

SPRÁVA O KVALITE OVZDUŠIA V SR

2021

PRÍLOHA

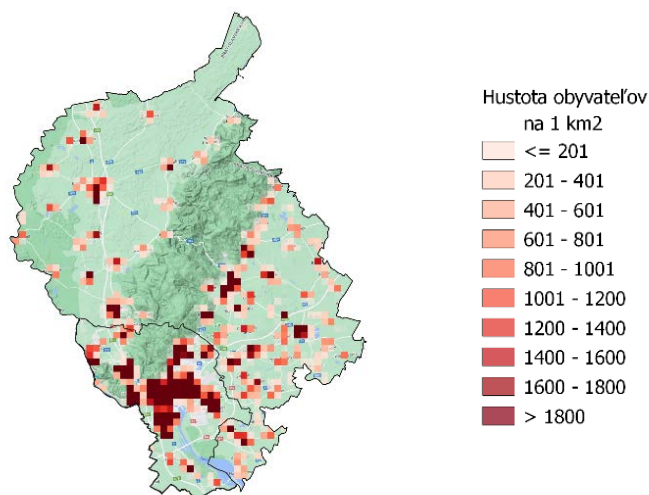
HODNOTENIE KVALITY OVZDUŠIA V AGLOMERÁCII BRATISLAVA A V ZÓNE BRATISLAVSKÝ KRAJ

1	POPIS ÚZEMIA AGLOMERÁCIE BRATISLAVA A ZÓNY BRATISLAVSKÝ KRAJ Z HĽADISKA KVALITY OVZDUŠIA	2
1.1	AGLOMERÁCIA BRATISLAVA (územie hlavného mesta Slovenskej republiky Bratislavy)	2
1.2	ZÓNA BRATISLAVSKÝ KRAJ (bez aglomerácie Bratislava)	3
2	MONITOROVACIE STANICE KVALITY OVZDUŠIA V AGLOMERÁCII BRATISLAVA A V ZÓNE BRATISLAVSKÝ KRAJ	4
2.1	AGLOMERÁCIA BRATISLAVA (územie hlavného mesta Slovenskej republiky Bratislavy)	5
2.2	ZÓNA BRATISLAVSKÝ KRAJ (bez aglomerácie Bratislava)	6
3	ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV MONITORINGU KVALITY OVZDUŠIA V AGLOMERÁCII BRATISLAVA A V ZÓNE BRATISLAVSKÝ KRAJ	7
3.1	AGLOMERÁCIA BRATISLAVA	8
3.1.1	Tuhé častice PM ₁₀ a PM _{2,5}	8
3.1.2	Oxid dusičitý	9
3.1.3	Ozón	10
3.1.4	Benzo(a)pyrén	12
3.1.5	Chemické zloženie zrážok	12
3.2	ZÓNA BRATISLAVSKÝ KRAJ	13
3.2.1	Tuhé častice PM ₁₀ a PM _{2,5}	13
3.2.2	Oxid dusičitý	14
3.2.3	Ozón	15
3.2.4	Benzo(a)pyrén	15
4	MODELOVANIE KVALITY OVZDUŠIA	16
4.1	Rizikové oblasti	17
5	ZHRNUTIE	18

1 POPIS ÚZEMIA AGLOMERÁCIE BRATISLAVA A ZÓNY BRATISLAVSKÝ KRAJ Z HĽADISKA KVALITY OVZDUŠIA

Pre účely hodnotenia kvality ovzdušia je územie Slovenska rozdelené na zóny a aglomerácie (https://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=oko_info_az). Územie Bratislavského kraja zahŕňa aglomeráciu Bratislava (územie hlavného mesta Slovenskej republiky Bratislavy) a zónu Bratislavský kraj (Bratislavský kraj bez aglomerácie Bratislava). **Obr. 1.1** znázorňuje priestorové rozloženie hustoty osídlenia v Bratislavskom kraji.

Obr. 1.1 Rozloženie hustoty obyvateľstva v Bratislavskom kraji (Zdroj: EUROSTAT, 2018).



1.1 AGLOMERÁCIA BRATISLAVA (územie hlavného mesta Slovenskej republiky Bratislavy)

Bratislava sa nachádza v členitom teréne s nadmorskou výškou od 126 m (Čunovo) po 514 m (Devínska Kobyla). Od juhozápadu na severovýchod sa tiahne pohorie Malých Karpát, západná časť Bratislavy leží na Záhorskej nížine, východnú a juhovýchodnú časť zaberá Podunajská nížina.

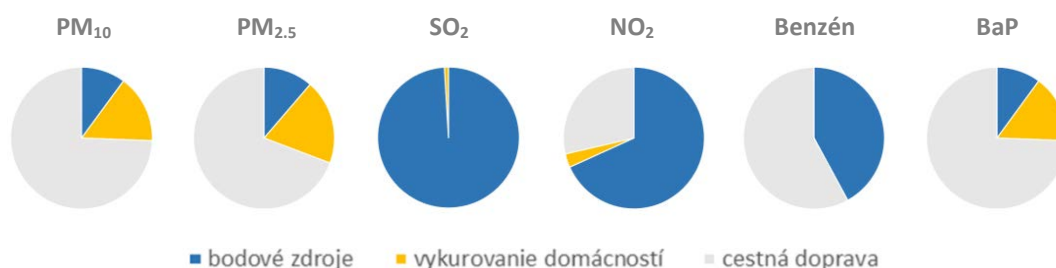
V oblasti Devínskej brány, ktorá oddeľuje Hainburgské vrchy a Devínske Karpaty a v oblasti Lamačskej brány medzi Devínskymi Karpatmi a Pezinskými Karpatmi, dochádza k orografickému zvýšeniu rýchlosti vetra, čo priaznivo pôsobí na ventiláciu mesta. Bratislavou preteká rieka Dunaj využívaná na lodnú dopravu.

Zdroje znečisťovania ovzdušia v aglomerácii Bratislava

Dominantným zdrojom znečisťovania ovzdušia v hlavnom meste je cestná doprava. Najviac áut v Bratislave prejde diaľničným obchvatom mesta D1 od prístavného mostu smerom na Žilinu (na najfrekventovanejšom úseku je to denne v priemere 93 344 vozidiel, z toho 12 762 nákladných a 80 058 osobných áut), diaľničným obchvatom D2 za mostom Lafranconi smerom do Rakúska a Maďarska (82 646 vozidiel, 11 913 nákladných a 70 519 osobných áut), cestou č. 2 (59 121 vozidiel, 3 273 nákladných a 55 545 osobných áut) vedúcou súbežne povedľa diaľnice R1 v Petržalke, cestou č. 61 (Trnavská cesta – 48 720 vozidiel, 3 420 nákladných a 45 141 osobných áut) a cestou 2. triedy č. 572 smerom na Most pri Bratislave (35 051 vozidiel, 2 915 nákladných a 31 984 osobných áut¹).

¹ https://www.ssc.sk/files/documents/dopravne-inzinerstvo/csd_2015/ba/scitanie_tabulka_ba_2015.pdf; Celoštátne sčítanie dopravy, ktoré sa uskutočňuje v SR každých 5 rokov bolo v roku 2020 v dôsledku pretrvávajúcich, resp. nových opatrení, ktoré sú prijímané v súvislosti so zamedzením šírenia ochorenia COVID-19 odložené, preto vychádzame z údajov za rok 2015;

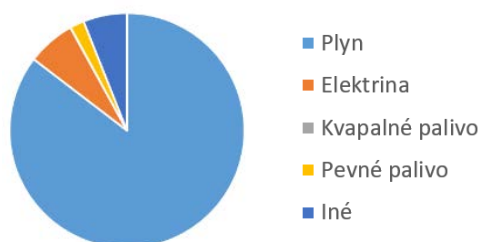
Obr. 1.2 Podiel rôznych druhov zdrojov znečisťovania ovzdušia na celkových emisiách v aglomerácii Bratislava.



Poznámka: Stredné a veľké zdroje znečisťovania ovzdušia evidované v databáze NEIS sú označené pre tento účel ako „bodové zdroje“.

Priemyselné zdroje znečisťovania ovzdušia sú z hľadiska príspevku k lokálnemu znečisteniu ovzdušia základnými znečisťujúcimi látkami menej významné. Emisie oxidov síry sú tvorené takmer výlučne priemyselným zdrojom – rafinériou, ich hodnoty však za posledné desaťročia značne poklesli a ani limitné hodnoty pre koncentrácie SO₂ v ovzduší nie sú v súčasnosti prekračované, podobne ako pre ostatné základné znečisťujúce látky okrem NO₂, ktorý podľa merania kvality ovzdušia prekročil limitnú hodnotu na AMS Trnavské mýto v r. 2018. Podiel rôznych druhov zdrojov na emisiách v aglomerácii Bratislava zobrazuje Obr. 1.2.

Obr. 1.3 Podiel rôznych druhov palív na vykurovaní domácností².



Pre vykurovanie domácností v aglomerácii Bratislava je podľa údajov zo Sčítania obyvateľov, domov a bytov 2021 (SODB) využívaný najmä zemný plyn, podiel tuhých palív je v porovnaní s ostatnými zónami najnižší (pravdepodobne ide najmä o prikurovanie v prechodných ročných obdobiach s využitím krbov).

