

SPRÁVA O KVALITE OVZDUŠIA V SR

2021

PRÍLOHA

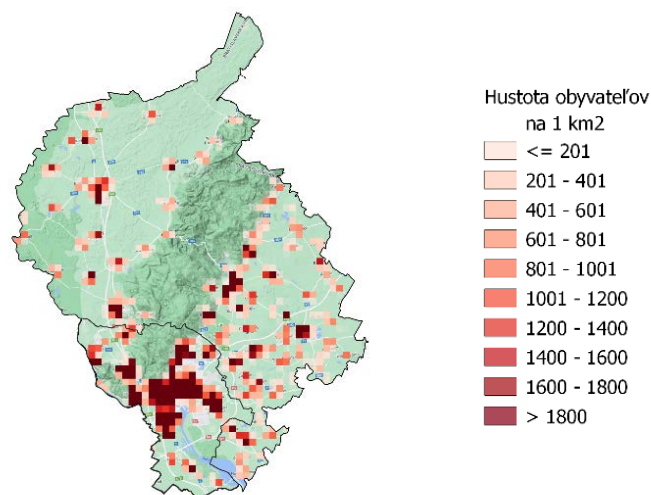
HODNOTENIE KVALITY OVZDUŠIA V AGLOMERÁCII BRATISLAVA A V ZÓNE BRATISLAVSKÝ KRAJ

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	5
2.2	ZÓNA BRATISLAVSKÝ KRAJ	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
5	ZHRNUTIE	17

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.

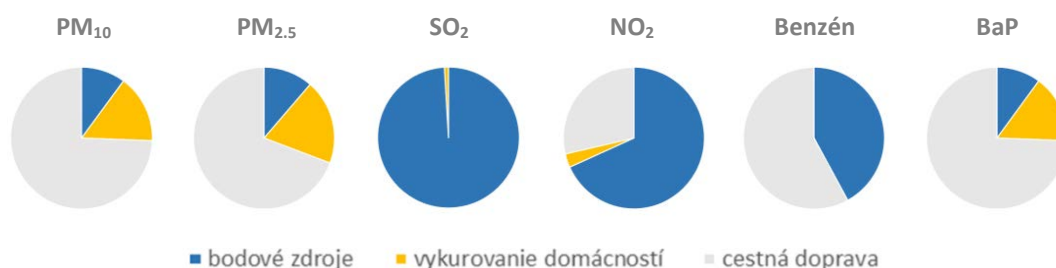
V oblasti Devínskej brány, ktorá oddeľuje Hainburgské vrchy a Devínske Karpaty a v oblasti Lamačskej brány medzi Devínskymi Karpatmi a Pezinskými Karpatmi, dochádza k orografickému zvýšeniu rýchlosti vetra, čo priaznivo pôsobí na ventiláciu mesta. Bratislavou preteká rieka Dunaj využívaná na lodnú dopravu.

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 podľa 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-inzinierstvo/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;

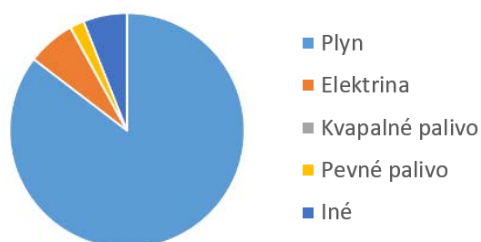
Obr. 1.2 Podiel rôznych druhov zdrojov znečisťovania ovzdušia na celkových emisiách v aglomerácii Bratislava.



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, Záhorsku 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.

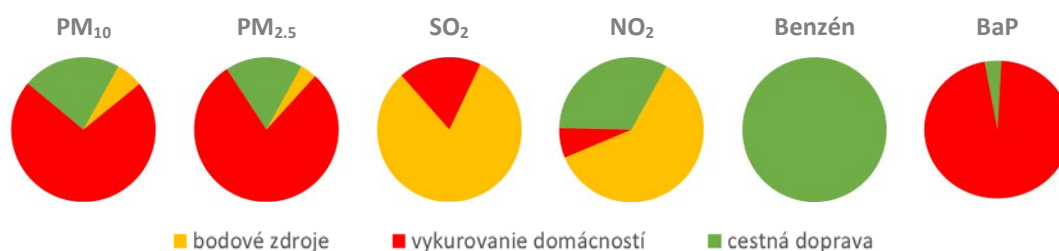
Zdroje znečisťovania ovzdušia v zóne Bratislavský kraj

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>

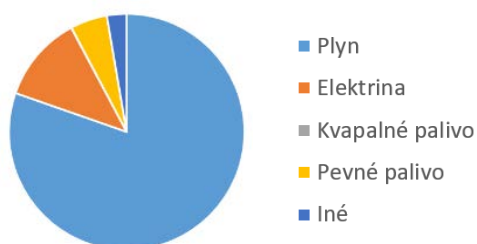
Obr. 1.4 Podiel rôznych druhov zdrojov znečisťovania ovzdušia na celkových emisiách v zóne Bratislavský kraj.



