

*Štúdiá kvality
ovzdušia
v aglomerácii
Bratislava*



Jana Krajčovičová, Juraj Beňo, Jana Matejovičová, Dušan Štefánik, Vladimír Nemček

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

BRATISLAVA, 2020

Obsah

1	ÚVOD	2
2	POPIS OBLASTI Z HLADISKA TOPOGRAFIE, OBYVATEĽSTVA A KLIMATICKÝCH PODMIENOK 2	
3	Analýza kvality ovzdušia na monitorovacích staniciach NMSKO	3
3.1	Relevantné znečisťujúce látky	3
3.2	Limitné hodnoty	3
3.3	Výsledky monitoringu kvality ovzdušia	3
4	Zdroje emisií v Bratislave	4
4.1	Veľké a stredné zdroje znečisťovania (priemysel a energetika)	5
4.2	Cestná doprava	5
4.3	Vykurovanie domácností	7
5	MODELOVANIE KVALITY OVZDUŠIA	7
5.1	Použité modelové nástroje	7
5.2	Parametre modelovanej domény a zdroje dát.....	8
5.3	Cezhraničný prenos znečistenia	9
5.4	Výsledky modelovania a analýza situácie.....	9
5.4.1	Analýza príspevkov jednotlivých skupín zdrojov k celkovým koncentráciám	10
5.4.2	Identifikácia možných epizód vysokých koncentrácií	20
5.4.3	Validácia výsledkov modelovania v miestach monitorovacích staníc.....	23
6	ZÁVERY	26
	POUŽITÁ LITERATÚRA	28
	Príloha 1: Stručný popis relevantných znečisťujúcich látok	29
6.1	Atmosférický aerosól	29
6.2	PM ₁₀	29
6.3	PM _{2,5}	29
6.4	Oxid dusičitý.....	29
6.5	Oxid siričitý	29
6.6	Benzén	30
6.7	Benzo(a)pyrén.....	30
6.8	Ťažké kovy.....	30
6.9	Ozón.....	30
	Príloha 2: Charakteristiky monitorovacích staníc kvality ovzdušia	31
	Príloha 3: Hodnotenie na základe meraní kvality ovzdušia	32

1 ÚVOD

Vzťah medzi emisiami a koncentraciami znečisťujúcich látok v dýchacej zóne človeka nie je celkom priamočiary - do rozptylu a transportu emisií vstupuje množstvo faktorov, ako je poloha a výška zdrojov znečisťovania ovzdušia, teplota a rýchlosť emisií, rozloženie emisií v čase a v neposlednom rade meteorologické podmienky (hlavne smer a rýchlosť vetra a teplotné zvrstvenie atmosféry). Koncentrácie znečisťujúcej látky v nejakej lokalite preto nemožno zjednodušene prisúdiť jednotlivým skupinám blízkych či vzdialených zdrojov podľa toho, v akom vzájomnom pomere sú ich celkové emisie. Emisie z rôznych zdrojov podliehajú fyzikálnym procesom, ktoré sú rôzne na rôznych miestach a v rôznych výškach, preto je pre rozptyl emisií veľmi dôležitým faktorom v akej výške sa odohrávajú. Emisie dáva do súvislosti s koncentraciami matematický model, ktorý je určitou viac alebo menej zjednodušenou simuláciou fyzikálnej reality. Výsledky sú vždy zaťažené neistotami obyčajne podstatne vyššími ako sú neistoty priamych meraní koncentrácií. Merania sú však drahé a nie ľahko dostupné. Na rozdiel od matematického modelu nám nedokážu poskytnúť informáciu z akého zdroja znečistenie pochádza a ich priestorová reprezentatívnosť je obmedzená.

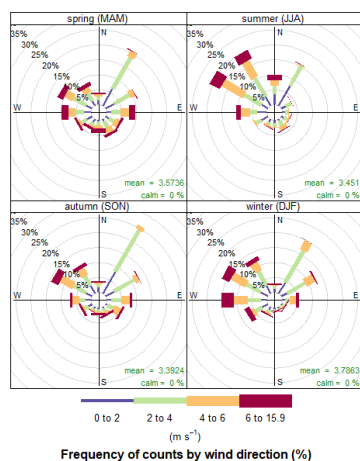
Cieľom tejto štúdie je analýza kvality ovzdušia v Bratislave, ktorá má slúžiť ako podklad pre výber čo najefektívnejších opatrení na zníženie emisií znečisťujúcich látok a zlepšenie kvality ovzdušia. Na tento účel boli použité údaje o koncentráciách namerané na monitorovacích staniciach NMSKO a metóda matematického modelovania základných znečisťujúcich látok (prachové častice, oxid dusičitý, oxid siričitý, benzén a benzo(a)pyrén).

2 POPIS OBLASTI Z HĽADISKA TOPOGRAFIE, OBYVATEĽSTVA A KLIMATICKÝCH PODMIENOK

Bratislava sa rozprestiera na ploche 368 km². Územie rozdeľuje od juhozápadu na severovýchod pohorie Malých Karpát, západná časť je tvorená Záhorskou nížinou a východnú a juhovýchodnú časť zaberá Podunajská nížina. Nadmorská výška sa v Bratislave pohybuje od 126 m (v Čunove) po 514 m (Devínska Kobyla). Malé Karpaty nie sú v na území mesta kompaktné, medzi Hainburgskými vrchmi a Devínskymi Karpatmi sa nachádza Devínska brána a medzi Devínskymi Karpatmi a Pezinskými Karpatmi Lamačská brána. V oblasti týchto brán dochádza k orografickému zvýšeniu rýchlosti vetra, čo priaznivo pôsobí na ventiláciu mesta. Územím mesta preteká rieka Dunaj. Na Obr. 1 je uvedená veterná ružica v roku 2018 na stanici Bratislava letisko podľa jednotlivých sezón.

Podľa informácií zo štatistického úradu SR má Bratislava 432 864 obyvateľov (stav k 31.12.2018). Najvyššiu hustotu obyvateľstva má mestská časť Bratislava Staré Mesto a naopak, najnižší počet obyvateľov na km² majú mestské časti Čunovo, Rusovce a Jarovce.

Z hľadiska rozptylu znečisťujúcich látok v ovzduší sú najrelevantnejšími meteorologickými parametrami smer a rýchlosť vetra a teplotné zvrstvenie atmosféry. Z dlhodobého hľadiska sa tieto parametre odzrkadľujú v klimatických veterných ružiciach, priemernej ročnej rýchlosti vetra, podiele bezvetria a počte výskytu teplotných inverzií. Monitoring meteorologických prvkov zabezpečuje Slovenský hydrometeorologický ústav na území Bratislavy na 4 monitorovacích staniciach – vid' Tab. 5, Tab. 6 v Prílohe 2.



Obr. 1 Početnosť výskytu jednotlivých smerov vetra na stanici Bratislava letisko v jednotlivých štvrtroch roku 2018

3 Analýza kvality ovzdušia na monitorovacích staniciach NMSKO

Z hľadiska hodnotenia kvality ovzdušia podľa Zákona č. 137/2010 Z. z. o ovzduší v znení neskorších predpisov (ďalej len zákon o ovzduší) sú rozhodujúce merania koncentrácií znečisťujúcich látok na monitorovacích staniciach v sieti NMSKO. Okrem siete NMSKO sú v Bratislave dostupné aj merania na niekoľkých staniciach prevádzkovaných rafinériou Slovnaft. Nasledujúca časť sa bude venovať analýze kvality ovzdušia primárne na staniciach NMSKO, pričom niektoré relevantné dáta budú doplnené aj z ostatných staníc.

3.1 Relevantné znečisťujúce látky

Na základe zákona o ovzduší v znení neskorších predpisov je kvalita ovzdušia hodnotená vzhľadom na limitné hodnoty koncentrácií nasledujúcich znečisťujúcich látok: suspendované častice PM₁₀, PM_{2,5}, oxid dusičitý, benzo(a)pyrén, benzén a oxid siričitý. Okrem týchto znečisťujúcich látok sa podľa zákona o ovzduší hodnotia aj ťažké kovy (olovo, arzén, kadmium a nikel).

Všeobecné informácie o uvedených znečisťujúcich látkach možno nájsť v Prílohe 1.

3.2 Limitné hodnoty

V Tab. 1 sú uvedené limitné hodnoty, ako boli podľa európskej legislatívy implementované do legislatívy SR (Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva, životného prostredia a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky č. 360/2010 Z. z. o kvalite ovzdušia, v znení neskorších predpisov).

Tab. 1 Limitné a cieľové hodnoty pre jednotlivé znečisťujúce látky

	SO ₂	SO ₂	SO ₂ ^v	NO ₂	NO ₂	NO ₂ ^v	PM ₁₀	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	O ₃	BaP	benzén	Pb	As	Cd	Ni
Priemerované obdobie	1h	24h	1r, ^{v1}	1h	1r	1r	24h	1r	1r	8h (max.)	1r	1r	1r	1r	1r	1r	1r
Limitná hodnota* (µg.m ⁻³)	350 (24)	125 (3)	20	200 (18)	40	30	50 (35)	40	25	10 000	120 (25) v priemere za 3 roky	1 **	5	500**	6**	5**	20**

¹ zimné obdobie (1. október – 31. marec)

^v kritické úrovne pre ochranu vegetácie

* povolený počet prekročení je uvedený v zátvorkách

**ng.m⁻³

Poznámka: Limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu PM_{2,5} je od roku 2020 znížená na 20 µg.m⁻³

3.3 Výsledky monitoringu kvality ovzdušia

Vyhodnotenie meraní PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, O₃, SO₂, benzénu, benzo(a)pyrénu a ťažkých kovov vzhľadom k limitným hodnotám obsahuje Príloha 3.

Limitné ani cieľové hodnoty pre SO₂, benzén, CO, ťažké kovy neboli v hodnotenom období prekročené. Taktiež prekročenie cieľovej hodnoty pre benzo(a)pyrén nebolo v posledných rokoch zaznamenané.

Priemerné ročné aj denné koncentrácie PM₁₀ v posledných rokoch poklesli (Tab. 7, Tab. 8), podobne je tomu s ročnými koncentraciami PM_{2,5} (Tab. 9) a NO₂ (Tab. 13). Fotochemicky aktívnejší rok 2018 sa prejavil na náraste koncentrácií prízemného ozónu (Tab. 23) na oboch monitorovacích staniciach.

Koncentrácie PM aj NO₂ sú vyššie v chladnom polroku, tento trend je výraznejší na predmestskej požadovej monitorovacej stanici Jeséniova, než u ostatných staníc a výraznejší je u PM, než u NO₂. Dôvodom môže byť vyšší podiel vykurovania domácností. Najvyššie hodnoty koncentrácií PM₁₀ (Tab. 10, Tab. 11) a NO₂ (Tab. 15, Tab. 16) sú zaznamenané obvykle v januári a februári. Príčinou toho sú nižšie teploty a horšie rozptylové podmienky. Najvýraznejšie sa v posledných rokoch prejavil studený január 2017. V roku 2019 boli koncentrácie vo februári vyššie než v januári napriek tomu, že chladnejší bol január, keďže situáciu zmiernil vplyv vymývania znečisťujúcich látok atmosférickými zrážkami (januárový zrážkový úhrn v roku 2019 na meteorologickej stanici Bratislava letisko bol 60 mm oproti 18 mm vo februári), priemerná rýchlosť vetra bola v oboch mesiacoch podobná.

Podiel veľkostných frakcií PM sa mení v prospech menších častíc v chladnom polroku (v období december-február má priemerný podiel PM_{2,5}/PM₁₀ v hodnotu 0,8, zatiaľ čo pre jún-august dosahuje priemerne 0,5 (Tab. 12)). Kvantifikácia podielu zdrojov na koncentraciách PM výlučne na základe veľkosti častíc však nevedie k jednoznačnému záveru - hoci výfukové emisie z cestnej dopravy sú zdrojom jemných častíc, otery a resuspenzia prachu z vozovky sú zodpovedné za emisie väčšej veľkostnej frakcie častíc. Emisie z vykurovania domácností taktiež produkujú jemné častice (EMEP, 2016).

Meraním neodlíšime pôvod znečistenia, ktorý môže byť ako v regionálnom prenose, tak v miestnych zdrojoch, preto sú potrebné ďalšie informácie, ktoré môže poskytnúť matematické modelovanie.

V poslednom hodnotenom období (2017 - 2019) bola prekročená cieľová hodnota pre troposférický ozón na monitorovacej stanici na Mamateyovej aj Jeséniovej ulici (Tab. 23). O₃ má zvláštne postavenie medzi znečisťujúcimi látkami, keďže vzniká zväčša až v atmosfére za prítomnosti slnečného žiarenia chemickou reakciou látok, ktoré nazývame prekursorami. Prekursorami O₃ sú oxidy dusíka a prchavé organické látky alebo oxid uhoľnatý. Zdrojom oxidov dusíka sú spaľovacie procesy, v podmienkach mestskej aglomerácie najmä cestná doprava, zdrojom emisií prchavých organických látok je tiež cestná doprava, ale aj priemyselné zdroje a v teplom polroku je významným zdrojom uvoľňovania prchavých organických látok vegetácia. Prízemný O₃ sa však reakciou s oxidmi dusíka pri určitých koncentráciách aj rozkladá (tzv. titráciou ozónu), preto sa pri exponovaných cestných úsekoch nevyskytujú vysoké koncentrácie O₃. V Bratislave môžeme túto skutočnosť ilustrovať porovnaním meraní O₃ na monitorovacej stanici Mamateyova a Jeséniova. Vyššie koncentrácie O₃ sú namerané na predmestskej stanici na Jeséniovej, kde vstupujú do hry ako prenos prekursorov z iných lokalít, tak ich lokálna produkcia a pravdepodobne aj biogénne emisie prchavých organických látok z okolitej vegetácie. Na monitorovacej stanici na Mamateyovej sa pravdepodobne prejavuje efekt titrácie ozónu vďaka emisiám NO_x z cestnej dopravy na priemerne zaťaženej neďalekej ceste. Je potrebné pripomenúť, že aj O₃ a jeho prekursori sú významne ovplyvnené diaľkovým prenosom. Ročný chod koncentrácií prízemného O₃ sa vyznačuje významným maximom v teplom polroku (Tab 24, 25).

Potenciálnym problémom ostáva benzo(a)pyrén, ktorého zdrojom je nedokonalé spaľovanie, v urbánnom prostredí najmä cestná doprava a vykurovanie domácností. Ročný priebeh koncentrácií BaP má výrazné maximum v zimných mesiacoch, najmä v januári a februári. Hoci v posledných rokoch nebolo zaznamenané prekročenie cieľovej hodnoty pre BaP na území Bratislavy, epizodicky sa vyskytujú vyššie koncentrácie aj na Jeséniovej aj na Trnavskom Mýte.

4 Zdroje emisií v Bratislave

Emisie predstavujú množstvo znečisťujúcej látky, ktoré bolo uvoľnené do prostredia (v tomto prípade do ovzdušia) za určitý čas. Pre účely tejto štúdie si rozdelíme zdroje emisií takto:

- Veľké a stredné priemyselné zdroje a zdroje na výrobu tepla a elektrickej energie, evidované v databáze NEIS
- Vykurovanie domácností – lokálne kúreniská
- Cestná doprava

Zdroje súvisiace s vykurovaním sú sezónne. Cestná doprava a väčšina veľkých a stredných zdrojov sú celoročnými zdrojmi. Rôzne stavebné práce sú najťažšie definovanými zdrojmi, pretože sú veľmi premenlivé, trvajú obmedzený čas, sú rôzneho rozsahu a zahŕňajú celú škálu aktivít od ťažkej dopravy, využívania stavebných mechanizmov, búracie a výkopové práce, atď. Pre nedostatok informácií nie sú tieto zdroje zahrnuté v tejto štúdii.

Obr. 2 a Tab. 2 zobrazujú podiel jednotlivých skupín zdrojov na celkových emisiách jednotlivých znečisťujúcich látok.

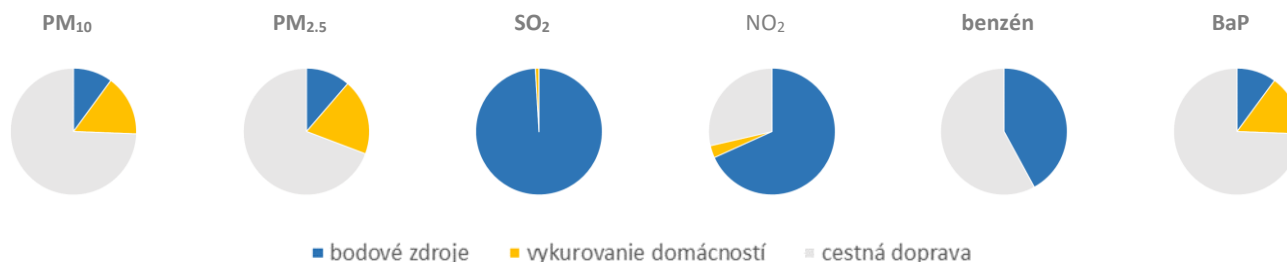
Tab. 2 Porovnanie emisií veľkých a stredných zdrojov, vykurovania domácností a cestnej dopravy v rámci výpočtovej domény.

	Slovnaft, a. s.	Volkswagen Slovakia, a.s.	PPC Energy, a.s.	Duslo, a.s.	Odvoz a likvidácia odpadu, a. s.	Ostatné bodové zdroje	Vykurovanie domácností - rodinné domy	Vykurovanie domácností - bytové domy	Cestná doprava
PM ₁₀ (t)	105	10	7	< 1	< 1	28	224	6	1 103
PM _{2.5} (t)	97	4	7	< 1	< 1	24	219	6	803
NO ₂ (t)	2 044	92	287	< 1	85	463	72	65	1 245
SO ₂ (t)	3 139	< 1	< 1	187	4	8	27	3	
Benzén (t)	63								87
BaP (kg)	3.4	0.1	0.4	< 0.1	< 0.1	1.2	10	1	30

Ako vidno, z hľadiska emisií PM a benzo(a)pyrénu je hlavným zdrojom doprava a v menšej miere vykurovanie domácností nepripojených na centrálné zdroje vykurovania. Cestná doprava má vysoký podiel aj na emisiách NO₂ a benzénu. Naopak, hlavným zdrojom emisií SO₂ je priemysel, menovite rafinéria Slovnaft, ktorá má zároveň aj vysoký podiel na emisiách benzénu a NO₂. V rozptyle znečisťujúcich látok však hrá dôležitú úlohu aj výška, v ktorej sú emisie

vypúšťané. V ďalšej analýze uvidíme, že z lokálneho hľadiska preto majú na koncentrácie v ovzduší väčší dopad priestorovo rozložené emisie vypúšťané do ovzdušia nízko nad zemou, než emisie z vysokých komínov.

Spoločným problémom emisií z dopravy a lokálnych kúrenísk je vysoká neistota zahrnutá v odhadovaných emisných tokoch.



Obr. 2 Porovnanie emisií z rôznych zdrojov vo výpočtovej doméne. (Bodové zdroje zahŕňajú zdroje NEIS)

Na Obr. 3 je mapa hlavných zdrojov znečisťovania v Bratislave. Obsahuje iba zdroje, ktoré je možné kvantifikovať na základe dostupných dát. Okrem zdrojov emisií sú na nej vyznačené monitorovacie stanice kvality ovzdušia, aj oblasti NATURA 2000, ktoré sú dôležité pri posudzovaní vplyvu niektorých znečisťujúcich látok na cenné ekosystémy.

4.1 Veľké a stredné zdroje znečisťovania (priemysel a energetika)

Ide o bodové zdroje, ktoré sú registrované v databáze NEIS. Možno ich rozdeliť na komíny, výduchy a fugitívne zdroje, (napr. úniky z netesností technologických rozvodov alebo nádrží, napr. pri čistení odpadových vôd).

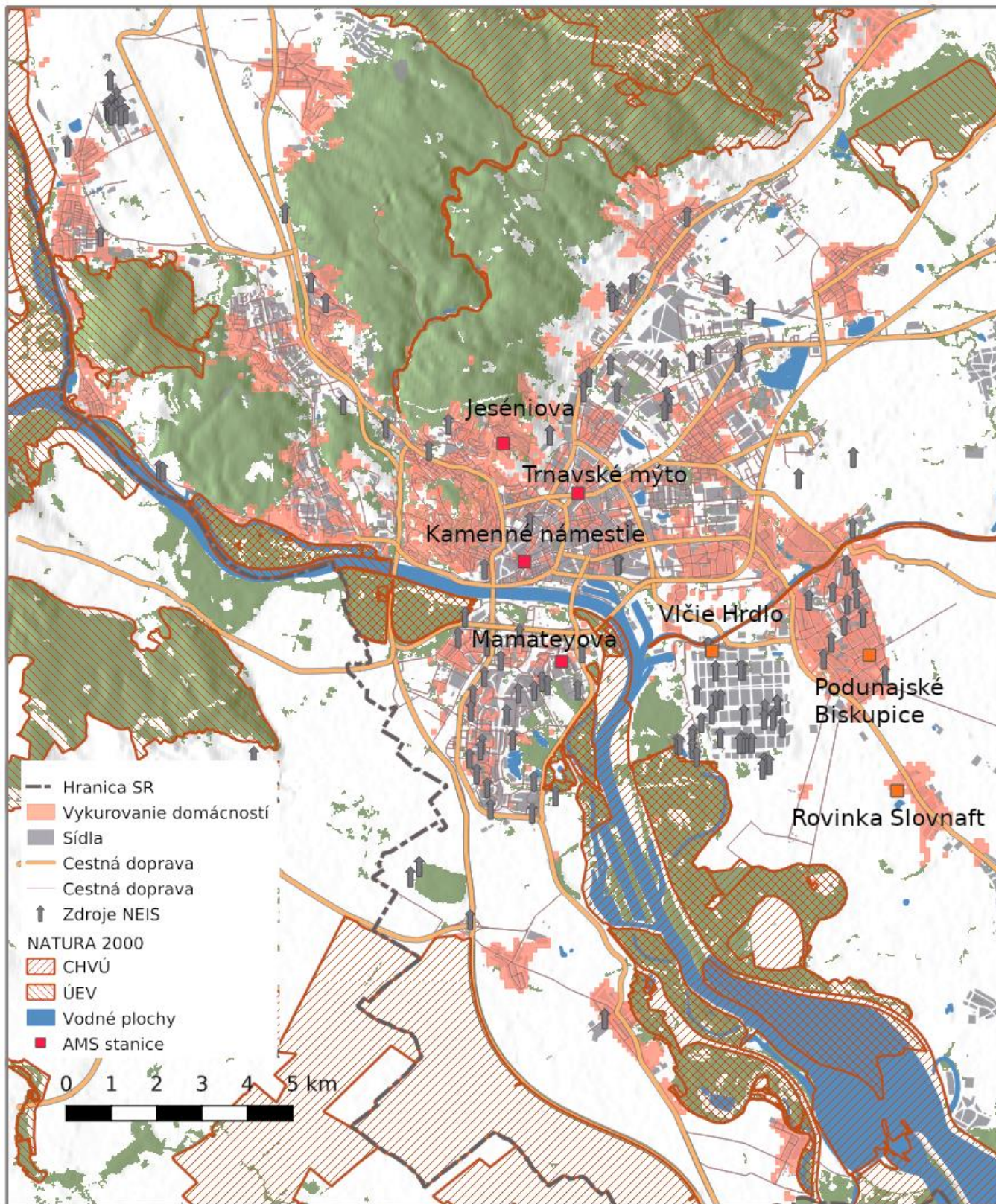
V Tab. 2 je samostatne uvedených aj niekoľko najväčších priemyselných zdrojov znečisťovania. Z Porovnania vidno, že najvýznamnejším priemyselným zdrojom znečisťovania v Bratislave je rafinéria Slovnaft.

