

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie

Bc. Klára HACAROVÁ

**Kvalita ovzduší vybraných evropských měst
v letech 2020 a 2021**

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Martin Jurek, Ph.D.

Olomouc 2023

Bibliografický záznam

Autor (osobní číslo): Bc. Klára Hacarová (R21879)

Studijní program: Geografie a regionální rozvoj

Název práce: Kvalita ovzduší vybraných evropských měst v letech 2020 a 2021

Title of thesis: Air Quality in Selected European Cities in 2020 and 2021

Vedoucí práce: RNDr. Martin Jurek, Ph.D

Rozsah práce: 86 stran

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá kvalitou ovzduší vybraných evropských měst za období let 2020 a 2021, kdy došlo k podstatným změnám v socioekonomickém rámci, zejména v odvětví dopravy, jako důsledek zavádění protipandemických opatření v reakci na celosvětovou pandemii koronaviru SARS–COV–2. Práce sleduje odchylky v koncentracích znečišťující látky PM_{2,5} za toto časové období, které následně srovnává s dlouhodobými průměry let 2015–2019.

Klíčová slova: kvalita ovzduší, pevné částice, Evropa, COVID-19

Abstract: The diploma thesis deals with the air quality in selected European cities for the period of 2020 and 2021, when there were substantial changes in the socio-economic framework, especially in the transport sector, as a result of the introduction of anti-pandemic measures in response to the global coronavirus SARS–COV–2 pandemic. The thesis tracks the deviations in the concentrations of the pollutant PM_{2,5} over this time period and then compares them with the long-term averages of 2015–2019.

Keywords: air quality, particulate matter, Europe, COVID-19

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením pana RNDr. Martina Jurka, Ph.D. a uvedla v seznamu literatury veškerou použitou literaturu a zdroje.

V Olomouci dne 19. dubna 2023

Bc. Klára Hacarová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce RNDr. Martinu Jurkovi, Ph.D. za množství cenných rad, podnětů, doporučení, připomínek a zároveň za velkou trpělivost a ochotu při konzultacích poskytnutých ke zpracování této práce. Mé poděkování patří také rodině za dlouholetou podporu a obětavost v průběhu celého studia.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Klára HACAROVÁ**
Osobní číslo: **R21879**
Studijní program: **N0532A330021 Geografie a regionální rozvoj**
Téma práce: **Kvalita ovzduší vybraných evropských měst v letech 2020 a 2021**
Zadávající katedra: **Katedra geografie**

Zásady pro vypracování

Ovzduší v městech Evropské unie podléhá pravidelnému monitoringu kvality a přijaté legislativní nástroje jsou koncipovány tak, aby docházelo k postupnému zlepšování kvality ovzduší. Zdroje znečišťování městského ovzduší mají komplexní strukturu a jsou koncentrovány do relativně malého území v souvislosti s velkou koncentrací samotných obyvatel. Dlouhodobě nastavený ekonomický a sociální rámec fungování evropských měst byl v letech 2020 a 2021 významně ovlivněn restriktivními opatřeními v ekonomických činnostech i samotném pohybu osob v souvislosti s propuknutím pandemie covid-19. To z výzkumného hlediska nabízí možnost srovnání výjimečného stavu s obvyklým z hlediska poklesu mobility obyvatelstva a omezení ekonomické aktivity. Diplomová práce proto identifikuje vybrané městské lokality v rámci EU, kde v průběhu let 2020 a 2021 došlo k časově omezeným restrikcím v pohybu a ekonomické aktivitě obyvatel a firem/společností, charakter těchto restrikcí popíše a následně zhodnotí odchylky v koncentracích znečišťujících látek v daném období s dlouhodobými průměry z předchozích let. Budou přitom brána v úvahu imisní data ze stanic monitoringu kvality ovzduší na dopravních lokalitách i na stanicích pozadových, v případě dostupnosti i data o intenzitě dopravy.

Rozsah pracovní zprávy: **20 000 – 24 000 slov**
Rozsah grafických prací: **Podle potřeb zadání**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Becchetti, L., Beccari, G., Conzo, G., Conzo, P., De Santis, D., Salustri, F. (2021): Air quality and COVID-19 adverse outcomes: Divergent views and experimental findings. *Environmental Research* 193, 110556. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110556>
Cucciniello, R., Raia, L., Vasca, E. (2022): Air quality evaluation during COVID-19 in Southern Italy: the case study of Avellino city. *Environmental Research* 203, 111803. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111803>
Fasso, A., Maranzano, P., Otto, P. (2021): Spatiotemporal variable selection and air quality impact assessment of COVID-19 lockdown. *Spatial Statistics*, 100549. <https://doi.org/10.1016/j.spsata.2021.100549>
Jephcote, C., Hansell, A. L., Adams, K., Gulliver, J. (2021): Changes in air quality during COVID-19 & lockdown in the United Kingdom. *Environmental Pollution* 272, 116011. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116011>
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* 266, 115042. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115042>

Vedoucí diplomové práce: **RNDr. Martin Jurek, Ph.D.**
Katedra geografie

Datum zadání diplomové práce: 5. ledna 2022
Termín odevzdání diplomové práce: 10. dubna 2023

L.S.

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan

prof. RNDr. Marián Halás, Ph.D.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 5. ledna 2022

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	9
Úvod.....	10
1 Cíle práce	11
2 Zhodnocení dostupné literatury.....	12
3 Použitá data a metody zpracování	18
3.1 Datová základna.....	18
3.2 Metodika zpracování.....	19
3.2.1 Charakteristika zvolených stanic.....	19
3.2.2 Suspendované částice frakcí PM _{2,5}	24
4 Teoretická východiska	26
4.1 Kvalita ovzduší v Evropské unii	26
4.1.1 Vývoj koncentrací suspendovaných částic PM _{2,5} za období 2015–2019	29
4.1.2 Pandemie koronaviru SARS–COV–2 v souvislosti s kvalitou ovzduší	30
4.1.3 Stringency Index	31
5 Analýza koncentrací PM _{2,5} ve vybraných evropských městech.....	37
5.1 Itálie – Řím, Milán	37
5.2 Německo – Mnichov, Berlín	40
5.3 Belgie – Antverpy, Gent	43
5.4 Polsko – Varšava, Vratislav	46
5.5 Česko – Praha, Olomouc.....	49
5.6 Finsko – Helsinky, Tampere	52
6 Zhodnocení nouzových stavů ve vybraných státech Evropské unie	55
6.1 Evropský kontext	55
6.2 Vybrané členské státy Evropské unie	57
6.2.1 Itálie	57
6.2.2 Německo	60
6.2.3 Belgie	62

6.2.4	Polsko.....	64
6.2.5	Česko.....	66
6.2.6	Finsko.....	69
7	Diskuse.....	71
8	Závěr.....	74
9	Summary.....	76
10	Použitá literatura.....	77
	Přílohy.....	82

Seznam použitých zkratek

ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
EEA	Evropská agentura pro životní prostředí (<i>European Environment Agency</i>)
EU	Evropská unie
NO ₂	Oxid dusičitý
O ₃	Ozon
PM _{2,5}	Suspendované částice velikostní frakce do 2,5 mikrometru
PM ₁₀	Suspendované částice velikostní frakce do 10 mikrometru
SARS–COV–2	Koronavirus COVID-19 (<i>Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus</i>)
SO ₂	Oxid siřičitý
WHO	Světová zdravotní organizace (<i>World Health Organisation</i>)
μg/m ³	Mikrogram na metr krychlový
ng/m ³	Nanogram na metr krychlový

Úvod

Tato diplomová práce přináší zhodnocení kvality ovzduší vybraných měst Evropské unie za období let 2020 a 2021, kdy došlo napříč evropskými zeměmi k zavádění přísných restrikcí v reakci na propuknutí globální pandemie koronavirového onemocnění. Obsah diplomové práce představuje zhodnocení stavu ovzduší specificky vybraných měst, a sice Gentu, Antverp, Prahy, Olomouce, Helsinek, Tampere, Milána, Říma, Berlína, Mnichova, Varšavy a Vratislavi.

Výrazný pokles zejména v oblasti ekonomických a společenských činností vedl během koronavirové pandemie v letech 2020 a 2021 k výraznému snížení imisní zátěže. Vlivem omezení volného pohybu osob došlo rovněž ke snížení poptávky po automobilech, čímž klesla doposud hraniční koncentrace znečišťujících látek v ovzduší. Během vrcholného období mezi těmito lety došlo po celém světě k zavádění přísných protipandemických restrikcí, které nejčastěji uváděly populaci do již zlidovělého lockdownu, tedy absolutní izolace. To znamenalo nejen sociální a ekonomický rámeček, ale především rámeček environmentální, kterým se diplomová práce zabývá z pohledu změny kvality ovzduší. Prostřednictvím výsledných analýz jsou zkoumány průměrné měsíční a denní hodnoty koncentrací znečišťující látky $PM_{2.5}$ z vybraných imisních monitorovacích stanic určených evropských měst, včetně jejich přímých souvislostí. Předmět práce rovněž nabízí srovnání výjimečného stavu v důsledku výrazného poklesu poptávky po mobilitě a ekonomické aktivity obyvatel evropských měst se stavem standardním, který odpovídá dlouhodobému časovému měřítku předchozích let 2015–2019.

1 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je analýza stavu kvality ovzduší ve vybraných evropských městech za období let 2020 až 2021 v porovnání s dlouhodobými průměry let 2015–2019. Jako modelová znečišťující látka ovzduší slouží jemná frakce suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v průměrování za denní hodnoty, které budou následně porovnávány s průměry let 2015–2019, které reprezentují obvyklý stav. Analýza bude provedena na výběrovém vzorku evropských měst tak, aby postihla různé míry závažnosti socioekonomických omezení dopadů pandemie COVID–19. V první části diplomové práce budou popsána teoretická východiska, která zařadí zkoumanou problematiku do kontextu především zahraniční literatury, co se kvality ovzduší a aktuálního dění kolem pandemie koronaviru týče. Druhá část diplomové práce bude obsahovat stěžejní východiska vlastního výzkumu, která budou brát v potaz provázanost s částí teoretickou. Rovněž budou věnovat pozornost charakteru vlivu nouzového stavu na kvalitu ovzduší v Evropské unii a jejím specificky vybraným městům, která budou podrobena analýze v rámci denních hodnot suspendovaných částic $PM_{2,5}$ z lokálních imisních stanic monitoringu kvality ovzduší.

V této diplomové práci byly stanoveny následující tři základní výzkumné otázky:

1. Došlo v průběhu nouzových stavů v letech 2020 a 2021 ke změně kvality ovzduší?
2. Ovlivnila míra přísnosti zaváděných opatření vývoj koncentrací znečišťujících látek?
3. Lze rozpoznat změnu kvality ovzduší v souvislosti s mírou přísnosti opatření (práce z domova, omezení dopravy, omezení hromadného setkávání, uzavření hranic atd.) na dopravních a pozadových stanicích?

2 Zhodnocení dostupné literatury

Pro účely vypracování diplomové práce existuje značné množství relevantních publikací, odborné literatury a vědeckých studií, které se dané tematice podrobně věnují. Obsah práce má evropský dosah, čemuž byl uzpůsoben potřebný výběr literatury, a sice v českém i anglickém jazyce.

K vymezení základní charakteristiky zkoumané problematiky kvality ovzduší, kterou se evropské země zabývají již dlouhodobě, posloužila v práci řada publikací vydaných Evropskou agenturou pro životní prostředí, která je nezávislým zdrojem informací o dílčích tématech životního prostředí. Jedná se o nástroj vyhodnocování politiky ochrany životního prostředí, který úzce spolupracuje s jednotlivými zeměmi Evropské unie (EEA, 2021). Agentura doplňuje své články a publikace o mapové a grafické prvky, což lépe a přehledněji interpretuje jednotlivé ukazatele a východiska. Lze pozorovat také široké využití zpracovaných dat, a to především prostřednictvím nového prohlížeče kvality ovzduší evropských měst, tzv. Evropského indexu kvality ovzduší (*European Air Quality Index*). Ten nabízí sledování pěti znečišťujících látek (suspendované částice $PM_{2,5}$ a PM_{10} , ozon, oxid dusičitý a oxid siřičitý) prostřednictvím indexu, který se vypočítává každou hodinu pro více než 3500 monitorovacích stanic v kombinaci s aktuálními daty, která jsou sdílená napříč evropskými zeměmi.

Zajímavým příspěvkem Evropské agentury pro životní prostředí je také prohlížeč, který sleduje průměrné koncentrace oxidu dusičitého a suspendovaných částic $PM_{2,5}$ a PM_{10} v týdenním a měsíčním měřítku. Na základě libovolného výběru země, znečišťující látky, města, roku, týdne a typu stanice lze zjistit průměrné koncentrace vybraných látek spolu s procentuálními odchylkami oproti předchozím týdnům (EEA, 2023).

Na téma kvality ovzduší představil Český hydrometeorologický ústav (2021) ročenku „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020“, která hodnotí kvalitu ovzduší v České republice za celý kalendářní rok. Ročenka se zabývá kromě obecné části vývoje emisí a znečištěním ovzduší také kvalitou ovzduší během mimořádných stavů v souvislosti s onemocněním koronavirem SARS-COV-2. První nouzový stav byl v Česku vyhlášen 12. března 2020. V rámci druhé vlny byla přijata opatření 5. 10. 2020, která trvala do dubna následujícího roku. Při závěrečném zhodnocení situace na území České republiky bylo zjištěno, že i přes přísná opatření, která byla za dané období přijata, nebyla kvalita ovzduší dramaticky ovlivněna, jakož tomu bylo u jiných evropských zemí. V komparaci se zahraničními zeměmi lze pozorovat změny v rostoucích znečišťujících látkách, především v nadměrné dopravní zátěži, která je důsledkem např. intenzivního průmyslu. Nelze však popírat skutečnost, že v důsledku snížení poptávky po automobilové dopravě poklesly emise z dopravy, a to konkrétně u oxidu

dusíku, jehož poměr byl po zavedení nouzového stavu v březnu 2020 výrazně nižší, než byl dlouhodobý průměr za období let 2016–2019. Naopak při sledování suspendovaných částic PM_{10} bylo zjištěno, že vliv nouzového stavu byl v případě této látky buď téměř nulový, anebo minimální, a to v případě vytápění domácností tuhými palivy (ČHMÚ, 2021).

Tato ročenka zahrnuje podstatnou kapitolu, ve které se zabývá kvalitou ovzduší na území České republiky během mimořádných stavů. Zhodnocuje vliv nouzového stavu na kvalitu ovzduší z hlediska vývoje mobility a poměru počtu vozidel v jednotlivých týdnech za období let 2016–2019. Dále sleduje vývoj doby strávené v domácnostech v rámci lockdownu v souvislosti s variabilitou koncentrací znečišťujících látek. Pozornost byla věnována především oxidům dusíku s ohledem na sledování dopravní variability, dále také suspendovaným částicím PM_{10} . Byly zkoumány poměry mezi dopravní a pozadovou stanicí ku příkladu Brna, kde byl prokázán minimální vliv nouzových stavů na koncentrace PM_{10} na obou stanicích. U oxidů dusíku byl však výraznější poměr mezi koncentracemi na sledovaných stanicích nežli průměr předchozích let, což bylo dáno poklesem emisí (ČHMÚ, 2021).

Ročenka hodnotící kvalitu ovzduší byla v roce 2021 aktualizována a opět poskytuje přehledné zpracování vývoje imisní zátěže na území České republiky za rok 2021. V České republice je překračování stanovených imisních limitů stále aktuálním tématem, zejména u nejčastěji diskutovaných látek benzo[a]pyrenu, suspendovaných částic frakcí PM_{10} a $PM_{2,5}$ a přízemního ozonu. S ohledem na roky 2020 a 2021, kdy došlo oproti běžné situaci k zavedení nouzových stavů v důsledku výskytu koronaviru SARS–COV–2, bylo z hlediska dopravy i nadále zaznamenáno znatelné snížení koncentrací suspendovaných částic a oxidu dusíku, avšak vzhledem k nutnosti setrvat ve svých domácnostech dle nařízení vlád, která byla i v roce 2021 stále kontinuální, vzrostla intenzita vytápění příbytků, čímž se zvýšily emise z lokálních topenišť. Lze však konstatovat, že navzdory vyšším emisím, vyplývajícím z lokálního vytápění, byl rok 2021 nadstandardně příznivý, což lze přisoudit – kromě zavedeným opatřením v reakci na koronavirus SARS–COV–2 – také relativně příznivým meteorologickým a rozptylovým podmínkám (ČHMÚ, 2022a).

Pandemie koronaviru SARS–COV–2 ovlivnila nejen Českou republiku, ale také řadu dalších evropských měst, která zaznamenala odchylky v koncentracích znečišťujících látek v ovzduší. Jednou z prvních zemí, která byla postižena pandemií a jejími následky v různých odvětvích, byla Itálie. Tamní městská oblast Avellino zaznamenala razantní snížení imisí benzo[a]pyrenu, oxidu uhelnatého, ozonu, suspendovaných částic $PM_{2,5}$ a PM_{10} , benzenu a oxidu dusičitého z automobilové dopravy, což bylo účelem studie v rámci zjištění následků karanténních opatření na kvalitu ovzduší. Výzkum se zaměřil na hodinové koncentrace vybraných látek, které byly následně zprůměrovány, aby došlo k získání denních průměrných hodnot za každou znečišťující látku. Každá znečišťující látka byla uvažována pomocí střední hodnoty vypočtené na základě

71 dnů (9. března – 18. května 2020) ve srovnání s obdobími před a po lockdownu (Cucciniello, Raia a Vasca, 2022). Stejně tak se lidská omezení dotkla italského regionu Lombardie, který je obecně považován za region s nejzávažnější kvalitou ovzduší v Evropě. Změny úrovní koncentrací znečišťujících látek byly prokazatelné především na dopravních stanicích v metropolitních oblastech, kdy naměřené hodnoty ve výsledku vypovídaly o jednoznačném snížení poptávky po dopravní mobilitě. Tato skutečnost byla zjištěna z celkem 84 monitorovacích stanic zaměřujících se na koncentrace oxidu dusičitého a suspendovaných částic frakcí $PM_{2,5}$ a PM_{10} . Navzdory tomu je potřeba brát v úvahu i další faktory, jako jsou sezónní vlivy, povětrnostní vlivy nebo právě obecně časoprostorové závislosti (Fassò, Maranzano a Otto, 2021).

Dalším městem, které podléhalo řadě výzkumných studií z hlediska vlivu protipandemických opatření, bylo severozápadní město Turín. Za účelem ochrany veřejného zdraví byla v roce 2020 přijata bezprecedentní opatření, která vedla k rychlému a nepředvidatelnému poklesu socioekonomických aktivit. Turín je jedním z nejznečištěnějších měst v Itálii a za dobu výjimečného stavu (od 9. března do 18. května 2020) došlo k výraznému snížení koncentrací znečišťujících látek produkovaných motorovými vozidly. Pro zjištění stavu kvality ovzduší byly použity metody pro porovnání vybraných emisí ze všech městských dopravních stanic, a to při srovnání mimořádného stavu se stavem standardním. V analýze byla zahrnuta také meteorologická data, která byla shromážděna ze tří různých meteorologických stanic v Turíně. Výsledky této studie poukazují na změnu v koncentracích suspendovaných částic frakcí $PM_{2,5}$, které během měřeného týdenního období ve stavu úplného lockdownu poklesly oproti normálnímu stavu o 71,4 %. Lépe tomu bylo u koncentrací benzo[a]pyrenu, které oproti běžnému stavu mimo vládní nařízení poklesly o přibližně 85,5 % (Ravina et al., 2021).

Vládní opatření byla po Itálii zavedena také ve Španělsku, a to 14. března 2020. Od konce února 2020 se stalo třetí nejpostiženější zemí na světě hned po Spojených státech a Itálii. Španělsko se v řadě za Itálii vyšplhalo na druhé místo v nejvyšší počtu úmrtí v důsledku pandemie SARS-COV-2. Na příkladu Barcelony byly sledovány především koncentrace suspendovaných částic, primárně emitovaných v městských dopravních oblastech, jejichž odchylky byly již dva týdny po uvedení Španělska do karantény znatelné. Přestože je hlavním zdrojem těchto částic automobilová doprava, dalšími významnými zdroji jsou průmysl či přístavní emise. Od 16. února do 30. března 2020 byly shromažďovány údaje o suspendovaných částicích $PM_{2,5}$ a PM_{10} , oxidu dusičitém, oxidu siřičitém a ozonu ve městě Barceloně. Následně byla vybrána jedna dopravní a jedna pozadřevá stanice. Denní průměry byly vypočteny pro období první vlny lockdownu (16. února až 13. března 2020) a následně druhé vlny lockdownu (14. března až 30. března 2020). Dále byly vyhodnoceny změny průměrné koncentrace ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mezi oběma obdobími, včetně jejich relativních odchylek (%). Relevantní výsledky z dopravních stanic vykazovaly snížení koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ a PM_{10} již

v prvním dvoutýdenním období po zavedení lockdownu, a to celkem o 28 %. Rovněž nebyla překročena referenční hodnota imisních limitů nad $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Byla taktéž zaznamenána meteorologická data, která za období 16. února až 13. března 2020 vykazovala méně výrazné výkyvy teploty, rychlosti větru, relativní vlhkosti a slunečního záření. Naproti tomu došlo v průběhu lockdownu k velké variabilitě. Toto období bylo z meteorologického hlediska charakteristické vysokými srážkami, a zároveň chladnějšími, vlhčími a méně slunečnými dny (Tobías et al., 2020).

Během první a druhé vlny pandemie koronaviru SARS–COV–2 byla z výzkumného hlediska sledována a vzájemně porovnávána také dvě velkoměsta – západní Londýn a asijské Dillí. Tato dvě města mají velmi rozdílné vlastnosti, pokud jde o klima a kvalitu ovzduší. Dillí bylo v roce 2019 klasifikováno jako jeden z nejvíce znečištěných regionů světa kvůli vysokým koncentracím suspendovaných částic frakcí $\text{PM}_{2.5}$. Během zimních měsíců byla dokonce úroveň těchto frakcí pětikrát vyšší, než jsou roční stabilní průměry. Naproti tomu se stav kvality ovzduší v Londýně výrazně zlepšil po zavedení dílčích politik v ohledu nízkoemisních zón vedoucích ke snížení emisí ze silniční dopravy. Vzhledem k těmto dvěma odlišným zemím byly provedeny dílčí komparativní analýzy, které porovnály dopady lockdownu na kvalitu ovzduší v letech 2020 a 2021. Průměrné hodnoty mají tendenci klesat v důsledku zavedení nouzových stavů, což platí pro oxidy dusíku v Londýně i Dillí. K výraznějšímu poklesu však došlo pouze u Dillí, kdy koncentrace suspendovaných částic snížily průměr extrémně znečištěného města již v první vlně pandemie. Tato skutečnost vede k pozitivnímu budoucímu potenciálu snižování emisí z dopravy a průmyslu zavedením vhodných regulací (Giri et al., 2022).

K provedení analýz byly zvoleny tři městské, příměstské a dopravní lokality a rovněž jedna průmyslová. Byla brána v úvahu data z první a druhé vlny lockdownů a porovnávána s hodnotami z roku 2019. Použitou metodou byl ventilační index, který, vzhledem k rozptylovým podmínkám, zohledňuje pohled na vliv sezónních změn. Taktéž byly srovnávány hodnoty období březen až duben 2020 se stejným obdobím v roce 2019, kdy na rozdíl od ledna až února 2020 byla zřetelná sezónní závislost na kvalitě ovzduší, např. v důsledku závislosti na okolní teplotě. Ve výsledku byla v Dillí situace odlišná, v období mimo mimořádné stavy jsou koncentrace znečišťujících látek pravidelně 3–5krát vyšší než v Londýně, což naznačuje obecně mnohem horší kvalitu ovzduší. Během prvního lockdownu v roce 2020 se v Dillí velmi zlepšila kvalita ovzduší, konkrétně při porovnání jarních sezón 2019 a 2020 (Giri et al., 2022).

Na popud pandemických restrikcí koronaviru SARS–COV–2 nabízí rozsáhlá výzkumná studie pohled na Polsko coby největší zemi východní Evropy. Stejně jako ostatní evropské země se orientuje na dopady lockdownu první vlny v roce 2020 a s pomocí 28 automatických monitorovacích stanic umístěných v největších městech Polska Varšavě, Vratislavi, Lodži, Krakově a Gdaňsku zkoumá hladiny koncentrací znečišťujících látek. Výzkum probíhal formou

sběru hodinových hodnot látek oxidu siřičitého, oxidu dusičitého a suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5}, které byly následně převedeny na průměrné denní hodnoty. Získané údaje NO₂ byly zprůměrovány za čtrnáctidenní období před (1.–14. března) a během (15.–25. března, 26. března – 11. dubna, 12.–25. dubna) opatření přijatých v roce 2020 a za stejné čtrnáctidenní období v letech 2018 a 2019. Studie prokázala, že koncentrace znečišťujících látek naměřených z monitorovacích stanic kvality ovzduší, které se nacházejí v pěti velkých městech země (Vratislav, Lodž, Krakov, Varšava a Gdaňsk), zaznamenaly snížení ve srovnání se stejnými obdobími předchozích let. Ve výsledku byl zaznamenán největší pokles koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} v dubnu a květnu 2020, a to přibližně o 23 % ve srovnání s lety 2018 a 2019 (Filonchik, Hurynovich a Yan 2021).

Kontext západní Evropy byl také sledován v modelové práci, která se zabývala zkoumáním průběhu striktních omezení pandemie COVID-19. Menut (2020) sledoval odchylky v látkách znečišťujících ovzduší, a to ve všech zemích západní Evropy. Výsledky popisují nárůst koncentrací ozonu v městských oblastech, což je pravděpodobně zapříčiněno sezónním uvalením celonárodní karantény. Důsledkem toho došlo ke zvýšení emisí z vytápění obytných budov, které přispívají ke zvýšení koncentrací pevných částic v ovzduší. Navzdory tomu lze předpokládat, že nejen pokles mobility bývá pravidlem problematiky kvality ovzduší, a to zejména v období restriktivních omezení v letech 2020 až 2021.

V řadě dalších studií, které se zabývají dopady nouzových stavů na změnu kvality ovzduší, bylo sledováno 50 vybraných nejvíce znečištěných hlavních měst světa, v reakci na pandemii koronaviru SARS–COV–2. Stanice kvality ovzduší v každém jednotlivém městě monitorovaly hodinové hodnoty koncentrací znečišťujících látek, zejména suspendovaných částic PM_{2,5} a PM₁₀. Vyhodnocování probíhalo na základě srovnávací kvantitativní analýzy předemtných měst pomocí týdenních průměrů. Studie potvrdila, že tendence snižovat emise látek PM_{2,5} mělo 27 % asijských měst, avšak některá (Káthmándú, Hanoj, Jakarta, Singapur a Tokio) v koncentracích těchto látek eskalovala o 11 %, přičemž jako jediné japonské město Tokio nezavedlo povinnou karanténu. Výsledkem globální analýzy koncentrací PM_{2,5} bylo průměrné snížení znečišťujících látek o 12 %. Největšího snížení dosáhl africký kontinent (33 %) spolu s americkým (22 %) a asijským kontinentem (16 %). V případě Evropy nedošlo v porovnání k tak příznivému výsledku snížení, které bylo pouhých 5 % (Rodríguez-Urrego, 2020).

Napříč evropskými státy docházelo v období let 2020 a 2021 k zavádění různých stupňů karanténních opatření, která měla vést ke zmírnění šíření nákazy koronavirem SARS–COV–2. Tato opatření byla přijímána také ve Spojených státech amerických, kde se kvalita ovzduší výrazně zlepšila po nastolení karanténních opatření, a to zejména v dopravě a průmyslových aktivitách. Ghosal a Saha (2021) analyzovali dopady nouzových stavů na kvalitu ovzduší v roce 2020 a tuto skutečnost porovnávali s dlouhodobými průměry let 2015 až 2019. Analýza probíhala

sledováním průměrných koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ ve 48 oblastech Spojených států, které byly vybrány tak, aby pokrývaly všechna velká města z 50 států napříč USA. Doposud bylo znečištění ovzduší přisuzováno zejména rozmachu ekonomické aktivity, intenzivní dopravní mobilitě a nárůstu lesních požárů. S příchodem zavedených restrikcí bylo zjištěno, že ve většině hustě obydlených oblastí v severovýchodních regionech Kalifornie a Nevady došlo působením mimořádných stavů ke zmírnění koncentrací znečišťujících látek. Tato skutečnost byla zjištěna také v případě New Yorku a Baltimoru. New York byl jedním z měst, která postihla pandemie koronaviru SARS–COV–2 nejvíce, a proto zde byla zaváděna striktnější opatření. Hodnoty koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ poklesly o 36 % a oxidu uhličitého o celých 51 % – to vše oproti stavu běžnému, tedy mimo vládní nařízení. Opakem toho byl příklad Jacksonvillu, kde byla ve stejné míře přijata přísná opatření, avšak nedocházelo k jejich důslednému dodržování (Ghosal a Saha, 2021).

3 Použitá data a metody zpracování

První část diplomové práce se v rámci metodiky zabývá nezbytným zpracováním vhodné rešerše literatury, která pojímá značný rozsah řady odborných zdrojů a publikací. Dostupná literatura uvádí zkoumanou problematiku do teoretického kontextu celé diplomové práce a napomáhá uchopit její relevantní obsah. Druhá část práce obsahuje část praktickou, která se věnuje konkrétnímu výběru evropských měst na základě vývoje koronavirové pandemie SARS-COV-2 s důsledky na variabilitu hodnot látek znečišťující ovzduší. Zároveň je nedílnou součástí analýza dat kvality ovzduší za období let 2020 a 2021, jejichž odchylky v koncentracích porovnává s dlouhodobými průměry předchozích let 2015–2019.

3.1 Datová základna

Pro zpracování praktické části této diplomové práce byla použita data převážně ze zdroje Evropské agentury pro životní prostředí. Tato agentura shromažďuje a veřejně poskytuje soubory údajů o znečištění ovzduší z různých zdrojů za několik časových řad a prostřednictvím několika databází nabízí přístup k volně dostupným informacím o kvalitě ovzduší napříč evropskými zeměmi (EEA, 2021). Diplomová práce zaměřuje svůj výzkum na suspendované částice PM_{2,5} měřené na pozadových a dopravních stanicích městského (případně příměstského) typu ve specificky vybraných zemích Evropské unie, jejichž koncentrace byly získány prostřednictvím zmíněné databáze Evropské agentury pro životní prostředí. Vzhledem k nedostupnosti některých požadovaných dat v databázi Evropské agentury pro životní prostředí bylo zapotřebí jejich převzetí za jednotlivá období z Českého hydrometeorologického ústavu.

Konkrétní země Evropské unie byly zvoleny na základě tzv. Stringency Index (viz kapitola 3.3.1. *Stringency Index*). Ten nabízí výběr reprezentativních zemí, které byly během tzv. lockdownu nejpřísnější – a měly index buďto nejvyšší, nebo naopak nejnižší. Vybrané země byly podrobeny sofistikovanému zpracování tzv. boxplotové analýzy, která poskytuje statistické zhodnocení tohoto ukazatele v jednotlivých zemích. Data pro grafické zpracování Stringency Index byla získána z databáze *Oxford Coronavirus Government Response Tracker (OxCGRT)*, kterou spravuje Oxfordská univerzita.

Samotné datové soubory obsahují údaje z automatických imisních monitorovacích stanic dvanácti evropských měst, tedy 12 dopravních a 12 pozadových stanic. Každé město je tvořeno dvěma typy stanic: dopravní (traffic – T) a pozadovou (background – B). Data získaná z dopravní stanice pomáhají zjišťovat změnu v koncentracích znečišťujících látek ve vytižených lokalitách ve vztahu k měnícímu se ekonomicko-sociálnímu rámci. Prostřednictvím datových sad je možné sbírat, vyhodnocovat a následně vizualizovat dlouhodobé průměry dopravních dat a porovnávat

je s průměry aktuálními – průměry za normálního stavu před pandemií a průměry stavu během dvouletého období pandemie. Jedná se konkrétně o stanice v dopravně zatížené lokalitě, jejímž hlavním znečištěním jsou emise ze silniční dopravy. Naopak díky pozadřovým stanicím lze zjistit data o městských lokalitách, ve kterých není dominantní žádný konkrétní zdroj, a naměřené hodnoty poukazují na určitou úroveň znečištění v jejich širším okolí. Datová sada zkoumá především lokality městského typu v centrech či v jejich bezprostřední blízkosti a svými výsledky reprezentuje například znečištění ovzduší z lokálních topenišť (Brzezina, 2022).

