УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ ВО СКОПЈЕ

ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ - СКОПЈЕ

Институт за хемија

М-р Влазним Мула

ПРОЦЕНКА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НА ИСПАРЛИВИ ОРГАНСКИ СОЕДИНЕНИЈА ВО ВОЗДУХ ВО ЗАТВОРЕН ПРОСТОР И НА ОТВОРЕНО СО ПАСИВНО ЗЕМАЊЕ ПРИМЕРОЦИ И НАПРЕДНИ АНАЛИТИЧКИ ТЕХНИКИ

Докторска дисертација

Скопје, 2026

УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ ВО СКОПЈЕ

ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ - СКОПЈЕ

Институт за хемија

М-р Влазним Мула

ПРОЦЕНКА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НА ИСПАРЛИВИ ОРГАНСКИ СОЕДИНЕНИЈА ВО ВОЗДУХ ВО ЗАТВОРЕН ПРОСТОР И НА ОТВОРЕНО СО ПАСИВНО ЗЕМАЊЕ ПРИМЕРОЦИ И НАПРЕДНИ АНАЛИТИЧКИ ТЕХНИКИ

Докторска дисертација

Скопје, 2026

SS. CYRIL AND METHODIUS UNIVERSITY IN SKOPJE

Faculty of Natural Sciences and Mathematics - Skopje

Institute of Chemistry

Vllaznim Mula

ASSESSMENT AND CHARACTERIZATION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN INDOOR AND OUTDOOR AIR THROUGH PASSIVE SAMPLING AND ADVANCED ANALYTICAL TECHNIQUES

Doctoral thesis

Skopje, 2026

Докторанд:

М-р Влазним Мула

Тема:

ПРОЦЕНКА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НА ИСПАРЛИВИ ОРГАНСКИ СОЕДИНЕНИЈА ВО ВОЗДУХ ВО ЗАТВОРЕН ПРОСТОР И НА ОТВОРЕНО СО ПАСИВНО ЗЕМАЊЕ ПРИМЕРОЦИ И НАПРЕДНИ АНАЛИТИЧКИ ТЕХНИКИ

Ментор:

Проф. д-р Зоран Здравковски,
Редовен професор на ПМФ – Скопје (во пензија)
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје

Членови на комисија:

Проф. д-р Јане Богданов
Редовен професор на ПМФ – Скопје
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје

Проф. д-р Јасмина Петреска Станоева
Редовен професор на ПМФ – Скопје
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје

Проф. д-р Марина Стефова
Редовен професор на ПМФ– Скопје
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје

Проф. д-р Дејан Мираковски
Редовен професор на Факултет за природни и технички науки,
Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип

Проф. д-р Зоран Здравковски
Редовен професор на ПМФ – Скопје (во пензија)
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје

Научна област: Хемија

Датум на одбрана:

Doctoral student: M.Sc. Vllaznim Mula

Topic:
ASSESSMENT AND CHARACTERIZATION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN INDOOR AND OUTDOOR AIR THROUGH PASSIVE SAMPLING AND ADVANCED ANALYTICAL TECHNIQUES

Mentor:

Prof. Dr. Zoran Zdravkovski
Full Professor at the Faculty of Natural Sciences and Mathematics – Skopje
Ss. Cyril and Methodius University in Skopje (retired)

Defense Panel:

Prof. Dr. Jane Bogdanov
Full Professor at the Faculty of Natural Sciences and Mathematics – Skopje
Ss. Cyril and Methodius University in Skopje

Prof. Dr. Jasmina Petreska Stanoeva
Full Professor at the Faculty of Natural Sciences and Mathematics – Skopje
Ss. Cyril and Methodius University in Skopje

Prof. Dr. Marina Stefova
Full Professor at the Faculty of Natural Sciences and Mathematics – Skopje
Ss. Cyril and Methodius University in Skopje

Prof. Dr. Dejan Mirakovski
Full Professor at the Faculty of Natural and Technical Sciences
University "Goce Delcev" – Stip

Prof. Dr. Zoran Zdravkovski
Full Professor at the Faculty of Natural Sciences and Mathematics – Skopje
Ss. Cyril and Methodius University in Skopje (retired)

Scientific area: Chemistry

Date of defense:

"Nothing in life is to be feared, it is only to be understood.
Now is the time to understand more,
so that we may fear less."

—Marie Skłodowska-Curie,
Nobel Laureate in Physics and Chemistry

ИЗЈАВА ЗА ОРИГИНАЛНОСТ НА АВТОРСТВОТО

Со ова ја изјавувам дека оваа докторска дисертација е мое сопствено оригинално дело. Правилно ги цитирав сите извори и референци користени во дисертацијата, и ова дело не е поднесено ниту користено за стекнување било каква титула или квалификација на било кој друг универзитет.

Дополнително изјавувам дека електронската верзија на оваа докторска дисертација е идентична со печатената верзија.

За време на подготовката на оваа дисертација, ја користев алатката за вештачка интелигенција ChatGPT за подобрување на читливоста и јазикот на текстот. По користењето на оваа алатка, темелно ја прегледав и уредив содржината за да обезбедам точност и јасност, и ја преземам целосната одговорност за конечната содржина.

Датум: _____ Потпис на авторот: _____

БЛАГОДАРНОСТИ

Истражувањето претставено во оваа докторска дисертација е спроведено во две реномирани институции: Институтот за хемија, Природно-математички факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј" во Скопје, Република Северна Македонија и Катедрата за науки за животната средина и политики, Универзитет во Милано, Италија. Овој истражувачки пат, кој траеше повеќе од пет години, не беше без посветената поддршка на бројни извонредни личности кои ме охрабруваа и ме водеа на секој чекор од процесот.

Длабоко сум благодарен на мојот ментор, проф. д-р Зоран Здравковски, и на мојот ко-ментор, проф. д-р Јане Богданов, за нивната непоколеблива посветеност, длабокото водство и континуираното охрабрување. Нивното менторство беше клучно не само за мојот научен развој, туку и за обликување на мојот пристап кон истражувањето и критичкото размислување. За време на предизвикувачкиот период на пандемијата со COVID-19, кога физичките средби беа ограничени, нивната посветеност кон мојот напредок никогаш не ослабна. Преку редовни виртуелни состаноци, тие ми обезбедија темелна теоретска обука во хроматографијата и масената спектрометрија, мотивирајќи ме да останам фокусиран и истраен. Нивната доверба ми овозможи да ги совладам сложените експериментални техники веднаш штом беше можен пристапот до лабораторија. Без нивната континуирана поддршка и доверба, ова докторско истражување немаше да биде можно. Се чувствувам навистина среќен што бев нивен студент и што имав можност да ме водат и да ми бидат ментори. На ова место би сакал исто така да ја нагласам големата помош и безрезервна поддршка од проф. д-р Јасмина Петреска Станоева во текот на работата и на средувањето на резултатите.

Искрено сум благодарен за топлиот прием и професионалната поддршка што ми ја пружија проф. д-р Џанѓакомо Берета и д-р Фабрицио Целмини за време на мојот престој на Катедрата за науки за животната средина и политики при Универзитетот во Милано, Италија. Нивното вредно водство во користењето на инструментите и аналитичките техники беше клучно за унапредување на моите експериментални вештини и продлабочување на разбирањето на методологиите применети во оваа докторска студија. Овој двомесечен престој (јуни–јули, 2024) беше овозможен преку проектот NanoKos, насловен „Наночестички во животната средина и медицинските истражувања", финансиран од Европската комисија под референца EUROPEAID/173691/DD/ACT/XK (NanoKos – 438247).

Исто така, голема благодарност изразувам за можноста и финансиската поддршка за петдневната мобилна обука (9–13 јуни, 2025) на Одделот за бионаука, агрохрана и еколошка технологија при Универзитетот во Терамо, Италија. Под стручната обука на доцент д-р Федерико Фанти и неговата истражувачка група, имав чест да го проширам своето знаење во областа на хроматографијата и да стекнам вредно практично искуство во техниките на масена спектрометрија. Оваа можност беше финансирана преку програмата COMMO VII – Erasmus+ KA171, проект бр. 2022-1-IT02-KA171-HED-000077240.

Посебни благодарности им упатувам на членовите на рецензентската комисија за евалуација и одбрана на оваа докторска дисертација: проф. д-р Марина Стефова, проф. д-р Јане Богданов, проф. д-р Јасмина Петреска Станоева и проф. д-р Дејан Мираковски. Длабоко сум благодарен за нивните вредни сугестии, кои значително придонесоа за унапредување на квалитетот на ова дело.

Посебна благодарност упатувам до проф. д-р Лулзим Зенели од Универзитетот „Фехми Агани" во Ѓаково, Косово, за неговата континуирана поддршка и вредни совети низ целиот овој пат. Исто така, изразувам длабока благодарност до проф. д-р Авни Бериша од Универзитетот во Приштина „Хасан Приштина", Косово, за неговото водство и охрабрување низ целата моја академска кариера - од додипломските и магистерските студии до ова докторско истражување. Неговата поддршка беше од клучно значење за да можам да ги продолжам моите докторски студии на овој институт.

На крај, ја изразувам својата најдлабока и најискрена благодарност до целото мое семејство, особено до моите родители, на кои ја посветувам оваа дисертација. Нивната непоколеблива вера, безусловна љубов и континуирана морална поддршка беа темел на мојата сила низ целиот овој пат. Нивната постојана доверба во мене и охрабрување да се развивам лично и професионално ми овозможија да се соочам со секој предизвик и да го постигнам овој важен животен успех.

Скопје, јануари 2026

Влазним Мула

Влазним Мула

ПРОЦЕНКА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НА ИСПАРЛИВИ ОРГАНСКИ СОЕДИНЕНИЈА ВО ВОЗДУХ ВО ЗАТВОРЕН ПРОСТОР И НА ОТВОРЕНО СО ПАСИВНО ЗЕМАЊЕ ПРИМЕРОЦИ И НАПРЕДНИ АНАЛИТИЧКИ ТЕХНИКИ

РЕЗИМЕ

Во оваа докторска дисертација е извршена проценка, хемиска карактеризација, релативна просторна распределба и извори на емисии на лесно испарливи органски соединенија (VOCs) во надворешниот и внатрешниот воздух на избрани локации во Југоисточна Европа и Северна Италија, со цел да се надмине недостатокот на податоци во овие региони и да се проценат доминантните извори на емисии преку пасивно примеркување и анализа со GC–MS.

Мониторингот на амбиенталниот воздух беше спроведен помеѓу април и декември 2022 г. на девет урбани и делумно урбани локации во пограничните региони на Северна Македонија и Косово. Исто така, од март до декември 2023 г. беше извршен мониторинг на внатрешниот воздух во седумнаесет простории во Северна Македонија и Косово, вклучувајќи образовни, индустриски, комерцијални и станбени објекти. Покрај тоа, следењето на внатрешен и надворешен воздух беше спроведено и во Милано, Италија, во текот на летото 2024 г. (јуни – јули) на четири станбени локации и една истражувачка лабораторија.

Сите примероци од воздухот беа собрани со користење на Radiello® пасивни дифузни примеркувачи кои потоа беа анализирани со гасна хроматографија–масена спектрометрија (GC–MS). Во оваа докторска студија, идентификуваните VOCs беа категоризирани и споредувани како посебни хемиски групи: алифатични јаглеводороди, ароматични јаглеводороди, терпени, органосилоксани, алкохоли и етери, алдехиди и кетони, естери и халогенирани соединенија.

Дополнително, мониторингот на надворешниот воздух во пограничните региони на Северна Македонија и Косово беше надополнет со паралелна анализа на VOCs од различни комерцијално достапни бензински и дизел горива земени во истите градови. Оваа анализа беше спроведена со помош на статичка анализа на пареите над течната фаза (headspace) со гасна хроматографија–масена спектрометрија (SHS–GC–MS), со цел да се добијат хемиски профили и да се овозможи проценка и карактеризација на компоненти од горивото присутни во амбиенталниот воздух.

Резултатите покажуваат дека повеќето VOCs од надворешниот воздух потекнуваат од фосилни горива (извори од мотори со внатрешно согорување, како автомобили, автобуси и камиони), додека помал дел, <10%, се припишува на биогени емисии, главно монотерпени. Исклучок беше забележан во планинскиот град Драгаш, каде што биогените VOCs надминаа 10% за време на летните месеци.

Во Милано, полуквантитативната просечна концентрација на вкупните лесно испариливи органски соединенија (TVOC) во внатрешниот воздух беше малку повисока од онаа во надворешниот воздух, што резултираше со релативен однос внатрешен/надворешен воздух од 1,10. Кај профилите на VOCs во надворешниот воздух доминираа алифатични јаглеводороди и ароматични јаглеводороди. Во внатрешниот воздух, исто така преовладуваа алифатичните јаглеводороди проследени од терпени. Останатите групи на VOCs учествуваа со помали удели во двете средини. Профилите на емисии од средства за чистење и производи за лична нега беа полуквантитативно определени со цел да се утврди нивниот релативен удел кон вкупното внатрешно оптоварување со VOCs.

Припишувањето на изворот за надворешниот воздух и фотохемиското стареење беше дополнително поткрепено со дијагностичките сооднос на бензен, толуен, етилбензен и ксилени (BTEX) кои овозможија увид во доминантните извори на емисии и степенот на фотохемиско стареење.

Ова истражување обезбедува основни референтни податоци и сеопфатна хемиска карактеризација на VOCs во недоволно истражени региони, со што значајно придонесува за подобро разбирање на квалитетот на урбаниот воздух и изложеноста во внатрешни простори. Со оглед на ограниченият просторен и временски опфат на постојниот мониторинг на VOCs, идните истражувања би требало да се прошират со зголемување на бројот на локации за примеркување во секој град и обезбедување поширока застапеност на различни категории на внатрешни средини. Дополнително, долгорочно и повеќесезонско следење е од клучно значење за да се регистрира променливоста со текот на времето, да се идентификуваат нови трендови со цел да се планира развојот на ефективни регулаторни и здравствени стратегии.

Клучни зборови: лесно испарливи органски соединенија; внатрешен воздух; надворешен воздух; фосилни горива; GC–MS; пасивно примеркување; Radiello®; извори на емисии; Западен Балкан; Милано

Vllaznim Mula

ASSESSMENT AND CHARACTERIZATION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN INDOOR AND OUTDOOR AIR THROUGH PASSIVE SAMPLING AND ADVANCED ANALYTICAL TECHNIQUES

ABSTRACT

This doctoral dissertation presents the assessment, chemical characterization, relative spatial distribution, and emission sources of Volatile Organic Compounds (VOCs) in both outdoor and indoor air across selected sites in Southeast Europe and Northern Italy, aiming to bridge critical regional data gaps and assess dominant emission sources through passive sampling and GC–MS analysis.

Ambient air monitoring was conducted between April and December 2022 in nine urban and suburban locations across the border regions of North Macedonia and Kosovo. Subsequently, from March to December 2023, indoor air monitoring was carried out in seventeen selected environments in North Macedonia and Kosovo, including educational, industrial, commercial, and residential settings. Furthermore, both indoor and outdoor monitoring were conducted in Milan, Italy, during the summer of 2024 (June – July) at four residential locations and one research laboratory.

All air samples were collected using Radiello® passive diffusive samplers and subsequently analyzed by gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS). In this doctoral study, the identified VOCs were categorized into specific chemical groups, including hydrocarbons, aromatic hydrocarbons, terpenes, organosiloxanes, alcohols and ethers, aldehydes and ketones, esters, and halogenated compounds.