Jednou z hlavných charakteristík zdroja znečisťovania je emisný tok (emisie za jednotku času). Ďalšími charakteristikami, ktoré sa rozhodujúcou mierou podieľajú na rozptyle znečisťujúcich látok v ovzduší sú parametre komínov – výška a priemer komína, teplota a rýchlosť spalín. Častým problémom emisných vstupov sú neúplné údaje o charakteristikách komínov/výduchov a nepresné súradnice. Parametre bodových zdrojov a spalín sme prevzali z databázy NEIS, niektoré z nich boli dodatočne upresnené prevádzkovateľmi zdrojov.

4.2 Cestná doprava

Emisie z cestnej dopravy zahŕňajú emisie z výfukov, oterov bŕzd a pneumatík, abráziu vozovky a resuspenziu prachových častíc z povrchu vozoviek. Na ich výpočet sa používa emisný model, ktorý počíta emisie na základe intenzít dopravy na jednotlivých cestných komunikáciách, zloženia vozového parku, emisných faktorov pre jednotlivé kategórie vozidiel a odhadovaných časových profilov.

Ako vstup pre modelovanie emisií boli použité dáta s intenzitou dopravy pre základné kategórie vozidiel z roku 2015 škálované na intenzity pre modelový rok. Dopravné intenzity sú alokované na jednotlivé cestné úseky v rámci Bratislavy a blízkeho okolia. Pre samotný výpočet emisií z výfukov a oterov boli využité emisné faktory publikované Európskou enviromentálnou agentúrou v EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016. Pre výpočet resuspenzie bola použitá metodika EPA AP-42.

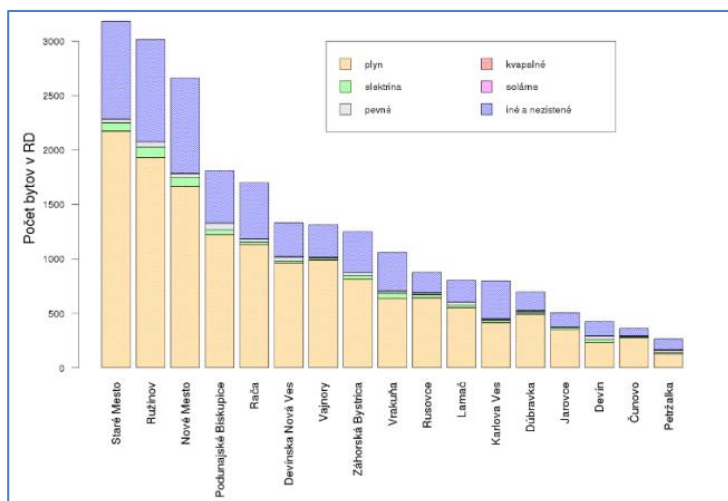


Obr. 3 Mapa Bratislavy s relevantnými zdrojmi emisií a s vyznačenými územiaми NATURA 2000 (Chránené vtáčie územia a Územia Európskeho významu) a automatickými monitorovacími stanicami kvality ovzdušia

4.3 Vykurovanie domácností

Emisie z vykurovania domácností sú vypočítané emisným modelom REM_v2 (Krajčovičová a kol., 2020), ktorý počíta emisie s priestorovou presnosťou na úrovni základných sčítacích jednotiek a priestorovo ich distribuuje na oblasti osídlené rodinnými a bytovými domami. Výsledným produktom sú objemové zdroje emisií horizontálneho rozmeru 50m x 50m a priemernou výškou budov v príslušnom štvorci (údaje na základe ZBGIS).

Ako už bolo spomenuté vyššie, údaje o vykurovaní bytov a domov, ktoré nie sú napojené na centrálny zdroj vykurovania, a teda nespĺňajú parametre stredného zdroja NEIS, sú veľkým zdrojom neistôt, pretože okrem údajov zo Sčítania obyvateľov, domov a bytov 2011 (ďalej len sčítanie) neexistuje žiadna systematická databáza s údajmi o tomto dôležitom zdroji emisií. Okrem toho, že sú údaje zo sčítania neaktuálne, aj v čase svojho vzniku sa vyznačovali veľkou neistotou z dôvodu množstva chýbajúcich údajov. Obr. 4 ukazuje podiely jednotlivých palív na vykurovaní rodinných domov v jednotlivých mestských častiach Bratislavy v roku 2011. Ako vidno, podiel nezistených palív tvorí vysoké percento údajov.



Obr. 4 Počty domácností v rodinných domoch využívajúce jednotlivé druhy palív (SOBD, 2011)

Pre väčšie priblíženie k realite je možné tieto údaje aktualizovať o novopostavené byty v období medzi 2011 a 2018 (údaj je dostupný pre obce), pričom uvažujeme, že vykurojú plynom. Staré byty však ostávajú zachované. Byty v RD, ktoré v sčítaní 2011 neuviedli žiadny zdroj vykurovania, boli priradené k ostatným palivám podľa ich pomerného zastúpenia v jednotlivých mestských častiach.

Bratislava je špecifická pomerne nerovnomerným a rôznorodým charakterom rodinných aj bytových domov. Špecifikom je vysoké zastúpenie starých domov v Starom meste. Veľké množstvo starých domov bolo od sčítania zrekonštruovaných, alebo zbúraných. Keďže tieto údaje nie sú dostupné v dostatočnej priestorovej a časovej špecifikácii, z konzervatívnych dôvodov sme tento fakt pri výpočtoch nebrali do úvahy. Pravdepodobne sa však prejaví v nadhodnotení emisií z vykurovania obzvlášť v Starom meste. Na druhej strane v Bratislave existuje pomerne veľa domácností, ktoré síce vykurojú plynom, ale v prechodných obdobiach využívajú ako doplnkový zdroj vykurovania krby a krbové vložky. Keďže údaje o počte takýchto domácností tiež nie sú dostupné, tieto zdroje rovnako neboli uvažované pri výpočtoch. Toto zanedbanie sa pravdepodobne prejaví na podhodnotení emisií PM a BaP.

Horeuvedené skutočnosti svedčia o pomerne vysokej neistote vypočítaných emisií z vykurovania domácností a bolo by potrebné vykonať inventarizáciu zdrojov vykurovania na úrovni obcí, následne vytvoriť jednotnú databázu, do ktorej by mestské časti pravidelne každoročne zaznamenávali údaje o novopostavených, zbúraných a zrekonštruovaných bytoch na úrovni základných sčítacích jednotiek.

5 MODELOVANIE KVALITY OVZDUŠIA

5.1 Použité modelové nástroje

Matematické modely umožňujú vypočítať priestorové rozloženie požadovaných charakteristík znečistenia ovzdušia, v našom prípade koncentrácií znečisťujúcich látok. Keďže je možné modelovať vplyv jednotlivých zdrojov, resp. skupín zdrojov emisií osobitne, umožňujú tiež vykonať analýzu podielu významných zdrojov, resp. skupín zdrojov na celkových koncentráciách.

Na výpočty koncentrácií z bodových zdrojov NEIS a z lokálnych kúrenísk sme použili model CALPUFF (Scire a kol., 2000b), naviazaný na meteorologický diagnostický model CALMET (Scire a kol., 2000a). Na výpočty koncentrácií z cestnej dopravy bol použitý model IFDM-traffic (Lefebvre et al, 2013).

Horizontálne rozlíšenie domény je dané členitosťou terénu, teda z toho vyplývajúceho počtu bodov, ktorým je možné popísať najužšiu dolinu tak, aby bol dosiahnutý dostatočný výškový popis terénu. Takto popísaný terén spolu s dvojrozmerným poľom využitia krajiny (CORINE) vložený do meteorologického modelu CALMET má za následok prispôbenie meteorologických dát (hlavne však trojrozmerného poľa vetra) terénym prekážkam a miestnym cirkulačným systémom (horské a údolné vetry). Výstupom modelu CALMET sú sekvenčné hodinové trojrozmerné polia vetra a ďalších meteorologických parametrov pre celý rok. Tieto tvoria spolu s emisiami vstupné dáta pre nestacionárny lagrangeovský model CALPUFF, ktorý okrem situácií s nízkymi až nulovými rýchlosťami vetra (stagnácia) dokáže simulovať aj jednoduché schémy popisujúce chemické premeny (t.j. napr. tvorbu sekundárnych aerosólov). Metóda je podrobne popísaná v publikáciách, napr. Krajčovičová a kol. (2013, 2014), Krajčovičová (2011).

Model CALPUFF je lokálny model, to znamená, že modeluje rozptyl emisií zo zdrojov, ktoré sú na území modelovej domény. Zdroje, ktoré sú mimo domény, teda tzv. regionálne pozadie model „nevidí“, preto je potrebné k hodnotám vypočítaných koncentrácií zo zdrojov na území domény pripočítať ešte hodnotu regionálneho pozadia. Na tento účel boli použité výsledky modelu RIO (Janssen et al., 2008). RIO je pokročilý model na interpoláciu koncentrácií z meracích staníc do pravidelnej mriežky s požadovaným rozlíšením. Tento model numericky charakterizuje jednotlivé stanice na základe využitia krajiny v ich bezprostrednom okolí (CORINE landuse data 2018), odstráni z dát trend vzniknutý vplyvom rôzneho landuse, následne vykoná interpoláciu metódou kriging do požadovanej mriežky a nakoniec pripočíta každej bunke mriežky hodnoty trendu na základe landuse charakteristiky danej bunky. Týmto spôsobom vznikne mapa koncentrácií, ktorá aj v bodoch, v ktorých sa nenachádza monitorovacia stanica, dokáže zachytiť vplyv sídiel, priemyslu a pod. Výsledky modelu RIO sú momentálne k dispozícii pre rok 2018 v horizontálnom rozlíšení 4,7 km.

Tento model bol použitý (po ošetrení tzv. dvojitého započítania koncentrácií) ako regionálne pozadie v prípade PM₁₀, PM_{2,5} a NO₂, ku ktorému boli pripočítané koncentrácie vypočítané modelmi CALPUFF a IFDM-traffic. Pre SO₂, benzén a benzo(a)pyrén nie sú k dispozícii výsledky z modelu RIO, z dôvodu nedostatočne hustej siete meracích staníc. V týchto prípadoch možno ako regionálne pozadie použiť s určitou rezervou priamo namerané údaje z najbližšej monitorovacej stanice regionálneho charakteru.

Regionálne pozadie má veľmi vysoký podiel na celkových hodnotách koncentrácií PM₁₀ a PM_{2,5}, jeho podiel je tým markantnejší, čím je dlhšie priemerovacie obdobie.

5.2 Parametre modelovanej domény a zdroje dát

Tab. 3 zobrazuje parametre modelovej simulácie v Bratislave. Simulácia bola vykonaná pre rok 2018. Je to rok, za ktorý sú dostupné najaktuálnejšie emisné dáta z databázy veľkých a stredných zdrojov NEIS. Veľkosť domény bola zvolená tak, aby pokrývala celé mesto Bratislava a najbližšie okolie v dostatočnom rozsahu vplyvov všetkých potenciálnych zdrojov emisií na území mesta. Ako optimálne horizontálne rozlíšenie meteorologických dát bolo zvolené 250 m, čo je postačujúce na rozlíšenie vplyvu pohoria Malých Karpát.

Zdroje z databázy NEIS boli vložené do modelu ako bodové zdroje, pričom ich parametre (poloha, výška a priemer komína, výstupná rýchlosť spalín) boli prevzaté z databázy NEIS, ak boli dostupné, alebo odhadnuté na základe dostupných informácií, ak táto informácia v databáze chýbala alebo bola zjavne nesprávna (napr. poloha). Zdroje rafinérie Slovnaft boli upresnené po konzultácii so zodpovednými pracovníkmi rafinérie. Sezónne bodové zdroje boli v simulácii prítomné iba počas vykurovacej sezóny.

Tab. 3 Parametre modelovej simulácie

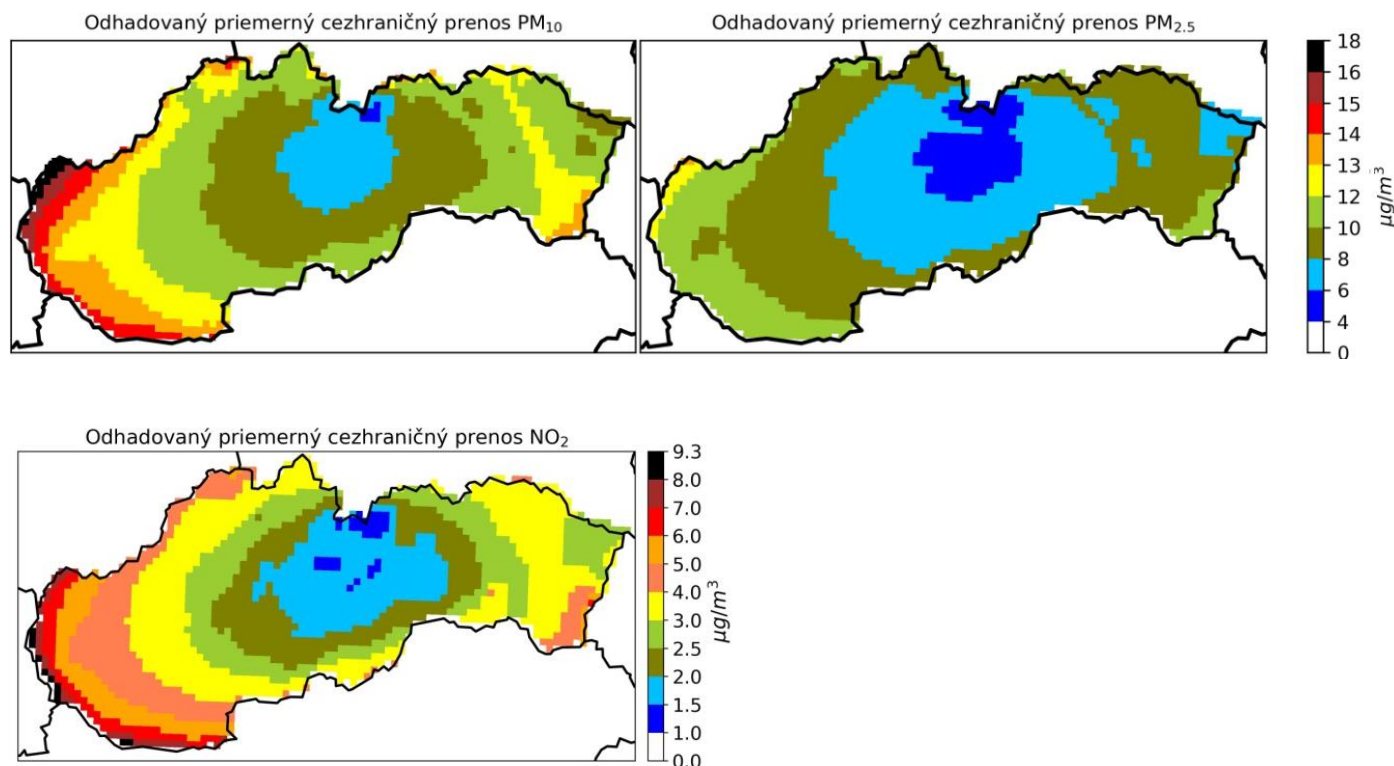
Parameter	Hodnota parametra
Horizontálne rozmery domény	23 x 27 km
Počet vertikálnych hladín	10
Horná hranica domény, hrúbka spodnej vrstvy	2000 m, 20 m
Horizontálne rozlíšenie meteorologických polí	250 m
Rok a dĺžka simulácie	2018, 365 dní
Počet zdrojov:	
- Komíny, výduchy, fugitívne zdroje (sezónne aj celoročné)	1311
- Líniové – doprava (celková dĺžka cestnej siete v km)	1047 km
- Objemové – kúreniská (rodinné domy, bytové domy)	7549, 2159

5.3 Cezhraničný prenos znečistenia

Regionálne pozadie, diskutované v kapitole 5.1, sa skladá z časti znečistenia, ktorého zdroje emisií sa nachádzajú na území štátu, a z časti, ktorého zdroje sú za hranicami SR. Táto posledná časť, tzv. cezhraničný prenos, nie je ovplyvniteľná opatreniami realizovanými na Slovensku, pričom pre Bratislavu, ako hraničné mesto, je tento príspevok nezanedbateľný, obzvlášť v prípade PM a NO₂.

Cezhraničný príspevok v tejto štúdii bol odhadnutý pomocou chemicko-transportného modelu CMAQ v roku 2015 s rozlíšením 4,7 × 4,7 km podľa metodiky popísanej Štefánik a kol. (2020) (zjednodušená slovenská verzia Štefánik (2019)).

Modelový odhad cezhraničného prenosu pre PM a NO₂ je celoplošne zobrazený na Obr. 5.



Obr. 5 Cezhraničný prenos PM₁₀, PM_{2,5} a NO₂ modelovaný chemicko-transportným modelom CMAQ.

5.4 Výsledky modelovania a analýza situácie

Výsledkom celoročnej simulácie rozptylu znečisťujúcich látok sú hodinové sekvencie horizontálnych polí koncentrácií týchto látok. Toto je obrovské množstvo dát. Aby bolo možné na ich základe posúdiť kvalitu ovzdušia z hľadiska zdravia ľudí, resp. ekosystémov, je potrebné ich štatisticky spracovať. Atmosférické prúdenie v prízemnej vrstve sa vyznačuje veľkou mierou turbulentnosti, z čoho pramení vysoká priestorová, ale hlavne časová premenlivosť koncentrácií. Keďže vstupné emisné dáta, ktoré sú jedným z hlavných zdrojov neistoty, majú v modeli priradené iba základné predpokladané časové profily (doprava – denný chod, vykurovanie domácností, sezónny profil), hodinové výstupy koncentrácií sa budú vyznačovať aj najvyššou neurčitosťou. Spoľahlivosť koncentrácií vypočítaných matematickým modelom je tým vyššia, čím je priemerovacie obdobie dlhšie. Z tohoto dôvodu hodinové priemery koncentrácií nie sú vhodným štatistickým parametrom na hodnotenie. Základným štatistickým parametrom sú priemerné ročné hodnoty koncentrácií, pre ne sú tiež stanovené legislatívne limitné hodnoty, ktoré sú základom pre posúdenie kvality ovzdušia v danej oblasti. Priemerné ročné hodnoty sa zároveň vyznačujú aj relatívne najnižšou mierou neistoty, a preto sú základom našej analýzy. Pre niektoré znečisťujúce látky tiež existujú limitné hodnoty pre počet prekročení priemerných denných hodnôt (PM₁₀, SO₂), resp. hodinových hodnôt (SO₂, NO₂), vzhľadom na horeuvedené skutočnosti sú tieto štatistické parametre v našej analýze uvažované iba ako pomocné.

Modelovanie kvality ovzdušia je spojené s mnohými neurčitostami, vyplývajúcimi z matematickej formulácie modelu, jeho priestorového rozlíšenia, ale hlavne z kvality vstupných meteorologických a obzvlášť emisných dát. Je iba približením reality, preto absolútne hodnoty vypočítaných koncentrácií treba brať do úvahy v kontexte neurčitostí s tým spojených. Určitým vodítkom je miera zhody modelovaných a nameraných koncentrácií v miestach monitorovacích staníc, i keď odchýlka vypočítaných koncentrácií od skutočnosti nemusí byť konštantná v priestore. Viac ako na absolútne hodnoty vypočítaných koncentrácií treba brať skôr do úvahy relatívne rozloženie koncentrácií v priestore. V miestach polôh monitorovacích staníc sa teda namerané hodnoty koncentrácií považujú za spoľahlivejšie ako hodnoty vypočítané modelom.

5.4.1 Analýza príspevkov jednotlivých skupín zdrojov k celkovým koncentráciám

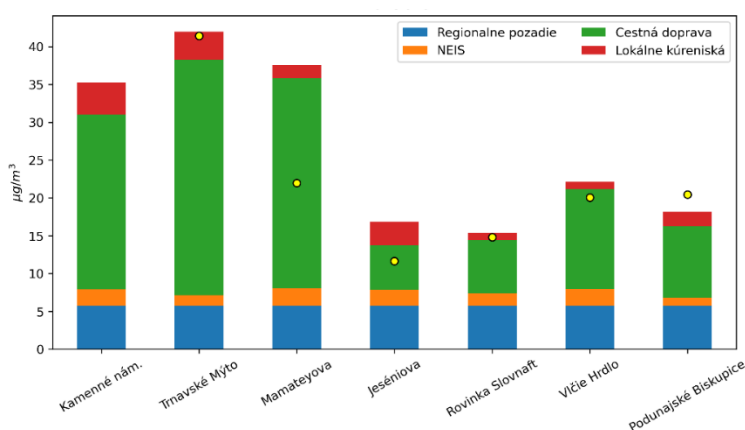
V nasledujúcich analýzach budú ukázané príspevky jednotlivých skupín zdrojov – veľké a stredné zdroje NEIS, cestná doprava a vykurovanie domácností – pre jednotlivé znečisťujúce látky. Analýza zahŕňa priestorové rozloženie celkových koncentrácií, mapy príspevkov jednotlivých skupín zdrojov, a grafy príspevkov jednotlivých skupín zdrojov v miestach monitorovacích staníc kvality ovzdušia. Do priestorovej analýzy neboli zahrnuté ťažké kovy. Namerané koncentrácie ťažkých kovov na stanici Trnavské Mýto sú hlboko pod limitnými hodnotami. Okrem toho v Bratislave neexistujú významnejšie zdroje týchto emisií. Emisie ťažkých kovov nie sú kompletne zahrnuté v databáze NEIS, navyše ich odhad je spojený s vysokou neurčitosťou.

