

MOŽNOSTI ZLEPŠOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ÚZEMNÍ SAMOSPRÁVOU NA PŘÍKLADU SNÍŽENÍ KONCENTRACE PRACHOVÝCH ČÁSTIC PM10 V OVZDUŠÍ*

Helena Mitwallyová ^a, Lucie Kureková ^a, Daniel Zikmund^b

Abstract

Environmental Improvement Possibilities for Local Governments: Example of Reducing PM10 Concentration in Air

The municipality can significantly improve the air in its territory by regular cleaning of its street network. The aim of this study is therefore to demonstrate the positive effect of machine cleaning of roads on the reduction of PM10 dust particles in the air. These particles are the result of emissions from transport and more than 83% of them come from the so-called resuspension (the secondary whirling of particles that lie on the road). Cleanliness and care of public spaces, in which road cleaning may be included, belongs to the so-called compulsory tasks of self-governments in some legal regulations, *e.g.*, Bavarian, Polish, Slovak and Serbian, and as this study shows, its positive effect is measurable, which is not common among activities of local municipalities. Therefore, it may be stated that the funds invested by local governments in mechanical road cleaning have a significant positive effect on reduction of PM10 particles in the air and thus on the health of their citizens. The study is based on measurements performed in the capital city Prague from 2013 to 2019 and uses monthly data from 4 measuring stations, for which it was also possible to obtain adequate meteorological data of variables that affect the occurrence of PM10 particles in the air. The results of the study can be used to properly set up the machine cleaning system so that its effect is as high as possible. Stata econometric software was used for the data analysis. The study builds on similar analyses carried out in recent years in Europe, the Arabian peninsula and Asia.

Keywords: Machine cleaning of roads, PM10 dust particles, self-government obligatory tasks, public expenditures, meteorological data, population health

JEL Classification: C51, C52, H75, Q53

* Grantová podpora: IGS 2521

a Vysoká škola ekonomická v Praze, Národohospodářská fakulta, Praha, Česká republika
E-mail: xmith900@vse.cz, xkurl06@vse.cz

b Pražské služby, a. s., Praha, Česká republika
E-mail: zikmundd@psas.cz

Úvod

Ochrana ovzduší je obvykle vnímána v globálním měřítku. Valná část opatření se odehrává na makroúrovni, na základě mezinárodních klimatických dohod, mezinárodního systému emisních povolenek, krajsky řešených kotlíkových dotací atp. Nicméně i obecní samospráva může zásadně ovlivnit ovzduší na jí spravovaném území zdánlivě běžnou činností, kterou je správně nastavený a prováděný úklid komunikací za přispění strojního čištění. Tato činnost spadá mezi tzv. povinné úkoly samosprávy. To jsou úkoly, které naplňují veřejný zájem, a samospráva by je měla vykonávat vždy. Patří mezi ně kromě úklidu veřejného prostranství, kam spadá i čištění komunikací, např. oblast školství, dopravy, odpadového hospodářství, pohřebnictví atd. (Mitwallyová, 2020). Dále existuje kategorie dobrovolných úkolů, které samospráva vykonávat může, pokud zabezpečí povinné úkoly ve veřejném zájmu a zbydou jí finanční prostředky na další činnosti, které charakter povinných úkolů nemají zejména z toho důvodu, že jsou určeny pouze pro část obyvatel dané obce. Bohužel v české legislativě nejsou od roku 2000 povinné úkoly samosprávy vymezeny. Proto zástupci samospráv poměrně snadno přesouvají finanční prostředky na své priority, které být veřejným zájmem nemusí, neboť uspokojují potřeby pouze marginální části obyvatel a návštěvníků obce. Územní samospráva je v decentralizovaných státech Evropy významným faktorem ovlivňujícím přímo život občanů na daném území. Dle Brennana a Buchanana (1980) je fiskální decentralizace možností, jak omezit moc státu a velikost zdanění, a dosáhnout tak optimální velikosti veřejného sektoru. Připomeňme teorii J. M. Buchanana (1968), který tvrdí, že v situaci, kdy jednotlivci volí „ustavujícím“ či konstitutivním způsobem, jsou svými vlastními zájmy vedeni k tomu, aby podporovali obecný nebo veřejný zájem v tom nejzákladnějším smyslu. Protože jsou volící občané v obdobné situaci, je možné na základě kolektivní volby dojít k obecně účinné a efektivní soustavě pravidel. Pokud však nejsou úkoly územní samosprávy přesně definovány, stěžuje tato situace možnost kontrolovat jejich plnění, čímž vzniká tzv. šedá zóna, a může docházet k neefektivnímu nakládání s veřejnými prostředky. Vzniká tak mj. větší prostor pro zájmové skupiny prosazující své dílčí (skupinové) zájmy ovlivňováním úředníků a politiků.

Cílem autorů bylo exaktně dokázat efektivitu konkrétního povinného úkolu a podpořit snahu legislativců začlenit zpět tzv. povinné úkoly samosprávy do českého práva tak, aby nedocházelo k odklonu finančních prostředků na priority zástupců samosprávy, které jsou možná v daném okamžiku populární, ovšem charakteristiku naplňování veřejného zájmu nesplňují, neboť uspokojují potřeby pouze malé části populace.

Podstatu činnosti veřejné správy lze charakterizovat jako člověkem vytvořený systém se sociálním posláním, plnící funkci společenského charakteru (Skulová, 2014). Typická je

pro ni mocenská funkce, která je dána výkonem veřejné moci, kterou zabezpečuje. Skulová (2014) uvádí jako podstatnou podmínku soulad se zákony a obecně závaznými předpisy vydanými na základě zákonů. Pokud cíle a úkoly splňují výše uvedenou podmínku, mají postavení srovnatelné s cíli a úkoly vyplývajícími přímo ze zákonů. Protože právní úprava v České republice nemá pozitivní vymezení povinných úkolů samosprávy, občan obtížně sleduje, zda samospráva funguje v souladu s veřejným zájmem, či nikoli. U zemí, kde jsou povinné úkoly samosprávy definovány, je patrné, co musí samospráva zajistit prioritně a co zajistit může, pokud disponuje volnými finančními prostředky. I podle Kopeckého (2009) naší ústavní úpravě schází vymezení pravidel, které by zavazovalo běžné zákonodárství při rozhodování, zda určité záležitosti veřejné správy mají být svěřeny státní správě či samosprávě. Jako příklad demonstrativního výčtu agend samosprávy Kopecký (2009) uvádí rakouskou ústavu, kde jsou v čl. 118 určeny konkrétní agendy, které má samospráva vykonávat. Rakouská ústava mimo jiné zmiňuje i oblast dopravy a s tím související problematiku, což je i případ řešení znečištěného ovzduší z dopravy (Bundes-Verfassungsgesetz). Územní samospráva tedy v každém státě může mít jiný rozsah působnosti, a to dle jejího zákonného vymezení. Vymezením povinných úkolů samosprávy v české legislativě se již dlouhodobě zabývá Matula (2017), který ve své knize zmiňuje problém diferenciací záležitostí náležejících do samostatné působnosti z hlediska vztahu k právní regulaci. Na základě výzkumu, který se zabýval srovnáním právních úprav pěti středoevropských zemí a návazně realizovanými úkoly, můžeme říci, že ve všech sledovaných zemích byly čistota a úklid veřejného prostranství, kam lze čištění komunikací zařadit, mezi povinné úkoly samosprávy zahrnuty (Mitwallyová, 2020).

Ačkoliv se strojní čištění komunikací jeví jako činnost politicky snadno průchodná, stává se, že pro její malou atraktivitu je podceňována a je obětí přesunu prostředků původně určených na čištění komunikací do populárnějších činností se zdánlivě větším politickým kapitálem. Tyto přesuny však v důsledku slouží jen úzké skupině obyvatel, byť pro ni mají velký význam. V Praze se jedná například o budování cyklostezek, které jsou jistě ve městě prospěšné, ale tuto aktivitu nelze nazvat veřejným statkem, neboť pozitivně ovlivňuje jen malou část obyvatel města. Naproti tomu čištění komunikací klasickým veřejným statkem je, neboť z něj mají prospěch všichni obyvatelé a návštěvníci města bez rozdílu, má totiž výrazný vliv na jejich zdraví. Proto by tento veřejný statek měl být zajišťován přednostně jako mandatorní výdaj, lépe řečeno, měl by být zařazen mezi tzv. povinné a nepominutelné úkoly samosprávy, jak je tomu v jiných právních úpravách (viz výše). Strojní čištění je jednoduchá činnost, snadno technicky proveditelná, která má další nepřímé a dlouhodobé efekty, například zvýšení atraktivity daného území, větší spokojenost obyvatel v důsledku čistšího ovzduší aj.

Studie nesleduje ekonomický rozměr dané problematiky z toho důvodu, že absolutní vložená částka do daného úkolu nehovoří o jeho efektivitě. Proto se zaměřuje na exaktní změření efektivity daného úkolu, což je možné právě díky shromážděným datům, nicméně je potřeba zasadit sledované období do celkového ekonomického vývoje České republiky. Ve sledovaném období procházela česká ekonomika zjevnými fázemi ekonomického cyklu. Po roce 2008 následovala hospodářská recese typu W (Jašová *et al.*, 2016), následné oživení bylo charakteristické velmi nízkou nezaměstnaností (Čermáková *et al.*, 2019) a současně silně expanzivní hospodářskou politikou (Kadeřábková *et al.*, 2020a). Došlo k tzv. přehřívání ekonomiky, které bylo pozorovatelné zejména na realitním trhu (Kadeřábková *et al.*, 2020b), rovněž na růstu cen komodit (Čermáková *et al.*, 2020), který se následně promítl do růstu všeobecné cenové hladiny, výrazně převyšující inflační cíl ČNB. Ekonomický růst, který je často považován za indikátor bohatství (Čermáková *et al.*, 2020), je však provázen růstem znečištění, což koresponduje mimo jiné i s výsledky této studie. V současnosti přijímaná opatření EU v různých podobách, včetně Zelené dohody pro Evropu (European Green Deal), nemusí podpořit dlouhodobý ekonomický růst, ale může nastat situace popisovaná jako trade-off: ekonomický růst versus ekologie.

