

SPRÁVA O KVALITE OVZDUŠIA V SR

2024

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)	4
2.2	ZÓNA BRATISLAVSKÝ KRAJ (nezahŕňa aglomeráciu 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	10
3.1.3	Ozón	10
3.1.4	Benzo(a)pyrén	11
3.1.5	Chemické zloženie zrážok	11
3.2	ZÓNA BRATISLAVSKÝ KRAJ	12
3.2.1	Tuhé častice PM ₁₀ a PM _{2,5}	12
3.2.2	Oxid dusičitý	13
3.2.3	Ozón	14
3.2.4	Benzo(a)pyrén	14
4	MODELOVANIE KVALITY OVZDUŠIA	15
4.1	Rizikové oblasti	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 aglomerácie¹. Územie Bratislavského kraja zahŕňa aglomeráciu Bratislava (územie hlavného mesta Slovenskej republiky Bratislavy) a zónu Bratislavský kraj (Bratislavský kraj bez aglomerácie Bratislava).

Podľa údajov Štatistického úradu Slovenskej republiky² k 31. decembru 2023 mal Bratislavský kraj najvyššiu hustotu obyvateľstva zo všetkých krajov Slovenska, a to **356 obyvateľov na km²**. Najvyššiu hustotu vykazuje okres Bratislava I s **4 917 obyvateľmi na km²**, okres Malacky má najnižšiu hustotu v kraji s **84 obyvateľmi na km²**. Slovenská republika má priemernú hustotu obyvateľstva 105–117 obyvateľov na km².

1.1 AGLOMERÁCIA BRATISLAVA (územie hlavného mesta Slovenskej republiky Bratislavy)

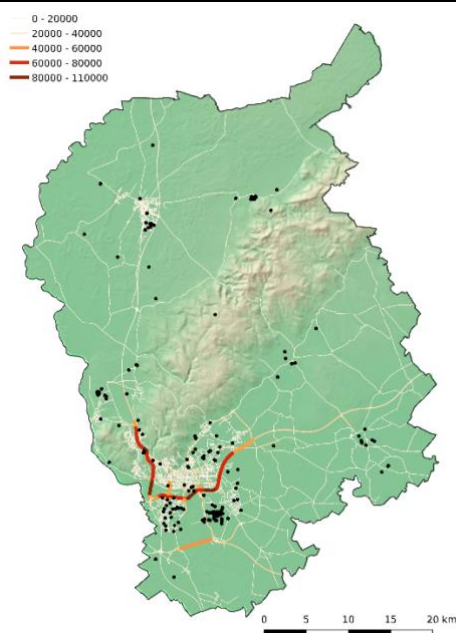
Bratislava sa nachádza v členitom teréne s nadmorskou výškou od 126 m n. m. (Čunovo) po 514 m n. m. (Devínska Kobyla). Od juhozápadu na severovýchod sa tiahne pohorie Malých Karpát, západná časť Bratislavy leží na Záhorskej nížine, východnú a juhovýchodnú časť zaberá Podunajská nížina.

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**. K významným priemyselným zdrojom emisií v Bratislave patrí aj **rafinéria Slovnaft**, ktorá je jedným z najväčších bodových zdrojov v regióne. Najfrekvencovanejšie úseky ciest v Bratislave s priemerným počtom vozidiel za 24 hodín na základe posledného Celoštátneho sčítania dopravy v r. 2022 a 2023³:

Obr. 1.1 Cestná sieť Bratislavského samosprávneho kraja



Tab. 1.1 Počet vozidiel na najfrekvencovanejších cestách v Bratislave

Diaľnica/ cesta	Počet vozidiel	Nákladné vozidlá	Osobné vozidlá
D1 JV obchvat BA II	101 407	18 284	82 817
D1 BA V. Incheba	74 008	15 154	58 639
D2 BA V. Lanfranconi	94 387	15 688	78 320
D4 obchvat Jarovce	20 127	3 533	16 533
č. 2 Patrónka vozidiel	40 395	3 694	36 293
č. 61 Bajkalská ulica	51 683	3 382	47 970
č. 572 Šancova ulica	34 466	3 444	30 744
R7 od prístavu na juh	42 722	5 098	37 487
č. 502 Račianska	26 074	1 512	24 165
č. 63 BA II	18 434	1 784	16 650

¹ www.shmu.sk/sk/?page=1&id=oko_info_az

² Štatistický úrad SR, Bratislavský kraj – charakteristika regiónu; dostupné na <https://slovak.statistics.sk/>

³ <https://www.ssc.sk/sk/cinnosti/rozvoj-cestnej-siete/dopravne-inzinerstvo/celostatne-scitanie-dopravy-v-roku-2022-a-2023.ssc>

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. 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.

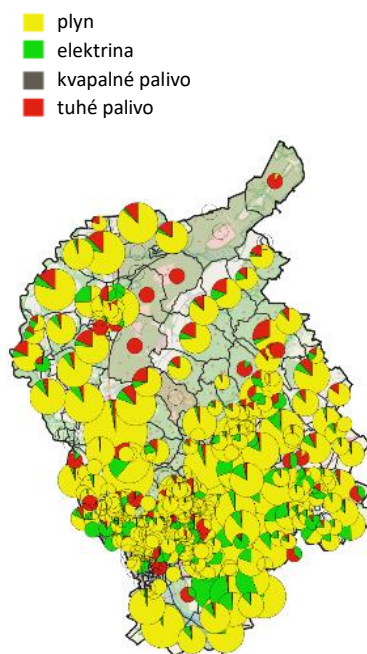
Zdroje znečisťovania ovzdušia v zóne Bratislavský kraj

Významným zdrojom emisií v ovzduší v Bratislavskom kraji je cestná doprava, ktorá sa sústreďuje v najväčšej miere na diaľničné ťahy. Najfrekventovanejšie úseky ciest v kraji s priemerným počtom vozidiel v jednotlivých okresoch za 24 hodín na základe posledného celoštátneho sčítania dopravy v r. 2022 a 2023¹:

Tab. 1.2 Počet vozidiel na najfrekventovanejších cestách Bratislavského kraja

Okres	Diaľnica/ cesta	Počet vozidiel	Nákladné vozidlá	Osobné vozidlá
Malacky	D2 Malacky	32 452	13 002	19 350
	D4 Stupava	12 267	1 042	11 173
	č.2 Stupava	16 254	1 585	14 548
	č. 503 Malacky	16 420	1 345	14 997
	č. 2 Veľké Leváre	14 997	3 382	47 970
Senec	D1 Senec	59 067	8 968	49 958
	R7 Senec	21 236	2 883	18 286
	č. 503 Senec	19 126	2 760	16 247
	č. 62 Senec	15 556	3 137	12 323
	č. 63 Senec	14 904	1 456	13 273
Pezinok	č. 61 Senec	18 365	1 569	16 648
	502 Svätý Jur	19 439	1 727	17 428
	502 Pezinok	18 776	1 716	16 889

Obr. 1.2 Podiely druhov palív na vykurovaní rodinných domov v Bratislavskom kraji



Priemyselné zdroje znečisťovania ovzdušia, s výnimkou cementární (ktoré môžu prispievať najmä k zvýšenej koncentrácii hrubšej frakcie prachových častíc), majú z hľadiska lokálneho znečistenia ovzdušia základnými znečisťujúcimi látkami menší význam.

Obr. 1.2 znázorňuje podiely jednotlivých druhov palív využívaných na vykurovanie rodinných domov v obciach (resp. základných sídelných jednotkách) Bratislavského kraja.