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 cementární (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 AGLOMERÁCII 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>

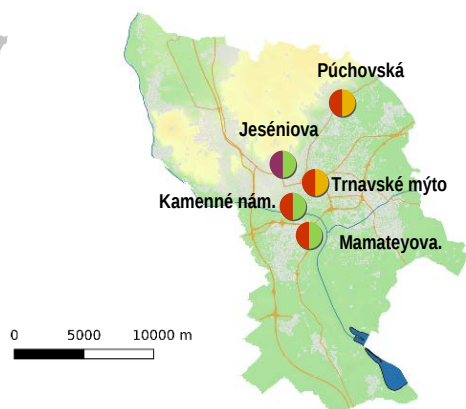
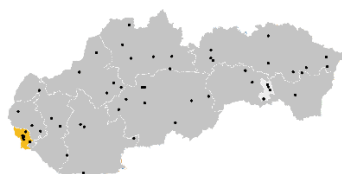
2.1 AGLOMERÁCIA BRATISLAVA (územie hlavného mesta Slovenskej republiky Bratislavy)

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.

Sídlikovú zástavbu reprezentuje stanica NMSKO v Petržalke na Mamateyovej ulici, ďalšie monitorovacie stanice sa nachádzajú v rezidenčnej štvrti na Jeséniovej ulici na Kolibe (monitoruje požadové 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.

Aglomerácia Bratislava								Merací program									
								Kontinuálne								Manuálne	
Okres	Kód Eol	Názov stanice	Typ		Zemepisná		Nadmorská výška [m]	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO, NO ₂	SO ₂	O ₃	CO	Benzén	Hg	As, Cd, Ni, Pb	BaP
			oblasti	stanice	dĺžka	šírka											
Bratislava I	SK0004A	Bratislava, Kamenné nám.	U	B	17°06'49"	48°08'41"	139										
Bratislava III	SK0002A	Bratislava, Trnavské mýto	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



Typ oblasti:

U – mestská

S – predmestská

R – vidiecka (regionálna)

Typ stanice:

B – požadová

T – dopravná

I – priemyselná

Na predmestskej požadovej 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

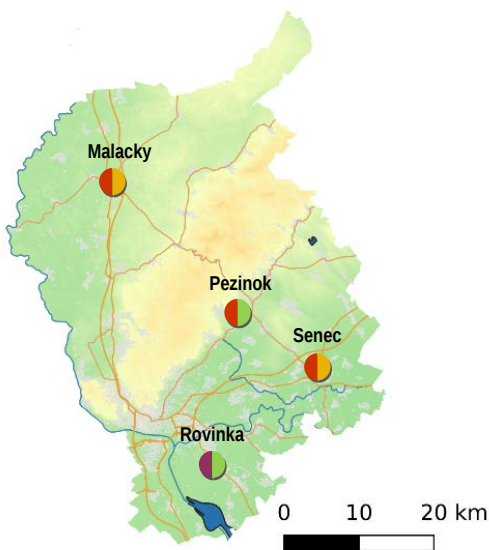
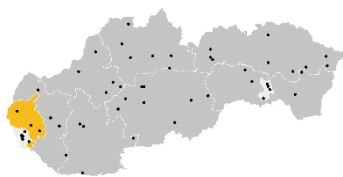
2.2 ZÓNA BRATISLAVSKÝ KRAJ (bez aglomerácie Bratislava)

Kvalita ovzdušia v zóne Bratislavský kraj sa sleduje na štyroch staniciach 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									
								Kontinuálne								Manuálne	
Okres	Kód Eol	Názov stanice	Typ		Zemepisná		Nadmorská výška [m]	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO, NO ₂	SO ₂	O ₃	CO	Benzén	Hg	As, Cd, Ni, Pb	BaP
			oblasti	stanice	dĺžka	Šírka											
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 Doba spriemerovania Parameter Limitná hodnota [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] Maximálny počet prekročení	Ochrana zdravia									VP ²⁾	
		SO ₂		NO ₂		PM ₁₀		PM _{2,5}	CO	Benzén	SO ₂	NO ₂
		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
		počet prekročení	počet prekročení	počet prekročení	príemer	počet prekročení	príemer	príemer	príemer	príemer	počet prekročení	počet prekročení
		350	125	200	40	50	40	20	10 000	5	500	400
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	Malacký, 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