In addition, outdoor air monitoring in the border regions of North Macedonia and Kosovo was complemented by a parallel analysis of VOCs from various commercially available gasoline and diesel fuels collected in the same cities. This analysis was conducted using static headspace gas chromatography-mass spectrometry (SHS–GC–MS), with the aim of obtaining chemical profiles and facilitating the assessment and characterization of fuel-related components present in ambient air. The results indicate that the majority of outdoor VOCs originate from fossil fuels (sources with internal combustion engines, such as cars, buses and trucks), while a smaller fraction, less than 10%, is attributed to biogenic emissions, primarily monoterpenes. An exception was observed in the mountainous town of Dragash, where biogenic VOCs exceeded 10% during the summer months.

Indoor air analysis in North Macedonia and Kosovo revealed that the dominant VOC groups varied by site type. Aromatic hydrocarbons were the most abundant in the chemical stockroom, contributing up to 79.04% of the total VOC relative abundance. The alcohols and ethers group was most prevalent in the coffee shop, while organosiloxanes dominated in the women-only hair salon, accounting for 33.87% and 54.46% of total VOCs, respectively. Terpenes were a significant component in the meat factory, representing 65.78% of the total VOC relative abundance, whereas hydrocarbons were most prominent in the oil and lubricants store, contributing 58.23%. Halogenated compounds were primarily detected in the superstore, constituting 20.42% of total VOCs.

In Milan, the semi-quantitative mean indoor total VOC (TVOC) concentration was slightly higher than the outdoor concentration, resulting in an indoor-to-outdoor relative ratio of 1.10. Outdoor VOC profiles were dominated by hydrocarbons and aromatic hydrocarbons. Indoors, hydrocarbons also prevailed, followed by terpenes. Other VOC groups contributed smaller fractions in both environments. Emission profiles from cleaning and personal care products were semi-quantitatively assessed to determine their relative percentage contributions to indoor VOC loads.

Source attribution for outdoor air and photochemical aging was further supported by diagnostic ratios of BTEX compounds (benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes), which provided insight into dominant emission sources and the extent of photochemical aging.

This research provides essential baseline data and a comprehensive chemical characterization of VOCs in underrepresented regions, contributing significantly to the understanding of urban air quality and indoor exposure. Given the limited spatial and temporal scope of current VOC monitoring, future research should expand efforts by increasing the number of sampling sites within each city and ensuring broader representation across indoor environment categories. Moreover, long-term, multi-seasonal monitoring is crucial to capture temporal variability, identify emerging trends, and support the development of effective regulatory and public health strategies.

Keywords: volatile organic compounds; indoor air; outdoor air; fossil fuels; GC–MS; passive sampling; Radiello®; emission sources; Western Balkans; Milan

СПИСОК НА АКРОНИМИ И КРАТЕНКИ

Акроним/Скратеница	Целосен поим
$^{\bullet}OH$	Hydroxyl radical Хидроксил радикал
AAS	Active air sampling Активно примеркување на воздух
AHs	Aromatic hydrocarbons Ароматични јаглеводороди
BAT	Best available techniques Најдобри достапни техники
BTEX	Benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes Бензен, толуен, етилбензен, ксилени
BVOCs	Biogenic volatile organic compounds Биогени испарливи органски соединенија
CAA	Clean air act Закон за чист воздух
CFCs	Chlorofluorocarbons Хлорофлуоројаглероди
CO	Carbon monoxide Јаглерод моноксид
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease Хронична опструктивна белодробна болест
CS_2	Carbon disulfide Јаглерод дисулфид
D4	Octamethylcyclotetrasiloxane Октаметилциклотетрасилоксан
D5	Decamethylcyclopentasiloxane Декаметилциклопентасилоксан
DCM	Dichloromethane Дихлорометан
ECD	Electron capture detector Детектор со електронски зафат
EEA	European environment agency Европска агенција за животна средина
EI	Electron ionization Електронска јонизација
EU	European union Европска унија
FID	Flame ionization detector Пламен-јонизациски детектор
GC	Gas chromatography Гасна хроматографија
GCB	Graphitized carbon black Графитизиран црн јаглен
GC–MS	Gas chromatography – mass spectrometry Гасна хроматографија – масена спектрометрија
HAPs	Hazardous air pollutants Штетни загадувачи на воздухот
HCs	Hydrocarbons Јаглеводороди
$HO_2^{\bullet}$	Hydroperoxyl radical Хидропероксилен радикал
IARC	International agency for research on cancer Меѓународна агенција за истражување на рак
MCps	Mega counts per second Мега одбројувања во секунда
MS	Mass spectrometry Масена спектрометрија

MS/MS	Tandem mass spectrometry Тандем масена спектрометрија
MSD	Mass selective detector Селективен детектор за маса
NAAQs	National ambient air quality standards Национални стандарди за квалитет на амбиенталниот воздух
NMVOC	Non-methane volatile organic compounds Испарливи органски соединенија освен метан
NO	Nitric oxide Азот моноксид
NO_2	Nitrogen dioxide Азот диоксид
$NO_3^{\bullet}$	Nitrate radical Нитратен радикал
NO_x	Nitrogen oxides Оксиди на азот
O_3	Ozone Озон
OCs	Organochlorines Органохлорни соединенија
OVOCs	Oxygenated volatile organic compounds Оксигенирани испарливи органски соединенија
PAHs	Polycyclic aromatic hydrocarbons Полициклични ароматични јаглеводороди
PAS	Passive air sampling Пасивно примеркување на воздух
PBBs	Polybrominated biphenyls Полибромирани бифенили
PBT	Persistence, bio-accumulation, and toxicity Постојаност, биоакумулација и токсичност
PCBs	Polychlorinated biphenyls Полихлорирани бифенили
PCDDs	Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins Полихлорирани дибензо-*p*-диоксини
PCDF	Polychlorinated dibenzofurans Полихлорирани дибензофурани
PFCs	Perfluorinated compounds Перфлуорирани соединенија
PM_{10}	Particulate matter ≤ 10 μm Честички материја со дијаметар ≤ 10 μm
$PM_{2,5}$	Particulate matter ≤ 2.5 μm Честички материја со дијаметар ≤ 2,5 μm
POPs	Persistent organic pollutants Тешко разградливи органски загадувачи
PVC	Polyvinyl Chloride Поливинил хлорид
$RO_2^{\bullet}$	Peroxy radical Пероксил радикал
SHS–GC–MS	Static headspace gas chromatography – mass spectrometry Статичка хедспејс гасна хроматографија – масена спектрометрија
SIM	Selected ion monitoring Следење на избрани јони
SIPs	State implementation plans Државни планови за спроведување
SO_2	Sulfur dioxide Сулфур диоксид
SOA	Secondary organic aerosols Секундарни органски аеросоли

SVOC	Semi-volatile organic compounds Полу-испарливи органски соединенија
TCD	Thermal conductivity detector Детектор за термичка спроводливост
TD–GC–FID	Thermal desorption–gas chromatography–flame ionization detection Термичка десорпција–гасна хроматографија–детекција со пламена јонизација
TD–GC–MS	Thermal desorption–gas chromatography–mass spectrometry Термичка десорпција–гасна хроматографија–масена спектрометрија
TVOCs	Total volatile organic compounds Вкупни лесно испарливи органски соединенија
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency Агенција за заштита на животната средина на САД
VCPs	Volatile chemical products Лесно испарливи хемиски производи
VOCs	Volatile organic compounds Лесно испариливи органски соединенија
VVOCs	Very volatile organic compounds Многу лесно испарливи органски соединенија
WHO	World Health Organization Светска здравствена организација

СОДРЖИНА

1. ВОВЕД 2
2. ТЕОРЕТСКИ ДЕЛ 8
2. 1. Органски загадувачи 8
2. 2. Дефиниција и класификација на VOCs 10
2. 3. Извори и емисии на VOCs 13
2. 4. VOCs во атмосферската хемија 14
2. 5. VOCs во внатрешна средина 15
2. 6. Ефекти на VOCs врз човечкото здравје 16
2. 7. Регулативи за емисии на VOCs 17
2.7.1. Регулативи на Европската Унија за VOCs 18
2.7.2. Регулативи на VOCs од страна на U.S. EPA 19
2. 8. Методи за земање примероци на воздух 20
2.8.1. Активно земање примероци на воздух 21
2.8.2. Пасивно собирање на воздух 22
2.8.3. Radiello® пасивен/дифузен земач на примероци 24
2. 9. Аналитичка инструментација за анализа на VOCs 27
2.9.1. Гасна хроматографија: Принципи и компоненти 28
2.9.2. Гасна хроматографија со масена спектрометрија 30
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН ДЕЛ 34
3.1. Материјали и методи 34
3.1.1. Локации за земање примероци 34
3.1.2. Методи за земање примероци и подготовка на примероци 40
3.1.3. GC–MS анализа 44
4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА 49
4.1. Надворешен воздух во прекуграничниот регион меѓу Северна Македонија и Косово 49
4. 2. Воздух во затворен простор во прекуграничниот регион помеѓу Северна Македонија и Косово 64
4. 3. Внатрешен и надворешен воздух во Милано, Италија 85
4.3.1. Полуквантитативна анализа на VOCs во надворешен и внатрешен воздух со користење пасивно земање примероци 89
4.3.2. Односот на VOCs во внатрешниот и надворешниот воздух како показател за определување на изворите 93
4.3.3. Дијагностички односи на VOCs во надворешен воздух: B/T, T/B и X/E 94
4.3.4. Полу-квантитативно споредување помеѓу емисиите на VOCs од потрошувачки производи и VOCs откриени во внатрешен и надворешен воздух 96
4.3.5. Концентрации на TVOCs во Милано и споредба со други градови 96
5. ЗАКЛУЧОК 102
6. ЛИТЕРАТУРА 106
7. ДОДАТОК 120
7. 1. Научни публикации произлезени од ова докторско истражување 120
7. 2. Научни конференциски презентации произлезени од оваа докторска работа 121
БИОГРАФИЈА 124
ДОДАТОК 1 126
ДОДАТОК 2 155
ДОДАТОК 3 199
ДОДАТОК 4 205

ГЛАВА 1

1. ВОВЕД

Лесно испарливите органски соединенија (VOC) имаат главен придонес кон загадувањето на воздухот и се еден од главните фактори што ја определуваат неговата состојба, со длабоко влијание врз јавното здравје, животната средина, екосистемите и глобалната клима. Според Светската здравствена организација (WHO), загадувањето на воздухот е одговорно за приближно седум милиони предвремени смртни случаи годишно, што претставува речиси една четвртина од сите смртни случаи на глобално ниво. Загрижувачки е што повеќе од 90% од светската популација живее во области каде што квалитетот на воздухот не ги исполнува минималните стандарди на WHO, што ја нагласува потребата од сеопфатни политички интервенции и одржливи решенија за справување со овој критичен проблем.[1,2]

VOCs претставуваат разновидна група на органски супстанци кои испаруваат при амбиентални температури. Откако ќе се ослободат во атмосферата, тие учествуваат во фотохемиски реакции што доведуваат до влошување на квалитетот на воздухот. Конкретно, VOCs се прекурсори во формирањето на секундарни органски аеросоли (SOA), озон на приземно ниво (O_3) и фотохемиски смог. Овие производи придонесуваат за создавање на фини честички ($PM_{2,5}$ и PM_{10}, со соодветни аеродинамички дијаметри ≤ 2,5 μm и ≤ 10 μm), кои значително го нарушуваат квалитетот на воздухот и негативно влијаат врз човечкото здравје и климата.[3–7]

Поради нивното значително влијание врз јавното здравје и животната средина, VOCs се класифицирани како опасни загадувачи на воздухот (HAPs) од страна на Агенцијата за заштита на животната средина на САД (U.S. EPA) и други регулаторни органи. VOCs сочинуваат значителен дел од 97 од вкупно 189 опасни загадувачи на воздухот идентификувани со Законот за чист воздух на САД (1990), што ја истакнува клучната потреба за нивно постојано следење и регулирање.[8]

Краткотрајното изложување на високи концентрации на VOCs може да предизвика респираторни проблеми, главоболки и вртоглавица, додека долготрајното изложување е поврзано со хронични состојби како што се астма, кардиоваскуларни заболувања, рак и нарушувања на имунолошкиот, ендокриниот и репродуктивниот систем.[9–11]

VOCs произлегуваат од различни антропогени и природни извори. Главните антропогени извори вклучуваат индустриски емисии, употреба на растворувачи, издувни гасови од возила, согорување на биомаса и производи за домаќинство, како што се средства за чистење, производи за лична нега и бои. Од друга страна, природните извори

на VOCs вклучуваат вегетација, шумски пожари, вулканска активност и морски процеси.[9,12–14]

Загадувањето на внатрешниот воздух е сè повеќе загрижувачко поради повисоките концентрации на VOCs што обично се присутни во внатрешни простории во споредба со надворешниот воздух. Употребата на производи за домаќинство, во комбинација со фактори како што е недоволната вентилација, го влошува загадувањето на внатрешниот воздух, што е особено загрижувачки со оглед на тоа што луѓето поминуваат приближно 90% од своето време внатре.[11,15,16]

Градските центри претставуваат сложени предизвици при управувањето со квалитетот на воздухот во густо населените и индустријализираните области. И покрај значителните напори за подобрување на квалитетот на воздухот во Европа, Милано продолжува да се соочува со упорно загадување поради комбинација на неповолни метеоролошки услови, висока густина на сообраќај и индустриски емисии. Дополнително, квалитетот на внатрешниот воздух во Милано, кој е под влијание на активности во домаќинствата и употреба на производи, значително придонесува за вкупното ниво на загадување. Иако Европската директива 2008/50/ЕС за квалитетот на амбиентниот воздух поставува строги ограничувања за концентрациите на PM, Милано често ги надминува овие прагови, при што нивото на PM_{10} надминува 100 $\mu g/m^3$ за време на сериозни епизоди на загадување, а концентрациите на $PM_{2,5}$ ги надминуваат регулаторните лимити и до три до четири пати.[17–19]

Иако PM честичките се почесто мониторирани, систематските истражувања кои се фокусираат на хемиската карактеризација и идентификацијата на изворите на VOCs во внатрешни и надворешни средини во Милано остануваат ограничени. Овој јаз ја истакнува потребата за насочени истражувања за подобро разбирање на придонесот на VOCs кон загадувањето на воздухот во овој урбан контекст.

Регионите како што се Западниот Балкан, вклучувајќи ја Северна Македонија и Косово, се соочуваат со значајни предизвици во управувањето со загадувањето на воздухот. Високите нивоа на загадување произлегуваат од застарена индустриска инфраструктура, термоелектрани на јаглен и неефикасно греење во домовите. Честата употреба на јаглен, дрво и пелети за греење, често во слабо вентилирани простории, ја интензивира загаденоста на внатрешниот воздух. Овие услови, дополнети со ограничена регулаторна контрола и слаба вентилација на објектите, резултираат со зголемени концентрации на загадувачи не само надвор, туку и во внатрешните простории. Според Европската агенција за животна средина (EEA), лошиот квалитет на воздухот на

Западниот Балкан доведе до повеќе од 30.000 предвремени смртни случаи во 2019 година и ја намали просечната очекувана животна доба за до 1,3 години.[20–22]

Иако мониторингот во овие земји главно се фокусирал на големите гасовити загадувачи, вклучувајќи PM, азот диоксид (NO_2), сулфур диоксид (SO_2), јаглерод моноксид (CO) и тропосферски озон (O_3), постои критичен недостаток на систематски податоци за присуството и изворите на VOCs во внатрешни и надворешни средини.

