Co-funded by the European Union

INCREASING THE VISIBILITY AND KNOWLEDGE BASE ON AIR QUALITY WITH BIG DATA AND ITS IMPACT ON THE POPULATION HEALTH

Erasmus+ KA220 Cooperation Partnerships

TĚKAVÉ ORGANICKÉ LÁTKY V OVZDUŠÍ PRAHY A NITRY

Project number	2023-1-SK01-KA220-HED-000158470
Document type	Research report
Version	1.0

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Měření metodou SPME-GC/MS, srpen 2025 – květen 2026

Účel: ukázka pro studenty v rámci projektu VISIONAIR – co vše lze ve venkovním ovzduší zachytit a identifikovat metodou GC/MS.

1. Cíl práce

Cílem demonstračního měření bylo ukázat studentům, jaké těkavé organické látky (VOC) se vyskytují ve venkovním ovzduší dvou středoevropských měst a jak lze vzorek vzduchu zpracovat a analyzovat metodou mikroextrakce tuhou fází (SPME) ve spojení s plynovou chromatografií a hmotnostní spektrometrií (GC/MS). Výsledky ilustrují spektrum přítomných látek a jejich řádové koncentrace; vzhledem k jednorázovým odběrům je nelze interpretovat jako průměrné úrovně znečištění.

2. Teoretická východiska

2.1 Těkavé organické látky (VOC) – definice a vlastnosti

Těkavé organické látky (VOC) jsou podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/42/ES definovány jako organické sloučeniny, jejichž bod varu při normalizovaném tlaku 101,3 kPa nepřesahuje 250 °C. Jde o velmi širokou skupinu látek zahrnující alifatické a aromatické uhlovodíky, halogenované uhlovodíky, alkoholy, aldehydy, ketony, estery a další. Mezi environmentálně a zdravotně nejvýznamnější VOC ve venkovním ovzduší patří tzv. skupina BTEX – benzen, toluen, ethylbenzen a xyleny – doplněná o styren, 1,3-butadien, trichlorethylen, tetrachlorethylen a další chlorované a aromatické sloučeniny.

Zdroje VOC ve venkovním ovzduší lze rozdělit na antropogenní a biogenní. Mezi hlavní antropogenní zdroje patří spalování pohonných hmot a výpary z dopravy (zejména benzen z benzinových motorů a odpařování paliva), průmyslové procesy využívající organická rozpouštědla (lakovny, tiskárny, chemický a petrochemický průmysl), skladování a distribuce pohonných hmot, malé spalovací zdroje v domácnostech (spalování dřeva a uhlí uvolňuje mimo jiné benzen a polycyklické aromatické uhlovodíky) a používání spotřebitelských výrobků obsahujících rozpouštědla. Biogenní zdroje zahrnují emise izoprenu a terpenů z vegetace, které jsou významné zejména v teplých měsících.

2.2 Zdravotní a environmentální dopady

Benzen je Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny (IARC) zařazen do skupiny 1 – prokázaných lidských karcinogenů – s prokázanou souvislostí s leukemií při chronické expozici. Světová zdravotnická organizace (WHO) proto u benzenu neuvádí bezpečnou prahovou koncentraci a doporučuje minimalizovat expozici na nejnižší rozumně dosažitelnou úroveň (princip ALARA – As Low As Reasonably Achievable). Další VOC, jako je 1,3-butadien, jsou

rovněž klasifikovány jako karcinogenní, zatímco toluen, ethylbenzen a xyleny mají především neurotoxické, dráždivé a narkotické účinky při vyšších koncentracích.

Kromě přímých zdravotních rizik hrají VOC klíčovou roli jako prekurzory přízemního (troposférického) ozonu a sekundárních organických aerosolů. Ve fotochemických reakcích s oxidy dusíku (NOx) za přítomnosti slunečního záření vznikají fotooxidanty, které přispívají k letnímu smogu a zhoršují kvalitu ovzduší i v lokalitách vzdálených od primárních zdrojů emisí.