Pokud se zaměříme na frekvenci čištění, a s tím logicky spojenými vynakládanými finančními prostředky, můžeme jasně vidět, že v dobách ekonomické krize, kdy byl systém čištění postupně zaváděn, byla frekvence vzrůstající. Už jen to, že v době krize začne politické vedení Prahy uvažovat o zavedení systému čištění komunikací, svědčí o tom, že jej minimálně tehdejší politická reprezentace považovala za přínosné, a i přes omezené finanční prostředky se snažila intenzivně zlepšit ovzduší v Praze pomocí jasně nastaveného systému čištění. Ovšem po nástupu nového politického vedení v Praze od podzimu 2018 se začala frekvence čištění postupně snižovat i přes výše popsany hospodářský růst a následné přehřívání ekonomiky (viz obrázek 4). To znamená, že čištění komunikací je pojmáno ze strany nového politického vedení Prahy jako činnost, která může být kdykoli omezena a systém narušen i přes dostatek finančních prostředků bez ohledu na veřejný zájem, který jednoznačně naplňuje.

Tato studie se zaměřuje na prachové částice PM10, které jsou třetím nejvýznamnějším polutantem (viz tabulku 1), jejichž negativní vliv na lidské zdraví sleduje mnoho vědeckých studií realizovaných v posledních dvaceti letech v Evropě, Asii, na Arabském poloostrově a dalších místech se zvýšenou intenzitou dopravy (viz dále). Prachové částice PM10 jsou škodlivé také tím, že jejich množství v ovzduší mimořádně ovlivňuje resuspenze, tedy sekundární prašnost. To znamená, že značná část prachových částic zůstane ležet na komunikaci a další projíždějící vozidla částice znovu zvirí. Celý systém čištění komunikací jako nástroj omezování částic PM10 tak vychází z jednoduché premisy: To, co leží na zemi, lze do vozidel strojního čištění nasát a z komunikace odstranit. Dle měření

Českého hydrometeorologického ústavu publikovaného v Ročence životního prostředí hlavního města Prahy za rok 2018 je celkový objem emisí PM10 v absolutní hodnotě 4 103,97 t/rok, z toho je 3 410,76 t/rok resuspenze, čili 83 %. Z tohoto úhlu pohledu se strojní čištění jeví jako jedno z nejeftivnějších opatření při eliminaci prachových částic PM10, neboť dokáže postihnout právě těch 83 % znečištění pocházejícího z resuspenze.

Tabulka 1: Emise z automobilové dopravy na území Prahy [t/rok, u BaP kg/rok]; 2018

	PM10	PM2,5	SO2	NOX	CO	HC	VOC	Benzen	BaP
Osobní automobily	296,87	228,99	23,48	2 426,48	4 213,07	1 104,52	1 061,56	41,41	34,70
Lehké nákladní automobily	78,04	68,15	3,45	460,32	910,73	111,04	53,84	3,31	9,05
Těžké nákladní automobily	183,52	144,39	2,61	1 518,35	2 163,12	464,72	78,95	10,11	14,33
Autobusy	29,60	23,64	1,39	392,17	285,30	77,06	12,53	1,00	1,74
Resuspenze – 83 % z celkového znečištění	3 410,76	825,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,74
Liniové zdroje celkem	3 998,79	1 290,35	30,93	4 797,32	7 572,22	1 757,34	1 206,88	55,83	87,56
Tunely	61,69	30,30	1,45	236,70	301,68	56,87	29,27	1,91	3,66
Křižovatky + MÚK	24,09	8,32	1,33	111,99	1 231,64	24,93	13,74	1,24	0,72
Nádraží a terminály BUS	2,35	0,96	0,03	8,29	6,87	1,97	0,00	0,03	0,02
Garáže a parkoviště	17,05	5,99	0,35	37,70	65,39	24,91	0,00	0,91	0,34
Celkem	4 103,97	1 335,92	34,09	5 192,00	9 177,80	1 866,02	1 249,89	59,92	92,30

Zdroj: Ročenka životního prostředí (HMP, 2019)

Proto je tak důležitá vlastní aktivita samosprávy, neboť ona rozhoduje o tom, jaké finanční prostředky do čištění komunikací vloží, a jak prokazuje tato studie, nakolik tím zároveň ovlivní zdraví obyvatel na daném území.

Výzkum měl přispět k odpovědnému a informovanému rozhodování politických zástupců samosprávy, proto se zaměřil na posouzení účinku čištění a jeho vlivu na zdraví obyvatel a návštěvníků Prahy, a podává důkazy o jeho prospěšnosti a o neblahém vlivu nekonceptních úspor na životní prostředí ve městě. Cílem výzkumu bylo prostřednictvím

ekonometrické analýzy zjistit vliv strojního čištění komunikací jakožto jedné z činností samosprávy na objem částic PM10 v ovzduší. Cíl je dále operacionalizován na dvě hypotézy:

H_1 : Strojní čištění přispívá ke snížení koncentrace prachových částic PM10 v ovzduší.

H_2 : Kumulace PM10 z předchozího období navyšuje koncentraci částic PM10 v ovzduší.

V případě platnosti (H_1) společně s (H_2) se tak může ukázat urgentní potřeba kontinuálně snižovat PM10 a z pohledu samosprávy je pak smysluplné dávat důraz na pravidelné čištění komunikací. Výsledky tak mohou ukázat, že správně definované a prováděné samosprávné činnosti, v tomto případě strojní čištění komunikací, mohou výrazně přispět ke zlepšení životního prostředí ve městech, což lze v tomto konkrétním případě i exaktně dokázat. Dále lze možná zjištění vztáhnout na situaci dalších metropolí či měst, které se potýkají s rostoucím dopravním zatížením, a tím i se zvýšenou koncentrací prachových částic PM10, jejichž výskyt v ovzduší by mělo čištění komunikací výrazně omezit.

V teoretické části výzkumu jsou představeny relevantní studie, přičemž závěry jsou pak využity pro sestavení ekonometrického modelu a výběr faktorů, které mohou mít vliv na objem PM10 v ovzduší. V metodické části jsou popsána použitá data společně s metodickým postupem výpočtu míry čištění, dále je představen ekonometrický model a vyhodnoceny výsledky společně s platností formulovaných hypotéz. V závěru jsou pak shrnuta zásadní zjištění provedeného výzkumu.

1. Dosavadní výzkum a relevantní odborná literatura

Právě čistota a úklid veřejného prostranství, kam lze řadit i čištění komunikací, patří do tzv. povinných úkolů samosprávy, jak je vidí legislativa bavorská, polská, srbská a další (Mitwallyová, 2020). Vzhledem ke stavu životního prostředí ve městech nabývá na důležitosti jakákoli aktivita, která jej zlepšuje. Samotné čištění komunikací pochopitelně není všemocné, je součástí souboru opatření, která postupně pražská samospráva v posledních dvaceti letech ve spolupráci se správcem komunikací a odbornými útvary Magistrátu hlavního města Prahy a poskytovatele služeb nastavila. Úspěšnost tohoto konceptu dokládají dlouhodobé výsledky měření stavu ovzduší v Praze, které přináší analýzy Českého hydrometeorologického ústavu v Praze (ČHMÚ, 2020).

Priority volených zástupců se ovšem průběžně mění, dochází tak rovněž k omezování čištění komunikací. Kirling (1996) dokládá jiné zaměření priorit volených zástupců, které jde často proti dlouhodobým koncepcím a snahám veřejné administrativy, což lze vztáhnout i na případ čištění komunikací, kdy se politická objednávka odchyluje od systému

vypracovaného předchozími generacemi odpovědných manažerů ve výkonných složkách pražské samosprávy. V souladu s Bøggildovým (2016) výzkumem, který se zabývá snahami politiků o znovuzvolení a s tím související redukcí úkolů ve veřejném zájmu, nyní sledujeme tendence politiků zodpovědných za oblast dopravy v Praze plnit objednávku svých voličů preferujících např. cyklodopravu, což je jistě chvályhodné, ovšem děje se tak přesunem finančních prostředků na úkor činností, které pozitivně ovlivňují zdraví všech obyvatel města. Bøggild (2016) varuje před krátkozrakostí tohoto postupu, neboť na základě jeho výzkumu volič pozná, kdy politik preferuje úkol ve snaze být znovuzvolen, a obvykle takového politika nevolí. Carpenter a Krause (2011) upozorňují na nepřehlednost a složitost systému veřejné správy, která v době informačních technologií není o nic více čitelná než dříve, neboť občan je zahlcen spoustou informací a není tak schopen odlišit podstatné od bagatelního. Vše tedy nasvědčuje tomu, že stanovení tzv. povinných úkolů samosprávy pomůže zajistit naplňování veřejného zájmu a zabránit odlivu finančních prostředků ve prospěch sice atraktivních, ale zbytných činností.