 ≥ 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

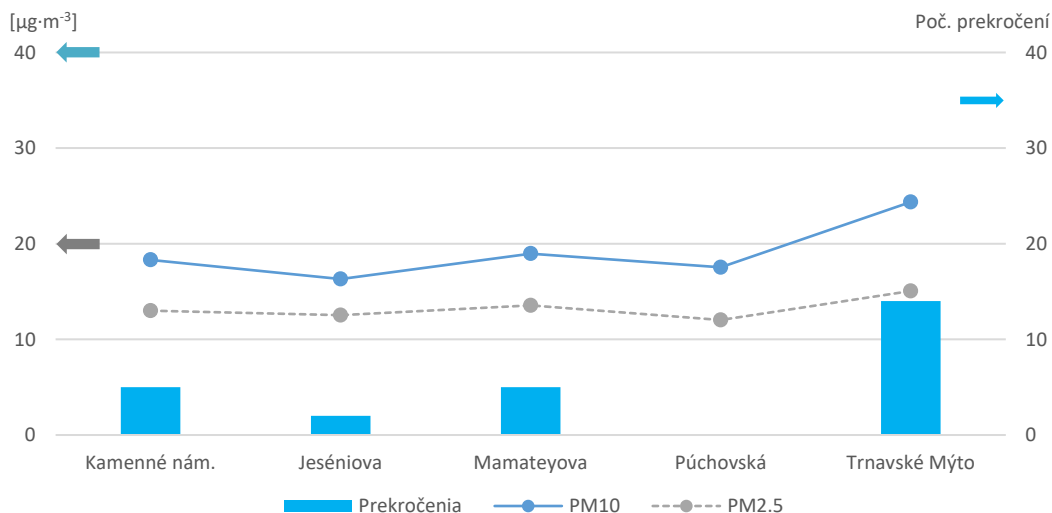
S výnimkou nových monitorovacích staníc Bratislava, Púchovská (merať začala 26. 5. 2021) a Senec, Boldocká (merať začala 22. 9. 2021) bol v súlade s Vyhláškou MŽP SR č. 244/2016 Z. z. o kvalite ovzdušia v znení neskorších predpisov na ostatných monitorovacích staniciach vyžadovaný podiel platných hodnôt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

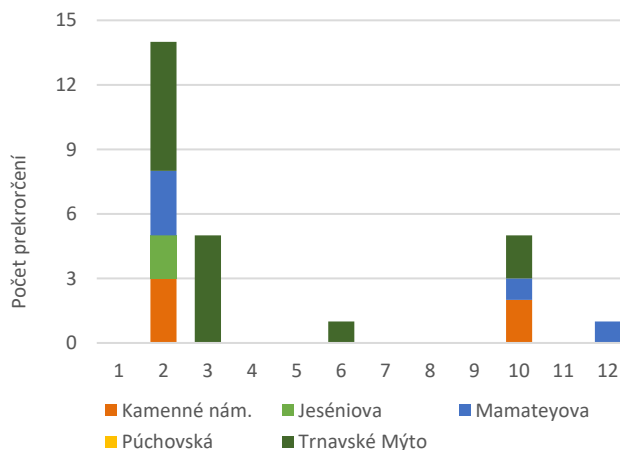


Počet prekročení – zachytáva denné priemerné koncentrácie vyššie ako 50 µg·m⁻³; stanica NMSKO Púchovská neodráža znečistenie ovzdušia za celý rok.

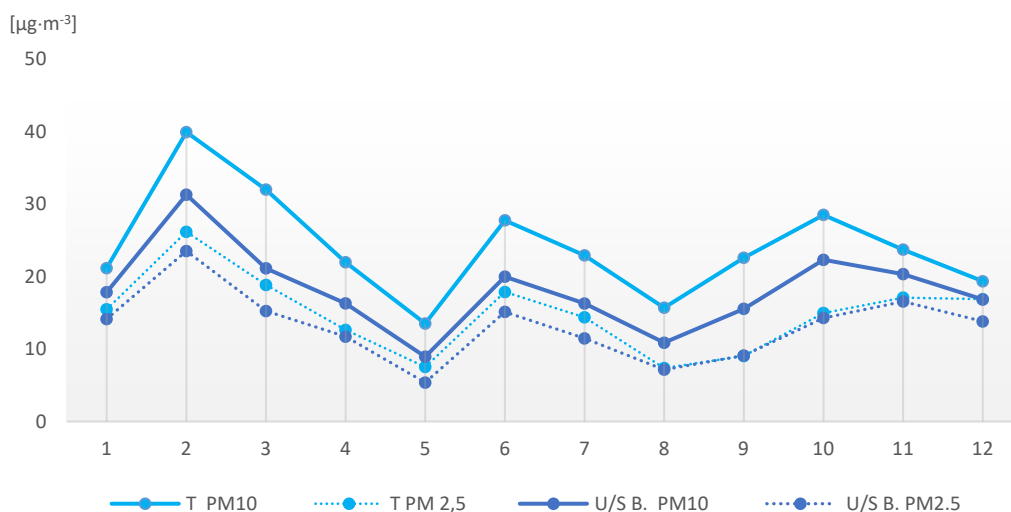
Šípky znázorňujú limitné hodnoty, **šedá** PM_{2,5} (priemerná ročná koncentrácia < 20 µg·m⁻³); **modrá vľavo** PM₁₀ (priemerná ročná koncentrácia < 40 µg·m⁻³); **modrá vpravo** počet prekročení (priemerná denná koncentrácia PM₁₀ 50 µg·m⁻³ sa nesmie prekročiť viac než 35-krát za kalendárny rok).