5.4.1.1 Oxid dusičitý NO₂

Z hľadiska nameraných koncentrácií je najvýznamnejšou znečisťujúcou látkou oxid dusičitý, ku koncentráciám ktorého je hlavným prispievateľom cestná doprava. Príspevok zdrojov NEIS na koncentráciách je relatívne nízky, napriek tomu, že ich podiel na celkových emisiách NO₂ je relatívne vysoký (viď Obr. 2).

V Bratislave sa nachádza jediná dopravná monitorovacia stanica Trnavské Mýto. Namerané priemerné ročné hodnoty NO₂ na tejto stanici dlhodobo oscilujú okolo limitnej hodnoty. Prekračovanie priemernej ročnej limitnej hodnoty koncentrácií NO₂ je aj hlavný dôvod, pre ktorý je aglomerácia Bratislava v súčasnosti oblasťou riadenia kvality ovzdušia. Obr. 6 zobrazuje namerané (žlté body) a vypočítané modelom (stĺpce) koncentrácie v miestach monitorovacích staníc v Bratislave. Jednotlivé farby zobrazujú príspevky rôznych skupín zdrojov. Je zrejmé, že na všetkých staniciach je najvýznamnejším prispievateľom cestná doprava, pričom najviac je to v centre mesta.

Obr. 7 obsahuje priestorové rozloženie priemerných ročných koncentrácií NO₂. Celkové koncentrácie NO₂ v tesnej blízkosti vyťažených cestných komunikácií na mnohých miestach presahujú limitnú hodnotu priemernej ročnej koncentrácie 40 µg.m⁻³, pričom hlavným prispievateľom k týmto koncentráciám je cestná doprava.



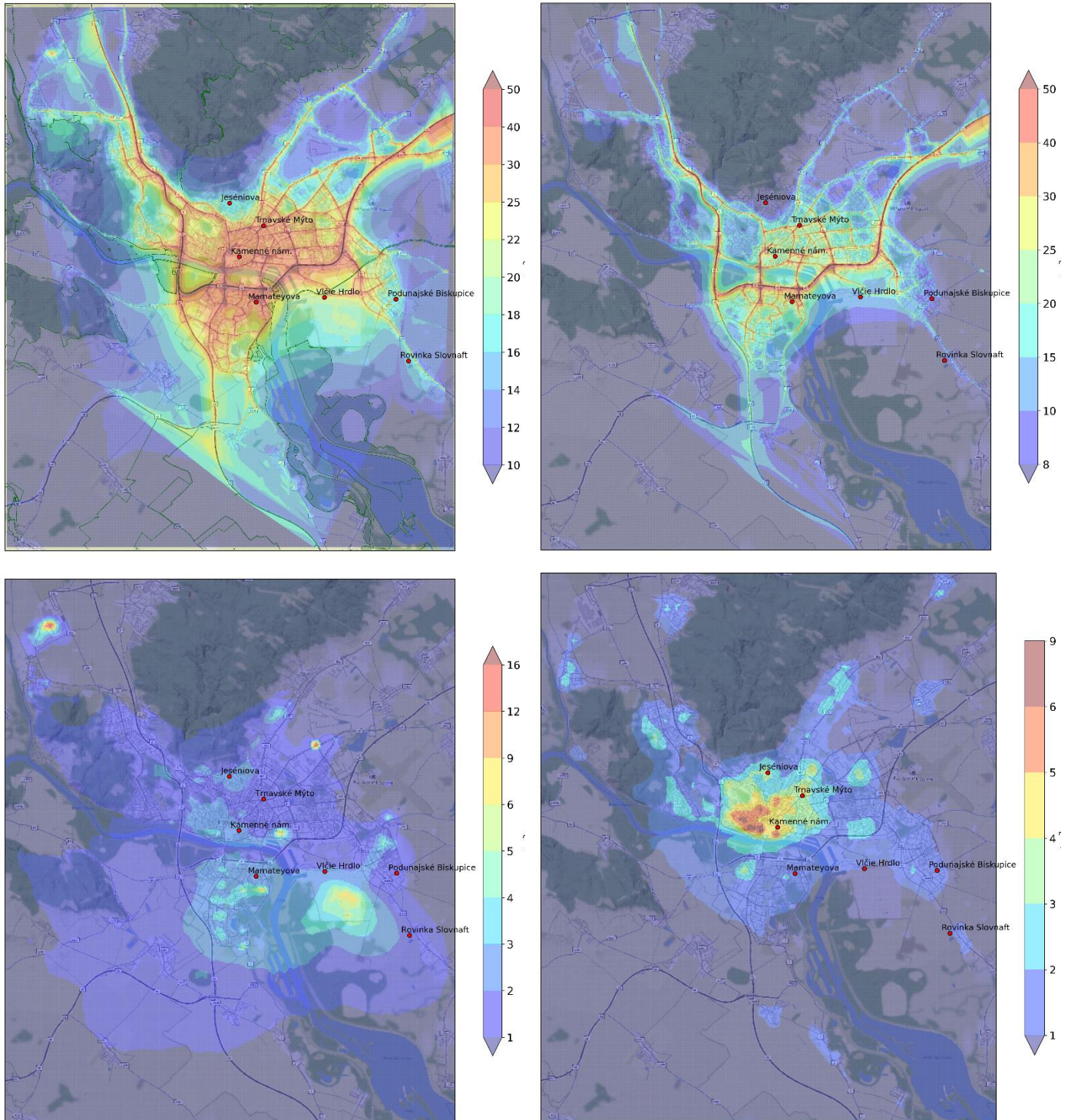
Obr. 6 Analýza príspevkov jednotlivých skupín zdrojov znečisťovania ku koncentráciám NO₂ v miestach monitorovacích staníc (stĺpce reprezentujú koncentrácie vypočítané matematickým modelom, žlté body zobrazujú hodnoty namerané na monitorovacích staniciach).

Pozn.: Danú znečisťujúcu látku nemerajú všetky zobrazené monitorovacie stanice

Príspevky veľkých a stredných zdrojov a lokálneho vykurovania sú v porovnaní s cestnou dopravou podstatne nižšie.

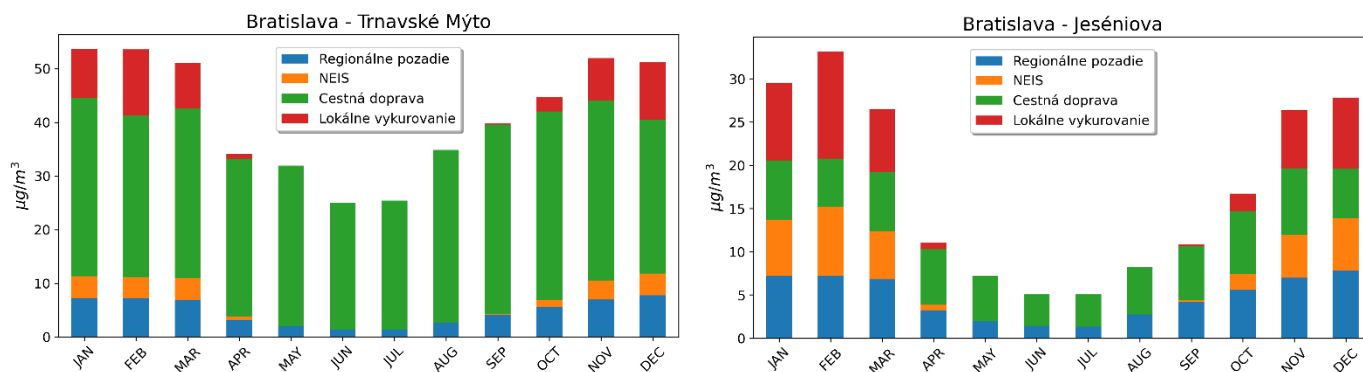
Ako už bolo diskutované v odseku 5.4.1, modelové výpočty sú zaťažené rôznymi zdrojmi neurčitosti. Konkrétne v prípade NO₂, ktorého hlavným zdrojom je doprava, vidíme na mape pomerne vysoké koncentrácie takmer v celom centre mesta aj vo väčšej vzdialenosti od ciest. V skutočnosti však použitý model „nevidí“ mestskú zástavbu a rozptýl znečisťujúcich látok sa deje akoby v otvorenom teréne. V realite sa v prípade reálnej cestnej komunikácie v mestskej

zástavbe, obzvlášť v prípade tzv. mestských kaňonov, najvyššie koncentrácie kumulujú v tesnej blízkosti cesty, zatiaľ čo vo vnútroblokoch zástavby sú obyčajne nižšie. Dopravná stanica Trnavské Mýto sa nachádza v pomerne otvorenom teréne pri križovatke, napriek tomu namerané hodnoty koncentrácií NO₂ tesne prekračujú priemernú ročnú limitnú hodnotu. Keďže ide o stanicu blízko cesty, priemerná ročná koncentrácia vypočítaná modelom je v pomerne dobrej zhode s nameranou koncentráciou (Obr. 6). Z mapy na Obr. 7 však vidno, že je v Bratislave pomerne veľa ulíc, v rámci ktorých sú modelované koncentrácie NO₂ vyššie ako na Trnavskom Mýte. Ide napr. o ulice Bajkalská, Šancová (vrátane Račianskeho Mýta), Štefánikova, Staromestská-Hodžovo nám.-Nám. 1. mája, Mlynské Nivy-Prievozská, pričom pri väčšine z nich ide zároveň o mestské kaňony výraznejšie ako Trnavské Mýto. Je preto odôvodnený predpoklad, že na týchto mestských úsekoch sa aj v skutočnosti vyskytujú priemerné ročné koncentrácie vyššie ako na Trnavskom Mýte.



Obr. 7 Rozloženie priemerných ročných koncentrácií NO₂ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) – celkových (vľavo hore), z cestnej dopravy (vpravo hore), z priemyselných zdrojov (vľavo dole) a z lokálneho vykurovania (vpravo dole) vypočítané kombináciou modelov RIO, CALPUFF a IFDM-traffic

Na grafoch Obr. 8 sú pre porovnanie zobrazené príspevky jednotlivých skupín zdrojov k mesačným priemerom NO₂ v miestach monitorovacích staníc Trnavské Mýto (dopravná stanica) a Jeséniova (predmestská pozadová stanica). Ako vidno, na dopravnej stanici je menej výrazný ročný chod, pričom letné minimá koncentrácií zodpovedajú približne zimným maximám na stanici Jeséniova.

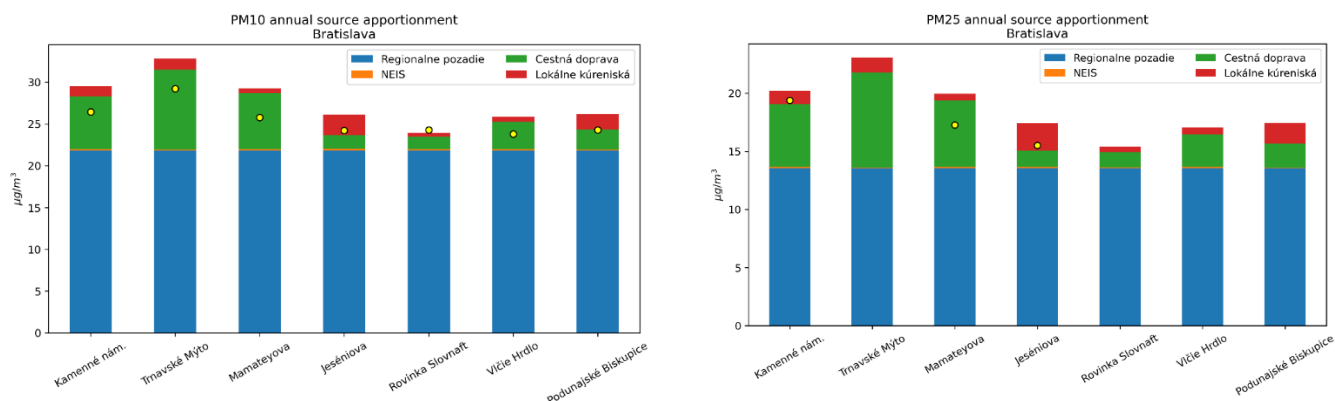


Obr. 8 Príspevky jednotlivých skupín emisných zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám NO₂ v miestach 2 vybraných monitorovacích staníc kvality ovzdušia.

5.4.1.2 Prachové častice PM₁₀ a PM_{2,5}

Prachové častice sú vážnym problémom kvality ovzdušia nielen na väčšine Slovenska, ale aj v Bratislave. V Bratislave, ktorá je v priebehu roka väčšinou pomerne dobre ventilovaná, je aj vysoký podiel regionálneho pozadia, teda koncentrácií, ktoré sú spôsobené zdrojmi nachádzajúcimi sa mimo územia mesta. Keďže Bratislava susedí s dvoma štátmi, vzhľadom na prevládajúci smer vetra väčšina tohoto regionálneho pozadia pochádza spoza hraníc SR.

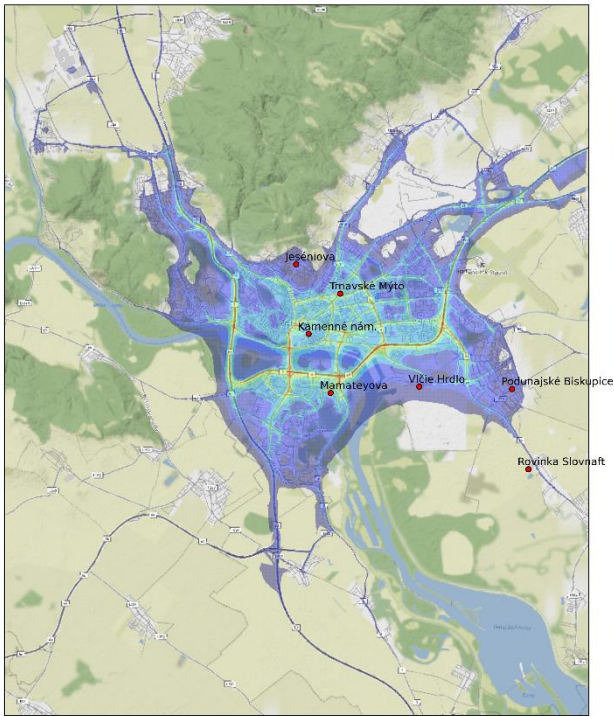
Z Obr. 9, kde sú v grafoch znázornené podiely jednotlivých skupín zdrojov na vypočítaných koncentráciách v miestach monitorovacích staníc, vyplýva, že má na väčšine staníc pomerne vysoký podiel cestná doprava. Limitné hodnoty priemerných ročných koncentrácií PM₁₀ a PM_{2,5} neboli v modelovanom roku 2018 prekročené na žiadnej z monitorovacích staníc. Od roku 2020 však platí prísnejší limit na priemernú ročnú koncentráciu PM_{2,5} – 20 µg.m⁻³. Tento fakt treba mať na pamäti pri navrhovaní opatrení, pretože je reálny predpoklad, že k prekročeniam prísnejšieho limitu na niektorých monitorovacích staniciach skôr či neskôr príde.



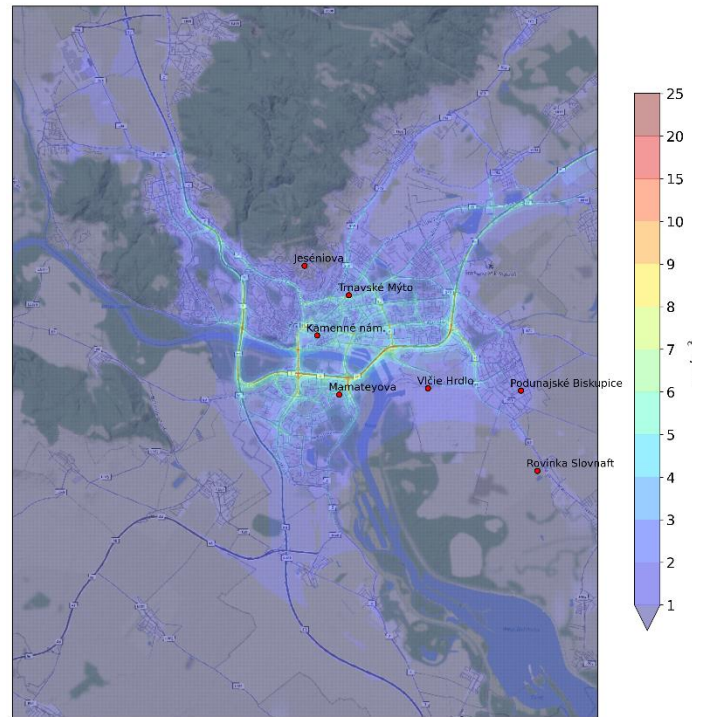
Obr. 9 Analýza príspevkov jednotlivých skupín zdrojov znečisťovania k priemerným ročným koncentráciám PM₁₀ a PM_{2,5} v miestach monitorovacích staníc (stĺpce reprezentujú koncentrácie vypočítané matematickým modelom, žlté body zobrazujú hodnoty namerané na monitorovacích staniciach). Pozn.: PM_{2,5} nemerajú všetky zobrazené monitorovacie stanice

Obr. 10 a Obr. 11 obsahujú mapky priemerných ročných koncentrácií PM₁₀ a PM_{2,5} – celkové hodnoty vrátane pozadia, ako aj príspevky jednotlivých skupín zdrojov. Z oboch obrázkov vidno, že celkové priemerné koncentrácie presahujú limitné hodnoty pre PM₁₀ (40 µg.m⁻³) a PM_{2,5} (25 µg.m⁻³) iba na a v tesnej blízkosti hlavných cestných komunikácií. Relatívny podiel zdrojov NEIS v priemerných ročných koncentráciách je veľmi nízky, čo je dané aj tým, že znečisťujúce látky sú emitované z relatívne vysokých komínov a po väčšinu roka veľmi dobre rozptyľované.

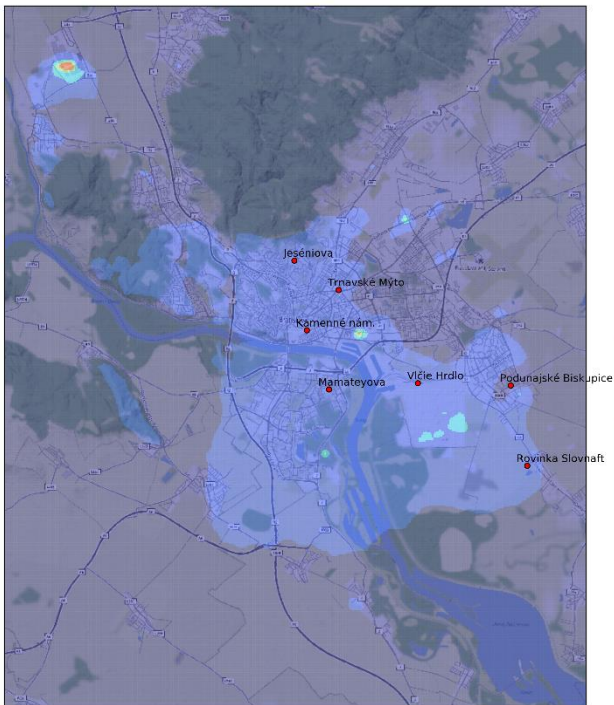
Priemerné ročné koncentrácie PM10 - 2018
($c > 25.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$)



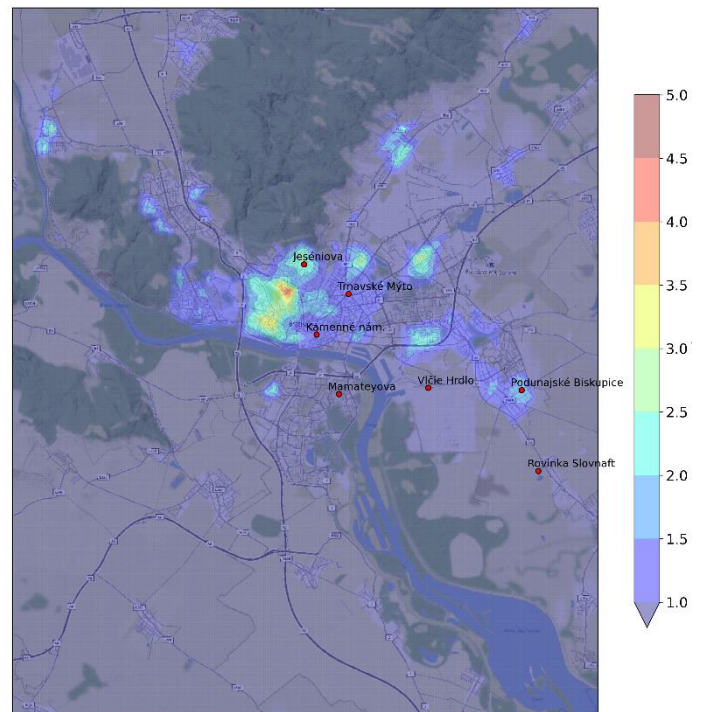
Priemerné ročné koncentrácie PM10 - 2018 - Cestná doprava



Priemerné ročné koncentrácie PM10 - 2018
(NEIS)