Иако VOCs добиваат сè поголемо внимание поради нивната значајна улога во загадувањето на воздухот, постојат значајни истражувачки празнини, особено во региони што доживуваат брза урбанизација, како делови од Балканот, Јужна Европа, Азија и Африка.[23]

Географскиот опсег на оваа докторска студија е уникатен, опфаќајќи три региони, секој со посебни предизвици во квалитетот на воздухот. Истражувањето беше спроведено во повеќе фази, почнувајќи со мерење на VOCs во надворешниот воздух во девет градови во граничните региони на Северна Македонија и Косово, од април до декември 2022 година. Мерењето на VOCs во внатрешниот воздух беше спроведено во седумнаесет избрани простории во образовни, резиденцијални, комерцијални и индустриски објекти низ овие региони, помеѓу март и декември 2023 година. Дополнително, мониторинг на VOCs во внатрешниот и надворешниот воздух во Милано, Италија, беше извршен за време на летните месеци 2024 година (јуни и јули) на четири резиденцијални локации и една истражувачка лабораторија.

Целта на оваа докторска студија е да обезбеди суштински податоци за евалуација и хемиска карактеризација на VOCs во внатрешни и надворешни средини, особено во региони со ограничен мониторинг на VOCs. Истата користи пасивно земање примероци проследено од анализа со гасна хроматографија–масена спектрометрија (GC–MS).

Овие првични наоди имаат за цел да ги пополнат постојните празнини во податоците и да ја поддржат идната еколошка политика, особено на Западниот Балкан, каде што систематскиот мониторинг на VOCs сè уште е во почетна фаза, и во Милано, Италија, каде што таквите податоци се уште ретки. Дополнително, резултатите можат да послужат како научна основа за проширување на програмите за мониторинг на VOCs не само низ Балканот, туку и во други урбани области во Европа, со што се придонесува за развој на поусогласени и хармонизирани стратегии за евалуација на квалитетот на воздухот на континентално ниво.

Главната цел на оваа докторска студија е да го унапреди научното разбирање за испарливите органски соединенија во внатрешни и надворешни средини.

Истражувањето се фокусира на три клучни аспекти: идентификација на извори, просторна варијабилност и регионални до глобални трендови. Дополнително, студијата има за цел да го адресира критичното отсуство во знаењето за изложеноста на VOCs, особено во региони каде што систематскиот мониторинг сè уште е ограничен.

Специфичните цели на ова истражување се:

- Да се карактеризира хемискиот состав и распределбата на VOCs во внатрешниот и надворешниот воздух, со идентификација на примероци на изложеност низ различни урбани и приградски локации во Северна Македонија, Косово и Милано, Италија.
- Да се проценат релативните придонеси на VOCs од бензин и дизел горива преку споредба со измерените профили на VOCs во надворешниот воздух.
- Да се проценат релативните придонеси на производите за домаќинство и за лична нега како извори на VOCs во внатрешниот воздух, кои често се занемаруваат, но се директно релевантни за изложеноста на луѓето.
- Да се примени пасивно земање примероци во комбинација со анализа GC–MS за добивање на полуквантитативни податоци за VOCs, обезбедувајќи сигурни и конзистентни резултати низ различни средини.
- Да се споредат собраните податоци за VOCs со меѓународни бази на податоци за да се идентификуваат сличности и разлики во регионалните и глобалните трендови на загадување.

Со постигнување на овие цели, истражувањето ќе обезбеди сеопфатен преглед на динамиката на VOCs и главните извори на емисии. Резултатите ќе придонесат за надминување на важни недостатоци во знаењето и за унапредување на научното разбирање на однесувањето на VOCs во испитаните средини.

ТЕОРЕТСКИ ДЕЛ

ГЛАВА 2

2. ТЕОРЕТСКИ ДЕЛ

2. 1. Органски загадувачи

Загадувањето претставува еден од најкритичните еколошки предизвици, кој значително влијае и врз човечкото здравје и врз животната средина. Тоа е главен фактор што придонесува за глобалното затоплување, климатските промени и загубата на биодиверзитетот, предизвикувајќи истребување на видови и деградација на екосистемите. Под загадување се подразбира внесување на штетни супстанции во животната средина – без разлика дали тие се во цврста, течна или гасовита состојба, или претставуваат енергија во форма на топлина, светлина или зрачење. Овој процес доведува до влошување на природните медиуми, вклучувајќи ја атмосферата, хидросферата, литосферата и биосферата, и предизвикува негативни последици врз живите организми, екосистемите и човечкото здравје. Загадувачите се класифицираат во две категории: примарни загадувачи, кои се штетни во нивната првична форма, и секундарни загадувачи, кои се создаваат преку хемиски реакции помеѓу примарните загадувачи и другите компоненти на животната средина.[24,25]

Органските загадувачи претставуваат разновидна група на хемиски супстанци кои се карактеризираат со присуство на јаглеродни атоми во нивната молекулска структура, со или без придружни функционални групи. Оваа група ги опфаќа алифатичните јаглеводороди (HCs), ароматичните јаглеводороди (AHs), испарливите органски соединенија (VOCs), полуиспарливите органски соединенија (SVOCs), пестицидите, полицикличните ароматични јаглеводороди (PAHs), полихлорираните бифенили (PCBs), полихлорираните дибензо-*p*-диоксини (PCDDs), органохлорните соединенија (OCs), полихлорираните дибензофурани (PCDFs), перзистентните органски загадувачи (POPs), полибромираните бифенили (PBBs), диоксините, фураните и перфлуорираните соединенија (PFCs). Важно е да се напомене дека иако јаглеродните оксиди содржат јаглерод, тие се класифицираат како неоргански соединенија и затоа се исклучени од оваа категорија. Меѓу овие супстанци, VOCs имаат особено значење поради нивната висока испарливост, широка распространетост и значително влијание врз квалитетот на надворешниот и внатрешниот воздух.[25,26]

Препознавањето на органските загадувачи, особено во атмосферските средини, значително се развило паралелно со индустрискиот напредок. Историјата на органското загадување датира од периодот на забрзаната индустријализација во 19 век, кога зголемената употреба на фосилни горива драматично го зголеми испуштањето на органски

супстанци, вклучувајќи ги и VOCs, во атмосферата. Индустриските активности, согорувањето на горива и масовната употреба на синтетички хемикалии и бои значително придонеле за зголемувањето на нивото на органски загадувачи, при што во тој период постоело минимално знаење за нивното влијание врз квалитетот на воздухот и човечкото здравје.[27,28]

Во 1940-тите и 1950-тите години, научните истражувања почнаа да ја откриваат улогата на VOCs во деградацијата на квалитетот на воздухот, формирањето на смог и нивните штетни ефекти врз човечкото здравје. Ова претставуваше пресуден момент во признавањето на VOCs како критични еколошки и здравствени ризици. Во следните децении, особено во 1970-тите и 1980-тите, значајните напредоци во аналитичките техники, комбинирани со зголемената свест за влијанието на загадувањето на воздухот врз респираторното и кардиоваскуларното здравје, доведоа до широко признание на VOCs како значаен глобален еколошки проблем.[27,29,30]

До 1990-тите и 2000-тите години, разбирањето за штетните ефекти на VOCs врз квалитетот на воздухот и јавното здравје достигна ниво на итност, што доведе до воведување на построги регулаторни мерки. Агенции како што се U.S. EPA и Европската Унија (EU) воспоставија сеопфатни политики и стандарди со цел да се намалат емисиите на VOCs од индустријата, транспортот и потрошувачките производи. Овие регулаторни рамки имаа за цел да го подобрат квалитетот на воздухот, да ги намалат здравствените ризици и да ја заштитат животната средина, надградувајќи ги претходните истражувања и растечките загрижености за јавното здравје.[31–35]

Последните напредоци во аналитичките технологии го револуционизираа проучувањето на VOCs во внатрешни и надворешни средини. Техниките на пасивно земање примероци, како што се Radiello® примеркувачите, во комбинација со GC–MS, овозможуваат прецизни и детални евалуации на VOCs, вклучувајќи ја нивната карактеризација, просторна распределба и извори. Овие иновации обезбедуваат подлабок увид во динамиката на VOCs во различни средини, од урбан надворешен воздух до внатрешни резиденцијални простории. Преку овозможување на сигурни полуквантитативни анализи, овие методологии станаа неизбежни за развој на ефективни стратегии за контрола на загадувањето на воздухот.[36–40] Со оглед на нивните комплексни извори и значајното влијание, VOCs претставуваат критична подгрупа на органски загадувачи која бара посебно внимание во истражувањата.

2. 2. Дефиниција и класификација на VOCs

VOCs опфаќаат широка и хетерогена класа на хемиски супстанци кои се клучни во еколошката хемија поради нивната реактивност во атмосферата и разновидните физички и хемиски својства. Нивната дефиниција варира помеѓу регулаторните тела и научните организации, што ја одразува разликата во опсегот и фокусот.[41,42]

U.S. EPA ги дефинира VOCs како органски соединенија кои содржат најмалку еден јаглероден атом и можат да учествуваат во фотохемиски реакции под сончева светлина, исклучувајќи соединенија како јаглерод моноксид, јаглерод диоксид, јаглеродна киселина, метални карбиди или карбонати и амониум карбонат. Оваа дефиниција ја истакнува улогата на VOCs во формирањето на озон во приземниот слој и фотохемиски смог.[7,43]

Наспроти тоа, Европската Унија (EU) применува физичко-хемиски пристап, дефинирајќи ги VOCs како органски соединенија со парен притисок поголем од 10 Pa на 25 °C, температура на вриење од 250 °C или пониска (измерена на 101,3 kPa) и со најмногу 15 јаглеродни атоми. Оваа дефиниција ја нагласува потенцијалната испарливост на VOCs, што е критично за разбирање на нивното однесување во животната средина, особено во урбаните средини.[33,44]

WHO обезбедува поширока класификација на VOCs врз основа на нивните точки на вриење (T_b), категоризирајќи ги во три групи: многу испарливи органски соединенија (VVOCs), испарливи органски соединенија (VOCs) и полуиспарливи органски соединенија (SVOCs), како што е прикажано во **Табела 1**.[43]

Табела 1. Класификација на испарливи органски соединенија.[43]

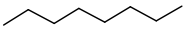
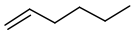
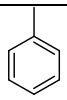
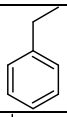
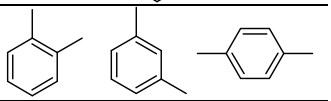
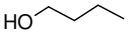
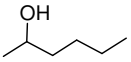
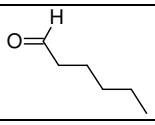
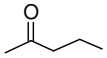
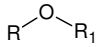
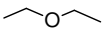
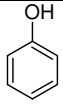
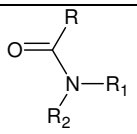
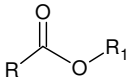
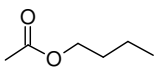
Опис	Кратенка	Опсег на температура на вриење (°C)	Пример соединенија
Многу испарливи органски соединенија	VVOC	< 0 до 50 – 100	Пропан, бутан, метил хлорид
Испарливи органски соединенија	VOC	50 – 100 до 240 – 260	Формалдехид, лимонен, толуен, ацетон, етанол, хексанал
Полуиспарливи органски соединенија	SVOC	240 – 260 до 380 – 400	Пестициди (DDT, хлордан), пластификатори, PCBs

Покрај регулаторните дефиниции, VOCs можат да се класифицираат според нивната молекулска структура или функционални групи, кои ја одразуваат нивната разновидна улога во атмосферската хемија. Структурно, тие вклучуваат соединенија слични на јаглеводороди (C_xH_y), оксигенирани соединенија ($C_xH_yO_z$), азотни соединенија ($C_xH_yNO_z$) и соединенија што содржат сулфур (C_xH_yS). Функционално, VOCs опфаќаат широк спектар на групи, вклучувајќи ароматични јаглеводороди, алкохоли, алдехиди, кетони, етери, феноли, фурани, амиди, амини, естери и халогенирани соединенија, при што секоја група уникатно придонесува во атмосферските реакции и влијанијата врз животната средина.[7,41,45] Главните групи на VOCs, заедно со репрезентативни соединенија и нивните хемиски структури, се сумирани во **Табела 2**.

Метан, природно присутен гас со ефект на стаклена градина, е исклучен од дефиницијата на VOCs поради неговата ниска фотохемиска реактивност во тропосферата. Наспроти тоа од типичните VOCs, метанот не придонесува значително за формирањето на озон во приземниот слој или за создавање на секундарни органски аеросоли. Покрај тоа, атмосферскиот животен век на метанот, кој изнесува приближно 12 години, значително ги надминува реактивноста и брзините на деградација на повеќето VOCs, кои обично се краткотрајни. Оваа разлика доведе до терминологија не-метански испарливи органски соединенија (NMVOCs), која се однесува на подгрупата на VOCs кои активно учествуваат во атмосферската фотохемија.[7,46]

Оваа комплексна класификација и дефиниција на VOCs ја истакнуваат нивната сложеност и ја нагласуваат потребата од прилагодени пристапи за нивното проучување, регулирање и намалување.

Табела 2. Главни групи на VOCs со репрезентативни соединенија и нивни хемиски структури.[7,47,48]

Бр.	Група на VOC	Функционална група Структура	Типично соединение	Структура на соединение
1.	Алифатични јаглеводороди	C–C (единечни), C=C (двојни), C≡C (тројни), C–H	Октан	
			1-Хексен	
			1-Бутин	
2.	Ароматични јаглеводороди	Бензенски прстен	Бензен	
			Толуен	
			Етилбензен	
			o-, m-, p- Ксилени	
3.	Алкохоли	–OH	1-Бутанол	
			2-Хексанол	
4.	Алдехиди		Хексанал	
5.	Кетони		2-Пентанон	
6.	Етери		Етоксиетан	
7.	Феноли	Ar–OH	Фенол	
8.	Амиди		Ацетамид	
9.	Естери		Бутилацетат	
10.	Халокарбони	R–X X = Халоген (F, Cl, Br, I)	Тетрахлорометан	

2. 3. Извори и емисии на VOCs

VOCs потекнуваат од широк спектар на природни и антропогени извори, а нивниот придонес во составот на атмосферата е резултат на комбинација на еколошки, биолошки и антропогени процеси.[7]

Антропогените извори на VOCs се особено изразени во урбаните и индустријализираните региони, каде човечките активности значително го менуваат природниот баланс на емисии. Индустриските процеси значително придонесуваат за емисијата на VOCs. Клучните сектори вклучуваат користење на растворувачи, производство на бои и преработка на нафта. Дополнително, ненамерните ослободувања за време на експлоатација, преработка и транспорт на јаглеводороди ја зголемуваат атмосферската оптовареност. Согорувањето на фосилни горива за производство на енергија, транспорт и домашно греење исто така придонесува за емисија на широк спектар на VOCs, вклучувајќи реактивни алифатични јаглеводороди и ароматични соединенија како бензен, толуен, етилбензен и ксилени (BTEX), кои не само што се задржуваат во атмосферата, туку претставуваат и значителни ризици за здравјето. Региони со највисоки емисии на VOCs поврзани со транспорт на возила вклучуваат САД, Европа, Латинска Америка и Југоисточна Азија, каде густо населените урбани средини и интензивниот сообраќај значително придонесуваат кон вкупното оптоварување. Последните истражувања исто така ја истакнаа улогата на испарливите хемиски производи (VCPs), како производи за лична нега, средства за чистење и лепила, како нови извори на емисии на VOCs во индустријализираните градови, кои во некои случаи се споредливи со традиционалните извори како согорувањето на фосилни горива.[3,7,49–51]