1.2 ZÓNA BRATISLAVSKÝ KRAJ (bez aglomerácie Bratislava)

Zóna Bratislavský kraj pokrýva plochu kraja bez aglomerácie Bratislava. Bratislavský kraj je rozlohou najmenší z krajov na území Slovenska. Zahŕňa južnú časť Malých Karpát, Záhorskú a väčšiu časť Podunajskej nížiny. Povrch je zväčša rovinatý. Nadmorská výška územia sa pohybuje v rozmedzí od 126 m n. m. po 754 m n. m. (vrch Vysoká). Najľudnatejšími mestami sú okresné mestá Pezinok, Senec a Malacky. Priemerná hustota osídlenia v okrese Malacky je výrazne nižšia ako v ostatných okresoch.

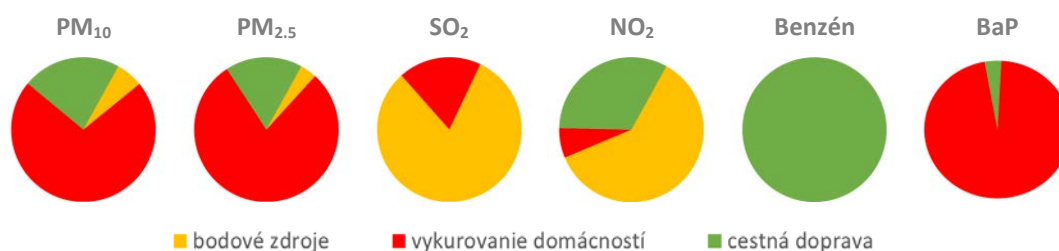
Zdroje znečisťovania ovzdušia v zóne Bratislavský kraj

Významnejším zdrojom emisií v ovzduší je cestná doprava, ktorá sa sústreďuje v najväčšej miere na diaľničné ťahy. Výsledky celoštátneho sčítania dopravy v r. 2015 hovoria, že diaľnica D1 vedúca do Senca dosahuje dennú intenzitu v priemere 62 652 vozidiel (10 385 nákladných a 52 260 osobných áut), zatiaľ čo diaľnica D2 smerujúca z Bratislavy do Malaciek a Brna v úseku pri Stupave 32 968 vozidiel (9 787 nákladných a 23 132 osobných áut)³.

² <https://www.scitanie.sk>

³ <https://www.ssc.sk/sk/cinnosti/rozvoj-cestnej-siete/dopravne-inzinerstvo/celostatne-scitanie-dopravy-v-roku-2015/bratislavsky-kraj.ssc>

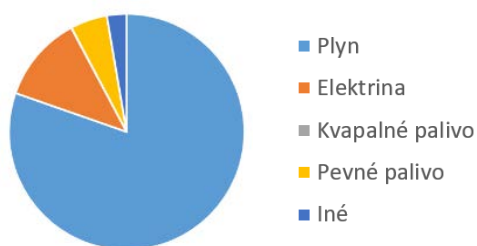
Obr. 1.4 Podiel rôznych druhov zdrojov znečisťovania ovzdušia na celkových emisiách v zóne Bratislavský kraj.



Poznámka: Stredné a veľké zdroje znečisťovania ovzdušia evidované v databáze NEIS sú označené pre tento účel ako „bodové zdroje“.

Priemyselné zdroje znečisťovania ovzdušia s výnimkou cementárni (ich príspevok sa môže prejaviť najmä v hrubej veľkostnej frakcii prachových častíc) sú z hľadiska príspevku k lokálnemu znečisteniu ovzdušia základnými znečisťujúcimi látkami menej významné.

Obr. 1.5 Podiel rôznych druhov palív na vykurovaní domácností⁴.



Pre vykurovanie domácností v zóne Bratislavský kraj je podľa údajov zo SODB 2021 využívaný najmä zemný plyn, aj keď v porovnaní s aglomeráciou Bratislava v menšej miere. Tuhé palivá sa v tejto zóne pravdepodobne viac používajú vo vidieckom type osídlenia s dobrou dostupnosťou palivového dreva.

2 MONITOROVACIE STANICE KVALITY OVZDUŠIA V AGLOMERÁCIÍ BRATISLAVA A V ZÓNE BRATISLAVSKÝ KRAJ

Tabuľky **Tab. 2.1** a **Tab. 2.3** obsahujú informácie o monitorovacích staniciach kvality ovzdušia v aglomerácii Bratislava a v zóne Bratislavský kraj:

- medzinárodný Eol kód, charakteristiku stanice podľa dominantných zdrojov znečisťovania ovzdušia (dopravná, pozadňová, priemyselná), typ oblasti, ktorú daná stanica monitoruje (mestská, predmestská, vidiecka/regionálna), geografické súradnice a
- monitorovací program. Automatické prístroje kontinuálneho monitoringu poskytujú priemerné hodinové koncentrácie PM₁₀, PM_{2,5}, oxidov dusíka, oxidu siričitého, ozónu, oxidu uhoľnatého a benzénu. Skúšobné laboratórium SHMÚ v rámci manuálneho monitoringu analyzuje ťažké kovy a polycyklické aromatické uhľovodíky. Výsledkom sú priemerné 24-hodinové hodnoty.

⁴ <https://www.scitanie.sk>

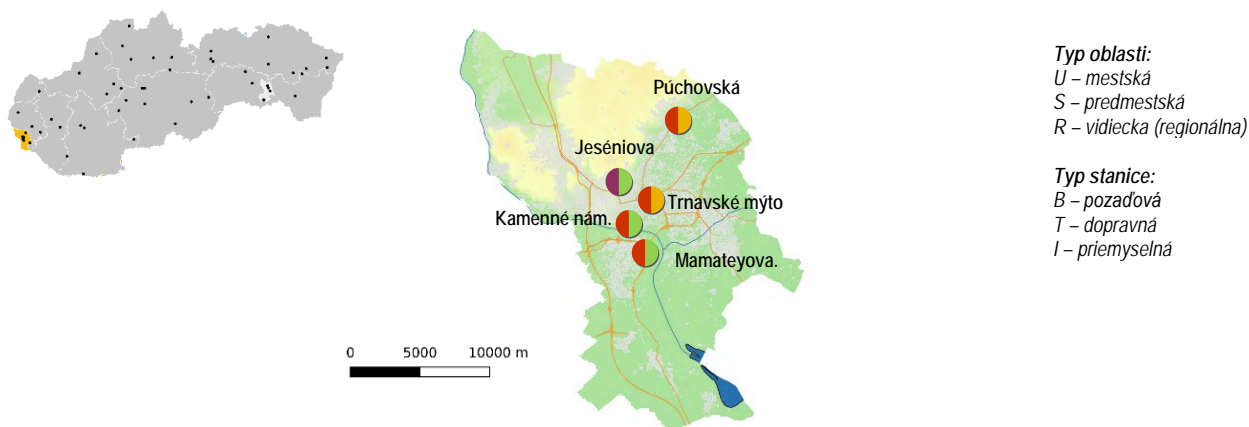
2.1 AGLOMERÁCIA BRATISLAVA (územie hlavného mesta Slovenskej republiky Bratislavy)

V Bratislave sledujeme kvalitu ovzdušia na piatich monitorovacích staniciach. K dopravnej stanici na Trnavskom mýte, ktorá patrí k lokalitám s najvyššou intenzitou dopravy a zároveň najvyššou koncentráciou chodcov v meste, od roku 2021 pribudla monitorovacia stanica v Rači na Púchovskej ulici.

Sídlistkovú zástavbu reprezentuje stanica NMSKO v Petržalke na Mamateyovej ulici, ďalšie monitorovacie stanice sa nachádzajú v rezidenčnej štvrti na Jeséniovej ulici na Kolibe (monitoruje pozaďové hodnoty znečistenia v predmestskej oblasti) a priamo v centre mesta na Kamennom námestí (monitoruje mestské pozadie).

Tab. 2.1 Monitorovací program kvality ovzdušia v aglomerácii Bratislava.

Agglomerácia Bratislava								Merací program											
Okres	Kód Eol	Názov stanice	Typ		Zemepisná		Nadmorská výška [m]	Kontinuálne							Manuálne				
			oblasti	stanice	dĺžka	šírka		PM ₁₀	PM _{2,5}	NO, NO ₂	SO ₂	O ₃	CO	Benzén	Hg	As, Cd, Ni, Pb	BaP		
Bratislava I	SK0004A	Bratislava, Kamenné nám.	U	B	17°06'49"	48°08'41"	139												
Bratislava III	SK0002A	Bratislava, Trnavské myto	U	T	17°07'44"	48°09'30"	136												
Bratislava III	SK0048A	Bratislava, Jeséniova	S	B	17°06'22"	48°10'05"	287												
Bratislava V	SK0001A	Bratislava, Mamateyova	U	B	17°07'31"	48°07'29"	138												
Bratislava III	SK0061A	Bratislava, Púchovská	U	T	17°09'29"	48°12'41"	145												
Spolu								5	5	4	3	2	2	2			1	3	



Na predmestskej pozaďovej monitorovacej stanici Bratislava, Jeséniova sa okrem monitoringu kvality ovzdušia analyzuje aj kvalita zrážok. Monitorovací program je uvedený v Tab. 2.2, vzorky sú odoberané vždy počas celého mesiaca. Výsledkom analýz sú priemerné mesačné hodnoty.