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 prekročenie 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 PM_{10} 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 PM_{10} 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 $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pri priemernej dennej koncentrácii PM_{10} v mesiaci jún, ako už bolo spomenuté vyššie.

Na Obr. 3.3 sú koncentrácie $PM_{2,5}$ zobrazené prerušovanou čiarou. Rovnako ako PM_{10} 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 ($5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Toto odporúčanie nebolo splnené v žiadnom mesiaci roka, vrátane leta, keď bývajú koncentrácie $PM_{2,5}$ najnižšie.

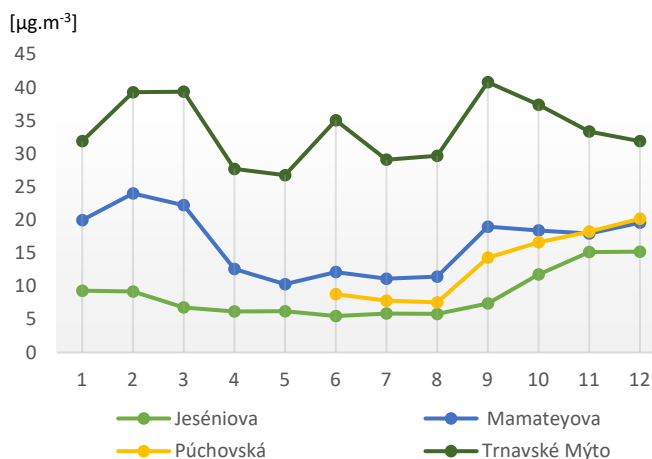
Vysoké priemerné koncentrácie $PM_{2,5}$ sú rizikové najmä pre ich nepriaznivý vplyv na zdravie.

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 NO_2 je cestná doprava. Najvyššie koncentrácie z tohto dôvodu zaznamenávame na dopravnej stanici Trnavské Mýto. Priemerná ročná úroveň ($33 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) neprekračuje limitnú hodnotu ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Koncentrácie na predmestskej pozadovej stanici Jeséniova si celý rok udržujú

Obr. 3.4 Priemerné mesačné koncentrácie NO_2 .



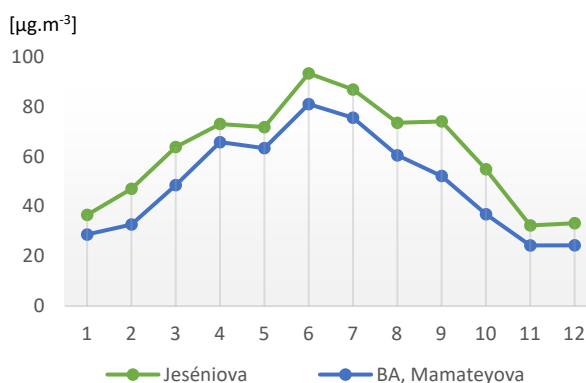
relatívne konštantnú úroveň bez sezónnych výkyvov, charakteristickú pre pozadovú lokalitu bez významnejšieho vplyvu cestnej dopravy či priemyselných zdrojov. Ostatné stanice zaznamenávajú v lete pomerne nevýrazné minimum, čo ilustruje Obr. 3.4. Najvyššie hodnoty sú merané na dopravnej stanici na Trnavskom 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

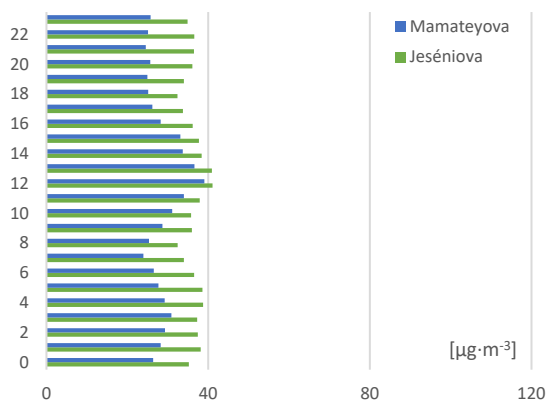
Monitoring ozónu prebieha v hlavnom meste na dvoch monitorovacích staniciach, Mamateyova a Jeséniova. Druhá z nich sa nachádza vo vyššej nadmorskej výške na kopci nad mestom. Na tejto stanici sú merané vyššie koncentrácie ako na Mamateyovej ulici v Petržalke.

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.

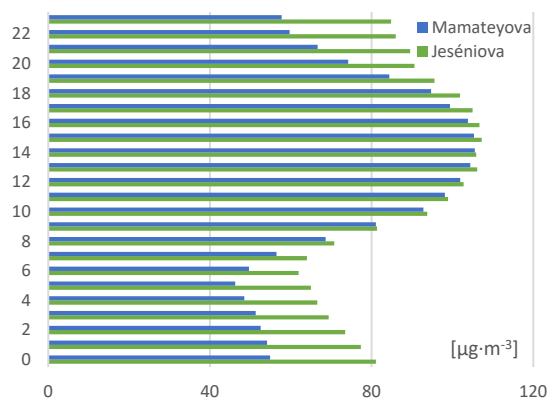
Obr. 3.5 Priemerné mesačné koncentrácie O₃.