Na škodlivost částic PM10 upozorňuje mnoho zahraničních výzkumů. Jejich složením se zabývá výzkum z Barcelony, který zkoumá nejen efekt resuspenze, ale také obsah těžkých kovů a saharského prachu v částicích PM10 (Pérez *et al.*, 2008). Například Romano *et al.* (2020) poukazují na přímou souvislost výskytu částic PM10 a jejich vlivu na přítomnost různých kmenů bakterií v ovzduší. Zoran *et al.* (2020) se domnívají, že vzduch znečištěný částicemi PM10 přispěl k rychlejšímu rozšíření covidu-19 v Miláně a okolí, kde ovzduší, vzhledem k průmyslovému charakteru oblasti, obsahuje zvýšené koncentrace PM10. To ostatně potvrzují výsledky dalšího zahraničního výzkumu (viz Musialek *et al.*, 2020). Tito autoři zkoumali totéž v Polsku a výsledky potvrzují zvýšenou smrtnost nakažených covidem-19, kteří dlouhodobě pobývají v prostředí znečištěném částicemi PM10 a PM2,5. Anuszek *et al.* (2019) potvrdili přímou souvislost mezi výskytem ischemické choroby srdeční a částic PM10 v zimních měsících, kdy je koncentrace PM10 v ovzduší nejvyšší.

Úzkou souvislost výskytu částic PM10 v ovzduší s narůstající automobilovou dopravou potvrzuje i výzkum prováděný v Jordánsku (Alnawaiseh, Hashim, Isa, 2012), avšak vzhledem k zeměpisnému pásmu nebylo možné prokázat vliv teplot na výskyt PM10. Závislost výskytu částic PM10 na atmosférickém tlaku zkoumají i Cho *et al.* (2021), kterým se podařilo prokázat souvislost s vyšší atmosférického tlaku a výskytem PM10. Vyšší výskyt částic PM10 v atmosféře v zimních měsících dokazuje i roční výzkum realizovaný v Cardiffu (Mohammed *et al.*, 2017) a desetiletý výzkum z Thajska, který potvrzuje nejvyšší výskyt v období od února do dubna (Suwanprasit *et al.*, 2018). Totožné výsledky obsahuje i čínský výzkum, který se zabývá opatřeními pro snížení výskytu částic PM10 v bytech (Lu, 2015). Pala (2020) dokonce prokázal souvislost mezi znečištěním

ovzduší a poklesem ekonomického rozvoje v části států EU lokalizovaných v severovýchodním sektoru, ve kterém se nachází i Česká republika.

Není tedy sporu o tom, že znečištěné ovzduší negativně ovlivňuje život všech obyvatel takto postižených zemí. Částice PM10 zhoršují průběh respiračních i kardiovaskulárních chorob. Zvýšený výskyt částic ovlivňují další atmosférické faktory, zejména teplota, síla větru, tlak a vlhkost. Na základě výše uvedených výzkumných studií je patrné, že nejvyšší koncentrace PM10 je v zimních měsících, a to při chladném a bezvětrném počasí. Tato data také potvrzuje náš výzkum.

1.1 Analýza kvality ovzduší ve vztahu k prachovým částicím PM10 v hlavním městě Praze

Jako příklad plnění samosprávného úkolu je v této studii uvedeno čištění komunikací na území hlavního města Prahy, které probíhá pravidelně posledních 20 let a od roku 2010 má jasně daný systém. Cílem správce komunikací bylo vytvořit standardy procesu čištění pro každou ulici v Praze tak, aby měly zajištěnou srovnatelnou úroveň poskytovaných služeb. Díky výsledkům této studie lze podle míry znečištění nastavit efektivní frekvenci čištění a složení čisticích mechanismů tak, aby čištění komunikací probíhalo v závislosti na reálném výskytu PM10 v dané lokalitě v kvalitě srovnatelné ve všech částech města.

Správce komunikací, Technická správa komunikací hl. m. Prahy, a. s., společně s poskytovatelem služeb v této oblasti, městskou společností Pražské služby a. s., již zpracoval systém strojního čištění. Principem je užití samosběrných a kropících vozů uklízejících v pravidelných intervalech jak ulice, tak chodníky. Ve frekventovaných částech Prahy jsou na úklid chodníků nasazeny i komunální vysavače. Samosběrné vozy i komunální vysavače obsahují výkonné filtry částic PM10. Částice jsou při nasátí do vozu zachyceny do filtru. Přes filtry je čištěn veškerý vzduch, který prochází zásobníkem. Vzhledem k odpadávání odfiltrované hmoty zpět do zásobníku a jejímu zamíchání do hrubých nečistot v zásobníku není nutné jemné prachové částice ukládat při vyprazdňování zásobníku samostatně. Pracovní schopnost filtrů umožňuje zachycování prachu v suchém i mokrému stavu, je tak možné zametání s filtrací i při teplotách vzduchu pod 0 °C. Systém filtrace byl vyvinut speciálně pro zachycování prachových částic o kritické velikosti, které jsou definovány normou PM 10 (Croy, nedatováno).

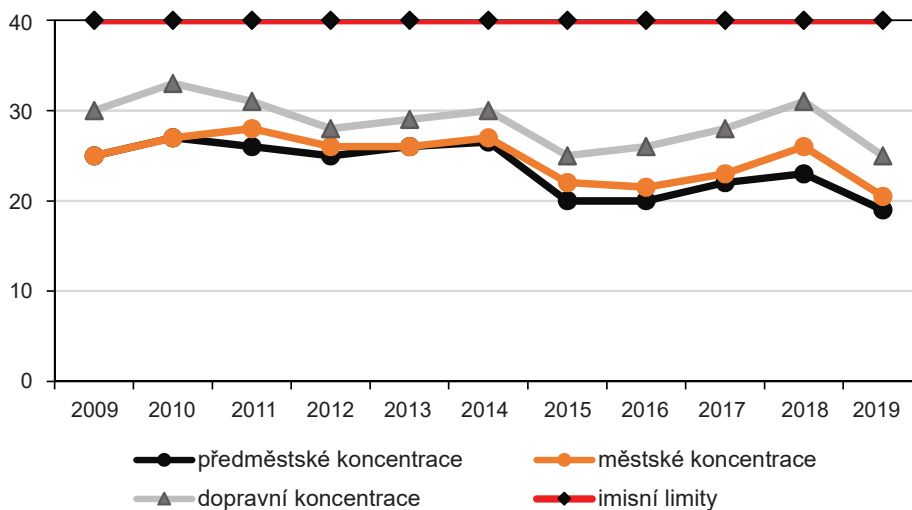
Samotné čištění probíhá tak, že současně dochází k tlakovému splachu silnic i chodníků a vysávání nečistot samosběrným vozem s předkropem. Čištění v Praze probíhá celoročně, dělí se však na zimní a letní sezónu, a to především z důvodu spadu sněhu v zimě. Pokud v zimě sněží, čištění se neprovádí. Pokud jsou teploty pod bodem mrazu, provádí se pouze samosběrné čištění bez předkropu, aby na silnici nezůstal led. Jak

ukáže dále naše studie, činnosti je nutno pravidelně opakovat. Pozitivní efekt nastává v případech vyšší frekvence čištění chodníků způsobem, kdy byl zároveň čištěn celý profil komunikace.

Opět připomínáme, že výskyt částic PM₁₀ v ovzduší výrazně ovlivňuje několik meteorologických faktorů, především teplota a vítr, jak potvrdily výše uvedené studie i náš výzkum. Obecně platí, že nízké teploty a bezvětří koncentraci PM₁₀ v ovzduší zvyšují. Proto je čištění v zimních měsících mimořádně důležité. Například výzkum provedený v Číně (Lu *et al.*, 2015), v zeměpisné šířce, kde se střídají čtyři roční období, dokládá nejvyšší denní koncentrace logicky v ranní a odpolední dopravní špičce. V létě zase kropení ulic přispívá k ochlazování města, což při vysokých teplotách alespoň částečně eliminuje faktor tepelného ostrova.

Obrázek 1 ukazuje pokles PM₁₀ v posledním zkoumaném roce (2019), který však kromě zvýšené míry čištění komunikací pozitivně ovlivnilo i velmi teplé počasí a zřejmě i zavedení parkovacích zón v centrálních městských částech Prahy.

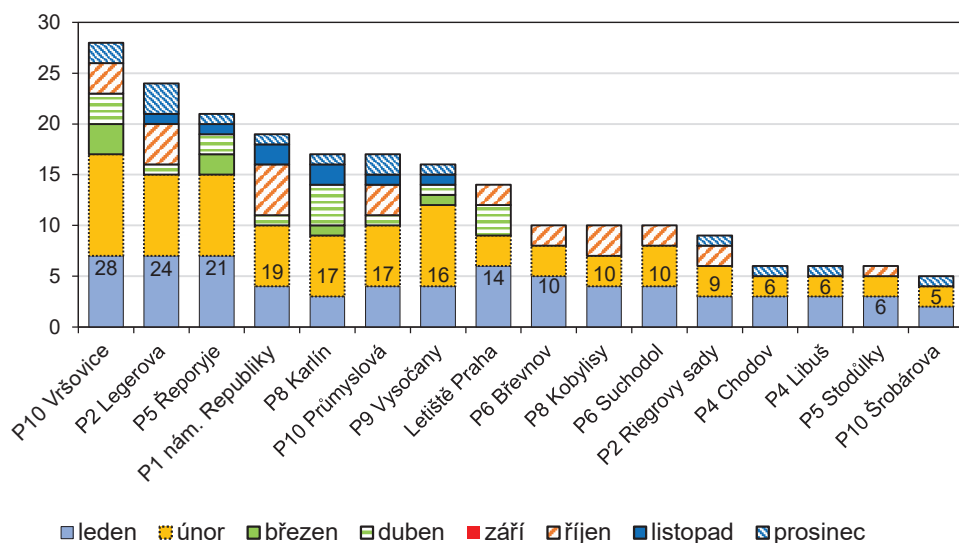
Obrázek 1: Koncentrace PM₁₀ v období 2012–2019 na území Prahy



Zdroj: ČHMÚ (2020)

Na základě údajů v obrázku 2 je možné sledovat jednotlivé měřicí stanice v Praze a počty dní s překročeními denními limity PM₁₀. Z grafu je patrné největší zatížení stanic Vrsovice a Legerova. Mezi měsíci, kdy došlo k nejčastějšímu překročení limitu částic, jednoznačně dominuje únor, což potvrzuje i data z výzkumu Suwanprasita *et al.* (2018).