Zpracování probíhalo převážně v tabulkovém softwaru Microsoft Excel, kde byly shromážděny a pro potřeby diplomové práce upravovány jednotlivé datové sady za sedmileté období dlouhodobých průměrů let 2015–2019 a aktuálních let 2020 a 2021, u kterých pozorujeme náležité změny. Tato data jsou volně dostupná na webových stránkách Evropské agentury pro životní prostředí: <https://discomap.eea.europa.eu/map/fme/AirQualityExport.htm>. V rámci tvorby Stringency Index byly získané denní hodnoty zprůměrovány a vizualizovány dle jejich velikostně sestupného seřazení. Následně byla vytvořena z denních hodnot boxplotová analýza (již v konkrétním měřítku vybraných evropských zemí), z níž vyplynuly maximální a minimální hodnoty včetně mediánu, průměru a horního a dolního kvartilu tohoto ukazatele. Pomocí Microsoft Excel došlo dále ke zpracování dat koncentrací znečišťující látky PM_{2,5} za daná evropská města a jednotlivé sady, ve formátu csv. byly následně podrobeny dalším statistickým metodám. Primárně je bylo možné získat jako data hodinová a jejich převod podléhal zpracování do kontingenční tabulky, která zprostředkovala data výsledná, a sice data denní, která byla optimální k dalším postupům. Pro vhodnější grafickou interpretaci následovalo zprůměrování denních dat a jejich následné naložení do příslušného grafu včetně hodnot Stringency Index. Tento postup po následném vyhodnocení přešel v podrobnější statistické modelování, a sice vytvoření odchylek měsíčních průměrných hodnot za roky 2020 a 2021 s dlouhodobými průměry 2015–2019. Stejně tak bylo postupováno se Stringency Indexem. Z těchto odchylek byly rovněž vytvořeny jednotlivé grafy vyjadřující období první vlny nouzového stavu. Součástí této diplomové práce je také digitální kartografické zpracování mapového výstupu prostřednictvím softwaru ArcGIS Pro. V rámci tohoto byl vytvořen kartogram znázorňující průměrný Stringency Index za období let 2020–2021 a současně i kartodiagram vyjadřující nadúmrtnost dle absolutních čísel v letech 2020 a 2021.

3.2 Metodika zpracování

3.2.1 Charakteristika zvolených stanic

V rámci specifického výběru jednotlivých stanic byly v první řadě zvoleny konkrétní země na základě jejich dosažené úrovně indexu přísnosti opatření. Tyto úrovně vypovídají o míře zavedených politik pro zmírnění šíření nákazy koronaviru SARS–COV–2. Z každé země byla

následně zvolena reprezentativní dvojice měst nesoucí data ze dvou pozad'ových a dvou dopravních stanic kvality ovzduší.

První zvolenou zemí se stala Itálie, která byla v letech 2020 a 2021 nejdramatičtější zemí Evropské unie v provázanosti s protipandemickým omezením. Průměrná roční hodnota indexu přísných opatření se v roce 2020 pohybovala v hodnotě 42,73, přičemž za rok 2021 stoupla na celých 63,74. Tyto hodnoty vypovídají o nejpřísnějších hodnotách za sledované dvouleté období, během kterého byla dílčí opatření na téměř nejvyšší možné úrovni v evropském kontextu. Itálie je tedy první zemí na škále indexu přísnosti opatření z celkově 27 sledovaných evropských zemí. Pro případ Itálie byla vybrána města Milán a Řím (viz **Tab. 1**) jakožto dvě města bohatá na cestovní ruch a průmysl. Dopravní stanice Milano–Senato je lokalizována poblíž oblasti komerčních budov a je jednou z mnoha, pro kterou je typický vysoký dopravní ruch. Pozad'ová stanice Milano Pascal Citta Studi je umístěna v sídelním systému obytných budov a bytových komplexů v blízkosti parku Giardini Hawaii. Druhým městem ve výběru je hlavní město Řím, jehož dopravní stanice C.so Francia se nachází uprostřed dopravní komunikace Via Stefano Jacini v severní části od centra města. Pozad'ová stanice Villa Ada se naopak nachází ve velmi poklidné lokalitě, pravděpodobně v části přilehlého parku.

Tab. 1 Vybrané stanice imisního monitoringu v Itálii

Město	Název stanice	Kód stanice	Typ stanice	Typ lokality	Zeměpisné souřadnice
Milán	Milano–Senato	IT1016A	Dopravní	Městská	45.469722, 9.198056
Milán	Milano Pascal Citta Studi	IT1692A	Pozad'ová	Městská	45.478330, 9.235830
Řím	C.so Francia	IT0825A	Dopravní	Městská	41.947448, 12.469563
Řím	Villa Ada	IT0953A	Pozad'ová	Městská	41.932892, 12.506947

(Zdroj: EEA, 2023; Google Maps, 2023; vlastní zpracování)

Německo zaujímá hned třetí místo z 27 evropských zemí na stupnici indexu přísnosti opatření. V roce 2020 byla jeho průměrná hodnota 64,59 a v roce 2021 dosáhla 64,99, jednalo se tedy o nepatrné navýšení, z čehož plyne jeho kontinuálnost v udržení dílčích protipandemických opatření. Pro jednotlivé stanice imisního monitoringu byla zvolena města Berlín a Mnichov jakožto hlavní město a město s největší hustotou osídlení (viz **Tab. 2**). Dopravní stanice Berlin Frankfurter Allee je situována u velmi frekventované hlavní komunikace, která má ve své lokalitě také několik parkovacích ploch. Pozad'ová stanice Berlin–Wedding je lokalizována v části parku, který je obklopen souvislou zástavbou bytových domů. Na rozdíl od Berlína se dopravní stanice München–Stachus nalézají ve středové části křížících se několika

silničních proudů včetně železničního přejezdu. Na této lokalitě se předpokládá velká dopravní intenzita – i vzhledem ke komerčnímu faktoru v dané lokalitě. Pozad'ová stanice München/Lothstraße je opět situována v přírodním prostředí menšího parku, v jehož blízkosti se nachází objekty občanského vybavení.

Tab. 2 Vybrané stanice imisního monitoringu v Německu

Město	Název stanice	Kód stanice	Typ stanice	Typ lokality	Zeměpisné souřadnice
Berlín	Berlin Frankfurter Allee	DEBE065	Dopravní	Městská	52.514072, 13.469931
Berlín	Berlin-Wedding	DEBE010	Pozad'ová	Městská	52.543041, 13.349326
Mnichov	München–Stachus	DEBY037	Dopravní	Městská	48.137252, 11.564924
Mnichov	München/Lothstraße	DEBY039	Pozad'ová	Městská	48.154534, 11.554669

(Zdroj: EEA, 2023; Google Maps, 2023; vlastní zpracování)

Třetí vybranou zemí Evropské unie je Belgie, jejíž index přisnosti opatření v roce 2020 dosáhl průměrné hodnoty 39,44 a v roce 2021 průměrné hodnoty 50,11. Jedná se tedy o příklad země, která se na škále Stringency Index nachází přibližně v polovině, a to konkrétně na 13. místě z celkových 27 evropských měst. Přijatá opatření tedy neměla sklony jak k maximální, tak ani k minimální úrovni striktnosti přijatých opatření. Za Belgii byla vybrána města Antverpy a Gent vzhledem k jejich velikosti, turismu a významné socioekonomické aktivitě (viz **Tab. 3**). Ostatní belgická města nebyla zvolena z důvodu nedostupnosti relevantních dat. Dopravní stanice Borgerhout a Gent (G.Carlierlaan) se nacházejí na hlavním tahu komunikace B401 v krajní části této oblasti. Jedná se o městskou a intenzivně využívanou dopravní lokalitu. Pro komparaci byla použita data se dvěma stejnojmennými pozad'ovými stanicemi: stanice Gent se nachází v lokalitě s převahou obytného charakteru a stanice Borgerhout je lokalizována v oblasti zeleného pásu mezi obytnými a komerčními prostory poblíž komunikace N184.

Tab. 3 Vybrané stanice imisního monitoringu v Belgii

Město	Název stanice	Kód stanice	Typ stanice	Typ lokality	Zeměpisné souřadnice
Antverpy	Borgerhout	BETR802	Dopravní	Městská	51.209519, 4.431792
Antverpy	Borgerhout	BETR801	Pozad'ová	Městská	51.209663, 4.431821
Gent	Gent (G.Carlierlaan)	BETR702	Dopravní	Městská	51.040689, 3.734972
Gent	Gent	BETR701	Pozad'ová	Městská	51.058332, 3.729298

(Zdroj: EEA, 2023; Google Maps, 2023; vlastní zpracování)

Polsko na stupnici indexu přísnosti opatření zaujímá 14. místo mezi Belgií a Slovenskem (viz **Tab. 4**). V obecné rovině dosahovalo Polsko v roce 2020 průměrných hodnot 53,72 a v roce 2021 průměrných hodnot 52,99. Dvojicí zvolených měst je Varšava a Vratislav. Dvě města velikostně relativně odlišná, nicméně z pohledu vysokého potenciálu a prosperity ve smyslu cestovního ruchu, ekonomiky a průmyslu jsou jedna z nejvyspělejších. Hlavní město Varšava disponuje dopravní stanicí Warszawa, al. Niepodległości, která je situována poblíž napojovacího dálničního pruhu, který je relativně vysoce intenzivní oblastí. Pozad'ová stanice Warszawa, Wokalna se nachází poblíž obytných domů a školního veřejného prostranství. Město Vratislav se nachází jihozápadně od hlavního města. Dopravní stanice Wrocław, al. Wiśniowa je umístěna na ostrůvku mezi dvěma tříproudovými frekventovanými komunikacemi, které se spojují v jednu hlavní křižovatku. V této lokalitě lze mimo jiné očekávat významné koncentrace znečišťujících látek. Pozad'ová stanice se naopak nachází v hraniční části u řeky Stara Odra v okolí občanského vybavení a ploch bydlení.

Tab. 4 Vybrané stanice imisního monitoringu v Polsku

Město	Název stanice	Kód stanice	Typ stanice	Typ lokality	Zeměpisné souřadnice
Varšava	Warszawa, al. Niepodległości	PL0140A	Dopravní	Městská	52.219298, 21.004724
Varšava	Warszawa, Wokalna	PL0141A	Pozad'ová	Městská	52.160772, 21.033819
Vratislav	Wrocław, al. Wiśniowa	PL0197A	Dopravní	Městská	51.086225, 17.012689
Vratislav	Wrocław, wyb. Conrada – Korzeniowskiego	PL0194A	Pozad'ová	Městská	51.129378, 17.029250

(Zdroj: EEA, 2023; Google Maps, 2023; vlastní zpracování)

Neopomenutelnou zemí je rovněž Česká republika, která se na škále indexu přísných opatření nachází na 16. místě z celkových 27 evropských zemí (viz **Tab. 5**). V roce 2020 vykazovala průměrnou hodnotu indexu 36,38 a v roce 2021 hodnotu podstatně vyšší, tedy 54,05. V porovnání s dalšími zeměmi Evropské unie má Česká republika, spolu s Belgií a Polskem, průměrný index přísnosti opatření a nachází se nepatrně za střední částí škály. Pro předmětnou zemi byla vybrána města Praha a Olomouc. Pro Prahu jakožto hlavní město České republiky, kde se koncentruje značné množství ekonomického a turistického odvětví, je reprezentující dopravní stanicí Legerova, která je typická svou frekventovaností a intenzitou. Převažující charakter krajiny je tvořen zástavbou administrativních a bytových objektů (ČHMÚ, 2023). Pozad'ová stanice se naopak nachází v poklidné části Riegrových sadů v blízkosti

občanského vybavení. Typickou charakteristikou krajiny této lokality je zelená plocha v intravilánu (ČHMÚ, 2023). Druhým městem byla za účelem porovnání vybrána Olomouc, pro kterou je zpracována pouze stanice pozad'ová, a to z důvodu nedostupnosti dat z dopravní stanice Velkomoravská, která byla jedinou možnou ve výběru dopravních stanic. Zvolená pozad'ová stanice se nachází v okolí gymnázia Hejčín v bezprostřední blízkosti sportovní plochy hřiště. Lokalita je charakterizována jako zelená plocha v intravilánu, jejímž funkčním využitím je pravděpodobně park/lesopark (ČHMÚ, 2023).

Tab. 5 Vybrané stanice imisního monitoringu v Česku

Město	Název stanice	Kód stanice	Typ stanice	Typ lokality	Zeměpisné souřadnice
Praha	Legerova	CZ0ALEG	Dopravní	Městská	50.072388, 14.430673
Praha	Riegrovy sady	CZ0ARIE	Pozad'ová	Městská	50.081482, 14.442692
Olomouc	Hejčín	CZ0MOLJ	Pozad'ová	Městská	49.601463, 17.238073

(Zdroj: EEA, 2023; Google Maps, 2023; vlastní zpracování)

Další zemí v pořadí je z hlediska hodnocení kvality ovzduší Finsko. V roce 2020 dosáhl index přísných opatření průměrné hodnoty 42,33 a v roce 2021 to byla průměrná hodnota 42,74. Obecně se jedná o zemi, která se na škále Stringency Index nachází na nižších příčkách, a to vzhledem k nepříliš striktním omezením, která byla zaváděna v průběhu let 2020 a 2021. Finsko se proto nachází na 26. místě z 27 možných, což nabízí možnost sledování odchylek znečištění ovzduší v oblastech, kde přísná opatření nekladla přílišný důraz na socioekonomický rámec a pravděpodobně nepozměnila situaci oproti dlouhodobým průměrům let předchozích. Pro tuto zemi byla vybrána města Helsinky a Tampere (viz **Tab. 6**) z důvodu jejich velikosti a aktivní ekonomiky, jejíž rámec se řadí mezi jedny z vysoce rozvinutých v Evropské unii. Výběr stanic za město Helsinky byl z dopravní stanice Mannerheimintie, která se nachází na intenzivně využívané hlavní komunikaci E12 v centru Helsinek. Pozad'ová stanice Kallio 2 je umístěna severně od hlavního města v obytné lokalitě bytových domů. Co se týče druhého zvoleného města Tampere, byla vybrána dopravní stanice Epila 2, která je však specifická svou odlišností od ostatních stanic tím, že se nenachází v lokalitě městské, nýbrž příměstské. Je to z důvodu chybějících dat z dopravních stanic, přesto však umístění této stanice odpovídá požadavkům dopravní lokality, je tedy vhodnou alternativou pro práci s daty. Pozad'ovou stanicí z výběru města Tampere je stanice Kaleva, kterou lze najít v odlehle části bytových domů a občanského vybavení.

Tab. 6 Vybrané stanice imisního monitoringu ve Finsku

Město	Název stanice	Kód stanice	Typ stanice	Typ lokality	Zeměpisné souřadnice
Helsinky	Mannerheimintie	FI00564	Dopravní	Městská	60.169640, 24.939240
Helsinky	Kallio 2	FI00425	Pozad'ová	Městská	60.187390, 24.950600
Tampere	Epila 2	FI00838	Dopravní	Příměstská	61.508540, 23.675830
Tampere	Kaleva	FI00801	Pozad'ová	Městská	61.499100, 23.802210

(Zdroj: EEA, 2023; Google Maps, 2023; vlastní zpracování)

3.2.2 Suspendované částice frakcí PM_{2,5}

Látek, které zásadně ovlivňují zdraví člověka a kvalitu ovzduší, existuje nespočet. Mezi jedny z nejzákladnějších znečišťujících látek patří kromě benzo[a]pyrenu, oxidů dusíku, přízemního ozonu či těkavých látek také suspendované částice frakcí PM₁₀. Avšak látky, které jsou rizikovým faktorem v podobě velmi jemných částic, jsou suspendované částice frakcí PM_{2,5}, na které se tato diplomová práce prostřednictvím dopravních a pozad'ových imisních monitorovacích stanic zaměřuje.

Suspendované částice, jinak řečeno prachové částice, jsou ve své podstatě chemicky heterogenními aerosoly v ovzduší o aerodynamickém průměru 2,5 μm, které pojímají směsi pevných a kapalných částic různého chemického složení v jednotné velikosti. Nejčastěji jsou znečišťující látky uvolňovány antropogenně, tedy lidskou činností, leč mnohdy i přirozeně, a to prostřednictvím vulkanických činností, erozí nebo sopečnými erupcemi (ČHMÚ, 2022). Jedná se o běžného zástupce v řadě látek znečišťujících ovzduší, které obsahují sírany, dusičnany, čpavek, chlorid sodný, vodu a další chemické složky. Suspendované částice vznikají z primárních a sekundárních zdrojů. Primární zdroje souvisejí s antropogenním původem, kdy nejvýznamnějšími zdroji znečištění PM_{2,5} jsou doprava a vytápění domácností včetně obytných budov, což podle Evropské agentury pro životní prostředí (2021) činilo v roce 2020 celých 53 % (EEA, 2020). Koncentrace znečišťujících látek jsou v rámci stanovených imisních limitů vyjádřeny specifickou jednotkou μg/m³ (mikrogram za metr krychlový), která udává hmotnost znečišťující látky na jednotku objemu (Brzezina, 2018).

Vzhledem k jejich chemickým a fyzikálním vlastnostem mají částice PM_{2,5} škodlivý vliv především na lidské zdraví v městských a mimoměstských oblastech, kde je hustota jejich koncentrací významná. Vzhledem ke složitosti a dynamické povaze těchto částic, které v atmosféře podléhají další fyzikální a chemické přeměně, je možné jemné aerosoly snadno vdechnout. Podle Světové zdravotnické organizace (2021) je takové znečištění častou příčinou

srdečních chorob, rakoviny plic a podobně závažných onemocnění včetně předčasných úmrtí (WHO, 2021).

Pro účelnou koordinaci byly stanoveny imisní limity obsahující stanovené směrné hodnoty, a to pro každou znečišťující látku. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES ze dne 21. května 2008 o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu stanovily mezní hodnoty ročního průměru $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Úřední věstník Evropské unie, 2008). Kromě škodlivého vlivu na lidské zdraví a prostředí nedošlo doposud ke stanovení limitující prahové hodnoty, pod kterou by jemné částice $\text{PM}_{2.5}$ nepředstavovaly významné riziko. Podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES (2008) není vhodné v rámci regulace těchto látek přistupovat k jejich snižování obdobnou měrou, jako je tomu u ostatních znečišťujících látek, vzhledem k jejich dynamičnosti a variabilitě. Postup je zaměřen zejména na celkové snížení koncentrací v urbánním prostředí, jehož vliv by vykazoval pozitivní kvalitu životního prostředí působící na obyvatelstvo dané lokality (Úřední věstník Evropské unie, 2008).

4 Teoretická východiska

4.1 Kvalita ovzduší v Evropské unii

Čistý vzduch a jeho kvalita jsou považovány za základní požadavky na lidské zdraví. Navzdory zavádění stále čistších technologií v dopravě, průmyslu a výrobě však zůstává znečištění ovzduší stále vysokým rizikem nejen pro lidské zdraví, ale rovněž pro životní prostředí. Zaměříme-li se konkrétně na městskou populaci v evropském měřítku, lze vzhledem k dosavadním analýzám kvality ovzduší konstatovat, že lidé ve větších městech bývají vystaveni vyšším koncentracím škodlivých látek, a to především vlivem intenzivní dopravy (EEA, 2021a). Dosud byly zaznamenány vysoké, až přesahující hodnoty znečišťujících látek nad svůj imisní limit, a především obyvatelstvo ve městech je tímto rizikem postihnuto (EEA, 2020a). Tato rizika jsou spojována s vysokou koncentrací znečišťujících látek, jako jsou především oxid dusičitý NO_2 a jemné částice $\text{PM}_{2,5}$, které překračují směrné limity Světové zdravotnické organizace (EEA, 2021a). Primárním zdrojem, který tyto látky produkuje, je spalování fosilních paliv v dopravě, průmyslu či domácnostech, dále v zemědělství či průmyslových procesech (EEA, 2020a).

Jedny z nejvýznamnějších složek znečištění v měřítku Evropské unie v souvislosti s lokálními topeništi a spalováním fosilních paliv jsou mimo suspendované částice $\text{PM}_{2,5}$ také benzo[a]pyren a NO_2 . Problematika znečištění benzo[a]pyrenem je nejen v Česku, ale rovněž po celé Evropě kontinuálně jedním z největších problémů v oblasti kvality ovzduší. Benzo[a]pyren je v zásadě produkován spalovacími procesy (v rozmezí 300–600 °C), a to převážně z domácích topenišť, tedy v období zimních sezón či dopravy. Podle Českého hydrometeorologického ústavu (2021) stály v roce 2020 za znečištěním ovzduší v České republice bezesporu až z 96,4 % právě domácnosti, a sice kvůli vytápění, ohřevu vody či vaření. Benzo[a]pyren je ve své řadě nejvýznamnějším karcinogenním polycyklickým aromatickým uhlovodíkem, který se v ovzduší kvůli svým vlastnostem váže na suspendované částice $\text{PM}_{2,5}$ (ČHMÚ, 2021). Roční limit benzo[a]pyrenu je v rámci koordinace a regulace mezních hodnot stanoven na 1 ng/m³. (ČHMÚ, 2021a)

Oxid dusičitý je ve své řadě oxidů dusíku vysoce reaktivním plynem, který je, stejně jako v předchozích případech, produkován spalovacími procesy prostřednictvím motorových emisí nebo například elektráren. Avšak na rozdíl od již zmíněných znečišťujících látek je NO_2 za spoluúčasti oxidů síry bohatým zdrojem pro tvorbu kyselých dešťů. Ty zejména z hlediska ochrany prostředí nevalně ovlivňují funkce ekosystémů a jsou přispěvatelem mnoha zdravotních rizik (Agentura pro ochranu životního prostředí, 2022). Národní imisní stropy stanovené směnicemi Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES udávají jako limit hodinový průměr

200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ovšem za předpokladu nepřekročení více než 18krát za kalendářní rok, a zároveň roční průměr, který je stanoven na 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Úřední věstník Evropské unie, 2008).

Evropská města jsou v rámci kvality ovzduší pravidelně monitorována a vedena k postupnému zlepšování díky přijatým evropským legislativním nástrojům. První opatření upravující kvalitu ovzduší sahají do 70. let 20. století, kdy se kvalita ovzduší poměrně zlepšila snížením koncentrací látek, jako jsou oxid siřičitý nebo oxid uhelnatý. Rok 1972 měl velký význam pro evropskou politiku životního prostředí, která vznikla jako součást akčního programu na zasedání Evropské rady v Paříži (Evropský parlament, 2021).

Vzhledem k aktuálnímu legislativně právnímu ukotvení ochrany ovzduší je jedním z hlavních nástrojů Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu ze dne 21. května 2008. Tato směrnice se orientuje na zájmy ochrany lidského zdraví a životního prostředí, zejména v boji proti emisím znečišťujících látek, zavedením opatření k jejich snižování, předcházení a omezování. Dalším z cílů je podrobný monitoring částic $\text{PM}_{2,5}$ na pozadových lokalitách. Tyto látky mají nepříznivé účinky na zdraví člověka a jsou cíleně snižovány především v městských lokalitách. V případě významného znečištění ovzduší původem jakéhokoli z členských států EU dochází ke vzájemné radě všech členských států o stanovení prahové hranice nebo úpravě jednotlivých politik či regionálních plánů (Úřední věstník Evropské unie, 2008).

Emisní normy byly uvaleny také na silniční dopravu, která je regulována Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 98/70/ES ze dne 13. října 1998 o jakosti benzínu a motorové nafty a o změně směrnice Rady 93/12/EHS. Důvodem toho byl zaznamenán značný výskyt koncentrace primárních látek (př. oxid uhelnatý, oxidy dusíku aj.) schopné znečištění ovzduší. Kromě toho se jednalo také o jiné toxické emise výfukových plynů a par paliva (př. ozon) ovlivňující kvalitu lidského zdraví (Úřední věstník Evropské unie, 1998). Emise automobilových vozidel jsou upravovány různými normami dle konkrétních kvalifikací vozidel a následně jsou přiřazovány do noremních kategorií Euro 5 a 6. Ty se převážně vztahují na emise lehkých a osobních vozidel, které vstupem do této skupiny nesmějí překročit stanovené limity suspendovaných částic a oxidů dusíku (EEA, 2021b).

V České republice je od 2. května 2012 stanovena platná legislativa, a sice zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, který jej definuje jako:

předcházení znečišťování ovzduší a snižování úrovně znečišťování tak, aby byla omezena rizika pro lidské zdraví způsobená znečištěním ovzduší, snížení zátěže životního prostředí látkami vnášenými do ovzduší a poškozujícími ekosystémy a vytvoření předpokladů pro regeneraci složek životního prostředí postižených v důsledku znečištění ovzduší (Ministerstvo životního prostředí, 2012).

Tento zákon zpracovává a upravuje nástroje ke snižování znečišťování ovzduší v České republice a sleduje regulaci emisí skleníkových plynů z pohonných hmot v dopravě. Kromě toho vychází z přípustných úrovní znečištění, které jsou zpravidla kontrolovány imisními limity a stropy, viz **Tab. 7** (Ministerstvo životního prostředí, 2012).

Analýza měření koncentrací znečišťujících látek je ve vztahu k definovaným normám Evropské unie a Světové zdravotnické organizace založena na konkrétně stanovených lokalitách odběrových míst. Tato místa disponují monitorovacími imisními stanicemi, které klasifikujeme, dle převládajících zdrojů, podle několika typů. V závislosti na prostorovém uspořádání a charakteru lokality jsou jednotlivé oblasti v okolí daných stanic rovněž různě klasifikovány.

Tab. 7 Imisní limity látek znečišťujících ovzduší podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mezní hodnota $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Roční překročení
PM ₁₀	Kalendářní rok 1 den	40	-
		50	35
PM _{2,5}	Kalendářní rok 1 den	20	-
		Nestanoven	-
NO ₂	Kalendářní rok 1 hodina	40	-
		200	18
O ₃	Max. denní 8hodinový průměr	120	-
SO ₂	1 hodina	350	24
	1 den	125	3
Benzen	Kalendářní rok 1 den	5	-
		Nestanoveno	-

(Zdroj: Úřední věstník Evropské unie, 2008)

Tab. 8 Klasifikace monitorovacích stanic podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES

Typ stanice	Dopravní (T), průmyslová (I) pozad'ová (B)
Typ oblasti	Městská (U), předměstská (S), venkovská (R)
Charakteristika oblasti	Obytná (R), obchodní (C), průmyslová (I), zemědělská (A), přírodní (N), obytná – obchodní (RC), obchodní – průmyslová (CI), průmyslová – obytná (IR), obytná – obchodní – průmyslová (RCI), zemědělská – přírodní (AN)

(Zdroj: Úřední věstník Evropské unie, 2008)

4.1.1 Vývoj koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} za období 2015–2019

S ohledem na vývoj koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} za jednotlivé roky z hlediska dlouhodobých průměrů 2015–2019 bylo obecně zjištěno, že kvalita ovzduší se v Evropě za poslední desetiletí značně zlepšila, avšak i přesto stále dochází k překračování imisních limitů, což je problémem hned několika evropských zemí (EEA, 2019). Jednotlivé mapy vývoje koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5}, které meziročně srovnávají jednotlivé země Evropské unie, jsou dostupné z grafických ročenek Českého hydrometeorologického ústavu a Evropské agentury pro životní prostředí a jsou seskupeny v kapitole *Přílohy* této diplomové práce.

Bylo zjištěno, že v období mezi lety 2014–2016 bylo v evropských státech okolo 13–19 % městského obyvatelstva vystaveno nadlimitním denním koncentracím PM_{2,5}, přičemž v rámci ročních mezních hodnot to bylo 6–8 % (ČHMÚ, 2018). V roce 2015 se převažující zatížení koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} týkalo především severní a východní části centrální Evropy (viz **Příloha 1**), přičemž nejvíce znečištěnou zemí v případě suspendovaných částic PM_{2,5} byl sever Itálie. Hodnoty v daných regionech přesahovaly nadlimitní roční koncentrace o více jak 25 µg/m³, a to střídavě na venkovských pozadových stanicích a městských/předměstských pozadových stanicích. Druhou nejvíce postiženou zemí v řadě bylo Polsko, taktéž co se obou těchto sledovaných oblastí a stanic týče. V neposlední řadě byly na hranici imisních limitů státy Maďarsko, Rumunsko a Slovensko. Rok 2016 (viz **Příloha 2**) byl významný zejména pro Polsko a opět sever Itálie. Překročené imisní limity nad 30 µg/m³ se týkaly zejména jižní části Polska a hraničně i Česka, konkrétně severovýchod ČR. Plošně byly dále překračovány mezní hodnoty v rozmezí 25–30 µg/m³ po téměř celém území Polska. Limity překračovaly dále i východní země Evropy, avšak ne v příliš enormním měříku. Naopak hodnoty států západních, tj. Německo, Rakousko, Španělsko, Portugalsko, Francie, Finsko, Švédsko aj., byly z hlediska ročního průměru velmi příznivé, nepřesáhly totiž 20 µg/m³.

V následujícím tříletém období 2017–2019 se kvalita ovzduší výrazně zlepšila. V tomto sledovaném období bylo odhadem přibližně 1–6 % obyvatelstva vystaveno nadlimitním ročním koncentracím suspendovaných částic PM_{2,5}. Mezi lety 2016–2018 to bylo navíc 4–8 %, co se nadlimitních ročních koncentrací týče. Suspendované částice PM_{2,5} dlouhodobě vykazují nadměrné hodnoty přesahující limity stanovené Světovou zdravotnickou organizací a dle odhadů můžou tyto koncentrace přesahovat až 74–78 % ročních koncentrací (ČHMÚ, 2021). V roce 2017 lze pozorovat výrazné zhoršení koncentrací PM_{2,5} oproti předchozím rokům, a to zejména ve východní části Evropy s přesahem na západ, konkrétně sever Německa a Nizozemsko, které se hraničně blížily k překročení mezních imisních limitů a jejich hodnoty se pohybovaly v rozmezí 15–20 µg/m³ (viz **Příloha 3**). Velmi zásadní je zde zhoršení severu Itálie a opět (nyní již celého území) Polska, které má přesah do České republiky. Rok 2018 dále vykazuje změny,

tentokrát severněji od středu Evropy, kde lze pozorovat zvyšující se koncentrace $PM_{2,5}$ v Litvě a Dánsku (viz **Příloha 4**). Naopak stále bez překročení zůstává severní Evropa, tj. Finsko, Švédsko a Estonsko. Vývoj průměrných ročních koncentrací za rok 2019 byl oproti roku 2018 umírněnější, avšak stále konzistentní na severu Itálie – a rovněž postupující jižně, kde se hraničně koncentracemi $PM_{2,5}$ blížil k mezním limitům (viz **Příloha 5**). Významné je opět Polsko, sever Česka a východní strana Evropy, dále však došlo ke zlepšení na západní straně Evropy, jejíž státy již dosahují maximálně $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nejvýraznější změnou byla doposud situace v Evropě v roce 2020 (viz **Příloha 6**). Tato situace byla způsobena především vlivem koronavirové pandemie SARS–COV–2, která zamezila volnému pohybu osob včetně omezení dopravní intenzity. Bylo zjištěno, že zhruba jedno až dvě procenta obyvatelstva byla vystavena nadlimitním koncentracím $PM_{2,5}$, což je doposud nejnižší relativní hodnota za sledované období dlouhodobých průměrů (ČHMÚ, 2022). Obecně došlo ke snížení koncentrací $PM_{2,5}$ v zemích západní Evropy a oproti předchozím rokům také lehce v Polsku a na jihu Itálie. I přesto však zůstaly na některých místech přesáhnuty imisní limity, především ve frekventované severní Itálii, jižním Polsku a jihovýchodní části Evropy, konkrétně na hranicích Chorvatska se Srbskem, kde byly nadlimitní zejména hodnoty měřené na venkovské pozad'ové stanici a městské či předměstské pozad'ové stanici.

4.1.2 Pandemie koronaviru SARS–COV–2 v souvislosti s kvalitou ovzduší

Nový typ koronaviru SARS–COV–2 byl poprvé objeven v čínském městě Wuchan koncem roku 2019 a vzhledem k jeho dopadům je dodnes známý v celosvětovém měřítku. Globální pandemie dala vzniknout mnoha velkým změnám ve společnosti, ekonomice a dopravě. Poté, co se pandemie rozšířila téměř po celé Evropě, docházelo k postupnému zavádění jednotlivých opatření a především k tzv. lockdownu neboli izolaci/úplné uzávěře, která se jevila jako jedno z mnoha mezních řešení pro regulaci tohoto problému (Concawe, 2021). Hrozba pro veřejné zdraví vedla mnoho vlád k zavedení například omezení mobility a přijetí takových strategií, které by napomohly ke zvládnutí krizové situace. Přestože byla tato rozhodnutí poháněna za účelem ochrany veřejného zdraví ve smyslu snížení přenosu viru, v různých oblastech světa bylo zaznamenáno poměrně významné zlepšení kvality ovzduší, a to zejména v důsledku značného snížení poptávky po dopravní mobilitě (Ravina, 2021).