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, Mamateyova	32	12	15	20

≥ 90 % požadovaných platných údajov

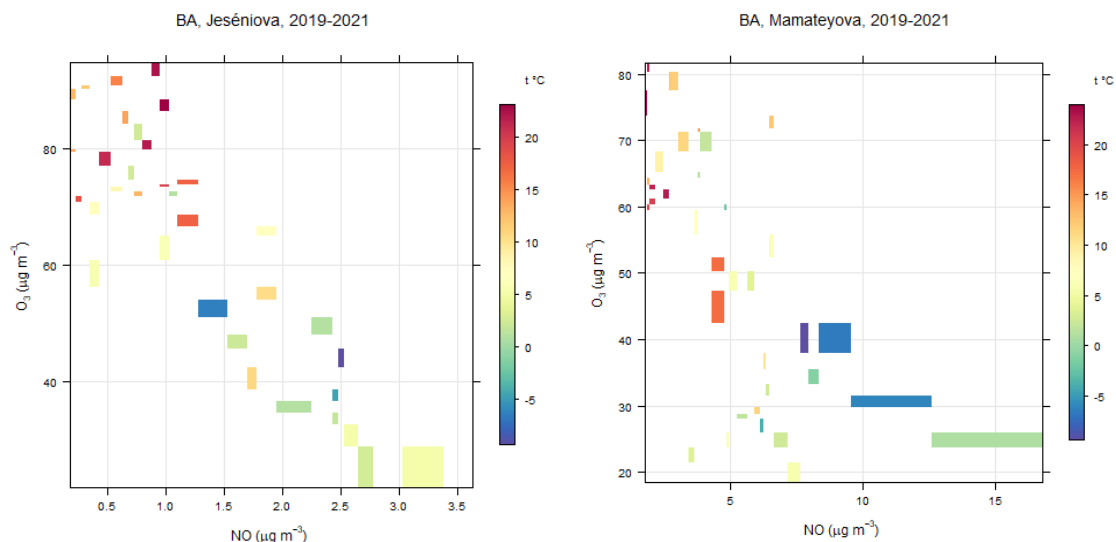
Červenou farbou je vyznačené prekročenie cieľovej hodnoty

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 Mamateyovej ulici oproti Jeséniovej je pravdepodobne spomenutá titrácia ozónu oxidom dusnatým, ktorý sa v okolí Mamateyovej 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.

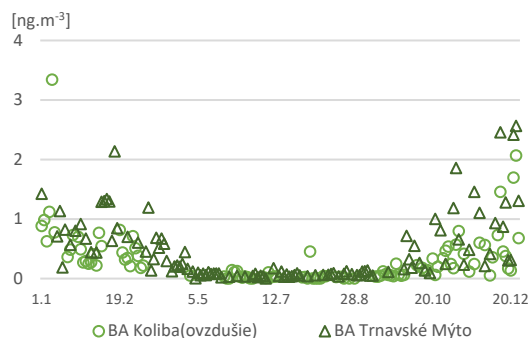


3.1.4 Benzo(a)pyrén

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 neprekročila cieľovú hodnotu pre priemernú ročnú koncentráciu ($1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$).

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. 3.2 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					*

■ $\geq 90\%$ platných meraní

* Bude doplnené po dokončení analýz

Poznámka: Výsledky za rok 2021 sú spracované na základe predbežného hodnotenia.

3.1.5 Chemické zloženie zrážok

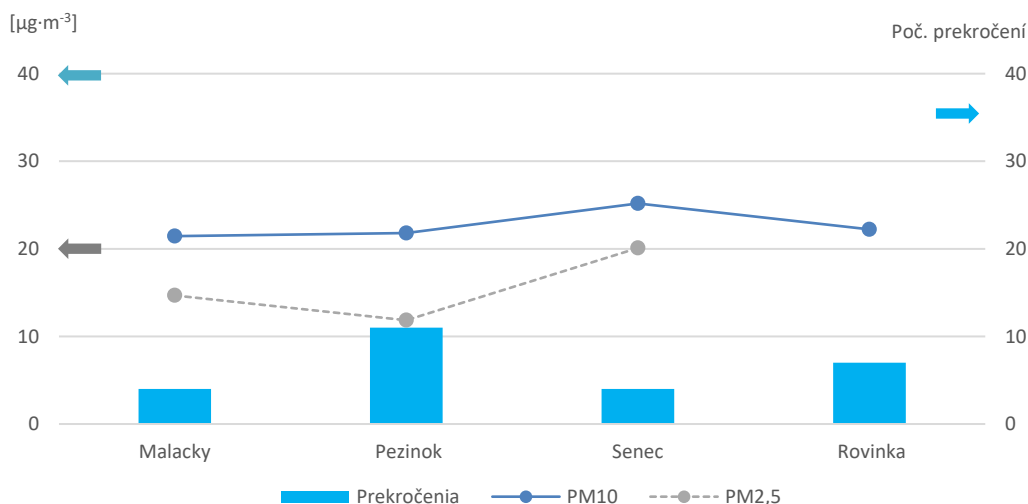
Na predmestskej pozaďovej stanici Jeséniova sa monitoruje na mesačnej báze kvalita zrážok. Sleduje sa kvalitatívne zloženie základných iónov, parametre pH a vodivosť. Ročná priemerná hodnota pH bola 5,96, a ani mesačné priemery neklesli pod hodnotu pH 5. Nízke boli tiež namerané koncentrácie síranov 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.