Obrázek 2: Počet dní s koncentracemi PM10 > 50 $\mu\text{g} \times \text{m}^{-3}$ v Praze roku 2019



Zdroj: ČMHÚ (2020)

Výzkum se zaměřil na ty stanice, kde proběhlo nepřerušované měření od roku 2013, tuto podmínku ale nesplnilo všech 16 stanic. U vybraných stanic byly použity údaje o meteorologických faktorech, u nichž se předpokládalo, že výskyt částic PM10 ovlivňují. Protože ne ve všech případech se kryjí meteorologické stanice se sítí stanic měřících PM10, bylo po konzultaci s Českým hydrometeorologickým ústavem (ČMHÚ) použito pro výzkum měření ze čtyř stanic, a to z Prahy 2 – z Legerovy ulice, Prahy 1 – z náměstí Republiky, Prahy 4 – z Libuše a Prahy 9 – z Vysočan. Tyto stanice charakterizují dobře situaci na různých místech Prahy. Náměstí Republiky je typickým městským tepelným ostrovem s vyšší teplotou, malou větrností, jednou z nejnižší položených stanic (194 m n. m.) a s nižší intenzitou dopravy, typickou pro historické centrum města. Legerova je jednou z hlavních městských tepen, která je ve vyšší nadmořské výšce než náměstí Republiky (238 m n. m.) a lepší větrností, neboť navazuje na otevřené přemostění Nuselského údolí. Libuš je charakteristickou okrajovou částí města s výskytem většího množství srážek i větru a s nižší hustotou dopravy a nadmořskou výškou 302 m n. m. Vzhledem k nižší atraktivitě lokality zde neprobíhá čištění zdaleka tak intenzivně jako v centru Prahy. Vysočany jsou nízko položenou měřicí stanicí (205 m n. m.) s vyšší intenzitou dopravy, horší větrností a s nižší atraktivitou, a tím nižší frekvencí čištění.

2. Data a metodika

Cílem této studie je prostřednictvím ekonometrické analýzy zjistit vliv úklidu komunikací jakožto jedné z činností samosprávy na objem částic PM10 v ovzduší. K odhadu ekonometrického modelu byla využita panelová data ze čtyř stanic v hlavním městě Praze za období let 2013–2019. Data byla zpracovávána prostřednictvím softwarů Excel, pro odhad ekonometrického modelu byl použit software Stata. Je testována platnost dvou hypotéz: (H_1): Strojní čištění přispívá ke snížení koncentrace prachových částic PM10 v ovzduší, (H_2): Kumulace prachových částic PM10 z předchozího období zvyšuje objem částic PM10. V případě platnosti (H_1) společně s (H_2) se tak může ukázat urgentní potřeba kontinuálně snižovat PM10 a z pohledu samosprávy je pak smysluplné dávat důraz na pravidelné čištění komunikací. Výsledky tak mohou ukázat, že správně definované a prováděné samosprávné činnosti, v tomto případě strojní čištění komunikací, mohou výrazně přispět ke zlepšení životního prostředí ve městech, to lze v tomto konkrétním případě i exaktně dokázat. Dále je možné zjištění vztáhnout na situaci dalších metropolí či měst potýkajících se s rostoucí intenzitou individuální i hromadné dopravy, a tím i se zvýšenou koncentrací prachových částic PM10, jejichž výskyt v ovzduší by mělo čištění komunikací výrazně omezit.

2.1 Data

Data s nepřerušovaným měřením v letech 2013–2019 byla dostupná pouze pro čtyři stanice: Praha 1 (P1 – náměstí Republiky), Praha 2 (P2 – Legerova), Praha 4 (P4 – Libuň) a Praha 9 (P9 – Vysočany), proto pro podrobnou analýzu a odhad ekonometrického modelu byly použity pouze údaje z těchto čtyř stanic. Pro každou stanici byly získány údaje o objemu částic PM10, čištění, frekvenci dopravy a o meteorologických údajích. Přestože se jedná pouze o čtyři stanice, dle sdělení ČHMÚ jsou tyto stanice vypovídající pro celé území Prahy, neboť jejich umístění reprezentuje jednotlivé pražské lokality velmi dobře a výsledky lze tudíž vztáhnout na celou Prahu.

Pro data týkající se meteorologických faktorů byla použita měření publikovaná na stránkách Českého hydrometeorologického ústavu. Data týkající se intenzity dopravy poskytla Technická správa komunikací, která je sbírá pro celou Prahu. Kromě samotného sběru byl použit také koeficient změny intenzity dopravy v jednotlivých měsících. Data pro čištění komunikací poskytly Pražské služby a. s., způsob výpočtu koeficientu čištění je popsán dále.

Přehled použitých proměnných, jejich stručný popis a předpokládaný vliv na PM10 je uveden v tabulce 2. Bližší popis je pak uveden v části 2.2.

Tabulka 2: Přehled proměnných v ekonometrickém modelu

proměnná		popis	předpokládaná závislost	jednotky
vysvětlovaná proměnná				
	PM10	objem částic PM10		μg/m ⁻³
klíčové vysvětlující proměnné				
	CLEAN	frekvence čištění	(−)	0–1
kontrolní vysvětlující proměnné				
	lagPM10	objem částic PM10 z předcházejícího měsíce	(+)	
	WIND	rychlost větru	(−)	km/hod
	TEMP	teplota	(−)	stupně Celsia
	HUM	vlhkost vzduchu	(−)	procenta
	RAIN	déšť	(−)	mm/m ²
	TRAFFIC	hustota dopravy	(+)	počet vozidel/100
	SPRING	jarní měsíce		duben–červen
	SUMMER	letní měsíce		červenec–srpen
	AUTUMN	podzimní měsíce		září–říjen
	WINTER	zimní měsíce		listopad–březen

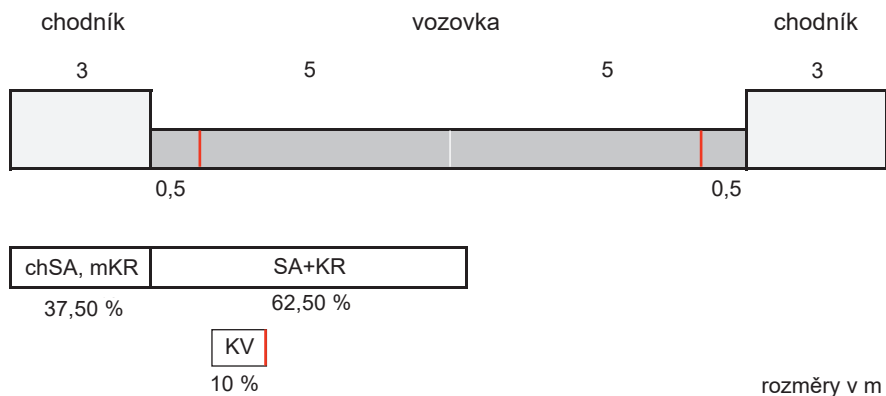
Zdroj: vlastní zpracování

Vysvětlovaná proměnná *PM10* vyjadřuje koncentraci prachových částic v ovzduší, a může nabývat pouze kladných hodnot a 0. V měření se neobjevily hodnoty přesahující 130 μg/m⁻³, i když i tuto hodnotu je možné při silném znečištění překročit.

Klíčová vysvětlující proměnná je *CLEAN*, která vyjadřuje míru čištění, lépe řečeno, je zkoumána účinnost čištění komunikací *CLEAN* na výskyt prachových částic PM10 v ovzduší. Nabývá hodnot od 0 do 1, pro účely odhadu byly hodnoty vynásobeny 100. Nezbytným krokem pro posuzování bylo najít nějaký vztah, kterým by bylo možné hodnotit úroveň čištění v různých lokalitách s účinkem na koncentraci částic PM10.

Základem pro výpočet je úvaha, že částice PM10 pokrývají víceméně rovnoměrně celou šířku komunikace včetně přilehlých chodníků. Běžné rozměry znázorňuje obrázek 3: vozovka je obousměrná hlavní komunikace s jedním pruhem v každém směru, nebo jednosměrná dvoupruhová. Chodníky přiléhají k oběma stranám vozovky.

Obrázek 3: Schéma komunikace



Zdroj: vlastní zpracování

Na úklidy těchto komunikací (motoristických nebo nemotoristických částí – tj. vozovek nebo chodníků) se používají technologie strojních úklidů samosběrným metením (SA) s finálním tlakovým splachem kropicí (KR) na vozovkách, a obdoba toho úklidu probíhá i na chodnicích chodníkovým samosběrem (chSA) nebo malou kropicí (mKR), pouze s tím rozdílem, že splachování není nasazeno pokaždé. Prvkem navíc je podél obruby včleněný úklid vysáváním ručně vedeným komunálním vysavačem (KV). Jednoduše pak dopočítáme, že se úklid SA + KR podílí na odstranění nečistot na ploše 62,5% celé šířky (plochy) komunikací a mechanismy úklidů chodníků zasahují na 37,5% plochy. Komunální vysavač podporuje úklid vozovek a účastní se čištění 10% z celkové plochy vozovky. Vzhledem k tomu, že účinnější jsou vysávací procesy, byla samosběrným úklidům (SA nebo chSA) přiřazena váha 1,0 a komunálnímu vysavači váha 0,7; splachům (KR nebo mKR) pak váha 0,5. Kompletní technologie SA + KR má tedy váhu 1,5.