Tab. 2.2 Merací program zrážok na stanici Bratislava, Jeséniova.

	pH	Vodivosť	Sířany (SO ₄ ²⁻)	Dusičnany (NO ₃ ⁻)	Chloridy (Cl ⁻)	Amónne ióny (NH ₄ ⁺)	Alkalické ióny (K ⁺ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺)	Olovo (Pb)	Arzén (As)	Kadmium (Cd)	Nikel (Ni)	Chróóm (Cr)	Meď (Cu)	Zinok (Zn)
Bratislava, Jeséniova	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

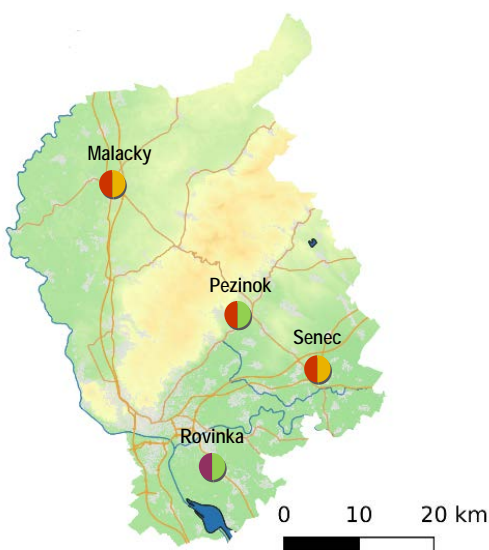
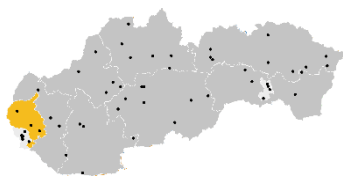
2.2 ZÓNA BRATISLAVSKÝ KRAJ (bez aglomerácie Bratislava)

Kvalita ovzdušia v zóne Bratislavský kraj sa sleduje na štyroch staniaciach NMSKO, stanica monitorujúca vplyv dopravy sa nachádza v centre Malaciek a od roku 2021 pribudla aj nová monitorovacia stanica v Senci. Obidve stanice v spomínaných okresných mestách sa nachádzajú na križovatkách s intenzívnou dopravou a veľkým pohybom chodcov.

Znečistenia ovzdušia v obytných zónach mimo hlavných dopravných ťahov monitorujú stanice v okresnom meste Pezinok a obci Rovinka. Monitoring kvality ovzdušia v tejto obci sa vykonáva aj z dôvodu blízkosti rafinérie Slovnaft. Stanica NMSKO v Pezinku patrí medzi nové stanice, ktoré pribudli v rámci posledného rozširovania siete NMSKO.

Tab. 2.3 Monitorovací program kvality ovzdušia v zóne Bratislavský kraj.

Zóna Bratislavský kraj								Merací program											
Okres	Kód Eol	Názov stanice	Typ		Zemepisná		Nadmorská výška [m]	Kontinuálne							Manuálne				
			oblasti	stanice	dĺžka	šírka		PM ₁₀	PM _{2,5}	NO, NO ₂	SO ₂	O ₃	CO	Benzén	Hg	As, Cd, Ni, Pb	BaP		
Malacky	SK0407A	Malacky, Mierové nám.	U	T	17°01'09"	48°26'13"	162												
Pezinok	SK0075A	Pezinok, Obrancov mieru.	U	B	17°15'35"	48°17'00"	150												
Rovinka	SK0076A	Rovinka, mobilná stanica	S	B	17°13'50"	48°05'59"	129												
Senec	SK0068A	Senec, Boldocká	U	T	17°24'16"	48°13'23"	126												
Spolu								4	3	4	2	1	4	2				1	



Typ oblasti:
 U – mestská
 S – predmestská
 R – vidiecka (regionálna)

Typ stanice:
 B – pozad'ová
 T – dopravná
 I – priemyselná

3 ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV MONITORINGU KVALITY OVZDUŠIA V AGLOMERÁCII BRATISLAVA A V ZÓNE BRATISLAVSKÝ KRAJ

Táto kapitola obsahuje zhodnotenie kvality ovzdušia v aglomerácii Bratislava a v zóne Bratislavský kraj na základe výsledkov monitoringu v roku 2021.

Tab. 3.1 Vyhodnotenie znečistenia ovzdušia podľa limitných hodnôt na ochranu zdravia ľudí a počty prekročení výstražných prahov v aglomerácii Bratislava a v zóne Bratislavský kraj – 2021.

AGLOMERÁCIA Zóna	Znečisťujúca látka	Ochrana zdravia									VP ²⁾	
		SO ₂		NO ₂		PM ₁₀		PM _{2,5}	CO	Benzén	SO ₂	NO ₂
		Doba spriemerovania										
		1 h	24 h	1 h	1 rok	24 h	1 rok	1 rok	8 h ¹⁾	1 rok	3 h po sebe	3 h po sebe
		Parameter		počet prekročení	počet prekročení	počet prekročení	priemer	počet prekročení	priemer	priemer	priemer	počet prekročení
	Limitná hodnota [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	350	125	200	40	50	40	20	10 000	5	500	400
	Maximálny počet prekročení	24	3	18		35						
BRATISLAVA	Bratislava, Kamenné nám.					5	18	13				
	Bratislava, Trnavské mýto			0	33	16	24	15	928	0,74		0
	Bratislava, Jeséniova	0	0	0	9	2	16	13			0	0
	Bratislava, Mamateyova	0	0	0	17	5	19	14			0	0
	Bratislava, Púchovská*	0	0	0	13	0	18	12	781	0,80	0	0
Bratislavský kraj	Malacky, Mierové nám.	0	0	0	16	4	21	15	1 248	0,59	0	0
	Pezinok			0	16	11	22	12	1 113			0
	Rovinka	1	0	0	12	7	22		665	0,93	0	0
	Senec, Boldocká*			0	23	4	25	20	1 070			0

 $\geq 90\%$ platných meraní

¹⁾ maximálna osemhodinová koncentrácia ²⁾ limitné hodnoty pre výstražné prahy

* AMS začala merať v priebehu roku 2021, na celoročné hodnotenie prekročenia limitných hodnôt nie je dostatok platných meraní

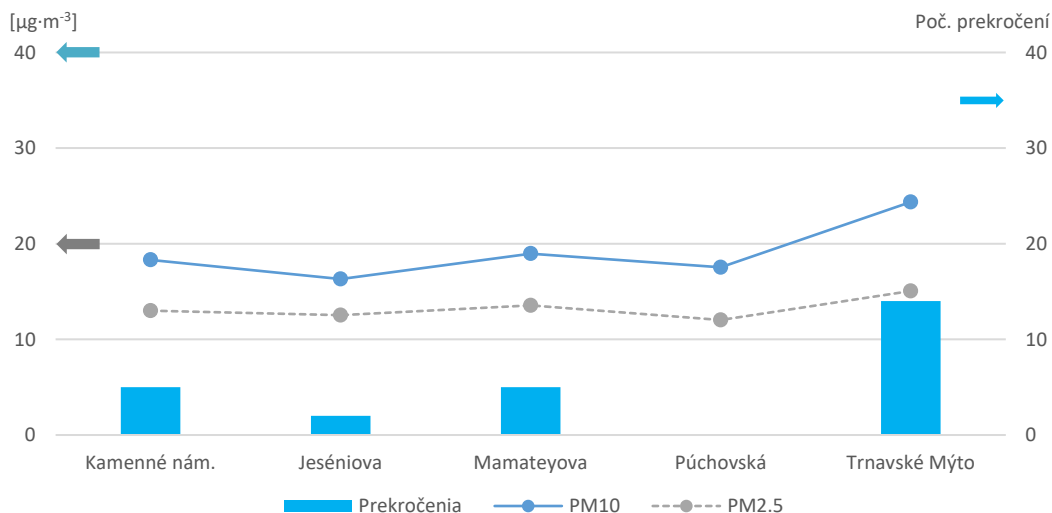
S výnimkou nových monitorovacích staníc Bratislava, Púchovská (merateľ začala 26. 5. 2021) a Senec, Boldocká (merateľ začala 22. 9. 2021) bol v súlade s Vyhláškou MŽP SR č. 244/2016 Z. z. o kvalite ovzdušia v znení neskorších predpisov na ostatných monitorovacích staniciach vyžadovaný podiel platných hodnôt dodržaný v aglomerácii Bratislava aj v zóne Bratislavský kraj.

3.1 AGLOMERÁCIA BRATISLAVA

3.1.1 Tuhé častice PM₁₀ a PM_{2,5}

Obr. 3.1 zobrazuje priemerné ročné koncentrácie PM₁₀, PM_{2,5} a počet dní s priemernou dennou koncentráciou PM₁₀ nad 50 µg·m⁻³ podľa výsledkov meraní na monitorovacích staniciach v aglomerácii Bratislava v roku 2021.

Obr. 3.1 Priemerné ročné koncentrácie PM₁₀, PM_{2,5} a počet prekročení dennej limitnej hodnoty PM₁₀.

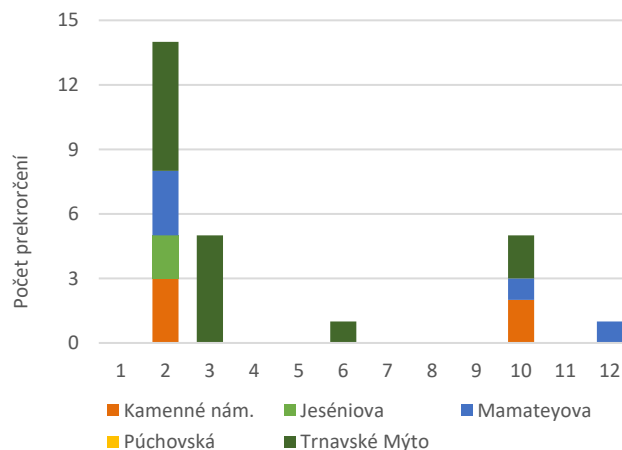


Počet prekročení – zachytáva denné priemerné koncentrácie vyššie ako 50 µg·m⁻³; stanica NMSKO Púchovská neodráža znečistenie ovzdušia za celý rok.