2.3 Legislativní rámec

Kvalita ovzduší v Evropské unii byla dosud upravena zejména směrnicí 2008/50/ES o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu, která stanovuje pro benzen roční imisní limit 5 µg/m³. V říjnu 2024 byla přijata revidovaná směrnice (EU) 2024/2881 o kvalitě okolního ovzduší a čistějším ovzduší v Evropě (v platnosti od 10. 12. 2024, lhůta pro provedení do 11. 12. 2026), která od roku 2030 zpřísňuje limitní hodnoty řady látek (mimo jiné benzen na 3,4 µg/m³ a PM2,5 na 10 µg/m³ ročně) s cílem přiblížit evropskou legislativu doporučením WHO z roku 2021 a zavádí také mechanismy pro posuzování měst se zhoršenou kvalitou ovzduší a plány zlepšování. Slovenská republika i Česká republika transponovaly a nadále transponují evropské požadavky do národní legislativy – v ČR zákonem č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů, na Slovensku zákonem č. 146/2023 Z. z. o ochrane ovzdušia.

2.4 Princip plynové chromatografie s hmotnostní spektrometrií (GC/MS)

Plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií (GC/MS) je hybridní analytická technika spojující separační schopnosti plynové chromatografie s vysokou selektivitou a citlivostí hmotnostní detekce. V první fázi jsou jednotlivé složky vzorku separovány na kapilární koloně na základě rozdílné těkavosti a interakce s nepolární nebo mírně polární stacionární fází (typicky kolony s fází 5%-fenyl-95%-dimethylpolysiloxan, např. typu DB-5MS, vhodné pro analýzu BTEX a dalších VOC). Nosným plynem je obvykle helium nebo vodík.

Molekuly eluující z kolony jsou následně v hmotnostním spektrometru ionizovány, nejčastěji elektronovou ionizací (EI, 70 eV), fragmentovány a rozděleny podle poměru hmotnosti k náboji (m/z) kvadrupólovým analyzátorem. Výsledné hmotnostní spektrum umožňuje jednoznačnou identifikaci látky porovnáním s knihovnami spekter (např. NIST) a referenčními standardy, zatímco intenzita signálu vybraného iontu (v režimu SIM – Selected Ion Monitoring, nebo celkového iontového proudu TIC) slouží ke kvantifikaci; přesná kvantifikace vyžaduje kalibrační křivku sestrojenou z certifikovaných referenčních standardů. Kombinace GC/MS je považována za zlatý standard pro identifikaci a kvantifikaci stopových koncentrací VOC ve venkovním ovzduší díky své vysoké citlivosti (při odběru na sorpční trubice a termální desorpci detekční limity v jednotkách až desítkách ng/m³) a specifičnosti.

3. Charakteristika sledovaných lokalit

3.1 Praha

Praha je hlavní město České republiky s přibližně 1,4 milionu obyvatel (aglomerace přes 2,7 milionu), rozlohou zhruba 496 km² a nadmořskou výškou kolísající mezi 177 a 399 m n. m., ležící v kotlinovitém údolí Vltavy. Kotlinový charakter reliéfu spolu s častými teplotními inverzemi v podzimních a zimních měsících omezuje rozptylové podmínky a přispívá k akumulaci znečišťujících látek v přízemní vrstvě atmosféry. Hlavními zdroji znečištění ovzduší v Praze jsou silniční doprava (především v centru a podél hlavních komunikací a magistrál), lokální vytápění v okrajových částech města a v malé míře průmyslová výroba, jejíž podíl na celkových emisích ve srovnání s minulostí výrazně poklesl. Kvalitu ovzduší v Praze sleduje hustá síť automatizovaných monitorovacích stanic provozovaných ČHMÚ a hlavním městem Praha, zahrnující dopravní (např. Praha 2-Legerova, Praha 5-Smíchov), městské a předměstské stanice.

3.2 Nitra

Nitra je krajské město na jihozápadě Slovenska s přibližně 76 000 obyvateli, ležící v úrodné Nitranské kotlině v nadmořské výšce okolo 140 m n. m. Region je tradičně zemědělský, v posledních dvou dekádách se však výrazně industrializoval. V roce 2018 byl v průmyslové zóně u Nitry spuštěn velký automobilový závod koncernu Jaguar Land Rover, který zahrnuje mimo jiné lakovnu (lakovací linku) – technologii, jež patří mezi typické průmyslové zdroje emisí těkavých organických látek díky použití organických rozpouštědel v nátěrových hmotách. Kromě automobilového průmyslu je v regionu přítomna výroba zemědělské techniky a potravinářský průmysl. Významným zdrojem znečištění ovzduší v širším Nitranském kraji je také lokální vytápění domácností tuhými palivy, které je dle regionálních programů zlepšování kvality ovzduší označováno za dominantní zdroj emisí prachových částic a benzo(a)pyrenu ve venkovských částech regionu. Kvalitu ovzduší ve městě a regionu sleduje síť stanic Slovenského hydrometeorologického ústavu, mimo jiné stanice Nitra-Štúrova (dopravně ovlivněná lokalita v centru města) a Nitra-Janíkovce (pozaďová lokalita).