Pro každý jednotlivý úsek by mohl být ideální úklid únosný i z hlediska finančních možností metropole: na vozovkách četnost třikrát týdně SA + KR + ostatní dny KV a na chodnicích četnost denně chSA + mKR.

Funkci, která bude počítat stav vůči ideálu, jsme nazvali **síla (úroveň) úklidu** (fU).
(100 % = ideál) fU = počet dnů v měsíci.

Tabulka 3: Příklad 1, ukázka příkladu výpočtu koeficientu čištění ul. Sokolovská, měsíční sledování, průměrný počet dní v měsíci 30,4

	Komunikace	m	čet M ¹ SA + KR	čet M KV	čet M chSA	čet M mKR	fU
1	Sokolovská	510	12,9	17,5	30,4	30,4	30,4

Zdroj: vlastní zpracování

$$fU(\text{Sokolovská}) = [\text{čet } M(SA + KR)] \times [\text{váha}(SA + KR)] \times [\% \text{ plochy}(SA + KR)] + \\ + [\text{čet } M(KV)] \times [\text{váha}(KV)] \times [\% \text{ plochy}(KV)] + [\text{čet } M(chSA)] \times [\text{váha}(chSA)] \times \\ \times [\% \text{ plochy}(chSA)] + [\text{čet } M(mKR)] \times [\text{váha}(mKR)] \times [\% \text{ plochy}(mKR)]. \quad (1)$$

$$fU(\text{Sokolovská}) = 12,9 \times 1,5 \times 0,625 + 17,5 \times 0,7 \times 0,1 + 30,4 \times 1 \times 0,375 + \\ + 30,4 \times 0,5 \times 0,375 = 30,4. \quad (2)$$

Protože bylo nutné počítat s tím, že na hodnoty z měřicích stanic bude mít vliv více komunikací, našli jsme i funkční vztah jednotlivých sil úklidů v oblasti, která ovlivňuje nálezy měřicí stanice. Tento vztah bere v úvahu délky jednotlivých komunikací vzhledem k celé síti významných komunikací v oblasti (podíl) a úroveň jejich úklidů vzhledem k celku. Výslednou funkci jsme nazvali **index úklidu (pokrytí úklidem) pro oblast** (IU) a počítali jsme ji pro každý měsíc zvlášť (viz tabulka 4).

V případě ideální úrovně úklidů na všech komunikacích, které ovlivňují hodnoty z dané měřicí stanice, by hodnota indexu úklidu pro příslušnou oblast byla rovna 1, pro účely odhadu byly hodnoty vynásobeny 100.

Další proměnné byly zahrnuty do modelu jako kontrolní, přičemž jejich zdrojem je Český hydrometeorologický ústav. Proměnná *WIND* reprezentuje rychlost větru a může nabývat kladných hodnot včetně 0. Dále byla zahrnuta proměnná *TEMP*, která vyjadřuje teplotu vzduchu a může nabývat záporných a kladných hodnot ve stupních Celsia od -50 do +50. *HUM* reprezentuje vlhkost vzduchu v procentech a může nabývat hodnot od 0 do 100 %. Poslední proměnnou charakterizující hydrometeorologické podmínky je *RAIN*, která odráží absolutní množství srážek spadlých za konkrétní měsíc. Zdrojem dat je opět měření Českého hydrometeorologického ústavu.

1 Čet M znamená četnost použití příslušné technologie (stroje) za měsíc. SA: samosběr, KR: kropice, KV: komunální vysavač, chSA: chodníkový samosběr, mKR: malá (chodníková) kropice.

Tabulka 4: Příklad č. 2, duben (30 dní) stanice Vysočany

	Ulice	m	% celkové délky	čet M SA+KR	čet M KV	čet M chSA	čet M mKR	fU	IU
1	Sokolovská	510	14 %	7	2	0	0	6,7	0,213
2	Freyova	520	14 %	7	2	0	0	6,7	
3	Jandova	150	4 %	7	2	0	0	6,7	
4	Na Břehu	510	14 %	7	2	0	0	6,7	
5	U vinných sklepů	485	13 %	7	0	0	0	6,6	
6	Vysočanská	515	14 %	7	0	0	0	6,6	
7	Ke Klíčovu	450	12 %	6	0	0	0	5,6	
8	Kolbenova	505	14 %	6	2	0	0	5,8	

Zdroj: vlastní zpracování

$$IU (MS Vysočanská) duben = ([\% \text{ celkové délky (Sokolovská)} \times fU (Sokolovská)] + [\% \text{ celkové délky (Freyova)} \times fU (Freyova)] + \dots + [\% \text{ celkové délky (Kolbenova)} \times fU (Kolbenova)]) - \text{počet dnů}. \quad (3)$$

$$IU (MS Vysočanská) duben = \frac{(0,14 \times 6,7 + 0,14 \times 6,7 + \dots + 0,14 \times 5,8)}{30} = 0,213. \quad (4)$$

Poslední kontrolní proměnnou zahrnutou do modelu je *TRAFFIC*. Jedná se o intenzitu dopravy dle měření Technické správy komunikací vynásobenou koeficientem hustoty dopravy v jednotlivých měsících. Vzhledem k tomu, že původní proměnná *TRAFFIC* nabývala řádově vyšších hodnot než ostatní proměnné, byla tato proměnná pro odhad transformována, tj. hodnoty byly vyděleny 100 (*TRAFFIC trans*).

Před samotným odhadem ekonometrického modelu byla provedena základní statistická deskripce proměnných. Byly vypočítány popisné statistiky: průměr (mean), směrodatná odchylka (Std. Dev.), minimum (MIN) a maximum (MAX). Přehled základních popisných statistik je uveden v tabulce 5, grafické znázornění vývoje *PM10* a *CLEAN* v čase je uvedeno na obrázku 4. Základní statistiky ukazují, že nejvyšší průměrný objem *PM10* se vyskytoval u stanice P2 (27,226), přičemž u této stanice je i nejvyšší průměrná hustota dopravy (496,819), což je samozřejmě dáno polohou P2. Na druhou stranu druhý nejvyšší objem *PM10* je u stanice P1 (26,012), která se také nachází v centru města, zde je však průměrná hustota dopravy (85,104) téměř šestkrát nižší než v případě P2. Tato

stanice je položena nejnižší a obklopena hustou zástavbou. V případě míry čištění *CLEAN* je na tom nejhůře stanice P9 (14,214), nejvyšší průměrná míra čištění je zaznamenána u stanice P1 (24,095), přičemž frekvence čištění je ovlivněna atraktivitou území. Stanice P1 se nachází v historickém centru Prahy, proto je zde míra čištění nejvyšší. Jedná se o nejméně větrnou oblast, časté bezvětří může mít vliv na relativně vysoký výskyt objemu PM10 u této stanice. Nejvyšší průměrná teplota byla naměřena dle očekávání u P1, zde byly zaznamenány i nejnižší průměrné srážky a průměrná vlhkost vzduchu.

Tabulka 5: Základní popisná statistika proměnných

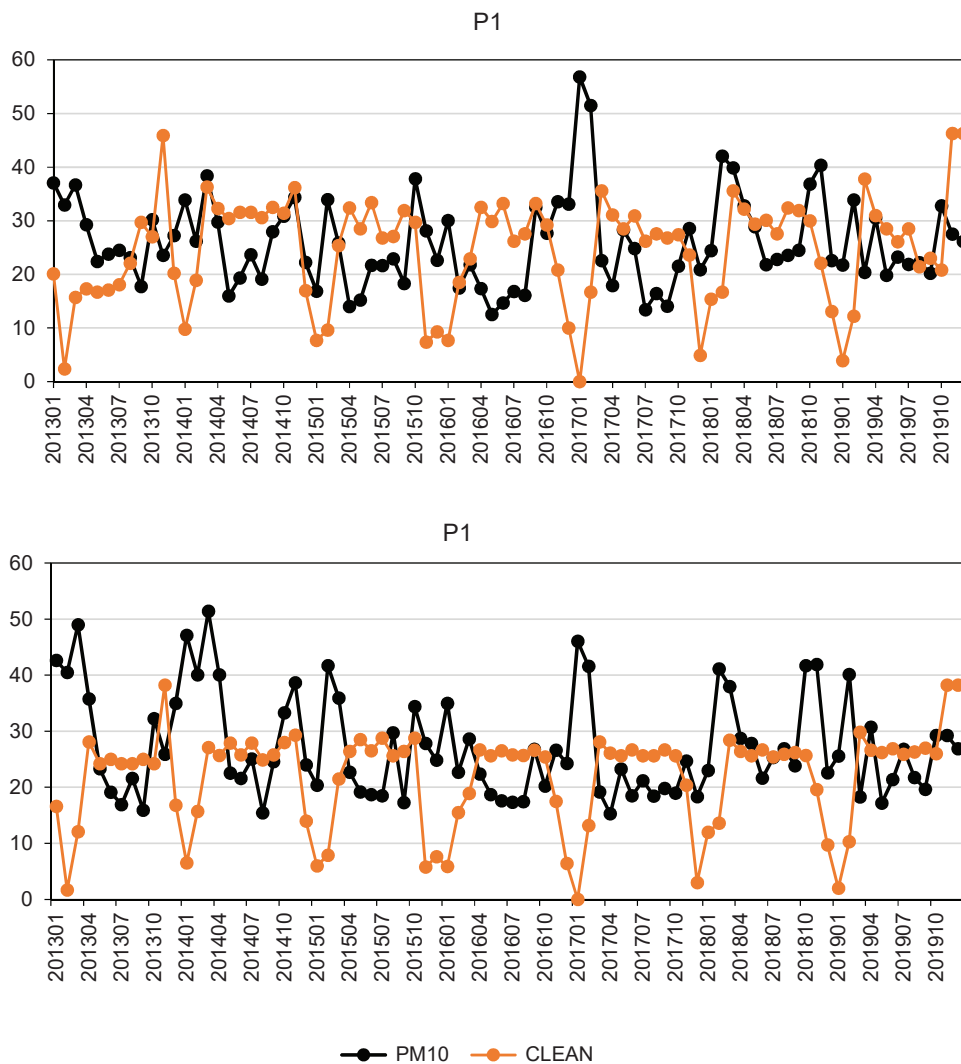
Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
<i>pm10</i>	336	25,360	8,384	12,0	59,0
<i>clean</i>	336	19,619	8,971	0,0	46,0
<i>wind</i>	336	2,378	0,830	1,0	4,0
<i>temp</i>	336	11,426	7,378	-4,0	27,0
<i>hum</i>	336	67,685	9,517	46,0	90,0
<i>rain</i>	336	39,926	31,935	1,0	195,0
<i>traffic_trans</i>	336	191,854	177,625	69,3	565,3

