z., Abramson M., Heyworth J., Hales S., Woodward A., Bell M., Guo Y., Li S., 2021: Health and related economic benefits associated with reduction in air pollution during COVID-19 outbreak in 367 cities in China. Ecotoxicology and Environmental Safety Volume 222. P. 112481.

Legislativní zdroje

Usnesení č. 69/2020 Sb., usnesení vlády České republiky č. 194 o vyhlášení nouzového stavu pro území České republiky z důvodu ohrožení zdraví v souvislosti s prokázáním výskytu koronaviru /označovaný jako SARS CoV-2/ na území České republiky na dobu od 14.00 hodin dne 12. března 2020 na dobu 30 dnů, v platném znění.

Usnesení č. 74/2020 Sb., usnesení vlády České republiky č. 201 o přijetí krizového opatření, v platném znění.

Usnesení č. 85/2020 Sb., Usnesení vlády České republiky č. 215 o přijetí krizového opatření, v platné znění.

Usnesení č. 156/2020 Sb., Usnesení vlády České republiky č. 396 o prodloužení nouzového stavu v souvislosti s epidemií viru SARS CoV-2, v platném znění.

Usnesení č. 219/2020 Sb., Usnesení vlády České republiky č. 485 o prodloužení nouzového stavu v souvislosti s epidemií viru SARS CoV-2, v platném znění.

Usnesení č. 391/2020 Sb., Usnesení vlády České republiky č. 957 o vyhlášení nouzového stavu pro území České republiky z důvodu ohrožení zdraví v souvislosti s prokázáním výskytu koronaviru /označovaný jako SARS CoV-2/ na území České republiky na dobu od 00:00 hodin dne 5. října 2020 na dobu 30 dnů, v platném znění.

Usnesení č. 401/2020 Sb., Usnesení vlády České republiky č. 997 o přijetí krizového opatření, v platném znění.

Usnesení č. 424/2020 Sb., Usnesení vlády České republiky č. 1078 o přijetí krizového opatření, v platném znění.

Usnesení č. 113/2021 Sb., Usnesení vlády České republiky č. 216 o přijetí krizového opatření, v platném znění.

Ústavní zákon č. 110/1998 Sb., o bezpečnosti České republiky, v platném znění.

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění.

Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon), v platném znění.

Internetové zdroje

ČHMÚ, ©2021a: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020 (online) [cit.2022.01.25], dostupné z

<https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/20_rocenka_UKO_v4_WEB_ISBN.pdf>.

ČHMÚ, ©2021b: Seznam lokalit, kde se měří znečištění ovzduší, ALIB (online) [cit. 2022.02.01], dostupné z

<https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_localit>

y/loc_ALIB_CZ.html>.

ČHMÚ, ©2021c: Systém sběru, zpracování a hodnocení dat v roce 2020 (online) [cit. 2022.03.10], dostupné z

<https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/20_teormet_komplet_final_26072021.pdf>.

ČHMÚ, ©2021d: Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika (online) [cit.2022.03.14], dostupné z

<https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/tab_roc_CZ.html>.

ČHMÚ, ©2022a: Seznam lokalit, kde se měří znečištění ovzduší, ALEG (online) [cit. 2022.02.01], dostupné z

<https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/loc_ALEG_CZ.html>.

ČSÚ, ©2014: Metodické vysvětlivky (online) [cit.2022.02.20], dostupné z <https://www.czso.cz/csu/czso/1304-05-v_roce_2004-metodicke_vysvetlivky>.

ČSÚ, ©2020a: Průmysl - březen 2020 (online) [cit.2022.02.18], dostupné z <<https://www.czso.cz/csu/czso/cri/prumysl-brezen-2020>>.

ČSÚ, ©2020b: Průmysl - duben 2020 (online) [cit.2022.02.18], dostupné z <<https://www.czso.cz/csu/czso/cri/prumysl-duben-2020>>.

ČSÚ, ©2020c: Průmysl – květen 2020 (online) [cit.2022.02.18], dostupné z <<https://www.czso.cz/csu/czso/cri/prumysl-kveten-2020>>.

ČSÚ, ©2021: Průmysl – prosinec 2020 (online) [cit.2022.02.17], dostupné z <<https://www.czso.cz/csu/czso/cri/prumysl-prosinec-2020>>.