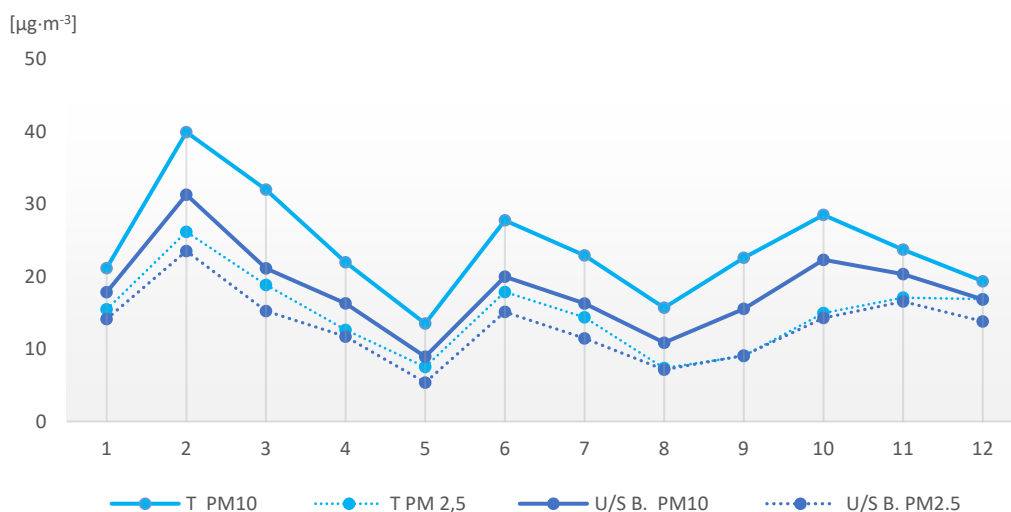
Šípky znázorňujú limitné hodnoty, **šedá** PM_{2,5} (priemerná ročná koncentrácia < 20 µg·m⁻³); **modrá vľavo** PM₁₀ (priemerná ročná koncentrácia < 40 µg·m⁻³); **modrá vpravo** počet prekročení (priemerná denná koncentrácia PM₁₀ 50 µg·m⁻³ sa nesmie prekročiť viac než 35-krát za kalendárny rok).

Limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu PM₁₀ (40 µg·m⁻³) v aglomerácii Bratislava nebola prekročená. Podobne limitnú hodnotu pre počet prekročení (35) priemernej dennej koncentrácie PM₁₀ (50 µg·m⁻³) nepresiahla žiadna stanica (**Obr. 3.2**). Dopravná stanica Trnavské Mýto zaznamenala najvyššiu priemernú ročnú koncentráciu PM₁₀ 24 µg·m⁻³, počet denných prekročení sa oproti predchádzajúcemu roku zvýšil zo 14 na 16. Na mestských pozadových staniciach sme zaznamenali v roku 2021 veľmi malé rozdiely v nameraných ročných koncentráciách. O niečo nižšia bola koncentrácia PM₁₀ na predmestskej pozadovej stanici Jeséniova. **Obr. 3.2** zachytáva počet prekročení priemernej dennej limitnej koncentrácie PM₁₀ za jednotlivé mesiace v roku v aglomerácii Bratislava. Spolu za celý rok ich bolo 28. Takýto počet v niektorých zónach prekračuje aj jedna stanica. Jedno prekročení na Trnavskom mýte sme zaznamenali v júni, čo je pre tento mesiac nezvyčajné. Dôvodom bola pravdepodobne epizóda diaľkového prenosu prachu zo suchých oblastí.

Obr. 3.2 Počet prekročení dennej limitnej hodnoty PM₁₀ za jednotlivé mesiace v roku 2021.



Obr. 3.3 Priemerné mesačné koncentrácie PM₁₀ a PM_{2,5} v aglomerácii Bratislava podľa typu stanice.



T PM₁₀ a T PM_{2,5} – priemerná mesačná koncentrácia PM₁₀ a PM_{2,5} na dopravnej stanici Trnavské mýto a Púchovská;
U/S B PM₁₀ a U/S B PM_{2,5} – priemer mesačných koncentrácií PM₁₀ a PM_{2,5} na mestských/predmestských pozadových staniciach Jeséniova, Kamenné námestie, Mamateyova.

V porovnaní s ostatnými zónami mesačné koncentrácie (Obr. 3.3) vykazujú najmenšie rozdiely v koncentráciách PM₁₀ medzi chladnejšími a teplejšími mesiacmi. Je tomu tak preto, že v Bratislave prevažuje centrálné vykurovanie domácností, ktoré má oveľa nižšie emisie tuhých častíc. Vyššie hodnoty vo februári boli pravdepodobne spôsobené súhrou viacerých faktorov - prítomnosťou anticyklóny na území zóny, relatívne nízkymi teplotami a epizódou diaľkového prenosu saharského prachu. Epizódy prenosu prachu zo vzdialených suchých oblastí sa prejavili v roku 2021 niekoľkokrát, jedna z nich bola pravdepodobne príčinou nezvyčajného prekročenia hodnoty 50 µg·m⁻³ pri priemernej dennej koncentrácii PM₁₀ v mesiaci jún, ako už bolo spomenuté vyššie.

Na Obr. 3.3 sú koncentrácie PM_{2,5} zobrazené prerušovanou čiarou. Rovnako ako PM₁₀ aj PM_{2,5} nevykazuje taký výrazný sezónny chod ako iné monitorovacie stanice na Slovensku. Aj v Bratislave je priemerná ročná koncentrácia na všetkých monitorovacích staniciach vyššia ako odporúčania WHO (5 µg·m⁻³). Toto odporúčanie nebolo splnené v žiadnom mesiaci roka, vrátane leta, keď bývajú koncentrácie PM_{2,5} najnižšie.

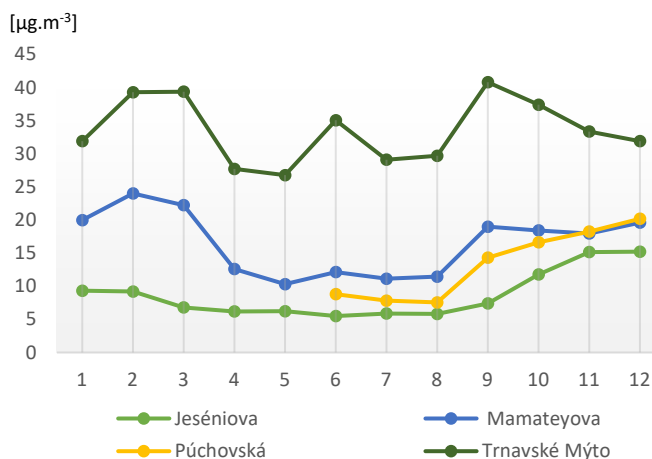
Vysoké priemerné koncentrácie PM_{2,5} sú rizikové najmä pre ich nepriaznivý vplyv na zdravie.

3.1.2 Oxid dusičitý

Monitoring oxidu dusičitého prebieha v aglomerácii Bratislava na štyroch staniciach. Priemerné mesačné hodnoty pre jednotlivé stanice zachytáva Obr. 3.4.

Hlavným zdrojom emisií NO₂ je cestná doprava. Najvyššie koncentrácie z tohto dôvodu zaznamenávame na dopravnej stanici Trnavské Mýto. Priemerná ročná úroveň (33 µg·m⁻³) neprekračuje limitnú hodnotu (40 µg·m⁻³). Koncentrácie na predmestskej pozadovej stanici Jeséniova si celý rok udržiavajú

Obr. 3.4 Priemerné mesačné koncentrácie NO₂.



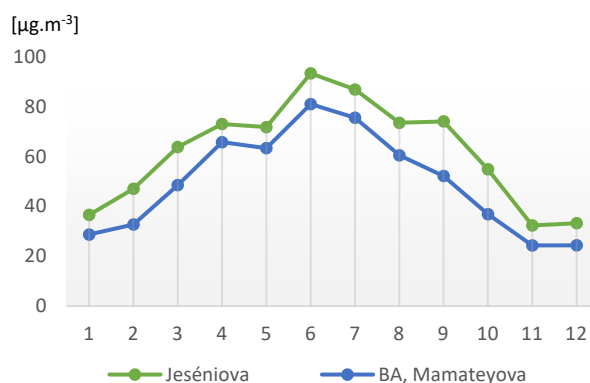
relatívne konštantnú úroveň bez sezónnych výkyvov, charakteristickú pre pozadovú lokalitu bez významnejšieho vplyvu cestnej dopravy či priemyselných zdrojov. Ostatné stanice zaznamenávajú v lete pomerne nevýrazné minimum, čo ilustruje Obr. 3.4. Najvyššie hodnoty sú merané na dopravnej stanici na Trnavskom Mýte v dôsledku vyššej intenzity dopravy. Jednako limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu NO₂ v Bratislave nebola prekročená od roku 2018. Lokálne maximum na Trnavskom mýte v júni 2021 je pravdepodobne výsledkom zhoršených rozptylových podmienok. Priemerné ročné koncentrácie na pozadových staniciach dosahovali hodnoty do 20 µg·m⁻³. Stanica na Jeséniovej ulici je jedinou v Bratislave, ktorá splnila – hoci tesne – odporúčania WHO (10 µg·m⁻³). Tie sú výrazne prísnejšie ako limitné hodnoty EÚ.