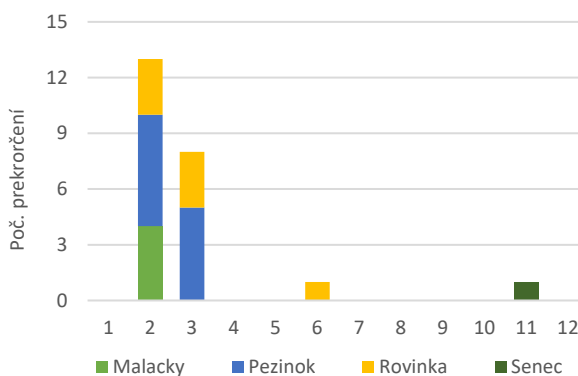


Počet prekročení – zachytáva denné priemerné koncentrácie vyššie ako 50 µg·m⁻³; stanica NMSKO Senec, Boldocká bola v prevádzke od septembra 2021 – z tohto dôvodu neodráža priemerná hodnota a počet prekročení znečistenie ovzdušia na tejto stanici za celý rok.

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).

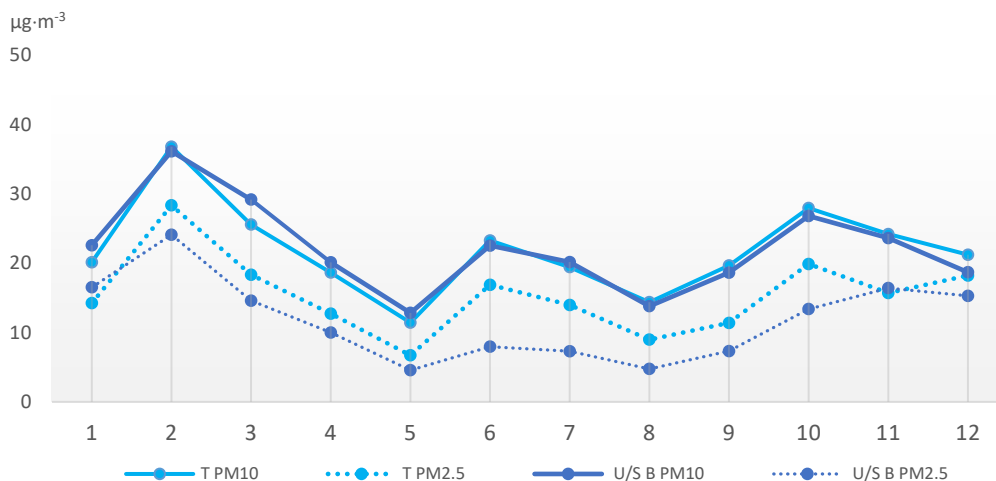
Limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu PM₁₀ (40 µg·m⁻³) v zóne Bratislavský kraj nebola prekročená. Takisto limitnú hodnotu pre počet prekročení (35) priemernej dennej koncentrácie PM₁₀ (50 µg·m⁻³) nepresiahla žiadna stanica (**Obr. 3.10**). Dopravná stanica Senec začala merať v priebehu septembra 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) pozadňové 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 pozadových 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.

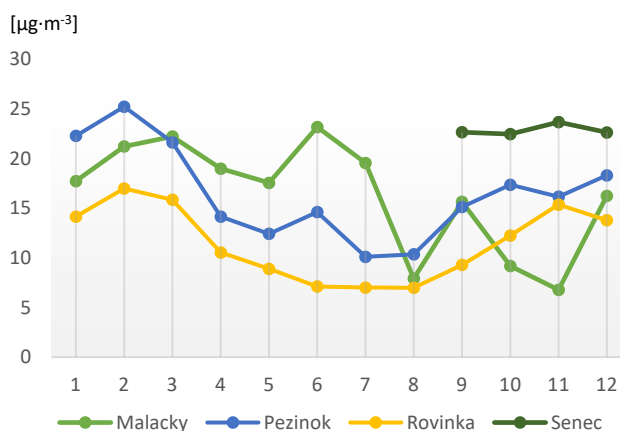
Zvýšené koncentrácie jemných častíc $PM_{2,5}$ v ovzduší sú rizikové najmä pre ich nepriaznivý vplyv na ľudské zdravie. V zóne Bratislavský kraj rovnako ako pre PM_{10} aj pre $PM_{2,5}$ platí, že nevykazujú taký výrazný sezónny chod ako v iných oblastiach na Slovensku. I v tejto zóne je priemerná ročná 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 pozadová 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