3.3 Srovnání výchozích podmínek

Tabulka 1: Srovnání výchozích podmínek Prahy a Nitry

Charakteristika	Praha	Nitra
Počet obyvatel (město)	≈ 1,4 mil.	≈ 76 tis.
Nadmořská výška	177–399 m n. m.	≈ 140 m n. m.
Reliéf / rozptylové podmínky	Kotlinovité údolí Vltavy, časté inverze	Rovinatá Nitranská kotlina, zemědělská krajina
Dominantní zdroj emisí	Silniční doprava (centrum, magistrály)	Lokální vytápění tuhými palivy (region), automobilový průmysl

Charakteristika	Praha	Nitra
Významný průmysl	Omezený, klesající podíl na emisích	Automobilový průmysl (JLR – lakovna), zemědělská technika

4. Metodika

4.1 Odběrová místa a odběr vzorků

- Praha: areál VŠCHT Praha, Praha 6-Dejvice (městské prostředí).
- Nitra: areál Slovenské zemědělské univerzity v Nitře (SPU).
- Odběr: jednorázový odběr venkovního vzduchu do vzorkovacího vaku, jeden odběr v každém měsíci v období srpen 2025 – květen 2026 (10 odběrů na lokalitu).
- Vaky byly po odběru dopraveny do laboratoře VŠCHT Praha k analýze.

4.2 Analýza

- Extrakce: SPME z plynné fáze vaku, vlákno DVB/CAR/PDMS (divinylbenzen/Carboxen/polydimethylsiloxan).
- Separace: plynová chromatografie na polární koloně typu WAX a na nepolární koloně typu DB-5, obě 30 m × 0,25 mm × 0,25 µm.
- Detekce a identifikace: hmotnostní spektrometrie, identifikace látek podle hmotnostních spekter a retenčního chování.
- Kvantifikace: semikvantitativní, přes vnitřní standard Fluorbenzen ; kalibrace jednotlivých látek nebyla prováděna. Hodnoty je proto třeba chápat jako odhad řádové úrovně koncentrace.
- „nd“ (nedetekováno): v chromatogramu nebyl rozlišen pík dané látky. Mez detekce nebyla stanovena.
- Benzo(a)pyren nebyl stanovován: jde o látku vázanou převážně na částice aerosolu, pro jejíž zachycení není odběr do vaku se SPME vhodný (správným postupem je odběr PM10 na filtr, např. dle EN 15549 [4]).

Výsledky

Tabulky 2 a 3 uvádějí koncentrace identifikovaných látek. Každá hodnota odpovídá jednomu odběru v daném měsíci; nejde o měsíční průměry. Na obrázcích 1–5 je průběh vybraných látek v obou městech.

Tabulka 2: Koncentrace VOC – Praha, areál VŠCHT (Dejvice)