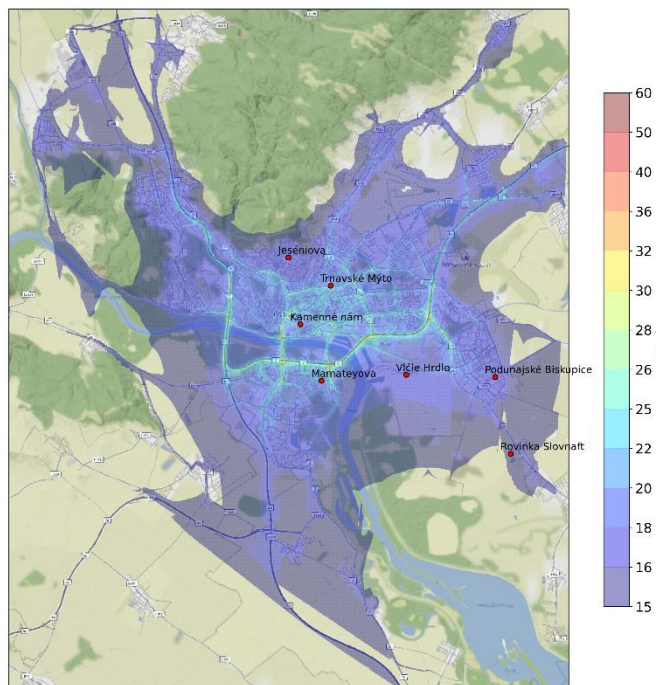


Priemerné ročné koncentrácie PM10 - 2018 - Lokálne kúreniská

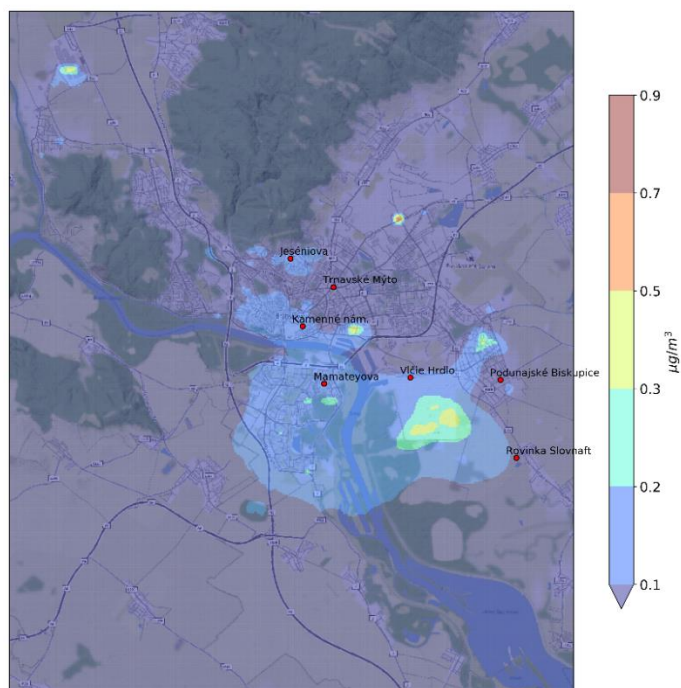


Obr. 10 Priemerné ročné koncentrácie PM_{10} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) – celkové (vľavo hore), z cestnej dopravy (vpravo hore), z priemyselných zdrojov (vľavo dole) a z lokálneho vykurovania (vpravo dole) vypočítané kombináciou modelov RIO, CALPUFF a IFDM-traffic

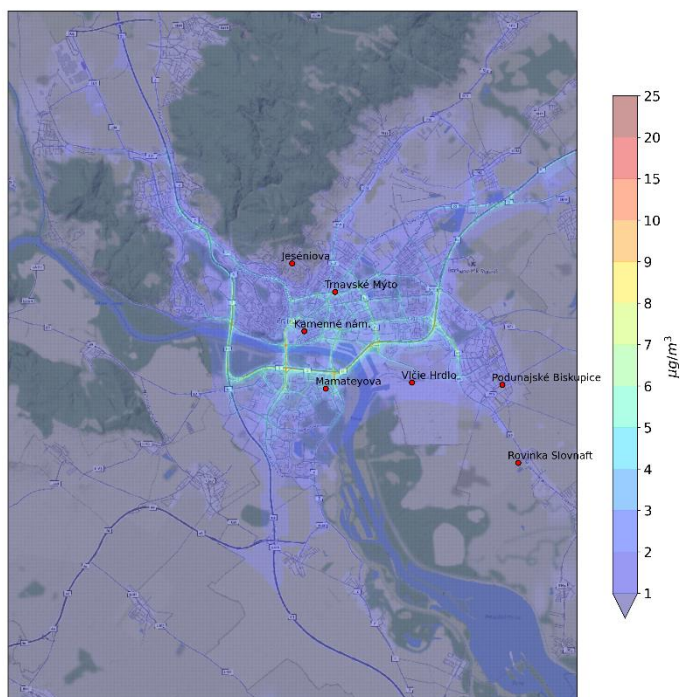
Priemerné ročné koncentrácie PM25 - 2018
($c > 15.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$)



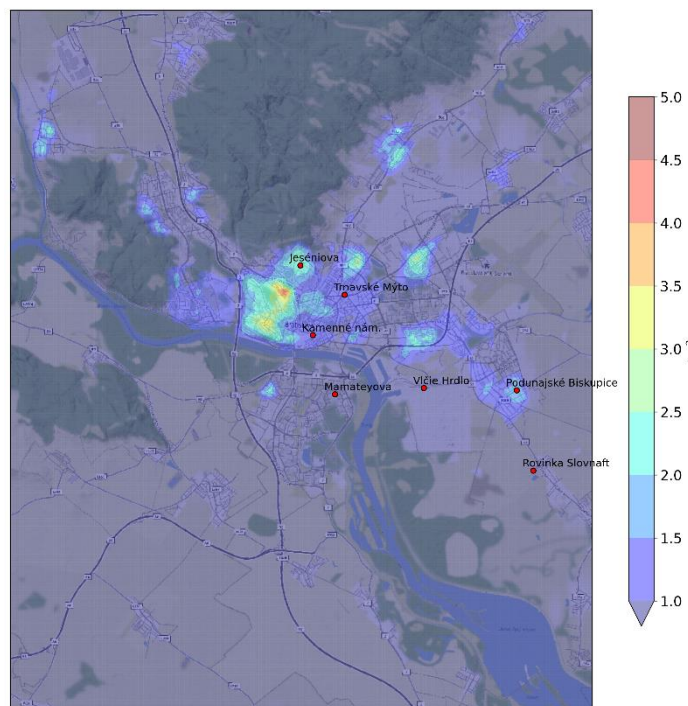
Priemerné ročné koncentrácie PM25 - 2018
(NEIS)



Priemerné ročné koncentrácie PM25 - 2018 - Cestná doprava



Priemerné ročné koncentrácie PM25 - 2018 - Lokálne kúreniská

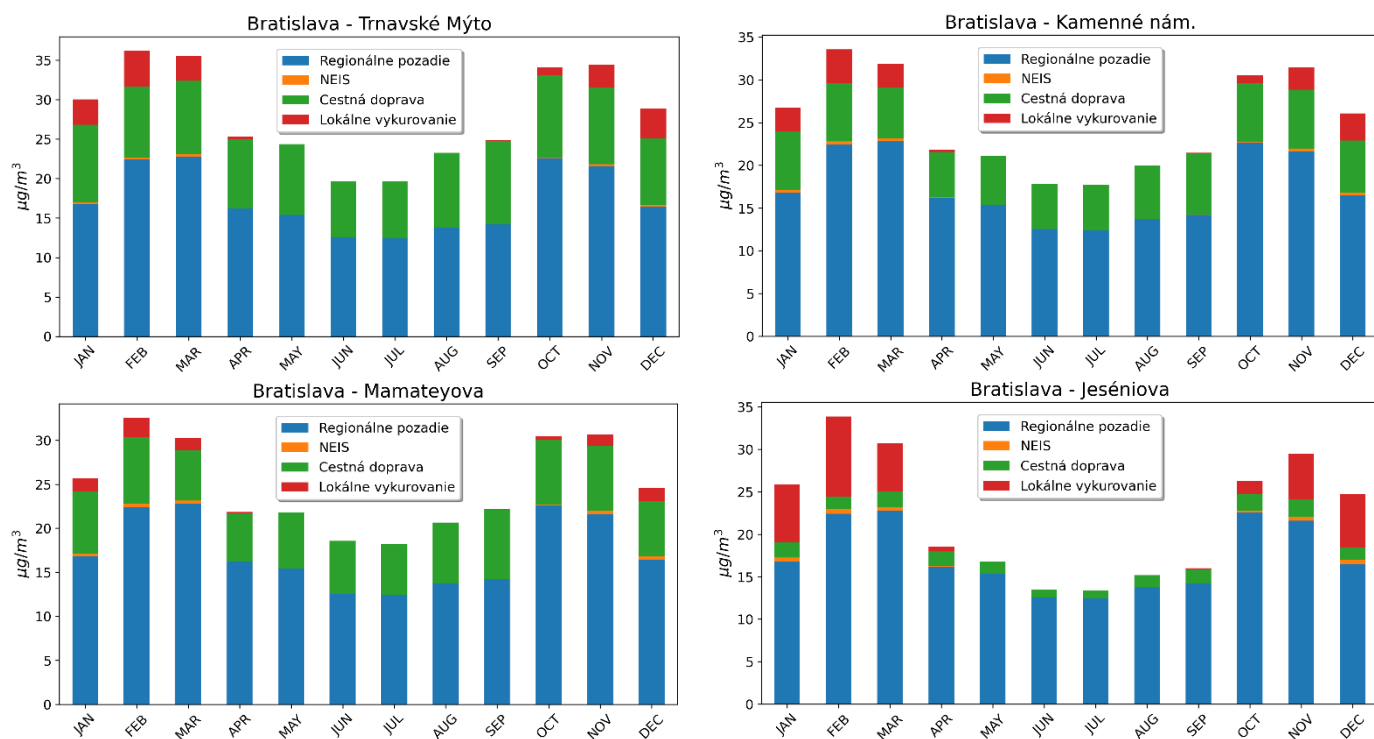


Obr. 11 Rozloženie priemerných ročných koncentrácií $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) - celkových (vľavo hore), z cestnej dopravy (vpravo hore), z priemyselných zdrojov (vľavo dole) a z lokálneho vykurovania (vpravo dole) vypočítané kombináciou modelov RIO, CALPUFF a IFDM-traffic

Grafy na Obr. 9 ukazujú, že v prípade PM príspevky z regionálneho prenosu tvoria viac ako polovicu až dve tretiny celkových priemerných ročných koncentrácií. V priemerných mesačných koncentráciách (Obr. 12) a denných koncentráciách tento podiel kolíše, dá sa povedať, že čím kratšie priemerovacie obdobie, tým je variabilita príspevku regionálneho pozadia vyššia.

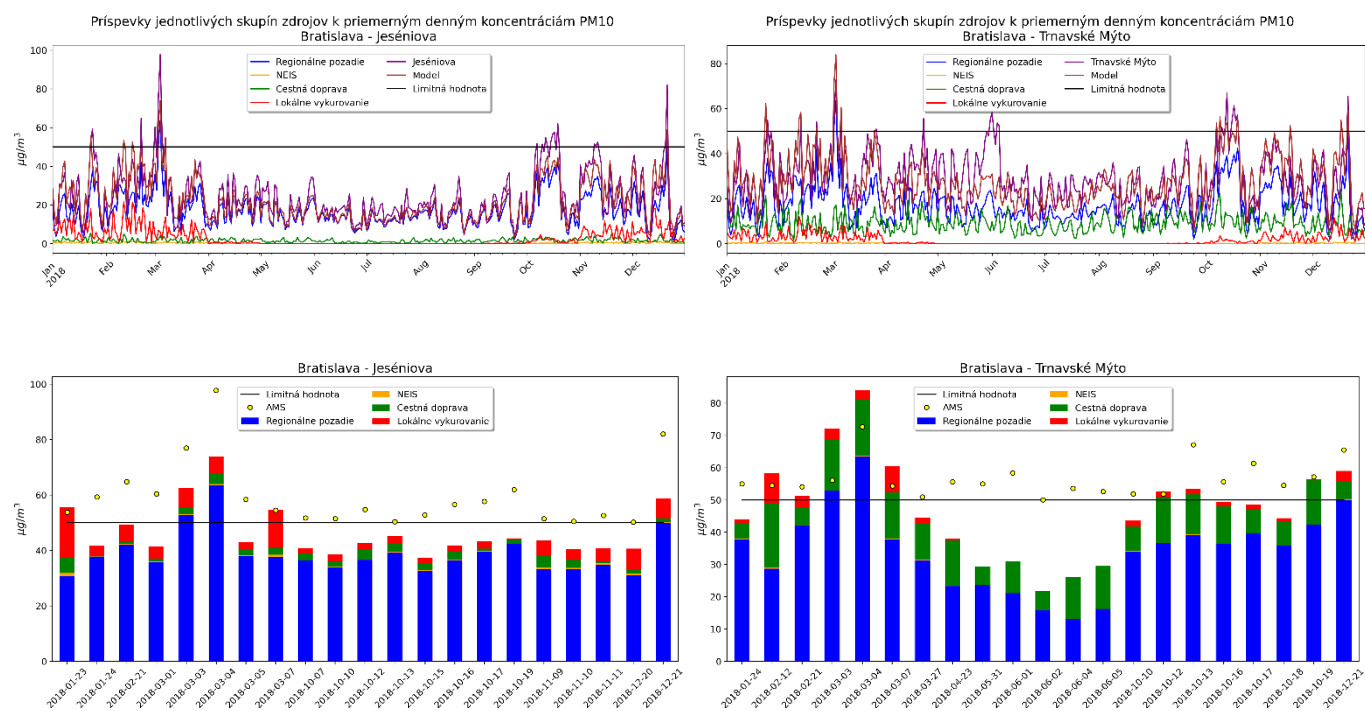
Na Obr. 13 sú zobrazené príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným denným koncentráciám PM_{10} v dňoch, kedy prišlo k prekročeniu priemernej dennej limitnej hodnoty. Zatiaľ čo na mestskej požadovej stanici má model tendenciu koncentrácie podhodnocovať viac-menej konzistentne, na dopravnej stanici Trnavské Mýto je

podhodnotenie v letných mesiacoch oveľa výraznejšie. Na rozdiel od Jeseniovej, na Trnavskom Mýte došlo k viacerým



Obr. 12 Príspevky jednotlivých skupín emisných zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám PM₁₀ v miestach monitorovacích staníc kvality ovzdušia (NMSKO).

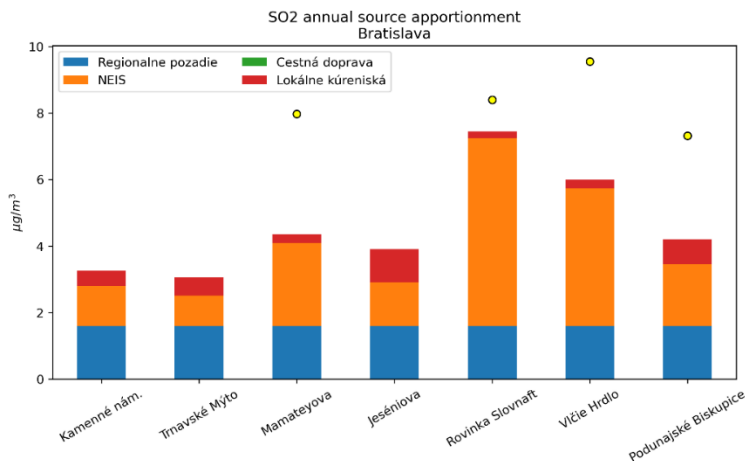
prekročeniam priemernej dennej limitnej hodnoty aj v letných mesiacoch, kde podhodnotenie modelom je extrémne výrazné. Počas prvého polroka 2018 však na Trnavskom Mýte prebiehala rozsiahla rekonštrukcia podchodu, čo zrejme značne prispelo k emisiám prachových častíc, avšak tieto nie sú v emisnej databáze podchytené, takže ani model s nimi nepočítal.



Obr. 13 Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným denným koncentráciám PM₁₀ (hore) a počas dní kedy sa vyskytlo prekročenie priemernej dennej limitnej hodnoty (dole) na dvoch vybraných monitorovacích staniciach (AMS – hodnoty namerané na monitorovacej stanici)

5.4.1.3 Oxid siričitý SO₂

SO₂ nemá legislatívne určenú priemernú ročnú hodnotu pre ochranu zdravia ľudí, iba kritickú priemernú ročnú úroveň pre ochranu vegetácie – 20 µg.m⁻³, pričom táto sa počíta iba počas zimnej sezóny (január-marec, október-december). Regionálne pozadie SO₂ je pomerne nízke (v priemere okolo 3 µg.m⁻³). Z Tab. 2 je zrejmé, že Slovnaft je majoritným zdrojom SO₂ na území mesta (emisie SO₂ z lokálnych kúrenísk a dopravy sú zanedbateľné). Keďže väčšina týchto emisií je vypúšťaná vysokými komínmi, v priemerných ročných hodnotách, ani v priemerných hodnotách zimnej sezóny koncentrácie SO₂ (vrátane pozadia) nepresahujú v obývaných oblastiach kritickú hodnotu pre ochranu vegetácie.



Obr. 14 Analýza príspevkov jednotlivých skupín zdrojov znečisťovania ku koncentráciám SO₂ v miestach monitorovacích staníc (stĺpce reprezentujú koncentrácie vypočítané matematickým modelom, žlté body zobrazujú hodnoty namerané na monitorovacích staniciach).

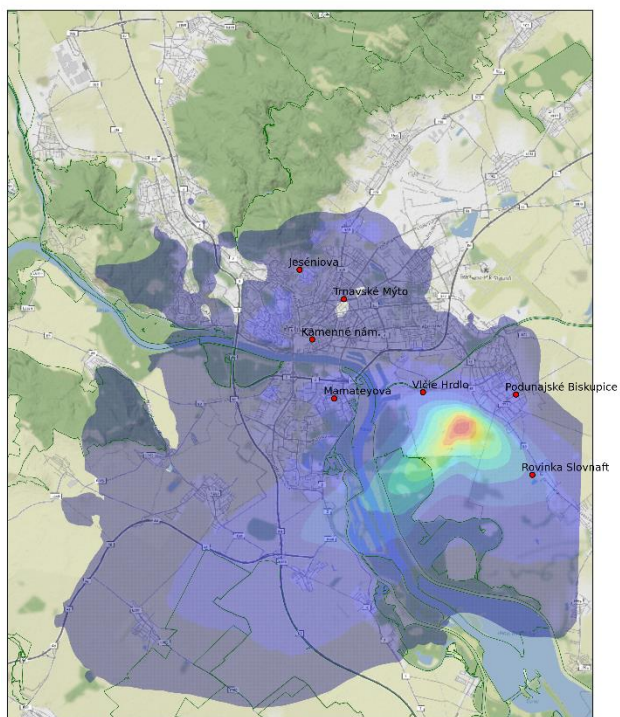
Pozn.: Danú znečisťujúcu látku nemerajú všetky zobrazené monitorovacie stanice

Vzhľadom na to, že modelové výpočty v prípade SO₂ značne podhodnotili koncentrácie namerané na monitorovacích staniciach, je dosť pravdepodobné, že sú aj koncentrácie na mapách Obr. 15 podhodnotené. I tieto pravdepodobne podhodnotené koncentrácie však v zimnom priemere presahujú limitnú úroveň pre ekosystémy v tesnej blízkosti rafinérie a zasahujú pomerne veľkú časť Kopáčskeho ostrova. Kopáčsky ostrov je súčasťou územia európskeho významu NATURA 2000 Biskupické luhy (na mape ohraničené zelenou čiarou).

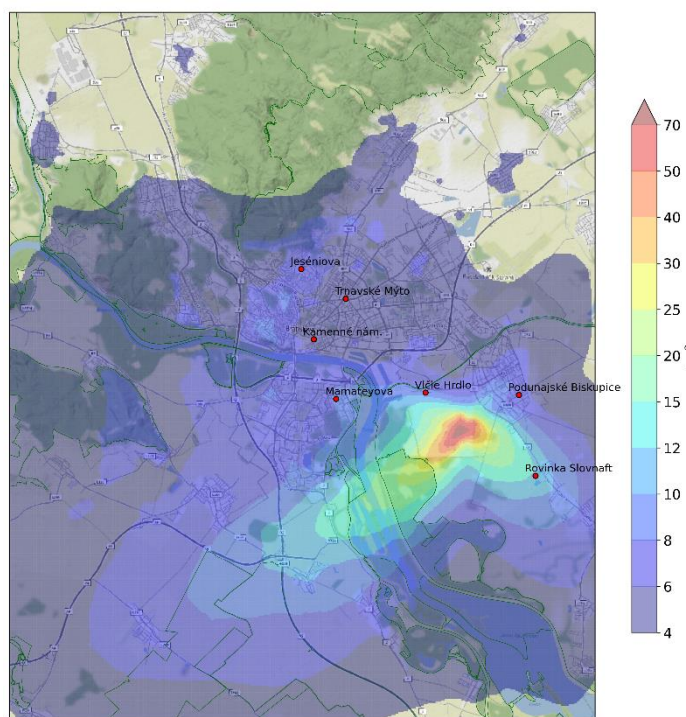
Koncentrácie SO₂ sú známou znečisťujúcou látkou spôsobujúcou poškodenie vegetácie. Riziko pre rastliny závisí od schopnosti tolerancie, koncentrácie v okolitom ovzduší a dĺžke expozície. Najcitlivejšou skupinou sú machy a lišajníky. Zmeny v spoločenstve lišajníkov boli zaznamenané už pri priemernej ročnej koncentrácii pod 10 µg.m⁻³ (Will-Wolf, 1981). Ročná priemerná koncentrácia 30 µg.m⁻³ je dostatočne vysoká na odstránenie najcitlivejších druhov zo spoločenstva (WHO, 2000).

Predmetom ochrany ÚEV Biskupické luhy sú biotopy - Karpatské a panónske dubovo-hrabové lesy, suchomilné travinobylinné a krovinné porasty na vápnom podlaží (dôležité stanovišťa Orchideaceae), prirodzené eutrofné a mezotrofné stojaté vody s vegetáciou plávajúcich a/alebo ponorených cievnatých rastlín typu Magnopotamion alebo Hydrocharition, lužné dubovo-brestovo-jaseňové lesy okolo nížinných riek, teplomilné panónske dubové lesy, xerothermné kroviny, lužné vrbovo-topoľové a jelšové lesy. Pri dlhodobom vystavení aj nižším koncentráciám SO₂ môžu nastať zmeny v druhovom zložení chránených spoločenstiev (ŠOP, 2020).