Природните извори, сепак, остануваат доминантни глобални придонесувачи кон емисијата на VOCs, при што биогените испарливи органски соединенија (BVOCs) сочинуваат приближно 90% од вкупните глобални емисии. BVOCs се испуштаат од растенија, микроорганизми во почвата, морски средини, шумски пожари, вулкански ерупции и разградување на органска материја, при што сите овие процеси придонесуваат кон глобалниот буџет на VOCs. Меѓу најзначајните BVOCs се изопрен, монотерпени и секвитерпени, како α-пинен, β-пинен и лимонен, кои се клучни интермедиери во атмосферските хемиски реакции, особено во формирањето на озон и секундарни органски аеросоли. Бруто емисиите на BVOCs се високо варијабилни и зависат од фактори како видови растенија, еколошки услови, температура, сончева радијација и влажност на почвата, што резултира со значителна временска и просторна варијабилност. Емисиите на BVOCs се обично највисоки во пролетните и летните месеци поттикнати од зголемена

температура и сончева светлина, кои стимулираат биолошки процеси во вегетацијата. Иако BVOCs генерално имаат краток животен век во атмосферата, кој се движи од неколку минути до неколку дена во зависност од нивната хемиска реактивност и преовладувачките еколошки услови, нивниот придонес во атмосферските хемиски процеси е значаен. Изопренот, најистражуваниот BVOC, има релативно краток животен век во атмосферата од 1–2 часа, но е главен придонесувач кон формирањето на тропосферски озон. Глобалните емисии на BVOCs се значителни, со проценето ослободување од 1300 TgC/година (тераграми јаглерод годишно), што е приближно десет пати поголемо од антропогените емисии на VOCs.[7,52–55]

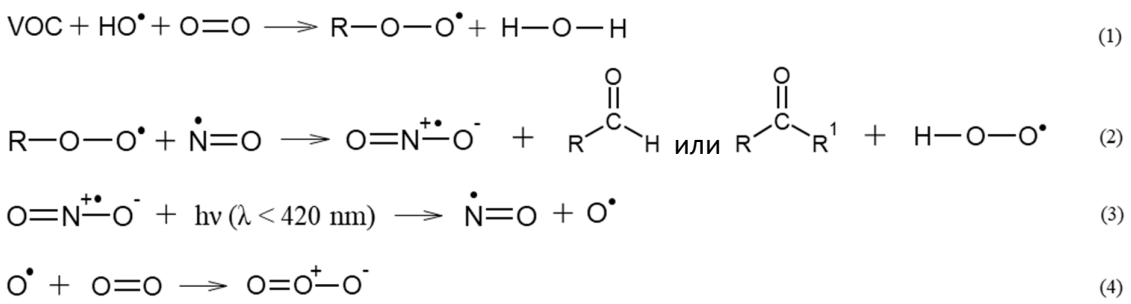
2. 4. VOCs во атмосферската хемија

VOCs претставуваат хемиски реактивна класа на долготрајни атмосферски компоненти кои играат централна улога во тропосферската хемија, влијаејќи како на квалитетот на воздухот, така и на климатските процеси. Нивното влијание се протега далеку надвор од урбаното загадување на воздухот бидејќи директно се поврзани со формирањето на секундарни загадувачи како O_3, SOA и PM. VOCs учествуваат во комплексни атмосферски реакции кои значително ја менуваат оксидативната способност на атмосферата, видливоста, формирањето на облаци и дури глобалните климатски системи. Овие соединенија не само што придонесуваат кон формирањето на смог во урбаните средини, туку имаат и длабоки ефекти врз тропосферската фотохемија, менувајќи го радијационият баланс на Земјата.[7,44,56,57]

Интеракцијата на VOCs со азотните оксиди (NO_x) под дејство на сончевата светлина претставува клучен процес во формирањето на фотохемиски смог — појава која е темелно проучена во метрополитенски подрачја како Лос Анџелес. Овие реакции, кои обично се иницирани од хидроксилни радикали ($^{\bullet}OH$), нитратни радикали ($NO_3^{\bullet}$) и самиот атмосферски озон, водат до создавање на тропосферски озон — силен оксиданс со значителни последици врз здравјето и екосистемите. Механизмот на оксидација на VOCs е исклучително сложен, при што тие подлежат на низа реакции што можат да доведат до формирање на голем број секундарни загадувачи.[7,58,59]

По реакцијата со хидроксилните радикали ($^{\bullet}OH$), VOCs подлежат на оксидација при што се формираат органски пероксилни радикали ($RO_2^{\bullet}$), кои потоа реагираат со азот моноксид (NO) и произведуваат азот диоксид (NO_2), заедно со органски интермедиери како алдехиди (RCHO) и кетони (RC(=O)R'). Дополнително, се создаваат хидропероксилни радикали ($HO_2^{\bullet}$) како реактивни видови што понатаму учествуваат во атмосферските

фотохемиски процеси. Овие интермедиери потоа можат да подлежат на фотолиза, при што се ослободува атомски кислород, кој реагира со молекуларниот кислород и формира тропосферски озон. Овој основен атмосферски механизам е прикажан преку равенките на сукцесивните реакции (1–4) и илустриран на **Слика 1.**[7,42,56,58,60]



Слика 1. Сукцесивни реакции (1–4) вклучени во формирањето на тропосферскиот озон од VOC.[7,58,60]

2. 5. VOCs во внатрешна средина

VOCs претставуваат широка класа на органски хемикалии карактеризирани со висок парен притисок при типични внатрешни температури и притисоци, што им овозможува лесно испарување во внатрешниот воздух. Високата испарливост на VOCs овозможува нивно акумулирање во внатрешни средини каде што ограничената вентилација може да ја засили изложеноста, особено кај лица кои подолго време престојуваат внатре или се професионално изложени во затворени простории.[16]

WHO проценува дека загадувањето на воздухот во домаќинствата придонесува за околу 3,8 милиони предвремени смртни случаи секоја година, што ја нагласува неговата критична улога како значајно глобално оптоварување за здравјето на животната средина. Повеќето од овие смртни случаи се јавуваат во земјите со низок и среден доход, каде согорувањето на биомаса и јаглен претставува главен извор на внатрешно загадување на воздухот. Наспроти тоа, во земјите со висок доход, примарните извори вклучуваат градежни материјали, мебел, производи за лична нега и различни човечки активности, што резултира со сложена мешавина на VOCs во внатрешниот воздух.[61–63]

Концентрациите на VOCs во внатрешни средини се под влијание на повеќе динамички фактори, вклучувајќи го типот и интензитетот на изворите на емисија, стапките на вентилација, оксидацискиот капацитет во внатрешната средина и инфилтрацијата на надворешни загадувачи. Овие фактори варираат во времето и дополнително се модифицираат од сезонските промени, моделите и честотата на користење на хемиски производи, дизајнот на зградите и градежните материјали, како и од однесувањето и свесноста на корисниците. Сеопфатното разбирање на главните извори и хемиските

класи на VOCs во внатрешни средини е клучно за разбирање на нивната улога во загадувањето на внатрешниот воздух.[9,64]

Главните извори на VOCs во внатрешни средини можат да се класифицираат на следниов начин:

- **Градежни материјали и мебел:** Дрвени производи, лепила, бои, полиуретански премази, лакови, душеци и мебел. [64,65]
- **Производи за домаќинство и лична нега:** Средства за чистење, растворувачи, лепила, аеросоли, дезодоранси, текстил, домашни апарати и освежувачи на воздух. [64,65]
- **Човечки активности и однесувања:** Готвење, греење на простории, пушење и активности поврзани со реновирање. [64,65]
- **Надворешни извори:** Емисии од транспорт, индустриски активности, гаражи и зелени растенија. [64,65]
- **Биолошки извори:** Присуство на луѓе, микробиолошки активности (како мувла), миленичиња, бактерии и внатрешна флора.[64,65]

Хемискиот профил на внатрешните VOCs е исклучително разнолик, вклучувајќи широк спектар на соединенија како алифатични јаглеводороди (на пр., етан, пропан), ароматични јаглеводороди (на пр., бензен, толуен, ксилен), алдехиди (на пр., формалдехид, ацеталдехид), кетони (на пр., ацетон), естери (на пр., етилацетат, бутил ацетат), алкохоли (на пр., метанол, етанол), етери (на пр., диетил етер), халогенирани соединенија (на пр., хлороформ, јагерод тетрахлорид) и терпени (на пр., лимонен, пинен).[64,66,67]

2. 6. Ефекти на VOCs врз човечкото здравје

VOCs, кои се присутни и во внатрешната и во надворешната средина, се поврзани со широк спектар на негативни здравствени ефекти. Луѓето најчесто се изложени преку вдишување, но апсорпцијата преку кожа и голтањето исто така придонесуваат кон акутни и хронични здравствени последици.[3,68]

Сериозноста на овие ефекти зависи од конкретниот VOC, неговата концентрација, времетраењето на изложеност и индивидуалната подложност. Изложеноста на VOCs може да предизвика спектар на здравствени ефекти, од иритација на очите, носот и грлото, до долгорочни последици како хронични респираторни нарушувања, невролошки оштетувања, рак, супресија на имунолошкиот систем и поттикнување на автоимуни реакции. Краткотрајната изложеност често е поврзана со симптоми како главоболка,

вртоглавица, гадење и тешкотии во дишењето, особено во затворени простории со ограничена вентилација. Долготрајната изложеност може да доведе до сериозни здравствени последици, вклучувајќи астма, хронична опструктивна белодробна болест (COPD) и бронхитис, како и системски ефекти врз црниот дроб, бубрезите и репродуктивниот систем.[9,11,67,69–72]

Некои VOCs се добро документирани канцерогени. На пример, бензенот, формалдехидот и трихлороетиленот се класифицирани како канцерогени за луѓето од Група 1 од Меѓународната агенција за истражување на рак (IARC). Слично на тоа, тетрахлороетиленот е класифициран како веројатен канцероген за луѓето (Група 2A). Други соединенија, вклучувајќи етилбензен, јаглерод тетрахлорид и хлороформ, се сметаат за можни канцерогени за луѓето (Група 2B). Овие класификации, определени од институции како IARC, ја истакнуваат значајната опасност од долготрајна изложеност на VOCs.[73]

Понатаму, цикличните органосилоксани, особено декаметилциклопентасилоксанот (D5) и октаметилциклотетрасилоксанот (D4), се карактеризираат со висока перзистентност во животната средина и потенцијал за биоакумулација. D4 ги исполнува критериумите за перзистентност, биоакумулација и токсичност (PBT). D5 се смета за многу перзистентност и биоакумулативен, иако неговата токсичност сè уште е под проценка. Двете супстанции се поврзуваат со системска токсичност, нарушување на ендокриниот систем и можни репродуктивни и имунолошки ефекти.[74,75]

VOCs што се емитираат од освежувачи на воздухот често се класифицираат како потенцијално опасни или токсични според федералните регулативи на САД, вклучувајќи ги стандардите поставени од EPA. Некои од овие соединенија исто така се категоризираат и како канцерогени.[76,77]

2. 7. Регулативи за емисии на VOCs

Регулативата и намалувањето на емисиите на VOCs се централни во современите глобални еколошки политики поради нивното значително влијание врз квалитетот на воздухот и јавното здравје. Како такви, воспоставувањето цврсти регулативни рамки за следење и намалување на концентрациите на VOCs е од суштинско значење за заштита на животната средина и човечкото здравје. Меѓународните напори за справување со емисиите на VOCs резултираа со воведување строги регулативи, особено од страна на EU и U.S. EPA. Овие регулативни тела воспоставија сеопфатни упатства за ограничување на нивото на VOCs во надворешната средина и, каде што е применливо, во внатрешни

простории, со цел ублажување на аерозагадувањето и неговите штетни ефекти врз здравјето.

Следните подсекции даваат преглед на главните регулативни пристапи, при што прво се разгледуваат директивите на EU, а потоа регулативите на U.S. EPA.

2.7.1. Регулативи на Европската Унија за VOCs

Европската Унија донесе неколку законски мерки за контрола на емисиите на VOCs во воздухот. Клучните регулативи вклучуваат:

- **Директива 2016/2284/EU (Директива за намалување на национални емисии):** Оваа директива поставува национални цели за намалување на емисиите на загадувачи и налага развој на национални планови за контрола на загадувањето на воздухот од земјите-членки на EU. Директивата го нагласува следењето на влијанието на овие загадувачи врз квалитетот на воздухот и јавното здравје.[78]
- **Директива 2010/75/EU (Директива за индустриски емисии):** Насочена кон намалување на емисиите од индустриски активности, оваа директива бара од земјите-членки на EU да го спроведат користењето на најдобрите достапни техники (BAT) за ограничување на емисиите на VOCs од индустриски извори.[79]
- **Директива 2008/50/EC (Квалитет на амбиентниот воздух и почист воздух за Европа):** Оваа директива воспоставува стандарди за квалитетот на воздухот за различни загадувачи, вклучувајќи VOCs, и обезбедува упатства за земјите-членки за решавање на проблемите со квалитетот на воздухот и подобрување на амбиенталниот воздух за заштита на здравјето на луѓето.[18]
- **Директива 2004/42/EC (Директива за бои):** Овој пропис се фокусира на намалување на емисиите на VOCs од употребата на органски растворувачи во бои и премази. Со ограничување на содржината на VOCs во ваквите производи, директивата има за цел да ја намали загаденоста на воздухот предизвикана од емисиите базирани на растворувачи.[33]
- **Директива 2003/17/EC (Директива за квалитет на гориво):** Оваа директива ја регулира содржината на VOCs во горивата, вклучувајќи го намалувањето на штетни супстанции како бензен. Целта е подобрување на квалитетот на воздухот преку подобри стандарди за гориво.[80]
- **Директива 2000/69/EC (Бензен и јаглерод моноксид во амбиентален воздух):** Оваа директива воспоставува ограничувања на концентрацијата на бензен и

јаглерод моноксид во амбиенталниот воздух, со цел намалување на ризиците за здравјето поврзани со продолжено изложување на овие токсични супстанци.[81]

2.7.2. Регулативи на VOCs од страна на U.S. EPA

Во Соединетите Американски Држави, Агенцијата за заштита на животната средина (U.S. EPA) воспостави сеопфатен регулаторен рамков систем за управување со емисиите на VOCs во воздухот. Овие регулативи вклучуваат:

- **Закон за чист воздух (CAA):** Првично донесен во 1970 година и изменет во 1977 и 1990 година, Законот за чист воздух обезбедува основа за управување со квалитетот на воздухот во Соединетите Американски Држави. Тој воспоставува национални стандарди за загадувачи на воздухот, вклучувајќи ги VOCs индиректно, преку нивната улога во формирањето на озон и честички во воздухот. Законот налага државите да развијат Државни планови за имплементација (SIPs) за да ги исполнат овие стандарди и да се справат со здравствените и еколошките влијанија од емисиите на VOCs.[82]
- **Национални стандарди за квалитет на амбиенталниот воздух (NAAQS):** Воспоставени според Законот за чист воздух, NAAQS утврдува дозволени нивоа на концентрација за шест главни загадувачи. Иако VOCs не се класифицирани во главните загадувачи, тие се индиректно регулирани поради нивната улога во формирањето на тропосферски озон и секундарни честички, кои се вклучени во главните загадувачи.[83]
- **Национални стандарди за емисии на VOCs од архитектонски премази:** Завршени во 1998 година, оваа регулатива го ограничува испуштањето на VOCs од архитектонски премази, како што се бои и лакови, со поставување строги ограничувања на нивната содржина на VOC. Правилото е дизајнирано да го намали загадувањето на воздухот предизвикано од премази на база на растворувачи.[84]
- **Регулативи за потрошувачки производи:** EPA воведе Национални стандарди за емисии на VOCs за производи за широка потрошувачка во 1998 година, кои поставуваат ограничувања за содржината на VOCs во широк спектар на производи, вклучувајќи средства за чистење, лепила и производи за лична нега. Овие регулативи имаат за цел да го подобрат квалитетот на воздухот во затворени простории и да го намалат испуштањето на VOCs од често користени домашни производи.[35]