3.1.3 Ozón

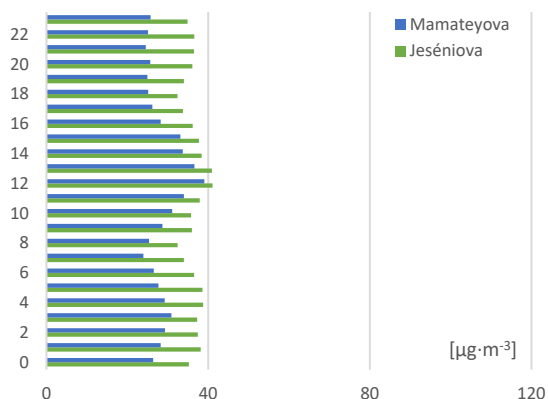
Monitoring ozónu prebieha v hlavnom meste na dvoch monitorovacích staniciach, Mamateyova a Jeséniova. Druhá z nich sa nachádza vo vyššej nadmorskej výške na kopci nad mestom. Na tejto stanici sú merané vyššie koncentrácie ako na Mamateyovej ulici v Petržalke.

Najvyššie koncentrácie prízemného ozónu sa vyskytujú spravidla v teplých mesiacoch s vysokou intenzitou slnečného svitu (Obr. 3.5). Na obrázku Obr. 3.6 a Obr. 3.7 je znázornený tzv. denný chod koncentrácie O₃: koncentrácie stúpajú s východom slnka, vrchol dosahujú okolo poludnia a vo večerných hodinách postupne klesajú na minimum, ktoré sa vyskytuje nadržanom. Veľké rozdiely v koncentráciách prízemného ozónu zaznamenávame tiež v teplom a chladnom období.

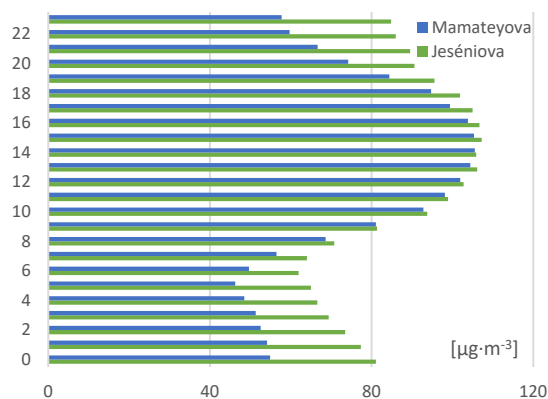
Obr. 3.5 Priemerné mesačné koncentrácie O₃.



Obr. 3.6 Denný chod koncentrácie O₃ v januári 2021.



Obr. 3.7 Denný chod koncentrácie O₃ v júli 2021.



Počet dní s prekročením cieľovej hodnoty prízemného ozónu uvádza **Tab. 3.2**

Tab. 3.2 Počet dní s prekročením cieľovej hodnoty prízemného ozónu na ochranu zdravia ľudí.

Stanica	2019	2020	2021	Priemer 2019 – 2021
Bratislava, Jeséniova	40	17	23	27
Bratislava, Mamatayova	32	12	15	20

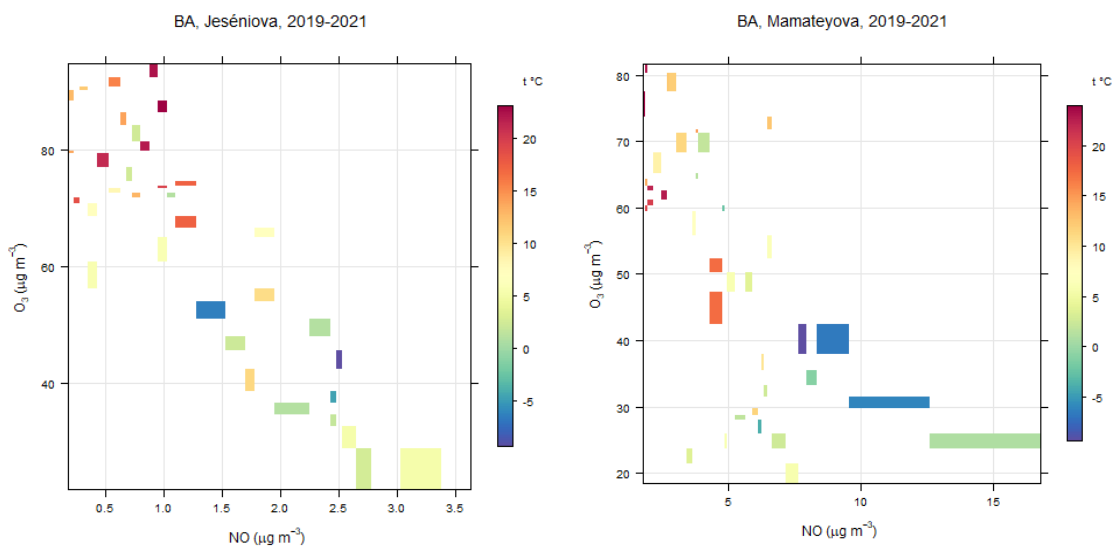
■ ≥ 90 % požadovaných platných údajov Červenou farbou je vyznačené prekročenie cieľovej hodnoty

Poznámka: Cieľová hodnota na ochranu zdravia ľudí pre prízemný ozón je podľa Vyhlášky MŽP SR č. 244/2016 Z. z. o kvalite ovzdušia v znení neskorších predpisov stanovená takto: Najväčšia denná 8-hodinová stredná koncentrácia neprekročí 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ viac ako 25 dní za kalendárny rok v priemere troch rokov“.

Prízemný O_3 vzniká v atmosfére za prítomnosti slnečného (UV-B) žiarenia chemickou reakciou oxidov dusíka (NO , NO_2) a prchavých organických látok alebo oxidu uhoľnatého. Zdrojom oxidov dusíka sú spaľovacie procesy, v podmienkach mestskej aglomerácie najmä cestná doprava, v prípade Bratislavy aj rafinéria. Zdrojom emisií prchavých organických látok je tiež cestná doprava, ale aj priemyselné zdroje a v teplom polroku je významným zdrojom vegetácia. Prízemný O_3 sa však reakciou s NO pri určitých koncentráciách aj rozkladá (tzv. titráciou ozónu), preto sú v oblastiach s vyšším NO nižšie koncentrácie O_3 .

Cieľová hodnota pre ochranu ľudského zdravia pre ozón bola v hodnotených rokoch 2019–2021 prekročená v aglomerácii Bratislava na monitorovacej stanici Bratislava, Jeséniova. Príčinou nižších hodnôt prízemného ozónu na Mamatayovej ulici oproti Jeséniovej je pravdepodobne spomenutá titrácia ozónu oxidom dusnatým, ktorý sa v okolí Mamatayovej vyskytuje vo vyšších koncentráciách než na Jeséniovej v dôsledku vplyvu rafinérie aj cestnej dopravy (**Obr. 3.8**).

Obr. 3.8 Závislosť priemerných mesačných koncentrácií O_3 od NO a teploty.

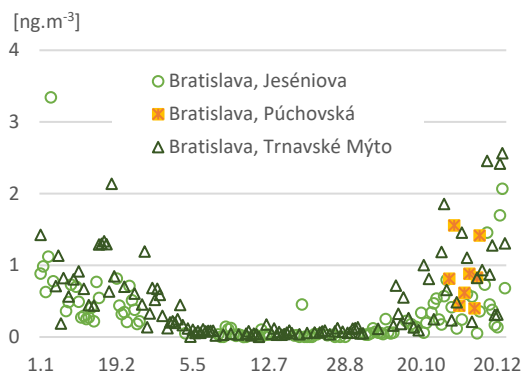


3.1.4 Benzo(a)pyrén

Znečisťujúca látka benzo(a)pyrén sa v aglomerácii Bratislava monitoruje na troch monitorovacích staniciach – na Jeséniovej ulici, na Trnavskom mýte a na Púchovskej ulici. Žiadna zo staníc, ktoré merali počas celého roku, neprekročila cieľovú hodnotu pre priemernú ročnú koncentráciu ($1\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$). Monitoring benzo(a)pyrénu na novej dopravnej stanici na Púchovskej prebiehal počas novembra, v decembri bol výpadok meraní pre technickú poruchu. Namerané hodnoty zodpovedali približne hodnotám nameraným na Trnavskom mýte v rovnakom období.

Vyššie hodnoty benzo(a)pyrénu sme na bratislavských staniciach namerali v chladných mesiacoch roka, častejšie na dopravnej stanici na Trnavskom mýte a epizodicky aj na Jeséniovej ulici (Obr. 3.9).

Obr. 3.9 Výsledky meraní benzo(a)pyrénu v aglomerácii Bratislava v roku 2021.



Tab. 3.3 Vyhodnotenie znečistenia ovzdušia benzo(a)pyrénom.

	2017	2018	2019	2020	2021
Cieľová hodnota [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Bratislava, Jeséniova			0,2	0,2	0,3
Bratislava, Trnavské Mýto	0,4	0,9	0,4	0,5	0,5
Bratislava, Púchovská					*0,9

≥ 90 % platných meraní

* Na celoročné hodnotenie nie je dostatok meraní.