ČSÚ, ©2021b: Tvorba a užití HDP – 4. čtvrtletí (online) [cit.2022.02.20], dostupné z <<https://www.czso.cz/csu/czso/cri/tvorba-a-uziti-hdp-4-ctvrtleti-2020>>.

ČSÚ, ©2022: Bilance elektrické energie (online) [cit.2022.03.23], dostupné z <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt&z=T&f=TABULKA&katalog=33415&pvo=ENE04&c=v3~8__RP2020>.

EC – European Commission, ©2022: Air Quality - Existing Legislation (online) [cit.2022.02.03], dostupné z

<https://ec.europa.eu/environment/air/quality/existing_leg.htm>.

EEA, ©2020: Air quality in Europe – 2020 report (online) [cit. 2022.02.10], dostupné z <<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>>.

Ministerstvo dopravy, ©2020: Ročenka dopravy České republiky 2020 (online) [cit. 2022.02.04], dostupné z <https://www.sydos.cz/cs/rocenka_pdf/Rocenka_dopravy_2020.pdf>.

Ministerstvo zdravotnictví, ©2021a: Home office (online) [cit.2022.02.23], dostupné z <<https://covid.gov.cz/situace/zamestnani/home-office>>.

Ministerstvo zdravotnictví, ©2021b: Nouzový stav (online) [cit. 2022.02.21], dostupné z <<https://covid.gov.cz/situace/onemocneni-obecne-o-opatrenich/nouzovy-stav>>.

MPO, ©2021: Prodej kotlů na tuhá paliva do 50 kW (online) [cit.2022.03.05], dostupné z <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/tuha-paliva/2021/6/Prodej-kotlu-na-tuha-paliva-do-50-kW-2014_2020.pdf>.

MŽP ©2019a: Aktualizace národního programu snižování emisí České republiky (online) [cit.2022.02.02], dostupné z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategicke_dokumenty/\\$FILE/000-Aktualizace_NPSE_2019-final-20200217.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategicke_dokumenty/$FILE/000-Aktualizace_NPSE_2019-final-20200217.pdf)>.

MŽP ©2019b: Analýza příčin znečištění ovzduší (online) [cit.2022.02.04], dostupné z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/aktualizace_programu_zlepsovani_kvality_ovzdusi_2020/\\$FILE/000-PZKO_analyza_CR-20191104.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/aktualizace_programu_zlepsovani_kvality_ovzdusi_2020/$FILE/000-PZKO_analyza_CR-20191104.pdf)>.

MŽP ©2020a: Program zlepšování kvality ovzduší, aglomerace Praha (online) [cit.2022.02.03], dostupné z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vestnik_mzp_2021/\\$FILE/SOTPR-Vestnik leden_2021_priloha4-210127.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vestnik_mzp_2021/$FILE/SOTPR-Vestnik leden_2021_priloha4-210127.pdf)>.

MŽP ©2020b: Úvodní informace k analytické části PZKO 2020+ (online) [cit.2022.02.04], dostupné z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/aktualizace_programu_zlepsovani_kvality_ovzdusi_2020/\\$FILE/000-UI_MZP_PZKO-20191219.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/aktualizace_programu_zlepsovani_kvality_ovzdusi_2020/$FILE/000-UI_MZP_PZKO-20191219.pdf)>.

MŽP, ©2021b: Program zlepšování kvality ovzduší Aglomerace Praha (online) [cit.2022.02.27], dostupné z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vestnik_mzp_2021/\\$FILE/SOTPR-Vestnik_leden_2021_priloha4-210127.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vestnik_mzp_2021/$FILE/SOTPR-Vestnik_leden_2021_priloha4-210127.pdf)>.

Obnovitelně.cz, ©2020: Proměny české energetiky: uzavření elektrárny Prunéřov I není nic víc, než první krok (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.obnovitelne.cz/clanek/1245/promeny-ceske-energetiky-uzavreni-elektrarny-prunerov-i-neni-nic-vic-nez-prvni-krok/>>.

OTE, ©2018: Národní energetický mix (online) [cit. 2022.03.13], dostupné z <<https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>>.

SFŽP - Státní fond životního prostředí České republiky, ©2022: Základní informace (online) [cit.2022.24.03], <dostupné z <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/kotlikove-dotace/zakladni-informace/>>.