Jednotlivé intervence, jakožto reakce na šířící se pandemii, ovlivnily především ekonomický růst a sociální rámec. Mnoho ekonomických činností bylo dočasně pozastaveno, do konce března 2020 došlo k uvalení úplného nebo částečného lockdownu na obyvatelstvo bezmála více než sta zemí a snížila se poptávka po osobní dopravě, čímž došlo k razantnímu snížení emisí látek znečišťujících ovzduší (EEA, 2020). V Evropě byly první případy onemocnění prokázány již koncem ledna 2020. Počátkem února se následně rapidně zvyšovaly, a to hned v několika evropských zemích. Jednou z prvních byla Itálie, která byla zároveň zemí s nejvyšší incidencí a jako první zavedla opatření proti šíření této pandemie. Během března 2020 byla

karanténní opatření uvalena i na většinu evropských zemí, což mělo příznivou odezvu v oblasti dopravy, jejíž intenzita byla prokazatelně snížena (Ravina et al., 2021).

4.1.3 Stringency Index

Vzhledem k problematice změny kvality ovzduší v letech 2020 a 2021, kdy došlo k výraznému obratu v ekonomické, sociální a environmentální oblasti v důsledku zavedení jednotlivých intervencí v rámci propuknutí pandemie koronaviru SARS–COV–2, v komparaci s lety předchozími za stavu standardního, byla vybrána jednotlivá města Evropské unie na základě tzv. Stringency Index. Tento Index, kterému lze z anglického jazyka rozumět jako „indexu přísnosti opatření“, vznikl jako projekt odborníků z Oxfordské univerzity pod názvem Oxford Coronavirus Government Response Tracker (OxCGRT) a nastiňuje první odhady dopadů pandemie koronaviru SARS–COV–2 na celosvětovou složku ekonomiky, společnosti a životního prostředí. Prostřednictvím měřítka několika ukazatelů (zavírání škol a pracovišť, rušení veřejných akcí a shromáždění, omezení veřejné i mezinárodní dopravy, omezení pohybu ve vnitřních prostorech, veřejné informační kampaně a podpora pobytu v domácnosti) zaznamenává striktnosti protipandemických opatření dle metrik vládních politik. Jednotlivé dny vyjadřují průměrné hodnoty vycházející z devíti stanovených metrik, které jsou následně přepočteny na hodnoty nabývající od 0 do 100 (100 = nejpřísnější možná). Aktuálně se vládní politiky liší dle stavu očkování a jsou rozděleny do tří kategorií – očkovaní, neočkovaní a vážený průměr očkovaných a neočkovaných (Our World in Data, 2020).

Na základě **Obr. 1** byl vytvořen užší výběr evropských měst, dle kterého bude konkretizováno šetření z hlediska jednotlivých monitorovacích stanic kvality ovzduší:

- Belgie: Gent / Antverpy
- Česko: Praha / Olomouc
- Finsko: Helsinky / Tampere
- Itálie: Milán / Řím
- Německo: Berlín / Mnichov
- Polsko: Varšava / Vratislav

Pro vizualizaci indexu přísnosti opatření byl zpracován graf průměrných hodnot v rámci členských zemí Evropské unie za roky 2020 a 2021 (viz **Obr. 1**). Na základě toho lze konstatovat, že země nejpřísnější v zavádění opatření byly Itálie, Řecko, Německo, Portugalsko a Irsko. Naopak ty země, které zaváděly minimální, případně žádné intervence proti šíření koronaviru, byly Estonsko, Finsko, Chorvatsko, Litva a Bulharsko. Vzhledem k postupným nařízením, na která reaguje index přísnosti opatření, byla mezi měsíci březnem a květnem 2020 uvedena

Itálie do úplného lockdownu jako první západní země zasažená touto pandemií. Jednalo se především o region Lombardie, konkrétně metropolitní oblasti Milána či Brescie (Fassò, 2022).

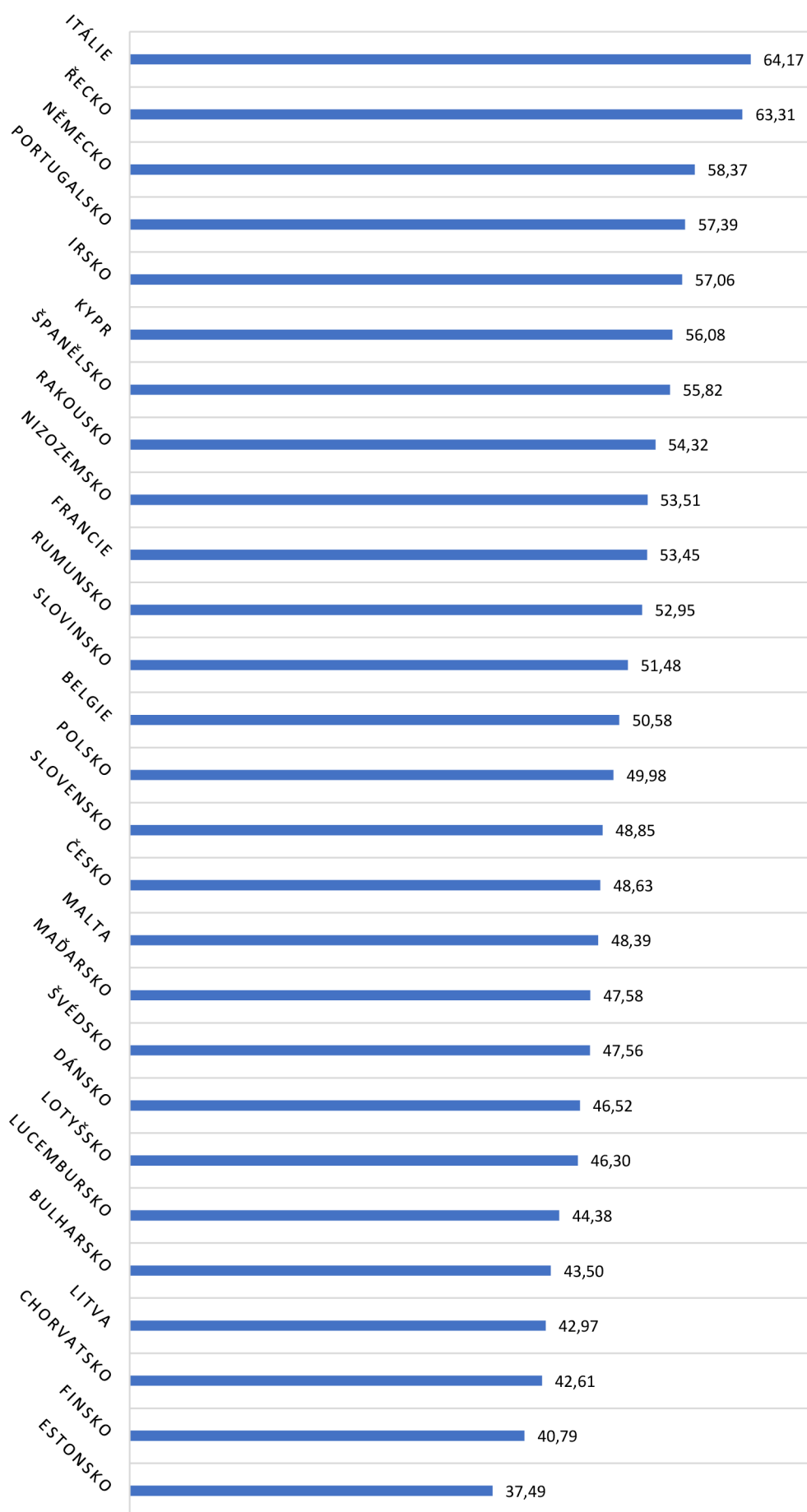
Na základě statistického zhodnocení indexu přísnosti opatření vyplývají z boxplotové analýzy hodnoty, které udávají situaci v konkrétně zvolených zemích (viz **Obr. 2**). Kulminující hodnoty lze pozorovat zejména u Itálie, kde charakter sloupce poukazuje na zavedení razantních opatření, která byla oproti jiným zemím nastolena nejpřísněji, a dominovaly u ní rovněž nejvyšší hodnoty. Obecně se jedná o jednu z prvních zemí Evropské unie, jejíž vláda podnikla daná opatření a byla v nich značně stabilní. Itálie má zároveň nejvyšší hodnotu mediánu ve své řadě, která dosahuje hodnoty 67,59. Podobným způsobem zavádělo jednotlivá opatření také Německo, které v půlce roku 2020 podléhalo mírně sestupné fázi, avšak navzdory tomu opět nabylo hodnot počátkem roku 2021 důsledkem narůstající celoplošné úmrtnosti v celé zemi. Medián dosáhl hodnoty 59,72 jako druhý největší po Itálii. Oproti přísným zemím stojí případ Polska, které nastolilo možné intervence jako jedno z posledních v evropském měřítku a jako poslední z výběru ve své řadě. Polsko bylo provázáno relativně častými změnami, co se indexu přísnosti opatření týče, čemuž napovídá rozsah sloupce horního a dolního kvartilu. Tuto skutečnost lze přirovnat častému rozvolňování během jednotlivých pandemických vln. Relativně stabilní v jednotlivých intervencích byla Belgie, která v období března a dubna 2020 nabyvala vysokých hodnot přísných opatření, která však netrvala dlouho a v polovině roku opět svá opatření rozvolňovala. Svého maxima dosáhla při hodnotě 81,48, naopak minima ve své klesající fázi 23,15. Průběh situace v Česku byl relativně variabilní. Nebyl příliš dodržen dlouhodobý a stabilní lockdown, který by trval alespoň tři po sobě jdoucí měsíce. Analýza vychází z poměrně častého rozvolňování a obecně průměrná hodnota Stringency Index v roce 2020 nepřesáhla 43,21. Opačným a naprosto odlišným protipólem zejména nejstriktněji řízených zemí je Finsko, které již od počátku pandemie zavedlo přísná opatření, která byla ve svém průběhu konzistentní a bez případných rozvolňovacích stadií. V roce 2020 dosáhla vrcholná hodnota 71,3 a při prvním rozvolnění neklesala dramaticky, nýbrž pozvolně.

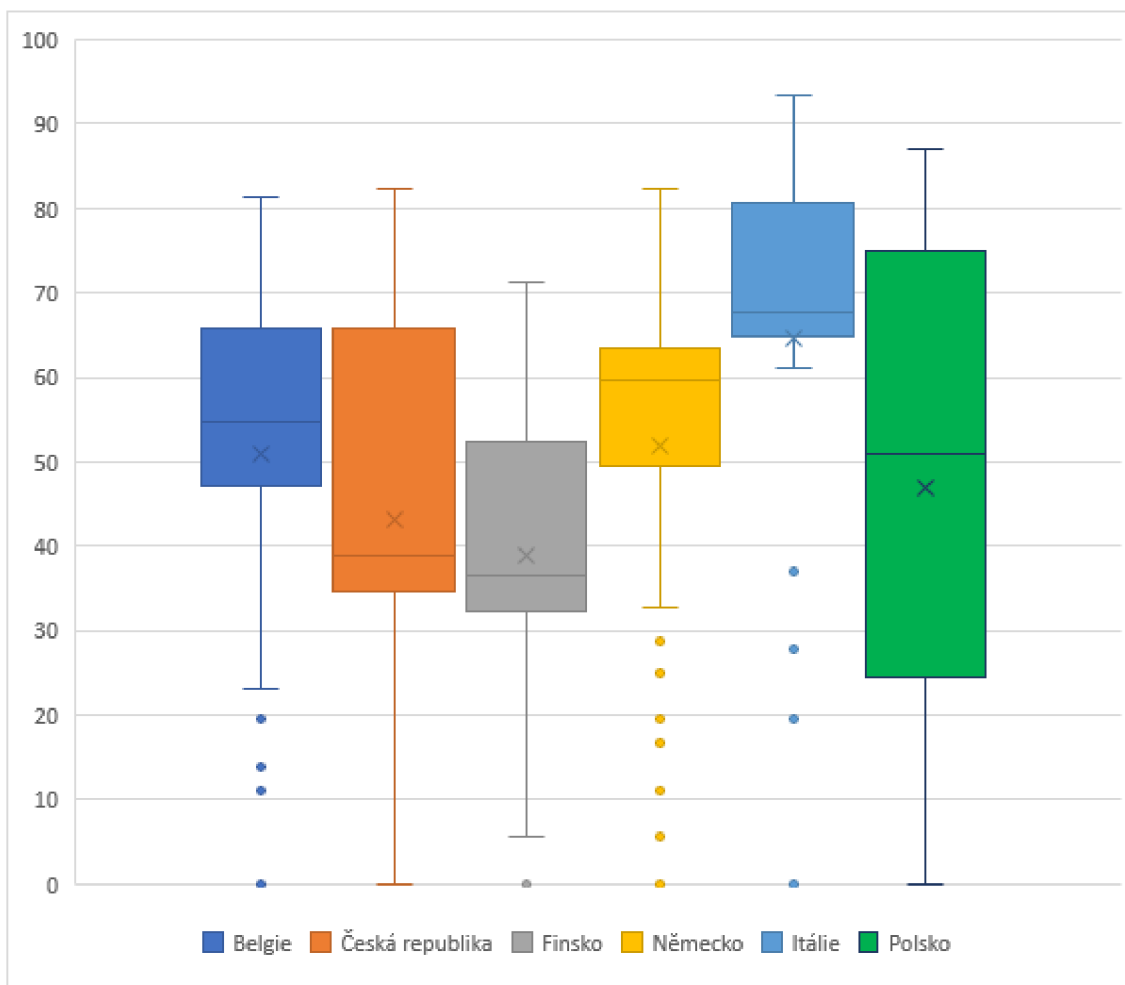
Výsledky boxplotové analýzy za rok 2021 přinášejí rovněž viditelné změny v oblasti přísnosti opatření (viz **Obr. 3**). Zde je možné spatřit připravenost jednotlivých zemí v reakci na již kontinuální pandemii koronavirového onemocnění. Za klíčový faktor těchto východisek lze považovat například vysoký počet nakažených osob, případně rychlou incidenci nebo poměrně rostoucí nadúmrtnost, a to především na přelomu zimního období 2020–2021. Tato skutečnost na mnoha místech přinesla výpadky ve zdravotnictví, vzhledem k naplnění jejich kapacit. Svou roli také pravděpodobně sehrála omezení v oboru farmacie, což se projevilo také u zemí, které v roce 2020 měly relativně nízkou incidenci (Iftekhar et al., 2021).

Počátkem roku 2021 došlo k nastolení striktních opatření téměř ve všech vybraných zemích, kdy nejvyšší průměrnou hodnotu, a zároveň nejvyšší hodnotu mediánu tohoto indexu,

vykazovaly zejména země Itálie (medián 69,44), která povolila přísná opatření až koncem roku, a Německo (medián 67,59), které drželo v průběhu prvního pololetí relativně stabilní úroveň, kterou však rozvolňovalo v posledních měsících toho roku. Obecně lze říci, že všechny předmětné země ve své řadě, dle rozpětí horního a dolního kvartilu, zaváděly jednotlivá opatření kontinuálně po celou dobu roku 2021 (počítáme-li s obdobími rozvolňování), a to zejména v první polovině roku. Vytrvalou zemí bylo především Finsko, které mělo po celou dobu sledovaného období relativně stabilní míru přísnosti a z dlouhodobého hlediska nepropadalo v rozvolňování. Na rozdíl od Finska byla Belgie zemí, která vzhledem k vyššímu nárůstu případů následovala v první polovině roku protipandemická opatření podobně jako většina evropských zemí, avšak její křivka od prvního čtvrtletí sestupně klesala pod svou úroveň, kde dosáhla minimální hodnoty 31,87. Z grafu lze zjistit také situaci v roce 2021 v případě Česka, kde je vidět relativně rostoucí trend zejména na začátku roku, který však v březnu velmi rapidně klesl a svou hodnotu ustálil až v polovině roku, která však nebyla příliš významná. Oproti doposud poměrně důsledným chováním předmětných zemí stojí opět Polsko, které první čtvrtletí drželo stálou linii, kterou však s příchodem jara prudce rozvolnilo. To mělo za následek v průběhu posledního čtvrtletí znovu vzrůstající křivku přísných opatření, která byla pravděpodobně způsobena unáhleným rozvolněním, které přineslo nečekaně intenzivní incidenci či vysokou úmrtnost.

Obr. 1 Průměrné hodnoty Stringency Index členských zemí Evropské unie v letech 2020 a 2021 (Zdroj: *Our World in Data, 2020; vlastní zpracování*)



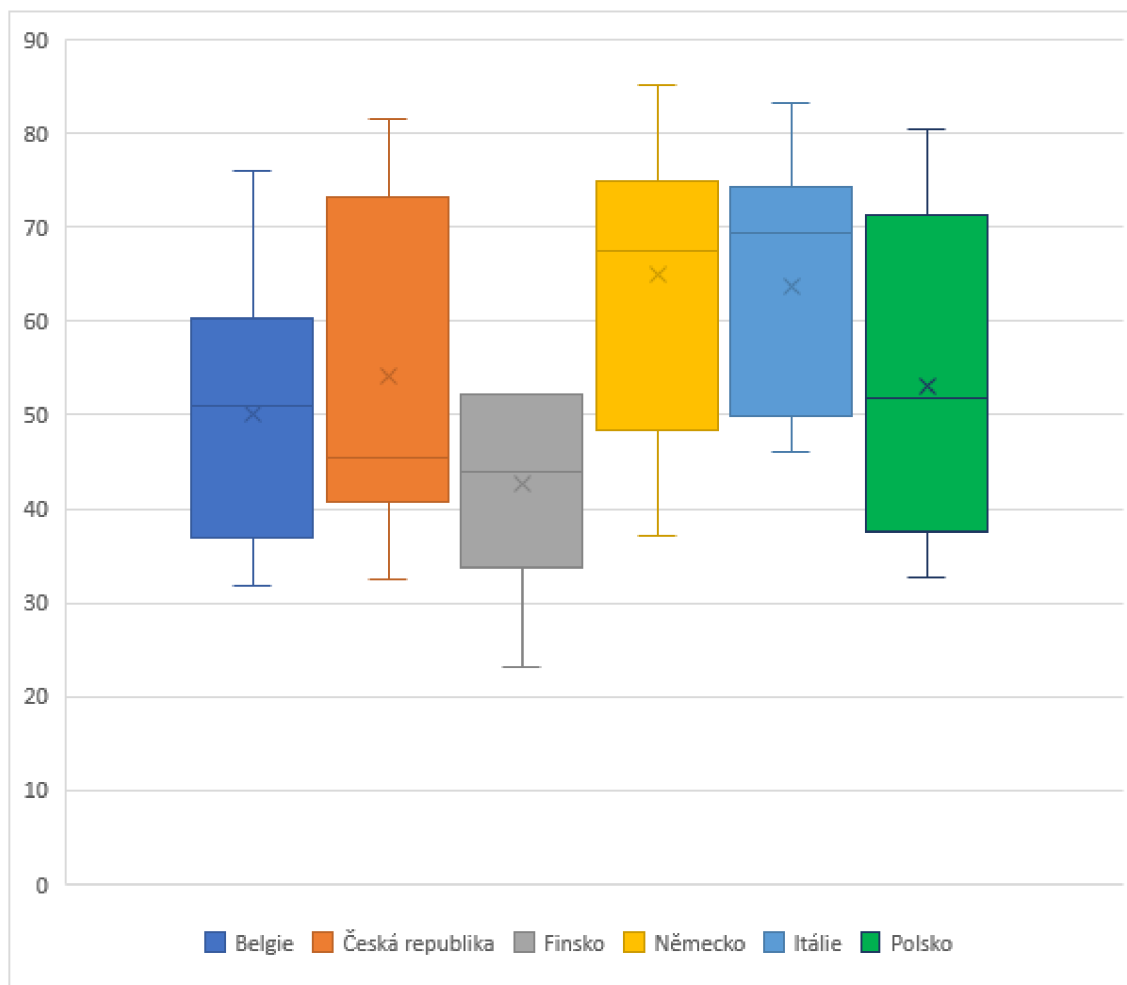


Obr. 2 Boxplotová analýza Stringency Index vybraných zemí EU v roce 2020 (Zdroj: *Our World in Data, 2020; vlastní zpracování*)

Tab. 9 Hodnoty boxplotové analýzy Stringency Index v roce 2020

Vybrané země	Min.	Dolní kvartil	Průměr	Medián	Horní kvartil	Max.
Belgie	0	47,22	51,05	54,63	65,74	81,48
Česko	0	34,72	43,21	38,89	65,74	82,41
Finsko	0	32,41	38,84	36,57	52,31	71,3
Itálie	0	49,54	51,77	59,72	63,43	82,41
Německo	0	64,81	64,59	67,59	80,56	93,52
Polsko	0	24,54	46,97	50,93	75	87,04

(Zdroj: *Our World in Data, 2020; vlastní zpracování*)



Obr. 3 Boxplotová analýza Stringency Index vybraných zemí EU v roce 2021 (Zdroj: *Our World in Data, 2020; vlastní zpracování*)

Tab. 10 Hodnoty boxplotové analýzy Stringency Index v roce 2021

Vybrané země	Min.	Dolní kvartil	Průměr	Medián	Horní kvartil	Max.
Belgie	31,87	36,835	50,11	50,93	60,19	75,93
Česko	32,41	40,74	54,05	45,38	73,15	81,48
Finsko	23,15	33,8	42,74	43,98	52,31	52,31
Itálie	37,04	48,315	64,99	67,59	75	85,19
Německo	46,08	49,97	63,74	69,44	74,25	83,33
Polsko	32,61	37,62	52,99	51,85	71,3	80,56

(Zdroj: *Our World in Data, 2020; vlastní zpracování*)

5 Analýza koncentrací PM_{2,5} ve vybraných evropských městech

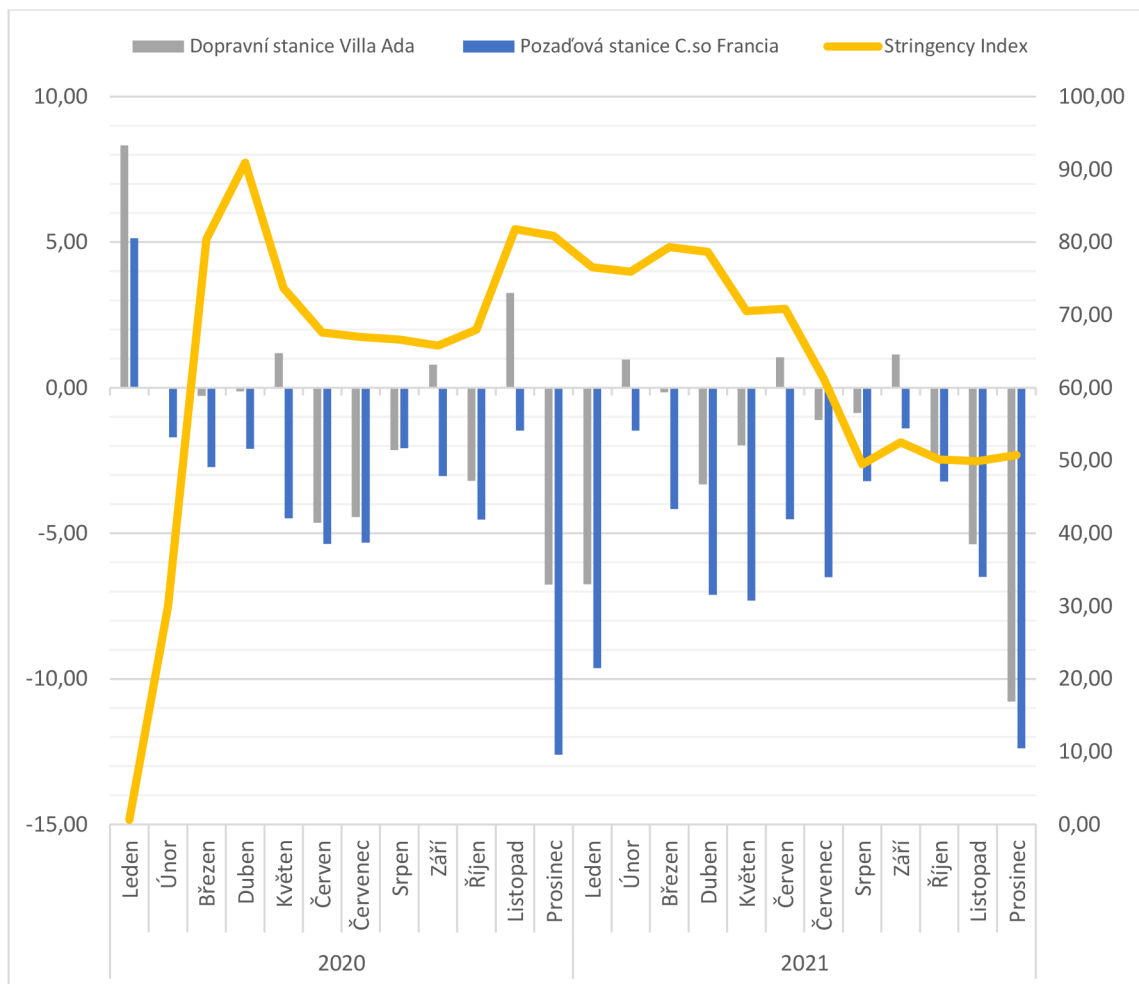
V této kapitole se obsah diplomové práce zabývá praktickou částí, která vychází z analýzy dat dopravních a pozadových stanic imisního monitoringu za období let 2020 a 2021 a dlouhodobých průměrů období let 2015–2019. Analýza je zaměřena na konkrétní znečišťující látku, a sice suspendované částice PM_{2,5}, jejichž koncentrace jsou sledovány a analyzovány za vybraných 12 evropských měst v měřítku průměrných měsíčních hodnot. Vizualizace pobírá nejen odchylky hodnot mimořádných stavů let 2020 a 2021 od dlouhodobých pětiletých průměrů, které nebyly ovlivněny žádným mimořádným dominantním faktorem, ale zahrnuje rovněž průměrné měsíční hodnoty Stringency Index neboli indexu přísných opatření, o která se opírají možná vysvětlení skutečných výsledků z provedených analýz.

5.1 Itálie – Řím, Milán

V období probíhající pandemie koronaviru SARS–COV–2 byla Itálie zemí s nejméně striktními opatřeními, která byla zaváděna jako nástroj pro snížení nákazy tohoto onemocnění. Dílčí opatření byla v této zemi přijata již koncem ledna 2020 a vrcholného období různých opatření bylo dosaženo již v dubnu 2020, kdy index dosáhl hodnoty 90,93. Následkem toho byl omezen socioekonomický rámec v celé zemi oproti předchozím ročníkům.

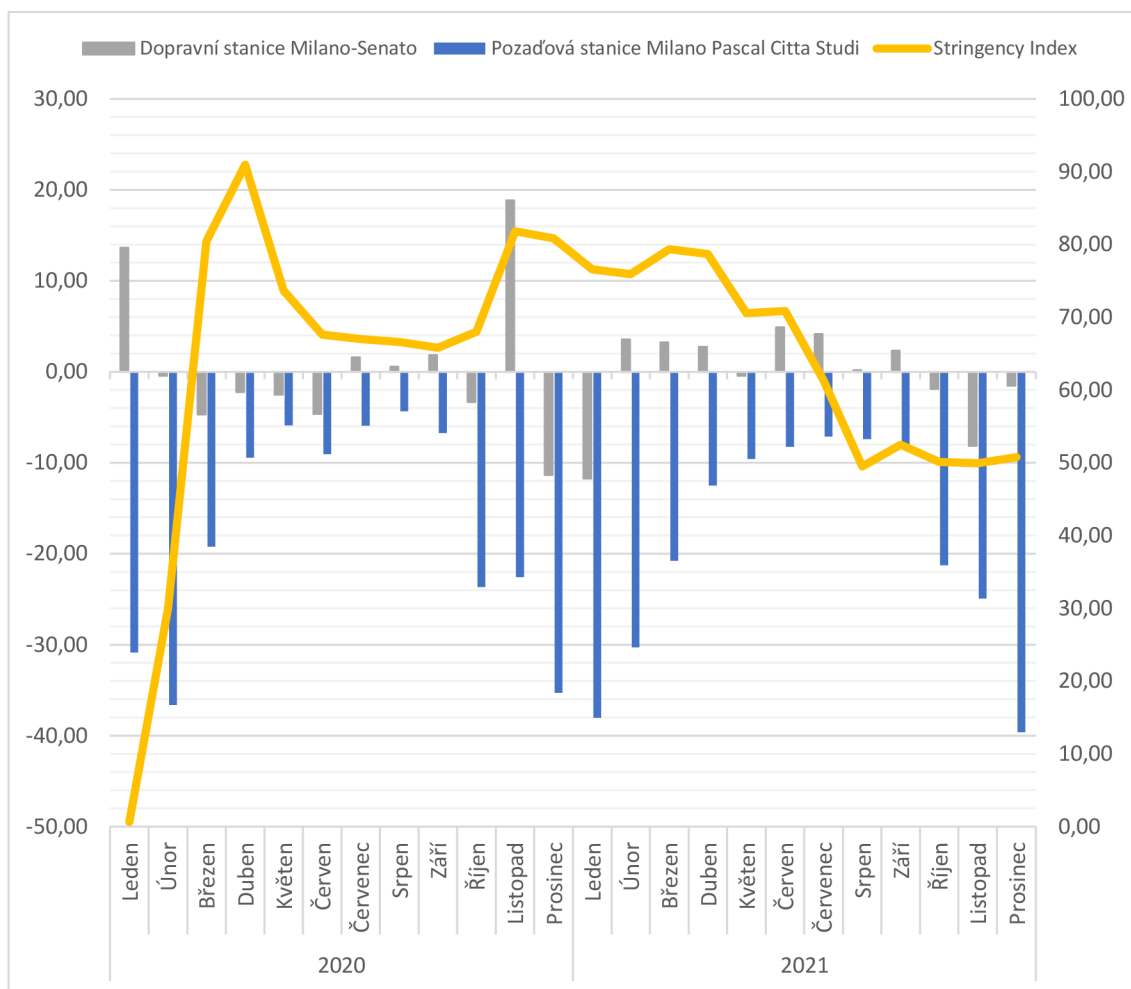
Následující **Obr. 4** znázorňuje rozdílné odchylky koncentrací PM_{2,5} na pozadové stanici C.so Francia a dopravní stanici Villa Ada ve vybraném městě Římě. V roce 2021 byla zaznamenána obecně větší odchylka koncentrací PM_{2,5} na obou stanicích, nežli tomu bylo v roce 2020, přičemž k o něco výraznějšímu snížení koncentrací došlo na stanici pozadové. V mnoha případech byla tato skutečnost způsobena různými úrovněmi zaváděných opatření, které v grafu znázorňuje linie Stringency Index. Počátkem roku 2020, konkrétně v měsíci lednu, lze spatřit odchylky hodnot (svým charakterem let předchozích), které byly oproti následujícím hodnotám ve své řadě poměrně vysoké. S příchodem zaváděných restrikcí byly odchylky již nakloněny k záporným hodnotám, zejména na pozadové stanici, které téměř okamžitě klesly pod nulu. Následovalo relativně stabilní období od května do října roku 2020, kde nízké hodnoty PM_{2,5} korespondovaly se stálou úrovní zavedených opatření. V tomto období je možné sledovat lehké výkyvy na dopravní stanici, jejíž koncentrace PM_{2,5} se v měsících květnu a září nepatrně zvýšily kvůli možnému rozvolnění striktních opatření. V listopadu 2020 byla stejně tak na dopravní stanici zaznamenána zvýšená úroveň koncentrací PM_{2,5}, která byla nejvyšší ve své řadě za sledované období. Tato odchylka dosahovala hodnoty 3,25 µg/m³, což nelze přirovnat k souladu s přísností opatření vzhledem k tomu, že tato úroveň dosahovala hodnoty 81,79 a byla druhou nejvyšší dosaženou v celém sledovaném dvouletém období. Opakem toho byl měsíc

prosinec, který zaznamenával oproti ostatním měsícům extrémní propad v koncentracích $PM_{2,5}$, které byly jak na dopravní, tak i pozad'ové stanici nejnižší. Odchylka $PM_{2,5}$ dosáhla oproti dlouhodobým průměrům na pozad'ové stanici až $-12,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ při úrovni indexu 80,86 a na dopravní stanici $-9,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ při téže úrovni indexu. Oproti roku 2020 lze v roce 2021 pozorovat o něco větší snížení imisních koncentrací $PM_{2,5}$. To se týká opět především pozad'ové stanice, která v období mezi březnem a červencem vykazovala hodnoty $PM_{2,5}$ lícující s linií přísných opatření. Dopravní situace byla v tomto roce nejpříznivější v lednu, kdy odchylka koncentrace $PM_{2,5}$ klesla na $-6,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a to evidentně díky zavedeným restrikcím, stejně jako koncem roku v prosinci, kdy odchylka pozad'ové stanice činila $-12,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a dopravní stanice $-10,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avšak ne důsledkem přísných politik, nýbrž pravděpodobnou změnou chování obyvatel či nestandardními meteorologickými podmínkami.