P1	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max	P2	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
<i>pm10</i>	84	26,012	8,367	13,0	57,0	<i>pm10</i>	84	27,226	9,097	15,0	51,0
<i>clean</i>	84	24,095	9,335	0,0	46,0	<i>clean</i>	84	21,560	8,324	0,0	38,0
<i>wind</i>	84	1,417	0,496	1,0	2,0	<i>wind</i>	84	3,024	0,580	2,0	4,0
<i>temp</i>	84	12,286	7,315	-2,0	25,0	<i>temp</i>	84	11,333	7,362	-3,0	24,0
<i>hum</i>	84	64,083	8,640	46,0	79,0	<i>hum</i>	84	67,488	9,286	46,0	84,0
<i>rain</i>	84	35,988	29,714	1,0	139,0	<i>rain</i>	84	39,607	30,811	2,0	176,0
<i>traffic_trans</i>	84	85,104	9,180	69,3	99,4	<i>traffic_trans</i>	84	496,819	39,841	426,4	565,3

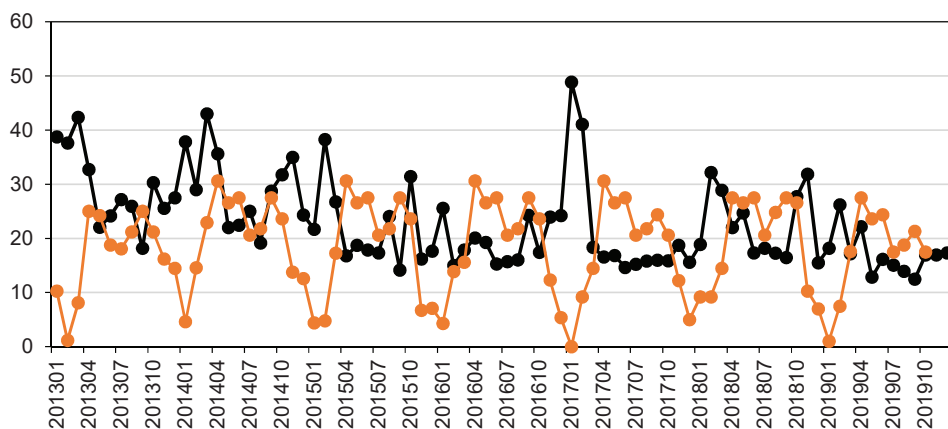
P4	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max	P9	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
<i>Obrázek 2</i>	84	22,988	8,196	12,0	49,0	<i>pm10</i>	84	25,214	7,355	15,0	59,0
<i>clean</i>	84	18,607	8,491	0,0	31,0	<i>clean</i>	84	14,214	6,448	0,0	27,0
<i>wind</i>	84	2,226	0,421	2,0	3,0	<i>wind</i>	84	2,845	0,649	2,0	4,0
<i>temp</i>	84	10,750	7,520	-4,0	27,0	<i>temp</i>	84	11,333	7,362	-3,0	24,0
<i>hum</i>	84	71,619	9,367	51,0	90,0	<i>hum</i>	84	67,548	9,385	46,0	84,0
<i>rain</i>	84	45,500	35,209	3,0	195,0	<i>rain</i>	84	38,607	31,547	2,0	176,0
<i>traffic_trans</i>	84	86,919	5,445	74,4	100,8	<i>traffic_trans</i>	84	98,573	5,954	84,9	112,8

Zdroj: vlastní výpočty ve statistickém programu Stata

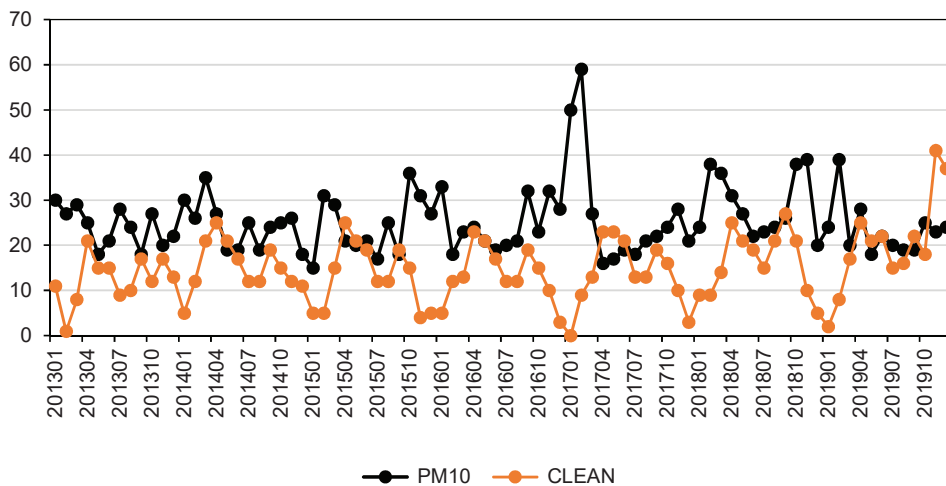
Obrázek 4: Vývoj PM10 a CLEAN zkoumaných stanic mezi lety 2013–2019



P4



P9



Zdroj: vlastní zpracování

Vývoj objemu PM10 a míry čištění v čase, který je zaznamenán na obrázku 4, naznačuje, že s rostoucí mírou čištění se vyskytuje nižší objem PM10, což naznačuje platnost (H_1).

V zimních měsících je četnost čištění ovlivněna spadem sněhu a teplotami pod bodem mrazu, kdy čištění logicky neprobíhá, ovšem při chladném a bezvětrném počasí je nejvyšší nárůst částic PM10 v ovzduší.

2.2 Ekonometrický model

Konkrétní specifikace ekonometrického modelu je vyjádřena v následující rovnici:

$$PM10_{it} = \alpha + \beta_1 CLEAN_{it} + \beta_2 lagPM10_{it-1} + \beta_3 WIND_{it} + \beta_4 TEMP_{it} + \beta_5 HUM_{it} + \\ + \beta_6 RAIN_{it} + \beta_7 TRAFFIC_{it} + \beta_8 SPRING_{it} + \beta_9 SUMMER_{it} + \beta_{10} WINTER_{it} + \mu_{it}. \quad (5)$$

K odhadu ekonometrického modelu jsou použita měsíční panelová data, proto jednotlivé proměnné mají příznak i a t , přičemž index i vyjadřuje průřezovou jednotku ($i = 1, 2, \dots, N$). V našem případě se jedná o jednu z pozorovaných stanic (P1, P2, P4 a P9). Index t reprezentující období sledované jednotky nabývá hodnot $t = 1, 2, \dots, T$, přičemž se jedná o panelová data s měsíční frekvencí, takže obsahuje informaci o daném měsíci (M) a roku (Y). Vzniklý panelový datový soubor má tedy $N \times T$ počet pozorování. V získaném souboru jsou celkem čtyři stanice, index i nabývá hodnot od 1 do 4 a index t nabývá hodnot od 1 do 84 (12×7). Sledované sedmileté období tvoří období mezi roky 2013–2019, finální panelový data set má tedy celkem 336 pozorování (4×84).

Vysvětlovaná proměnná $PM10_{it}$ vyjadřuje objem částic naměřených pro danou průřezovou jednotku i v čase t . Klíčovou vysvětlující proměnnou v našem modelu je $CLEAN$, která vyjadřuje frekvenci čištění. Lze předpokládat nepřímou závislost mezi $PM10$ a $CLEAN$, tudíž lze také očekávat záporné znaménko odhadnutého koeficientu u tohoto regresoru. Jinými slovy, s rostoucí frekvencí čištění klesá počet částic $PM10$ v ovzduší.

Do modelu byly přidány další kontrolní proměnné. Jako první proměnná je uvažována $lagPM10$, která reprezentuje objem částic $PM10$ z předcházejícího měsíce, neboť lze předpokládat, že objem $PM10$ nakumulovaný v čase ovlivňuje současný objem $PM10$, proto lze očekávat kladné znaménko u odhadnutého koeficientu β_2 . Zpožděná vysvětlovaná proměnná je přidána do ekonometrického modelu také z technických důvodů, a to v souvislosti s řešením problému výskytu autokorelace. V případě kontrolních proměnných reprezentujících meteorologické podmínky ($WIND$, $TEMP$, HUM , $RAIN$) lze předpokládat negativní vliv na objem $PM10$ (viz Mohammed *et al.*, 2017; Suwanprasit *et al.*, 2018 a Lu, 2015). Další důležitý faktor, který může naopak zvyšovat objem $PM10$, je hustota dopravy ($TRAFFIC$). Za další kontrolní vysvětlující proměnné lze považovat dummy proměnné $SPRING$, $SUMMER$, $AUTUMN$ a $WINTER$, které reprezentují jednotlivá roční období, jejich zahrnutí do modelu pomůže zachytit vliv střídání ročních období, tj. vliv sezónnosti.