Z mapy je zrejmé, že priestorové rozloženie využívaných palív **nie je geograficky homogénne** – v mnohých oblastiach dominuje vykurovanie plynom a elektrinou. **V severnej a severovýchodnej časti kraja**, najmä v menších a vidieckych obciach okresov **Malacky a Pezinok**, je však **viditeľný vyšší podiel vykurovania tuhými palivami**. **V súhrne za celý Bratislavský kraj v roku 2021 prevládalo vykurovanie zemným plynom.**⁴

⁴ <https://www.scitanie.sk/>

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, pozadová, priemyselná), typ oblasti, ktorú daná stanica monitoruje (mestská, predmestská, vidiecka/regionálna) a geografické súradnice;
- 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.

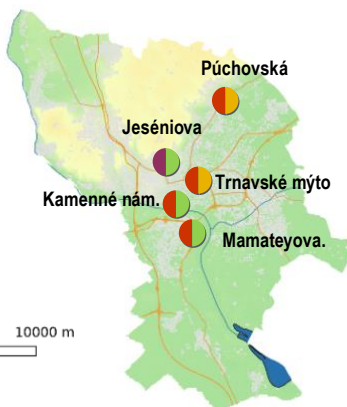
2.1 AGLOMERÁCIA BRATISLAVA (územie hlavného mesta Slovenskej republiky Bratislavy)

V Bratislave sledujeme kvalitu ovzdušia na piatich monitorovacích staniciach. Dopravné stanice sa nachádzajú na **Trnavskom mýte**, čo je lokalita s vysokou intenzitou dopravy a koncentráciou chodcov v meste, ďalšia stanica je umiestnená v **Rači** na **Púchovskej ulici**.

Sídliskovú zástavbu reprezentuje stanica NAMSKO v Petržalke na **Mamateyovej ulici**, ďalšie monitorovacie stanice sa nachádzajú v rezidenčnej štvrti na **Jeséniovej ulici** na Kolibe (monitoruje pozadové 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								Monitorovací 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	
			oblasť	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	0	1	3	



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

Typ stanice:
 B – pozadová
 T – dopravná
 I – priemyselná

Na predmestskej požadovej monitorovacej stanici Bratislava, Jeséniova sa okrem monitoringu kvality ovzdušia analyzuje aj kvalita zrážok. Monitorovací program tejto stanice je uvedený v **Tab. 2.2**, doba odberu a vzorkovací interval bol 2 týždne.

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 ⁺)	Katióny (K ⁺ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺)	Olovo (Pb)	Arzén (As)	Kadmium (Cd)	Nikel (Ni)	Chróń (Cr)	Meď (Cu)	Zinok (Zn)
Bratislava, Jeséniova	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

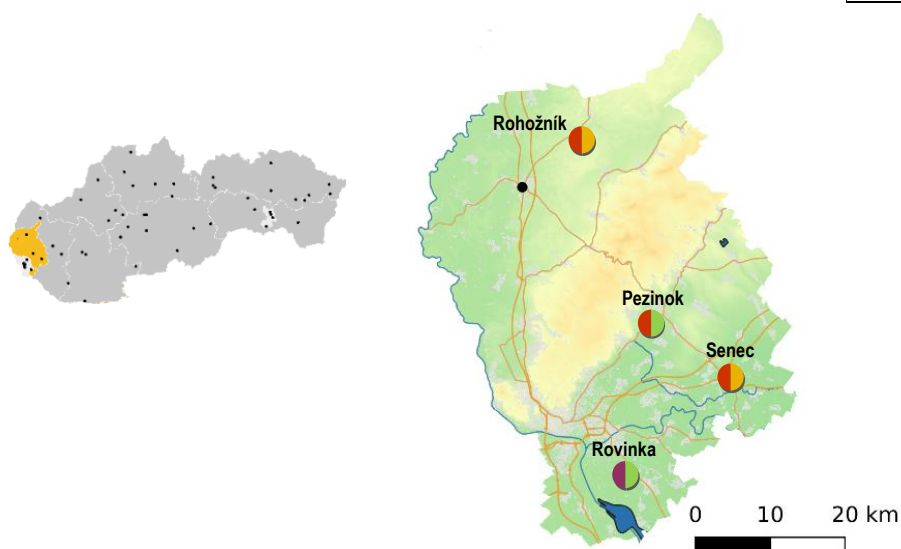
2.2 ZÓNA BRATISLAVSKÝ KRAJ (nezahŕňa aglomeráciu Bratislava)

Kvalita ovzdušia v zóne Bratislavský kraj sa sleduje na štyroch staniciach NAMSKO, stanica monitorujúca vplyv dopravy sa nachádza v **Rohožníku** a v **Seneci**. Obidve stanice v spomínaných okresných mestách sa nachádzajú na križovatkách s intenzívnou dopravou a veľkým pohybom chodcov.

Znečistenie ovzdušia v obytných zónach mimo hlavných dopravných ťahov monitorujú stanice v okresnom meste **Pezinok** a v obci **Rovinka**. Monitoring kvality ovzdušia v tejto obci sa vykonáva aj z dôvodu blízkosti rafinérie Slovnaft.

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

Zóna Bratislavský kraj (bez aglomerácie Bratislava)								Monitorovací 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											
Pezinok	SK0075A	Pezinok, Obrancov mieru.	U	B	17°15'35"	48°17'00"	150										
Rohožník	SK0077A	Rohožník, Senická cesta	U	T	17°10'17"	48°27'25"	201										
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	2	3	2	0	0	1



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 2024.

Tab. 3.1 Vyhodnotenie znečistenia ovzdušia podľa limitných hodnôt na ochranu zdravia ľudí a smogového varovného systému pre PM_{10} v aglomerácii Bratislava a v zóne Bratislavský kraj – 2024.

	Znečisťujúca látka Doba spriemerovania Parameter Limitná hodnota [µg·m ⁻³] Maximálny počet prekročení	Typ Oblasť / stanice	Ochrana zdravia									IP ²⁾	VP ²⁾
			SO ₂		NO ₂		PM ₁₀		PM _{2,5}	CO	Benzén	PM ₁₀	PM ₁₀
			1 h	24 h	1 h	1 rok	24 h	1 rok	1 rok	8 h ¹⁾	1 rok	12 h	12 h
			počet prekročení	počet prekročení	počet prekročení	priemer	počet prekročení	priemer	priemer	priemer	priemer	trvanie prekročenia [h]	trvanie prekročenia [h]
			350	125	200	40	50	40	20	10 000	5	100	150
			24	3	18		35						
BRATISLAVA	Bratislava, Kamenné nám.	UB					6	19	12			19	2
	Bratislava, Trnavské mýto	UT			0	28	12	22	13	1146	0.3	13	2
	Bratislava, Jeséniova	SB	0	0	0	7	7	18	12			7	0
	Bratislava, Mamateyova	UB	1	0	0	15	3	18	1			15	5
	Bratislava, Púchovská	UT	0	0	0	12	13	21	11	844	0.2	19	2
Bratislavský kraj	Pezinok, Obrancov mieru	UB			0	9	0	14	10			14	4
	Rohožník, Senická	UT	0	0	0	11	7	21	11	1687	0.4	21	0
	Rovinka	SB	0	0	0	11	4	17		1146	0.7	24	11
	Senec, Boldocká	UT			0	18	8	20	12	1200		15	4