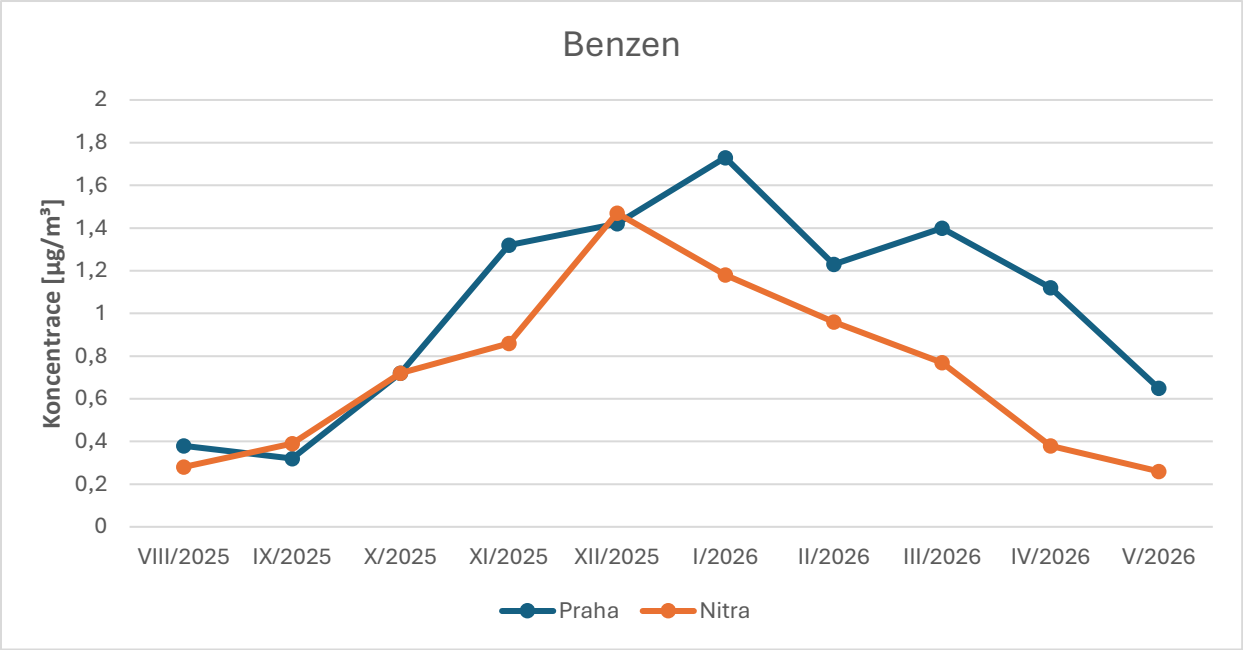
Látka [µg/m³]	VIII/2025	IX/2025	X/2025	XI/2025	XII/2025	I/2026	II/2026	III/2026	IV/2026	V/2026
Aromatické uhlovodíky										
Benzen	0,38	0,32	0,72	1,32	1,42	1,73	1,23	1,40	1,12	0,65
Toluen	0,28	0,38	0,41	0,66	0,85	0,74	0,55	0,76	0,38	0,48
Ethylbenzen	nd	nd	0,21	0,25	0,27	nd	nd	0,16	nd	0,14
m,p-Xylen	0,21	nd	nd	0,41	0,33	0,42	0,24	0,51	0,23	0,42
o-Xylen	nd	nd	0,21	0,25	0,24	0,22	nd	0,28	nd	0,21
Alkeny a alkyny										
Ethen	0,32	0,28	0,36	0,52	1,58	1,22	0,85	0,38	0,52	0,71
Ethyn (acetylen)	0,12	0,19	0,69	0,72	0,82	0,89	0,43	0,23	0,28	0,38
Alkany										
Ethan	1,10	1,02	1,62	2,36	3,01	2,81	2,72	2,28	1,72	2,22
Propan	0,63	0,78	0,83	0,98	1,85	1,83	1,59	1,23	1,11	1,31
n-Butan	0,36	0,39	0,81	1,21	1,42	1,21	0,84	0,72	0,49	0,88
Isobutan	0,22	0,29	0,45	0,68	0,91	0,75	0,78	0,38	0,49	0,72
n-Pentan	0,68	0,72	0,52	0,48	0,46	0,43	0,31	0,28	0,25	0,48
n-Hexan	nd	nd	nd	nd	0,28	0,22	nd	nd	nd	nd

Jeden odběr do vaku v každém měsíci, SPME-GC/MS, semikvantitativně přes vnitřní standard.
nd = nedetekováno.