Obr. 4 Odchylky měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v Římě (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

Druhým italským městem byl zvolen Milán, u kterého byla pozorována pozad'ová stanice Milano Pascal Citta Studi a dopravní stanice Milano–Senato (viz **Obr. 5**). Na první pohled je evidentní razantní snížení koncentrací PM_{2,5} zejména na pozad'ové stanici a nepřiliš markantní v oblasti dopravy, kdy v některých případech docházelo ke snížení imisních odchylek oproti dlouhodobým průměrům, které vykazovaly vyšší hodnoty koncentrací PM_{2,5}. Zpočátku roku 2020 lze pozorovat rozdílné odchýlení mezi oběma stanicemi, kdy odchylky koncentrací PM_{2,5} z pozad'ové stanice prudce klesly již v únoru k -36,61 µg/m³. Z hlediska dopravy byla situace nejpříznivější opět koncem roku 2020 a začátkem roku 2021, kdy se koncentrace PM_{2,5} pohybovaly mezi -11,35 a -11,71 µg/m³. V listopadu 2020 lze pozorovat opět výrazný nárůst PM_{2,5} i přes vysokou úroveň indexu přísnosti opatření. Zde koncentrace dosahují hodnoty až 18,84 µg/m³. V období od června do srpna roku 2021 bylo na pozad'ové stanici vidět oproti první polovině roku lehce stupňovité narůstání koncentrací, nicméně s příchodem konce roku byla situace opět při hodnotě -39,62 µg/m³, avšak opět ne důsledkem intenzivně zaváděných politik.



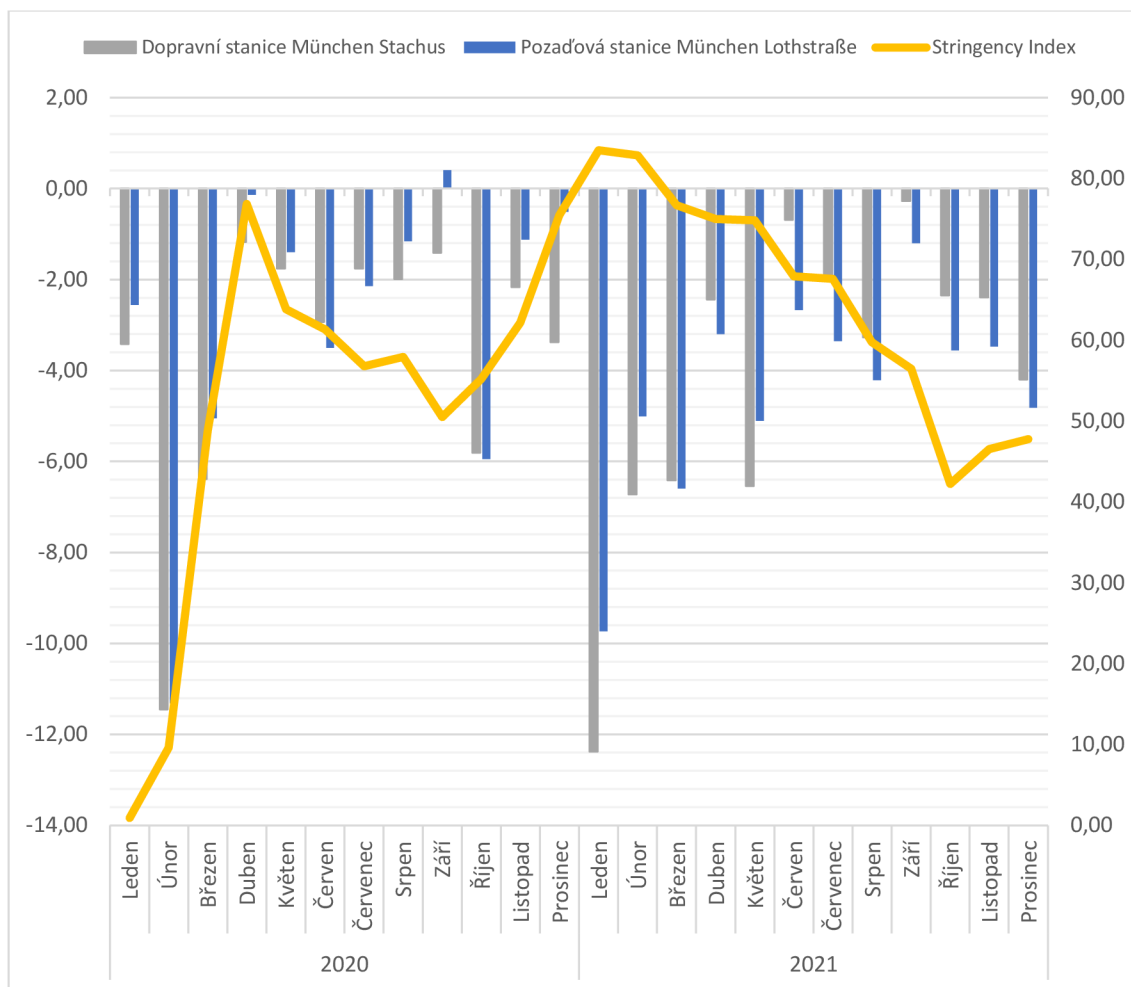
Obr. 5 Odchylky měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} v Miláně (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

Itálie je zemí intenzivně zatíženou dopravní obslužností, jejíž poptávka neustále stoupá. V případě Říma je zřejmé, že přijatá opatření, která měla za úkol omezit dopravní poptávku a podpořit lockdown po určitá období v daných letech, působila pozitivně na kvalitu ovzduší, která si v případě suspendovaných částic frakcí $PM_{2,5}$ polepšila v obou sledovaných letech. Dopravní situace v městě Miláně byla rovněž příznivá, nicméně ne natolik jako v Římě. Odchytky hodnot koncentrací se pohybovaly lehce pod nulou, nicméně také v několika případech i nad úrovní nuly. Nejvíce příznivými pro kvalitu ovzduší byly v obou městech na obou monitorovacích stanicích měsíce prosinec (2020) a leden (2021). Z hlediska pozad'ové stanice byl optimálnější Milán, který vykazoval o něco vyšší odchytky především v průběhu roku 2021 nežli Řím. V případě hodnot získaných z dopravní stanice byla situace příznivější v případě Říma, kde byly měsíční průměrné odchytky imisí prokazatelně optimálnější. V obou případech lze však konstatovat, že došlo k pozitivnímu obratu odchylek v obou letech, a to především díky zavedeným protipandemickým restrikcím, které v grafu vizualizuje linie Stringency Index. Na základě toho je možné potvrdit, že chování obou vybraných měst částečně korespondovalo se vzestupným a sestupným trendem linie. Odchytky obou měst byly dlouhodobě příznivé.

5.2 Německo – Mnichov, Berlín

Na začátku pandemie koronaviru SARS–COV–2 se Německo zařadilo po Itálii a Španělsku na třetí místo nejvíce zasažených evropských zemí. Vrcholné hodnoty 83,51 dosáhl Stringency Index v lednu 2021 jako reakce na vysoké počty úmrtí a denně rostoucí incidenci. Na základě různě omezujících opatření byly v rámci analýzy sledovány koncentrace $PM_{2,5}$ na dopravní stanici München Stachus a pozad'ové stanici München Lothstraße (viz **Obr. 6**).

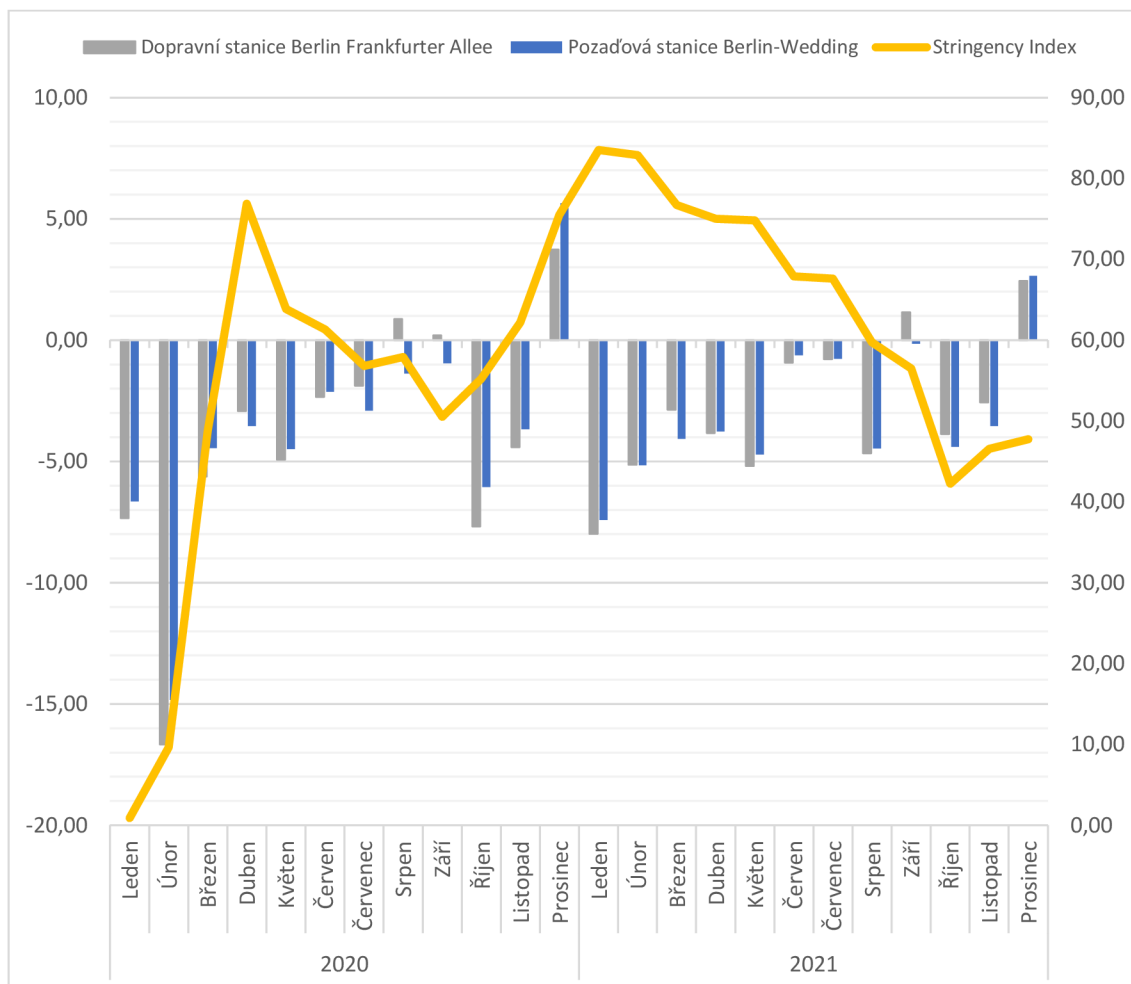
Na první pohled lze vidět u obou stanic příznivé snížení v obou sledovaných letech, kdy se odchytky pohybovaly v záporných hodnotách. Již od počátku roku 2020 byl zaznamenán výrazný pokles odchylek na obou stanicích, avšak s převahou na stanici dopravní. Ta v únoru 2020 zaznamenala hodnotu odchylky $PM_{2,5}$ $-11,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, podobně tomu bylo také na pozad'ové stanici, kde byla zjištěna odchylka $-11,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V průběhu roku 2020 měla linie Stringency Index klesající charakter, nebyla tudíž příliš přísná, na což reagovalo také pozadí a dopravní situace, která nevyjadřovala extrémní odchýlení od nuly. V roce 2021 se situace změnila s narůstající striktností opatření, kterou vyjadřuje vysoká hodnota Stringency Index od počátku ledna po konec března. V tomto období zaznamenáváme významnou odchylku v koncentracích $PM_{2,5}$ jak na dopravní stanici, která zejména v lednu zažila největší propad za celou dobu pandemie v podobě odchylky $-12,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tak na pozad'ové stanici, která stejně tak dosáhla poměrně nízké hodnoty odchylky $-9,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Od poloviny až po konec roku 2021 docházelo k sestupnému poklesu linie indexu přísných opatření, avšak hodnoty odchylek koncentrací $PM_{2,5}$ setrávaly pod úrovní nuly.



Obr. 6 Odchylky měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} v Mnichově (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

Jako druhé bylo zvoleno hlavní město Německa Berlín, jehož dopravní stanice Berlin Frankfurter Allee a pozad'ová stanice Berlin-Wedding reagují na odchylky koncentrací PM_{2,5} ve své podstatě podobně jako u předchozího města, avšak přesto zcela odlišně (viz Obr. 7). V roce 2020 byly průměrné odchylky poměrně vyšší nežli v roce 2021, a to jak u dopravní, tak i pozad'ové stanice. Dopravní situace zde byla příznivější, což lze pozorovat již v lednu (podobná situace se udála i v Mnichově), kdy i přes teprve nabíhající možné úrovně přísných opatření klesly rapidním způsobem odchylky na dopravní stanici, a to na -16,66 µg/m³ i na pozad'ové stanici, která vykazovala hodnotu odchylky -14,82 µg/m³. S ohledem na průběh roku 2020 je evidentní, že propady byly významné. V prosinci 2020 je vidět odlišná odchylka na obou stanicích, která nekoresponduje se zvyšujícím se Stringency Indexem. Tato situace mohla být způsobena odchylkami v meteorologických podmínkách či jinými možnými faktory, které na opačný směr odchylky měly potenciální vliv. První polovina roku 2021 přinesla pozitivní odezvu omezujících restrikcí, díky kterým byly průměrné odchylky PM_{2,5} dlouhodobě udržovány

pod úrovní nuly. Lehké odchylky pozorujeme na konci roku při sestupné fázi Stringency Index, kdy v září lehce vystoupaly na dopravní stanici k $1,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Podobně tomu bylo i v prosinci, tentokrát na obou stanicích, kdy dopravní odchylka dosáhla maxima $2,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a pozadová průměrná odchylka $2,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Obr. 7 Odchylky měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ v Berlíně (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

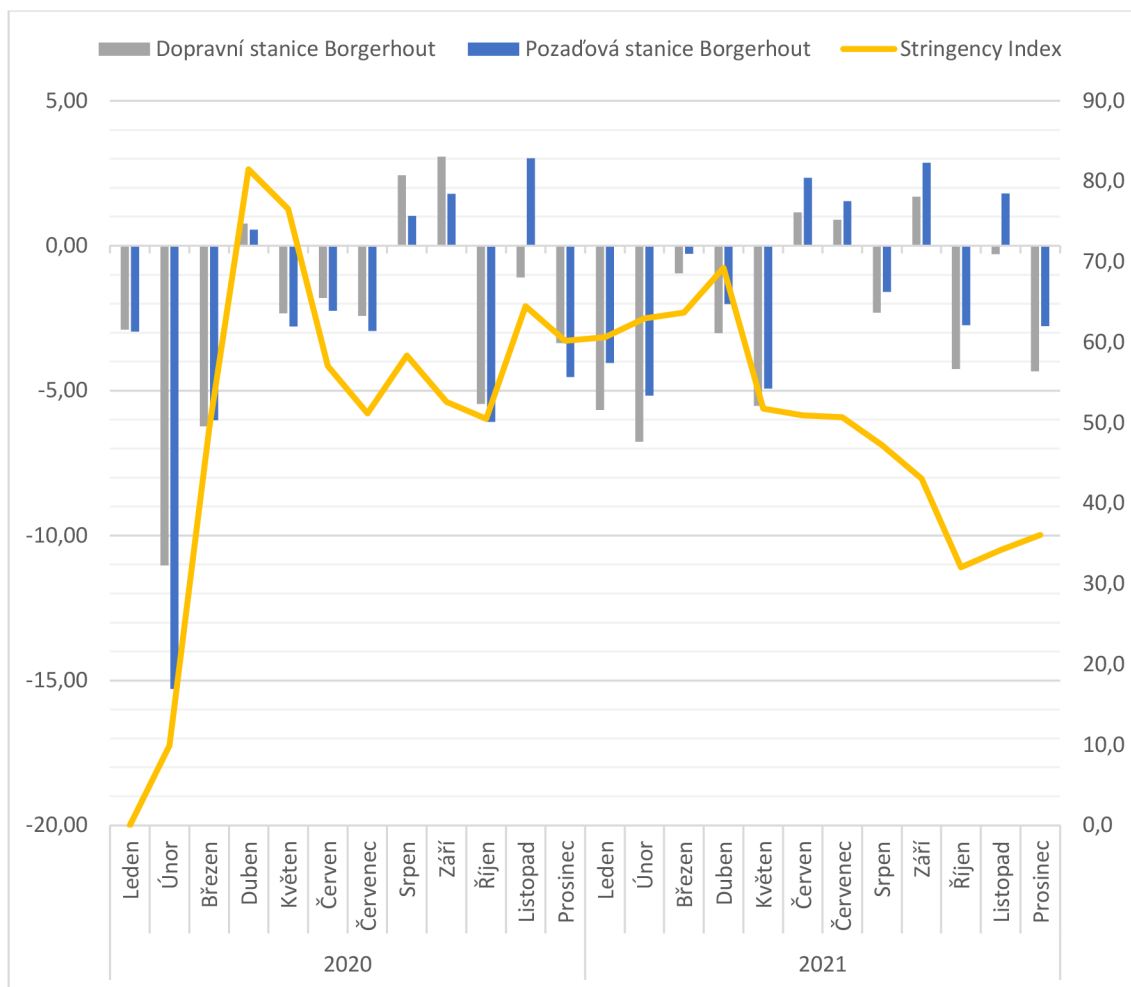
Při zhodnocení obou měst je zřejmé, že v obou případech bylo dosaženo významných odchylek, které jednoznačně vykazují pokles koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ na obou stanicích. V případě Mnichova došlo k většímu snížení koncentrací oproti Berlínu, avšak ten byl pro změnu časově stabilnější ve svých hodnotách. Hodnoty odchylek byly v případě Berlína pravděpodobně ovlivněny meteorologickými situacemi, které působily na hodnoty $\text{PM}_{2,5}$ v určitých měsících, tím pádem neodpovídaly souladu se Stringency Indexem. V obou případech lze pozorovat podobné chování v období od června do září v roce 2020, kdy hodnoty Stringency Index poklesly,

čímž došlo k lehkému rozvolnění. A v obou případech bylo možné pozorovat odklon od větších odchylek.

5.3 Belgie – Antverpy, Gent

Belgie se na křivce přísně zaváděných opatření nachází téměř v polovině, kdy její průměrná hodnota za obě sledovaná období dosáhla 50,58. Pro zjištění odchylek průměrných koncentrací PM_{2,5} bylo zvoleno město Antverpy, při kterém byly pozorovány odchylky na stejnojmenné dopravní a pozad'ové stanici Borgerhout (viz **Obr. 8**). Z grafu lze na první pohled vidět velmi variabilní a relativně nízkou křivku Stringency Index, na kterou hodnoty z pozad'ové ani dopravní stanice příliš nereagovaly. V roce 2020 bylo dosaženo nejvyšších odchylek PM_{2,5} v měsíci únoru, a to na obou stanicích. Dopravní stanice vykazovala odchylku -11,03 µg/m³, o něco více však vykazovala odchylku stanice pozad'ová, a to -15,29 µg/m³. V tomto měsíci byly zaznamenány nejnižší možné úrovně zavedených opatření, tudíž nelze příznivou situaci kvality ovzduší této křivce přisoudit.

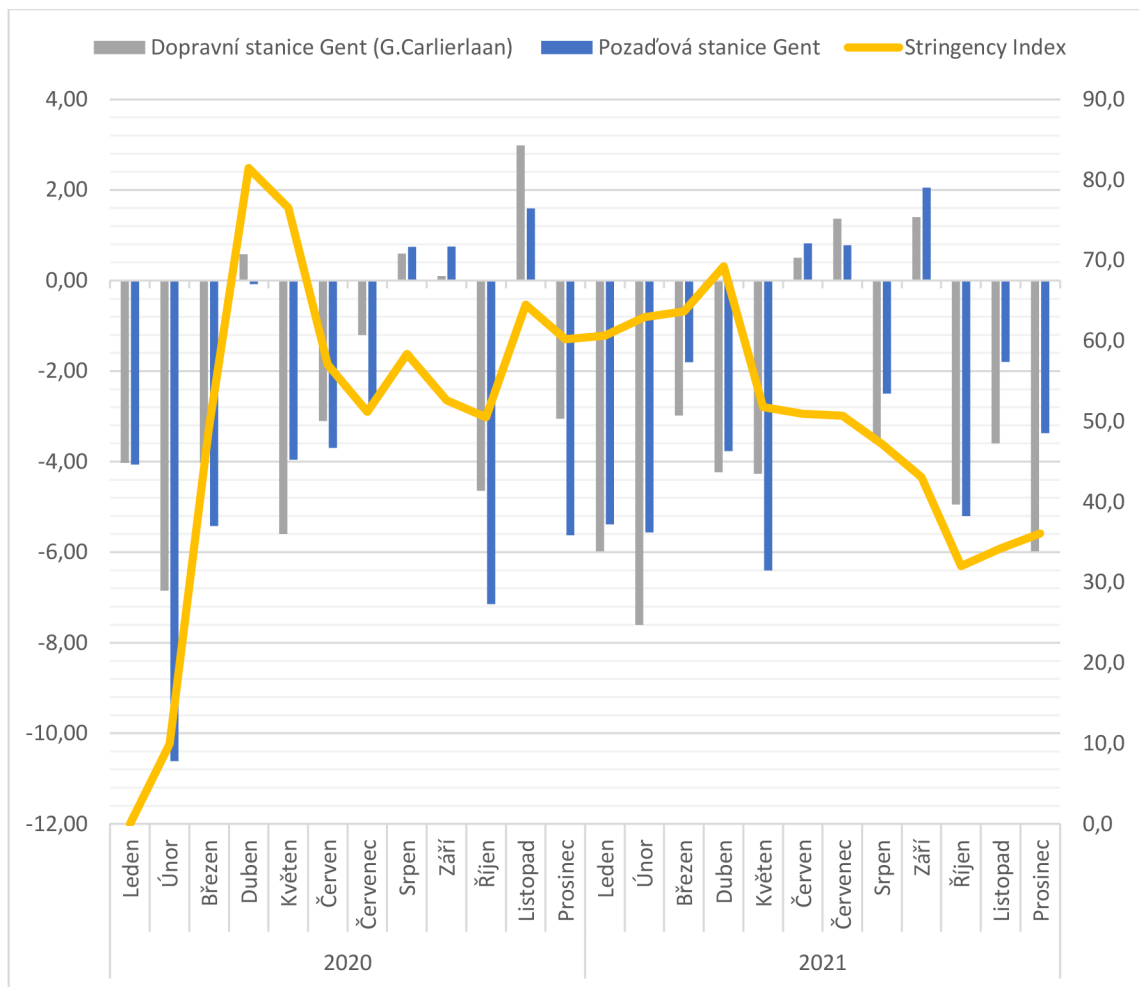
V roce 2020 došlo v průběhu zavádění přísných opatření také k výrazné variabilitě, která způsobila téměř půlroční období rozvolňování mezi červnem a říjnem. To ve většině zahmutých měsíců přineslo snížení hodnot koncentrací PM_{2,5}, avšak byly zde zaznamenány některé rostoucí hodnoty, které se projeví na dopravní stanici. S příchodem roku 2021 byly odchylky koncentrací PM_{2,5} opět příznivé. Došlo k jejich snížení především na dopravní stanici, a to v prvních dvou měsících, které dosáhly maximálních hodnot až -6,76 µg/m³. Od dubna 2021 došlo k prudkému poklesu zavedených nařízení, což se odrazilo zejména na pozad'ových stanicích, kde se hodnoty odchylek ubíraly spíše vzestupně. Z grafu lze poznat, že na hodnoty koncentrací PM_{2,5} spíše působily odlišné vlivy nežli klesající úrovně přísných opatření. Klesající odchylky především na dopravní stanici se koncem roku mohly řídit nižší poptávkou po mobilitě, která odráží chování obyvatelstva, které bylo v průběhu obou sledovaných let toto omezení nuceno přijmout.



Obr. 8 Odchytky měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} v Antverpách (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

Pro porovnání bylo zvoleno i druhé město Gent, u kterého byla vybrána dopravní stanice Gent (G.Carlierlaan) a pozadřová stanice Gent (viz **Obr. 9**). Na obou těchto monitorovacích stanicích bylo snížení hodnot PM_{2,5} zaznamenáno již v únoru, avšak ve stejném případě, jako tomu bylo u Antverp, není zřejmé, zda měl počínající, mírně narůstající vliv striktnosti opatření již v tuto dobu značný vliv na přijatelnější stav kvality ovzduší v předmětných lokalitách. Přísné opatření bylo nastoleno hned v květnu roku 2020 při hodnotě 76,6, kdy byly hodnoty odchylek PM_{2,5} zejména na dopravní stanici prokazatelně sestupné, kdy klesly k maximální hodnotě až -5,60 µg/m³. Oproti tomu došlo začátkem druhé poloviny roku k nárůstu hodnot odchylek, které se pohybovaly nad úrovní nuly, důsledkem rostoucí dopravní poptávky a zároveň klesající úrovní přísnosti opatření. Takto striktní hodnota poklesla za necelé tři měsíce a relativně dlouhou dobu v tomto stavu setrvala, než došlo k jejímu úplnému propadu na konci roku 2021. Nejpriznivějším obdobím v tomto sledovaném rozmezí měsíců bylo období od prosince do května 2021, kdy nejnižších hodnot dosáhl měsíc únor při -7,60 µg/m³ na stanici dopravní, na stanici

požadové pak byla hodnota na úrovni $-6,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Druhá polovina roku byla v odchylkách hodnot příznivější, avšak opět je třeba poukázat na nesoulad těchto klesajících hodnot $\text{PM}_{2,5}$ na taktéž klesající křivku Stringency Index. Pravděpodobně byla tato situace způsobena výraznými povětrnostními či meteorologickými podmínkami, ve spojitosti s nízkou poptávkou po dopravní mobilitě.



Obr. 9 Odchylky měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ v Gentu (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

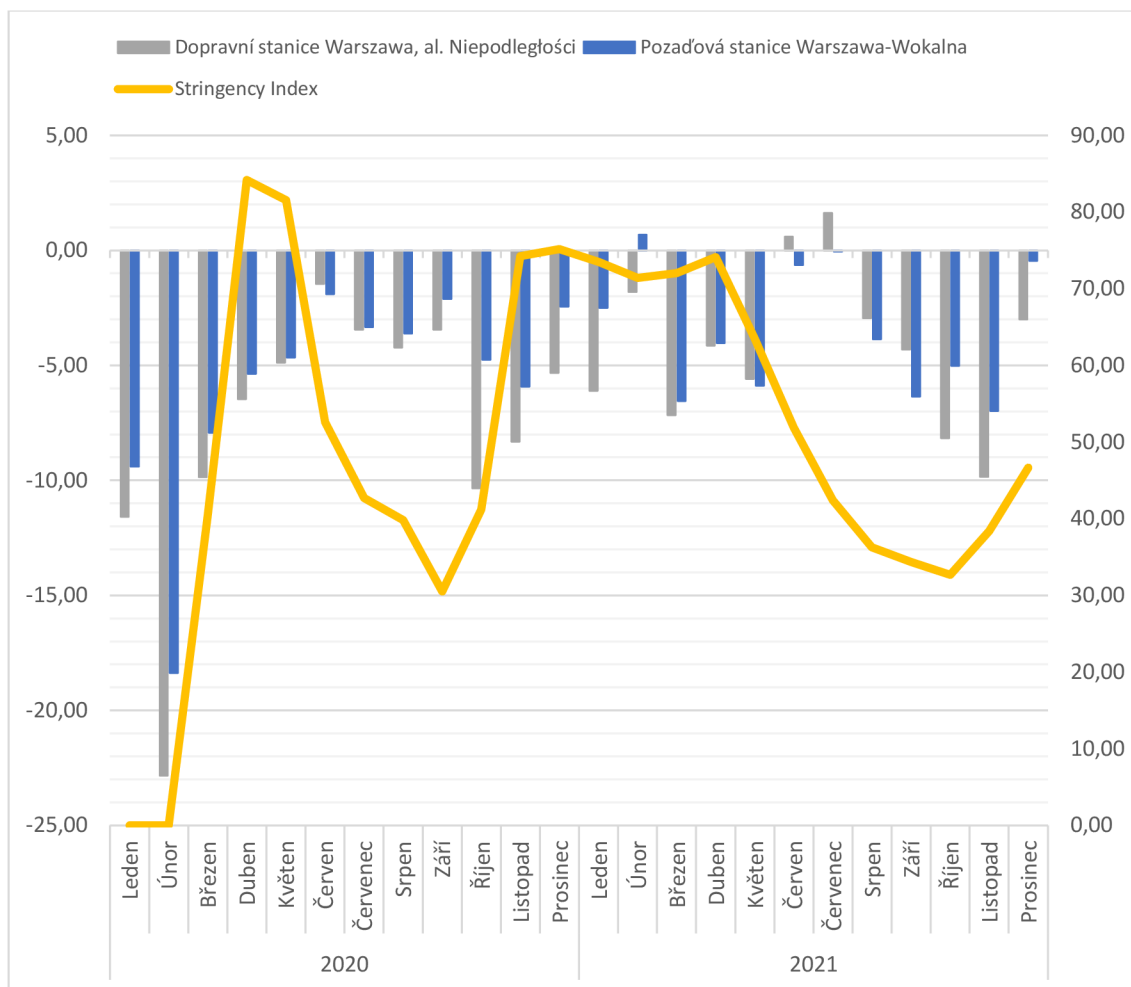
V případě obou měst byla shoda mezi poklesem hodnot koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ a křivkou Stringency Index poměrně efektivní. K poklesu koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ došlo především na dopravní stanici, která vykazovala příznivé hodnoty v rámci odchylek mimořádných stavů oproti dlouhodobým průměrům. Hodnoty na dopravní stanici naměřené v obou městech korespondovaly s nízkou úrovní striktních omezení, která v období mezi měsíci prosincem 2020 a březnem 2021 vykazovala relativně dlouhodobě stabilní klesající charakter. S ohledem

na situaci v obou městech lze tedy konstatovat, že stav kvality ovzduší se díky snižující se odchylce hodnot koncentrací $PM_{2,5}$ oproti dlouhodobým průměrům poměrně zlepšil.

5.4 Polsko – Varšava, Vratislav

Oproti zemím, které v průběhu mimořádného stavu v letech 2020 a 2021 setrvaly v přísných opatření dlouhodobě a mnohdy vytrvaly v kontinuálním a neměnném lockdownu několik měsíců bez možného rozvolnění, byla situace v Polsku celkem odlišná. Stringency Index byl poměrně variabilní, což napovídají **Obr. 10** a **11**. K zavedení přísných opatření došlo v dubnu 2020, kdy nejvyšší hodnota dosáhla 84,20. Druhá nejvyšší hodnota 81,54 byla dosažena již v květnu a předcházela velkému propadu v zavádění dalších potřebných restrikcí, což znamenalo několikaměsíční rozvolnění.