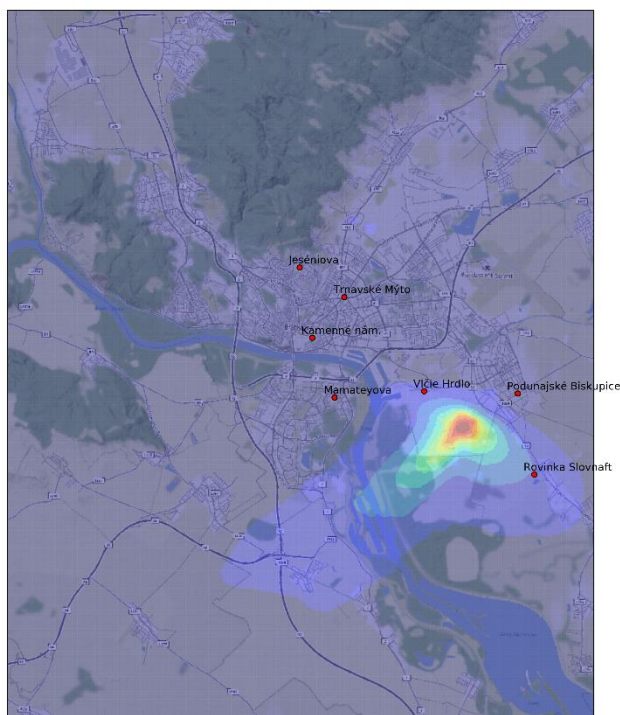
Priemerné ročné koncentrácie SO₂ - 2018
(c > 3.0 µg/m³)



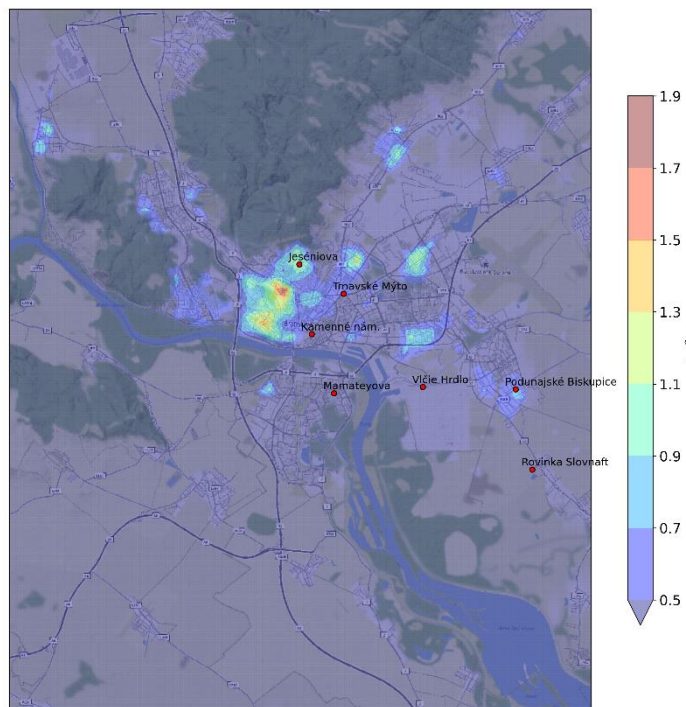
Priemerné zimné koncentrácie SO₂ - 2018
(c > 4.0 µg/m³)



Priemerné ročné koncentrácie SO₂ - 2018
(NEIS)



Priemerné ročné koncentrácie SO₂ - 2018 - Lokálne kúreniská

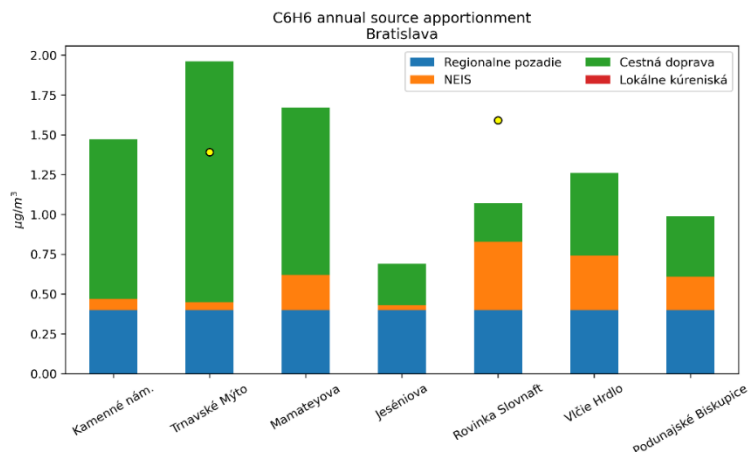


Obr. 15 Rozloženie priemerných ročných koncentrácií SO₂ – celkový ročný priemer (vľavo hore), celkový priemer zimných mesiacov (vpravo hore), príspevok z priemyselných zdrojov (vľavo dole) a príspevok z lokálneho vykurovania (vpravo dole). Vplyv emisií SO₂ z cestnej dopravy je zanedbateľný.

5.4.1.4 Benzén C₆H₆

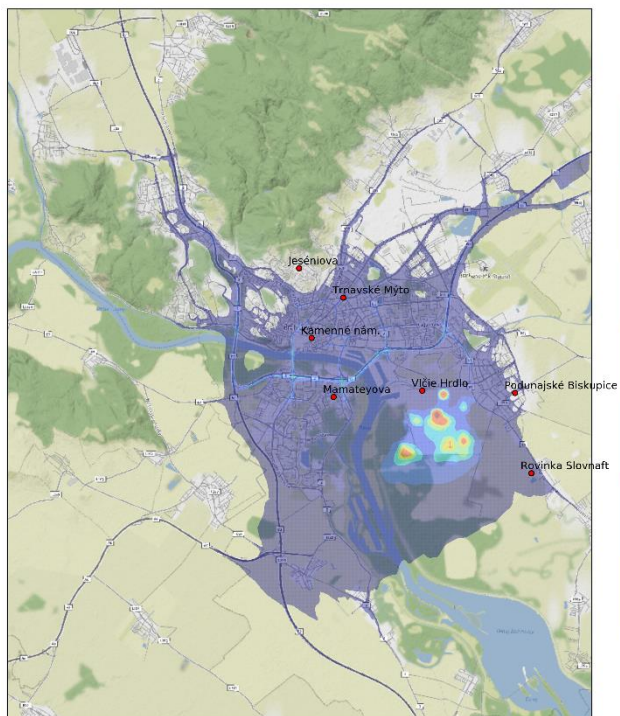
Graf na Obr. 16 ukazuje podiely jednotlivých skupín zdrojov na priemerných ročných koncentráciách benzénu. Ako vidno, najväčší podiel má na väčšine staníc doprava, okrem stanice Rovinka, kde má najvyšší podiel rafinéria Slovnaft. Žiadna z monitorovacích staníc však zďaleka neprekračuje limitnú hodnotu priemernej ročnej koncentrácie 5 µg.m⁻³.

Na Obr. 17 je priestorové rozloženie priemerných ročných koncentrácií benzénu, pričom celkové koncentrácie sú zobrazené iba nad $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, aby bol vplyv emisných zdrojov lepšie pozorovateľný. Nadlimitné hodnoty sú dosahované iba v rámci areálu rafinérie Slovnaft a v jeho tesnej blízkosti. Cestná doprava je tiež významným zdrojom benzénu, vyššie hodnoty koncentrácií sú však dosahované iba v tesnej blízkosti cestných komunikácií.

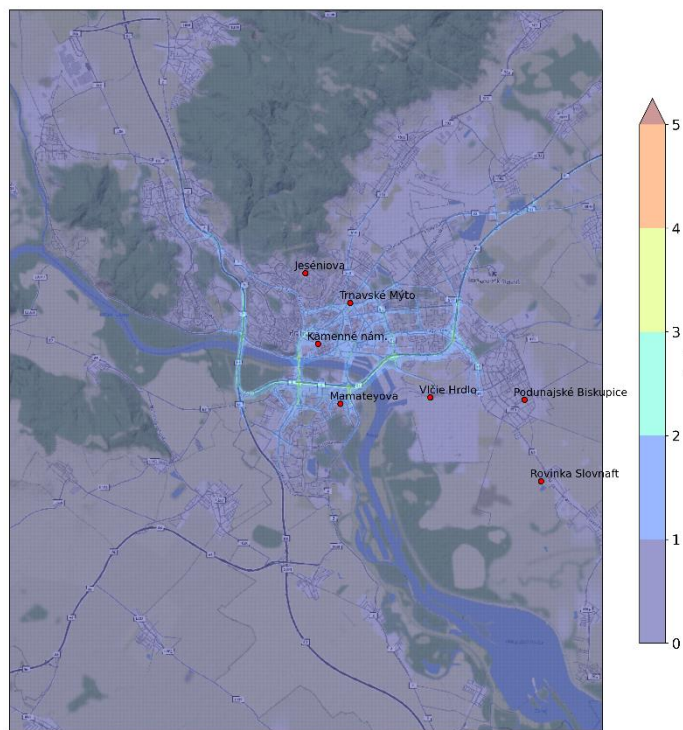


Obr. 16 Analýza príspevkov jednotlivých skupín zdrojov znečisťovania ku koncentráciám C_6H_6 v miestach monitorovacích staníc (stĺpce reprezentujú koncentrácie vypočítané matematickým modelom, žlté body zobrazujú hodnoty namerané na monitorovacích staniciach). Pozn.: Danú znečisťujúcu látku merali v roku 2018 iba dve monitorovacie stanice

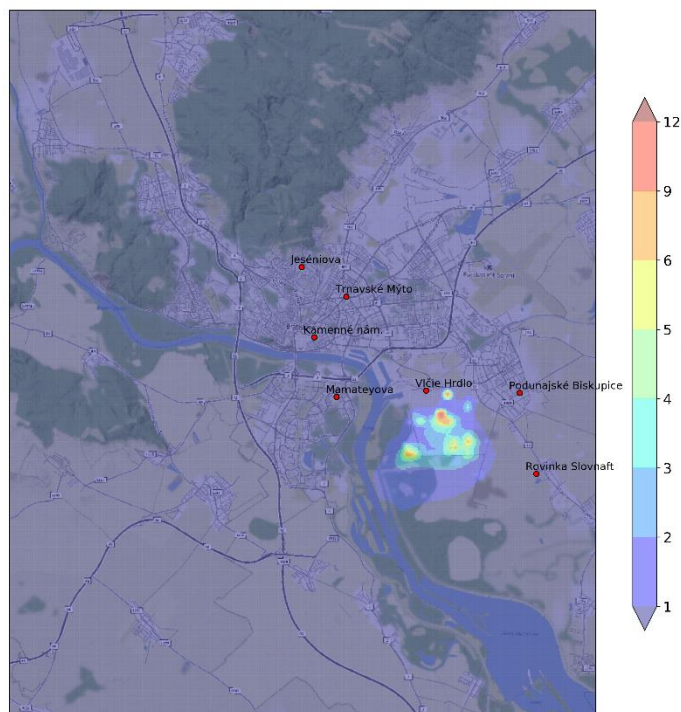
Priemerné ročné koncentrácie C_6H_6 - 2018
($c > 1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$)



Priemerné ročné koncentrácie C_6H_6 - 2018 - Cestná doprava



Priemerné ročné koncentrácie C6H6 - 2018
(NEIS)

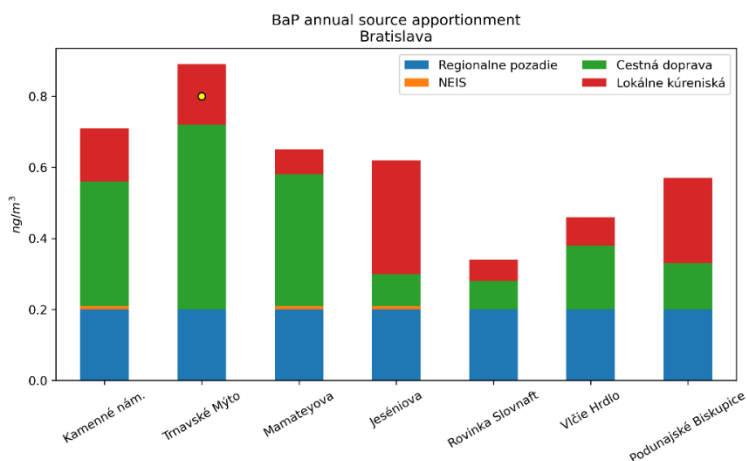


Obr. 17 Rozloženie priemerných ročných koncentrácií benzénu - celkových (vľavo hore), z cestnej dopravy (vpravo hore), z priemyselných zdrojov (vľavo dole). Emisie benzénu z lokálneho vykurovania sú zanedbateľné.

5.4.1.5 Benzo(a)pyrén – BaP

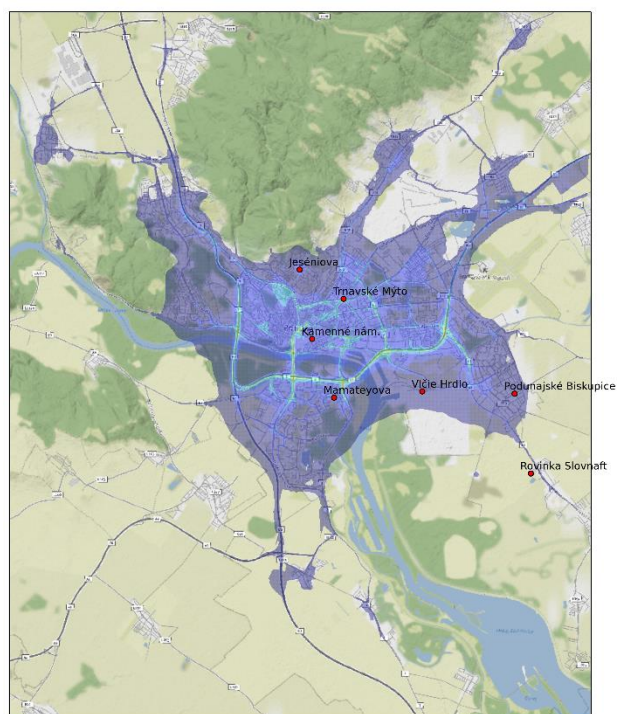
Emisie BaP z priemyselných zdrojov na území mesta sú veľmi nízke v porovnaní napr. s emisiami z dopravy alebo lokálnych kúrenísk. Keďže ide hlavne o zdroje z komínov, ich príspevok v dýchacej zóne nad zemou je zanedbateľný, v maximách nedosahuje ani 0.1 % z limitnej hodnoty. Z grafu na Obr. 18 vidno, že najviac ku koncentráciám BaP prispieva doprava, ale v obytných častiach mesta s vyšším podielom lokálneho vykurovania nadobúda väčší význam spaľovanie tuhých palív (hlavne na báze dreva). Vzhľadom na problematickú inventarizáciu lokálnych kúrenísk v Bratislave je však vplyv spaľovania dreva skôr nadhodnotený (viď kapitola 4.3).

Obr. 19 zobrazuje priestorové rozloženie celkových priemerných ročných koncentrácií BaP, rozloženie príspevkov z lokálnych kúrenísk a z cestnej dopravy. Príspevok zdrojov NEIS nie je zobrazený, lebo je prakticky zanedbateľný (Vid' Obr. 18).

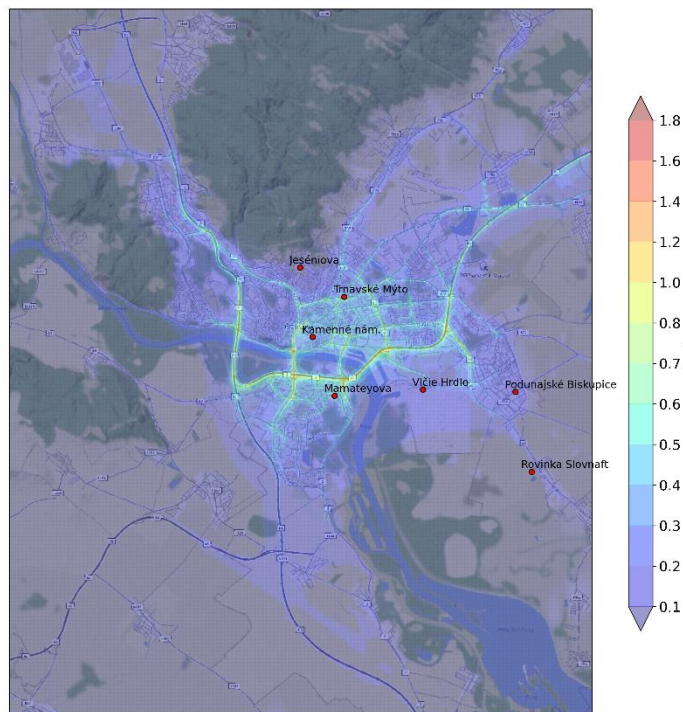


Obr. 18 Analýza príspevkov jednotlivých skupín zdrojov znečisťovania ku koncentráciám BaP v miestach monitorovacích staníc (stĺpce reprezentujú koncentrácie vypočítané matematickým modelom, žltý bod zobrazuje hodnoty namerané na monitorovacej stanici). Pozn.: Danú znečisťujúcu látku merala v roku 2018 iba jedna monitorovacia stanica

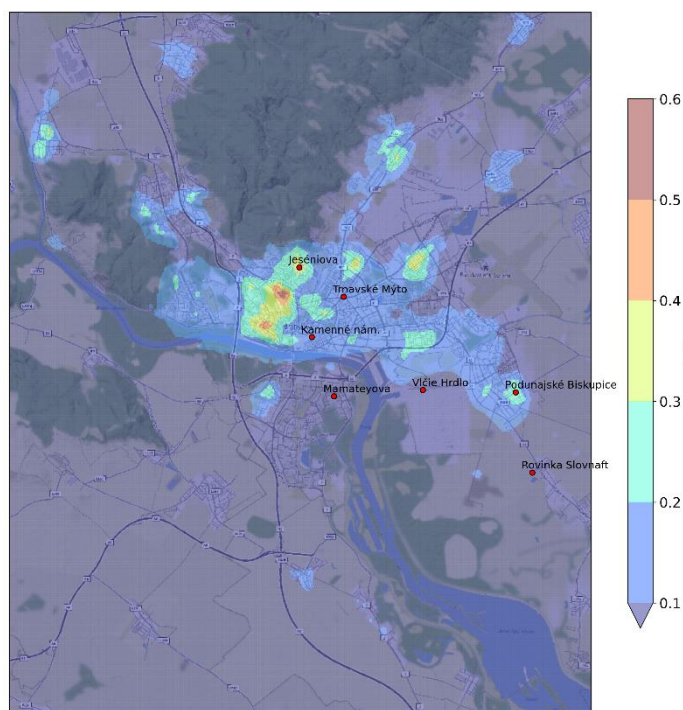
Priemerné ročné koncentrácie BaP - 2018
($c > 0.4 \text{ ng/m}^3$)



Priemerné ročné koncentrácie BaP - 2018 - Cestná doprava



Priemerné ročné koncentrácie BaP - 2018 - Lokálne kúreniská



Obr. 19 Celkové priemerné ročné koncentrácie BaP (vľavo hore), príspevok z cestnej dopravy (vpravo hore) a z lokálneho vykurovania (vpravo dole). Príspevok z priemyselných zdrojov NEIS je zanedbateľný. (Zobrazené koncentrácie sú v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$)

5.4.2 Identifikácia možných epizód vysokých koncentrácií

Aktuálne znečistenie ovzdušia závisí v priebehu roka hlavne od poveternostných podmienok. Za určitých situácií, kedy je rozptyl znečisťujúcich látok značne obmedzený napr. pretrvávajúcou teplotnou inverziou, budú koncentrácie hlavne z nízkych zdrojov emisií značne vysoké, zatiaľ čo počas veterných dní budú z pochopiteľných dôvodov oveľa nižšie. Ako už bolo spomenuté, najvýznamnejším priemyselným zdrojom znečisťovania v Bratislave je rafinéria Slovnaft. V prípade SO_2 je okrem regionálneho pozadia prakticky výhradným prispievateľom, ako vidno aj z mapiek priemerných ročných koncentrácií a z grafov vyjadrujúcich príspevky jednotlivých skupín zdrojov. V prípade benzénu je tiež v podstate najvýznamnejším prispievateľom popri cestnej doprave – ktorej emisie sú na rozdiel od rafinérie priestorovo značne

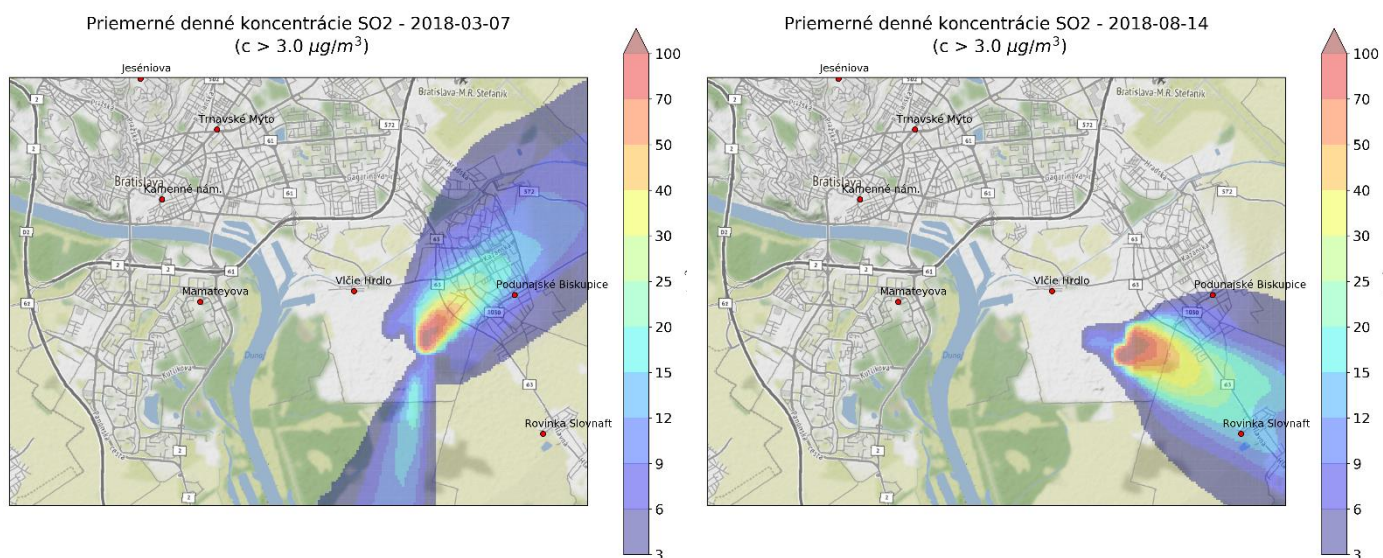
distribúované. V absolútnych hodnotách však ide v obývaných oblastiach o hodnoty koncentrácií značne pod limitnými hodnotami predpísanými zákonom o ovzduší. Z Obr. 22 a Obr. 23 však vidno, že priebeh koncentrácií počas roka zďaleka nie je rovnomerný – priemerné denné hodnoty koncentrácií v niektorých dňoch dosahujú pomerne vysoké koncentrácie, obzvlášť v prípade benzénu. Preto sa v nasledujúcej analýze pozrieme na priestorové rozloženie koncentrácií počas niektorých zaznamenaných epizód.