TSK hl. m. Prahy – Technická správa komunikací hl. m. Prahy, ©2021: Ročenka dopravy, Praha 2020 (online) [cit. 2022.02.14], dostupné z <<https://www.tsk-praha.cz/static/udi-rocenka-2020-cz.pdf>>.

WHO, ©2020: WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 11 March 2020 (online) [cit.2022.03.19], dostupné z <<https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>>.

WHO, ©2021: Ambient (outdoor) air pollution (online) [cit.2022.03.19], dostupné z <[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)>.

WHO, ©2022: WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard (online) [cit.2022.03.19], dostupné z <<https://covid19.who.int/>>.

Život během pandemie, ©2022: Jak často se během pandemie využívá práce z domova? (online) [cit. 2022 02.14] dostupné z <<https://zivotbehempandemie.cz/home-office>>.

Ostatní zdroje

Bočková S., 2022: Analýza znečištění ovzduší metodami dálkového průzkumu Země na území Ukrajiny se zaměřením na vliv COVID-19. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Brno. 114 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Archiv závěrečných prací is.muni.cz.

8. Seznam příloh

Seznam obrázků

Obrázek 2: Roční průměrné koncentrace NO_x na jednotlivých typech stanic v letech 2010-2020 (ČHMÚ © 2021a).

Obrázek 2: Roční průměrné koncentrace PM₁₀ na jednotlivých typech stanic v letech 2010-2020 (ČHMÚ © 2021a).

Obrázek 3: Roční průměrné koncentrace PM_{2,5} na jednotlivých typech stanic v letech 2012-2020 (ČHMÚ © 2021a).

Obrázek 4: Roční průměrné koncentrace benzo(a)pyrenu na jednotlivých typech stanic v letech 2010-2020 (ČHMÚ © 2021a).

Obrázek 5: Stanice ALEG – Praha 2-Legerova (hot spot) (ČHMÚ ©2022a).

Obrázek 6: Umístění měřicí stanice ALEG - Praha 2-Legerova (hot spot) (mapy.cz).

Obrázek 7: Stanice ALIB – Praha 4-Libuš (ČHMÚ ©2021b).

Obrázek 8: Umístění stanice ALIB - Praha 4-Libuš (mapy.cz).

Obrázek 9: Roční chod průměrných měsíčních koncentrací NO₂ (průměry pro daný typ stanice) v roce 2020 (ČHMÚ ©2021).

Obrázek 10: Vývoj mobility obyvatelstva v České republice od začátku roku 2020 do druhé poloviny května 2021. Vyjádřeno v procentech změny oproti dlouhodobým průměrům. (ČHMÚ ©2021a).

Obrázek 11: Graf představující vývoj poměru osob využívajících home office (Život během pandemie ©2022).

Obrázek 12: Vývoj dělby přepravní práce (HD/IAD – hromadná doprava/individuální automobilová doprava) (TSK hl. m. Prahy ©2020).

Obrázek 13: Vývoj počtu přepravených osob v pracovní dny v metru v Praze v letech 2019 a 2020 (TSK hl. m. Prahy ©2020).

Obrázek 14: Roční chod průměrných měsíčních koncentrací benzo(a)pyrenu (průměry pro daný typ stanice) v roce 2020 a v průměru let 2010-2019 (ČHMÚ ©2021a).

Obrázek 15: Roční chod průměrných měsíčních koncentrací NO_x ze stanice ALEG – Praha 2-Legerova (hot spot) v letech 2017, 2018, 2019 a 2020.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Průměr a směrodatná odchylka denních průměrných hodnot polutantů NO_x , PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ v období nouzových stavů na měřicí stanici ALEG – Praha 2-Legerova (hot spot) v letech 2017, 2018, 2019 a 2020. Tabulka zobrazuje také p-hodnoty párového t-testu mezi jednotlivými roky.

Tabulka 2: Průměr a směrodatná odchylka denních průměrných hodnot polutantů NO_x , PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ v období nouzových stavů na měřicí stanici ALIB - Praha 4-Libuš v letech 2017, 2018, 2019 a 2020. Tabulka zobrazuje také p-hodnoty párového t-testu mezi jednotlivými roky.