Pokud jde o technický problém s multikolinearitou, při odhadu ekonometrického modelu byla měřena její síla pomocí VIF, její míra je dle výsledků únosná. Abychom se vyhnuli problému s perfektní multikolinearitou, byla z odhadu vypuštěna dummy proměnná pro podzim ($AUTUMN$). Samotnému odhadování modelů předcházelo zjišťování, zda

jsou časové řady stacionární. Byla testována nulová hypotéza o existenci jednotkových kořenů v panelových datech. Pro testování platnosti nulové hypotézy je možné vybrat z více druhů testů, velmi často používaným testem je tzv. Levinův, Linův a Chuův test (LLC test). Tento test vyžaduje, aby se poměr počtu panelů k počtu časových období blížil nule, jeho použití je tedy vhodné spíše pro datové soubory s menším počtem průřezových jednotek, což odpovídá i našemu datovému souboru. Na základě vyhodnocení LLC testů pro jednotlivé časové řady lze předpokládat, že časové řady jsou stacionární ($P\text{-value} = 0,0000$). Výsledky VIF a testů LLC jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6: Výsledky VIF a LLC testů

Variable	VIF	1/VIF	VAR	LLC (P-value)
<i>TEMP</i>	3,63	0,275633	<i>PM10</i>	0
<i>HUM</i>	2,44	0,410166	<i>TEMP</i>	0
<i>CLEAN</i>	1,86	0,536273	<i>HUM</i>	0
<i>WIND</i>	1,63	0,612347	<i>CLEAN</i>	0
<i>RAIN</i>	1,58	0,631102	<i>WIND</i>	0
<i>TRAFFIC_trans</i>	1,46	0,684386	<i>RAIN</i>	0
Mean VIF	2,10		<i>TRAFFIC_trans</i>	0

Zdroj: vlastní výpočty ve statistickém programu Stata

3. Výsledky a diskuse

Pro odhady ekonometrického modelu byla použita metoda tzv. Generalized least square (GLS), jejíž užití umožňuje provádět odhady, pokud je přítomna AR(1) autokorelace a tzv. průřezová korelace a heteroskedasticita uvnitř panelů. K eliminaci autokorelace slouží mj. do modelu přidaná zpožděná proměnná *lagPM10*. Výsledky odhadů jsou prezentovány v tabulce 7.

Tabulka 7: Výsledky odhadů

	GLS_PANELS_PSAR1_LAG_seas		GLS_idd_PSAR1_LAG_seas	
	coeff.	se	coeff.	se
CLEAN	−0,229***	0,061	−0,217***	0,060
lagPM10	0,348***	0,047	0,348***	0,047
WIND	−3,755***	0,540	−3,697***	0,540
TEMP	−0,640***	0,135	−0,640***	0,136
HUM	−0,224***	0,066	−0,217***	0,067
RAIN	−0,001	0,014	−0,001	0,015
TRAFFIC_trans	0,013***	0,002	0,013***	0,002
spring	−4,176***	1,330	−4,244***	1,340
summer	−2,149	1,673	−2,125	1,683
winter	−4,491***	1,540	−4,456***	1,547
_cons	53,234***	6,169	52,290***	6,184
N		332		332
chi²		263,63		262,34

Poznámka: hladiny významnosti α : 0,01 – ***, 0,05 – **, 0,1 – *

Zdroj: vlastní výpočty ve statistickém programu Stata

Výsledky ekonometrické analýzy ukázaly, že odhady koeficientu klíčové proměnné, kterou je míra čištění *CLEAN*, jsou v souladu s předpoklady. S rostoucí mírou čištění dochází ke snižování objemu PM10 ($\beta_1 = -0,217; -0,229$). Byla tak ověřena platnost formulované hypotézy (H_1): strojní čištění přispívá ke snížení koncentrace prachových částic PM10 v ovzduší. Toto zjištění je v souladu s předpoklady správce komunikací, na jejichž základě bylo čištění zintenzivňováno. Unikátnost našeho výzkumu spočívá v tom, že se jedná o první studii, která tento předpoklad exaktně dokládá. Výsledky dále naznačují, že objem PM10 v čase t je přímo závislý na objemu PM10 v čase $t - 1$ ($\beta_2 = 0,348$). Jinými slovy, kumulace PM10 z předchozího období zvyšuje objem částic PM10, což naznačuje platnost (H_2) a potvrzuje závěry ČMHÚ (2020). Vzhledem k tomu, že platnost obou hypotéz (H_1) a (H_2) lze považovat za ověřenou, docházíme k závěru, že kontinuální strojní čištění komunikací je zásadním faktorem pro eliminaci objemu prachových částic PM10. Plněním tohoto opatření ze strany municipalit tak

může z dlouhodobého hlediska přispívat k ochraně zdraví a potažmo ke zlepšení zdravotního stavu obyvatel.

Vedle zmiňované klíčové proměnné *CLEAN* a proměnné *lagPM10* byl zkoumán vliv meteorologických proměnných na objem PM10. V případě meteorologických podmínek byl zjištěn vliv u všech proměnných v souladu s předpoklady, tedy byl zjištěn nepřímý vztah mezi těmito proměnnými a vysvětlovanou proměnou PM10. Pouze v případě *RAIN* byl tento vztah statisticky nevýznamný na 5% hladině významnosti. Hodnota odhadnutého koeficientu u proměnné *RAIN* je navíc blízká nule, lze tedy přepokládat, že srážky mají spíše zanedbatelný vliv na objem částic PM10, což je v souladu s poznatky ČMHÚ (2019). Pokud jde o vliv intenzity dopravy na objem PM10, odhadnutý koeficient má shodné znaménko s předpoklady; v případě rostoucí intenzity dopravy dochází ke zvýšení objemu PM10, což potvrzují i závěry jiných studií: např. Alnawaiseh, Hashim, Isa (2012), Mohammed *et al.* (2017), Suwanprasit *et al.* (2018).

Závěr

Studie ověřila, že i územní samospráva může svým rozhodnutím a svou činností výrazně ovlivnit ovzduší na jí spravovaném území, a to především tam, kde je dané území postiženo zvýšenou intenzitou dopravy. Vzhledem k tomu, že jiné evropské právní systémy zařazují čistotu a úklid veřejného prostranství mezi tzv. povinné úkoly samosprávy, které nelze pominout na úkor úkolů, jež nejsou veřejným statkem, a byť jsou politicky atraktivní, slouží jen části obyvatel, se jeví jako žádoucí zakotvit v naší právní úpravě povinné úkoly, aby nedocházelo k odlivu veřejných prostředků z takto významných činností ovlivňujících zdraví obyvatel na činnosti nadstandardní, a v případě nedostatku finančních prostředků zbytné. Je nutné podotknout, že není podstatná výše investované sumy, ale efektivita vykonaných činností, což je u samosprávných činností těžko měřitelné. Přesto se u čištění komunikací podařilo pomocí analýzy dat exaktně dokázat, že systematické a správně nastavené čištění komunikací má pozitivní efekt na zlepšení života občanů a obyvatel daného území, tím pádem mají finanční prostředky do něj vložené smysl. Územní samospráva řeší v současnosti úbytek finančních prostředků v důsledku pandemie a mohou mít tendence omezovat výdaje na tyto navenek neatraktivní činnosti ve prospěch takových, které jim přinesou politický prospěch, a tím zajistí jejich znovuzvolení. Především političtí zástupci velkých aglomerací, které se potýkají se znečištěným ovzduším, by se měli aktivně zabývat takovým rozložením kapacit čištění, aby zajistili co nejvyšší efekt čištění, a tím následně obdobnou čistotu ovzduší ve všech částech aglomerace.

Cílem studie bylo prostřednictvím ekonometrické analýzy prokázat vliv strojního čištění komunikací jakožto jedné z činností samosprávy na snížení koncentrace

prachových částic PM10 v ovzduší. Cíl byl dále operacionalizován na dvě hypotézy – (H_1): strojní čištění přispívá ke snížení koncentrace prachových částic PM10 v ovzduší a (H_2): kumulace PM10 z předchozího období navyšuje koncentraci částic PM10 v ovzduší. Při specifikaci ekonometrického modelu byly zohledněny závěry současných empirických studií v oblasti výzkumu výskytu částic PM10. Samotnému odhadu ekonometrického modelu předcházela statistická deskripce použitých dat, měření multikolinearity a testování přítomnosti jednotkového kořene v panelech, aby bylo možné předejít vlivu případných extrémních pozorování anebo jiných nedostatků či anomálií v datech, a aby bylo navíc možné předejít následným technickým problémům z nich plynoucích při odhadu ekonometrického modelu.

Z důvodu nedostupnosti kontinuálního měření byla k odhadu ekonometrického modelu využita měření ze čtyř stanic v hlavním městě Praze, nicméně se podařilo získat měsíční data za sedmileté období mezi lety 2013–2019, finální datový soubor tak obsahoval 336 pozorování. Přestože byla dostupná data pouze pro čtyři stanice v Praze, dle sdělení ČHMÚ jsou tyto stanice vypovídající pro celé její území, neboť umístění těchto stanic reprezentuje jednotlivé pražské lokality velmi dobře a výsledky lze tudíž vztáhnout na celou Prahu. Zjištění vyplývající z provedené analýzy je možné vztáhnout na situaci dalších metropolí či měst, které se potýkají s rostoucím dopravním zatížením, a tím i se zvýšenou koncentrací prachových částic PM10, jejichž výskyt v ovzduší by mělo čištění komunikací výrazně omezit.