Na Obr. 20 sú zobrazené niektoré vybrané epizódy vysokých koncentrácií SO₂ vo forme priemernej dennej koncentrácie v daný deň. Vysoké komíny, z ktorých je vlečka SO₂ emitovaná, síce väčšinu roka dokážu zabezpečiť pomerne dobrý rozptyl, ale ako vidno, existujú situácie, počas ktorých sa vlečka viac dotýka zemského povrchu a citeľne ovplyvňuje v podstate ktorúkoľvek časť mesta od Petržalky, Starého a Nového Mesta až po Podunajské Biskupice a obec Rovinka. Na Obr. 21 sú podobným spôsobom zobrazené priemerné denné koncentrácie benzénu. Benzén je emitovaný z nízkych zdrojov Slovnaftu, preto jeho vlečka nemá až taký horizontálny dosah, ako v prípade SO₂. Treba mať tiež na pamäti, že koncentrácie zobrazené na mapkách sú vypočítané modelom, ktorý podľa meraní v Rovinke koncentrácie značne podhodnocuje (Obr. 23). Napr. pri epizóde z 2. januára je podhodnotenie až cca 10-násobné. Z tohto dôvodu nemožno vylúčiť, že koncentrácie nad 1 µg.m⁻³ zasahujú v skutočnosti do oveľa širšej oblasti (v prípade epizódy 21. júla je podhodnotenie v Rovinke cca 5 násobné, 3. novembra je minimálne).

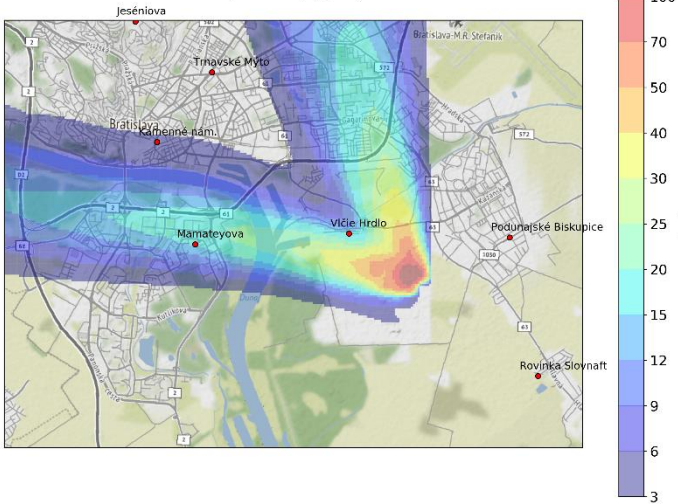
Pre SO₂ je okrem limitnej priemernej ročnej hodnoty pre ochranu ekosystémov stanovená aj priemerná denná limitná hodnota 125 µg.m⁻³, ktorá nesmie byť prekročená viac ako 3x v kalendárnom roku, a priemerná hodinová limitná hodnota 350 µg.m⁻³, ktorá nesmie byť prekročená viac ako 24x v kalendárnom roku pre konkrétne miesto.

Tieto krátkodobé limity neboli prekročené na žiadnej monitorovacej stanici v okolí Slovnaftu.

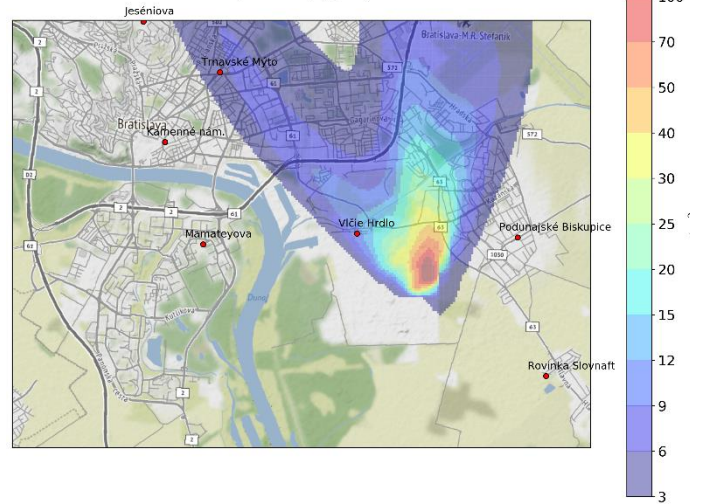
Poznámka: Spôsob identifikácie epizód zvýšených koncentrácií pre SO₂ aj benzén boli identifikované na základe priemerných denných koncentrácií nameraných na monitorovacích staniciach v okolí Slovnaftu, alebo (v prípade benzénu) na základe priemerných denných koncentrácií vypočítaných modelom CALPUFF.



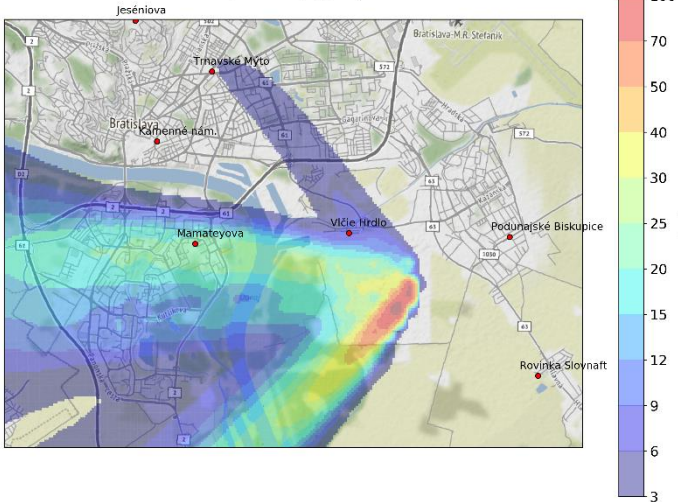
Priemerné denné koncentrácie SO₂ - 2018-10-29
(c > 3.0 µg/m³)



Priemerné denné koncentrácie SO₂ - 2018-10-30
(c > 3.0 µg/m³)

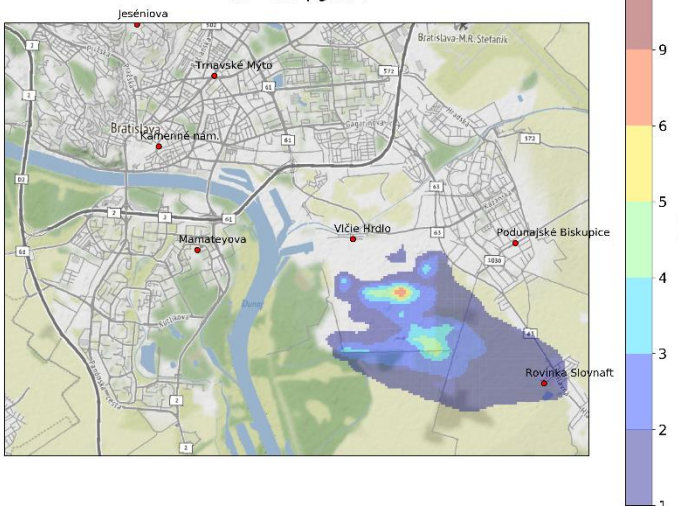


Priemerné denné koncentrácie SO₂ - 2018-11-09
(c > 3.0 µg/m³)

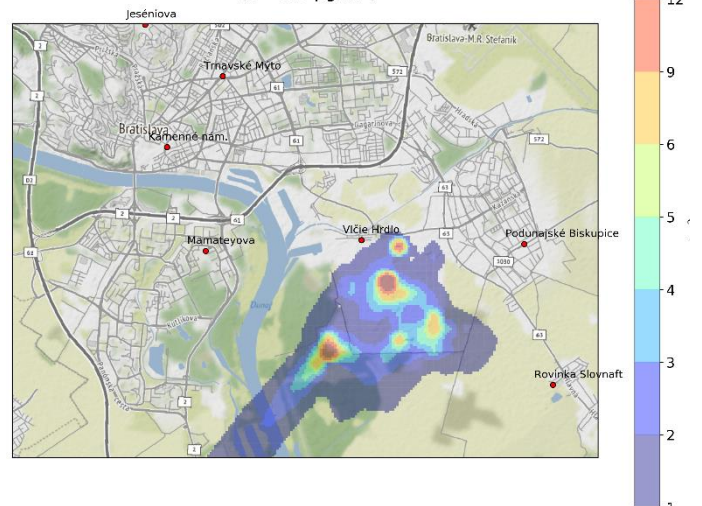


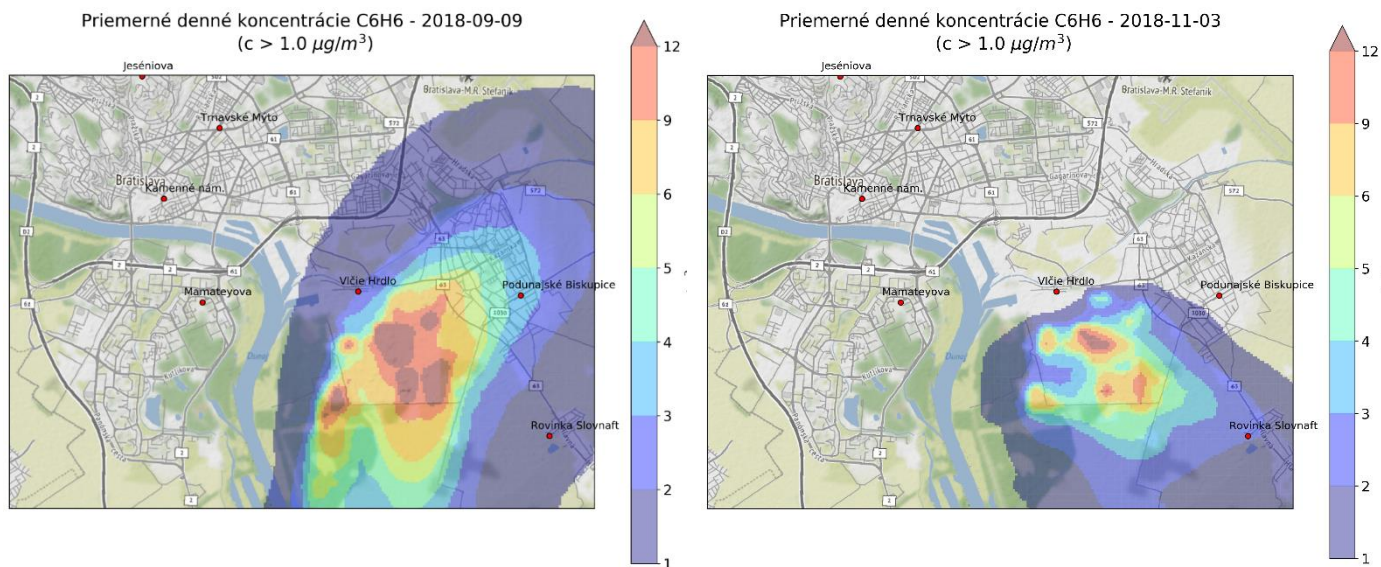
Obr. 20 Vybrané epizódy vysokých koncentrácií SO₂ z rafinérie Slovnaft (nie je zahrnuté pozadie)

Priemerné denné koncentrácie C₆H₆ - 2018-01-02
(c > 1.0 µg/m³)



Priemerné denné koncentrácie C₆H₆ - 2018-07-21
(c > 1.0 µg/m³)





Obr. 21 Vybrané epizódy vysokých priemerných denných koncentrácií benzénu z rafinérie Slovnaft (nie je zahrnuté pozadie)

5.4.3 Validácia výsledkov modelovania v miestach monitorovacích staníc

Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcich sekciách, modelovanie kvality ovzdušia je spojené s mnohými neurčitostami, vyplývajúcimi hlavne z kvality vstupných meteorologických a emisných dát, pričom tie posledné sú zdrojom oveľa vyšších neistôt. Emisné dáta pre model sú potrebné vo vysokom priestorovom rozlíšení a s priradenými časovými profilmi. Časové rozlíšenie vieme do určitej miery zohľadniť pri emisiách z lokálnych kúrenísk, kde môžeme vychádzať z priemerných denných teplôt, ktoré indikujú energiu potrebnú na vykurovanie, a teda aj emisie. Predpokladáme však, že tieto emisie sú rovnomerne rozložené počas dňa. Rovnako vieme zohľadniť v prípade dopravy priemerný denný chod emisií súvisiaci s dopravnými špičkami. Pri emisiách z priemyselných zdrojov berieme do úvahy, či ide o zdroj celoročný, alebo sezónny (napr. tepláreň). Niektoré veľké zdroje emisií majú povinnosť monitorovania svojich emisií a je možné získať ich časový priebeh, týchto zdrojov je však menšina. Ostatné zdroje v NEIS reportujú emisie vypočítané na základe typu technológie, príslušného merateľného parametra (napr. množstvo spotrebovaného paliva, objem výroby a pod.) a emisných faktorov dostupných z dokumentácie. Tieto emisie sú tiež spojené s vysokou mierou neurčitosti. Zo všetkých týchto dôvodov je potrebná validácia modelových výsledkov oproti meraným hodnotám na monitorovacích staniciach kvality ovzdušia. Priemerné ročné hodnoty sú najrobustnejším štatistickým parametrom, ktorý model dokáže zvyčajne predpovedať pomerne úspešne. Validácia oproti kratším časovým intervalom – napr. denným priemerom – obyčajne odhalí slabiny simulácie vyplývajúce z vyššie uvedených neistôt. V Tab. 4 sú uvedené základné štatistiky vyplývajúce z porovnania modelovaných a nameraných priemerných denných hodnôt koncentrácií v miestach monitorovacích staníc NMSKO pre tri základné znečisťujúce látky. Výsledky validácie sa značne líšia v závislosti od typu stanice a do určitej miery aj od znečisťujúcej látky. Vysoká korelácia modelu a meraní v prípade PM je do istej miery daná aj vysokým podielom regionálneho pozadia, ktoré bolo modelované na základe interpolácie meraných dát po odstránení vplyvu prostredia, v ktorom sú umiestnené (model RIO – Janssen a kol., 2008). V prípade všetkých troch znečisťujúcich látok má najhoršie výsledky dopravná stanica Trnavské Mýto. Je to dané do veľkej miery aj vysokými priestorovými gradientmi koncentrácií v tesnej blízkosti cesty, kde i malé priestorové posunutie spôsobuje veľkú zmenu hodnoty koncentrácie. Keďže lokálny príspevok je v prípade NO_2 oveľa vyšší ako v prípade PM, vplyv lokálneho modelu na hodnotu korelácie priemerných denných koncentrácií je výraznejší ako v prípade PM. K horším validačným výsledkom na Trnavskom Mýte zrejme prispieva aj poloha v tesnej blízkosti malého parkoviska, ktorého emisie nevieme kvantifikovať.

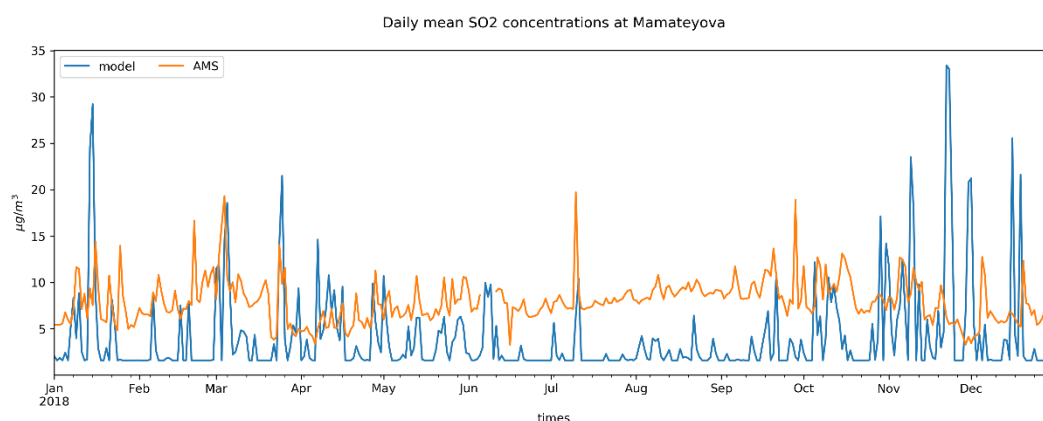
V modelovej doméne Bratislavy sa nachádzajú 4 monitorovacie stanice NMSKO spravované SHMÚ a ďalšie 3 monitorovacie stanice patriace rafinérii Slovnaft. Tieto stanice nie sú súčasťou NMSKO, ale musia spĺňať legislatívne kvalitatívne normy, preto sú tiež do našej validácie zahrnuté. Nie všetky stanice merajú všetky relevantné znečisťujúce látky. Na Obr. 6, Obr. 9, Obr. 14, Obr. 16 a Obr. 18 sú uvedené grafy modelovaných priemerných ročných koncentrácií v miestach monitorovacích staníc a príslušných nameraných koncentrácií pre znečisťujúce látky dostupné na danej stanici (dostupnosť je indikovaná žltým krúžkom vyjadrujúcim nameranú hodnotu). Ako vidno, niektoré znečisťujúce látky, ako napr. BaP, $\text{PM}_{2,5}$ a benzén, boli merané iba na jednej, resp. niekoľkých málo staniciach.

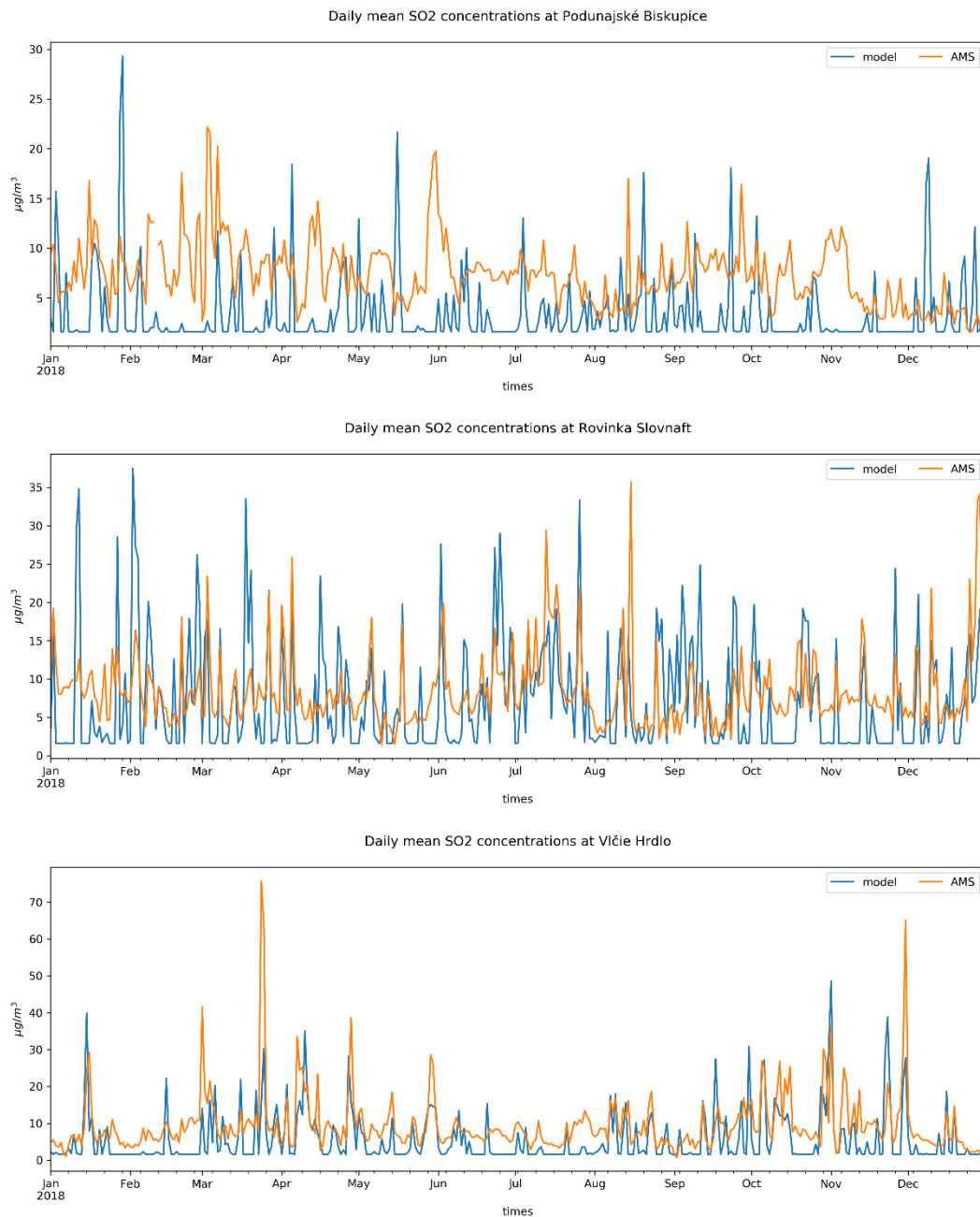
Tab. 4 Validácia priemerných denných hodnôt model vs. merania - základné validačné štatistiky

Monítrovacia stanica NMSKO	PM ₁₀			PM _{2,5}			NO ₂		
	Korel. koef.	RMSE	Bias	Korel. koef.	RMSE	Bias	Korel. koef.	RMSE	Bias
Trnavské Mýto	0.74	8.54	-1.17	--	--	--	0.32	20.06	0.05
Mamateyova	0.90	5.87	-1.02	0.94	4.71	-1.58	0.68	20.22	14.66
Jeséniova	0.89	6.57	-2.22	0.93	4.91	-2.19	0.80	10.02	5.39
Kamenné nám.	0.87	6.52	-1.49	0.90	5.98	-3.43	--	--	--

Z grafov vidno, že pre väčšinu staníc a znečisťujúcich látok má model tendenciu mierne nadhodnocovať priemerné ročné koncentrácie, ale rozdiely medzi modelovými a nameranými hodnotami priemerných ročných koncentrácií sú v prípade PM a NO₂ v pomerne dobrej zhode dokonca aj v na dopravnej stanici Trnavské Mýto, ktorá dosahovala najnižšie korelácie. V prípade PM a BaP je nadhodnotenie pravdepodobne spôsobené nadhodnotením emisií z lokálnych kúrenísk, ktoré vyplýva z použitého emisného modelu (základným vstupom preň sú dáta zo sčítania obyvateľstva 2011, extrapolované na pomerne dlhé obdobie 7 rokov). V prípade SO₂ však model pomerne silno podhodnocuje priemerné ročné koncentrácie na väčšine staníc s dostupnými meraniami. Vzhľadom na to, že pozadie pre SO₂ je pomerne nízke – len okolo 3 µg.m⁻³ – a Slovnaft je takmer výlučným zdrojom SO₂ na území Bratislavy, podhodnotenie môže nastať z nasledujúcich príčin, pričom nie je vylúčené, že platí viacero z nich súčasne:

- Emisie sú v realite veľmi nerovnomerne rozložené počas roka a väčšina z nich sa odohráva za nepriaznivých rozptylových podmienok (zimné obdobie, nočné alebo skoré ranné hodiny)
- Model podhodnocuje výpočet koncentrácií z vysokých zdrojov (komínov)
- Regionálne pozadie je podhodnotené
- Celkové emisie SO₂ sú podhodnotené – Slovnaft má inštalované kontinuálne merače emisií SO₂ spĺňajúce legislatívne podmienky na všetkých významných komínoch. Časť emisií, ktoré nevychádzajú z meraných komínov, je počítaná na základe schválených metodík pre príslušnú technológiu.