3.1.5 Chemické zloženie zrážok

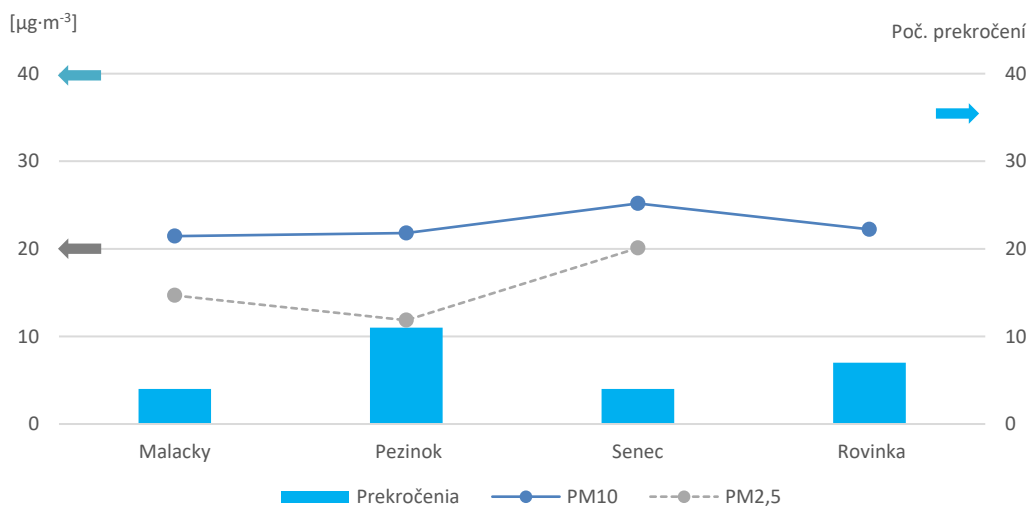
Na predmestskej pozadovej stanici Jeséniova sa monitoruje na mesačnej báze kvalita zrážok. Sleduje sa kvalitatívne zloženie základných iónov, parametre pH a vodivosť. Ročná priemerná hodnota pH bola 5,96, a ani mesačné priemery neklesli pod hodnotu pH 5. Nízke boli tiež namerané koncentrácie síranov a dusičnanov. Môžeme konštatovať, že v aglomerácii Bratislava nedochádza k nadmernej acidifikácii prostredia. Podrobné výsledky monitoringu sú uvedené v kapitole 3.4 Regionálny monitoring Správy o kvalite ovzdušia za rok 2021.

3.2 ZÓNA BRATISLAVSKÝ KRAJ

3.2.1 Tuhé častice PM₁₀ a PM_{2,5}

Obr. 3.10 zobrazuje priemerné ročné koncentrácie PM₁₀, PM_{2,5} a počet dní s priemernou dennou koncentraciou PM₁₀ nad 50 µg·m⁻³ podľa výsledkov meraní na monitorovacích staniciach v zóne Bratislavský kraj v roku 2021.

Obr. 3.10 Priemerné ročné koncentrácie PM₁₀, PM_{2,5} a počet prekročení dennej limitnej hodnoty PM₁₀.

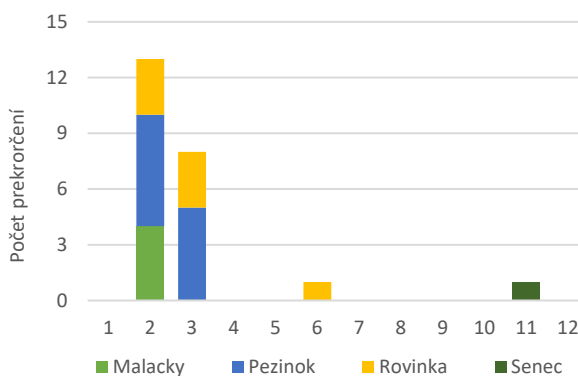


Počet prekročení – zachytáva denné priemerné koncentrácie vyššie ako 50 µg·m⁻³; stanica NMSKO Senec, Boldocká bola v prevádzke od septembra 2021 – z tohto dôvodu neodráža priemerná hodnota a počet prekročení znečistenie ovzdušia na tejto stanici za celý rok.

Šípky znázorňujú limitné hodnoty, šedá PM_{2,5} (priemerná ročná koncentrácia < 20 µg·m⁻³); modrá vľavo PM₁₀ (priemerná ročná koncentrácia < 40 µg·m⁻³); modrá vpravo počet prekročení (priemerná denná koncentrácia PM₁₀ 50 µg·m⁻³ sa nesmie prekročiť viac než 35-krát za kalendárny rok).

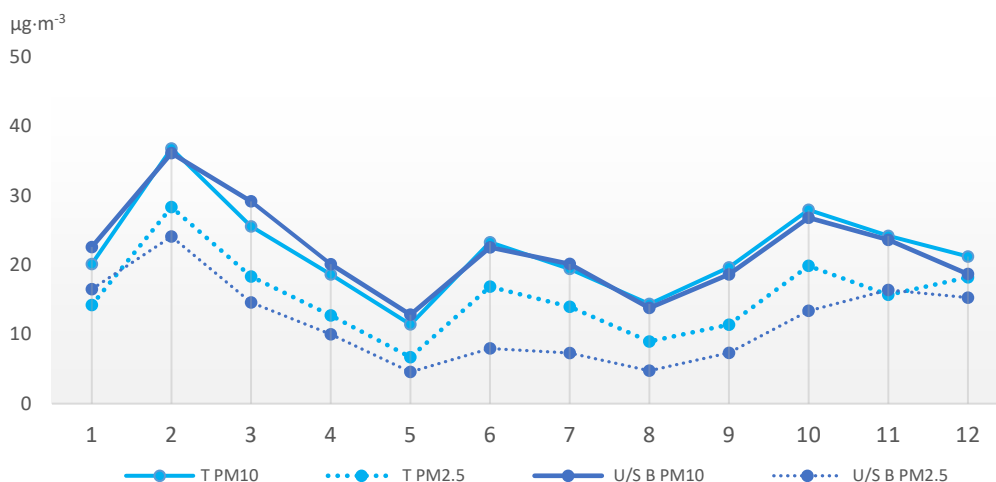
Limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu PM₁₀ (40 µg·m⁻³) v zóne Bratislavský kraj nebola prekročená. Takisto limitnú hodnotu pre počet prekročení (35) priemernej dennej koncentrácie PM₁₀ (50 µg·m⁻³) nepresiahla žiadna stanica (**Obr. 3.10**). Dopravná stanica Senec začala merať v priebehu septembra 2021. Priemerná koncentrácia PM₁₀ aj PM_{2,5} (za obdobie 22. 9. – 31. 12. 2021) na tejto stanici dosiahla najvyššiu hodnotu nameranú v roku 2021 v zóne Bratislavský kraj. Je to tak len preto, že koncom roka sú koncentrácie najvyššie (kvôli zhoršeným rozptylovým podmienkam, vykurovaniu domácností, studeným štartom spaľovacích motorov áut atď). Dopravná stanica v Malackách namerala priemernú ročnú koncentráciu 21 µg·m⁻³ a 2 zvyšné (mestská a predmestská) požadové stanice v Pezinku a Rovinke 22 µg·m⁻³. V zóne Bratislavský kraj sme v Malackách zaznamenali 4 prekročenia dennej limitnej hodnoty 50 µg·m⁻³ PM₁₀ v dennom priemere za kalendárny rok, v Pezinku 11, v Senci 4 a Rovinke 7 (**Obr. 3.11**). Tieto hodnoty patria medzi najnižšie v monitorovacej sieti NMSKO v rámci celého Slovenska.

Obr. 3.11 Počet prekročení dennej limitnej hodnoty PM₁₀ za jednotlivé mesiace v roku 2021.



Zvláštnosťou je prekročenie namerané v júni v Rovinke, podobne ako vo viacerých iných zónach sa tu prejavil vplyv diaľkového prenosu prachu zo suchých oblastí v tretej dekáde júna.

Obr. 3.12 Priemerné mesačné koncentrácie PM_{10} a $PM_{2,5}$ v kraji podľa typu stanice.



T PM_{10} a T $PM_{2,5}$ – priemer mesačných koncentrácií PM_{10} a $PM_{2,5}$ na dopravných staniciach Malacký a Senec (stanica nemerala celý rok); U/S B PM_{10} a U/S B $PM_{2,5}$ – priemer mesačných koncentrácií PM_{10} a $PM_{2,5}$ na mestských/predmestských požadových staniciach Pezinok a Rovinka;

Priebeh priemerných mesačných koncentrácií PM_{10} a $PM_{2,5}$ v roku 2021 nemá výrazný sezónny trend. Vplyv vykurovania domácností je menší ako v hornatejších oblastiach, oblasť je z väčšej časti dobre ventilovaná. V niektorých mesiacoch (jún, február) sa tu na zvýšených koncentráciách prejavil vplyv diaľkového prenosu prachu zo suchých oblastí v kombinácii so zhoršenými rozptylovými podmienkami.

Zvýšené koncentrácie jemných častíc $PM_{2,5}$ v ovzduší sú rizikové najmä pre ich nepriaznivý vplyv na ľudské zdravie. V zóne Bratislavský kraj rovnako ako pre PM_{10} aj pre $PM_{2,5}$ platí, že nevykazujú taký výrazný sezónny chod ako v iných oblastiach na Slovensku. I v tejto zóne je priemerná ročná koncentrácia na všetkých monitorovacích staniciach vyššia ako odporúčanie WHO ($5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Toto odporúčanie nebolo splnené v žiadnom mesiaci roka (Obr. 3.12), vrátane leta, keď bývajú koncentrácie $PM_{2,5}$ najnižšie.