 ≥ 90 % platných meraní

¹⁾ maximálna osemhodinová koncentrácia

²⁾ IP, VP – trvanie prekročenia (v hodinách) informačného prahu (IP) a výstražného prahu (VP) pre PM_{10}

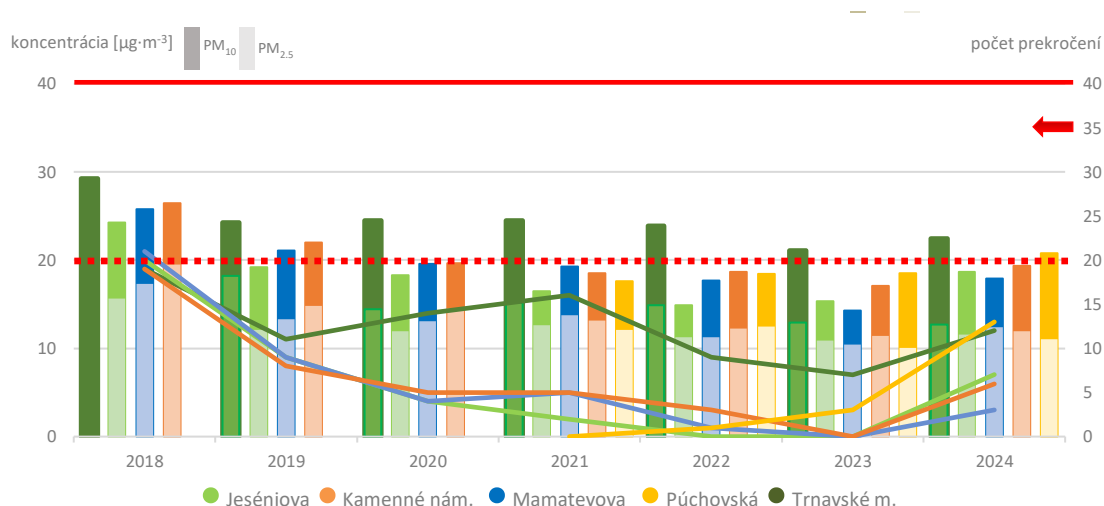
V súlade s Vyhláškou MŽP SR č. 250/2023 Z. z. o kvalite ovzdušia bol na monitorovacích staniciach vyžadovaný podiel platných hodnôt dodržaný v aglomerácii Bratislava aj v zóne Bratislavský kraj.

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 rokoch 2018 – 2024.

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



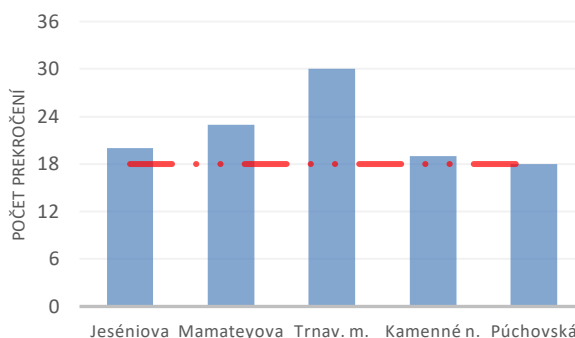
PM₁₀ – tmavá farba stĺpca, PM_{2,5} – svetlá farba stĺpca; počet prekročení – vodorovné lomené čiary

Červené čiary znázorňujú limitné hodnoty (LH), plná PM₁₀ (priemerná ročná koncentrácia: 40 µg·m⁻³); červená prerušovaná PM_{2,5} (priemerná ročná koncentrácia: 20 µg·m⁻³);

Červená šípka – LH počtu prekročení (priemerná denná koncentrácia PM₁₀ 50 µg·m⁻³ max.počet prekročení 35/kalendárny rok).

Limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu PM₁₀ (40 µg·m⁻³) a PM_{2,5} (20 µg·m⁻³) v aglomerácii Bratislava **nebola** prekročená na žiadnej monitorovacej stanici. Najvyššia priemerná ročná koncentrácia PM₁₀ 22 µg·m⁻³ v Bratislave bola zaznamenaná na dopravnej stanici Trnavské Mýto, čo je druhá najnižšia nameraná hodnota na tejto stanici. Treba poznamenať, že v rokoch 2021 a 2022 boli koncentrácie PM₁₀ na tejto stanici negatívne ovplyvnené búracími prácami na budove Istropolis. Na dopravnej stanici Púchovská bola priemerná ročná koncentrácia 21 µg·m⁻³ čo je t o 3 µg·m⁻³ viac ako v predchádzajúcich rokoch. Úroveň znečistenia PM₁₀ v mestských pozadových lokalitách bola v roku 2024, v porovnaní s predchádzajúcimi dvoma rokmi vyššia. Limitnú hodnotu pre počet prekročení (35) priemernej dennej koncentrácie PM₁₀ (50 µg·m⁻³) nepresiahla žiadna stanica,

Obr. 3.2 Počet prekročení dennej limitnej hodnoty PM_{2,5} v r. 2024 vzhľadom na novo zavedený EÚ limit*.



* Priemerná denná koncentrácia PM_{2,5} > 25 µg·m⁻³ nesmie byť prekročená viac ako 18 krát v roku. Tento novo zavedený EÚ limit sa má dosiahnuť do 1. januára 2030.

prišlo však k ich nárastu oproti predchádzajúcim dvom rokom (**Obr. 3.1**), odporúčanie WHO (maximálne 3–4 prekročenia⁵) by splnila len AAMS na Mamateyovej ulici.

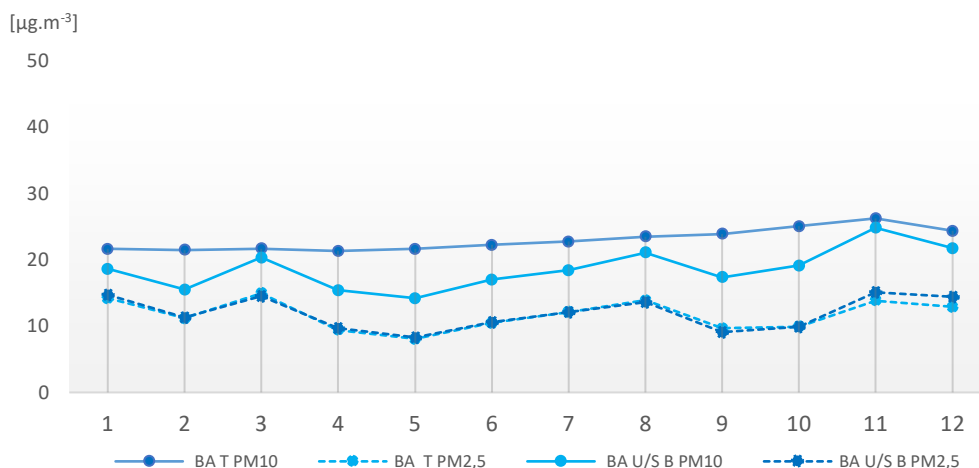
Európska únia, ako súčasť Európskej zelenej dohody vypracovala Akčný plán nulového znečistenia⁶, ktorý stanovuje víziu do roku 2050. Jeho cieľom je do tohto roku znížiť znečistenie ovzdušia na úroveň, ktorá sa už nebude považovať za škodlivú pre zdravie a prírodné ekosystémy. Súčasťou akčného plánu sú nové EÚ limitné a cieľové hodnoty pre mnohé znečisťujúce látky, najväčším problémom pre Slovensko bude splniť nové limitné hodnoty pre $PM_{2,5}$. Plán pre $PM_{2,5}$ zavádza dennú limitnú hodnotu $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ktorá nesmie byť prekročená viac ako 18 krát za rok (to sa má dosiahnuť do 1. 1. 2030).