Obr. 3.13 Priemerné mesačné koncentrácie NO_2



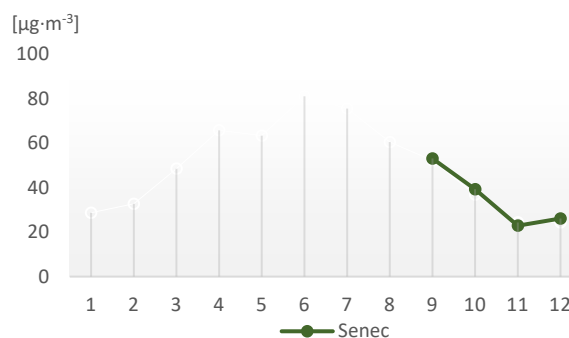
odrazom zhoršených rozptylových podmienok. Celkovo sú koncentrácie NO_2 v zóne Bratislavský kraj na relatívne nízkej úrovni, jednako však ani jedna stanica nespĺnila odporúčanie WHO pre priemernú ročnú úroveň tejto znečisťujúcej látky ($10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), ktoré je výrazne prísnejšie než limit EÚ.

3.2.3 Ozón

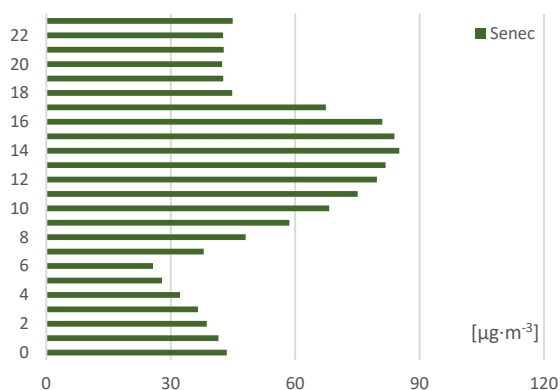
Monitoring ozónu prebieha na novej monitorovacej stanici v Senci, merania začali v septembri 2021, namerané koncentrácie nedosahovali vysoké hodnoty (**Obr. 3.14**)

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 O_3 , 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.

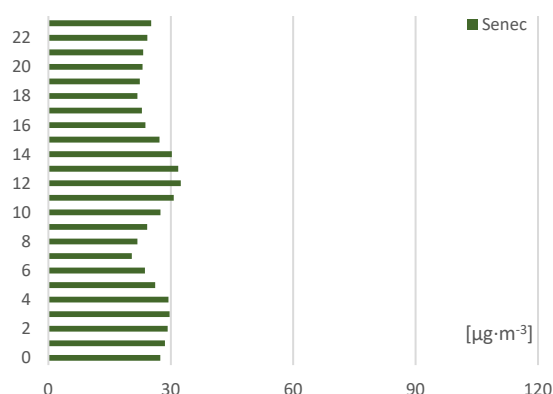
Obr. 3.14 Priemerné mesačné koncentrácie O_3 .



Obr. 3.15 Denný chod koncentrácie O_3 v januári 2021.



Obr. 3.16 Denný chod koncentrácie O_3 v júli 2021.

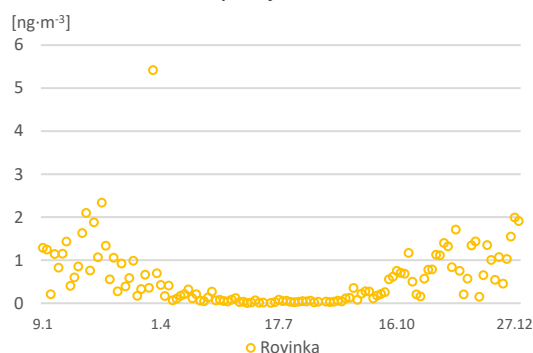


3.2.4 Benzo(a)pyrén

Znečisťujúca látka benzo(a)pyrén sa v zóne Bratislavský kraj monitoruje v Rovinke (**Obr. 3.17**). Priemerná ročná koncentrácia mala v roku 2021 hodnotu $0,6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, neprekročila teda cieľovú hodnotu ($1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$).

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

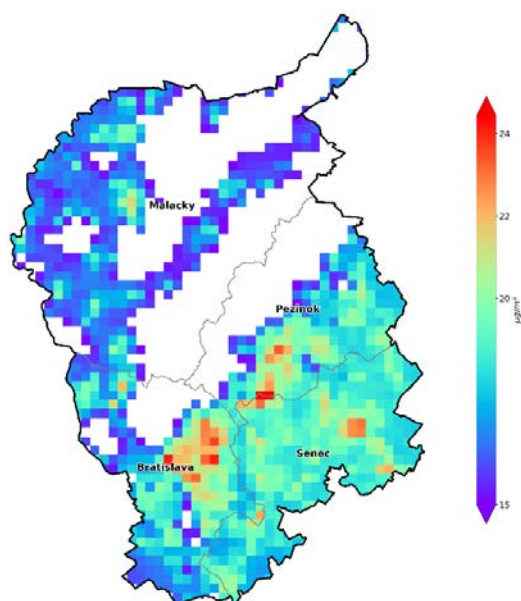
	2017	2018	2019	2020	2021
Cieľová hodnota [ng·m ⁻³]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Horná medza na hodnotenie [ng·m ⁻³]	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Dolná medza na hodnotenie [ng·m ⁻³]	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Rovinka				*0,4	0,6

*merania začali v júni 2020.