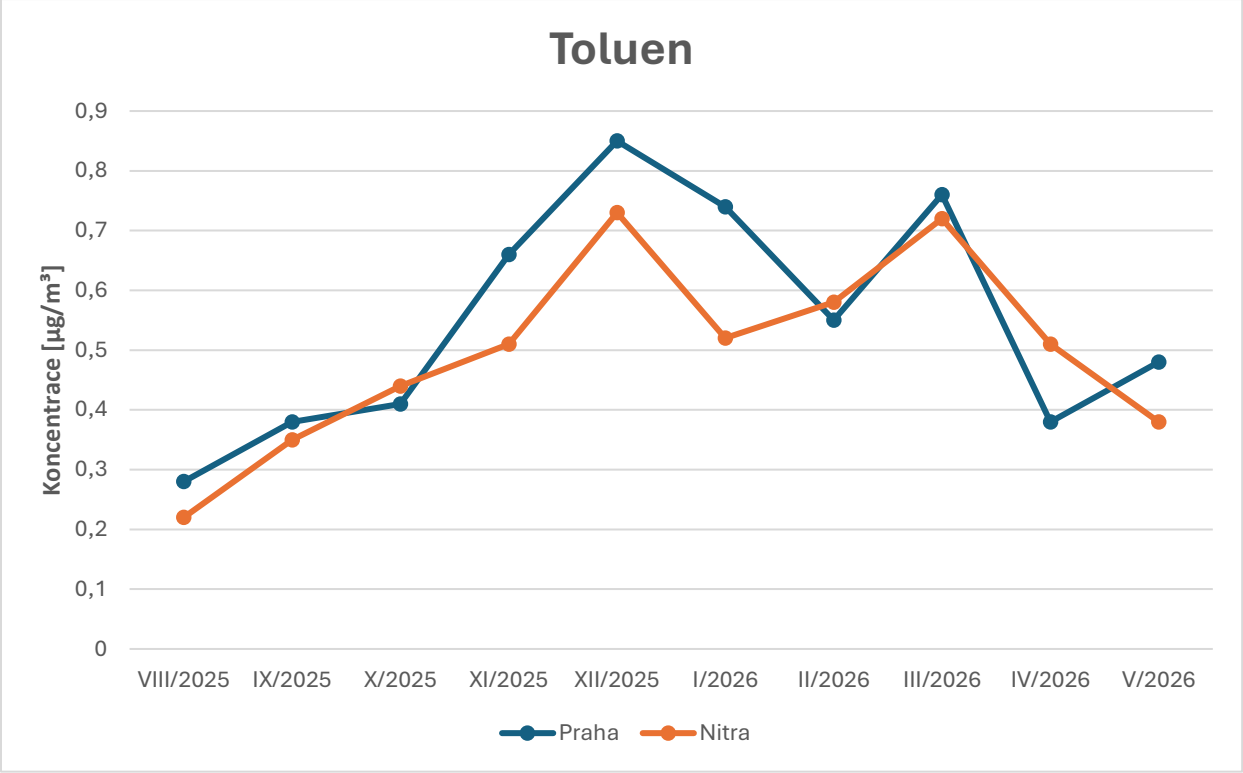
Tabulka 3: Koncentrace VOC – Nitra, areál SPU

Látka [µg/m³]	VIII/2025	IX/2025	X/2025	XI/2025	XII/2025	I/2026	II/2026	III/2026	IV/2026	V/2026
Aromatické uhlovodíky										
Benzen	0,28	0,39	0,72	0,86	1,47	1,18	0,96	0,77	0,38	0,26
Toluen	0,22	0,35	0,44	0,51	0,73	0,52	0,58	0,72	0,51	0,38
Ethylbenzen	nd	nd	0,18	0,15	0,15	0,12	nd	0,22	0,25	0,16
m,p-Xylen	0,21	nd	0,22	0,32	0,29	0,29	0,18	0,41	0,22	0,39
o-Xylen	nd	nd	nd	nd	0,20	0,18	0,16	0,21	0,20	0,16
Alkeny a alkyny										
Ethen	0,23	0,28	0,39	0,83	1,37	1,42	0,56	0,32	0,33	0,61
Ethyn (acetylen)	0,11	0,16	0,32	0,42	0,67	0,82	0,43	0,23	0,21	0,32
Alkany										
Ethan	1,20	1,11	1,52	1,78	2,81	2,66	2,42	2,01	1,74	2,10
Propan	0,33	0,38	0,68	1,25	1,85	1,88	1,61	1,21	1,11	1,06
n-Butan	0,36	0,36	0,40	0,80	1,24	1,38	0,88	0,51	0,49	0,51
Isobutan	0,26	0,56	0,42	0,72	0,86	0,61	0,61	0,54	0,50	0,68
n-Pentan	0,22	0,36	0,32	0,41	0,52	0,42	0,31	0,31	0,23	0,52
n-Hexan	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