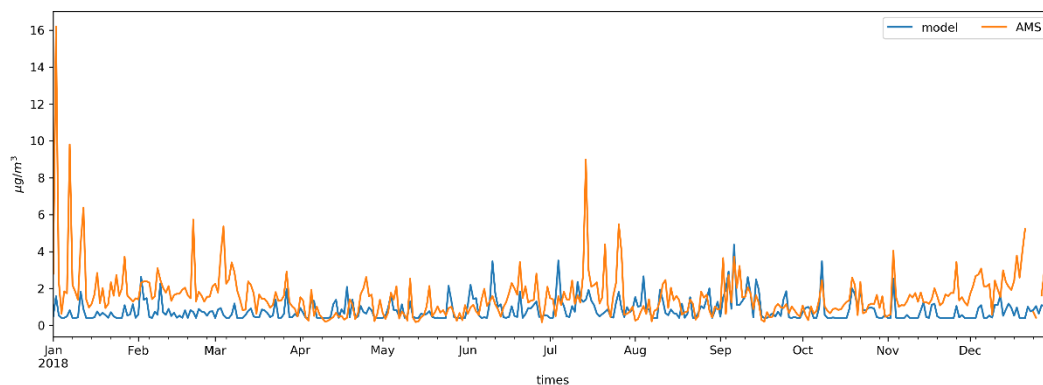


Obr. 22 Priemerné denné koncentrácie SO₂ na monitorovacích staniciach v porovnaní s výstupom z modelu.

Na Obr. 22 sú zobrazené priemerné denné koncentrácie SO₂ namerané na monitorovacích staniciach v porovnaní s výstupom z modelu. Ako vidno, model väčšinou zachytával pomerne dobre maximá koncentrácií (Rovinka, Vlčie Hrdlo), ale nižšie hodnoty koncentrácií značne podhodnocoval, čo by mohlo poukazovať na nesprávne vyhodnotenie rozptylových podmienok vzhľadom na výšku komínových vlečiek. Na staniciach Mamateyova a Podunajské Biskupice sú však často aj maximá koncentrácií podhodnotených, v niektorých dňoch zimného obdobia dokonca značne nadhodnotených, čo môže poukazovať na kombináciu všetkých uvedených zdrojov chýb.

V prípade benzénu (C₆H₆) sú k dispozícii iba merania na Trnavskom Mýte (dopravná stanica) a v Rovinke. Na Trnavskom Mýte je hlavným prispievateľom cestná doprava, v Rovinke je to Slovnaft spolu s cestnou dopravou. Obr. 23 zobrazuje namerané a modelové priemerné denné koncentrácie benzénu v Rovinke. Modelové výsledky značne podhodnocujú koncentrácie v Rovinke. Keďže v prípade Slovnaftu nejde o vysoké komíny, nemáme dôvod domnievať sa, že by model ich výpočet v nejakej relevantnej miere podhodnocoval. V tomto prípade môže ísť skôr o nerovnomerné rozloženie reportovaných emisií v čase, resp. nezapočítanie možných epizód s neštandardne vysokými emisiami benzénu.

Daily mean C6H6 concentrations at Rovinka Slovnaft



Obr. 23 Priemerné denné koncentrácie benzénu namerané na stanici v Rovinke, v porovnaní s výstupom z modelu

Emisie priemyselných zdrojov sú v modeli reprezentované ako kontinuálne s priemerným hodinovým emisným tokom vyjadreným ako 1/8760 hodnoty ročného toku uvedeného v databáze NEIS (sezónne zdroje sú reprezentované iba počas vykurovacej sezóny). V realite však tieto emisie nie sú celkom kontinuálne, dokonca pri rôznych výpadkoch a nábehoch technológií môže dochádzať k fluktuáciám emisií. Pri zdrojoch, ktoré nemajú kontinuálne meranie emisií, sú emisie vypočítavané na základe určitých expertných predpokladov a emisných faktorov vzťahujúcich sa k danej technológii. Navyše, v rámci priemyselných areálov môžu existovať ďalšie fugitívne zdroje emisií, ktoré nie je prevádzkovateľ povinný reportovať, pretože je problematické ich vyčíslieť a v celkových emisiách prevádzkovateľa sú zanedbateľné. Pre blízke okolie však môžu mať nezanedbateľný význam.

Nesúlad niektorých vysokých nameraných údajov na niektorých staniciach a výsledkov modelových simulácií tiež naznačuje, že emisie nie sú rovnomerne rozložené počas roka (ako to predpokladá model), prípadne, že časť emisií, nie je v emisnom reportingu podchytená. Toto však platí aj pre emisie z ostatných prispievajúcich emisných sektorov, ako je doprava, prípadne lokálne kúreniská.

Treba tiež pamätať na to, že matematický model je iba priblížením reality a jeho výsledky sú zaťažené pomerne vysokou mierou neistoty, ktorá je spojená s použitou mierou zjednodušenia fyzikálnych procesov, ale hlavne s neistotami vnášanými do modelu cez vstupné dáta. Najväčšou mierou neistoty sú zaťažené emisné vstupy. Preto je potrebné pozerať na kvantitatívne výsledky nie ako na absolútne hodnoty, ale ako na najpravdepodobnejšie hodnoty z pomerne širokého intervalu možných hodnôt.

6 ZÁVERY

Táto štúdia sa zaoberá kvalitou ovzdušia v Bratislave. V konečnom dôsledku bude jedným z hlavných podkladov pre vypracovanie Programu na zlepšenie kvality ovzdušia v Bratislave, a preto je hlavne cieleňá na vyhodnotenie miery vplyvu rôznych skupín zdrojov emisií na koncentrácie znečisťujúcich látok v dýchacej zóne a ich priestorové rozloženie, aby bolo možné zamerať opatrenia na zníženie emisií tam, kde je to najviac potrebné a kde to zároveň prinesie najvyšší efekt. Metóda, ktorá je na posúdenie použitá, zahŕňa simulovanie rozptylu znečisťujúcich látok zo zdrojov emisií na území hlavného mesta a blízkeho okolia pomocou deterministických matematických modelov CALPUFF a IFDM-traffic. Z analýzy je možné vyvodiť nasledujúce závery:

- Najväčším problémom Bratislavy sú emisie z cestnej dopravy. Tieto spôsobujú podľa nameraných údajov na dopravnej monitorovacej stanici Trnavské Mýto prekračovania priemerných ročných hodnôt NO₂ a benzo(a)pyrénu. Priemerné ročné hodnoty koncentrácií NO₂ sa v posledných rokoch pohybujú tesne nad alebo pod limitnou hodnotou, v závislosti od klimatických charakteristík daného roka.
- Emisie oxidov dusíka z dopravy v letnom období pri pôsobení slnečného žiarenia reagujú s prchavými uhľovodíkmi z rôznych zdrojov, pričom vytvárajú tzv. fotochemický smog. Spôsobujú tak vysoké koncentrácie prízemného ozónu v okrajových častiach Bratislavy. Obmedzenie dopravy na vyťažených cestných úsekoch by mohlo tak zároveň priniesť aj zníženie koncentrácií prízemného ozónu v okrajových častiach mesta.
- Prachové častice PM₁₀ a PM_{2,5} na monitorovacích staniciach v posledných rokoch neprekračujú ani priemerné ročné limitné hodnoty, ani (v prípade PM₁₀) maximálny povolený počet prekročení priemerných denných

limitných hodnôt koncentrácií.

- Výsledky modelových simulácií NO₂, PM₁₀ a PM_{2,5} ukazujú, že v Bratislave existujú aj miesta, kde je situácia pravdepodobne horšia ako na Trnavskom Mýte. Ide hlavne o ulice kaňonovitého typu s vysokou intenzitou dopravy, ako napr. Bajkalská, Šancová (vrátane Račianskeho Mýta), Štefánikova, Staromestská - Hodžovo nám. - Nám. 1. mája, Mlynské Nivy-Prievozska.
- Keďže od roku 2020 platí sprísnený limit pre priemernú ročnú koncentráciu PM_{2,5}, je dosť pravdepodobné, že na niektorej z monitorovacích staníc bude táto hodnota prekročená.
- Najväčší priemyselný znečisťovateľ na území mesta je rafinéria Slovnaft:
 - Má väčšinový podiel na emisiách NO₂, viac ako tretinový podiel na emisiách benzénu a je takmer výlučným zdrojom emisií SO₂. Jeho podiel na emisiách PM a BaP je pomerne nízky.
 - Napriek vysokým emisiám sa na koncentráciách NO₂ podieľa málo, pretože väčšina jeho emisií je vypúšťaná z vysokých komínov. To isté platí aj o SO₂ a BaP. Namerané priemerné ročné koncentrácie SO₂ na monitorovacích staniciach sú hlboko pod limitnou hodnotou na ochranu vegetácie. Modelované koncentrácie SO₂ sú značne podhodnotené. To môže mať viacero príčin – chyba modelu, podhodnotenie emisií, nerovnomerné rozloženie emisií v priebehu roka, a pod. Tieto príčiny budú predmetom ďalšieho výskumu.
 - V prípade benzénu je okrem rafinérie zdrojom aj automobilová doprava, jej emisie sú však distribuované v priestore pozdĺž dopravných tepien a majú aj rovnomernejší a predvídateľnejší časový profil.
 - Napriek tomu, že nie sú prekračované limitné hodnoty koncentrácií SO₂ a benzénu stanovené zákonom, obzvlášť na koncentráciách meraných na monitorovacích staniciach prevádzkovaných rafinériou v okolitých obývaných oblastiach je vidno, že počas roka dochádza ku krátkodobým epizodám zvýšených koncentrácií, počas ktorých sú zvýšenými koncentraciami zasiahnuté rôzne časti mesta podľa aktuálneho prevládajúceho prúdenia. Modelové výpočty však neindikujú, že by počas týchto epizód dochádzalo k prekračovaniu krátkodobých (hodinových) limitných hodnôt koncentrácií SO₂. Benzén nemá určenú krátkodobú limitnú hodnotu koncentrácie.
 - Podľa vyjadrení predstaviteľov Slovnaftu občasný zápach, ktorý obyvatelia okolia rafinérie môžu cítiť je spôsobený zmesou rôznych nemetánových prchavých uhľovodíkov (NMVOC), sírnych (H₂S, SO_x) a dusíkatých zlúčenín (NH₃, amíny). Periódy, kedy môžu byť tieto látky v ovzduší vnímané vo zvýšenej miere súvisia okrem výskytu nepriaznivých rozptylových podmienok s vykonávaním údržbárskych prác. Na tieto znečisťujúce látky (okrem benzénu a SO₂) nie sú stanovené zákonné limity koncentrácií pre ochranu zdravia obyvateľov.
 - Najzávažnejším zistením z hľadiska vplyvu Slovnaftu na kvalitu ovzdušia v Bratislave je potenciálne ohrozenie Kopáčskeho ostrova, ktorý je súčasťou územia európskeho významu NATURA2000 Biskupické luhy, kde priemerné ročné koncentrácie SO₂ za zimné obdobie podľa modelových výpočtov presahovali limitnú hodnotu pre ochranu vegetácie. Vzhľadom na neurčitosti spojené s modelovými výpočtami tam pre overenie Slovenský hydrometeorologický ústav plánuje umiestniť v čo najbližšej realizovateľnej dobe mobilnú monitorovaciu stanicu.
- Bratislava má veľké rezervy v inventarizácii zdrojov emisií:
 - Nedostupnosť aktuálnych údajov o intenzitách dopravy a zložení vozového parku, o bytoch v rodinných domoch (vek, stav rekonštrukcie, spôsob vykurovania a druh paliva), vnášajú do modelovania veľké neistoty.
 - Neexistuje databáza aspoň tých najdôležitejších stavebných projektov s údajmi relevantnými pre odhad emisií a modelovanie: začiatok a koniec stavebnej činnosti, jej priestorové vymedzenie, počet, druh a doba zapojenia stavebných mechanizmov so spaľovacími motormi, atď.). Tieto činnosti preto v modelovaní neboli zahrnuté. Vzhľadom na intenzívnu stavebnú činnosť na území mesta tak došlo na mnohých miestach k podhodnoteniu koncentrácií PM, NO₂ a BaP.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- Scire J.S., Robe F.R., Fernau M.E., Yamartino R.J.: *A User's Guide for the CALMET Meteorological Model*. Earth Tech, Inc., Concord, MA (2000a)
- ŠÚ SR, 2011: Sčítanie obyvateľov, domov a bytov.
- Scire, J.S., Strimaitis, D.G., Yamartino, R.J.: *A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model*, Earth Tech, Inc. Concord, MA. (2000b)
- Janssen, S., Dumont, G., Fierens, F., Mensink, C., 2008: *Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data*. Atmos. Environ. 42, 4884–4903. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.02.043
- Krajčovičová J., 2011: Správa za úlohu SHMÚ č. 4103-00/2010 Vývoj a aplikácia modelov pre hodnotenie kvality ovzdušia. SHMÚ Bratislava.
- Krajčovičová, J., Kremler, M., Jana Matejovičová, J, 2013: Určovanie príspevkov jednotlivých zdrojov PM10 k celkovým nameraným koncentráciám pomocou modelových nástrojov. Konferencia Ovzduší 2013, Brno, 15 – 17 apríl 2013
- Krajčovičová, J., Kremler, M., Matejovičová, J., Nemček, V., 2014: Analýza kvality ovzdušia v Košickom regióne pomocou modelu CALPUFF. In: Ochrana ovzdušia 2014, Štrbské Pleso, 148-151
- Krajčovičová, J., Kremler, M., Matejovičová, J., Nemček, V., 2014: Rozloženie emisií prachových častíc na Slovensku v roku 2012. In: Ochrana ovzdušia 2014, Štrbské Pleso, 152-155
- Krajčovičová, J., Kremler, M., Matejovičová, J., 2014: Local PM10 source apportionment for non-attainment areas in Slovakia. Int. J. of Environment and Pollution, 2014 Vol.54, No.2/3/4, pp.166 – 174
- Lefebvre, Wouter & Van Poppel, Martine & Maiheu, Bino & Janssen, Stijn & Dons, Evi., 201: Evaluation of the RIO-IFDM-street canyon model chain. Atmospheric Environment. 77. 325–337. 10.1016/j.atmosenv.2013.05.026.
- CMAQv5.2, 2017: Operational Guidance Document <https://www.cmascenter.org/cmaq/>
- Štátna ochrana prírody SR: <http://www.sopsr.sk/natura/index1.php?p=4&sec=5&kod=SKUEV0295>. Posledný prístup: 9.10.2020
- Will-Wolf, S., 1981: Structure of corticolous lichen communities before and after exposure to emissions from a “clean” coal-fired generating station. Bryologist, 83: 281–295 (1981).
- WHO air quality guidelines for Europe, 2nd edition, 2000: Effects of sulfur dioxide on vegetation: critical levels (<https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/who-air-quality-guidelines-for-europe,-2nd-edition,-2000-cd-rom-version>)
- Krajčovičová J., Matejovičová J., Nemček V., 2020, High-resolution residential emission model for use in the air quality modelling, Meteorologický časopis, Ročník 23, číslo 1, ISSN 1335-339X, dostupné: <http://www.shmu.sk/sk/?page=31>, posledný prístup 19.8.20.
- Štefánik, D., 2019: Cezhraničný prenos znečisťujúcich látok na území Slovenska, Meteorologický časopis, Ročník 22, číslo 2, ISSN 1335-339X, dostupné: <http://www.shmu.sk/sk/?page=31>, posledný prístup 30.3.20.
- Štefánik, D., Matejovičová, J., Krajčovičová, J., Šedivá, T., Nemček, V., Beňo, J., 2020: Comparison of two methods of calculating NO2 and PM10 transboundary pollution by CMAQ chemical transport model and the assessment of the non-linearity effect, Atmospheric Pollution Research, Volume 11, Issue 6, 2020, Pages 12-23, ISSN 1309-1042, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.02.012>.
- EMEP/EEA, 2016, Air pollutant emission inventory guidebook.
- [Online] <https://www.eea.europa.eu/publications/emepeea-guidebook-2016>. Posledný prístup: April 27, 2020.

Príloha 1: Stručný popis relevantných znečisťujúcich látok

Atmosférický aerosól

Atmosférický aerosól (zjednodušene: prachové častice, označované ako TZL - tuhé znečisťujúce látky, či TSP z angl. total suspended particles) je zmesou organických a anorganických látok kvapalného a pevného skupenstva, rôznej veľkosti, zloženia a pôvodu. Primárne častice sú emitované priamo zo zdrojov, sekundárne vznikajú v ovzduší z prekursorov v priebehu chemických a fyzikálnych procesov. Pochádzajú z rôznych technologických procesov, spaľovacích procesov v energetike, z vykurovania domácností tuhým palivom, cestnej dopravy, stavebných a búracích prác, poľnohospodárstva, ale aj z prírodných zdrojov, ako napr. veterná erózia nepokrytých povrchov, lesné požiare, sopečná činnosť, peľ niektorých rastlín. Pokiaľ ide o veľkostné rozdelenie častíc, k emisiám hrubej veľkostnej frakcie najviac prispievajú stavebné a poľnohospodárske práce a rôzne mechanické priemyselné procesy (drvenie, triedenie, nakladanie, fugitívne emisie z hald, atď.), jemná frakcia je najčastejšie tvorená splodinami spaľovania. Pri emisiách z cestnej dopravy sa zúčastňujú oba typy procesov – výfukové emisie sú tvorené jemnými časticami často menšími ako jeden mikrometer, emisie z oteru pneumatík, povrchu ciest, spojok a brzdového obloženia, ako aj resuspenzia prachu z ciest je tvorená z väčšej časti hrubšou frakciou. Chemické zloženie je rozmanité. Hrubá frakcia obsahuje častice z resuspenzie z nepokrytých povrchov, kde nájdeme organické látky obsiahnuté v pôde, aj prvky obsiahnuté v zemskej kôre ako kremík a hliník, rôzne minerálne látky v závislosti od podložia (napr. uhličitany), ako aj biogénne emisie, napr. peľové zrnká a mikroskopické časti rastlín. V jemnej veľkostnej frakcii sú rozličné organické látky z nedokonalého spaľovania, ale aj sekundárny aerosól. Na potenciálnom zdravotnom účinku sa podieľa veľkosť aj zloženie častíc. Vo všeobecnosti možno povedať, že čím sú častice menšie, tým hlbšie sa dostanú do pľúc a tým viac zdravotných problémov môžu spôsobovať. Môžu byť tiež na ne naviazané rôzne karcinogénne látky.

PM₁₀

PM₁₀ je časťou - podmnožinou TZL, obsahuje častice s aerodynamickým priemerom menším ako 10 mikrometrov. V závislosti od meteorologických podmienok tieto častice môžu zotrvať v ovzduší aj 4-5 dní a prostredníctvom diaľkového prenosu sa podieľať na regionálnom pozadí. Koncentrácie PM₁₀ prekračujú limitné hodnoty vo všetkých štátoch Európy, nevraviac o prudko sa rozvíjajúcich krajinách Ázie, kde nedostatočné či žiadne opatrenia na zníženie emisií z priemyslu spôsobujú aj niekoľkonásobne vyššie koncentrácie PM₁₀ ako v krajinách Európy.

PM_{2,5}

PM_{2,5} je podmnožinou PM₁₀, obsahuje častice s aerodynamickým priemerom menším ako 2,5 mikrometra. Malý aerodynamický priemer týchto častíc spôsobuje, že sa v ovzduší správajú takmer ako plyn a môžu byť pri vyšších rýchlostiach vetra prenášané na veľké vzdialenosti. Súčasťou jemnej frakcie sú aj niektoré polycyklické aromatické uhľovodíky.

Oxid dusičitý

Hlavnými antropogénnymi zdrojmi oxidov dusíka sú najmä emisie z cestnej dopravy. Ďalším zdrojom sú spaľovacie procesy v priemysle a energetike. Emisie oxidov dusíka (NO_x) priamo pri zdroji obsahujú väčší podiel oxidu dusnatého, tento sa relatívne rýchlo v atmosfére oxiduje na oxid dusičitý. Oxidy dusíka v ovzduší prechádzajú chemickými reakciami a vytvárajú tuhé častice - dusičnany. Dusičnany sú jedným z príkladov sekundárneho atmosférického aerosólu, patria do jemnej veľkostnej frakcie. Tieto častice sú z atmosféry odstraňované sedimentáciou a vymývaním zrážkovou činnosťou. Dusičnany, ktoré sa týmto mechanizmom dostávajú do pôdy a vôd síce pôsobia čiastočne priaznivo na rast rastlín, ale pri vyšších koncentráciách môže dochádzať k úhynu rýb a nežiaducemu nárastu vodných rastlín (eutrofizácia vôd). Oxid dusičitý (NO₂) spoločne s prchavými organickými látkami prispieva za podpory ultrafialového žiarenia k tvorbe prízemného ozónu a vzniku tzv. fotochemického smogu.

Oxid siričitý

Oxid siričitý (SO₂) sa do ovzdušia dostáva ako produkt spaľovania palív s obsahom síry, je emitovaný pri výrobe tepla a elektrickej energie v tepelných elektrárnach a tiež pri rôznych technologických procesoch. Významným prírodným zdrojom je vulkanická činnosť. Oxid siričitý v ovzduší prechádza fotochemickou a katalytickou reakciou na oxid sírový, ktorý je hydratovaný vzdušnou vlhkosťou na aerosól kyseliny sírovej. Vzniknutá kyselina sírová môže reagovať s alkalickými časticami prašného aerosólu za vzniku síranov, v dôsledku čoho sa zvyšujú koncentrácie suspendovaných

častíc atmosférického aerosólu. Sírany sú podobne ako dusičnany príkladom sekundárneho atmosférického aerosólu, taktiež patria do jemnej veľkostnej frakcie.

Benzén

Benzén (sumárny vzorec C_6H_6) je najjednoduchší cyklický aromatický uhľovodík, patrí medzi prchavé organické látky. Za normálnych podmienok je v kvapalnom stave, nemieša sa s vodou, je rozpustný v organických rozpúšťadlách. Má charakteristický zápach. Hlavným zdrojom je petrochemický priemysel a cestná doprava. Patrí medzi karcinogénne látky.