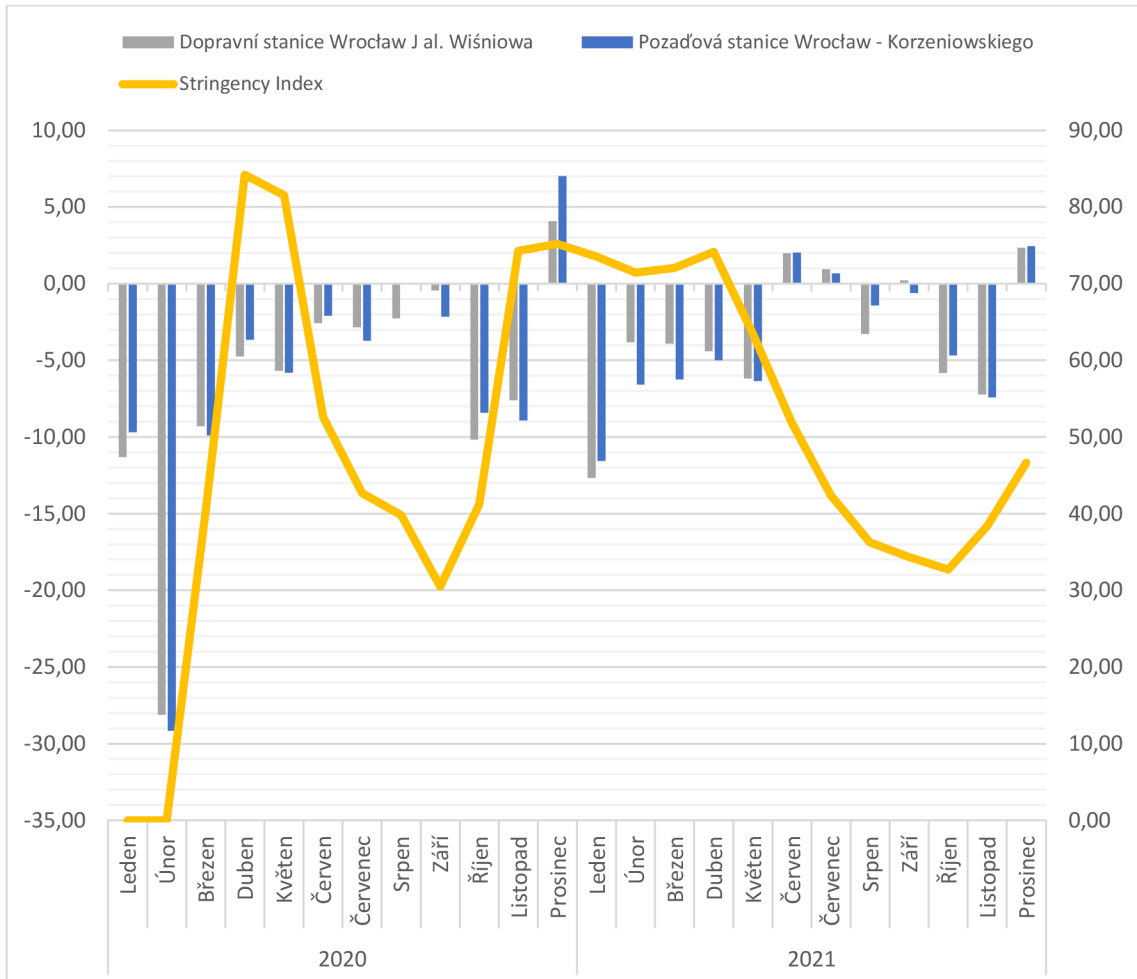
Stav kvality ovzduší je v Polsku z hlediska průměrných měsíčních odchylek sledován na dopravní stanici Warszawa, al. Niepodległości a pozad'ové stanici Warszawa-Wokalna (viz **Obr. 16**). V roce 2020 byla situace na obou těchto stanicích velmi příznivá. Před zavedením dílčích restrikcí bylo možné v měsíci únoru při odchylce, která dosahovala na dopravní stanici $-22,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a na pozad'ové stanici $-18,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pozorovat značně příhodnou situaci, která vykazovala velmi nízké hodnoty odchylek koncentrací $PM_{2,5}$. Navzdory tomu však charakter polské dopravy neodpovídá takto propadajícím odchylkám oproti dlouhodobým průměrům, proto je možné tuto situaci přisuzovat jiným faktorům nežli protipandemickým nařízením. Na první pohled je patrné, že trend odchylek koncentrací $PM_{2,5}$ byl oproti pozad'ové stanici klesající téměř ve všech měsících, a to i v případě, že tomu neodpovídala křivka Stringency Index, která se shodovala pouze v měsících dubnu, červnu, listopadu a prosinci 2020. Začátkem roku 2021 byla kontinuálně po dobu čtyř měsíců zavedena striktní opatření bez drastického rozvolnění, na což reagovaly i odchylky koncentrací, jejichž maximálními hodnotami byly na dopravní stanici $-7,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a na pozad'ové stanici $-6,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Od téměř poloviny roku 2021 došlo opět k velkému propadu v rozvolnění opatření, což bylo znatelné v měsících červnu a červenci 2021, avšak trend minusových hodnot od srpna znovu klesal a odchylky průměrných hodnot $PM_{2,5}$ se na dopravní stanici dostaly až k $-9,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a na pozad'ové stanici k $-6,98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve svých maximech. Nelze tuto situaci tedy přisuzovat zaváděným nařízením, které byly ve své úrovni příliš nízké. Možností je změna chování obyvatelstva, které setrvalo při původních návycích omezujících zejména dopravní poptávku.



Obr. 10 Odchylky měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} ve Varšavě (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

Město Vratislav je oproti Varšavě z hlediska odchylek koncentrací PM_{2,5} již na první pohled dosti odlišným. Za toto město jsou pozorovány dopravní stanice Wrocław J al. Wiśniowa a pozadová stanice Wrocław – Korzeniowskiego. V únoru 2020 můžeme vidět stejný propad v hodnotách odchylek PM_{2,5}, avšak tentokrát výrazněji nežli v předchozím městě. Dopravní stanice zde vykazovala hodnotu odchylky -28,11 µg/m³ a pozadová stanice -29,15 µg/m³. V dubnu a květnu lze dále spatřit lehký pokles hodnot průměrných odchylek, které lícují s nárůstem Stringency Index, avšak o zásadní efekt se nejedná. V propadajícím se období mezi červnem a zářím 2020 byl zaznamenán zřejmý vliv vládních opatření na hodnoty koncentrací PM_{2,5}, které se sníženou úrovní Stringency Index, tj. potenciálním rozvolňováním, ubíraly téměř k nulovým hodnotám, a tedy k nepříliš pozitivním odchylkám. Razantní rozvolnění mělo pravděpodobně za následek zrychlenou incidenci a vyšší úmrtnost, proto byla koncem roku 2020 znovu nastolena striktní opatření, která kontinuálně trvala zhruba půl roku až do dubna 2021. Během tohoto období došlo ke snížení koncentrací PM_{2,5} na obou stanicích, kdy na dopravní

stanici byla zaznamenána nejvyšší možná hodnota odchylky až $-12,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a na pozad'ové stanici $-11,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Podobně jako situace ve Varšavě byl opět od června do konce roku 2021 znatelný propad, a tedy další rozvolňující opatření, což Vratislav nepoznamenalo v takové míře jako Varšavu, odchylka nebyla tudíž prokazatelně efektivní.

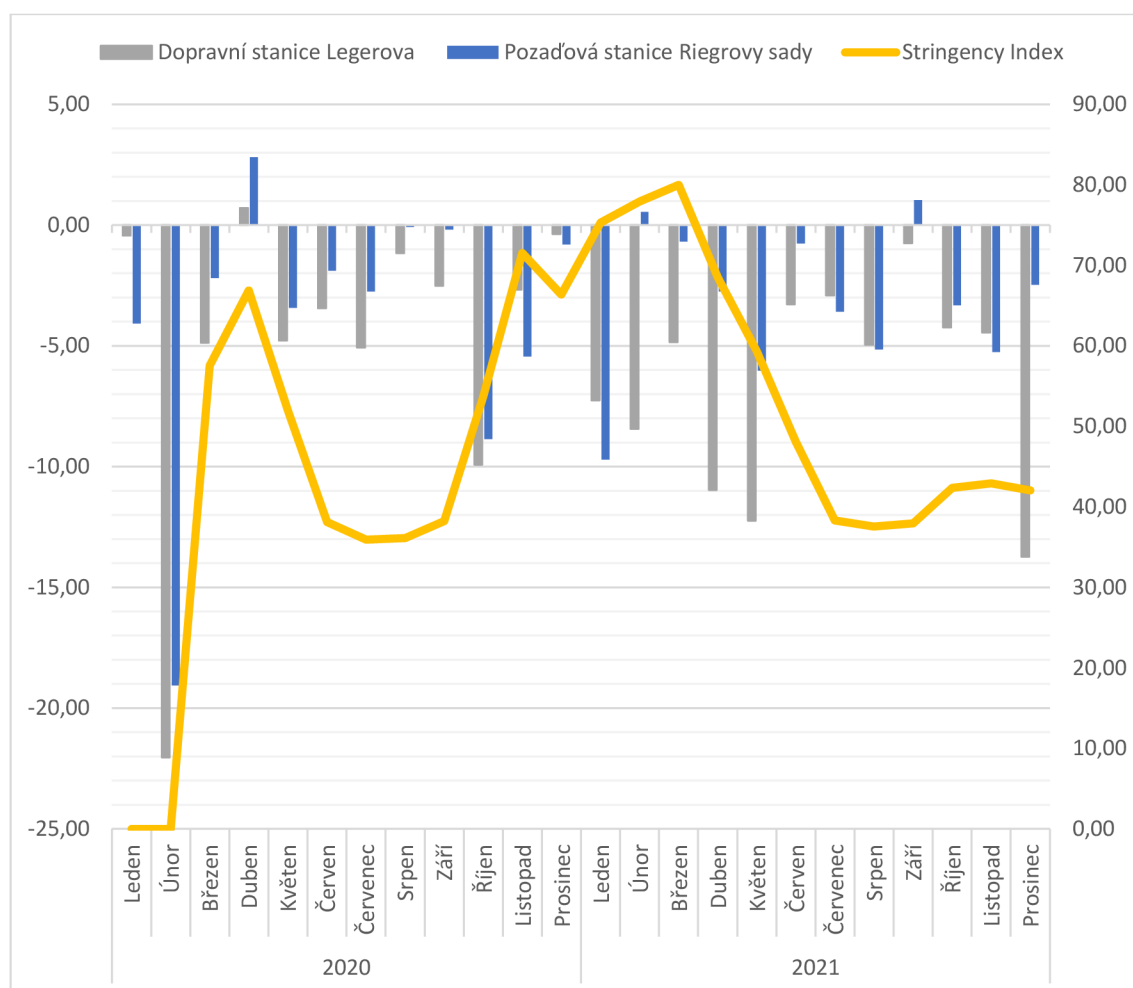


Obr. 11 Odchylky měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic $\text{PM}_{2.5}$ ve Vratislavi (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

Odchylky průměrných měsíčních koncentrací $\text{PM}_{2.5}$ se v případě obou měst chovaly velmi podobně, co se následování křivky Stringency Index týče. Ve Varšavě i Vratislavi došlo v letech 2020 a 2021 k výrazným odchylkám, které se projeví na pozad'ových i dopravních stanicích velmi kladně. Je zde možné pozorovat výrazné snížení koncentrací $\text{PM}_{2.5}$ převážně v prvních měsících obou let a v období tzv. druhé vlny po prvním rozvolňování, tedy v období od listopadu 2020 po duben 2021, a to opět v obou městech a ve velmi podobné míře. Toto období je možné přirovnat nadúmrtnosti, která v Polsku v roce 2020 dosáhla celkem 18,8 % a v roce 2021 vystoupala až na 29,3 %.

5.5 Česko – Praha, Olomouc

V rámci odchylek koncentrací PM_{2,5} byla provedena analýza rovněž pro Českou republiku. Česko se vzhledem ke klasifikaci přísných opatření řadí mezi země, které neměly příliš přísně zavedená opatření, která by měla konzistentní a dlouhotrvající charakter. Zároveň často docházelo mezi jednotlivými pandemickými vlnami k sezónním rozvolňováním zavedených opatření. Nejvyšší průměrná hodnota Stringency Index vyšplhala k 80,02, a to v březnu 2021. Ke zjištění vztahu mezi odchylkami hodnot PM_{2,5} a mimořádnými stavy byly pro hlavní město Prahu sledovány hodnoty z dopravní stanice Legerova a pozad'ové stanice Riegrovy sady (**Obr. 12**).

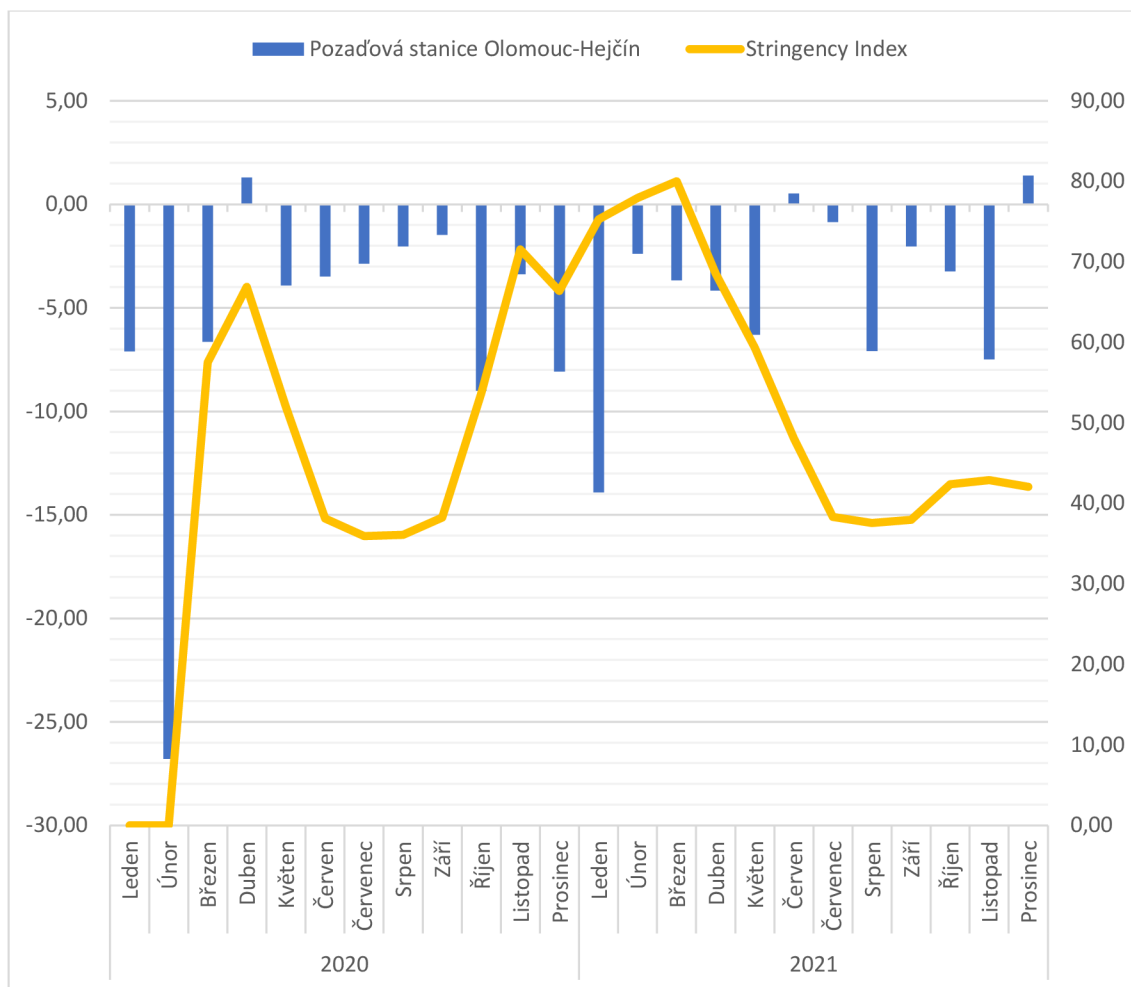


Obr. 12 Odchylky měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} v Praze (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

Největší odchylky bylo v průběhu roku 2020 dosaženo v únoru, kdy hodnota na dopravní stanici dosáhla -22,04 μg/m³, jednalo se tak o největší možnou odchylku suspendovaných částic PM_{2,5}. Stejně tak byla v tomto měsíci zaznamenána nejvyšší hodnota na pozad'ové stanici, která

dosáhla $-19,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V období poklesů křivky Stringency Index, kdy docházelo k rozvolňovacím fázím, byly zaznamenány průměrné odchylky stejně tak jako v případě, kdy nařízení měla vzestupnou fázi. Relativně významné odchylky byly zaznamenány na dopravní stanici v měsíci říjnu 2020 při hodnotě $-9,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a dále v lednu, dubnu a květnu 2021, kdy hodnoty dosahovaly nejvíce až $-12,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V průběhu tohoto období byla křivka Stringency Index vzestupná, tudíž zaváděná opatření byla v tuto dobu nejpřísnější za celé sledované období. Od dubna 2021 následoval prudký propad rozvolňování, což by při obvyklé situaci znamenalo nárůst koncentrací $\text{PM}_{2,5}$, avšak ani v jednom případě stanic k této skutečnosti nedošlo, spíše naopak se odchylky koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ držely pod úrovní nuly.

Ojedinělým příspěvkem je město Olomouc, pro kterou byla k analýze odchylek koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ získána pouze data za pozadřovou stanicí Olomouc–Hejčín. **Obr. 13** vyjadřuje koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ za mimořádné stavy obou sledovaných let, které byly v jednotlivých odchylkách přínosné. Nejvyšší hodnoty bylo dosaženo v únoru 2020, kdy nebyla doposud zavedena žádná opatření. Odchylka sahala k $-26,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nicméně od té doby se hodnoty s přicházejícími nařízeními ustálily. Tuto významnou odchylku lze přisoudit výrazné topné sezóně či nadměrným meteorologickým podmínkám. Pozadřová stanice vykazovala nízké hodnoty odchylek $\text{PM}_{2,5}$ i přes první velké rozvolnění, které bylo v období od června do září 2020. S následným nárůstem zavedených restrikcí byly odchylky koncentrací velmi příznivé, a to zejména v měsíci lednu, kdy hodnoty odchylek klesaly až k $-13,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I přes prudké rozvolnění v polovině roku 2021 i zde koncentrace setrvaly a velmi příznivě klesaly do záporných hodnot. Celkově ve sledovaném období lze pozorovat značné snížení odchylek koncentrací $\text{PM}_{2,5}$, na které měly mimořádné situace velmi příznivý vliv. Je také pravděpodobné, že se sestupně ubírající se křivkou Stringency Index byly znovu navraceny koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ oproti původnímu stavu dlouhodobých průměrů let 2015–2019, jak napovídá poslední sloupec v měsíci prosinci 2021, který dosahoval hodnoty $1,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, což je oproti listopadové hodnotě $-7,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ relativně velkou odchylkou.



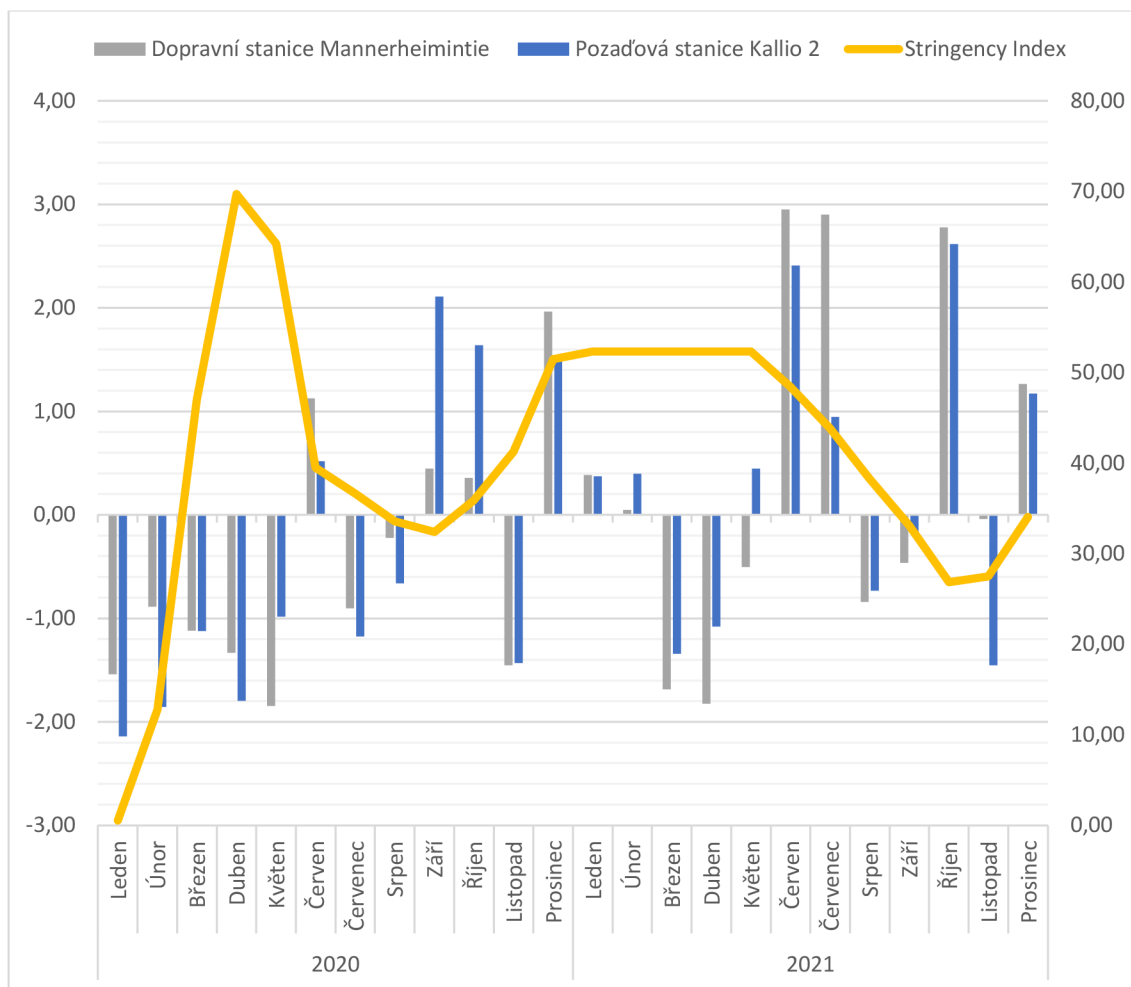
Obr. 13 Odchylky měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} v Olomouci (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

Odchylky průměrných měsíčních hodnot koncentrací PM_{2,5} lze sice hodnotit v případě Olomouce pouze z hlediska stanice pozad'ové, i navzdory tomu je však možné konstatovat příznivé úbytky koncentrací PM_{2,5}. Ty byly zaznamenány především v městě Olomouci v souvislosti se zaváděnými opatřeními v lednu 2021, kdy hodnoty dosáhly -13,92 µg/m³. Stejně, leč o něco nižší hodnoty -9,71 µg/m³ dosáhla rovněž pozad'ová stanice v Praze. Obě tato města odpovídala křivce Stringency Index, která v jednotlivých časových sériích buď rostla, či klesala – nehledě na charakter jednotlivých sloupců. Situaci na dopravní stanici Legerova lze rovněž vyhodnotit jako velmi kladnou, jelikož došlo k výraznému poklesu v odchylkách průměrných měsíčních hodnot PM_{2,5}.

5.6 Finsko – Helsinky, Tampere

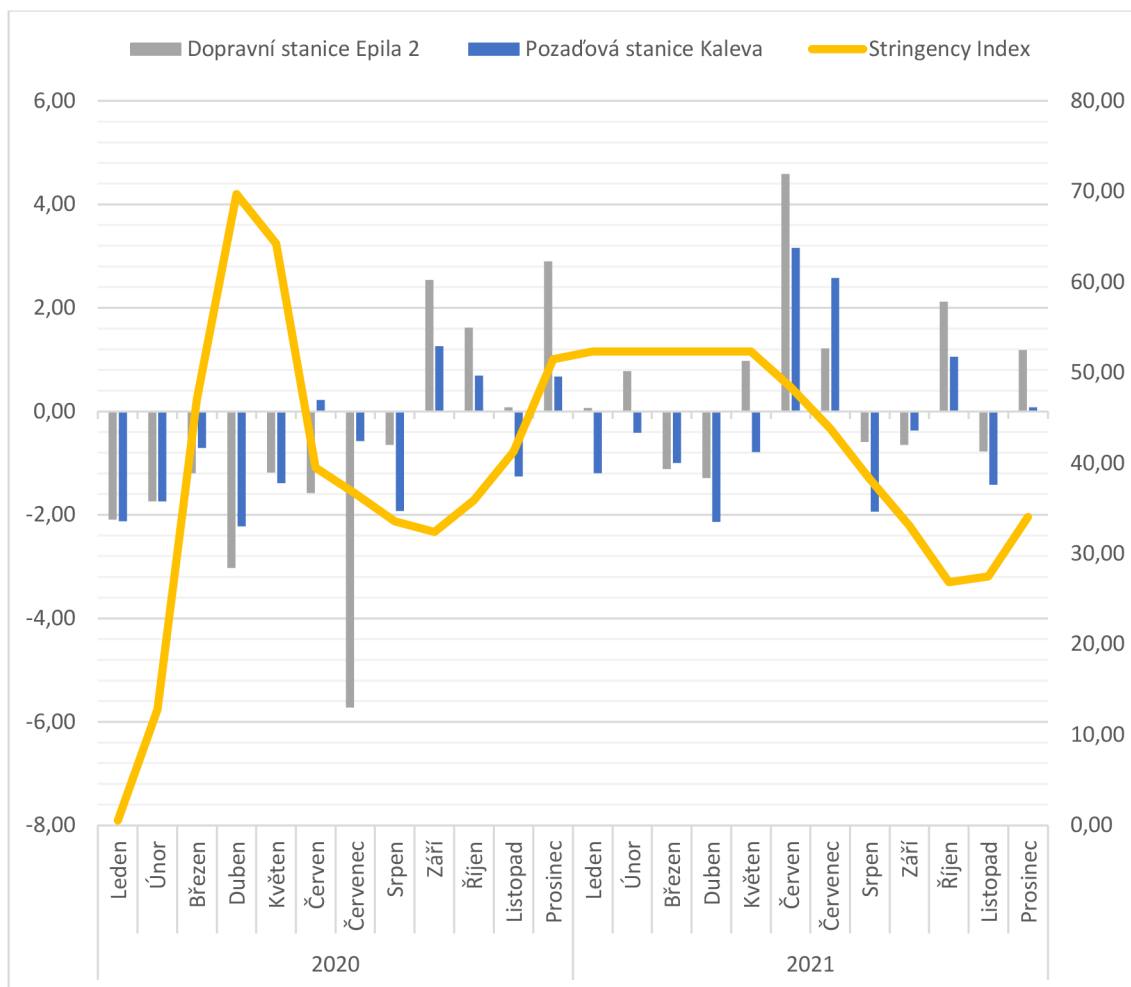
Finsko se z hlediska umístění na škále Stringency Index nachází na předposlední pozici ze všech 27 evropských zemí. Vzhledem k ostatním zemím je charakteristické tím, že zavádělo minimum opatření v minimálně přísných úrovních. Jedním z důvodů byla nízká národní nadúmrtnost, která oproti dlouhodobým průměrům předchozích pět let v roce 2020 tvořila 3,3 % a v roce 2021 celkem 7,3 %. Jedná se tak o zemi, která má třetí nejmenší nadúmrtnost v obou letech, které byly ovlivněny mimořádným stavem.

Odchytky průměrných měsíčních koncentrací $PM_{2,5}$ byly v Helsinkách sledovány prostřednictvím dopravní stanice Mannerheimintie a pozad'ové stanice Kallio 2 (viz **Obr. 14**). Z grafu je patrná výrazná variabilita hodnot v obou letech, které v několika případech kopírují křivku Stringency Index. Již v roce 2020 byl vidět prudký nárůst přísných opatření, jejichž hodnota dosahovala 69,72. Pro Finsko je tahle hodnota vrcholnou za celé sledované období, avšak oproti maximální dosažené hodnotě v Itálii je tato o celých 31,21 nižší. Přesto tento přísný nárůst v dubnu 2020 znamenal snížení hodnot odchylky průměrných koncentrací, i když pouze v řádech jednotek. V polovině roku došlo k rozvolňování, které trvalo do října toho roku, mezitím byly koncentrace $PM_{2,5}$ proměnlivé. V prosinci roku 2020 byla nařízena opatření, která měla dlouhodobě stabilní charakter až do května roku 2021. V tomto období byly nejnižší hodnoty odchylek naměřeny na dopravní stanici, které dosahovaly až $-1,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V červnu 2021 následovalo snižování přísnosti opatření, které trvalo až do listopadu. V tomto období byly znatelné odchylky nad úroveň nuly, a to zejména v dopravě, která dosáhla v červnu 2021 maximální hodnoty $2,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Výkyvy jsou znatelné po celé sledované období, avšak jak již bylo zmíněno, jedná se o jednotky, které jsou oproti jiným zemím prakticky zanedbatelné.



Obr. 14 Odchylky měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} v Helsinkách (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

Oproti Helsinkám pozorujeme suspendované částice PM_{2,5} také na příkladu města Tampere, konkrétně na dopravní stanici Epila 2 a pozadové stanici Kaleva (viz **Obr. 15**). S rostoucí úrovní přísných opatření lze u většiny měsíců pozorovat nižší hodnoty dlouhodobých odchylek PM_{2,5}, zejména při prvním nárůstu křivky v měsících dubnu a květnu, kdy hodnoty na dopravní stanici klesly na -3,02 µg/m³ a hodnoty na pozadové stanici na -2,22 µg/m³. Mezi červnem a říjnem toho roku došlo k zásadnímu rozvolnění, což se na koncentracích PM_{2,5} odrazilo až v druhé polovině tohoto krátkého období. Nicméně byla zde zaznamenána také výrazná odchylka na dopravní stanici, která dosáhla hodnoty až -5,72 µg/m³, avšak s kontinuitou striktních nařízení nikterak nesouvisela, vzhledem k její nízké úrovni. Během druhé vlny byly odchylky koncentrací PM_{2,5} příznivé především na pozadové stanici. Při poklesu striktnosti od poloviny roku 2021 došlo na obou stanicích vesměs k určité variabilitě hodnot a nedošlo od června 2021 k výraznému zlepšení, pouze k minimálnímu, a to na pozadové stanici, jejíž koncentrace dosahovaly nanejvýš -1,94 µg/m³.



Obr. 15 Odchylky měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} v Tampere (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

Chování obou měst je z hlediska odchylek koncentrací PM_{2,5} v mnoha případech ovlivněno proměnlivostí křivky Stringency Index. Z principu obě reagují téměř totožně, ač v odlišných hodnotách. V případě Helsinek došlo k poklesu koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} především začátkem roku 2020, avšak od poloviny roku 2020 až po konec roku 2021 byly hodnoty spíše vzrůstající. V roce 2021 byla proměnlivost hodnot velmi různá, zejména v posledním čtvrtletí, u kterého lze předpokládat vliv meteorologických podmínek. Obecně nelze předpokládat výrazné zlepšení stavu ovzduší. Mírné zlepšení lze však pozorovat u Tampere, kde hodnoty z obou stanic ve většině případů sahají spíše pod úroveň osy. Pozad'ová stanice v tomto případě vykazovala nižší hodnoty odchylky PM_{2,5}, došlo tedy k četnějšímu poklesu hodnot oproti dlouhodobým průměrům.

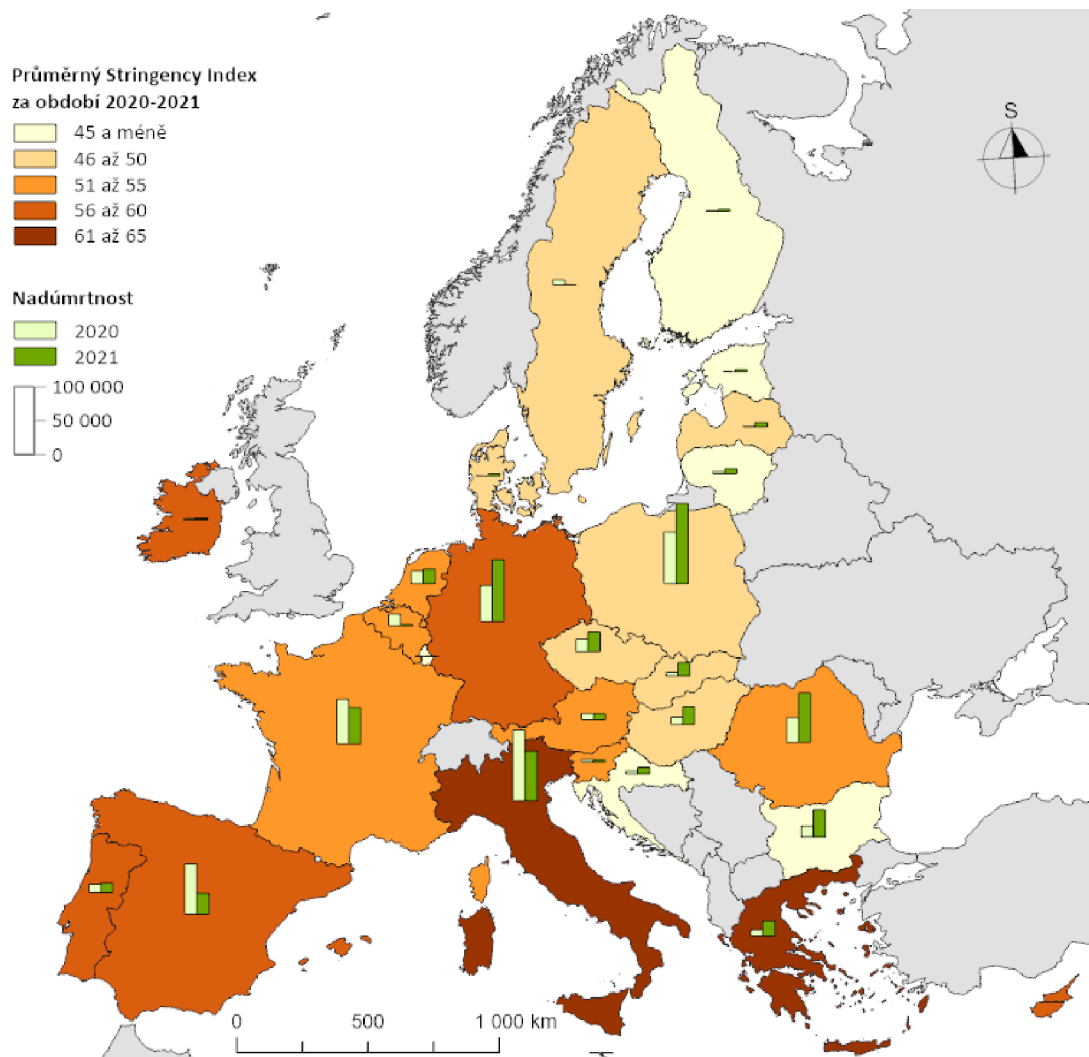
6 Zhodnocení nouzových stavů ve vybraných státech Evropské unie

Během mimořádného stavu v letech 2020 a 2021 bylo zavedeno prostřednictvím vládních nařízení hned několik protipandemických „vln“, které měly za úkol zamezit dalšímu šíření pandemie koronaviru, který se odrazil na zvýšené míře úmrtnosti. Konkrétní vládní politiky vybraných evropských měst se k této problematice stavěly zavedením uzávěr, ač v odlišných fázích a v různých intenzitách. Tato kapitola přináší zhodnocení nouzových stavů z pohledu první vlny, která byla v mnoha zemích nejstěžejnější a dodala socioekonomickému odvětví specifický ráz. Kapitola taktéž odhaluje následky zavedených opatření z pohledu již zjištěných okolností na poli stavu kvality ovzduší včetně příspěvku celkové úmrtnosti za dlouhodobé průměry 2015–2019 a nadúmrtnosti v letech 2020 a 2021, které jsou zásadním pojítkem s přijatými omezeními, která tvořila nezbytnou součást boje proti šíření pandemie koronaviru.