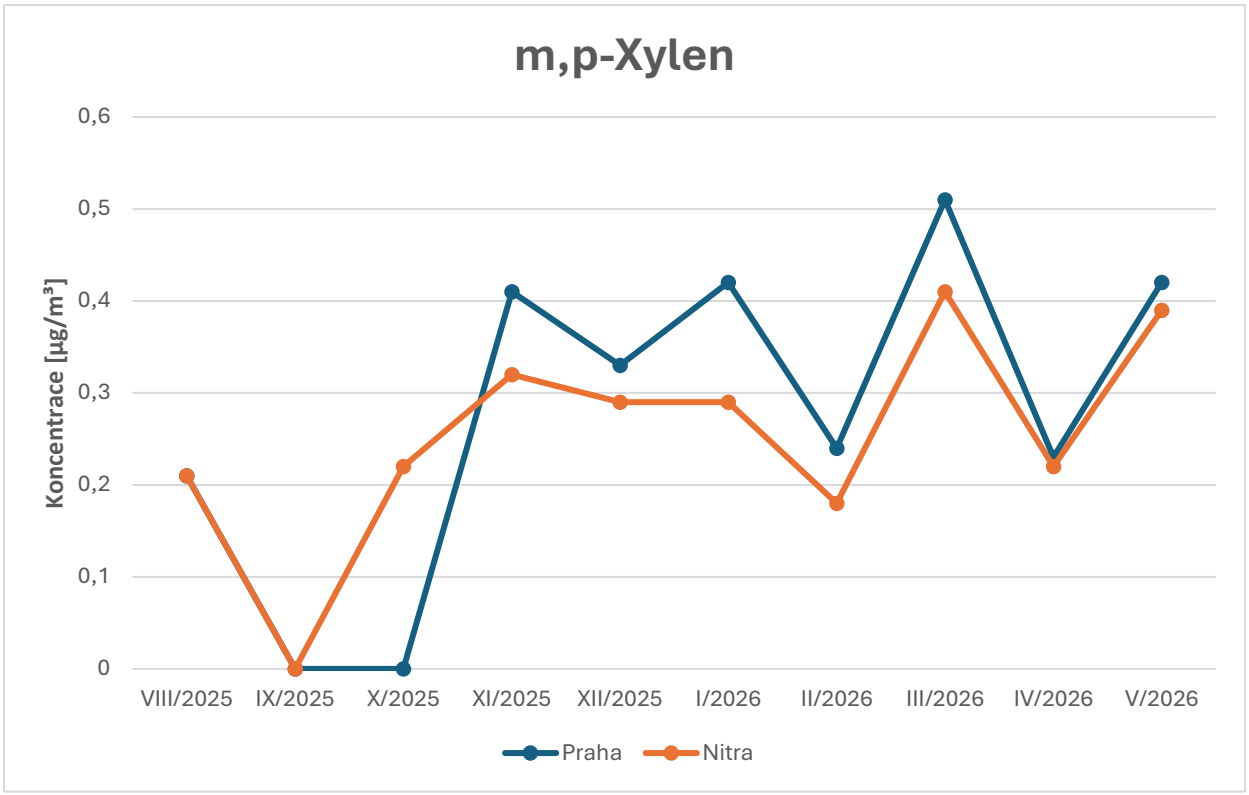
Jeden odběr do vaku v každém měsíci, SPME-GC/MS, semikvantitativně přes vnitřní standard.
nd = nedetekováno.



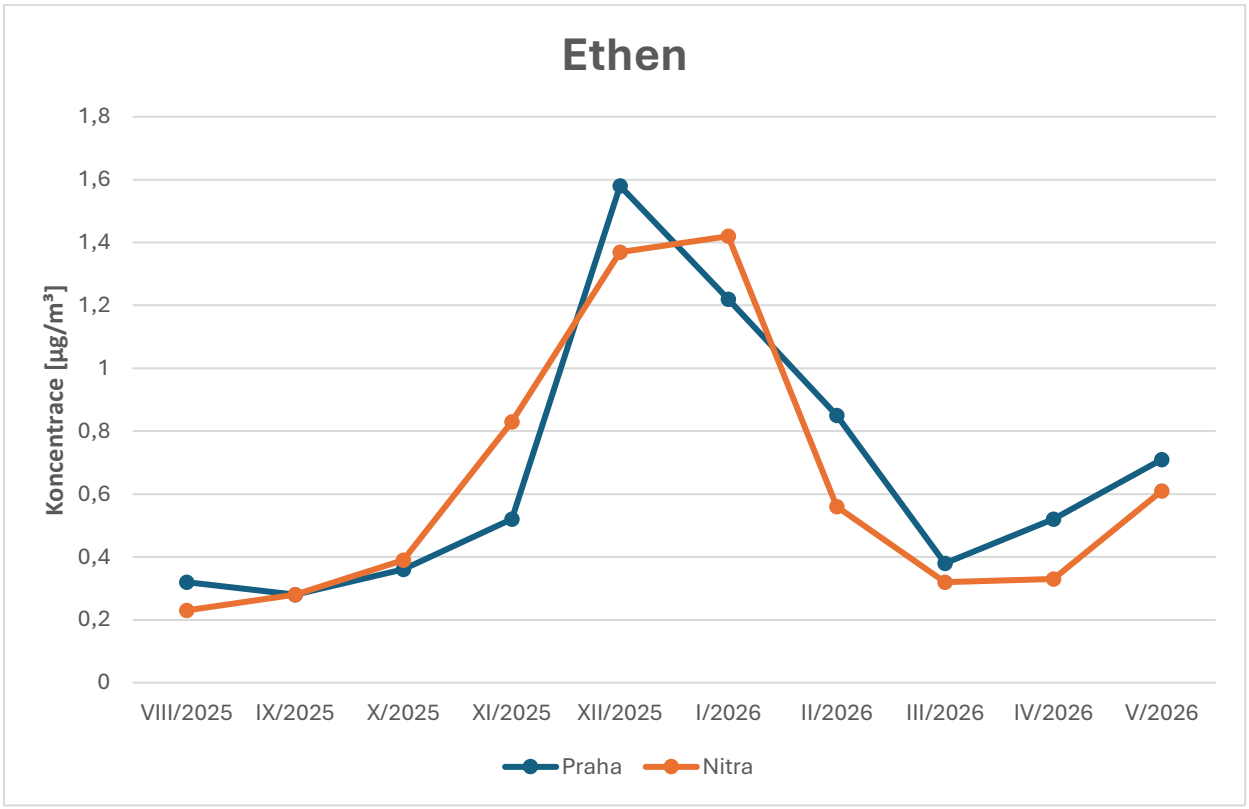
Obrázek 1: Koncentrace benzenu v jednotlivých odběrech – Praha (VŠCHT) a Nitra (SPU).