2. 8. Методи за земање примероци на воздух

Точното квантифицирање и деталната карактеризација на испарливите органски соединенија (VOCs) во воздухот, како во затворени така и на отворени простори, претставуваат значителни методолошки предизвици поради исклучително ниските концентрации на овие соединенија, кои обично се движат од пикограми на кубен метар (pg/m^3) до микрограми на кубен метар ($\mu g/m^3$). Овие предизвици дополнително се усложнуваат од природната просторна хетерогеност во различни животни средини и временските флуктуации под влијание на динамички фактори, како што се варијациите во стапките на вентилација во затворените простории и метеоролошките услови на отворено. Како резултат на тоа, за да се постигнат сигурни мерења на VOCs, потребни се напредни стратегии за земање примероци кои овозможуваат фаќање на овие променливи соединенија со ниски концентрации со висока прецизност и минимална пристрасност. Затоа, неопходно е да се применат робусни протоколи за земање примероци на воздух кои ги адресираат овие комплексности, обезбедувајќи прибирање на податоци што се репродуцибилни и со висока аналитичка веродостојност.[7,85,86]

Методите за земање примероци на воздух користени за оценка и карактеризација на VOCs можат генерално да се категоризираат во две главни техники: активно и пасивно примеркување. Иако овие пристапи фундаментално се разликуваат во својата реализација, и двете имаат незаменлива улога во сеопфатното мониторирање на VOCs. Изборот на соодветна техника за земање примероци зависи од повеќе фактори, вклучувајќи ја хемиската природа на целните соединенија, очекуваниот опсег на концентрации, потребната чувствителност на методот и потенцијалната интерференција од други присутни соединенија. Понатаму, физичките и еколошките карактеристики на локацијата за земање примероци, како што се пристапноста, ограничувањата на преносливост и потенцијалната изложеност на контаминација, треба да се евалуираат за да се одреди најсоодветната стратегија. Дополнителни размислувања вклучуваат оперативни ограничувања како достапност на потребната опрема, време за анализа, барања за обука и трошоци, кои придонесуваат кон процесот на изборот на метод.[7,40,86]

За да се обезбеди методолошка прецизност и точност на мерењата на VOC, опремата користена за земање примероци на воздух мора да исполнува неколку критични критериуми. Најважно е користењето на материјали кои се неактивни и не реагираат со целните соединенија, со што се спречува каква било промена на концентрациите на VOCs за време на процесот на примеркување. Поставувањето на уредите за земање примероци мора внимателно стратешки да се планира за да се овозможи непречен проток на воздух

од сите правци, со што се минимизира ризикот од контаминација од локални извори. Дополнително, влезовите за земање примероци треба да бидат заштитени од надворешни контаминанти, како што се честички или атмосферска влага, кои можат да го нарушат интегритетот на примерокот. Исто толку важно е системот за земање примероци да биде лесен за ракување за корисникот, овозможувајќи лесно одржување и осигурувајќи конзистентно, високоефикасно работење во текот на продолжени периоди на земање примероци. Во случај на активни системи за земање примероци, критично е редовно да се изведуваат процедури за калибрација за да се обезбеди точност на мерењата на проток на воздух и прецизност на одредувањата на концентрациите на VOC.[86]

2.8.1. Активно земање примероци на воздух

Активното земање примероци на воздух (AAS) е добро воспоставена и широко користена метода за прецизна процена и карактеризација на VOCs во затворени и отворени средини. Овој процес вклучува користење на механички пумпи за пропуштање на контролирана количина на воздух низ медиум за собирање во одреден временски период. Активното земање примероци овозможува прецизна контрола на стапките на земање примероци и претконцентрација на аналитите, што резултира со висока чувствителност, репродуцибилност и точна временска резолуција. Овие карактеристики го прават активното примеркување на воздух претпочитана метода за регулаторно следење на VOC, за оценка на изложеност во различни средини и за лабораториски истражувања на квалитетот на воздухот под контролирани услови.[86,87]

Во овој метод, воздухот се насочува низ атсорбирачки медиум кој селективно ги задржува VOCs врз основа на нивните физичко-хемиски својства. Ефикасноста на оваа техника зависи од различни фактори, вклучувајќи го протокот на воздух, времетраењето на собирањето, типот на атсорбентот, како и надворешни фактори како температура, влажност и испарливост на целните соединенија. По завршување на процесот на собирање, задржаните соединенија обично се десорбираат термички или со екстракција со растворувач за последователна хроматографска анализа.[40,86,87]

Клучен аспект на успешното активно примеркување е внимателниот избор на атсорбенти, кои треба да обезбедат ефикасно заробување на VOCs без губење на примерокот или надворешни влијанија кои би можеле да ги засегнат резултатите од анализата. Атсорбентите се избираат врз основа на поларноста и испарливоста на целните соединенија, при што се користат различни материјали, вклучувајќи графитизиран црн јаглерод (GCB), познат по својата хемиска инертност и термичка стабилност, и Tenax TA, кој е

ефикасен за заробување на VOCs со средна до висока температура на вриење поради отпорноста на оксидација и хидролиза. Исто така, честа е употребата на други атсорбенти базирани на јаглерод, како Carbopack и Carbotrap, кои имаат голема површина и можат да се прилагодат за заробување на широк спектар на VOC, во вакви студии.[40,67,86,87]

2.8.2. Пасивно собирање на воздух

Пасивното собирање на воздух (PAS) се истакнува како широко користена методологија за мониторинг на животната средина, особено при проценката и карактеризацијата на VOCs во внатрешниот и надворешниот воздух. За разлика од активното примеркување, кое се потпира на механички пумпи за пропуштање воздух низ атсорбент, PAS функционира преку природна дифузија на молекулите во пасивниот уред за примеркување. Според нивната геометрија, пасивните собирачи на воздух може да се класифицираат во три главни типа: радијални собирачи, badge собирачи и аксијални собирачи.[67,88]

Оваа карактеристика го прави PAS пристапот со мало одржување, енергетски ефикасен и економичен, особено погоден за долгорочни проценки на изложеност во различни средини. Основниот принцип на PAS вклучува собирање на целните соединенија преку дифузија, каде што загадувачите од околниот воздух навлегуваат во материјалот на атсорбентот во одреден временски период. Ефикасноста на овој процес зависи од прецизна калибрација, при што брзината на собирање е критичен параметар за обезбедување точни мерења на концентрацијата на VOCs. Бидејќи PAS не бара извор на енергија или континуирано следење, таа е особено погодна за употреба во тешко достапни области и во густо поставени мониторинг мрежи во урбани средини.[13,67,86]

Забележителна предност на PAS е нејзината способност да обезбеди мерења на загадувањето на воздухот интегрирани во времето, фаќајќи ги просечните концентрации на VOCs во продолжени периоди. Ова е особено вредно за оценка на загадувачи со флуктуирачки или привремени концентрации, кои често се пропуштаат со методите за активното мерење во реално време. Со овозможување на собирање на податоци во текот на недели или месеци со минимална интервенција, PAS нуди поцелосен временски приказ на квалитетот на воздухот. Во контекст на мониторингот на VOCs, PAS овозможува идентификација на широк спектар на загадувачи, вклучувајќи индустриски емисии, производи од согорување и внатрешни загадувачи од домашни производи како средства за чистење и производи за лична нега.[13,67,86]

Мултифункционалноста на PAS произлегува од широката селективност на атсорбирачките материјали, кои можат да се прилагодат за фаќање на специфични

компоненти, со што се овозможува увид во профилите на VOCs и општите трендови на квалитетот на воздухот. Споредено со високите трошоци поврзани со обемното долгогодишно активно мерење, PAS претставува поефтино решение. Намалената финансиска оптовареност, заедно со практичните предности, ја позиционира PAS како супериорен метод за надминување на ограничувањата на активните техники за примеркување. Дополнително, пасивните примеркувачи се лесни за употреба поради нивниот едноставен дизајн и преносливост, а нивната независност од надворешен извор на енергија ја зголемува нивната практичност.[13,40,67]

За PAS да обезбеди сигурни резултати, изборот на соодветни атсорбирачки материјали е клучен. Најчесто користените материјали за атсорпција на VOCs вклучуваат активен јаглен, Tenax TA и силика гел, при што секој нуди различни предности во однос на активната површина, капацитетот за атсорпција и термичката стабилност. Активниот јаглен е особено ефикасен за фаќање на широк спектар на неполарни соединенија додека Tenax TA е посоодветен за испарливи компоненти поради високата термичка стабилност. Силика гелот, од друга страна, често се користи во апликации кои бараат висок капацитет за поларни соединенија, нудејќи селективен пристап кон мерењето на VOCs.[13,40,67]

Екстракцијата на VOCs од атсорбентите е клучен чекор по пасивното примеркување на воздух и обично се реализира преку две примарни техники: термална десорпција и екстракција со растворувачи. Термалната десорпција е високоефикасна метода за ослободување на VOCs со висок проток преку загревање на атсорбирачкиот материјал, што ја прави особено погодна за соединенија чувствителни на растворувачи или за анализи со голем број на примероци. Меѓутоа, оваа техника има одредени ограничувања, како што е потребата од повисоки температури што може да доведе до термичка деградација на некои соединенија, како и барањето за термички стабилни атсорбенти. Дополнително, термалната десорпција обично е поскапа и бара специјализирана опрема. Наспроти тоа, екстракцијата со растворувачи е поефтина и поедноставна алтернатива, идеална за соединенија со поголема молекулска маса и за оние стабилни во течни фази. И покрај својата достапност, оваа метода има недостатоци, вклучувајќи потенцијално разредување на примерокот и ризик од интерференција на растворувачот, а некои растворувачи може да бидат токсични, што бара дополнителна претпазливост при употреба. Изборот помеѓу овие две техники на крајот зависи од физичкохемиските својства на целните соединенија, аналитичките цели и практичните ограничувања, како што се достапната опрема и трошоците.[40,67,88,89]

2.8.3. Radiello® пасивен/дифузен земач на примероци

При проценката и карактеризацијата на VOCs во воздухот, неопходно е да се избере метод за земање примероци кој обезбедува висока точност и доверливост, при што се балансира помеѓу оперативната сложеност и научната строгост. За оваа студија беше избран Radiello® RAD130 бидејќи нуди висока ефикасност во дифузијата, стабилност за време на долгорочни периоди на мониторинг и докажана доверливост при проценка на VOCs и во внатрешна и во надворешна средина.[90]

Системот Radiello® RAD 130, развиен од Fondazione Salvatore Maugeri во Падова, Италија, и прикажан на **Слика 2**, претставува напреден пасивен примеркувач дизајниран за ефикасно собирање на VOC. Неговиот дизајн ги комбинира предностите на примеркувачите од типот бец и цевче, со цилиндричен атсорбент сместен во дифузно тело. Оваа геометрија, заедно со краткиот дифузен пат и високиот однос меѓу површината и волуменот, ја зголемува ефикасноста на преносот на маса, со што се подобрува чувствителноста и репродуцибилноста. Дифузната бариера се состои од микропорозна полиетиленска мембрана со дебелина од 1,7 mm и просечна големина на порите од 25 ± 5 μm, која ги регулира кинетиките на дифузијата на VOCs кон површината на атсорбентот.[90]

Телото на атсорбентот RAD130 се состои од активен јаглен сместен во цилиндар од не'рѓосувачка челична мрежа (100 mesh решетка), што обезбедува рамномерен проток на воздух и спречува контаминација со честички. Со атсорпциски капацитет од 530 ± 30 mg активен јаглен (големина на mesh 35–50), примеркувачот ефикасно атсорбира широка палета на VOC, при што одржува линеарна кинетика на атсорпција во текот на подолги периоди на изложеност. Високиот афинитет на активниот јаглен кон VOCs ја зголемува ефикасноста на примеркувањето, зачувувајќи го при тоа интегритетот на аналитите до десорпцијата и анализата. Кинетиката на атсорпција се определува од концентрацискиот градиент помеѓу амбиентниот воздух и атсорбентот, овозможувајќи пасивно атсорбирање согласно првиот Фиков закон за дифузија.[90]



Слика 2. Компоненти и склоп на пасивниот примеркувач Radiello® RAD 130, вклучувајќи: (A) триаголна потпорна плоча, (B) бело дифузивно тело, (C) адсорбентен кертриџ, (D) склопен примеркувач со вертикален адаптер, и (E) склопен примеркувач со хоризонтален адаптер.[90]

Изборот на примеркувачот Radiello® RAD130 за оваа студија се базираше на неговите повеќекратни предности во однос на другите пасивни и активни техники за собирање примероци:

- **Висока ефикасност на дифузија:** Радијалниот дифузивен дизајн ја максимизира површината за атсорпција на аналитите, овозможувајќи ефикасно собирање на VOCs со различни физичко-хемиски својства. Ова ја зголемува чувствителноста, особено за аналитите со ниска концентрација.
- **Повторливост и точност:** Затворениот дифузивен систем го минимизира надворешното варирање, обезбедувајќи конзистентни и споредливи мерења на повеќе локации за земање примероци.
- **Можност за долгорочно следење:** Radiello® примероците се оптимизирани за подолготрајна употреба, овозможувајќи континуирано проценување на изложеноста на VOCs без потреба од чести интервенции.
- **Лесно поставување и транспорт:** Нивниот компактен и лесен дизајн овозможува едноставно ракување, инсталација и собирање, со што се минимизираат логистичките предизвици и ризикот од контаминација.
- **Исплатливост:** Пасивното земање примероци ја елиминира потребата од пумпи, извори на енергија и скапа опрема, со што значително се намалуваат оперативните и трошоците за одржување.