Obr. 3.2 ilustruje koľko prekročení nového EÚ denného limitu pre $PM_{2,5}$ by sme dosiahli v roku 2024. V aglomerácii Bratislava by novú EÚ limitnú hodnotu prekračovali všetky AAMS okrem AMS Púchovská, ktorá by tesne splnila povolený počet prekročení, v roku 2023 tento limit spĺňali všetky AMS okrem AMS na Trnavskom mýte. Nová ročná limitná hodnota EÚ pre priemernú ročnú koncentráciu $PM_{2,5}$ (**Obr. 3.1**) je stanovená na $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v roku 2024 by ju nespĺnila žiadna AMS. V roku 2023 túto limitnú hodnotu spĺňali dve stanice – Mamateyova a Púchovská. Merania na AMS Jeséniova boli v roku 2024 ovplyvnené stavebnými prácami v tesnej blízkosti AMS, zvýšená prašnosť negatívne ovplyvnila najmä koncentrácie PM_{10} .

Najmä záver roku 2024 bol negatívne ovplyvnený dlhodobou pretrvávajúcimi nepriaznivými rozptylovými podmienkami a výraznou epizódou prenosu púštného prachu na prelome marca a apríla čo nám ukázalo, že v prípade nepriaznivých meteorologických faktorov bude aj pre aglomeráciu Bratislava ťažké splniť sprísnené limity novej smernice EÚ 2881/2024 do roku 2030, preto je nevyhnutné prijať účinné opatrenia na zlepšenie kvality ovzdušia na zníženie emisií tuhých častíc PM_{10} a $PM_{2,5}$.

Podiel vykurovania tuhými palivami je v Bratislave nízky, napriek tomu v období s nepriaznivými rozptylovými podmienkami môže negatívne ovplyvniť kvalitu ovzdušia v meste. V zimnom období si ľudia v lokalitách s rodinnou zástavbou zvyknú prikurovať v krboch, čo prispieva k vyšším koncentráciám PM_{10} a $PM_{2,5}$ v týchto mesiacoch.

Obr. 3.3 Priemerné mesačné koncentrácie PM_{10} a $PM_{2,5}$ v aglomerácii podľa typu stanice.



T PM_{10} a T $PM_{2,5}$ – priemer mesačných koncentrácií PM_{10} a $PM_{2,5}$ na dopravných staniciach Trnavské mýto a Púchovská; **U/S B PM_{10} a U/S B $PM_{2,5}$** – priemer mesačných koncentrácií PM_{10} a $PM_{2,5}$ na mestských/predmestských pozaďových staniciach Jeséniova, Kamenné námestie a Mamateyova.

⁵ WHO GLOBAL AIR QUALITY GUIDELINES, 2021. Recommendations on classical air pollutants, str. 4. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345334/9789240034433-eng.pdf>

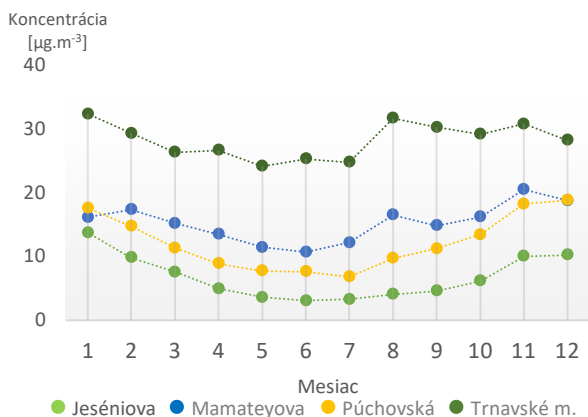
⁶ <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/02/20/air-quality-council-and-parliament-strike-deal-to-strengthen-standards-in-the-eu/>

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. Na dopravnej stanici Trnavské mýto bola v roku 2024 opäť nameraná druhá najvyššia priemerná ročná koncentrácia NO₂ na Slovensku (28 µg·m⁻³), čo je dôsledkom vysokej intenzity dopravy v tejto lokalite, limitná hodnota (40 µg·m⁻³) nebola prekročená. V ostatných lokalitách Bratislavy je úroveň znečistenia NO₂ na oveľa nižšej úrovni, čo ilustruje **Obr. 3.4**. Mesačné koncentrácie NO₂ na dopravnej stanici Púchovská sú na nižšej úrovni ako na stanici Mamateyova, ktorá je klasifikovaná ako pozadová. Stanica na Jeséniovej ulici (priemerná ročná koncentrácia NO₂ tu dosiahla 7 µg·m⁻³) je jedinou v Bratislave, ktorá splnila odporúčania WHO (10 µg·m⁻³). Všetky pred/mestské pozadové stanice a dopravná stanica Púchovská by splnili novú EÚ limitnú hodnotu (20 µg·m⁻³), platnú od roku 2030.

Obr. 3.4 Priemerné mesačné koncentrácie NO₂ v r. 2024.

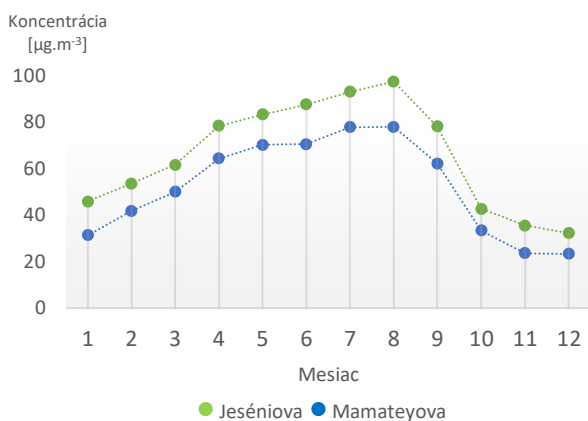


3.1.3 Ozón

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

Najvyššia mesačná koncentrácia prízemného ozónu bola zaznamenaná v nadpriemerne teplom auguste na AMS Jeséniova (**Obr. 3.5**). Koncentrácie prízemného ozónu majú výrazný ročný chod, najvyššie sa vyskytujú v letných mesiacoch. Počet dní s prekročením cieľovej hodnoty prízemného ozónu uvádza **Tab. 3.2**.

Obr. 3.5 Priemerné mesačné koncentrácie O₃ v r. 2024.



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

Stanica	2022	2023	2024	Priemer 2022 – 2024
Bratislava, Jeséniova	37	23	26	29
Bratislava, Mamateyova	25	18	18	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. 250/2023 Z. z. o kvalite ovzdušia stanovená takto: Najväčšia denná 8-hodinová stredná koncentrácia neprekročí 120 µg·m⁻³ viac ako 25 dní za kalendárny rok v priemere troch rokov.

Prízemný O₃ vzniká v atmosfére za prítomnosti slnečného (UV-B) žiarenia chemickou reakciou oxidov dusíka (NO, NO₂) 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

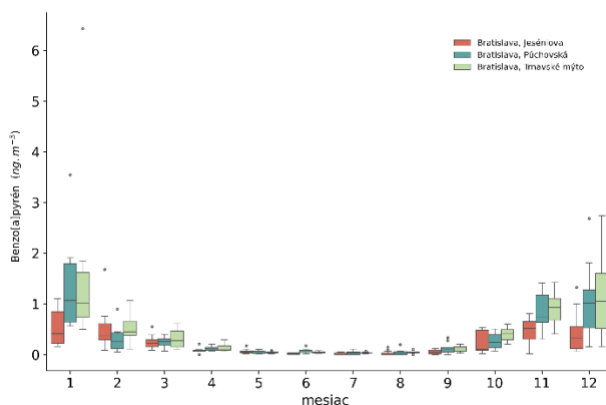
a v teplom polroku je významným zdrojom vegetácia. Prízemný O_3 sa však reakciou s NO pri určitých koncentráciách aj rozkladá (tzv. titráciou ozónu), preto sú v oblastiach s vyšším NO (dopravné hot spoty) nižšie koncentrácie O_3 .