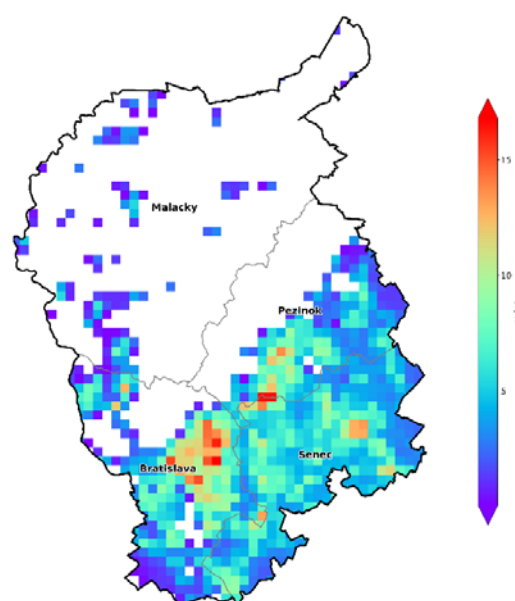
4 MODELOVANIE KVALITY OVZDUŠIA

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.



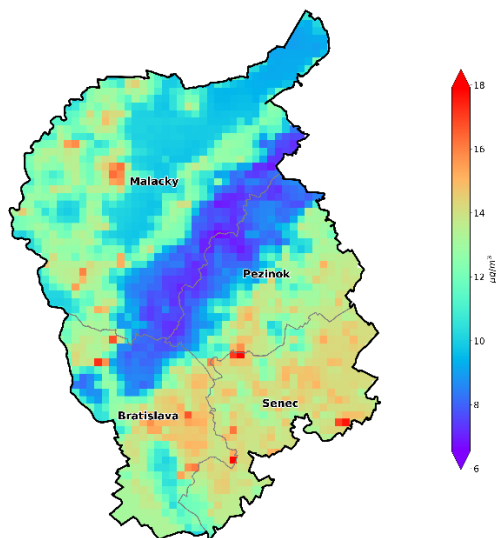
Obr. 4.2 Počet prekročení dennej limitnej hodnoty PM₁₀ v roku 2021. Zobrazené sú len oblasti, pre ktoré vyšiel nenulový počet prekročení.



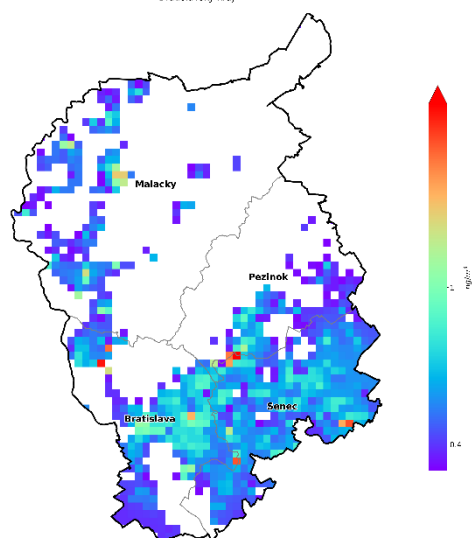
Mapa na **Obr. 4.3** zobrazuje priestorové rozloženie priemerných ročných koncentrácií PM_{2,5} podľa výstupu modelu RIO v kombinácii s modelom IDW-R. Podľa výstupov modelu bola priemerná ročná koncentrácia PM_{2,5} na celom území zóny vyššia než limitná hodnota odporúčaná WHO (limitné hodnoty WHO sú 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, IDW-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.

5 ZHRNUTIE

Podľa výsledkov monitoringu nebola v roku 2021 v aglomerácii Bratislava ani v zóne Bratislavský kraj prekročená limitná hodnota pre PM_{10} , $PM_{2,5}$, SO_2 , NO_2 , CO ani benzén.

Podobne, cieľová hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu benzo(a)pyrénu nebola prekročená na žiadnej stanici NMSKO. Na základe výstupov zo štúdie *Krajčovičová et al.: Štúdia kvality ovzdušia v aglomerácii Bratislava*. (SHMÚ 2020)⁶ možné usúdiť, že v aglomerácii Bratislava sa v okolí frekventovaných cestných komunikácií kaňonovitého typu môžu vyskytovať koncentrácie PM a NO_2 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/Studia_BA_2020.pdf