6.1 Evropský kontext

Napříč evropskými státy a jejich městy byly zaváděny jednotlivé intervence jako nástroje pro snížení a potlačení koronavirové pandemie, která se šířila napříč světem již začátkem roku 2020. Na základě toho mnoho evropských politik omezilo sociální kontakty, tj. shlukování se na veřejnosti, podnikatelské aktivity (úplné uzavření barů, restaurací) – a ve specifických případech došlo rovněž i k uzavření škol. Dalším opatřením bylo také celkové uvalení karantény na obyvatelstvo evropských zemí, tzv. lockdown. Stejně tak bylo zavedeno nošení roušek a ochranných pomůcek. Problematika tkvěla ve velkém množství nakažených osob, mezi kterými vznikalo nekontrolovatelné šíření tohoto onemocnění, které leckdy končilo i úmrtím (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2020). Tato opatření (a několik dalších) byla implementována v celé Evropské unii, kde se mezi sebou výrazně lišily, a to jak úrovní přísnosti zaváděných opatření (viz Stringency Index), tak nadúmrtností v případových letech 2020 a 2021. Tato nadúmrtnost vyjadřuje, o kolik osob zemřelo více v roce 2020 a 2021 v porovnání se stanovenými dlouhodobými průměry let 2015–2019. S tím spojený je rovněž Stringency Index, který zahrnutím jednotlivých opatření vykazuje určitou hodnotu, která napomáhá zjistit, v jaké úrovni přísnosti se jednotlivá nařízení v dané zemi nacházela. Úrovně Stringency Index jsou zachyceny v nepravém kartogramu (viz **Obr. 16**) pomocí barev, jejichž odstín vyjadřuje danou intenzitu striktnosti. Již zmíněnou nadúmrtnost obou let vyjadřuje tzv. *column chart*, tj. sloupcový kartodiagram. Z hlediska celkového evropského kontextu je zřejmé, že v některých evropských státech působila tato opatření jako doporučující složka, nicméně v některých státech také docházelo – navzdory velmi přísným opatřením – k nekontrolovatelnému nárůstu zemřelých v podobě zvýšené nadúmrtnosti, což je příklad zejména Itálie, Německa a Španělska. S nízkou nadúmrtností a s tím i nepřiliš důsledným zaváděním opatření byly státy zvláště severní,

tedy Litva, Finsko, Estonsko, mimo to také Bulharsko a Chorvatsko. Data, na základě kterých byla zpracována následující mapa obsahující nadúmrtnost v letech 2020 a 2021 oproti dlouhodobým průměrům let 2015–2019 včetně průměrných hodnot Stringency Index za období 2020–2021, jsou dostupná ze statistické databáze Eurostatu a pro potřeby diplomové práce seskupena v kapitole *Přílohy* této diplomové práce (viz **Příloha 7**, **Příloha 8**).



Obr. 16 Průměrný Stringency Index a nadúmrtnost v letech 2020 a 2021 (Zdroj: *Nadúmrtnost – Eurostat, 2022; Stringency Index – Our World in Data, 2020; vlastní zpracování*)

6.2 Vybrané členské státy Evropské unie

6.2.1 Itálie

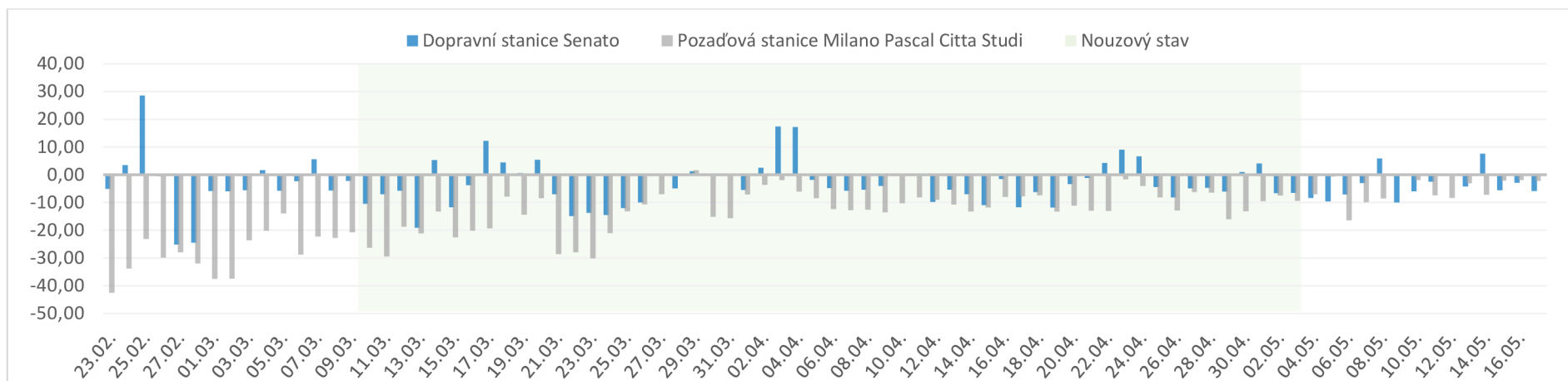
Pandemie koronaviru SARS–COV–2 vypukla v Itálii koncem ledna 2020, avšak již 21. února 2020 po detekování prvního případu nákazy byla zavedena náležitá opatření pro snížení šířící se pandemie. Tato nařízení se vztahovala na 11 malých obcí v regionech Lombardie a Veneto, což se týkalo bezmála 50 tisíc lidí. Jednalo se o vůbec první omezující opatření, které se dotklo jinak běžných aktivit. Dne 9. března 2020 byl prosazen první lockdown ve velké části severní Itálie, který nařizoval dopravní omezení a zavedl omezení volného pohybu (Deutsche Welle, 2020). Tato omezení se týkala bezmála 16 milionů lidí, tj. asi ¼ celé italské populace, se zachováním do 3. května 2020 (Deutsche Welle, 2020). Došlo k razantním změnám v oblasti antropogenních aktivit, např. zavírání škol, sportovišť, omezování výrobních sektorů a dalších odvětví v průběhu celého roku, které v celé Itálii pozměnily také situaci v řadě emisí znečišťujících látek s následnou změnou podmínek kvality ovzduší. V tomto stavu bylo omezení dopravní mobility zdaleka nejvíce ovlivňujícím faktorem v dopadech omezujících opatření, která byla vyvolána pandemií koronaviru (Gualtieri, 2020).

Zaváděná opatření byla prostředkem pro snížení šíření nákazy koronavirem, která měla sice globální dosah, avšak na lokální úrovni byl její průběh značně dramatičtější. Restrikcím předcházely určité následky tohoto onemocnění, které v mnoha případech vrcholily nadměrnou úmrtností. Oproti dlouhodobému průměru let 2015–2019 byla v Itálii celková průměrná úmrtnost v rámci Evropské unie druhá nejvyšší, vzhledem k celkovému počtu zemřelých 635 889 (Eurostat, 2022). Situaci v Itálii předcházelo Německo, které bylo první zemí s největší nadúmrtností, která dosahovala 932 554 zemřelých (Eurostat, 2022). V období přísného lockdownu tvořila nadúmrtnost o 104 428 zemřelých více, než byly dlouhodobé průměry, což je nejvyšší dosaženou hodnotou v rámci zemí Evropské unie (Eurostat, 2022). V roce 2021 byla nadúmrtnost poněkud nižší a vykazovala 73 146 zemřelých (Eurostat, 2022). V souvislosti s touto nadúmrtností lze pozorovat proměnlivost zaváděných opatření, která rovněž reagovala na tuto situaci.

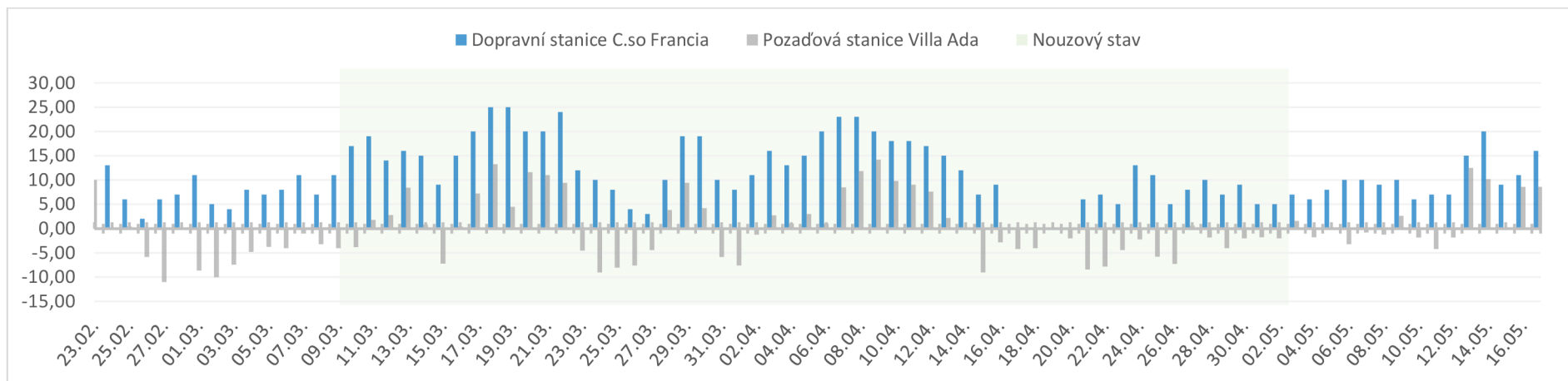
Itálie se v mnoha ohledech potýká se špatnou kvalitou ovzduší, především co se italského smogu týče. Milán je po mnoha desetiletí považován za jedno z předních měst, které významně emituje znečišťující látky do ovzduší. Důvody se opírají především o nadměrnou intenzitu dopravy a vytíženost centra italského průmyslu v Lombardii. Emise ze silniční dopravy odpovídají hodnotám mnohem vyšším, než je průměr EU, a to zejména v oblasti Milána, kde silniční doprava zodpovídá za 65 % celkových emisí v zemi (Maranzano, 2022). Nejpostiženější oblastí Itálie byla ku příkladu v roce 2019 většina severních regionů, kde plošně docházelo k přesahu ročního imisního limitu 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ČHMÚ, 2021).

První lockdown byl v Miláně – a zároveň v celé severní Itálii – prosazen na jaře roku 2020, kdy došlo k jeho zavedení konkrétně 9. března s trváním do 3. května 2020 (Deutsche Welle, 2020). Pozorovatelnou změnou v tomto daném období je například změna v koncentracích suspendovaných částic $PM_{2,5}$, které oproti dlouhodobým průměrům z let předchozích, tj. 2015–2019, výrazně poklesly (viz **Obr. 17**). Na základě tohoto vymezeného období, během kterého probíhala největší uzávěra za sledované období let 2020 a 2021, lze pozorovat také výrazné rozdíly, co se denních hodnot jednotlivých monitorovacích stanic na poli kvality ovzduší týče. Tyto rozdíly reagují na zavedená opatření, která zamezovala výrazné dopravní intenzitě a podněcovala omezení volného pohybu. S ohledem na denní hodnoty koncentrací $PM_{2,5}$ je zcela zřejmé vyšší snížení těchto hodnot především na pozad'ové stanici Milano Pascal Citta Studi, která během nouzového stavu vykazovala ve všech dnech, kromě 28. a 29. března 2020, razantní snížení suspendovaných částic $PM_{2,5}$. Tato příznivá situace byla patrná i u dopravní stanice Milano–Senato, avšak ne v takovém měřítku. Nejdelší období, při kterém došlo k významnému snížení koncentrací, proběhlo mezi 6.–21. dubnem, což následně vedlo k relativně stabilnímu snižování křivky i v dalších dnech, vyjma několika mála dnů, které vykazovaly lehce rostoucí hodnoty. Křivka se vyvíjela od počátku nouzového stavu na obou monitorovacích stanicích sestupně, což znamenalo úbytek koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$, a to převážně na pozad'ové stanici, ale taktéž na stanici dopravní. V dalším průběhu došlo ke stabilizaci těchto denních hodnot, které dále pokračovaly i mimo nouzový stav. Lze tedy konstatovat, že kvalita ovzduší v městě Miláně s ohledem na obě monitorovací stanice a s rostoucí nadúmrtností a zaváděnými opatřeními na poli suspendovaných částic $PM_{2,5}$ přijatelně dosáhla svého zlepšení.

Řím se nachází ve střední Itálii v regionu Lazio. Oproti Milánu se nejedná o nejpostiženější oblast, avšak co se týče plošného zavedení lockdownu, nebylo toto město opomenuto. Dopravní stanice C.so Francia zaznamenala v rámci denních hodnot koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v průběhu prvních dvou týdnů nouzového stavu pokles hodnot pouze v prvních dvou dnech a následovně 14. a 15. března (viz **Obr. 18**). Z počátku tedy nedošlo k výraznému snížení, nicméně od 23. března do 4. dubna již soustavně tyto denní koncentrace klesaly, a to až ke $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mezi 5. až 21. dubnem byl po většinu dní zaznamenán relativně velký nárůst koncentrací, který se však od dalšího dne, tedy 22. dubna, opět snížil a stanice vykazovala velmi příznivé hodnoty. Pozad'ová stanice Villa Ada naopak vykazovala velké snížení v souvislém období od 14. dubna do 2. května, což je bezmála 19 dní, kdy bylo zaznamenáno v určitých případech až dvojnásobné snížení denních odchylek. První polovina nouzového stavu byla z hlediska variability dosti podobná situaci na stanici dopravní, avšak s přihlédnutím na celkový stav těchto odchylek lze tvrdit, že na obou stanicích došlo ke snížení denních hodnot oproti dlouhodobým průměrům let 2015–2019, a to zřetelně příznivěji na dopravní stanici.



Obr. 17 Denní odchytky koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} během nouzového stavu v roce 2020 v Miláně (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)



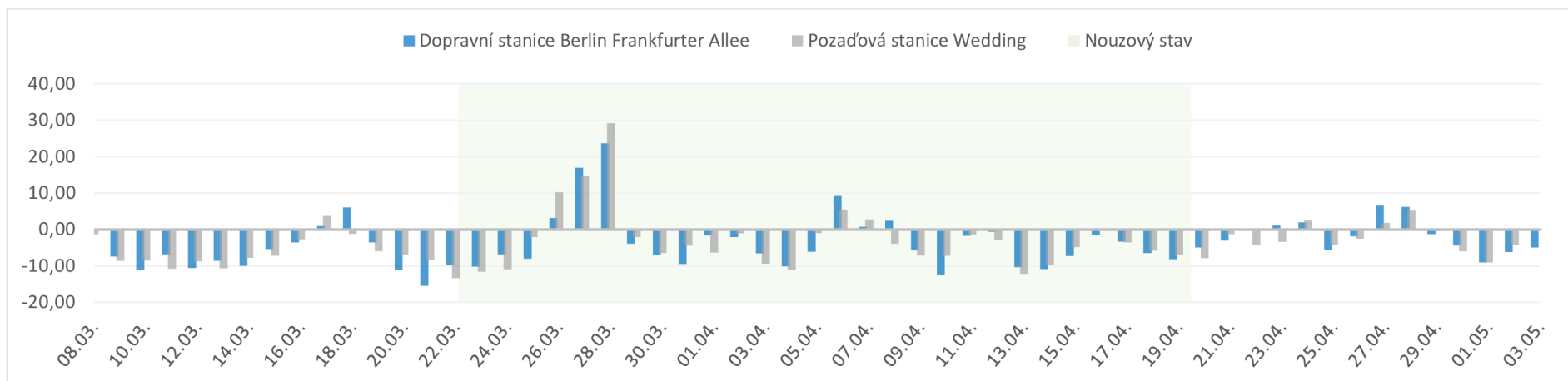
Obr. 18 Denní odchytky koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} během nouzového stavu v roce 2020 v Římě (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

6.2.2 Německo

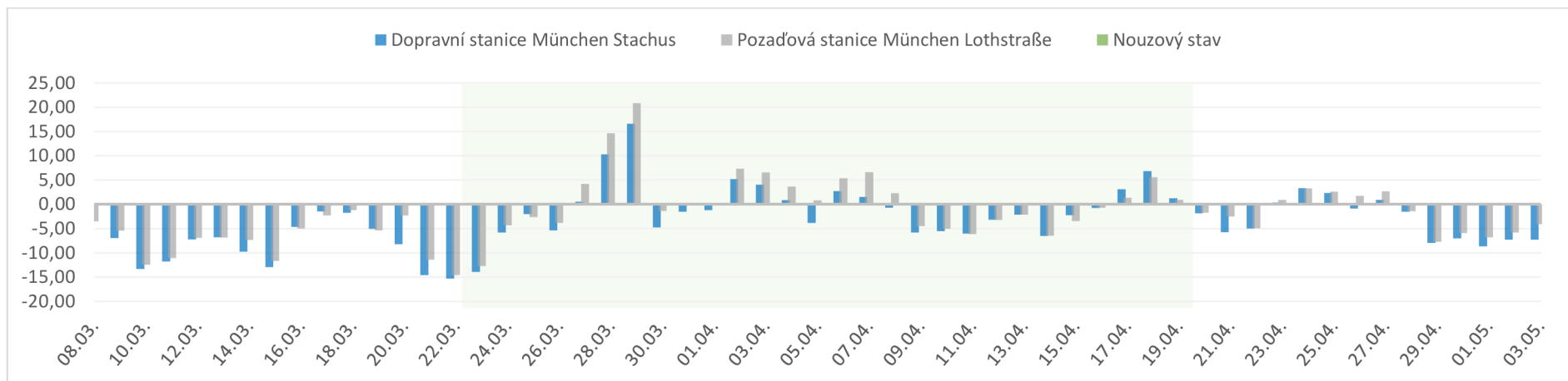
V Německu byla první vlna lockdownu zavedena 22. března s platností do 19. dubna 2020 (Deutsche Welle, 2020). Celková nadúmrtnost v roce 2020 celostátně přesáhla 53 018 zemřelých, což bylo o několik desítek tisíc méně než v roce 2021, ve kterém dosahoval počet zemřelých v rámci nadúmrtnosti 91 133 (Eurostat, 2022). Ve druhé vlně, která probíhala od listopadu 2020 po začátek března, avšak s prodloužením do poloviny června 2020, byla situace znatelně nevalnější, zejména v měsíci prosinci 2020, kdy bylo zaznamenáno až 30% zvýšení nadúmrtnosti v rámci jednoho měsíce (Eurostat, 2023).

Dramatický vývoj po celé zemi zapříčinilo omezení volného pohybu, uzavření škol a komerčních zařízení, což se odrazilo na kvalitě ovzduší, která byla v hlavním německém městě Berlíně po dobu první vlny uzávěry velmi příznivá. Mezi 22.–25. březnem bylo snížení koncentrací $PM_{2,5}$ zaznamenáno na obou monitorovacích stanicích, avšak větší rozdíl byl znatelný na stanici pozad'ové (viz **Obr. 19**). Dále byl současně na obou stanicích zaznamenán třídenní nadprůměr hodnot, kdy nejvyšších hodnot dosáhly dne 28. března obě stanice, jejichž hodnoty se pohybovaly nad $41,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, což mohlo být ovlivněno meteorologickými faktory či náhlým a krátkodobým rozvolněním. Dále mezi 19. březnem až 5. dubnem proběhl opět na obou stanicích klesající trend, který s výjimkou následujících tří dnů, kdy došlo k mírnému rozvolnění, pokračoval až do konce stanovené uzávěry. Druhá vlna byla vyhlášena koncem roku 2020 v reakci na neustupující šíření pandemie, kdy došlo především na přelomu obou sledovaných let k nadstandardnímu snížení koncentrací $PM_{2,5}$, které až několikanásobně poklesly především na dopravní stanici, kdy vypovídající hodnoty při mimořádném stavu dosahovaly pouze řádu jednotek, čímž lze tuto vlnu považovat za efektivnější z hlediska poklesu koncentrací $PM_{2,5}$.

Druhým, ve srovnání s hlavním městem, je město Mnichov, které rovněž kopírovalo klesající křivku koncentrací $PM_{2,5}$ vzhledem k vysokému počtu nakažených osob (viz **Obr. 20**). Mezi 22.–26. březnem bylo na obou stanicích zaznamenáno razantní snížení denních hodnot, které reagovalo na neprodleně zavedená vládní nařízení. Pozad'ová stanice dále od 27. března do 8. dubna nevykazovala, kromě dvou dnů, při kterých byly naměřeny lehce nižší denní hodnoty, žádné poklesy koncentrací $PM_{2,5}$, což bylo opakováno i koncem sledovaného období mezi 17.–19. dubnem. Naopak v období 8.–16. dubna 2020 došlo na obou stanicích k příznivému poklesu denních hodnot, což lze přisoudit 9% nadúmrtnosti, která byla v měsíci dubnu zaznamenána jako první nejvyšší hodnota v daném roce, na kterou vládní nařízení reagovala z hlediska ochrany veřejného zdraví (Eurostat, 2023). Příznivější situaci lze v Miláně pozorovat, s přihlédnutím na denní hodnoty $PM_{2,5}$ z obou monitorovacích stanic, zejména na stanici dopravní, avšak oproti dlouhodobým průměrům předchozích let byla pozitivní odezva zaváděných opatření v kombinaci s vysokou nadúmrtností rovněž na stanici pozad'ové.



Obr. 19 Denní odchyly koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} během nouzového stavu v roce 2020 v Berlíně (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)



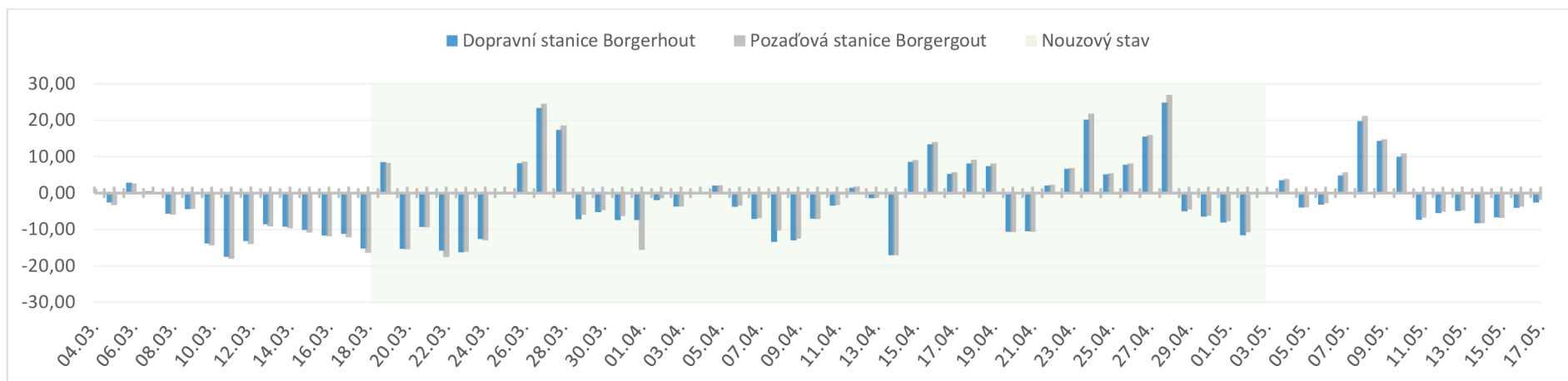
Obr. 20 Denní odchyly koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} během nouzového stavu v roce 2020 v Mnichově (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

6.2.3 Belgie

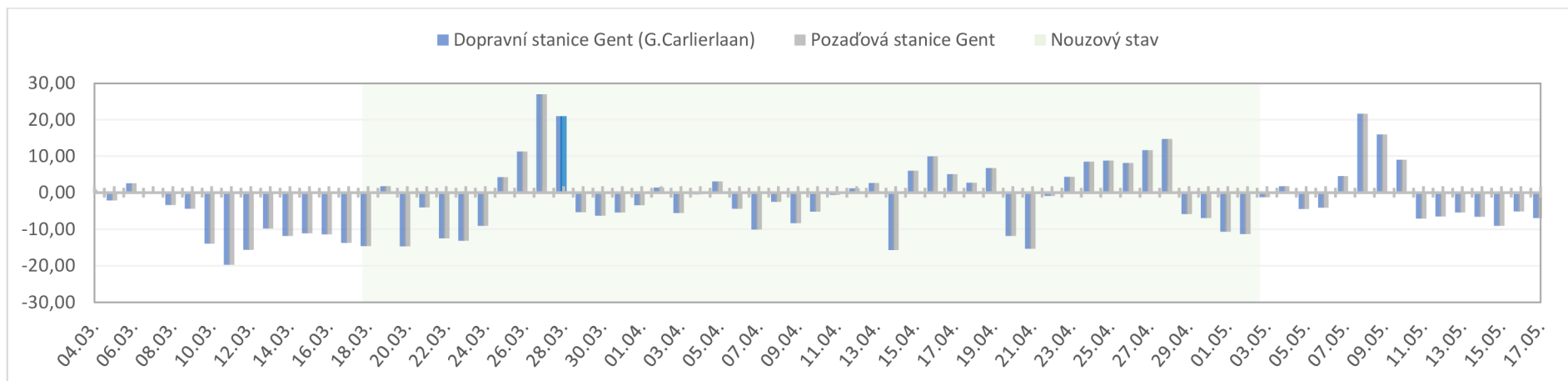
Belgie byla poslední evropskou zemí, která zavedla v rozmezí od 18. března do 3. května 2020 přísný lockdown ve formě omezení volného pohybu, uzavření všech škol a obchodních zařízení, vyjma nezbytných (Deutsche Welle, 2020). Reagovala tím na vysokou nadúmrtnost, jejíž hodnota byla za celé dvouleté období nejvyšší v dubnu roku 2020. Co se týče celkové úmrtnosti za předchozí roky 2015–2019, dosahovala Belgie počtu 109 556 zemřelých, přičemž v roce 2020 tvořila nadúmrtnost 17 340 zemřelých, což bylo prokazatelně více oproti roku 2021, kdy dosahovala počtu pouze 2 775 zemřelých (Eurostat, 2022).

V reakci na zaváděná opatření, která navazovala na vysoké počty úmrtí, došlo v Antverpách na monitorovacích stanicích ke změnám v denních koncentracích $PM_{2,5}$, které jak na pozadřové, tak i dopravní stanici Borgerhout klesaly zejména v průběhu prvního týdne zavedeného lockdownu (viz **Obr. 21**). Obě stanice dále zaznamenaly třídenní nadprůměrné denní hodnoty, které se více jak dvojnásobně zvýšily oproti dlouhodobým průměrům, avšak od 29. března do 14. dubna sestupně klesaly a dosahovaly výrazně nižších koncentrací oproti předchozím rokům. Přelom března a dubna byl rovněž nejzávažnější z hlediska nadúmrtnosti, z toho důvodu byly zaváděny takové restriktce, které vedly ke snižování socioekonomického rámce – a na základě těchto omezení i k poklesu denních koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$. Od 15. dubna následovalo relativně slabé období, které nevykazovalo známky poklesu denních hodnot, a to až do 29. dubna, kdy opět klesaly pod úroveň standardního stavu mimo zaváděná nařízení. Obecně bylo možné pozorovat úbytek denních hodnot oproti dlouhodobým průměrům na obou stanicích, avšak lehce příznivější situace byla zaznamenána na stanici dopravní.

Příkladem druhého města je Gent, který rovněž zaznamenal klesající křivku vývoje suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v průběhu zavedení nouzového stavu v roce 2020 (viz **Obr. 22**). Začátek mimořádného stavu byl na dopravní stanici Gent (G.Carlierlaan) z hlediska poklesu denních hodnot velmi příznivý. Od 18. do 24. března byly hodnoty oproti dlouhodobým průměrům prokazatelně nižší, což lze pozorovat také od 29. března do 1. dubna, dále od 3. dubna po 11. duben, kdy hodnoty průběžně klesaly. Rovněž se vystřídala dvě období, která vykazovala rostoucí denní hodnoty, a to mezi 15.–19. dubnem a dále 23.–28. dubnem. Konec nouzového stavu byl však opět optimální, některé hodnoty dosahovaly až několikanásobného snížení oproti předchozím dlouhodobým průměrům let 2015–2019. Navzdory tomu byly hodnoty z pozadřové stanice Gent průběžně sestupné, podobně jako na dopravní stanici, od které se příliš nelišily, avšak na stanici dopravní můžeme sledovat menší zlepšení oproti předchozím rokům.



Obr. 21 Denní odchyly koncentrací suspendovaných částic PM_{2.5} během nouzového stavu v roce 2020 v Antverpách (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)



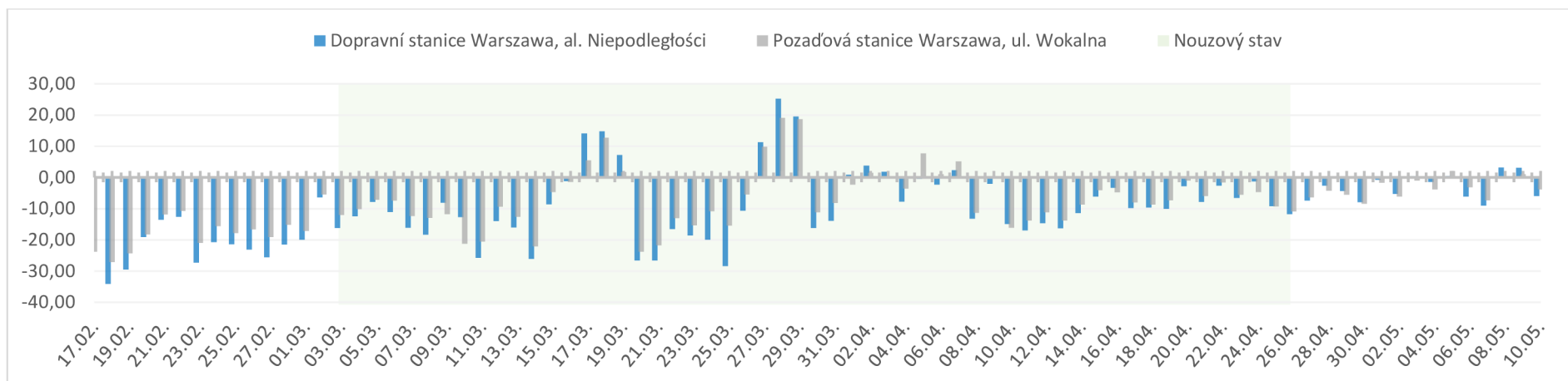
Obr. 22 Denní odchyly koncentrací suspendovaných částic PM_{2.5} během nouzového stavu v roce 2020 v Gentu (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

6.2.4 Polsko

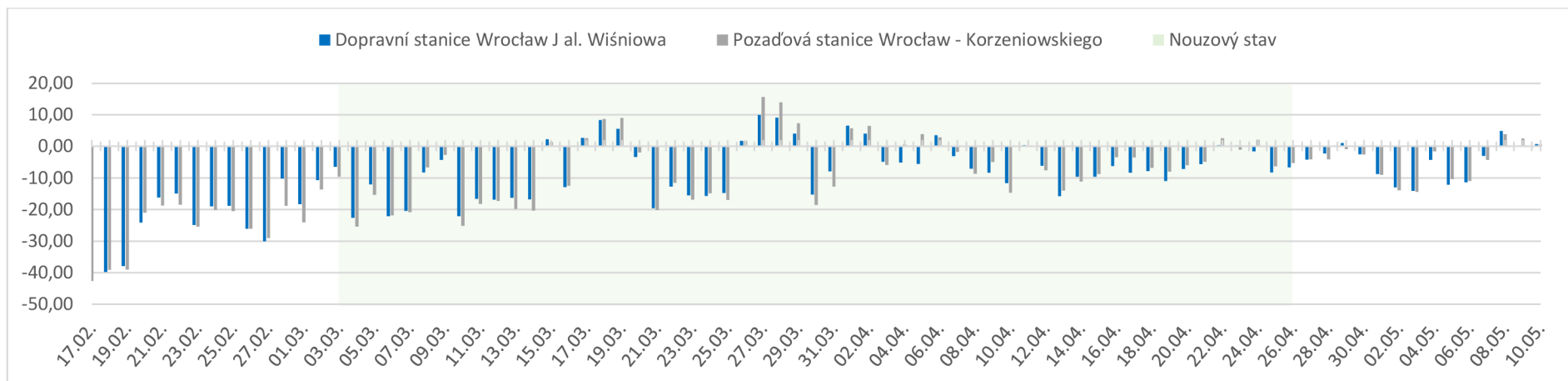
Uzavření hranic za účelem zamezení vstupu cizinců do země zavedlo Polsko 3. března 2020 spolu s nařízením uzavření barů, restaurací a dalších podniků do odvolání, které bylo stanoveno na 26. dubna 2020 (Deutsche Welle, 2020). Mimo jiné byl v tomto období uvalen i přísný lockdown, který omezoval volný pohyb obyvatel a veřejná shromažďování více jak dvou osob. Nejvyšší nadúmrtnosti v měřítku evropských zemí dosáhlo právě Polsko, když v roce 2021 dosáhlo počtu 117 579 zemřelých. V roce 2020 tomu bylo o něco méně, konkrétně 75 417 (Eurostat, 2022). Tato situace se prolnula i do odvětví kvality ovzduší, jehož rámec byl oproti dlouhodobým průměrům let 2015–2019, podobně jako u ostatních evropských zemí, velmi odlišen. Polsko je za běžné situace z hlediska znečištění ovzduší zařazeno jako 33. z 50 evropských měst s nejvyšší koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$. Největší znečištění je doposud evidentní v zimním období, kdy dochází k překračování přípustných imisních limitů v důsledku domácích topenišť (kotle, nadměrné spalování uhlí či dřeva). Ovzduší v Polsku je nejen velkým problémem z pohledu průmyslu a energetiky, ale také z hlediska dodržování norem dle právních předpisů stanovených Evropskou unií (Kobza et al., 2018).