Cieľová hodnota pre ochranu ľudského zdravia pre ozón bola v hodnotených rokoch 2022–2024 prekročená v aglomerácii Bratislava na monitorovacej stanici Bratislava, Jeséniova (**Obr. 3.5**) Príčinou nižších hodnôt prízemného ozónu na Mamateyovej ulici oproti Jeséniovej je práve spomenutá titrácia ozónu oxidom dusnatým, ktorý sa v okolí Mamateyovej vyskytuje vo vyšších koncentráciách než na Jeséniovej v dôsledku vplyvu cestnej dopravy a rafinérie, ktorá je zdrojom emisií prchavých organických látok.

3.1.4 Benzo(a)pyrén

Znečisťujúca látka benzo(a)py-rén sa v aglomerácii Bratislava monitoruje na troch monitorovacích staniciach – na Jeséniovej ulici, Trnavskom mýte a na Púchovskej ulici (**Obr. 3.6**). Žiadna zo staníc, neprekročila cieľovú hodnotu pre priemernú ročnú koncentráciu ($1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$). Koncentrácie v období od mája do septembra dosahovali na všetkých staniciach nízke hodnoty, maximálnu koncentráciu $> 6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ sme zaznamenali na AMS Trnavské mýto v januári.

Obr. 3.6 Priemerné mesačné koncentrácie benzo(a)pyrénu v roku 2024 na AMS v Bratislave.



Tab. 3.3 Priemerné ročné koncentrácie benzo(a)pyrénu v rokoch 2020–2024.

	2020	2021	2022	2023	2024
Cieľová hodnota [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Bratislava, Jeséniova	0,2	0,3	0,3	0,3*	0,2
Bratislava, Trnavské Mýto	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5
Bratislava, Púchovská		0,9	0,4	0,4	0,4

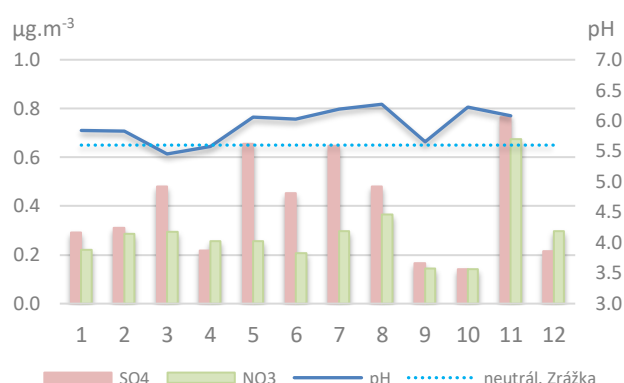
■ $\geq 90\%$ platných meraní; * 60% platných meraní

3.1.5 Chemické zloženie zrážok

Kvalita zrážok sa v Bratislave monitoruje na stanici Jeséniova na Kolibe. V roku 2024 bolo množstvo zrážok rozložené v jednotlivých mesiacoch nerovnomerne, zrážkovo podpriemerné boli mesiace január až marec, júl, november a december (údaje z AMS Jeséniova).

Mokrú depozíciu NO_3^- bola $0,15 \text{ g}/\text{m}^2/\text{rok}$, SO_4^{2-} $0,23 \text{ g}/\text{m}^2/\text{rok}$. Mokrú depozíciu olovom bola na úrovni $4,8 \text{ g}/\text{ha}/\text{rok}$. Ročný vážený priemer hodnoty pH bol na úrovni 5,8 (**Obr. 3.7**)⁷. Podrobné výsledky monitoringu sú uvedené v kapitole 3.4 Regionálny monitoring *Správy o kvalite ovzdušia za rok 2024*.

Obr. 3.7 Mesačné hodnoty koncentrácie SO_4^{2-} , NO_3^- a pH v zrážkach roku 2024 na AAMS BA, Jeséniova.



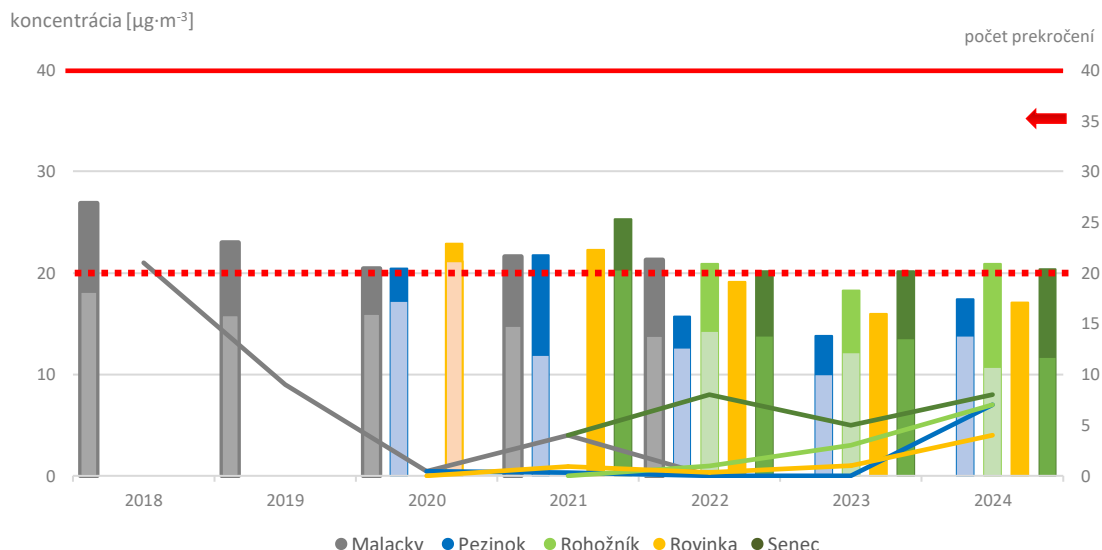
⁷ Neutrálna voda má pH 7. Dážď absorbuje oxid uhličitý z atmosféry a vytvára kyselinu uhličitú, ktorá je mierne kyslá, takže bežné pH dažďa je 5,6. Kyslý dážď má typické pH 4,2 až 4,4.

3.2 ZÓNA BRATISLAVSKÝ KRAJ

3.2.1 Tuhé častice PM₁₀ a PM_{2,5}

Obr. 3.8 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 zóne Bratislavský kraj v rokoch 2018 – 2024.

Obr. 3.8 Priemerné ročné koncentrácie PM₁₀, PM_{2,5} a počet prekročení dennej limitnej hodnoty PM₁₀.