- **Потврдена научна доверливост:** Radiello® примеркувачите се темелно верифицирани во научни студии и регулаторни проценки, обезбедувајќи податоци споредливи со постојната литература.
- **Висок атсорпциски капацитет:** Атсорбентот со код за изложеност 130 може да атсорбира концентрации на VOCs од 3 000–3 500 μg/m^3 во текот на 8 часа до 70 000–80 000 μg/m^3 во период од 14 дена. За да се одржи линеарноста на атсорпцијата, времетраењето на изложеноста треба да се прилагоди кога се приближува до границата на заситеност од 80 mg.
- **Регулаторно признавање:** EU го признава Radiello® како референтен инструмент за пасивни методологии на примеркување и споредливи оценки.[90]

Вкупно земено, Radiello® примероците покажуваат одлична чувствителност, овозможувајќи откривање на траги од VOCs. На пример, концентрации на бензен дури и до 0,1 mg/m^3 можат квантитативно да се определат по 15 минути изложеност, додека границите на детекција се намалуваат до 0,1 μg/m^3 за период на примеркување од 7 дена. Прецизноста на мерењето останува во граници на грешка до 4% при стандардни услови за работа. За да се обезбеди доверливост на податоците, времетраењето на изложеност се оптимизира меѓу 8 часа и 30 дена, при што 7 дена се препорачува за оптимална точност.[90]

По земањето примероци, VOCs се десорбираат преку екстракција со растворувач. Стандардниот протокол предвидува потопување на атсорбентот во 2 mL јаглерод дисулфид (CS_2) кој содржи 100 μL на интерен стандард. Смесата се меша 30 минути за целосна десорпција пред инјектирање во гасен хроматограф опремен со пламено-јонизациски детектор (GC-FID), според протоколот на Radiello®. Овој аналитички пристап овозможува прецизно квантитативно определување на VOCs, при што се обезбедува висока репродуцибилност.[90]

Концентрацијата на VOCs во воздухот се определува со следната равенка:

$$c(\mu g/m^3) = \frac{m(\mu g)}{Q_{(mL/min)} \cdot t_{(min)}} \times 10^6$$

каде: c – концентрација на аналитот во воздух (μg/m^3); m – маса на аналитот (μg); Q – брзина на собирање на примерокот (mL/min); t – време на изложеност (min).[90]

За точно да се утврди средната концентрација на аналитот во текот на одреден период на изложеност, неопходно е да се познава брзината на собирање (Q) кај пасивните

примеркувачи. Стандардните брзини на собирање за пасивните Radiello® примеркувачи се дадени под стандардни услови (25 ºC и 1013 hPa) во прирачникот на производителот. Овие вредности треба да се прилагодат според реалната просечна температура на собирање, користејќи ја следнава равенка:

$$Q_K = Q_{298} \cdot \left(\frac{K}{298}\right)^{1.5}$$

каде што Q_K претставува брзина на земање примероци при температура K (во келвини), а Q_{298} е референтната брзина на земање примероци при 298 K (25 ºC).[90]

Важно е да се напомене дека брзината на земање примероци не се менува при влажност во опсег од 15–90% и при брзини на ветер помеѓу 0,1 и 10 m/s. Сепак, еколошки фактори како температурата и влажноста влијаат на брзините на земање примероци преку влијание врз коефициентите на молекулска дифузија. За да се намалат овие варијации, се применуваат корекциски равенки зависни од температурата, со цел обезбедување на конзистентна квантфикација на VOCs под различни еколошки услови.[90]

Иако земањето примероци за VOCs со Radiello® има свои предности, постојат и значителни ограничувања. Капацитетот на атсорбентот е ограничен за некои VOCs при долги периоди на изложеност, што може да доведе до неточни резултати за овие соединенија. Методот може да биде несоодветен за детекција на многу ниски концентрации на загадувачи бидејќи бара продолжен период на изложеност за акумулација на детектибилни количини на аналити. Дополнително, долгата изложеност ја ограничува способноста за регистрирање на брзи промени во концентрациите на VOCs, што го прави невозможно точното определување на моменталните концентрации што е критично за студии на акутна изложеност. Точноста на мерењата зависи и од екстремни еколошки услови, како високи температури или брзини на ветер надвор од нормалните граници, иако Radiello® останува стабилен при влажност од 15–90% и брзина на воздух од 0,1–10 m/s. И покрај постоењето на методи за корекција на температурата, тие не го елиминираат целосно влијанието на екстремните еколошки фактори.[90,91]

2. 9. Аналитичка инструментација за анализа на VOCs

Точната анализа на VOCs бара внимателно разгледување на повеќе фактори, вклучувајќи ги концентрациите, сложеноста на примерокот и специфичните хемиски својства на VOCs. Со оглед на различната природа на VOCs, кои опфаќаат широк спектар

на органски супстанци со различна испарливост, реактивност и извори, неопходно е користење на многу осетливи и селективни аналитички техники. Гасната хроматографија (GC) се смета за основна техника за анализа на VOCs, овозможувајќи разделување, идентификација и квантитативно определување на VOCs. За зголемување на специфичноста и осетливноста на анализата, GC често се комбинира со напредни системи за детекција како масена спектрометрија (MS), детекција со пламена јонизација (FID), детекција на термална проводливост (TCD), тандем масена спектрометрија (MS/MS) и детекција со електронски зафат (ECD). Овие методи заедно овозможуваат прецизни и сигурни мерења на VOCs, правејќи ги незаменливи алатки во еколошката и хемиската анализа.[7,67,86,92,93]

2.9.1. Гасна хроматографија: Принципи и компоненти

Гасната хроматографија претставува моќна аналитичка техника која ги разделува компонентите во една смеса врз основа на нивната распределба помеѓу стационарната и подвижната фаза, каде подвижната фаза обично е инертен носечки гас. Стационарната фаза, која често претставува течен или цврст материјал, ја обложува внатрешната површина на капиларната колона и овозможува различни интеракции со анализираните соединенија. Ефикасноста на разделувањето главно зависи од испарливоста, поларноста и интеракциите на аналитите со стационарната фаза. Бидејќи секое соединение поинаку се задржува во колоната, времето на елуирање претставува карактеристична вредност поврзана со неговите физичко-хемиски својства.[93,94]

Системот за гасна хроматографија се состои од неколку клучни компоненти кои обезбедуваат оптимално разделување и прецизно квантитативно определување на аналитите. Главните компоненти се опишани подолу:

1. Мобилна фаза. Мобилната фаза е суштинска за транспорт на аналитите низ хроматографската колона. Таа мора да биде инертна за да се спречат било какви интеракции со аналитите, со што се обезбедуваат репродуцибилност и точност на резултатите. Хелиумот е најчесто користениот носечки гас поради неговата ниска вискозност и минимална интеракција со компонентите на примерокот. Сепак, азот и водород исто така се користат во зависност од аналитичките барања. Изборот на мобилната фаза има значително влијание врз хроматографските параметри како што се ретенциското време, резолуцијата и осетливоста.[93,94]
2. Систем за инјектирање. Системот за инјектирање го воведува примерокот во колоната, а прецизното испарување е клучно за да се спречи деградација на

аналитите. Постојат различни режими на инјектирање, вклучувајќи разделно и неразделно инјектирање. Разделното инјектирање е препорачливо за примероци со висока концентрација, додека неразделното инјектирање е погодно за анализа на траги. Правилната калибрација на инјекторот е неопходна за да се обезбеди целосно испарување на примерокот и ефикасен пренос во колоната.[93,94]

3. Хроматографска колона. Хроматографската колона го претставува јадрото на GC системот и директно влијае на ефикасноста на разделувањето. Капиларните колони, кои најчесто се користат за анализа на VOCs, се обложени со стационарна фаза како што е полидиметилсилоксан за соединенија со ниска поларност. Должината, внатрешниот дијаметар и хемискиот состав на колоната ја одредуваат резолуцијата, сензитивноста и селективноста. Неполарните колони се користат за VOCs со ниска поларност, додека мешаните фази што содржат покрај диметилсилоксан и дифенилсилоксан (на пр. DB-5, HP-5) или цијанопропилсилоксан овозможуваат подобрено разделување на соединенија со средна поларност.[92,95]
4. Печка со програмирање на температурата. Хроматографската печка го контролира процесот на елиуирање преку прецизно програмирање на температурата. Често се применува температурен градиент за оптимално разделување на соединенијата, што овозможува аналити со ниска температура на вриење да елиуираат брзо, додека аналити со висока температура на вриење да се задржуваат за подобрена резолуција. Постепеното зголемување на температурата ја подобрува сепарацијата на пиковите, минимизирајќи коелуирање и зголемувајќи ја вкупната ефикасност на анализата.[93,94]
5. Детектори. Детекторите ги идентификуваат и квантитативно ги одредуваат VOCs по хроматографското разделување. Изборот на детектор зависи од хемиската природа на аналитите и потребната осетливост. FID се користи најчесто за јаглеводороди, додека ECD е ефикасен за халогенирани VOCs. GC–MS со електронска јонизација (EI), користен во оваа студија, овозможува прецизна идентификација преку фрагментација на аналитите и анализа на нивните масени спектри. Овој пристап овозможува високо специфична идентификација на соединенија преку бази на масени спектри. И покрај својата супериорна осетливост и селективност, GC–MS со EI е поврзан со повисоки оперативни трошоци, сложеност и потреба од експертска интерпретација на податоци, што го прави помалку практичен за рутински теренски апликации.[7,92–94]

Иако GC останува златен стандард за анализа на VOCs, GC–MS, со своите подобрени можности за разделување и идентификација, се издвојува како најмоќна метода за анализа на соединенија.[7,67] Оваа техника ќе биде разгледана подетално во следниот дел, со фокус на GC–MS со масена спектрометрија со единечен квадрупол и електронска јонизација, како што е применето во оваа студија.

2.9.2. Гасна хроматографија со масена спектрометрија

Прецизното идентификување и квантитативно определување на VOCs бара аналитички пристап кој обезбедува и висока резолуција на разделување и молекулска специфичност. GC–MS останува златен стандард во анализата на VOCs, овозможувајќи голема точност при разрешувањето на сложени хемиски смеси што се чести во еколошките и атмосферските истражувања.[96]

GC–MS функционира преку комбинирање на гасната хроматографија за ефикасно разделување на испарливите соединенија со масен спектрометар за идентификување на разделените супстанци. Во оваа студија беше користен масен спектрометар со единечен квадрупол опремен со електронска јонизација бидејќи оваа конфигурација нуди оптимален баланс помеѓу осетливост, селективност и оперативна робусност. Квадрупол-ниот масен анализатор се состои од четири паралелни шипки кои создаваат прецизно контролирано осцилирачко електрично поле, селективно филтрирајќи јони врз основа на нивниот однос маса/полнеж. Овој механизам овозможува прецизна диференцијација на VOCs видови, дури и во многу комплексни еколошки матрици.[97,98]

Една од клучните предности на овој систем е користењето на електронската јонизација при 70 eV, техника која останува најшироко применета метода на јонизација поради своите високо репродуцибилни начини на фрагментација. Високото ниво на фрагментација произведува обилни структурни информации, создавајќи специфичен сет од фрагментни јони на секое соединение кој овозможува недвосмислена идентификација. Овие начини на фрагментација можат со голема сигурност да се споредат со референтни бази на податоци како NIST и Wiley, кои содржат стотици илјади референтни масени спектри на VOCs. Овој метод поддржува режим на целосен скен (full-scan), кој опфаќа сеопфатни спектрални профили на сите елуирани соединенија, и селективно следење на јони (SIM), кое ја зголемува осетливоста на детекцијата за квантитативно определување на целните аналити.[97–99]

Покрај тоа, масениот анализатор користи напреден механизам за филтрирање, кој дозволува да поминат само јони што одговараат на специфични *m/z* вредности, обезбедувајќи висока специфичност при детекцијата на VOC. Преостанатите компоненти на системот вклучуваат детектор со електронски мултипликатор, кој ги засилува сигналите на јоните за да генерира добро дефинирани масени спектри што го олеснуваат идентификувањето на соединенијата преку споредба со спектрални бази на податоци.[97,98,100]

Поврзувањето на GC со квадруполен MS и EI овозможи прецизна анализа на VOC, овозможувајќи високоефикасна карактеризација и сеопфатна оценка на VOCs во затворени и отворени средини.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН ДЕЛ

ГЛАВА 3

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН ДЕЛ

Експерименталниот дел се базира на три рецензирани научни статии објавени во текот на оваа докторска дисертација, кои се целосно интегрирани во тезата за да се обезбеди јасност, кохерентност и научна строгост.[101–103]

3.1. Материјали и методи

3.1.1. Локации за земање примероци

Локациите за земање примероци во оваа докторска студија се уникатни и опфаќаат три региони со различни карактеристики на квалитетот на воздухот. Истражувањето се спроведе во повеќе фази, започнувајќи со земање примероци на VOCs надвор од затворени простории во девет градови во пограничните региони на Северна Македонија и Косово. Локациите беа внимателно избрани за да опфатат разновиден опсег на урбани и приградски средини, вклучувајќи области во близина на главни сообраќајни рути, индустриски зони и резиденцијални квартови, со цел да се добие сеопфатна просторна распределба на релативната застапеност на VOCs од април до декември 2022 година.

Во следната фаза, вкупно беа избрани 17 внатрешни простории низ Косово и Северна Македонија, опфаќајќи широк спектар на реални сценарија на изложеност. Овие вклучуваа комерцијални, индустриски, образовни, резиденцијални и лабораториски простории. Локациите беа избрани врз основа на интензитетот на човечката активност и функционалните карактеристики, кои играат клучна улога во динамиката на емисија на VOC. Целта не беше статистичка репрезентативност за специфични категории на згради, туку да се прикаже хетерогеноста на изворите на VOCs во внатрешни простории во периодот од март до декември 2023 година.

Во третата фаза, се вршеше следење на VOCs во внатрешни и надворешни простории во Милано, Италија, спроведено во јуни и јули 2024 година на четири резиденцијални локации и една истражувачка лабораторија. Овие локации беа избрани за да претставуваат различни урбани и приградски средини, вклучувајќи области со голем сообраќај, потивки резиденцијални зони и локации со значителен зелен простор. Изборот беше насочен кон прикажување на хетерогеноста на урбаните позадински нивоа и емисиите на VOCs поврзани со сообраќајот низ целиот град.

Процесот на избор на локации следеше клучни критериуми, вклучувајќи минимизирање на близината до директни извори на емисии, обезбедување соодветна циркулација на воздухот, избегнување физички пречки и одржување на пристапност и

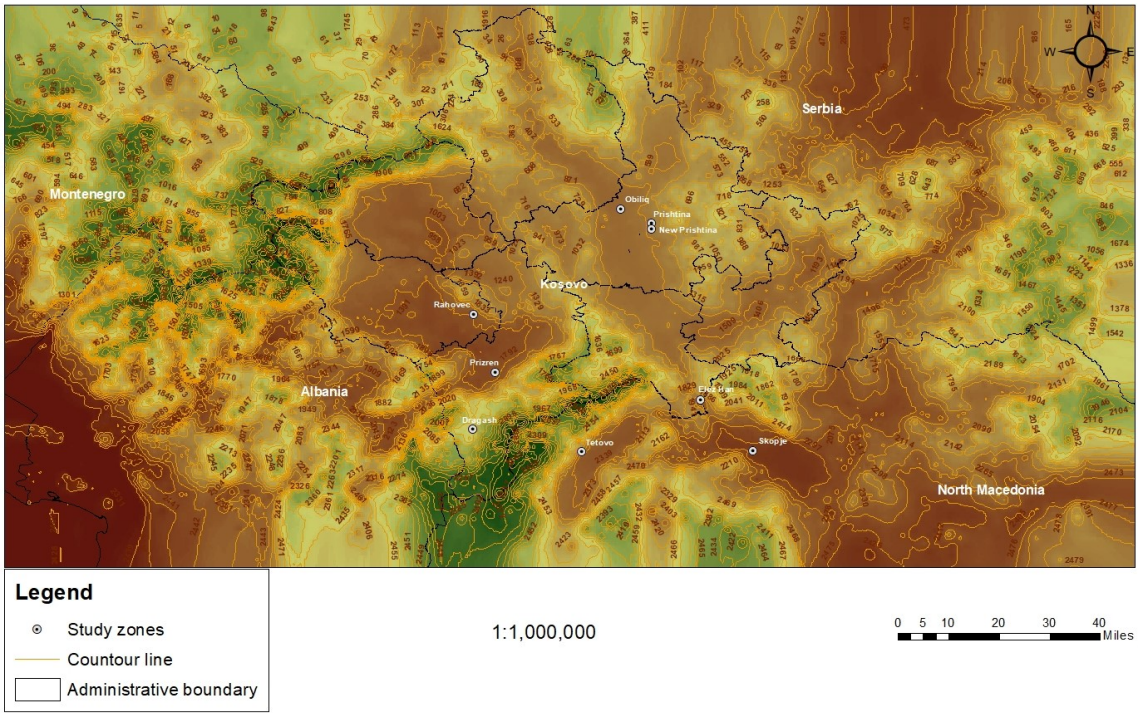
безбедност за примеркување. Стриктно се почитуваа етичките протоколи, вклучувајќи добивање претходна согласност од сопствениците на имот или жители кога е тоа потребно. За заштита на приватноста, специфичните географски координати на внатрешните локации за земање примероци во Северна Македонија и Косово не се откриваат; наместо тоа, се прикажани локации на ниво на држава. Овој пристап ја зачувува доверливоста додека се одржува научната интегритет, бидејќи анализата се фокусира на функционални извори на емисии, а не на точни просторни позиции.