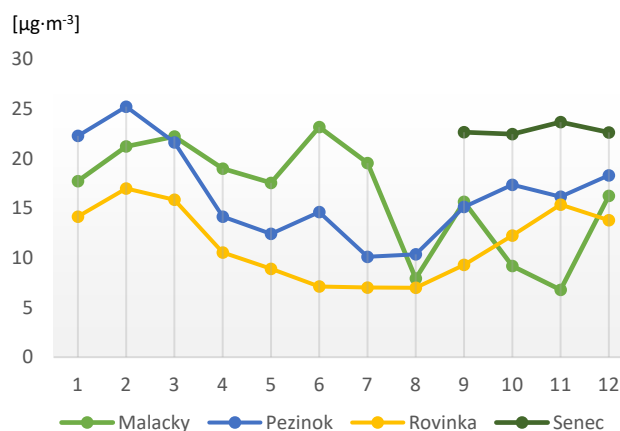
3.2.2 Oxid dusičitý

Monitoring oxidu dusičitého prebieha na štyroch staniciach, priemerné mesačné hodnoty pre jednotlivé stanice zachytáva Obr. 3.13.

Hlavným zdrojom emisií NO_2 je cestná doprava. Najvyššie koncentrácie z tohto dôvodu zaznamenávame na dopravných staniciach – v tejto zóne v Senci (AMS však merala len tri mesiace koncom roka) ($23 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Je zaujímavé, že dopravná stanica v Malackách namerala v roku 2021 rovnakú priemernú hodnotu NO_2 ako požadová stanica v Pezinku ($16 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), pričom limitná hodnota je $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Mesačné koncentrácie nemajú výrazné sezónne výkyvy. V letných mesiacoch sa vyskytuje nevýrazné minimum, čo ilustruje Obr. 3.13. Lokálne maximá, ktoré boli zaregistrované v Malackách v júni a v septembri, môžu byť odrazom zhoršených rozptylových

Obr. 3.13 Priemerné mesačné koncentrácie NO_2



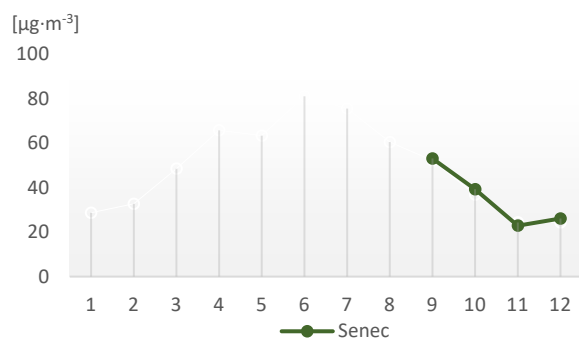
podmienok. Celkovo sú koncentrácie NO₂ v zóne Bratislavský kraj na relatívne nízkej úrovni, jednako však ani jedna stanica nesplnila odporúčanie WHO pre priemernú ročnú úroveň tejto znečisťujúcej látky (10 µg·m⁻³), ktoré je výrazne prísnejšie než limit EÚ.

3.2.3 Ozón

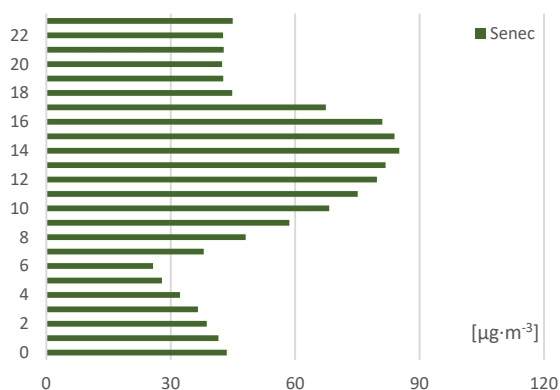
Monitoring ozónu prebieha na novej monitorovacej stanici v Senci, merania začali v septembri 2021, namerané koncentrácie nedosahovali vysoké hodnoty (**Obr. 3.14**)

Najvyššie koncentrácie prízemného ozónu sa vyskytujú spravidla v teplých mesiacoch s vysokou intenzitou slnečného svitu. Na **Obr. 3.15** a **Obr. 3.16** je znázornený tzv. denný chod koncentrácie O₃, vidíme, že koncentrácie stúpajú s východom slnka, vrchol dosahujú okolo poludnia a vo večerných hodinách postupne klesajú na minimum, ktoré sa vyskytuje nadržanom. Veľké rozdiely v koncentráciách prízemného ozónu zaznamenávame tiež v teplom a chladnom období.

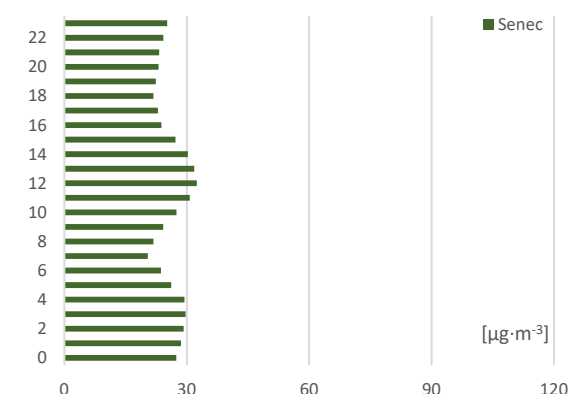
Obr. 3.14 Priemerné mesačné koncentrácie O₃.



Obr. 3.15 Denný chod koncentrácie O₃ v januári 2021.



Obr. 3.16 Denný chod koncentrácie O₃ v júli 2021.

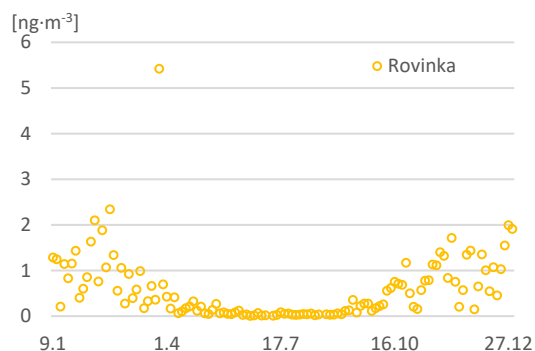


3.2.4 Benzo(a)pyrén

Znečisťujúca látka benzo(a)pyrén sa v zóne Bratislavský kraj monitoruje v Rovinke (**Obr. 3.17**). Priemerná ročná koncentrácia mala v roku 2021 hodnotu 0,6 ng·m⁻³, neprekročila teda cieľovú hodnotu (1 ng·m⁻³).

Vyššie hodnoty benzo(a)pyrénu sa vyskytujú v zimnom období, čo je odrazom zhoršených rozptylových podmienok v tejto oblasti a lokálne (v menšej miere ako v ostatných krajoch) aj vplyvom vykurovania domácností.

Obr. 3.17 Výsledky meraní benzo(a)pyrénu v zóne Bratislavský kraj v roku 2021.



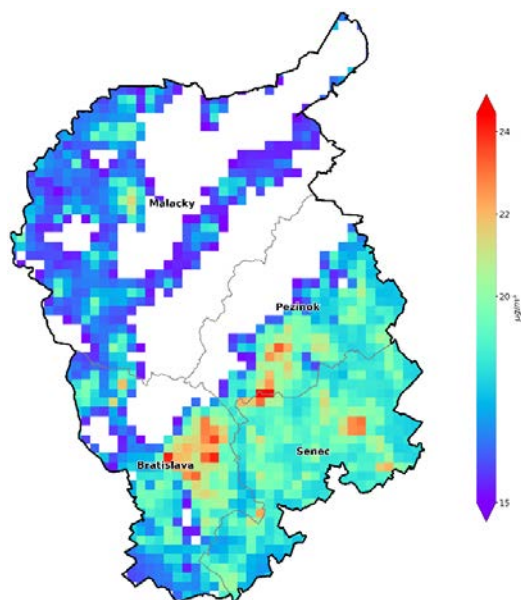
Tab. 3.4 Vyhodnotenie znečistenia ovzdušia benzo(a)pyrénom

	2017	2018	2019	2020	2021
Cieľová hodnota [ng·m ⁻³]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Horná medza na hodnotenie [ng·m ⁻³]	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Dolná medza na hodnotenie [ng·m ⁻³]	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Rovinka				0,4	0,6

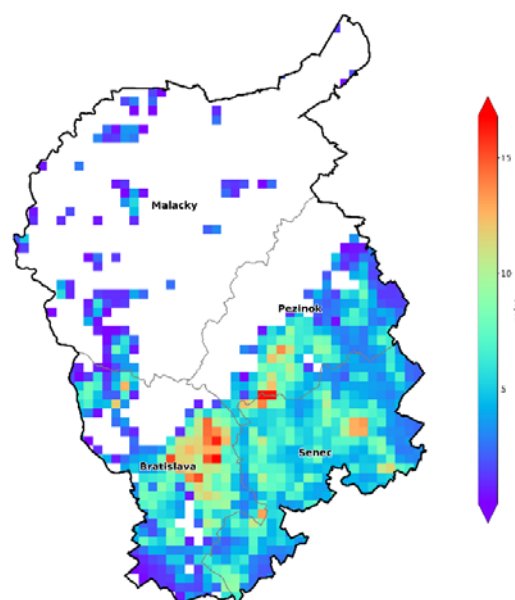
4 MODELOVANIE KVALITY OVZDUŠIA

Na **Obr. 4.1** a **Obr. 4.2** sú výsledky modelovania PM₁₀ vypočítané pomocou modelu RIO v kombinácii s IDW-R (podrobnejší popis metódy je v Kapitole 4 *Správy o kvalite ovzdušia v SR 2021*). Pre lepšiu názornosť sú zobrazené iba oblasti, pre ktoré vyšli priemerné ročné hodnoty koncentrácií vyššie ako prísnejšie ročné limity odporúčané WHO. Výsledky modelovania s vyšším rozlíšením sú spracované pre rok 2019 v samostatnej štúdii⁵.