Na základě odhadů ekonometrického modelu se podařilo ověřit platnost obou hypotéz (H_1) a (H_2). Lze tak konstatovat, že provádění kontinuálního strojního čištění komunikací má zásadní vliv na eliminaci objemu částic PM10 v ovzduší, a plněním tohoto úkonu ze strany samosprávy tak může vést k ochraně zdraví a z dlouhodobého hlediska i ke zlepšení zdravotního stavu obyvatel, který prachové částice PM10 prokazatelně poškozují (Lu, 2015), (Musialek *et al.*, 2020). Výzkum také prokázal nutnost provádět čištění v zimních měsících, kdy je výskyt částic PM10 zvýšen v důsledku bezvětří a nízkých teplot v souladu s výzkumem Mohammeda *et al.* (2017). Do výzkumu byly zahrnuty proměnné, o kterých se již dříve předpokládalo, že mají vliv na výskyt částic PM10, jako jsou především teplota, síla větru, absolutní množství srážek, vlhkost vzduchu a intenzita dopravy, a to zejména pro ověření, zda čištění obстоjí ve vlivu na eliminaci částic PM10. Ukázalo se, že předpoklady správce komunikací v Praze byly opodstatněné a celý systém byl po téměř 20 let nastavován správně, neboť kladl důraz nejen na větší frekvenci čištění v místech s vyššími koncentracemi PM10, ale také reagoval na teplotu ovzduší.

Výzkum také potvrdil, že míra čištění by se měla především řídit výskytem částic PM10, nikoli atraktivitou lokality. Především nynější trend omezování čištění v tzv. neatraktivních oblastech, jako jsou Vršovice s nejvyšším výskytem PM10, povede ke zhoršení

ovzduší v těchto oblastech. Vracíme se tak znovu ke Skulové (2014), která zdůrazňuje klíčovou úlohu volených zástupců města v otázce plnění samosprávných úkolů. Pokud se tito rozhodnou omezit činnosti, které prokazatelně přispívají ke zlepšení životního prostředí, mají jejich rozhodnutí přímý dopad na zdraví obyvatel.

Jasným doporučením pro českou legislativu je tedy opětovně zavést povinné úkoly samosprávy do zákona č. 128/2000 Sb., o obcích a zákona č. 131/2000 Sb., o hlavním městě Praze, aby bylo zajištěno prioritní naplňování veřejného zájmu a nikoli uspokojování politicky populárních kroků, které však charakter veřejného zájmu nemají.

Jako další směr a možné rozšíření tohoto výzkumu se nabízí sledování finančních prostředků veřejné správy, které jsou vynakládány na čištění komunikací, a případné hledání dalších metod eliminace výskytu částic PM10 v ovzduší včetně zkoumání přínosu omezení vjezdu nákladních vozidel do města a zavedení dalších regulačních opatření v dopravě.

Literatura

- Alnawaiseh, N., et al. (2015). Relationship Between Vehicle Count and Particulate Air Pollution in Amman, Jordan. *Asia-Pacific Journal of Public Health*, 27(2), <https://doi.org/10.1177/1010539512455046>
- Bøggild, T. (2016). How Politicians' Reelection Efforts Can Reduce Public Trust. *Electoral Support, and Policy Approval. Political Psychology*, 37(6): 901–919, <https://doi.org/10.1111/pops.12303>
- Buchanan, J. M., Prest, A. R. (1968). Public Finance in Democratic Process. Fiscal Institutions and Individual Choice, *The Economic Journal*, 78(311), 693–694, <https://doi.org/10.2307/2229404>
- Carpenter, D. P., Krause, G. A. (2011). Reputation and Public Administration. *Public Administration Review* 72(1), 26–32, <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2011.02506.x>
- CROY s. r. o. (nedatováno). *Prezentace silničního oboustranného zametacího stroje Typ FAUN Viajet 6 RLH na podvozku M-B Atego 1324 LKO pro Pražské služby a. s.* Interní materiál Pražských služeb a.s.
- Cho, M., et al. (2021). Cold-season atmospheric conditions associated with sudden changes in PM10 concentration over Seoul, Korea. *Atmospheric Pollution Research*, 12(5), <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.03.004>
- Čermáková, K., Jašová, E. (2019). Analysis of the Negative and Positive Impact of Institutional Factors on Unemployment in Visegrad Countries. *International Journal of Economic Sciences*, 8 (1), 20–34. Dostupné také z: <https://www.eurrec.org/ijoes-article-6943>
- Čermáková, K., Procházka, P., Kureková, L., et al. (2020). Do Institutions Influence Economic Growth? *Prague Economic Papers*, 29(6), 672–687, <https://doi.org/10.18267/j.pep.749>

- Čermáková, K., Filho, E. A. H. (2021). Effects of Expansionary Monetary Policy on Agricultural Commodities Market. *Sustainability* 2021, 13(16), 9317, <https://doi.org/10.3390/su13169317>
- ČHMÚ (2020). *Stav a vývoj složek životního prostředí*. Praha: Český hydrometeorologický ústav. V.1 Aglomerace Praha. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/05_1_Aglom_Praha_v1.pdf
- HMP (2019). *Ročenka životního prostředí, kapitola Elektronická zpráva ZP18, kapitola B1 Ovzduší*. Praha: Hlavní město Praha, odbor ochrany prostředí MHMP. Dostupné z: https://envis.praha.eu/rocenky/Pr18_pdf/ElzpravaZP18_kapB1.pdf
- Januszek, R., et al. (2019). The Relationship Between Winter Time and Increased Air Pollution Expressed as PM10 Concentration and the Frequency of Percutaneous Coronary Interventions in Patients With Acute Coronary Syndrome. *Journal of the American College of Cardiology*, 74(13), B822, <https://doi.org/10.1016/J.JACC.2019.08.989>
- Jašová, E., Čermáková, K., Kadeřábková, B., et al. (2016). Působení institucionálních faktorů na strukturální a cyklickou nezaměstnanost v zemích Visegrádské skupiny. *Politická ekonomie*, 64(1), 34–50. <https://doi.org/10.18267/j.polek.1053>
- Kadeřábková, B., Jašová, E., Holman, R. (2020a). Analysis of Substitution Changes in the Phillips Curve in V4 Countries over the Course of Economic Cycles. *International Journal of Economic Sciences*, 9(2), 39–54. Dostupné z: <https://www.eurrec.org/ijoes-article-25690>
- Kadeřábková, B., Jašová, E. (2020b). Comparison of the Economic Cycle on Labour Market in the Construction Industry and in the National Economy of the Czechia. *Stavební obzor – Civil Engineering Journal*, 29(3), 272–279. Dostupné z: <https://www.proquest.com/docview/2456206346>
- Kirlin, J. J. (1996). The Big Questions of Public Administration in a Democracy. *Public Administration Review*, 56(5), 416. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/977040>
- Kopecký, M. (2009). *Právní postavení obcí a krajů – základy komunálního práva*. Praha: Wolters Kluwer ČR, a. s. ISBN: 978-80-7357-561-8.
- Lu, C., Deng, Q., Yu, Ch. W. F. (2015). Strategies for reduction of episodic risk of PM₁₀ by controlling industrial and traffic emissions of SO₂ and NO₂ and meteorological parameters. *Indoor and Built Environment* 2015, 24(4), 473–488, <https://doi.org/10.1177/1420326X15581718>
- Matula, M. (2017). *Proměny funkcí veřejné správy*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. ISBN: 978-80-261-0686-9.
- Mitwallyová, H. (2020). Obligatory Tasks of Self-Government - A Way to Better Efficiency? In: Čermáková, K., Mozayeni, S., Hromada, E. (ed.). *Proceedings of the 13th Economics & Finance Virtual Conference, Prague*. Praha: International Institute of Social and Economic Sciences (IISES), s. 80–96, <https://doi.org/10.20472/EFC.2020.013.007>
- Mohammed, G., Karani, G, Mitchell, D. (2017). Trace Elemental Composition in PM10 and PM2.5 Collected in Cardiff, Wales. *Energy Procedia*, 111(3), 540–547, <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2017.03.216>

- Musialek A, Nosowicz, A. (2020). The Impact of Long-term Exposure to PM_{2.5}, PM₁₀ and NO₂ Air Pollutants on the Age-Adjusted Mortality Rate of COVID-19 Based on the Example of Poland. *Value in health*, 23(2), <https://doi.org/10.1016/J.JVAL.2020.08.961>
- Pala, A. (2020). The Relation between Climate Change and Economic Growth: The Investigation The Regional Differences with RCM Model in EU-28 Countries. *International Journal of Economic Sciences*, 9(1), 135–155. Dostupné také z: <https://www.eurrec.org/ijoes-article-21978>
- Pérez N., Pey, J., Querol, X., et al. (2007). Partitioning of major and trace components in PM₁₀–PM_{2.5}–PM₁ at an urban site in Southern Europe. *Atmospheric Environment*, 42(8), 1677–1691, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.11.034>
- Romano, S., et al. (2020). Airborne Bacteria structure and chemical composition relationships in winter and spring PM₁₀ samples over southeastern Italy. *Science of the Total Environment* 730, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138899>
- Skulová, S. et al. (2014). *Základy správní vědy*. Brno: Masarykova univerzita v Brně. ISBN: 978-80-210-7335-7
- Suwanprasit, C., Charoenpanyanet, A., Pardthaisong, L., et al. (2018). Spatial and temporal variations of satellite-derived PM₁₀ of Chiang Mai: An exploratory analysis. *Procedia Engineering*, 212, 141–148, <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2018.01.019>
- Stroukal, D., Kadeřábková, B. (2016). Negative Interest Rates And Housing Bubbles. *Stavební obzor – Civil Engineering Journal*, 25(4), 1–8. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/312110428_NEGATIVE_INTEREST_RATES_AND_HOUSING_BUBBLES
- Zoran, M., et al. (2020). Assessing the relationship between surface levels of PM_{2.5} and PM₁₀ particulate matter impact on COVID-19 in Milan, Italy. *Science of the Total Environment*, 738, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139825>