Деталните карактеристики и географската распределба на надворешните локации за земање примероци низ пограничните региони на Северна Македонија и Косово се сумирани подолу и прикажани на **Слика 3**. Се обезбедува сеопфатен преглед на внатрешните локации за земање примероци во **Табела 3**, прикажувајќи ја секоја локација според нејзината функција и контекст на земање примероци.

1. Тетово (географска ширина: 41,9978, географска должина: 20,9626) е град во Северна Македонија со приближно 85.000 жители.[104] Локацијата за земање примероци беше избрана да претставува урбана зона со минимално директно влијание од големи сообраќајни извори. Таа се наоѓа приближно еден километар од главниот пат, во отворен простор опкружен со станбени објекти. Надморската височина на локацијата за земање примероци е 464 m надморска височина (н.в.).
2. Скопје (географска ширина: 42,0013, географска должина: 21,4534) е главниот град на Северна Македонија, со приближно 527.000 жители.[104] Локацијата за мониторинг беше сместена на 500 метри од најблиската улица, во отворен простор опкружен со станбени згради. Надморската височина на локацијата е 250 m н.в., претставувајќи урбана средина со умерено влијание од сообраќајот. Локацијата беше избрана за оценка на урбано загадување, главно од сообраќајни емисии во густо населен подрачје.
3. Елез Хан (географска ширина: 42,1450, географска должина: 21,3027) е граничен град во Косово со население од околу 8.500 жители.[105] Локацијата за земање примероци се наоѓаше на 300 метри од цементарница и 400 метри од граничниот премин со Северна Македонија, во отворен простор опкружен со станбени куќи на 381 m н.в. Оваа локација беше избрана поради потенцијални индустриски емисии и трансграничен транспорт на загадувачи. Таа претставува мешана индустриско-станбена средина под влијание на локалната индустрија и трансграничниот сообраќај.

4. Приштина (географска ширина: 42,6565, географска должина: 21,1636) е главниот град на Косово, со проценето население од приближно 228.000 жители.[105] Локацијата за земање примероци се наоѓаше во отворен простор близу станбени објекти и беше значително погодена од сообраќај, при што најблиската улица со голем сообраќај се наоѓаше само 20 метри подалеку (604 m н.в.). Локацијата беше избрана поради нејзината близина до подрачја со интензивен сообраќај, овозможувајќи увид во влијанието на урбаните сообраќајни емисии врз локалниот квалитет на воздухот.
5. Нова Приштина (географска ширина: 42,6388, географска должина: 21,1637) е брзо развивачко урбано подрачје во рамките на Приштина. Локацијата за земање примероци се наоѓаше на 150 метри од најблиската улица, опкружена со станбени објекти, на надморска височина од 606 m н.в. Подрачјето е изложено на емисии од дизел-моторна градежна механизација поради тековните развојни активности. Оваа локација беше избрана за да се оцени влијанието на емисиите поврзани со градежништвото и урбаниот развој врз локалниот квалитет на воздухот.
6. Призрен (географска ширина: 42,2247, географска должина: 20,7165) е град во Косово со население од околу 148.000 жители.[105] Локацијата за земање примероци се наоѓаше на 1,5 километри од главниот пат, во област карактеризирана со отворен терен и станбени згради, на надморска височина од 440 м. н.в. Оваа локација претставува урбана средина со ограничено влијание од сообраќајот и беше избрана за да се оцени квалитетот на воздухот во средина со помалку извори на загадување во споредба со поголемите урбани центри.
7. Драгаш, познат и како Шар (географска ширина: 42,0623, географска должина: 20,6524), е град во Косово, опкружен со планините Шар, Коритник, Ѓалиќ и Цилен. Локацијата за земање примероци се наоѓаше на 200 метри од главниот пат, во отворена област опкружена со ливади и станбени згради, на надморска височина од 1.080 m н.в. Градот има проценето население од околу 29.000 жители.[105] Оваа локација претставува приградска, планинска средина со голема надморска височина, обезбедувајќи увид во позадинскиот квалитет на воздухот во планинските региони.

8. Раховец (географска ширина: 42,3936, географска должина: 20,6530) е град во Косово со население од околу 42.000 жители.[105] Локацијата за земање примероци се наоѓаше на 350 метри од најблиската патна врска, во отворен простор опкружен со станбени куќи и виногради, на надморска височина од 424 m н.в. Оваа локација претставува приградско опкружување под влијание на станбени и земјоделски активности.
9. Обилиќ (географска ширина: 42,6965, географска должина: 21,0747) е град во Приштинскиот округ на Косово. Локацијата за земање примероци се наоѓаше на 350 m од најблискиот пат и на 1,5 километри од блиските електрани, во отворен простор опкружен со ливади и станбени објекти (584 m н.в.). Градот има проценето население од околу 23 000 жители.[105] Оваа локација беше избрана поради близината до индустриските емисии од електраните на јаглен, значаен извор на загадување на воздухот, вклучувајќи VOCs.



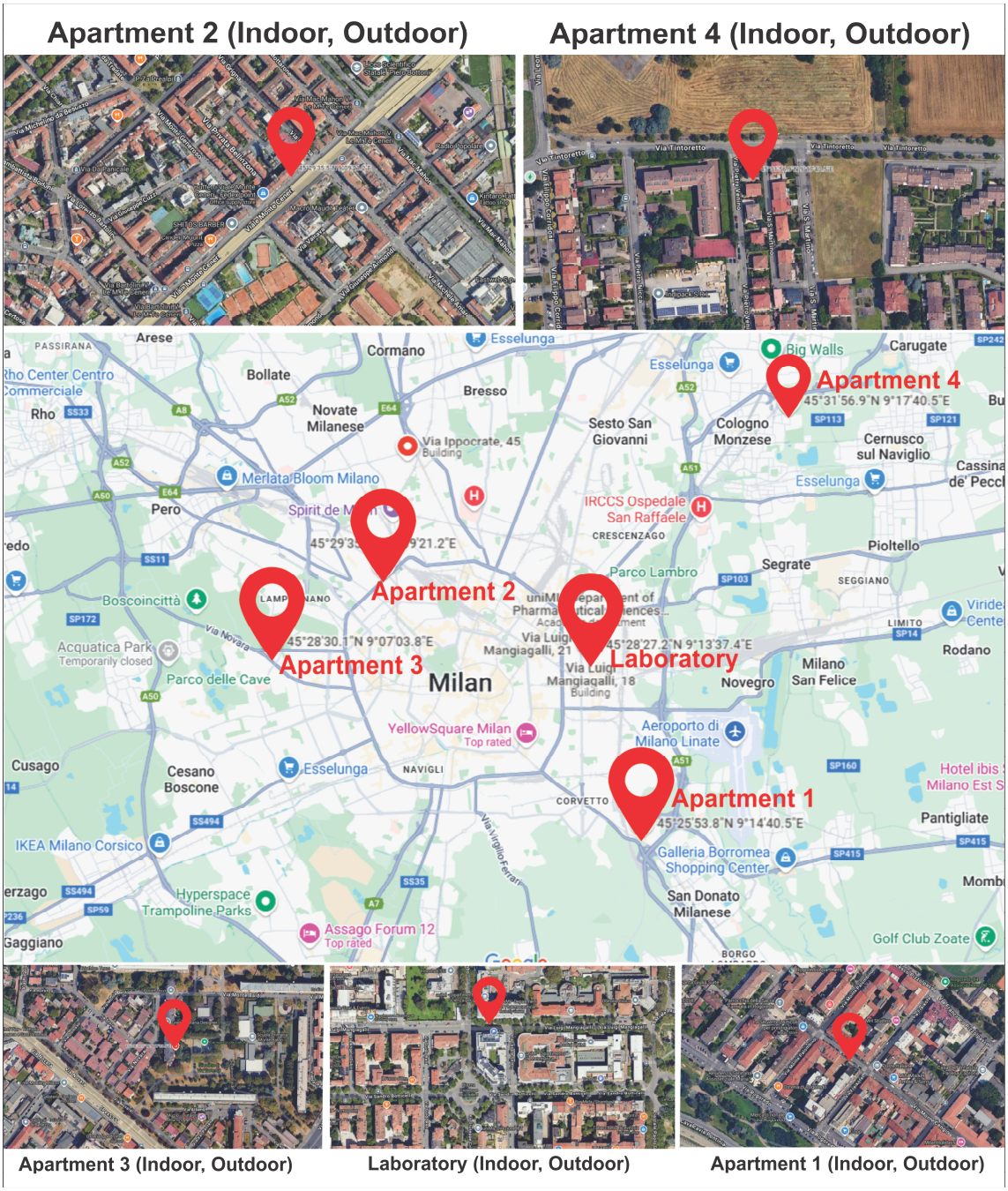
Слика 3. Картата ја прикажува географската распределба на деветте локации за земање примероци.[101]

Табела 3. Опис на локациите за земање примероци од внатрешниот воздух.[102]

Локација	Тип на животна средина	Опис
Северна Македонија	Кафетерија	Градско подрачје; пушењето е дозволено, примерокот е поставен во центарот на просторијата
Косово	Текстилна фабрика	Градско подрачје; примерокот е поставен во делот за перење ткаенина на фабриката
Северна Македонија	Супермаркет	Градско подрачје; примерокот е лоциран во делот за производи за миење и чистење
Косово	Продавница за масло и подмачкувачки средства	Градско подрачје; примерокот поставен во складиштето на продавницата
Северна Македонија	Станбена средина	Градско подрачје; еден примерок поставен во дневната соба на апартман, а другиот во дневната соба на куќа
Северна Македонија	Органска лабораторија и складиште за хемикалии	Градско подрачје; еден примерок поставен во лабораторијата, а другиот во складиштето за хемикалии на институтот
Косово	Месна фабрика	Претградско подрачје; примерокот е поставен во делот за обработка и сушење на колбаси
Косово	Фризерски салон	Градско подрачје; примерокот е лоциран во центарот на салон само за жени
Косово	Кебапџилница	Градско подрачје; примерокот поставен во центарот на кебапџилница со скара на јаглен
Косово	Училиште	Градско подрачје; еден примерокувач поставен во училница, а другиот во главната сала на основното училиште
Косово	Продавница за електрична опрема	Градско подрачје; мала продавница што продава електрична опрема; централно поставен примерокувач
Косово	Печатење	Градско подрачје; еден примерокувач поставен во продавницата, а другиот во подрумот без прозорци на работното место
Косово	Продавница за парфеми	Градско подрачје; примерокувач поставен во продавницата во рамките на трговски центар

Просторната распределба на локациите за земање примероци во Милано, заедно со репрезентативни сателитски снимки од Google Maps, е прикажана на **Слика 4** и опишана подолу.

1. Лабораторија (географска ширина: 45,474220, географска должина: 9,227056): Се наоѓа во мешана зона што опфаќа станбени и институционални објекти. Земањето на примероци на отворено е спроведено во дворот на лабораторијата, приближно 200 m од главен пат, што овозможува фаќање на урбаните позадински нивоа и емисиите поврзани со сообраќајот.



Слика 4. Картата ги прикажува локациите за земање примероци на внатрешни и надворешни испарливи органски соединенија низ метрополитенското подрачје на Милано, Италија.[103]

2. Апартман 1 (географска ширина: 45,431622, географска должина: 9,244577): Сместен во густо населена станбена зона со висок интензитет на сообраќај. Земањето на примероци беше спроведено на 50 m од прометен пат, овозможувајќи оценка на концентрациите на VOCs под влијание на сообраќајот во високо урбанизирана средина.

3. Апартман 2 (географска ширина: 45,493200, географска должина: 9,155900): Сместен во станбена средина со зголемен сообраќаен обем. Точката за земање примероци беше на 20 m од главен пат, обезбедувајќи податоци репрезентативни за урбаните жаришта на изложеност на VOC.
4. Апартман 3 (географска ширина: 45,475016, географска должина: 9,117718): Локацијата се наоѓа во станбена населба со поголема зеленило и понизок сообраќаен интензитет. Таа претставува корисен контраст на по-загадените урбани локации, прикажувајќи концентрации на VOCs во релативно почисто микрооколина.
5. Апартман 4 (географска ширина: 45,53248, географска должина: 9,29457): Сместен во претградска станбена зона со умерено влијание на сообраќајот. Земањето на примероци беше спроведено на 100 m од најблискиот пат, претставувајќи нивоа на изложеност на VOCs типични за претградски услови.

3.1.2. Методи за земање примероци и подготовка на примероци

Во оваа докторска студија беа користени пасивни дифузни примерокувачи Radiello® за оценка и карактеризација на VOCs во надворешни и внатрешни средини. Примерокувачите, обезбедени од Sigma-Aldrich (Merck KGaA, Darmstadt, Германија), беа избрани поради нивната висока сензитивност, хемиска стабилност, работа со мало одржување и докажана сигурност при долгорочно следење на воздухот.[90] Аргументите за изборот на Radiello® во однос на другите пасивни примерокувачи и активните техники за земање примероци се детално опишани во секција 2.8.3, истакнувајќи ги клучните предности како пониска цена, лесно поставување и способност за обезбедување просторно репрезентативни податоци во текот на подолги периоди на земање примероци.

Сите примерокувачи беа претходно кондиционирани и ракувани според упатствата на производителот за да се обезбеди точност и репродуцибилност.[90] Фреквенцијата на замена на картриџите беше определена врз основа на очекуваната варијабилност на концентрациите и условите во животната средина.

Примерокувачите за надворешна средина беа поставени на висина од 2–4 метри над земјата за да ја претставуваат зоната за дишење на пешаците. Секој примерокувач беше поставен во поли-пропиленска куќичка за заштита од врнежи и директна сончева радијација, строго согласно упатствата на производителот, минимизирајќи ги потенцијалните ризици од контаминација. За секој картриџ беше избрано времетраење за примеркување од 28 дена, што ја одразува релативно стабилната природа на

концентрациите на VOCs во амбиенталниот воздух надвор и балансирање на временската резолуција со практичните аспекти на долгорочното следење. Вкупно беа собрани 91 примерок на надворешен воздух низ сите локации за мониторинг.

За внатрешни средини, пасивните примерокувачи беа поставени централно на висина од приближно 1,5–3,0 метри за да ја претставуваат зоната за дишење на луѓето. Во прекуграничната студија спроведена во Северна Македонија и Косово, картриџите се менуваа на секои 28 дена, додека во Милано беше применет интервал на замена од 14 дена поради обично поголемите и поразлични концентрации на VOCs во затворени простории и поради отсуството на податоци за специфична базна линија на локацијата.[11] Овој интервал овозможи две примеркувања во текот на еден месец, со што се зголеми временската резолуција и се овозможија поцврсти споредби помеѓу профилите на VOCs во внатрешната и надворешната средина. Вкупно беа собрани 80 примероци на внатрешен воздух.