PM₁₀ – tmavá farba stĺpca, PM_{2,5} – svetlá farba stĺpca; počet prekročení – vodorovné lomené čiary

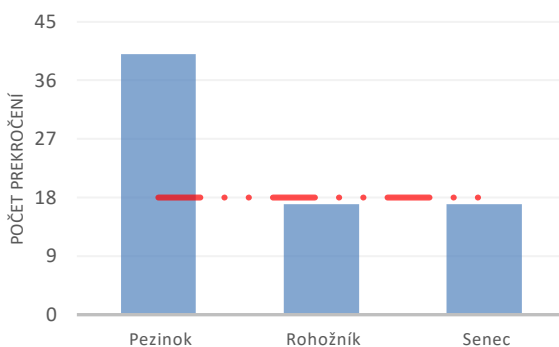
Červené čiary znázorňujú limitné hodnoty (LH), **plná** PM₁₀ (priemerná ročná koncentrácia: 40 µg·m⁻³); **červená prerušovaná** PM_{2,5} (priemerná ročná koncentrácia: 20 µg·m⁻³);

Červená šípka – LH počtu prekročení (priemerná denná koncentrácia PM₁₀ 50 µg·m⁻³ max.počet prekročení 35/kalendárny rok).

Zóna Bratislavský kraj bola až do roku 2020 pokrytá len jednou monitorovacou stanicou v Malackách, potom sa začala monitorovacia sieť rozširovať. Pribudli stanice v Rovinke a v Senci. Posledná zmena sa udiala v roku 2022 – bol ňou presun dopravnej stanice z Malaciek do Rohožníka. V Bratislavskom kraji máme dlhodobejšie merania len pre monitorovaciu stanicu v Rovinke, koncentrácie PM₁₀ majú na tejto stanici klesajúci trend. V roku 2024 nebola prekročená limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu PM₁₀ (40 µg·m⁻³) a PM_{2,5} ako ani denná limitná hodnota PM₁₀ (max. 35 prekročení) (**Obr. 3.8**).

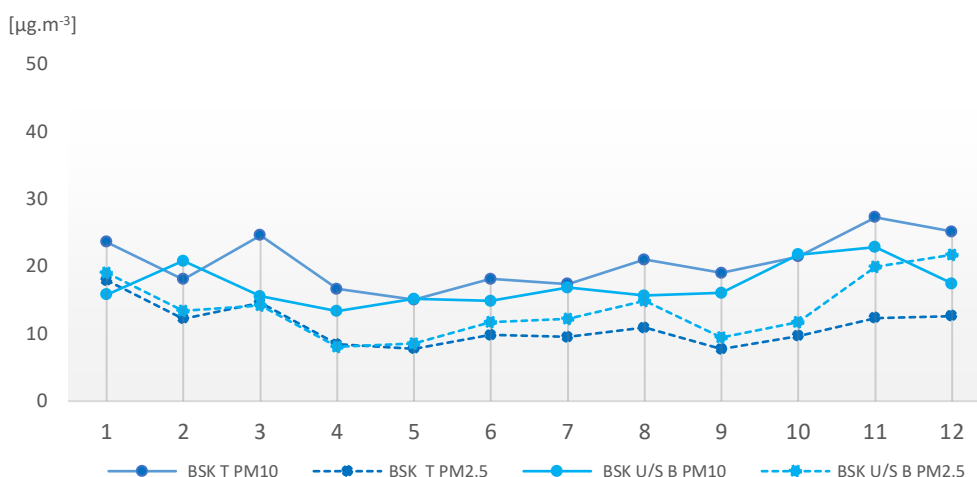
V roku 2024 zaznamenali na všetkých AMS v kraji mierny nárast prekročení denného limitu PM₁₀ (50 µg·m⁻³) a žiadna stanica nespĺňala odporúčania WHO pre denný počet prekročení. Nový EÚ denný limit pre PM_{2,5} (ktorý sa má dosiahnuť do 1. 1. 2030) by nespĺňala AMS v Pezinku so 40 prekročeniami denného limitu, ostatné stanice by tento limit tesne splnili (**Obr. 3.9**).

Obr. 3.9 Počet prekročení dennej limitnej hodnoty PM_{2,5} v r. 2024 vzhľadom na novo zavedený EÚ limit*.



* Priemerná denná koncentrácia PM_{2,5} > 25 µg·m⁻³ nesmie byť prekročená viac ako 18 krát v roku. Tento novo zavedený EÚ limit sa má dosiahnuť do 1. januára 2030.

Obr. 3.10 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 Rohožník a Senec (stanica Rohožník začala merať v júni 2022); **U/S B PM_{10} a U/S B $PM_{2,5}$** – priemer mesačných koncentrácií PM_{10} a $PM_{2,5}$ na mestských/predmestských pozaďových staniciach Pezinok a Rovinka;

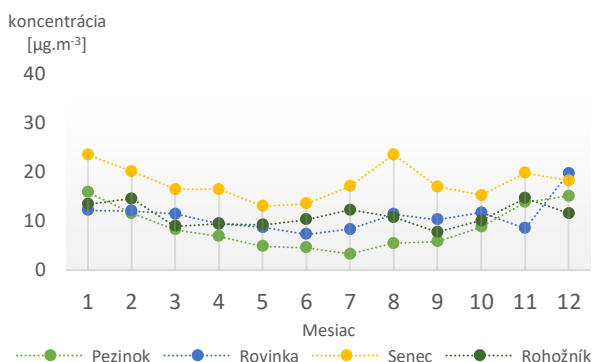
Priebeh priemerných mesačných koncentrácií PM_{10} a $PM_{2,5}$ v roku 2024 zachytáva **Obr. 3.10**. Najvýraznejší sezónny chod koncentrácií $PM_{2,5}$ môžeme pozorovať na mestských a predmestských pozaďových staniciach, v závere roka, keď boli koncentrácie $PM_{2,5}$ výrazne vyššie ako na dopravných AMS a zachytili vplyv vykurovania domácností tuhým palivom v kombinácii s dlhotrvajúcimi zlými rozptylovými podmienkami. Môžeme sa domnievať, že sa jedná o dodatočné prikurovanie v krboch, keďže v Bratislavskom kraji je majoritným spôsobom vykurovania domácností plyn (**Obr. 1.2**). 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 vrátane leta, keď bývajú koncentrácie $PM_{2,5}$ najnižšie.

3.2.2 Oxid dusičitý

Priemerné mesačné hodnoty oxidu dusičitého pre jednotlivé stanice zachytáva **Obr. 3.11**. V zóne Bratislavský kraj nebola limitná hodnota pre ročnú priemernú koncentráciu NO_2 prekročená na žiadnej stanici ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Hlavným zdrojom emisií NO_2 je cestná doprava. Najvyššie koncentrácie z tohto dôvodu zaznamenávame na dopravnej stanici v Senci ($18 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), táto dopravná stanica je umiestnená na mieste s vyššou frekvenciou dopravy ako dopravná stanica v Rohožníku.

Koncentrácie NO_2 sú v zóne Bratislavský kraj na relatívne nízkej úrovni, odporúčanie WHO ($10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) pre priemernú ročnú úroveň znečistenia NO_2 rovnako ako minulý rok splnila stanica v Pezinku ($9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Tieto odporúčania WHO viac reflektujú vplyv znečistenia na zdravie. Ambíciou EÚ je viac sa priblížiť odporúčaniam WHO prostredníctvom Akčného plánu nulového znečistenia, ktorého súčasťou sú aj nové EÚ limitné hodnoty pre viaceré znečisťujúce látky vrátane NO_2 ($20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), ktoré nadobudnú platnosť v roku 2030.

Obr. 3.11 Priemerné mesačné koncentrácie NO_2 .