Benzo(a)pyrén

Benzo(a)pyrén (BaP) je polycyklický aromatický uhľovodík tvorený piatimi benzénovými jadrami. Patrí medzi karcinogénne látky. Vzniká pri nedokonalom spaľovaní, napr. pri vykurovaní domácností nedostatočne vysušeným palivovým drevom, či pri technologických procesoch, napr. pri výrobe koksu, či v metalurgii, jeho zdrojom je aj cestná doprava, najmä naftové motory. Vyskytuje sa v jemnej veľkostnej frakcii prachových častíc v ovzduší.

Ťažké kovy

Existuje niekoľko definícií ťažkých kovov, vychádzajúc z chemických a fyzikálnych vlastností látok. V kontexte problematiky kvality ovzdušia sa berie ohľad aj na zdravotné účinky, preto sa ocitol v zozname ťažkých kovov, ktoré majú limitné hodnoty arzén (polokov), kadmium (prechodný kov), nikel (prechodný kov) a olovo (neprechodný kov). Na vidieckych pozadových staniciach sa meria okrem týchto látok aj meď, chróm a zinok v ovzduší a v zrážkach.

Zdrojom ťažkých kovov je metalurgia, v prípade kadmia aj spaľovanie odpadov, zdrojom arzénu sú spaľovacie procesy, napríklad systémová energetika – tepelné elektrárne, či vykurovanie domácností, obe pri použití uhlia s vysokým obsahom arzénu.

Ozón

je trojatómová molekula kyslíka. Kým stratosférický ozón chráni živé organizmy pred škodlivým ultrafialovým žiarením slnka, troposférický (prízemný) ozón má nepriaznivý vplyv na ľudské zdravie, vegetáciu, architektonické stavby, a preto je zaradený medzi znečisťujúce látky. Ozón nie je emitovaný do ovzdušia priamo zo žiadneho zo zdrojov znečisťovania, vzniká v atmosfére fotochemickou reakciou oxidov dusíka a prchavých organických látok či oxidu uhoľnatého. Tieto látky nazývame prekurzormi ozónu. Oxid dusnatý vo vyšších koncentráciách spôsobujú naopak rozklad ozónu, preto sa najvyššie koncentrácie O_3 nevyskytujú pri rušných križovatkách, či cestných komunikáciách s vysokou intenzitou dopravy, alebo iných zdrojov so spaľovacím procesmi. Prítomnosť prekurzorov sa prejaví potom skôr na predmestí, či vo vlečkách miest, kde nedochádza k spomínanému procesu titrácie ozónu „čerstvými“ emisiami oxidov dusíka s vysokým podielom oxidu dusnatého. Vo vyšších horských polohách zohráva nezanedbateľnú úlohu aj prenos ozónu zo stratosféry. Problematika prízemného ozónu je komplikovaná aj tým, že on samotný, aj jeho prekurzory sa môžu prenášať na veľké vzdialenosti v celom regióne, nie je preto možné situáciu ovplyvniť iba lokálne.

Príloha 2: Charakteristiky monitorovacích staníc kvality ovzdušia

Tab. 5 Súradnice monitorovacích staníc kvality ovzdušia

	Zemepisná šírka	Zemepisná dĺžka	Nadmorská výška	Okres	Typ oblasti	Typ stanice	Prevádzkovateľ
Bratislava, Kamenné nám.	N 48°08'41"	E 17°06'49"	139 m	Bratislava I	mestská	pozaďová	SHMÚ
Bratislava, Trnavské Mýto	N 48°09'30"	E 17°07'44"	136 m	Bratislava III	mestská	dopravná	SHMÚ
Bratislava, Mamateyova	N 48°07'29"	E 17°07'31"	138 m	Bratislava V	mestská	pozaďová	SHMÚ
Bratislava, Jeséniova	N 48°10'05"	E 17°06'22"	287 m	Bratislava III	predmestská	pozaďová	SHMÚ
Bratislava, Pod. Biskupice	N 48°08'05"	E 17°12'20"	132 m	Bratislava II	predmestská	pozaďová	Slovnaft, a.s.
Bratislava, Vlčie Hrdlo	N 48°08'00"	E 17°10'10"	134 m	Bratislava II	predmestská	piemyselná	Slovnaft, a.s.
Bratislava, Rovinka	N 48°08'06"	E 17°13'34"	133 m	Bratislava II	predmestská	piemyselná	Slovnaft, a.s.

Tab. 6 Monitorovací program

	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂ *	SO ₂	O ₃	CO	Benzén	Ťažké kovy	BaP**
Bratislava, Kamenné nám	x	x							
Bratislava, Trnavské mýto	x	x	x			x	x	x	x
Bratislava, Jeséniova	x	x	x	x	x				x
Bratislava, Mamateyova	x	x	x	x	x				
Bratislava, Pod. Biskupice	x	x	x	x	x	x			
Bratislava, Vlčie Hrdlo	x		x	x	x	x			
Bratislava, Rovinka	x	x	x	x	x	x	x		

* okrem NO₂ sa meria aj NO, NO_x

** okrem BaP sa merajú ďalšie polycyklické aromatické uhľovodíky (benzo(a)antracén, chryzén, benzo(b)fluorantén, benzo(k)fluorantén, indeno(123-cd)pyrén, dibenz(ah)antracén a benzo(ghi)perylén).

Poznámka: Na stanici Bratislava, Jeséniova sa meria aj kvalita zrážok v mesačných odberových intervaloch.

V zrážkach sa meria pH, vodivosť, sírany (SO₄²⁻), dusičnany (NO₃⁻), chloridy (Cl⁻), amónne ióny (NH₄⁺), alkalické ióny (K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ a ťažké kovy: olovo, arzén, kadmium, nikel, chróm, meď a zinok.

Príloha 3: Hodnotenie na základe meraní kvality ovzdušia

Tab. 7 Priemerné ročné koncentrácie PM₁₀ (µg.m⁻³) namerané v sieti NMSKO v rokoch 2003-2019.

AMS	typ oblasti	typ stanice	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Bratislava, Kamenné nám.	U	B	32	28	30	29	23	21	26	24	30	26	24	23	24		19	26	22
Bratislava, Trnavské Mýto	U	T	42	37	41	41	29	25	32	34	42	36	34	32	32	29	25	29	24
Bratislava, Jeséniova	S	B				25	25	23	28	24	29	25	22	25	23	20	20	24	19
Bratislava, Mamateyova	U	B	49	35	37	31	24	22	23	32	33	27				21	23	26	21
Rovinka (Slovnaft)	S	B						27	25	27	27		19	20	21	17	19	24	22
Bratislava Pod. Biskupice (Slovnaft)	U	B						27	26	29	29		21	23	27	19	19	24	21
Bratislava Vĺčie Hrdlo (Slovnaft)	S	I						30	30	30	31		20	24	22	21	22	24	21

Vysvetlivky: hrubým červeným písmom sú zvýraznené hodnoty > limitná hodnota podľa EU (40 µg.m⁻³)

hrubým čiernym písmom sú zvýraznené hodnoty > limitná hodnota podľa WHO (20 µg.m⁻³)

Tab. 8 Počty prekročení dennej limitnej hodnoty pre PM₁₀ zaznamenané v sieti NMSKO v rokoch 2011-2019.

AMS	typ oblasti	typ stanice	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Bratislava, Kamenné nám.	U	B	43	28	18	15	16			19	8
Bratislava, Trnavské Mýto	U	T	90	65	60	41	40	23	24	19	11
Bratislava, Jeséniova	S	B	34	22	9	12	12	9	25	20	9
Bratislava, Mamateyova	U	B	53	36				7	25	21	9

Vysvetlivky: Hrubým čiernym písmom sú zvýraznené hodnoty > limitná hodnota (35 prekročení priemernej dennej koncentrácie 50 µg.m⁻³).

Tab. 9 Priemerné ročné koncentrácie PM_{2.5} (µg.m⁻³) namerané v sieti NMSKO v rokoch 2015-2019.

AMS	typ oblasti	typ stanice	2015	2016	2017	2018	2019
Bratislava, Kamenné nám.	U	B			11	19	15
Bratislava, Trnavské Mýto	U	T					18
Bratislava, Jeséniova	S	B	16	13	14	16	12
Bratislava, Mamateyova	U	B	22	15	15	17	13

Vysvetlivky:

hrubým tmavočerveným písmom sú zvýraznené hodnoty > limitná hodnota podľa EU 25 µg.m⁻³

kurzivou hrubým červeným písmom sú zvýraznené hodnoty > súčasná limitná hodnota 20 µg.m⁻³

sivou farbou sú zobrazené hodnoty, pri ktorých bol podiel platných meraní <75%

Tab. 10 Priemerné mesačné koncentrácie PM₁₀ (µg.m⁻³) namerané na AMS Jeséniova v rokoch 2004-2019.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
január		22	34	19	31	44	45	36	17	32	29	27	29	49	25	21
február		40	28	26	33	24	33	43	39	26	25	28	17	37	32	27
marec		34	28	30	18	24	28	36	25	28	31	29	20	19	32	16
apríl		34	19	29	23	40	19	27	21	27	27	18	17	16	23	26
máj	20	21	23	25	20	27	12	25	20	16	21	18	15	16	22	13
jún	20	16	22	21	11	24	15	21	18	17	18	22	13	14	16	21
júl	22		29	21	11	29	18	19	23	22	27	21	13	12	17	16
august	23		13	21	13	31	13	27	23	22	18	33	14	15	18	15
september	23			20	21	26	14	21	25	13	23	16	21	14	18	14
október	28			30	37	19	27	27	29	21	27		20	17	33	23
november	25		25	24	36	21	23	54	34	18	32		27	19	32	18
december	27		28	37	23	24	37	18	27	18	22	21	27	17	24	20

Pozn.: Nie je stanovená žiadna limitná hodnota pre priemernú mesačnú koncentráciu.

Tab. 11 Priemerné mesačné koncentrácie PM₁₀ (µg.m⁻³) namerané na Trnavskom Mýte v rokoch 2003-2019.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
január	37	42	35	66	32	29	51	52	46	27	44	44	29	37	46	27	23
február	60	36	56	55	41	35	29	56	54	55	42	32	45	25	37	32	31
marec	57	48	59	41	37	18	29	44	39	42	40	42	40	27	34	37	22
apríl	46	40	43	35	36	20	47	36	34		43	37	25	28		33	27
máj	34	32	27	25	31	17	23	31	34	30	25	22	25	25	21	33	17
jún	33	30	26	31	27	16	16	28	32	26	24	24	28	26	22	28	27
júl	29	29	27	44	20	13	14	26	25	28	30	25	28	23	18	24	21
august	42	32	45	25	19	15	25	18	43	30	32	26	36	23	22	24	21
september	41	34	35	42	18	20	37	18	40	33	24	30	21	34	18	25	22
október	34	44	46	44	31	40	30	31	47	43	42	39	33	30	24	35	31
november	52	39	52	40	23	47	40	31	74		32	37	39	35	22	31	22
december	40	44	45	40	35	35	40	41	33	42		30	31	34	20	24	26

Pozn.: Nie je stanovená žiadna limitná hodnota pre priemernú mesačnú koncentráciu.

Tab. 12 Priemerný mesačný podiel PM_{2,5}/PM₁₀ podľa merania na AMS Jeséniova a Mamateyova

	Jeséniova				Mamateyova			
	2016	2017	2018	2019	2016	2017	2018	2019
január	0.8	0.9	0.8	0.8	1.0	1.0	0.9	0.9
február	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.8
marec	0.8	0.7	0.8	0.6	0.9	0.7	0.9	0.6
apríl	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6
máj	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.4	0.5	0.6
jún	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4
júl	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4
august	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
september	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
október	0.7	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7
november	0.7	0.7	0.7	0.7	0.9	0.8	0.8	0.8
december	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8

Tab. 13 Priemerné ročné koncentrácie NO₂ (µg.m⁻³) namerané v rokoch 2003-2019.

AMS	typ oblasti	typ stanice	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Bratislava, Kamenné nám.	U	B	40	34	32	33													
Bratislava, Trnavské Mýto	U	T	54	38	38	44	37	33	41	49	51	39	35	37	49	41	39	41	37
Bratislava, Jeséniova	S	B					15	16	14	13	14	25	13	14	17	13	14	12	10
Bratislava, Mamateyova	U	B	33	28	28	28	25	25	29	22	22	23	35	23	26	22	24	22	21
Rovinka (Slovnaft)	S	B						19	18	18	18		14	15	16	15	16	15	14
Bratislava Pod. Biskupice (Slovnaft)	U	B						21	21	21	19		17	19	22	20	19	20	19
Bratislava Vlčie Hrdlo (Slovnaft)	S	I						26	27	28	28		22	19	21	21	21	20	21

Vysvetlivky:

Hrubým tmavočerveným písmom sú zvýraznené hodnoty > limitná hodnota 40 µg.m⁻³ (limitná hodnota podľa WHO je tiež 40 µg.m⁻³).

Tab. 14 Počty prekročení hodinovej limitnej hodnoty pre NO₂ zaznamenané v rokoch 2008-2019.

AMS	typ oblasti	typ stanice	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Bratislava, Kamenné nám.	U	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bratislava, Trnavské Mýto	U	T	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Bratislava, Jeséniova	S	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bratislava, Mamateyova	U	B	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
Rovinka (Slovnaft)	S	B	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0
Bratislava Pod. Biskupice (Slovnaft)	U	B	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0
Bratislava Vlčie Hrdlo (Slovnaft)	S	I	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0

Pozn.: Legislatíva povoľuje 18 prekročení priemernej hodinovej koncentrácie 200 µg.m⁻³ na danej monitorovacej stanici ročne.

Tab. 15 Priemerné mesačné koncentrácie NO₂ (µg.m⁻³) namerané na AMS Jeséniova v rokoch 2008-2019.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
január	23	22	28		14	18	18	24	22	27	19	17
február	20	18	25	26	23	16	23	24	15	30	17	15
marec	13	13	15	19		12	17	18	14	16	18	10
apríl	12	12	12	12		21	14	13	11	10	8	8
máj	10	8	7	9		10	10	14	9	7	4	7
jún	16	7	5			6	9	17	7	7	3	5
júl	14	6	5	7		6	9	16	5	8	2	5
august	17	7	7	8	25	7	9	13	7	8	8	8
september	23		9	8		14	12		11	9	10	9
október	18	15	14	11		15	15		13	14	15	13
november	16	21	17	22		16	17		21	19	19	15
december	16	22		18	19			22	25	18	19	14

Pozn.: Nie je stanovená žiadna limitná hodnota pre priemernú mesačnú koncentráciu.

Tab. 16 Priemerné mesačné koncentrácie NO₂ (µg.m⁻³) namerané na Trnavskom Mýte v rokoch 2003-2019.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
január	50		28	59	33	37	57	49		38	41	33	46	47	45	37	42
február	64	45	35	63	33	47	44	41	62	49	42	33	53	43	48	47	52
marec	64	51	38	55	31	36	37	45	61	46	35	34	55		46	46	44
apríl		44	43	40	57	37	52	45	51		38	29	50			41	41
máj		39	40	39	40	37	36	33	52	37	27	31	47	40	39	42	34
jún	55	36	30	45	48	36	34	34		32	26	40	52	44	41	37	30
júl	46	33	31	34	34	29	31	51	37	31	29	35	50	33	32	38	31
august	63	35	40	30	35	33	37	59		37	32	35	53	34	37	43	32
september	58	32	39	36	34	30	39	54		36	32	40	43	50	31	46	32
október	49	38	42	46	40	30		70	50	41	44	47	48	37	38	44	36
november	49	32	42	39	28	24	43		56	39	39	42	50	41	41	39	34
december	41	27	43	45	31	22	42		46	41	33	43	40	41	34	37	39

Pozn.: Nie je stanovená žiadna limitná hodnota pre priemernú mesačnú koncentráciu.

Tab. 17 Priemerné ročné koncentrácie benzénu (µg.m⁻³) namerané v rokoch 2007-2019.

AMS	typ oblasti	typ stanice	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Bratislava, Trnavské Mýto	U	T	3.4	1.1	1	1.4	1.8	0.9	0.7	1.9	1.6	1	0.5	1.4	1
Rovinka (Slovnaft)	S	B					2.1	1.2	1.2	1.2	1	1.3	1.8	1.6	1.1
Bratislava Vlčie Hrdlo (Slovnaft)	S	I		3.5											

Pozn.: Limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu benzénu je 5 µg.m⁻³.

Tab. 18 Priemerné ročné koncentrácie SO₂ (µg.m⁻³) namerané v rokoch 2007-2019.

AMS	typ oblasti	typ stanice	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Bratislava, Mamateyova	U	B	11.0	9.0	11.4	11.3	10.7	7.7	3.7	3.9	6.7	5.6	7.5	8.0	4.3
Rovinka (Slovnaft)	S	B	5.3	8.2	9.0	10.8	12.1		7.5	6.0	6.7	7.7	11.0	8.4	6.7
Bratislava Pod. Biskupice (Slovnaft)	U	B	7.7	5.2	5.1	6.4	6.2		6.0	3.4	4.5	4.3	6.4	7.3	3.4
Bratislava Vlčie Hrdlo (Slovnaft)	S	I	8.8	9.8	9.6	14.0	8.6		6.6	7.0	5.5	5.4	7.3	9.5	6.9

Pozn.: Pre SO₂ nie je stanovená limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu.

Tab. 19 Počet prekročení limitnej hodnoty pre priemernú hodinovú koncentráciu SO₂ podľa meraní v rokoch 2008-2019.

AMS	typ oblasti	typ stanice	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Bratislava, Mamateyova	U	B	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	5
Rovinka (Slovnaft)	S	B	0	1	0	0	0	0	4	7	0	3	0	1
Bratislava Pod. Biskupice (Slovnaft)	U	B	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Bratislava Vlčie Hrdlo (Slovnaft)	S	I	1	0	1	1	0	0	0	0	2	3	1	9

Pozn.: Legislatíva povoľuje 24 prekročení priemernej hodinovej koncentrácie 350 µg.m⁻³ na danej monitorovacej stanici ročne.

Tab. 20 Počet prekročení limitnej hodnoty pre priemernú dennú koncentráciu SO₂ podľa meraní v rokoch 2008-2019.

AMS	typ oblasti	typ stanice	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Bratislava, Mamateyova	U	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rovinka (Slovnaft)	S	B	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
Bratislava Pod. Biskupice (Slovnaft)	U	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bratislava Vlčie Hrdlo (Slovnaft)	S	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pozn.: Legislatíva pre priemernú dennú koncentráciu povoľuje 3 prekročenia hodnoty 125 µg.m⁻³ na danej monitorovacej stanici ročne.

Tab. 21 Priemerné ročné koncentrácie ťažkých kovov (ng.m⁻³) namerané v roku 2019.

	As	Cd	Ni	Pb
Cieľová hodnota	6,0	5	20	-
Limitná hodnota	-	-	-	500
Horná medza na hodnotenie	3,6	3	14	350
Dolná medza na hodnotenie	2,4	2	10	250
Bratislava, Trnavské mýto	1,1	0,9	0,7	15,6

Tab. 22 Priemerné a maximálne ročné koncentrácie benzo(a)pyrénu (ng.m⁻³) namerané v rokoch 2012-2019.

AMS	2012			2013			2014			2015			2016			2017			2018			2019		
	priem.	max.	N	priem.	max.	N	priem.	max.	N	priem.	max.	N	priem.	max.	N	priem.	max.	N	priem.	max.	N	priem.	max.	N
Bratislava, Jeséniova	0.8	7.0	113	1.0	6.4	96	0.7	8.4	77	0.6	2.8	51									0.2	1.2	56	
Bratislava, Trnavské Mýto	0.7	5.6	109	1.1	6.7	109	0.6	2.3	70	0.8	5.1	76	1.2	8.3	43	0.4	3.5	52	0.9	5.1	28	0.4	2.2	51

Vysvetlivky: N – počet vzoriek

Tab. 23 Počet dní s prekročením cieľovej hodnoty prízemného ozónu na ochranu zdravia ľudí.

AMS	2015	2016	2017	2018	2019	Priemer 2015 – 2017	Priemer 2016 – 2018	Priemer 2017 – 2019
Bratislava, Jeséniova	60	11	38	54	40	36	34	44
Bratislava, Mamateyova	38	6	22	33	32	22	20	29

Vysvetlivky:

hrubým písmom sú zvýraznené hodnoty > limitná hodnota 25

Tab. 24 Priemerné mesačné koncentrácie O₃ (µg.m⁻³) namerané na AMS Jeséniova v rokoch 2003-2019.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
január	39	48			38	35	31	36	39	46	35	30	41	35	47	34	44
február	54	65	68		37	46	46	59	50	52	48	49	54	47	43	54	53
marec	74	76	85		62	65	59	69	68	69	70	72	63	54	66	67	72
apríl	83	82	88	90	87	79	93	79	78	61	84	77	83	74	74	80	83
máj	87	83	93	87	77	84	85	69	86	92	73	81	78	82	85	88	75
jún	102	69	94	93	85	88	78	74	85	89	78		92	81	96	89	91
júl	101	85	84	111	86	83	83	104	79	89	99		103	69	88	98	90
august	118	89	74	69	83	81	85	77	82	103	90	73	104	65	90	99	85
september	85	68	64	72	56	58	74	57	77	77	47	60	74	72	60	83	66
október	48	40	51	52	42	38	41	45	54	50	48	42		32	51	60	49
november	30	34	31	29	34	31	27	30	34	25	39	31		30	33	29	
december	33	26	35	21	23	29	26	36	35	29	33	41	19	33	37	32	37

Pozn.: Nie je stanovená žiadna limitná hodnota pre priemernú mesačnú koncentráciu.

Tab. 25 Priemerné mesačné koncentrácie O₃ (µg.m⁻³) namerané na AMS Mamatyeva v rokoch 2003-2019.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
január	28	30	34	28	32	31	20	27		41	35	31	38	16	37	24	39
február	39	44	57	37	33	33	36	40	37		43	11	46	32	34	39	39
marec	54	49	73	59	50	57	49	48	53	57	63	55	42	33	52	56	60
apríl	68	67	73	65	67	68	72	56	65	66	72			42	62	65	71
máj	70	65	82	71	73	72	70	52	75	79		68	71	41	72	77	65
jún	81	65	76	68	76	74	61	63	72	71		72	68	33	81	76	80
júl	76	67	68	84	78	69	66	78	68	72		71	77	56	75	81	79
august	87	68	54	58	67	65	66	62	61	74	71	57	74	57	70	73	71
september	60	50	43	50	41	42	53	38	53	52	52	37		52	46	59	49
október	32	29	40	39	27	23	26	29	35	35	33	31		24	34	46	34
november	14	27	31	26	30	26	19	22	30	22	25	28		21	23	23	28
december	20	21	24	16	20	24			34	23	28	32	10	23	25	27	31

Pozn.: Nie je stanovená žiadna limitná hodnota pre priemernú mesačnú koncentráciu.