Varšava zaznamenala po téměř celou dobu sledovaného období od 3. března do 26. dubna 2020 výrazný pokles denních hodnot koncentrací $PM_{2,5}$ oproti dlouhodobým průměrům let 2015–2019 (viz **Obr. 23**). Období poklesů bylo zejména mezi 3.–16. březnem na obou stanicích, stejně jako v týdenním rozmezí 20.–26. března. Následující týdny byly o poznání rozdílnější, také co se obou stanic týče, vzhledem k tomu, že byly relativně variabilní. K velkému snížení koncentrací došlo teprve od 8. dubna do konce stanoveného období lockdownu, kdy byly denní hodnoty sestupně ubírány jak na dopravní, tak pozadřové stanici. Výrazné poklesy byly zaznamenány 11., 14. a 26. dubna 2020, vzhledem k počínajícímu nárůstu nadúmrtnosti v měsíci dubnu, kdy od začátku roku vzrostla o 3,5 % oproti dlouhodobým průměrům (Eurostat, 2023).

Denní hodnoty koncentrací $PM_{2,5}$ byly nepatrně přijatelnější v městě Vratislavi, kde převažující snížení souviselo zejména s dubnovou nejvýraznější nadúmrtností. Avšak první dvoutýdenní rozmezí od 3. do 16. března přineslo rovněž razantní snížení v reakci na okamžité zavedení protipandemických opatření, která omezila zejména dopravní mobilitu, jak lze vidět na naměřených hodnotách z dopravní stanice Wrocław J al. Wiśniowa (viz **Obr. 24**). Soustavnější pokles hodnot, který byl zaznamenán kromě období počínajícího nouzového stavu od 3. do 16. března, byl znatelný na pozadřové stanici Wrocław – Korzeniowskiego 7. dubna, který trval do 21. dubna bez jakéhokoli nadprůměrného překročení dlouhodobých průměrů, které se i přesto projevíly následující tři po sobě jdoucí dny. V závěru tohoto rozmezí došlo opět k poklesu hodnot, avšak již ne v takové míře.



Obr. 23 Denní odchylky koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} během nouzového stavu v roce 2020 ve Varšavě (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)



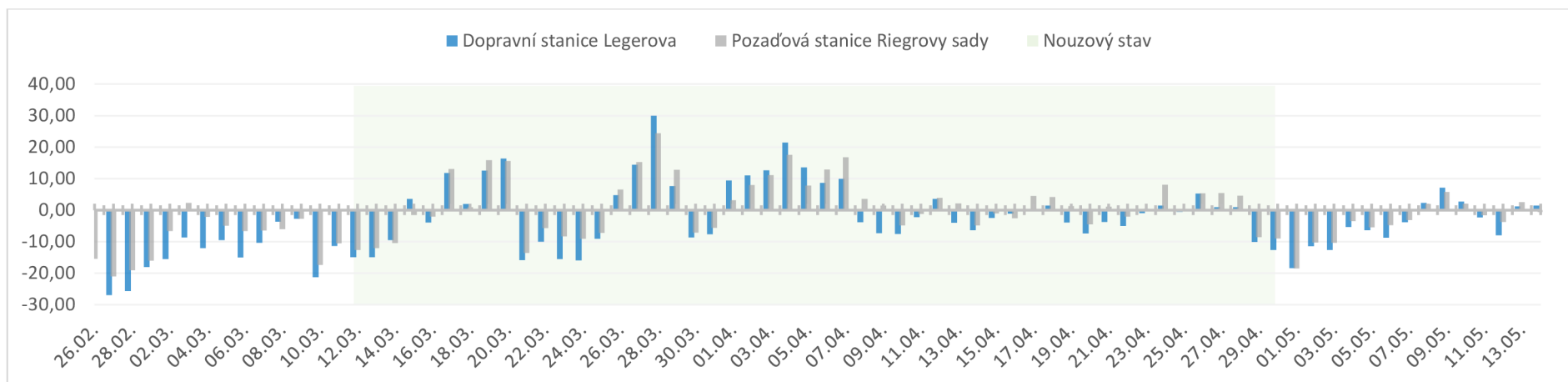
Obr. 24 Denní odchylky koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} během nouzového stavu v roce 2020 ve Vratislavi (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

6.2.5 Česko

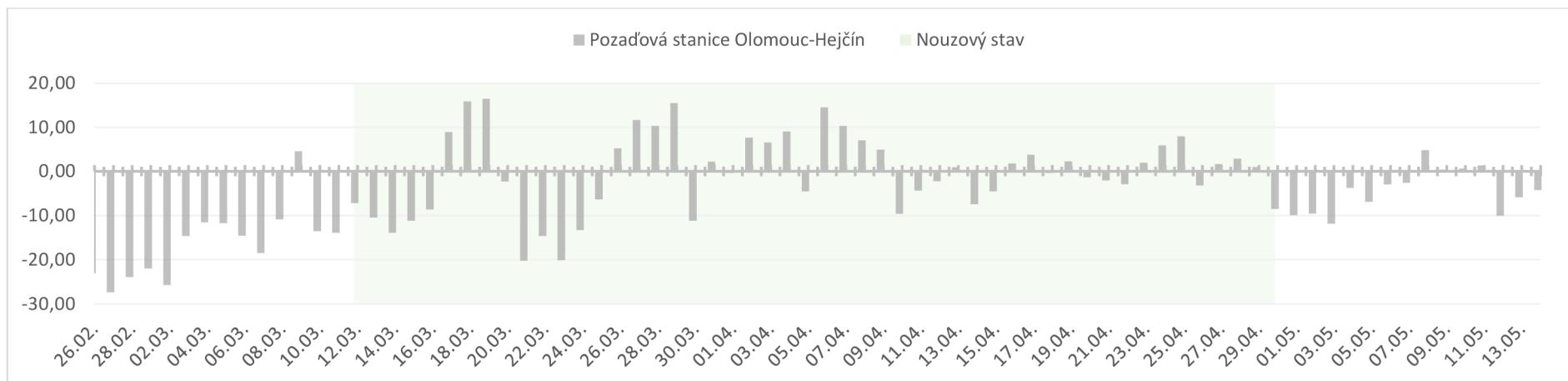
Na území České republiky byl vyhlášen první nouzový stav 12. března 2020, který byl následně od začátku dubna prodloužen až do 30. dubna toho roku. Opatření se zaměřovala na uzavírání hranic včetně omezení volného pohybu s uzavřením obyvatelstva do karantény. Povinně bylo zavedeno i nošení roušek při opuštění svého obydlí včetně dodržování dvoumetrových odstupů při kontaktu s veřejností (Deutsche Welle, 2020). Tato nařízení byla podněcována narůstajícím počtem zemřelých oproti dlouhodobým průměrům předchozích let, které se zvyšovaly především v druhé polovině sledovaného období, tedy v roce 2021. Mezi lety 2015–2019 byla celková průměrná úmrtnost 111 130 zemřelých, z čehož nadúmrtnost v roce 2020 dosahovala 18 159 zemřelých a v roce 2021 to bylo 28 761 zemřelých, přičemž nejvyšších počtů bylo dosaženo již v prvním čtvrtletí (Eurostat, 2022). Co se týče kvality ovzduší, která byla v Česku, stejně jako v ostatních zemích, určitým způsobem ovlivněna, byla jednoznačně zařazena mezi nadprůměrně znečištěné v rámci suspendovaných částic $PM_{2,5}$ (mimo jiné i benzo[a]pyrenu) a dále mezi průměrné až nadprůměrné z hlediska dalších škodlivin, jako jsou O_3 či suspendované částice PM_{10} (ČHMÚ, 2022). Podle vyhodnocení Českého hydrometeorologického ústavu (2021) došlo od roku 2010 k výraznému poklesu koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$, přesto v průběhu následujících let a současné doby stále dochází k překračování imisních hodnot nad stanovené limity. Odchylkou ze své řady byl rok 2020, který přinesl snížení koncentrací $PM_{2,5}$ z důvodu příhodných rozptylových podmínek v zimních měsících, výměny topných zařízení pro zlepšení kvality ovzduší (př. výměna starých kotlů) či zavedení protipandemických opatření vyhlášením nouzových stavů, které vedly zejména k výraznému snížení dopravní intenzity.

S ohledem na konkrétní příklady českých měst bylo sledováno hlavní město Praha, ve kterém bylo obecně zaznamenáno zlepšení na poli dopravní stanice Legerova, která při srovnání s ostatními evropskými městy nevykazovala jediné souvislé období klesající křivky kvůli občasné narůstajícími hodnotám, které tuto pravidelnost narušovaly (viz **Obr. 25**). Snížení koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ se týkalo především období od 12. do 16. března 2020, ve kterém byla rovněž zaznamenána nejnižší denní hodnota za celé roční pozorování, která dosahovala $2,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Po těchto dnech, kdy odchylka denních hodnot výrazně klesala, došlo k náhlému nárůstu hodnot, a to až do 20. března. Tato výrazná variabilita byla typická pro celé sledované období. Lehce se následně ustálila od 8. do 22. dubna, kdy denní hodnoty vykazovaly sestupně klesající křivku, která se koncem tohoto nouzového stavu opět navyšovala. Na pozadové stanici docházelo k úbytkům koncentrací v téměř stejná časová období, avšak variabilita byla poměrně vyšší a odchylky denních hodnot v průběhu nouzového stavu nevykazovaly přílišné zlepšení. Nejstabilnějším obdobím, které bylo zaznamenáno i na stanici dopravní, bylo mezi 21.–25. březnem, kdy koncentrace denních hodnot soustavně poklesly pod úroveň dlouhodobých průměrů.

Poměrně lépe si vedla Olomouc, která byla v rámci této diplomové práce zkoumána pouze z hlediska pozadové stanice Olomouc–Hejčín. Zde je možné pozorovat zlepšení na poli denních hodnot koncentrací $PM_{2,5}$ i přes podobnou variabilitu, jako bylo možné zaznamenat na stanicích v hlavním městě Praze (viz **Obr. 26**). Mezi 12. až 16. dubnem 2020 bylo zaznamenáno první největší snížení hodnot, které se pohybovaly v řádu jednotek $\mu\text{g}/\text{m}^3$. O den delší období, které vykazovalo taktéž snížení hodnot, bylo prokázáno 20. března s trváním do 25. března 2020. Měsíc březen nevykazoval takovou nadměrnou úmrtnost, která by měla s onemocněním koronavirem SARS–COV–2 významnou souvislost. Tato situace se projevila až ve druhé vlně, která započala na přelomu sledovaného období 2020–2021. Koncem roku 2020, tedy v závěru první vlny nouzového stavu, již bylo velmi zřídka zaznamenáno snížení denních hodnot. Přesto byla odchylka vyšší oproti dlouhodobým průměrům, lze tedy konstatovat převážné snížení koncentrací $PM_{2,5}$, které vedlo ke zlepšení kvality ovzduší díky zavedení mimořádného stavu.



Obr. 25 Denní odchytky koncentrací suspendovaných částic PM_{2.5} během nouzového stavu v roce 2020 v Praze (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)



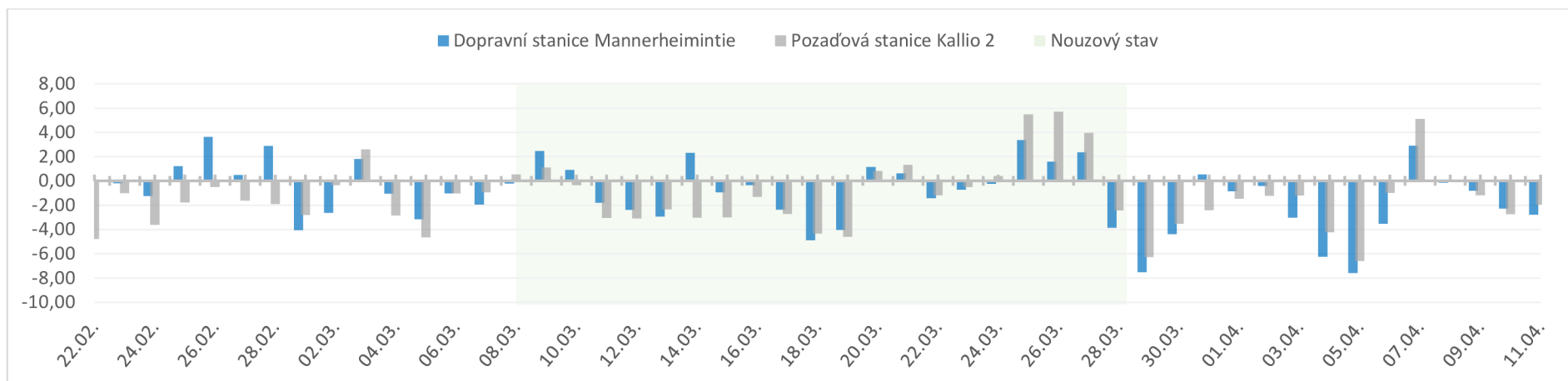
Obr. 26 Denní odchytky koncentrací suspendovaných částic PM_{2.5} během nouzového stavu v roce 2020 v Olomouci (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

6.2.6 Finsko

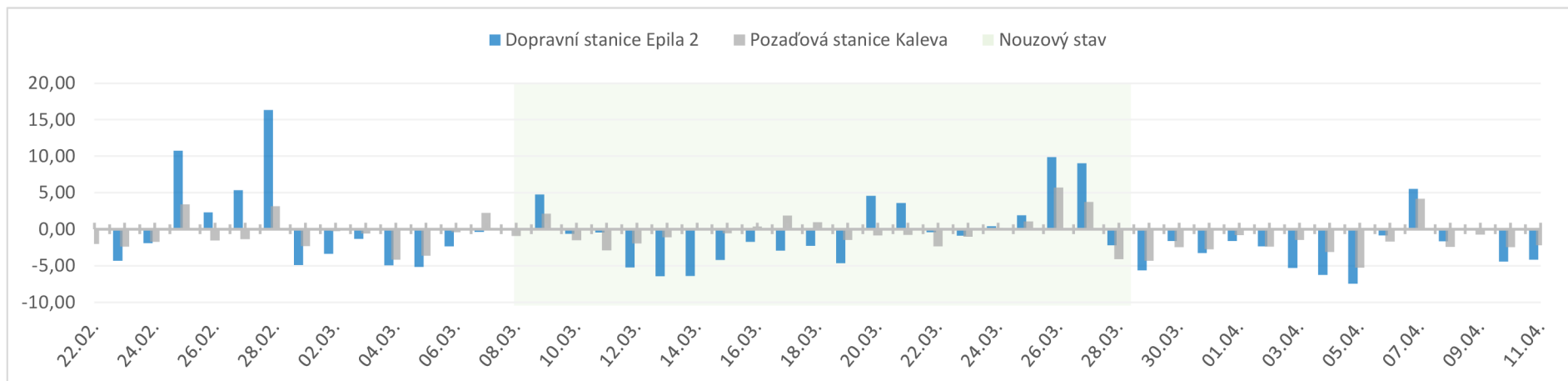
Příslušná nařízení ze strany finské vlády za účelem snížení nákazy koronavirem, která od počátku roku 2020 poměrně stoupala, byla stanovena ke dni 8. března s trváním do 28. března 2020 (Yle News, 2021). Finsko bylo jednou ze zemí, které pandemickou situaci zvládalo jako jedno z mála velmi úspěšně. Zvláštností na finském systému v boji proti koronaviru byla veškerá nařízení, která vešla v platnost pouze jako doporučení, tudíž ne jako zásadní povinnost, což mění na situaci to, že se prakticky nejednalo o nouzový stav jako takový, nýbrž o období určitých opatření. Reagovalo to zejména na skutečnost nízkého počtu nakažených i zemřelých (Novák, 2020). Z dlouhodobého hlediska mělo Finsko mezi lety 2015–2019 celkovou průměrnou úmrtnost 53 723. V roce 2020 byla zjištěna taková nadúmrtnost, která dosahovala počtu 1 765 zemřelých, což bylo nižší číslo než v roce 2021, kdy nadúmrtnost dosahovala 3 936 zemřelých (Eurostat, 2022).

Helsinky zaznamenaly zlepšení zejména na dopravní stanici Mannerheimintie, která v drtivé většině období zavedených opatření vykazovala klesající křivku na poli denních hodnot koncentrací $PM_{2.5}$. Nejvíce dnů po sobě jdoucích bylo od 15. do 24. března, kdy soustavně tyto hodnoty oproti dlouhodobým průměrům klesaly (viz **Obr. 27**). Bylo tomu tak i na začátku zavedených opatření, avšak s rozdílem tří dnů, které tuto pravidelnost narušily. Na pozad'ové stanici Kallio 2 byly zaznamenány stejné odchylky jako na stanici dopravní, a to zejména v období 10.–19. března 2020, kdy soustavně klesaly. Následně byly zaznamenány poklesy také 22. a 23. března, poté se však hodnoty opět mírně navýšily. Rozdíl v hodnotách z dopravní a pozad'ové stanice je, oproti jiným evropským zemím, které zvládaly pandemii hůře, minimální, a to z hlediska dlouhodobých průměrů let 2015–2019, které byly již tehdy relativně nízké, ve většině případů pouze v řádech jednotek. Mimo to se prokazatelně snížily na obou stanicích koncentrace suspendovaných částic $PM_{2.5}$, které reagovaly na postupně zvyšující se měsíční nadúmrtnost, která začala stoupat již v měsíci březnu i přesto, že se nejednalo o příliš vysoké procento oproti dlouhodobým průměrům předchozích let.

Podobně na tom byla i dopravní stanice Epila 2 a pozad'ová stanice Kaleva ve městě Tampere. Od 10. do 19. března byl zaznamenán pokles koncentrací $PM_{2.5}$ na dopravní stanici, což evidentně reagovalo na vzrůstající nadúmrtnost v měsíci březnu a s tím i dodržovaná opatření, která dle doporučení uváděla obyvatelstvo ve zvýšenou opatrnost. Pro změnu od 20. do 27. března byly vyjma tří dnů koncentrace lehce nadprůměrné (viz **Obr. 28**). Z hlediska pozad'ové stanice můžeme pozorovat rovněž přijatelné denní hodnoty, které zejména od 10. do 13. března optimálně klesaly pod úroveň dlouhodobých průměrů 2015–2019, stejně jako v dalším období od 19. do 24. března, kde můžeme pozorovat pravidelný pokles působící příznivým vlivem na kvalitu ovzduší.



Obr. 27 Denní odchylky koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} během nouzového stavu v roce 2020 v Helsinkách (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)



Obr. 28 Denní odchylky koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} během nouzového stavu v roce 2020 v Tampere (Zdroj: EEA, 2023; vlastní zpracování)

7 Diskuse

Tato diplomová práce analyzovala kvalitu ovzduší ve specificky vybraných evropských městech se zaměřením na vývoj koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$. Prostřednictvím dopravních a pozad'ových stanic byla získána a následně vyhodnocena data včetně přehledného zpracování jednotlivých výsledků.

První otázka ze tří stanovených v rámci naplnění cílů této diplomové práce se snažila zjistit, jaký stav byl na poli kvality ovzduší během nouzových stavů v letech 2020 a 2021 a zda došlo v tomto odvětví k případným změnám. Dle jistých očekávání bylo z provedené analýzy zjištěno, že v případě všech dvanácti vybraných evropských měst došlo v letech 2020 a 2021 ke snížení koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ z hlediska odchylek od dlouhodobých průměrů 2015–2019.

Výzkumná část této diplomové práce zodpověděla také druhou otázku ze stanovených cílů, která se orientovala na vliv míry přísnosti zaváděných opatření na vývoj koncentrací znečišťujících látek. Vliv restriktivních opatření, která byla zaváděna postupně v průběhu obou sledovaných let, byl znatelný na všech pozorovaných stanicích imisního monitoringu napříč evropskými městy. Bylo vyzorováno, že v případě stoupajících křivek Stringency Index jednotlivých evropských států došlo k poklesům koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ na většině dopravních a pozad'ových stanic. Stejně tak v opačném případě, kdy křivky Stringency Index klesaly, což znamenalo rozvolňování přísně zaváděných nařízení, docházelo k nárůstu hodnot koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ opět převážně na obou stanicích.

Třetí výzkumná otázka, která úzce souvisí s otázkou předchozí, se zabývala rozdíly mezi dopravními a pozad'ovými stanicemi v rámci změny kvality ovzduší v souvislosti s jednotlivými restriktivními opatřeními, která byla zaváděna jakožto dílčí nástroje pro snížení koronavirové pandemie. V roce 2020 poklesly denní odchylky koncentrací $PM_{2,5}$ převážně na dopravních stanicích, a to v Římě, Mnichově, Berlíně, Antverpách, Gentu, Varšavě, Vratislavi, Helsinkách a Tampere. Naopak v Praze, Olomouci a Miláně byly zjištěné odchylky koncentrací přivětivější na pozad'ových stanicích, a to především v Miláně. Překvapivě v tomto městě nebyl zaznamenán výrazný efekt na dopravní stanici – vzhledem k jejímu intenzivně dopravnímu charakteru, kde odchylka nevykazovala pokles koncentrací, ale spíše její mírné navýšení. V roce 2021 byly koncentrace $PM_{2,5}$ převážně snižovány na pozad'ové stanici, a to v průběhu celého roku. V ojedinělých případech ale tyto stanice vykazovaly narůstající denní hodnoty koncentrací $PM_{2,5}$, které měly souvislost s rozvolňujícími opatřeními. Z hlediska největšího poklesu odchylek byl v roce 2021 zjištěn pokles na dopravních stanicích zejména v Římě, Antverpách, Gentu a Varšavě. Je evidentní, že v předchozím roce byla více omezená dopravní intenzita, a to vzhledem k většímu

zastoupení jednotlivých evropských měst z hlediska vyšších odchylek denních hodnot $PM_{2,5}$. Naopak města, která dosáhla snížení zejména na pozad'ové stanici, byla Praha, Olomouc, Milán, Mnichov, Berlín a Vratislav. Zajímavým faktem je zvýšení koncentrací $PM_{2,5}$ u finských Helsinek a Tampere, které se držely nad průměrem dlouhodobých let a nevykazovaly příznivé snížení koncentrací $PM_{2,5}$ důsledkem zaváděných opatření – vyjma pozad'ové stanice Tampere, která jako jediná lehce minusovou hodnotu zaznamenala. Pravdou ovšem je, že Finsko bylo velice benevolentní, co se přísnosti nouzových stavů týkalo, a proto se s tímto nárůstem lze ztotožnit.

Lze tedy konstatovat, že čistě z hlediska koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ došlo přívětivě ke zlepšení situace na poli kvality ovzduší, a to zejména v roce 2020, kdy nastolená nařízení omezila tradiční fungování společnosti a snížila obzvláště dopravní intenzitu, kterou jsou městská prostředí evropských států vysoce zatížena. Patrná byla ve výsledcích také vzájemná souvislost s nadúmrtostí, která byla nejvyšší oproti dlouhodobým průměrům 2015–2019 v Itálii, následně sestupně v Polsku, Německu, Česku, Belgii a Finsku. Itálie a Německo dle vysokého počtu zemřelých přistupovaly k pandemii důsledně a s velmi přísně zavedenými opatřeními. Nejnižších intenzit jednotlivých restrikcí dosáhlo Finsko, které díky relativně disciplinované populaci nezavádělo povinnost v daných intervencích, ale vydalo se cestou pouze doporučení, která i přesto byla dodržována. V roce 2021 byla nadúmrtost podstatně vyšší v Polsku, kdy přesáhla 117 579 zemřelých nad rámec dlouhodobých průměrů 2015–2019. Další v řadě bylo Německo, Polsko, Česko, následně Finsko a jako poslední Belgie.

Z hlediska srovnání doposud provedených analýz zkoumajících kvalitu ovzduší během mimořádných stavů bylo shledáno, že navzdory relativně mladé tematice bylo vydáno již několik studií a vědeckých článků, které se v rámci výzkumů touto problematikou zabývají. Tato diplomová práce metodicky vycházela z odchylek denních hodnot koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$, a to jak z hlediska dopravních, tak i pozad'ových stanic, které následně mezi sebou porovnávala. Práce se zaměřila i na konkrétní časové období první vlny nouzových stavů, při kterých vyhodnocovala konkrétní odchylky v daných dnech. Převážné množství zahraničních studií se rovněž zakládalo na průměrných hodnotách z vybraných monitorovacích stanic, avšak pro přesnější analýzu byla zahrnuta také meteorologická data, která jednoznačně promítla, v důsledku jakého faktoru docházelo k variabilitě koncentrací $PM_{2,5}$. Mimo jiné se jednotlivé výzkumy často zaměřovaly na určitá časová období (především na období úplného lockdownu), která byla porovnána se stejným obdobím jednoho nebo více předchozích let. Přestože tato diplomová práce vycházela pouze z denních hodnot koncentrací $PM_{2,5}$, lze s přihlédnutím na výsledky zjištěné zahraničními autory odborných článků konstatovat, že rovněž v jejich výsledcích došlo ke snížení koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ oproti různě stanoveným dlouhodobým průměrům.

Za limit výzkumu lze považovat nepříliš probádané téma, které je navzdory dosud vydaným odborným publikacím pro tuto chvíli nedostatečně prozkoumané. Rovněž je třeba zmínit problematiku nedostupnosti dat, která se často projevovala buď v rámci jednotlivých dnů, jež s ohledem například na měsíční průměrné odchylky neznamenal zásadní problém, avšak v případě dlouhodobých propadů dat, tedy jejich nedostupnosti v širokém časovém horizontu, bylo již zcela nevyhovující takovou sadu použít. Například v rámci tohoto výzkumu nebylo možné z dostupných databází dohledat datovou sadu za dopravní stanici v Olomouci. Diplomová práce je součástí relativně obsáhlejší problematiky, do které nepochybně vstupují i další faktory, jako jsou především meteorologické podmínky, které by danou tematiku obsahově rozšířily a více konkretizovaly. Srovnání hlavních bodů této diplomové práce, které se zabývají především složkami souvisejícími s koronavirovou pandemií, tzn. nadúmrtnost a Stringency Index, s příslušnými meteorologickými podmínkami, by bylo nad rámec rozsahu této diplomové práce, ideálně součástí rozsáhlejší studie.

Tato diplomová práce je z obecného hlediska příspěvkem k dalšímu zkoumání problematiky dopadů pandemie koronaviru v souvislosti s kvalitou ovzduší. Nepochybně by využití detailnějších metod vhodně přispělo k rozšíření tohoto tématu a podrobněji by definovalo konkrétní případy, při kterých došlo k výjimečným odchylkám denních průměrných hodnot suspendovaných částic $PM_{2.5}$. Toto výzkumné téma je zajímavým předmětem pro další zkoumání faktorů a souvislostí nouzových stavů působících na kvalitu ovzduší, což zejména z hlediska dopravní vytíženosti, která je aktuální otázkou napříč celou Evropou, nabízí obrovský potenciál.

8 Závěr

Hlavním záměrem této diplomové práce bylo identifikovat vybrané městské lokality v rámci Evropské unie, které byly v letech 2020 a 2021 výrazně ovlivněny koronavirovou pandemií napříč ekonomickou a společenskou sférou. Práce si především kladla za cíl zhodnotit odchylky v koncentracích znečišťující látky $PM_{2,5}$, které v letech mimořádného stavu porovnávala s dlouhodobými průměry let 2015–2019, které nebyly ovlivněny žádným zásadním činitelem. Obsah práce vycházel ze dvou částí, a sice teoretické a praktické. Teoretická východiska první části byla zaměřena na komplexní shrnutí kvality ovzduší v Evropské unii včetně vývoje koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v letech předchozích, která jsou porovnávána s lety charakteristickými nouzovým stavem. Tato část je věnována i pozadí řešené problematiky, které utváří Stringency Index, hodnocením jednotlivých úrovní přísnosti opatření zaváděných v členských státech Evropské unie. Této první části předcházely kapitoly hodnotící charakteristiku zvolených stanic, ze kterých byla čerpána denní data pro nadcházející výzkum, dále popis konkrétní znečišťující látky – suspendovaných částic $PM_{2,5}$, kterými se tato práce zabývá. Druhá část byla tvořena analýzou odchylek denních hodnot suspendovaných částic $PM_{2,5}$ za jednotlivá evropská města Gentu, Antverp, Prahy, Olomouce, Helsinek, Tampere, Milána, Říma, Berlína, Mnichova, Varšavy a Vratislavi. Na základě této analýzy byly následně vytvořeny grafické prvky doplňující textovou část, které byly převážně tvořeny řadou grafů, tabulkami a mapou.

Pro zpracování teoretické části bylo zapotřebí uvést zkoumanou problematiku do uceleného kontextu ve spojitosti se zahraniční odbornou literaturou. Z mnohých odborných článků vyplynulo, že v různých koutech světa, jimiž se jednotlivé výzkumy zabývaly, došlo rovněž ke snížení koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ vlivem zavedení lockdownů v různých časových horizontech. Výsledky poukázaly především na příznivý obrat, co se kvality ovzduší týče, a to zejména v různých městech Itálie, jako například v Turíně a Avellinu, a dále v celém regionu Lombardie. Příznivé výsledky byly zjištěny také ve španělském městě Barceloně, indickém Dillí či ve většině polských aglomerací. Tyto studie vycházely z odchylek denních hodnot koncentrací znečišťujících látek, které srovnávaly se stejnými obdobími předchozích let. Povětšinou se zaměřovaly na konkrétní období stanovených dnů, které byly charakteristické nouzovým stavem. Ve výzkumech byly používány i jiné příslušné metody, jako je například regresní analýza, satelitní monitorování, Lagrangeovská metoda či ventilační index. Některé výzkumy zahrnovaly rovněž meteorologické faktory v podobě hodinových pozorování vlhkosti vzduchu, srážek, slunečního záření, teploty, atmosférického tlaku, rychlosti větru a směru větru.

Výsledky výzkumu této diplomové práce ukázaly snížení koncentrací $PM_{2,5}$ ve všech dvanácti sledovaných evropských městech, a to v důsledku zavedení protipandemických opatření v průběhu koronavirové pandemie. Tato skutečnost byla prokázána vyhodnocením denních hodnot suspendovaných částic $PM_{2,5}$ formou průměrných odchylek let 2020 a 2021 od dlouhodobých průměrů období let 2015–2019. Největší snížení těchto koncentrací bylo zaznamenáno v prvním roce pandemie 2020 na dopravních stanicích evropských měst v Itálii, Německu, Belgii, Polsku a Finsku, načež v roce 2021 byla výjimečnější situace na pozadové stanici, kde bylo zjištěno zlepšení zejména v Česku, Římě (Milán), Německu, Belgii (Gent), Polsku (Vratislav) a Finsku (Tampere). Snížení koncentrací $PM_{2,5}$ reagovalo v období nouzových stavů na zaváděná opatření, díky kterým byla omezena především dopravní intenzita a ekonomické aktivity. Tento stav potvrzoval v mnoha případech také Stringency Index, jehož míra byla zvyšována především v první polovině roku 2020 v průběhu prvního lockdownu. Během roku 2020 jeho křivka buď oscilovala v důsledku častého rozvolňování protipandemických nařízení, nebo byla konzistentní, čímž v daném období případného nouzového stavu setrvala po delší časové období. Prostřednictvím Stringency Index bylo možné pozorovat také chování populace po velkém rozvolnění protipandemických opatření koncem roku 2021 ve všech předemných státech. Je předpokladem, že v momentě rozvolnění vládních nařízení dojde k okamžitému zařazení se do běžného života jako v době před pandemií. Tato situace byla naznačena v případě Berlína, Vratislavi a Olomouce, avšak je možné ji přisoudit vlivům meteorologických faktorů, které nejsou předmětem tohoto výzkumu. Závěrem toho lze shledat, že i přes průběžné rozvolňování bylo chování obyvatelstva zachováno a nedocházelo tím k navyšování koncentrací $PM_{2,5}$.