Obr. 4.1 Priemerná ročná koncentrácia PM₁₀ v roku 2021. Zobrazené sú len hodnoty nad 15 µg·m⁻³.



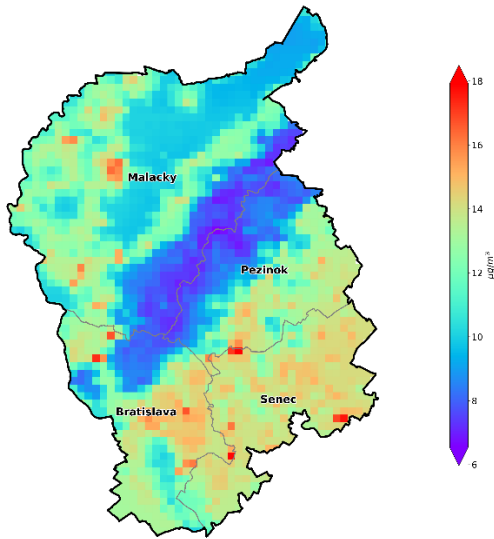
Obr. 4.2 Počet prekročení dennej limitnej hodnoty PM₁₀ v roku 2021. Zobrazené sú len oblasti, pre ktoré vyšiel nenulový počet prekročení.



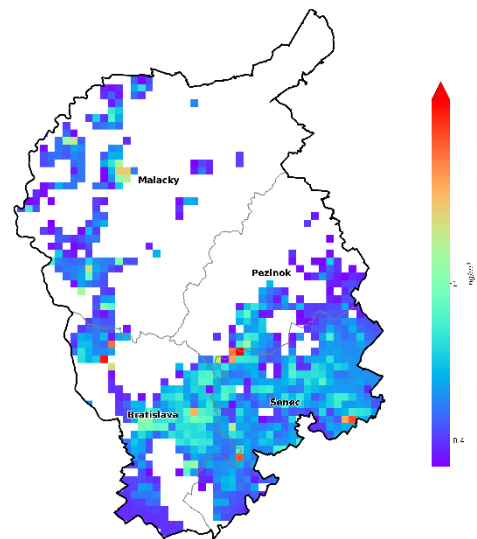
Mapa na **Obr. 4.3** zobrazuje priestorové rozloženie priemerných ročných koncentrácií PM_{2,5} podľa výstupu modelu RIO v kombinácii s modelom IDW-R. Podľa výstupov modelu bola priemerná ročná koncentrácia PM_{2,5} na celom území zóny vyššia než limitná hodnota odporúčaná WHO (limitné hodnoty WHO sú prísnejšie než limit EÚ). Najvyššie koncentrácie sú pravdepodobne lokalizované v oblasti Podunajskej nížiny a na Záhorí. V Bratislave sú najvyššie koncentrácie v okolí frekventovaných ciest v cestných kaňonoch, ako ukazuje modelovanie s vysokým rozlíšením v štúdii citovanej vyššie.

⁵ Krajčovičová et al.: Štúdia kvality ovzdušia v aglomerácii Bratislava. SHMÚ.2020. dostupné na https://www.shmu.sk/File/oko/studie_analyzy/Studia_BA_2020.pdf

Obr. 4.3 Priemerná ročná koncentrácia $PM_{2,5}$ v roku 2021 podľa výstupu modelu RIO, IDW-R.



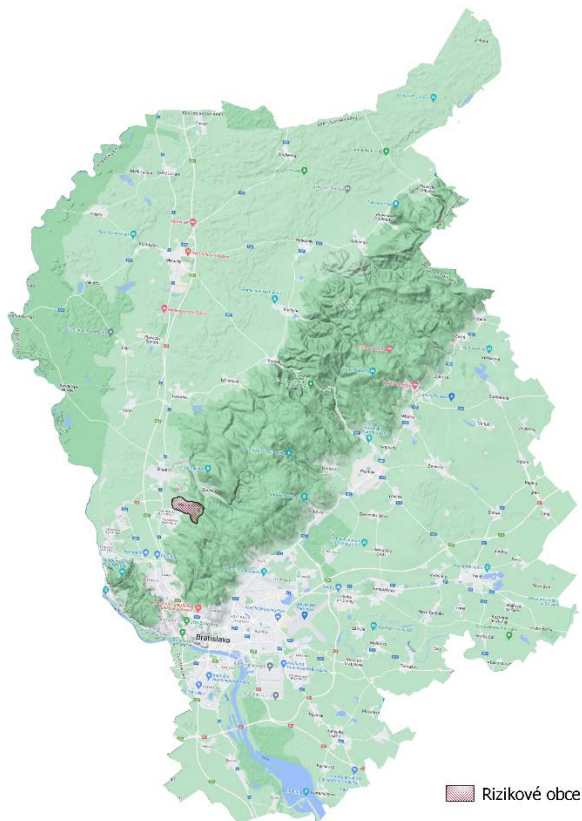
Obr. 4.4 Priemerná ročná koncentrácia benzo(a)pyrénu v roku 2021 podľa výstupu modelu RIO, IDW-R



Mapa priestorového rozloženia priemerných ročných koncentrácií benzo(a)pyrénu podľa výstupu modelu RIO, IWD-R (**Obr. 4.4**) ukazuje možný výskyt vyšších koncentrácií v oblasti Malaciek, Gajár, Zohoru, Hrubej Borši a Slovenského Grobu. Pre presnejšie informácie by však bolo potrebné uskutočniť modelovanie s vysokým rozlíšením doplnené o monitoring pre spomenuté oblasti.

4.1 Rizikové oblasti

Obr. 4.5 Rizikové obce v Bratislavskom kraji a aglomerácii Bratislava



Obr. 4.5 zobrazuje oblasti, ktoré sú podľa výsledkov modelovania ohrozené zhoršenou kvalitou ovzdušia kvôli PM a benzo(a)pyrénu z vykurovania domácností, spracované podľa metodiky *D. Štefánik: Určenie rizikových obcí s kvalitou ovzdušia ohrozenou lokálnym vykurovaním a zhoršenými rozptylovými podmienkami* (aktualizované v roku 2022)⁶.

V Bratislavskom kraji sa podľa dostupných údajov nachádza najmenší počet rizikových obcí zo všetkých krajov (1 obec). Dôvodom je tvar terénu, ktorý umožňuje prevažne dobrú ventiláciu a nižší podiel tuhých palív na vykurovaní domácností.

Je potrebné poznamenať, že hodnotenie je založené na údajoch zo SODB 2021, ktoré neodrážalo ešte dopad energetickej krízy. Podrobnejšie údaje o druhu a spotrebe palív a druhu vykurovacích zariadení na úrovni obcí a ich častí, sú potrebným vstupom pre kontrolu a spresnenie vymedzenia rizikových oblastí. Takisto aj pre modelovanie s vysokým rozlíšením, ktorého výstupy by pomohli kvantifikovať podiel rôznych druhov zdrojov a príspevku od regionálneho pozadia na znečistení ovzdušia.

5 ZHRNUTIE

Podľa výsledkov monitoringu nebola v roku 2021 v aglomerácii Bratislava ani v zóne Bratislavský kraj prekročená limitná hodnota pre PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, CO ani pre benzén.

Podobne, cieľová hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu benzo(a)pyrénu nebola prekročená na žiadnej stanici NMSKO. V aglomerácii Bratislava ani v zóne Bratislavský kraj nebolo v troch posledných rokoch namerané prekročenie limitnej ani cieľovej hodnoty pre žiadnu znečisťujúcu látku. V Bratislavskom kraji preto nie sú vymedzené oblasti riadenia kvality ovzdušia na základe monitorovania.

Na základe výstupov zo štúdie *Krajčovičová et al.: Štúdia kvality ovzdušia v aglomerácii Bratislava (SHMÚ 2020)*⁷ môžeme usúdiť, že v aglomerácii Bratislava sa v okolí frekventovaných cestných komunikácií kaňonovitého typu môžu vyskytovať koncentrácie PM a NO₂ vyššie než hodnoty namerané na dopravnej stanici na Trnavskom mýte.

Vplyv petrochemického komplexu, ktorý sa nachádza v lokalite Bratislava, Vlčie hrdlo, sa prejavuje v aglomerácii Bratislava a v príľahlej časti zóny Bratislavský kraj len epizodicky, ako bolo ukázané matematickým modelovaním s vysokým priestorovým rozlíšením. Vo všeobecnosti na základe dostupných údajov môžeme oblasť zóny Bratislavský kraj z hľadiska kvality ovzdušia zaradiť medzi menej problémovú.

⁶ https://www.shmu.sk/File/oko/studie_analyzy/Popis_metody_na_urcenie_rizikovych_oblasti_aktualizacia.pdf

⁷ https://www.shmu.sk/File/oko/studie_analyzy/Studia_BA_2020.pdf