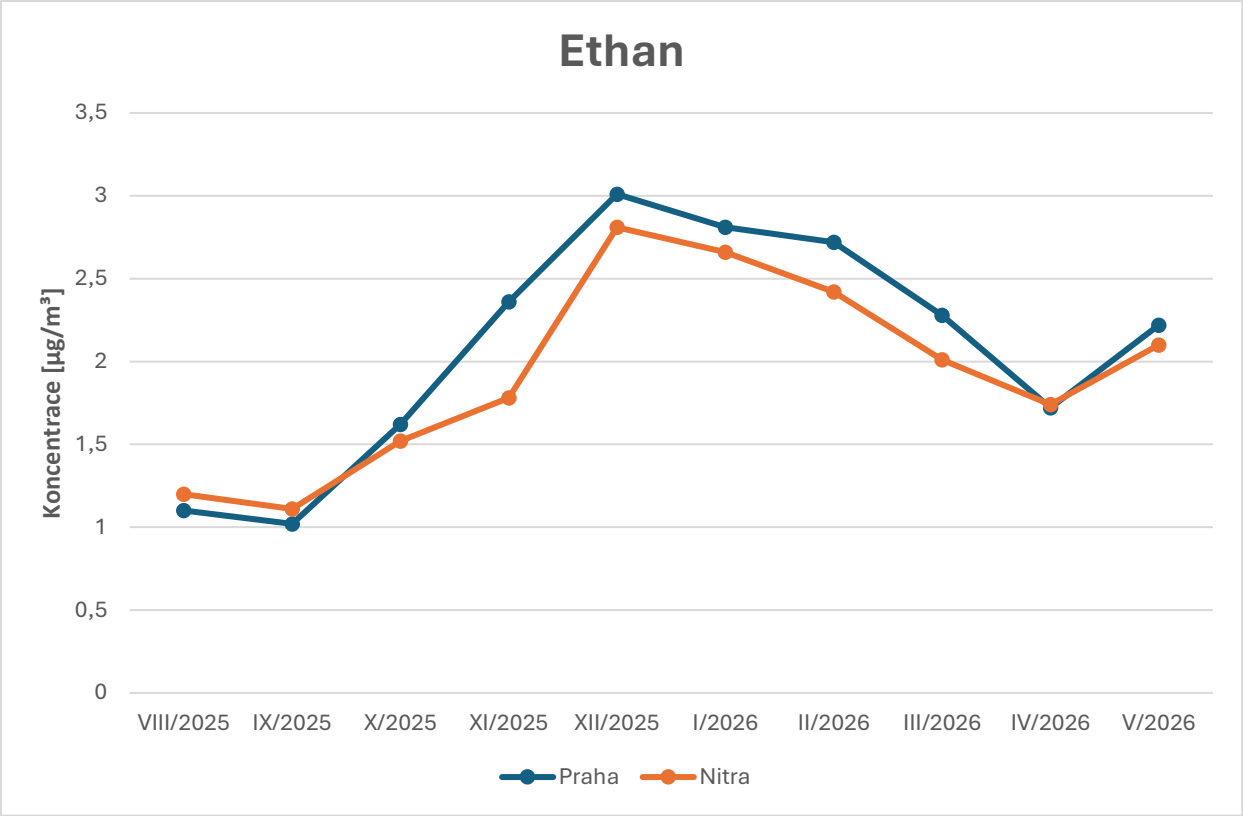
Obrázek 2: Koncentrace toluenu v jednotlivých odběrech – Praha (VŠCHT) a Nitra (SPU).