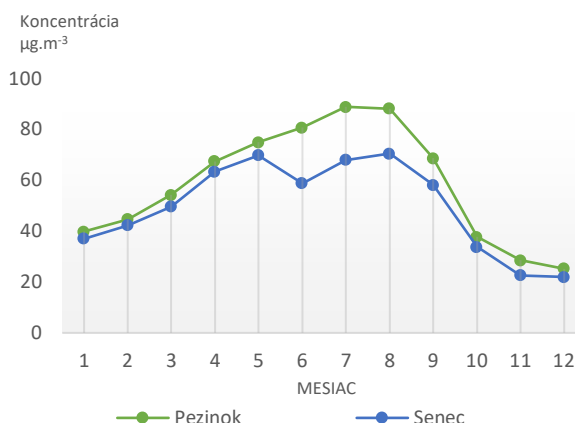


3.2.3 Ozón

Monitoring ozónu (**Obr. 3.12**) prebieha na monitorovacích staniciach v Senci a Pezinku. Najvyššie koncentrácie sme zaznamenali v júli a auguste, v najteplejších mesiacoch roka. September bol nadpriemerne chladný a bohatý na zrážky, čo sa prejavilo výrazným poklesom koncentrácií ozónu v porovnaní s letnými mesiacmi.

Koncentrácie prízemného ozónu majú výrazný denný aj mesačný chod, 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.

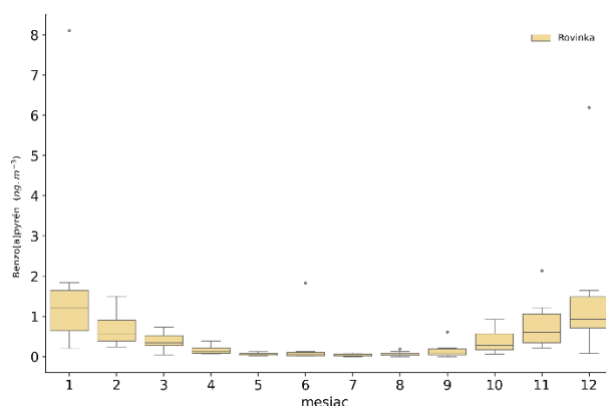
Obr. 3.12 Priemerné mesačné koncentrácie O_3 v r. 2024



3.2.4 Benzo(a)pyrén

Priemerná ročná koncentrácia na monitorovacej stanici v Rovinke mala v roku 2024 hodnotu $0,5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, neprekročila teda cieľovú hodnotu $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Najvyššie mesačné koncentrácie tejto látky boli zaznamenané v zimných mesiacoch s maximom v decembri, najvyššie meranie nad $8 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ bolo zaznamenané v januári (**Obr. 3.13**). Je to odrazom zvýšeného využitia tuhých palív v rodinných domoch, kde ľudia zvyknú ako prídavný zdroj vykurovania využívať krbové vložky a piecky.

Obr. 3.13 Priemerné mesačné koncentrácie benzo(a)pyrénu v r. 2024.



Tab. 3.4 Priemerné ročné koncentrácie benzo(a)pyrénu v rokoch 2020–2024.

	2020	2021	2022	2023	2024
Cieľová hodnota [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Rovinka	0,4	0,6	0,5	*0,4	0,5

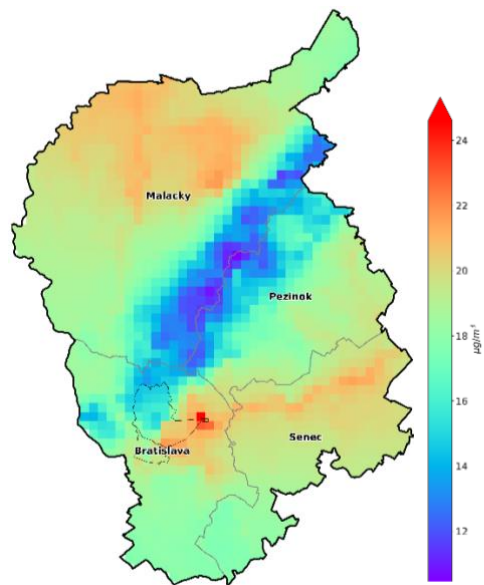
■ $\geq 90\%$ platných meraní

* 81% platných meraní

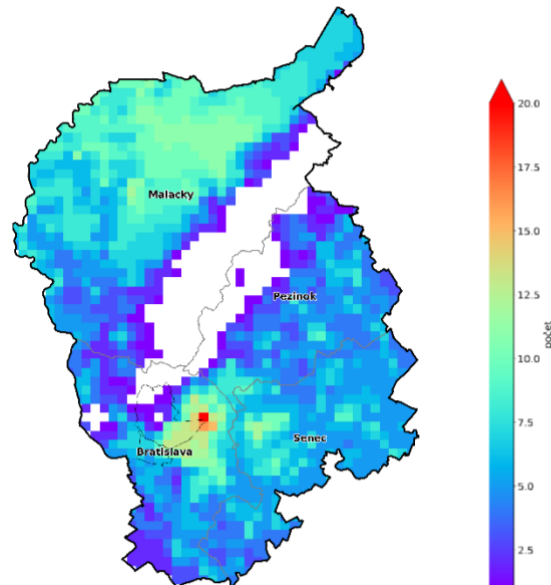
4 MODELOVANIE KVALITY OVZDUŠIA

Na **Obr. 4.1** a **Obr. 4.2** sú výsledky modelovania PM_{10} pre zónu Bratislavský kraj vrátane Bratislavy vypočítané pomocou modelu RIO v kombinácii s IDW-R (podrobnejší popis metódy je v Kapitole 4 *Správy o kvalite ovzdušia v SR v roku 2024*).

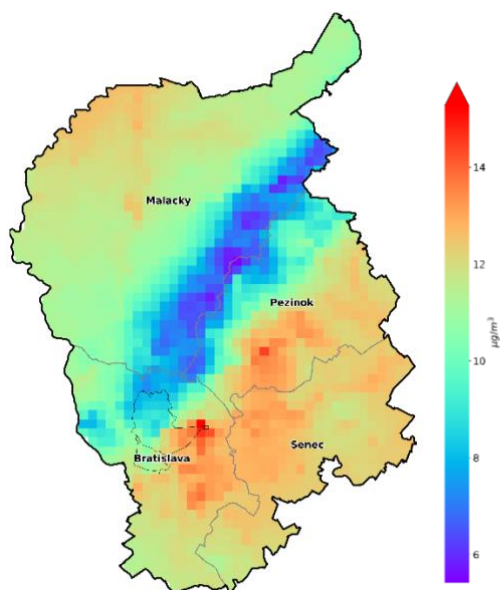
Obr. 4.1 Priemerná ročná koncentrácia PM_{10} v r. 2024 podľa výstupu modelu RIO, IDW-R.



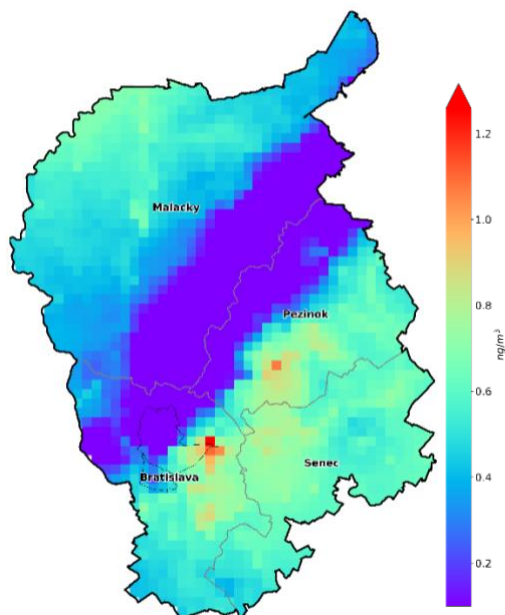
Obr. 4.2 Počet prekročení dennej limitnej hodnoty PM_{10} v roku 2024. Zobrazené sú len oblasti, pre ktoré vyšiel nenulový počet prekročení.