Oblast životního prostředí je napříč celým světem velmi stěžejní téma a zastává zásadní roli ve fungování všeho lidstva. Evropská unie se v boji proti znečištění ovzduší snaží být vysoce aktivní a opírá jednotlivé nástroje především o legislativu a dílčí iniciativy. Vlivem nouzových stavů došlo nejen ve vybraných evropských městech v rámci tohoto výzkumu ke snížení znečištění ovzduší, ale dle zahraničních výzkumů také v jiných částech světa. Je proto zásadní si uvědomit, že omezení aktivit, které jsou ať už primárními či sekundárními zdroji tohoto znečištění, je reálné, notabene s vidinou velkého potenciálu do budoucnosti. Toto rozhodnutí závisí jen a pouze na změně v chování lidstva, čehož je příkladem období pandemie koronaviru SARS–COV–2.

9 Summary

The main goal of this thesis was to identify selected urban locations within the European Union that were significantly affected by the coronavirus pandemic across the economic and social spheres in 2020 and 2021. The aim of the work was to evaluate the deviations of PM_{2.5} pollutants in selected European cities Antwerp, Ghent, Prague, Olomouc, Helsinki, Tampere, Milan, Rome, Berlin, Munich, Warsaw and Wroclaw, which were compared with long-term averages of 2015–2019. The content of the work was based on two parts, theoretical and practical. In the theoretical part, the state of air quality in the European Union was comprehensively summarized, especially with a focus on the development of fine particulate matter PM_{2.5}. The characteristics of the individual stations were also presented, and the data obtained from these stations formed the basis for the research part of this thesis. Furthermore, the Stringency Index data was also used, which expresses the level of stringency of the measures that were introduced in the member states of the European Union.

The core practical part revealed research results that pointed to a reduction in PM_{2.5} concentrations in all twelve monitored European cities, as a result of the introduction of anti-pandemic measures during the coronavirus pandemic. This fact was proven by evaluating the daily values of fine particulate matter PM_{2.5}, in the form of average deviations of the years 2020 and 2021 from the long-term averages of the period 2015-2019. The greatest reduction in these concentrations was found in the first year of the pandemic (2020), namely at transport stations in European cities, especially in Italy, Germany, Belgium, Poland and Finland. In 2021, the situation was more exceptional at the background station, where improvements were found especially in the Czech Republic, Rome (Milan), Germany, Belgium (Ghent), Poland (Vratislav) and Finland (Tampere). The reduction of PM_{2.5} concentrations was a response to the measures introduced during the state of emergency, which primarily limited traffic intensity and economic activities. This situation was also confirmed in many cases by the Stringency Index, which increased especially in the first half of 2020, during the first lockdown. A correlation with excess mortality was also evident, reaching the highest values compared to the long-term averages 2015-2019 in Italy, and then decreasing in Poland, Germany, the Czech Republic, Belgium and Finland. Italy and Germany, according to the high number of deaths, approached the pandemic consistently, with very strictly implemented measures. The lowest intensities of restrictions were achieved in Finland, which, thanks to a relatively disciplined population, did not introduce an obligation in the given interventions, only in the form of recommendations, which were still respected. In 2021, the excess mortality was significantly higher in Poland, when it exceeded 117 579 deaths above the long-term averages of 2015–2019. Next in line was Germany, Poland, the Czech Republic, Finland, and finally, Belgium.

10 Použitá literatura

Brzezina J. 2018. Imisní limity – co znamenají a jak je interpretovat [online] Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2018/08/23/imisni-limity-co-znamenaji-a-jak-je-interpretovat/>

Brzezina J. 2022. Stanice imisního monitoringu [online] Dostupné z: <https://www.infoviz.cz/graphic.php?ID=125>

Concawe. 2021. How Covid-19 lockdown affected air pollution in Europe — a multi-city analysis [online] Dostupné z: <https://www.concawe.eu/publication/how-covid-19-lockdown-affected-air-pollution-in-europe-a-multi-city-analysis-concawe-review-30-1/>

Cucciniello R., Raia L., Vasca E. 2022. Air quality evaluation during COVID-19 in Southern Italy: the case study of Avellino city [online] Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111803>

Český hydrometeorologický ústav. 2018. Grafická ročenka 2017 – VIII. Evropský kontext [online] Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/VIII_EU_CZ.html

Český hydrometeorologický ústav. 2019. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2018 – VIII. Evropský kontext [online] Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/18groc/gr18cz/VIII.EU_CHMU2018.pdf

Český hydrometeorologický ústav. 2020. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2019 – VIII. Evropský kontext [online] Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/08_evropsky_v1.pdf
2018

Český hydrometeorologický ústav. 2021. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020 [online] Dostupné z: <https://info.chmi.cz/ročenka/ko2020/ko2020.pdf>

Český hydrometeorologický ústav. 2021. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020 – VIII. Evropský kontext [online] Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/20_08_evropsky_v2.pdf

Český hydrometeorologický ústav. 2021a. KVALITA OVZDUŠÍ NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2020 [online] Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/interaktivni/zpravy/2021-04_manualniStanice2020/pdf/zprava.pdf

Český hydrometeorologický ústav. 2022. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2021 – VIII. Evropský kontext [online] Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/21groc/gr21cz/21_08_evropsky_v2.pdf

Český hydrometeorologický ústav. 2022a. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020 [online] Dostupné z: <https://www.infoviz.cz/graphic.php?ID=81>

Český hydrometeorologický ústav. 2023. Informace o kvalitě ovzduší v ČR [online] Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/active_region_district_2742_CZ.html

Deutsche Welle. 2020. Coronavirus: What do the lockdowns mean in Europe? [online] Dostupné z: <https://www.dw.com/en/coronavirus-what-are-the-lockdown-measures-across-europe/a-52905137>

Eurostat. 2022. Population change – Demographic balance and crude rates at national level [online] Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DEMO_GIND/default/table?lang=en&category=demo.demo_ind

Eurostat. 2023. Excess mortality by month [online] Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DEMO_MEXRT__custom_5433563/default/table?lang=en

Evropská agentura pro životní prostředí (EEA). 2020. Air quality in Europe — 2020 report [online] Dostupné z: <https://data.europa.eu/doi/10.2800/786656>

Evropská agentura pro životní prostředí. 2019. Annual mean PM_{2.5} concentrations in 2016 <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/annual-mean-pm2-5-concentrations-3>

Evropská agentura pro životní prostředí. 2019. Znečištění ovzduší je v celé Evropě stále příliš vysoké [online] Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/highlights/znecesteni-ovzdusi-je-v-cele>

Evropská agentura pro životní prostředí. 2020. Signály EEA 2020 – Evropa směrem k nulovému znečištění [online] Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/publications/evropa-smerem-k-nulovemu-znecesteni>

Evropská agentura pro životní prostředí. 2020a. Znečištění ovzduší [online] Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/themes/air/intro>

Evropská agentura pro životní prostředí. 2021. O agentuře EEA [online] Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/about-us/who>

Evropská agentura pro životní prostředí. 2021a. Europe's air quality status 2021- update [online] Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/air-quality-status-briefing-2021>

Evropská agentura pro životní prostředí. 2021b. Evropské právní předpisy týkající se kvality ovzduší [online] Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2013/clanky/evropske-pravni-predpisy-tykajici-se>

Evropská agentura pro životní prostředí. 2022. European Air Quality Index [online] Dostupné z: <https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer/>

Evropská agentura pro životní prostředí. 2023. Air quality and COVID-19 [online] Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/signals/themes/air/air-quality-and-covid19/air-quality-and-covid19>

Evropský parlament. 2021. Znečištění ovzduší a hlukové znečištění [online] Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/cs/sheet/75/znecesteni-ovzdusi-a-hlukove-znecesteni>

Fassò A., Maranzano P., Otto P. 2021. Spatiotemporal variable selection and air quality impact assessment of COVID-19 lockdown [online] Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2021.100549>

Filonchuk M., Hurynovich V., Yan H. 2021. Impact of Covid-19 lockdown on air quality in the Poland, Eastern Europe. [online] Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110454>

Ghosal R., Saha R. 2021. Impact of the COVID-19 induced lockdown measures on concentration in USA [online] Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118388>

Giri A., Schäfer B., Verma R., He H. SM, Shiva N., Khare, M., Beck, Ch. 2022. Lockdown Effects on Air Quality in Megacities During the First and Second Waves of COVID-19 Pandemic. Journal of The Institution of Engineers (India) [online] Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1007/s40030-022-00702-9>

Gualtieri G., Brilli L., Carotenuto F., Vagnoliová K., Zaldei A., Gioli B. 2020. Quantifying road traffic impact on air quality in urban areas: A Covid19-induced lockdown analysis in Italy [online] Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115682>

Iftekhar N. E., Priesmann V., Balling R., Bauer S., Beutels P., Valdez Calero A., Cuschieri S., Czepionka T., Dumpis U., Glaab E., Grill E., Hanson C., Hotulainen P., Klimek P., Kretzschmar M., Krüger T., Krutzinna J., Low N., Machado H., Martins C., McKee M., Willeit P., Nassehi A., Perc M., Peletos E., Pickersgill M., Prainsack B., Rocklöv J., Schemhammer E., Staines A., Sczurek E., Tsiodras S., Gucht S., Willeit P. 2021. A look into the future of the COVID-19 pandemic in Europe: an expert consultation [online] Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lanpe.2021.100185>

- Kobza J., Geremek M., Dul L. 2018. Characteristics of air quality and sources affecting high levels of PM₁₀ and PM_{2,5} in Poland, Upper Silesia urban area [online] Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6797-x> ,
- Maranzano P. 2022. Air Quality in Lombardy, Italy: An Overview of the Environmental Monitoring System of ARPA Lombardia [online] Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/earth3010013>
- Menut L., Bessagnet B., Siour G., Mailler S., Pennel R., Cholakian A. 2020. Impact of lockdown measures to combat Covid-19 on air quality over western Europe [online] Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140426>
- Ministerstvo zdravotnictví České republiky. 2020. Aktuální epidemiologická situace [online] Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/2020/10/Aktu%C3%A1ln%C3%AD-epidemiologick%C3%A1-situace-%E2%80%93-pro%C4%8D-se-zav%C3%A1d%C3%AD-opat%C5%99en%C3%AD.pdf>
- Ministerstvo životního prostředí. 2012. Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. [online] Dostupné z: www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201
- Novák M. – Aktuálně.cz. 2020. Finsko je premiant ve zvládání covidu: Roušky nepovinné, lidé jsou ale disciplinováni [online] Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/zahranici/finsko-je-premiantem-evropy-ve-zvladani-covid-19/r~9e80737c06e911ebb1110cc47ab5f122/>
- Observatoř bezpečnosti silničního provozu (czrso). 2007. Imisní zatížení ovzduší suspendovanými částicemi z dopravy [online] Dostupné z: <https://www.czrso.cz/clanek/imisni-zatizeni-ovzdusi-suspendovanymi-casticemi-z-dopravy/?id=1422>
- Our World in Data. Ritchie H., Mathieu E., Rodés-Guirao L., Appel C., Giattino Ch., Ortiz-Ospina E., Hasell J. & Roser M. 2020. Coronavirus Pandemic (COVID-19) [online] Dostupné z: <https://ourworldindata.org/coronavirus>
- Ravina M., Esfandabadi Z. S., Panepinto D., Zanetti M. 2021. Traffic-induced atmospheric pollution during the COVID-19 lockdown: Dispersion modeling based on traffic flow monitoring in Turin, Italy [online] Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128425>
- Rodríguez-Urrego D., Rodríguez-Urrego L. 2020. Air quality during the COVID-19: PM_{2,5} analysis in the 50 most polluted capital cities in the world [online] Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115042>
- Saha L., Kumar A., Korstad J., Srivastava S., Bauddh K. 2022. The impact of the COVID-19 lockdown on global air quality: A review [online] Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s42398-021-00213-6>

Tobias A., Carnerero C., Reche C., Massagué J., Via M., Minguillón M. C., Alastuey A., Querol X. 2020. COVID-19 lockdown effects on air quality by NO₂ in the cities of Barcelona and Madrid (Spain) [online] Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138540>

Úřední věstník Evropské unie. 1998. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 98/70/ES ze dne 13. října 1998 o jakosti benzínu a motorové nafty a o změně směrnice Rady 93/12/EHS [online] Dostupné z: <http://data.europa.eu/eli/dir/1998/70/oj>

Úřední věstník Evropské unie. 2008. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES ze dne 21. května 2008 o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu [online] Dostupné z: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj>

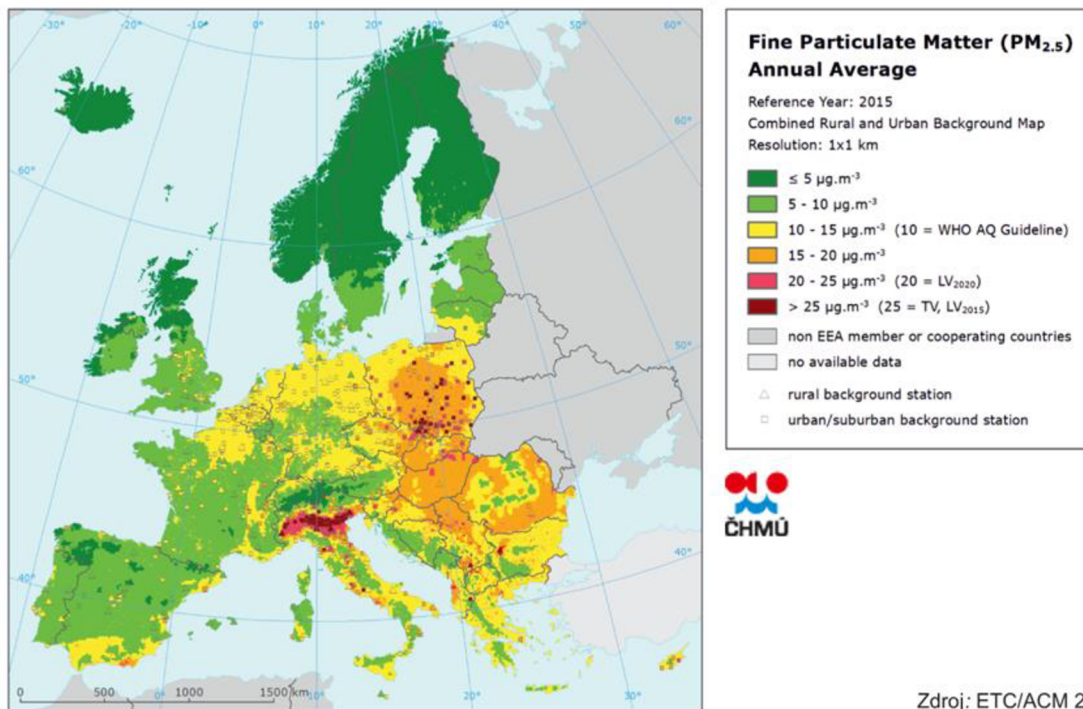
Úřední věstník Evropské unie. 2008. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES ze dne 21. května 2008 o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu [online] Dostupné z: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj>

WHO – World Health Organization. 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2,5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide [online] Dostupné z: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

WHO. 2021. Ambient (outdoor) air pollution [online] 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)

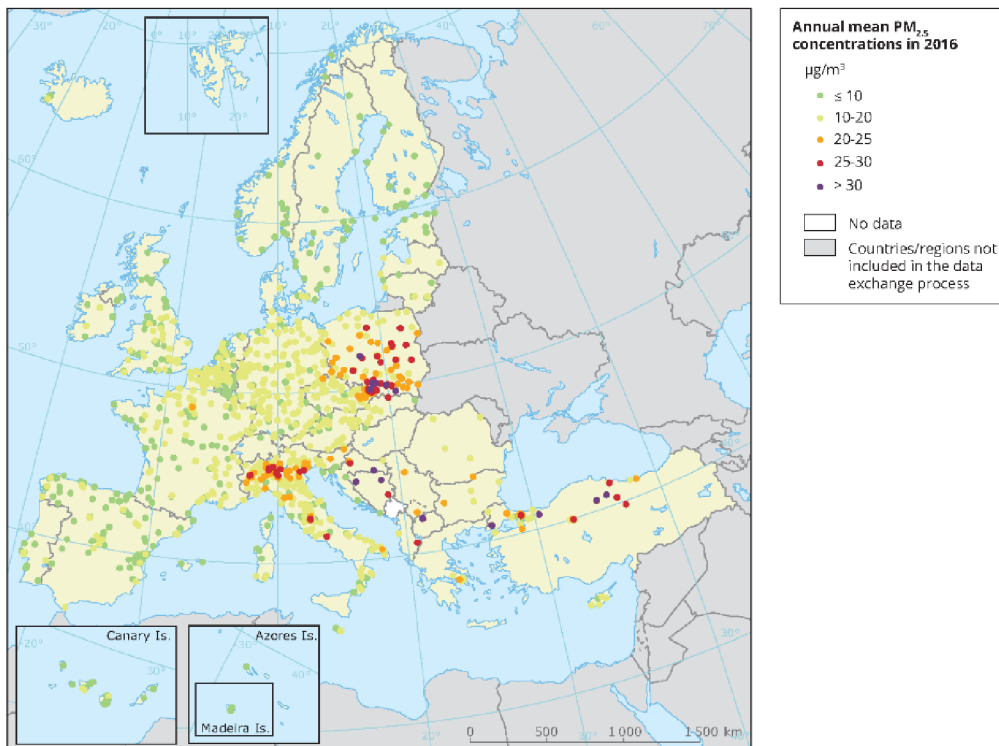
Yle News. 2021. Finland announces March shutdown [online] Dostupné z: <https://yle.fi/a/3-11808835>

Přílohy

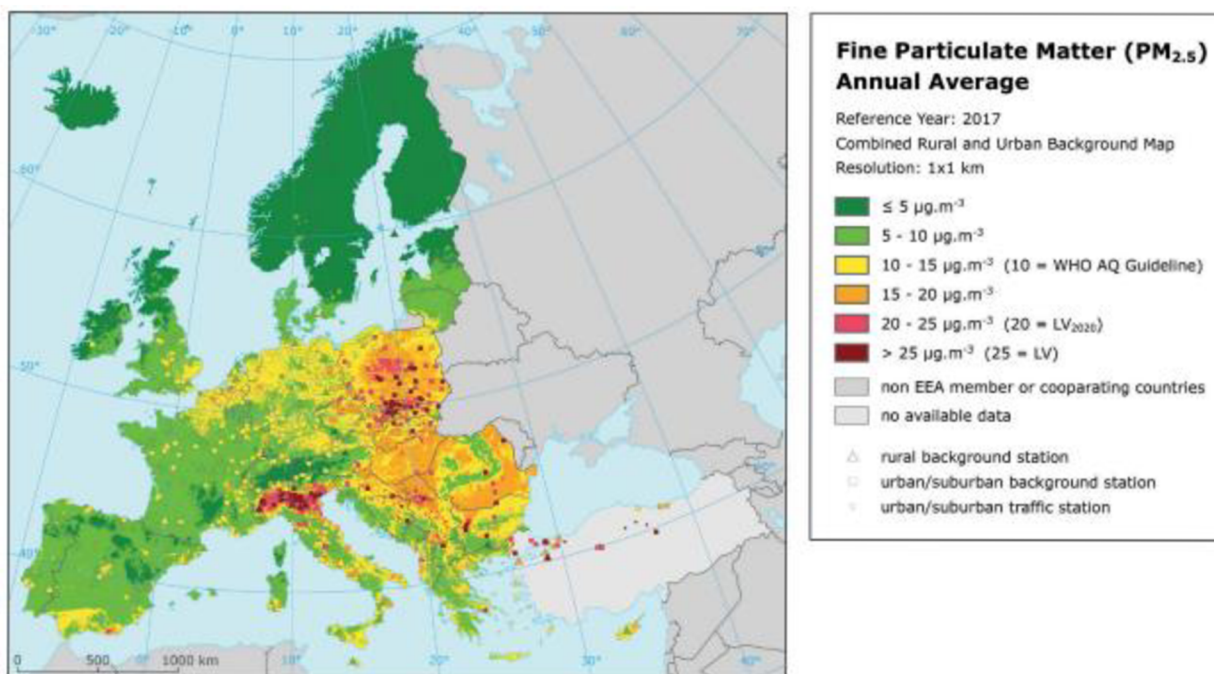


Zdroj: ETC/ACM 2018

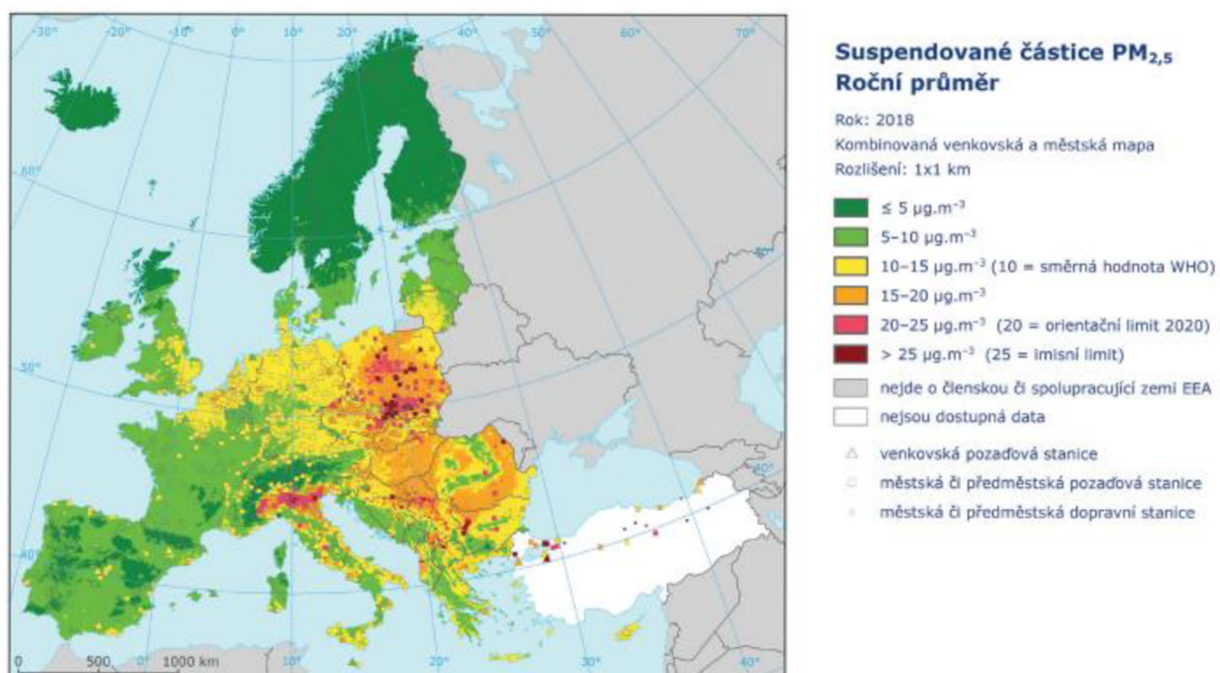
Příloha 1 Průměrné roční koncentrace PM_{2.5} v Evropě za rok 2015 (Zdroj: ČHMÚ, 2018; převzato)



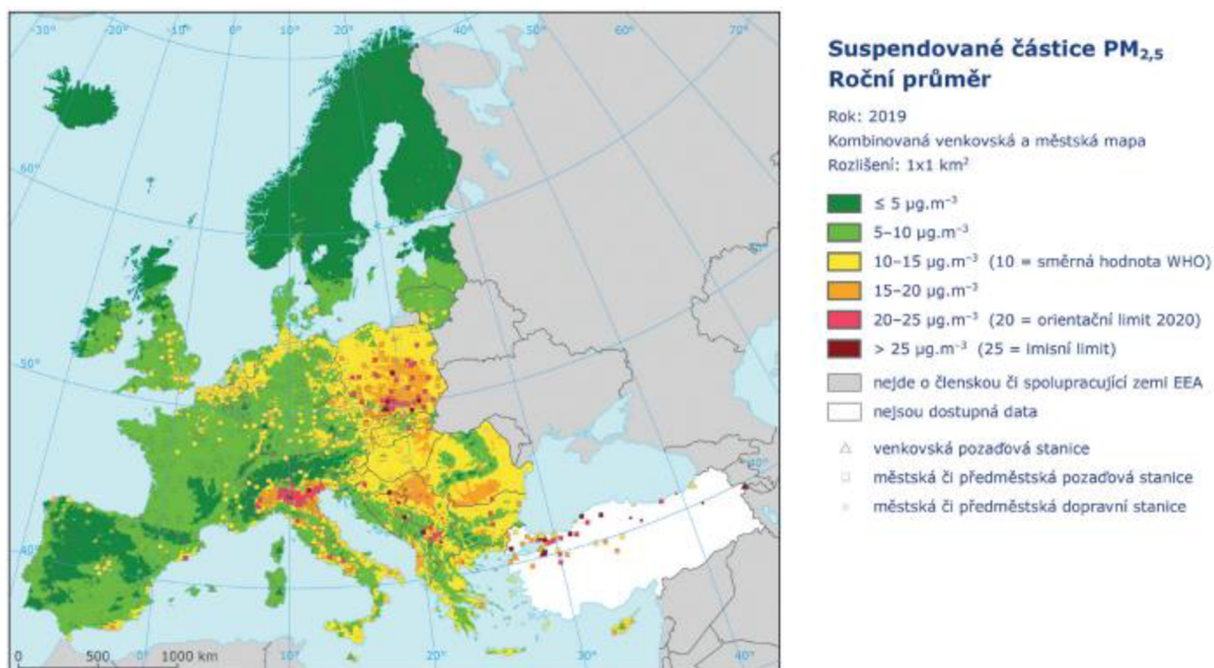
Příloha 2 Průměrné roční koncentrace PM_{2.5} v Evropě za rok 2016 (Zdroj: EEA, 2019; převzato)



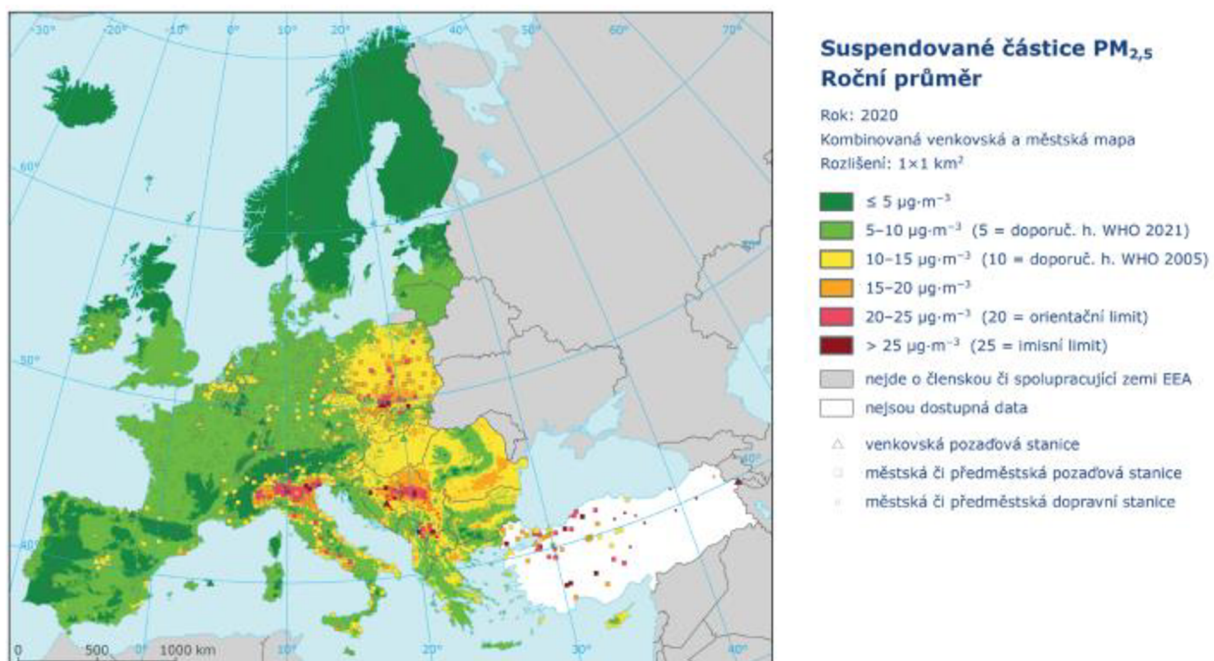
Příloha 3 Průměrné roční koncentrace PM_{2,5} v Evropě za rok 2017 (Zdroj: ČHMÚ, 2019; převzato)



Příloha 4 Průměrné roční koncentrace PM_{2,5} v Evropě za rok 2018 (Zdroj: ČHMÚ, 2020; převzato)



Příloha 5 Průměrné roční koncentrace PM_{2,5} v Evropě za rok 2019 (ČHMÚ, 2021; převzato)



Příloha 6 Průměrné roční koncentrace PM_{2,5} v Evropě za rok 2020 (Zdroj: ČHMÚ, 2022; převzato)

Příloha 7 Celková a průměrná úmrtnost v letech 2015–2019 v Evropské unii

Název státu	Celková úmrtnost 2015–2019					Průměr
	2015	2016	2017	2018	2019	
Belgie	110 541	108 097	109 666	110 693	108 783	109 556
Bulharsko	110 117	107 580	109 791	108 526	108 083	108 819
Česko	111 173	107 750	111 443	112 920	112 362	111 130
Dánsko	52 555	52 824	53 261	55 232	53 958	53 566
Estonsko	15 243	15 392	15 543	15 751	15 401	15 466
Finsko	52 492	53 923	53 722	54 527	53 949	53 723
Francie	593 807	594 005	606 410	609 747	613 388	603 471
Chorvatsko	54 205	51 542	53 477	52 706	51 794	52 745
Irsko	30 127	30 667	30 317	31 140	30 959	30 642
Itálie	647 571	615 261	649 061	633 133	634 417	635 889
Kypr	5 859	5 471	5 996	5 768	6 239	5 867
Litva	41 776	41 106	40 142	39 574	38 281	40 176
Lotyšsko	28 478	28 580	28 757	28 820	27 719	28 471
Lucembursko	3 983	3 967	4 263	4 318	4 283	4 163
Maďarsko	131 575	127 098	131 877	131 247	129 892	130 338
Malta	3 442	3 342	3 571	3 688	3 688	3 546
Německo	925 200	910 902	932 272	954 874	939 520	932 554
Nizozemsko	147 134	148 997	150 214	153 363	151 885	150 319
Polsko	394 921	388 009	402 852	414 200	409 709	401 938
Portugalsko	108 539	110 573	109 758	113 051	111 793	110 743
Rakousko	83 073	80 669	83 270	83 975	83 386	82 875
Rumunsko	262 442	258 404	262 321	264 963	259 889	261 604
Řecko	121 183	118 788	124 501	120 296	124 965	121 947
Slovensko	53 826	52 351	53 914	54 293	53 234	53 524
Slovinsko	19 834	19 689	20 509	20 485	20 588	20 221
Španělsko	420 408	408 231	422 037	425 153	416 102	418 386
Švédsko	90 907	90 982	91 972	92 185	88 766	90 962

(Zdroj: Eurostat, 2022; vlastní zpracování)

Příloha 8 Nadúmrtnost a Stringency Index v letech 2020 a 2021 v Evropské unii

Název státu	Nadúmrtnost		Stringency Index	
	2020	2021	2020	2021
Belgie	126 896	112 331	51,05	50,1
Bulharsko	124 735	148 995	39,44	47,6
Česko	129 289	139 891	43,21	54,1
Dánsko	54 645	57 152	45,65	47,4
Estonsko	15 811	18 587	36,38	38,6
Finsko	55 488	57 659	38,84	42,7
Francie	669 064	657 134	54,28	52,6
Chorvatsko	57 023	62 712	42,33	42,9
Irsko	32 387	33 058	55,59	58,5
Itálie	740 317	709 035	64,59	63,7
Kypr	6 422	7 110	53,08	59,1
Litva	43 547	47 746	40,59	45,4
Lotyšsko	28 854	34 600	42,29	50,3
Lucembursko	4 609	4 489	42,73	46,0
Maďarsko	141 326	156 131	48,39	46,8
Malta	4 084	4 163	44,99	51,8
Německo	985 572	1 023 687	51,77	65,0
Nizozemsko	168 678	170 972	49,23	57,8
Polsko	477 355	519 517	46,97	53,0
Portugalsko	123 396	124 802	53,72	61,1
Rakousko	91 599	91 962	47,03	61,6
Rumunsko	298 258	334 473	49,50	56,4
Řecko	131 047	143 329	54,48	72,2
Slovensko	59 089	73 461	45,16	52,5
Slovinsko	24 016	23 261	50,02	52,9
Španělsko	492 447	449 270	56,24	55,4
Švédsko	98 124	91 958	49,01	46,1

(Zdroj: Nadúmrtnost – Eurostat, 2022; Stringency Index – Our World in Data, 2020; vlastní zpracování)