Obrázek 3: Koncentrace m,p-xylenu v jednotlivých odběrech – Praha (VŠCHT) a Nitra (SPU).



Obrázek 4: Koncentrace ethenu v jednotlivých odběrech – Praha (VŠCHT) a Nitra (SPU).



Obrázek 5: Koncentrace ethanu v jednotlivých odběrech – Praha (VŠCHT) a Nitra (SPU).

Závěr

- Produkty spalování – ethen a ethyn (acetylen) – dosahovaly v obou městech nejvyšších hodnot v prosinci a lednu a do března klesly zhruba na čtvrtinu (ethen v Praze 1,58 µg/m³ v prosinci → 0,38 µg/m³ v březnu, v Nitře 1,42 µg/m³ v lednu → 0,32 µg/m³ v březnu). Tento průběh odpovídá příspěvku vytápění v topné sezóně a zhoršeným rozptylovým podmínkám v zimě.
- Benzen v Nitře postupně klesal od prosince (1,47 µg/m³) do května (0,26 µg/m³), v Praze se od listopadu do dubna držel na 1,1–1,7 µg/m³ a výrazněji klesl až v květnu (0,65 µg/m³). Stejný rozdíl v sezónním průběhu ukazují i data státního monitoringu z předchozí sezóny.
- Lehké alkany C2–C5 (ethan, propan, butany, pentan) byly přítomny ve všech vzorcích a měnily se méně než produkty spalování; nejvyšší koncentrace měl ethan, který má v atmosféře dlouhou životnost a jehož zdrojem je mimo jiné zemní plyn.
- Aromatické uhlovodíky (toluen, ethylbenzen, xyleny) kolísaly mezi odběry nepravidelně (např. v Praze pokles v dubnu a opětovný nárůst v květnu, v Nitře u většiny aromátů naopak pokles mezi dubnem a květnem). Jednorázový vzorek odráží okamžitou situaci –

dopravu, směr a rychlost větru; pro hodnocení úrovně znečištění je nutné opakované nebo dlouhodobé vzorkování.

- Poměr toluen/benzen: v zimních odběrech byl v obou městech nižší než 1 (Praha XII 0,60, Nitra XII 0,50), v květnu vyšší (Praha 0,74, Nitra 1,46). Poměr pod 1 bývá spojován se spalováním tuhých paliv a biomasy a s fotochemicky „stárnoucím“ vzduchem, pro emise z dopravy je typický poměr zhruba 1,5–4; žádná z naměřených hodnot tedy do „dopravního“ rozmezí nespadá; u jednorázových semikvantitativních vzorků jde ovšem jen o ilustraci principu.
- n-Hexan byl zachycen jen v Praze, a to v prosinci a lednu; v ostatních vzorcích nebyl detekován.
- Úrovně VOC v Nitře a v Praze byly v jednotlivých odběrech celkově podobné, pro většinu látek byly pražské hodnoty mírně vyšší. Rozdíl může být zčásti ovlivněn i delší dobou převozu vaků z Nitry do laboratoře.

7. Zdroje

[1] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). Air Quality Download Service – verified data (E1a). Dostupné z: https://eeadmz1-downloads-webapp.azurewebsites.net/ [cit. 29. 9. 2026].

[2] SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (SHMÚ). Správa o kvalite ovzdušia v SR 2025. Príloha: Hodnotenie kvality ovzdušia v zóne Nitriansky kraj. Dostupné z: https://www.shmu.sk/File/2025_Priloha_NR_v5(1).pdf

[3] ISO 16017-1:2000. Indoor, ambient and workplace air – Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography – Part 1: Pumped sampling.

[4] EN 15549:2008. Air quality – Standard method for the measurement of the concentration of benzo[a]pyrene in ambient air.

[5] US EPA. Compendium Method TO-15 a TO-17. Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air.