Obr. 4.3 Priemerná ročná koncentrácia $PM_{2,5}$ v roku 2023 podľa výstupu modelu RIO, IDW-R.



Obr. 4.4 Priemerná ročná koncentrácia benzo(a)pyrénu v roku 2023 podľa výstupu modelu RIO, IDW-R.



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 lokalizované v oblasti Podunajskej nížiny a na Záhorí. V Bratislave sú najvyššie koncentrácie v okolí frekventovaných ciest v cestných kaňonoch.

Mapa priestorového rozloženia priemerných ročných koncentrácií benzo(a)pyrénu podľa výstupu modelu RIO, IWD-R (**Obr. 4.4**) ukazuje možný výskyt vyšších koncentrácií v niektorých obciach nachádzajúcich sa východne a severovýchodne od Bratislavy. Pre presnejšie informácie by však bolo potrebné v budúcnosti uskutočniť modelovanie s vysokým rozlíšením.

4.1 Rizikové oblasti

Obr. 4.5 zobrazuje obce ohrozené zhoršenou kvalitou ovzdušia, určené Metódou integrovaného posúdenia obcí⁸. V zóne Bratislavský kraj boli na základe výstupov z chemicko-transportného modelu CMAQ, interpolačného modelu RIO a výsledkov modelovania s vysokým rozlíšením modelom CALPUFF identifikované dve oblasti s rizikovým stupňom 3 – Bratislava I. a Bratislava III., **z dôvodu rizika vysokých koncentrácií NO_2 v okolí frekventovaných ciest v týchto bratislavských okresoch. Z dôvodu rizika vysokých koncentrácií $PM_{2,5}$ pre vysoký počet lokálnych kúrenísk bola identifikovaná jedna oblasť s rizikovým stupňom I. – Marianka.**

Obciam, na území ktorých bola podľa modelovania s vysokým priestorovým rozlíšením prekročená limitná hodnota pre PM , NO_2 alebo cieľová hodnota pre BaP, bol automaticky priradený rizikový stupeň 3. Podobne ako obciam, kde bolo prekročenie limitnej či cieľovej hodnoty zistené meraním. Zoznam obcí a ich rizikových stupňov je zverejnený na web stránke SHMÚ.⁹

Zóny a aglomerácie, ktoré obsahujú aspoň jednu obec s rizikovým stupňom 3, vypracujú Program na zlepšenie kvality ovzdušia. V tomto zmysle zodpovedajú obce s rizikovým stupňom 3 oblastiam riadenia kvality ovzdušia. Opatrenia na zníženie emisií však musia byť vykonané v takto vyčlenenej zóne vo všetkých obciach, ktorých rizikový stupeň je 2 alebo 3, v ideálnom prípade aj v obciach s rizikovým stupňom 1.

Hodnotenie pomocou Metódy integrovaného posúdenia má za cieľ vymedziť oblasti, kde je potrebné zamerať opatrenia na zlepšenie kvality ovzdušia. Vzhľadom na rozmiestnenie zdrojov znečisťovania vzdušia a s ohľadom na mikroklimatické charakteristiky územia je pravdepodobné, že na rizikovej oblasti sa miera znečistenia na rôznych lokalitách líši. Predstavu o priestorovom rozložení znečistenia ovzdušia poskytujú výsledky modelovania s vysokým rozlíšením, ktoré sú postupne dopĺňané na web stránke¹⁰.

Obr. 4.5 Mapa rizikových obcí a okresov v Bratislavskom kraji a aglomerácii Bratislava.



⁸ Štefánik, D., Krajčovičová, J.: Metóda integrovaného posúdenia obcí vzhľadom na riziko nepriaznivej kvality ovzdušia, Slovenský hydrometeorologický ústav, 2023, dostupné na <https://www.shmu.sk/sk/?page=996>

⁹ <https://www.shmu.sk/sk/?page=2768>

¹⁰ <https://www.shmu.sk/sk/?page=2699>

5 ZHRNUTIE

Podľa výsledkov monitoringu nebola v roku 2024 v aglomerácii Bratislava ani v zóne Bratislavský kraj prekročená limitná hodnota pre žiadnu znečisťujúcu látku. Cieľová hodnota pre O_3 bola prekročená na predmestskej pozadovej monitorovacej stanici Bratislava, Jeséniova. Dlhodobé trendy znečistenia časticami PM (**Obr. 3.1**) a NO_2 majú v tejto aglomerácii a zóne klesajúci charakter.

Na základe výstupov z modelu môžeme usúdiť, že v zóne Bratislavský kraj vrátane aglomerácie Bratislava je riziko výskytu vyšších koncentrácií PM a NO_2 ako sú hodnoty namerané na dopravnej stanici na Trnavskom mýte v okolí frekventovaných cestných komunikácií kaňonovitého typu v okresoch Bratislava I a III. Riziko I. stupňa výskytu vyšších koncentrácií $PM_{2,5}$ bolo identifikované v Marianke na základe integrovanej metodiky.

Ak by sme posudzovali plnenie požiadaviek vyplývajúcich z novej smernice o kvalite ovzdušia (EÚ) 2024/2881, ktorá stanovuje sprísnené limitné hodnoty platné od 1. januára 2030, najväčšie problémy s ich dosiahnutím by v aglomerácii Bratislava a zóne Bratislavský kraj vznikli na monitorovacej stanici Trnavské mýto – pre znečisťujúce látky $PM_{2,5}$ a NO_2 .

Rok 2024 bol nepriaznivo ovplyvnený pretrvávajúcimi zhoršenými rozptylovými podmienkami na konci roka a výraznou epizódou prenosu púštneho prachu na prelome marca a apríla. Meteorologické podmienky neboli tak priaznivé ako v rokoch 2022 a 2023, čo jasne ukázalo, že pri zhoršených rozptylových faktoroch môže byť aj pre aglomeráciu Bratislava náročné splniť sprísnené limity pripravovanej európskej legislatívy do roku 2030.

Z tohto dôvodu je nevyhnutné prijať účinné opatrenia na zlepšenie kvality ovzdušia, prioritne zamerané na zníženie emisií tuhých častíc PM_{10} a $PM_{2,5}$, ako aj oxidov dusíka (NO_2), najmä v oblastiach s nadmerným dopravným zaťažením.

Ak by sme hodnotili kvalitu ovzdušia podľa odporúčaní WHO¹¹, žiadna stanica zóny a aglomerácie Bratislava by nespĺňala hodnoty stanovených koncentrácií pre znečisťujúce látky. Ambíciou Akčného plánu nulového znečistenia¹² je dosiahnuť kvalitu ovzdušia podľa týchto odporúčaní do roku 2050.

Napriek predchádzajúcim záverom je Zóna Bratislavský kraj a aglomerácia Bratislava z hľadiska kvality ovzdušia najmenej problémovou oblasťou Slovenska.

¹¹ WHO GLOBAL AIR QUALITY GUIDELINES, 2021. Recommendations on classical air pollutants, str. 4.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345334/9789240034433-eng.pdf>

¹² <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/02/20/air-quality-council-and-parliament-strike-deal-to-strengthen-standards-in-the-eu/>