Времетраењето на примеркувањето беше во согласност со спецификациите на Radiello®, кои препорачуваат периоди на изложеност до 30 дена. Пропусните волумени за белото дифузно тело со екстракција со растворувач се движат помеѓу 70 000 и 80 000 $\mu g/m^3$, што обезбедува занемарлива заситеност под условите на студијата.[90] Понатаму, Zimmerman и соработниците потврдија стабилност на VOCs во овие примерокувачи до еден месец, со прифатливи граници на %Bias.[91] Некои соединенија можат да се разложат или полимеризираат за време на земањето примероци, што претставува позната ограниченост на пасивното следење на VOCs.[106,107]

На крајот на секој период на примерквување, картриџите беа запечатени во стаклени цевки и транспортирани во лабораторијата на ладно (4 °C), каде што беа складирани на 4 °C и анализирани во рок од една недела за да се зачува интегритетот на адсорбираните VOC. Десорпцијата се вршеше со додавање на 2 mL дихлорометан (DCM, ≥ 99,8%, стабилизиран со амилен) директно во цевката што го содржи картриџот, по што следуваше умерено мешање на собна температура 30 минути. Потоа екстрактот беше префрлен во садчиња за GC–MS анализа.

Иако производителот препорачува јаглерод дисулфид (CS_2) како растворувач за екстракција, беше избран DCM поради поголемата ефикасност при екстракцијата на VOC. Неговата умерена поларност, силната способност за растворање на хидрофобни соединенија и поволната испарливост (температура на вриење: 39,6 °C) го прават идеален за ефикасна екстракција и рано елиуирање во GC. Претходни студии кои ја споредуваат ефикасноста на екстракција на DCM и CS_2 за BTEX соединенија покажаа дека DCM

обезбедува податоци кои се понадежни и порепродуцибилни, особено поради намалувањето на деформацијата на пиковите на поларни стационарни фази.[108,109]

Анизол (метил фенилен етер) беше избран како внатрешен стандард поради неговото добро дефинирано ретенциско време, хемиска стабилност, неактивност под применетите аналитички услови и економичност. Тој создава јасен и стабилен пик при GC–MS анализа без мешање со целните VOC, што го прави исклучително погоден за релативна квантфикација. Користењето на внатрешен стандард е неопходно за корекција на аналитички варијации, како што се ефикасноста на екстракција, волуменот на инјектирање и одговорот на инструментот. Во мониторингот спроведен низ Северна Македонија и Косово, одржувањето на константна концентрација на анизол беше применето доследно за да се обезбедат репродуцибилни резултати.[109,110]

Наспроти тоа, во студијата во Милано беа користени надворешни стандарди наместо анизол. Се користеше истиот растворувач за екстракција (DCM, ≥99,8%, стабилизиран со амилен; Merck KGaA, Darmstadt, Германија). Се користеше стандардна смеса од линеарни алкани во опсег од C_8 до C_{20} (40 mg/L во хексан; Sigma-Aldrich, Merck KGaA, Германија) за пресметка на ретенциски индекси (RIs) со цел да се поддржи идентификацијата на соединенијата преку гасна хроматографија.

За точна идентификација и полуквантитативно определување, поединечни надворешни стандарди на избрани VOCs беа подготвени во DCM. Избраните VOCs стандарди користени во студијата во Милано вклучуваа:

- **Ароматични јаглеводороди:** толуен (≥99,5%), *m*-ксилен (≥99,5%) и *p*-ксилен (≥99,5%);
- **Терпени и оксигенирани монотерпени:** (±)-цитронелал (≥95%, расцемска смеса), (*R*)-(+)-лимонен (≥99%, енантиомерски збогатен), γ-терпинен (≥97%), *α*-пинен (≥98%), (–)-β-пинен (≥99%), (–)-β-цитронелол (≥98,5%, енантиомерски збогатен), (–)-терпинен-4-ол (≥95%), цинеол (≥99%) и терпинеол (60–85%, смеса на позициски изомери);
- **Други оксигенирани VOC:** бутил ацетат (≥99,7%) и дибутил фталат (≥98%).

Сите референтни соединенија беа набавени од Sigma-Aldrich (Merck KGaA, Darmstadt, Германија), освен цинеолот, кој беше набавен од Janssen Chimica (Geel, Белгија).

Со оглед на полуквантитативниот опсег на студијата, не беа изработени целосни калибрациски криви за секое соединение. Наместо тоа, за повеќето VOCs беше применет пристап на калибрација со една точка. Лимоненот беше избран како репрезентативно

соединение за повеќето точки на калибрација, подготвен во концентрации од 0,000189 mg/L до 0,30312 mg/L, со коефициенти на корелација (R^2) доследно над 0,995. Полуквантитативните проценки за сите други соединенија беа извршени користејќи стандарди со една концентрација, претпоставувајќи слични одговори на детекторот.

Каде што аналитички стандарди не беа достапни, проценетите фактори на одговор (RFs) беа пресметани користејќи структурно слични соединенија, вклучувајќи алкани (C_8–C_{20}) и други стандарди достапни во оваа студија. Овој пристап ја зголеми сигурноста на полуквантитативните проценки и овозможи пресметка на приближни концентрации за сите детектирани VOCs без аналитички стандарди, врз основа на нивните релативни одговори на детекторот.

За да се обезбеди сигурноста на податоците, беа применети ригорозни мерки за контрола на квалитетот, вклучувајќи празни и негативни контроли пред секоја серија на земање примероци. Слепите проби се користеа за откривање на евентуална контаминација од растворувачот, додека негативните контроли беа подготвени користејќи неискористени Radiello® картриджи, третирани идентично како реалните примероци, со што се обезбедуваше откривање на било каква контаминација за време на ракувањето, десорпцијата или анализата. Секој примерок беше анализиран во дупликат за да се провери репродуцибилноста и аналитичката конзистентност.

Покрај примеркувањето на амбиентален воздух во прекуграничната студија спроведена во Северна Македонија и Косово, во април 2022 година беа собрани примероци на бензин и дизел гориво од различни бензински пумпи во рамките на регионот на студијата. Овие примероци на гориво беа складирани во контејнери затворени со тефлон, веднаш ладејќи ги на 4 °C, и анализирани користејќи статична хедспејс гасна хроматографија со масена спектрометрија (SHS–GC–MS). Овој аналитички метод овозможи карактеризација на лесно испарливите компоненти на горивото и нивниот потенцијален придонес кон релативното присуство на атмосферските VOCs во мониторинг зоните.

Понатаму, за подобра оценка на придонесот на потрошувачките производи кон загадувањето на внатрешниот воздух во студијата во Милано, беа карактеризирани емисиите на VOCs од 17 детергенти за чистење во домаќинства и 21 производи за лична нега кои се често користат на локациите за внатрешен мониторинг. 10 mL од секој производ беше пренесен во стаклен сад од 300 mL кој содржеше Radiello® картридж сместен во бело дифузно тело. Садовите беа херметички запечатени и загревани во водна бања на 50 °C за еден час, што овозможи испарување на VOCs и нивна последователна

адсорпција на картриджот. По периодот на изложеност, картриджите беа третирани и анализирани идентично како вистинските примероци на воздух со GC–MS.

Овој пристап овозможи полуквантитативна оценка на распределбата по категории и релативното присуство на VOCs кои ги испуштаат производите. Преку симулирање на реални внатрешни услови, овој пристап овозможи идентификација на потенцијалните извори на емисии и нивниот релативен придонес кон нивото на VOCs во внатрешниот воздух на мониторинзираните локации.

3.1.3. GC–MS анализа

Во прекуграничната студија спроведена во Северна Македонија и Косово, VOCs соединенијата собрани со пасивни примероци на воздух беа анализирани со користење на гасен хроматограф Agilent 6890N спрегнат со масен спектрометар со еден квадрупол 5975B (MSD). Оваа конфигурација обезбедува висока чувствителност, робусност и можност за детекција на широк спектар на органски соединенија во сложени еколошки матрици.[7,67,96] Сепарацијата беше постигната со користење на HP–5MS капиларна колона (30 m × 250 µm, дебелина на филмот 0,25 µm, Agilent Technologies Inc.), со стационарна фаза од (5%-фенил)-метилполисилоксан, избрана поради нејзиниот неполарен карактер и висока хроматографска резолуција. Хелиум (чистота > 99,999%) беше користен како мобилна фаза со постојан проток од 1 mL/min.

Температурната програма на GC печката беше дизајнирана за оптимална сепарација: почетно задржување на 35 °C во траење од 5 минути за десорпцијата на аналитите, потоа зголемување на температурата до 90 °C со стапка од 5 °C/min и задржување од 3 min, следено со зголемување до 280 °C со стапка од 10 °C/min и задржување од 2 min, а на крајот зголемување до 300 °C со 5 °C/min. Температурата на инјекторот беше поставена на 240 °C, и беше инјектиран примерок од 2 µL во неразделен режим за да се максимизира чувствителноста за VOCs со ниска концентрација. Електронска јонизација беше користена при 70 eV, со температура на изворот на јони 230 °C и квадруполот на 150 °C. Масените спектри беа регистрирани во *m/z* опсег од 35–500. Вкупното време на анализа по примерок изнесуваше 40 – 41 минута.

За примероците од внатрешниот воздух, температурата на инјекторот беше прилагодена на 250 °C, а 2 µL од секој примерок беа инјектирани во разделен режим со сооднос од 1:2, со цел да се постигне рамнотежа помеѓу чувствителноста и формата на пиковите за соединенијата присутни во различни концентрации.

Примероците од бензин и дизел гориво собрани од бензински пумпи во прекуграничниот регион во Северна Македонија и Косово беа анализирани со користење на Agilent 7697A хедспејс автопримеркувач спрегнат со GC–MS системот. По 1,0 μL од секој примерок од гориво беа ставени во хедспејс садче од 22 mL, запечатена со септум и загревана на 145 °C во времетраење од 15 минути за да се овозможи испарување на VOCs. Хедспејс јазолот беше одржувана на 150 °C со притисок на полнење од 15 psi и време на полнење од 0,25 минути. Трансферната линија кон GC–MS беше поставена на 160 °C. Примероците потоа беа воведени во GC–MS со примена на истиот метод како и при инјектирањето на примероците од воздух.

Во студијата спроведена во Милано, VOCs собрани од внатрешните и надворешните примероци на воздух беа анализирани со употреба на гасен хроматограф Bruker SCION 436–GC спрегнат со единечен квадруполен масен спектрометар (Bruker Corporation, Techcomp, Fulton, MD, САД). Хроматографската сепарација беше постигната на капиларна колона Zebron ZB-SemiVolatiles (должина 30 m × внатрешен дијаметар 0,25 mm × дебелина на филмот 0,25 μm; Phenomenex, Bologna, Италија). Сите инструментални параметри (програма на печката, мобилна фаза, начин на инјектирање, EI, *m/z* опсег) беа одржани идентични со условите применети за примероците од надворешниот воздух во Северна Македонија и Косово, со цел да се обезбеди конзистентност и споредливост на податоците за VOCs меѓу регионите на истражувањето.

Во студијата спроведена во прекуграничниот регион меѓу Северна Македонија и Косово, беше применета полуквантитативна метода заснована на површините на хроматографските пикови за да се процени релативната застапеност на VOCs соединенијата, поради недостапноста на надворешни стандарди. Овој пристап е широко применуван во истражувањата на VOCs во животната средина, особено кога главната цел е проценката, карактеризацијата и споредбата на релативната распределба на групите на VOCs во рамките на поединечни примероци и меѓу различни локации на земање примероци, а не утврдувањето на нивните апсолутни концентрации.[111]

Идентификацијата на соединенијата во примероците на внатрешен и надворешен воздух, бензин и дизел гориво беше извршена со користење на масен спектрален регистар NIST MS Search 2.0 од 2005 година. Сигурната идентификација беше обезбедена преку споредување на спектрите на примероците со референтните спектри, при што само соединенијата со веројатност на поклопување поголема од 85% беа вклучени во финалниот сет на податоци.

Релативната застапеност на секое VOC беше пресметана со делење на површината под неговиот хроматографски пик со вкупната површина на сите детектирани VOCs во истиот примерок. Резултатот потоа беше помножен со 100 за да се изрази уделот на соединението како процент од вкупниот VOCs профил. Оваа процедура дава вредности на релативна застапеност, а не апсолутни концентрации, овозможувајќи значајни споредби помеѓу примероците, олеснувајќи одредување на изворите и поддржувајќи ја проценката на временските обрасци. Тоа претставува ефикасна и репродуцибилна стратегија за профилирање на VOCs во сложени матрици на внатрешен и надворешен воздух, што беше особено релевантно во оваа студија поради ограничената достапност на надворешни стандарди.

Наспроти на тоа, во студијата спроведена во Милано, полуквантитативната проценка на VOCs во примероците на внатрешен и надворешен воздух беше извршена со користење или на методот со надворешен стандард, или на методот со фактор на одговор. Конкретно, концентрацијата на секое соединение во екстрактот задржан на картриджот беше пресметана користејќи ја Равенка (1) и Равенка (2).[112]

$$c(C) = c(ES)\ \frac{A(C)}{A(ES)} \qquad (1)$$

$$m(C) = c(C) \cdot V \cdot M(C) \qquad (2)$$

Каде: c(C) – концентрација на соединението; c(ES) – концентрација на надворешниот стандард; A(C) – површина на пикот на соединението; A(ES) – површина на пикот на надворешниот стандард; V – волумен на екстрактот; M(C) – моларна маса на соединението.

За соединенија за кои немаше достапни стандарди, полуквантитативните концентрации беа проценети користејќи или надворешен стандард со слични хемиски и физички својства, или фактор на одговор.

Експериментално определената маса на секое соединение потоа се користеше за пресметка на неговата полуквантитативна концентрација во воздух со користење на Равенка (3). Оваа пресметка ги вклучува параметрите кои влијаат на стапката на апсорпција на аналитот. Точното определување на просечните концентрации на аналитот со времески нормализиран фактор за даден период на изложеност бара познавање на стапката на земање примероци (Q) на пасивниот примеркувач.

Во оваа студија, стапките на земање примероци наведени во официјалното упатство на производителот Radiello® и измерени под стандардни услови (25 °C и

1013 hPa), беа применети во сите пресметки. Поради технички ограничувања, вклучувајќи ја и недостапноста на опрема за мерење на температурата на локациите за земање примероци, корекција за температура не беше применета. Така, полуквантитативните концентрации беа проценети со претпоставка за постојани стапки на земање примероци при 25 °C.

$$c(\mu g/m^3) = \frac{m(\mu g)}{Q_{(mL/min)} \cdot t_{(min)}} \times 10^6 \qquad (3)$$

каде: c – концентрација на аналитот во амбиенталниот воздух (μg/m^3); m – маса на аналитот (μg); Q – брзина на собирање на примерокот (mL/min); t – време на изложеност (min).[90]

Стапките на земање примероци (Q) за секое VOC беа земени од упатството на Radiello®.[90] За соединенија кои не се наведени во упатството, беа применети стапки на земање примероци на хемиски слични соединенија.

Сепак, постојат неколку ограничувања поврзани со овие полуквантитативни методи за карактеризација. Прво, недостигот на сертифицирани аналитички стандарди за многу VOCs детектирани како во надворешниот, така и во внатрешниот воздух ја ограничува точноста на квантитативната анализа. Главното ограничување на овие методи е што тие обезбедуваат релативна квантитативна оценка на концентрациите, а не апсолутни вредности, кои се потребни за прецизни процени на здравствениот ризик од детектираните VOCs. Дополнително, недостигот на опрема за мерење на фактори на животната средина, како што се температура, влажност и проток на воздух на локациите за земање примероци, воведува дополнителна неизвесност. Овие фактори можат да влијаат на стапките на апсорпција на VOCs од страна на пасивните примеркувачи, што потенцијално предизвикува варијабилност и пристрасност во резултатите.

ГЛАВА 4

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Резултатите презентирани во оваа глава ја истакнуваат хемиската разновидност на VOCs детектирани во трите мониторирани региони. За полесно толкување на нивниот хемиски состав и потенцијалните извори на емисии, идентификуваните VOCs беа систематски групирани во главни хемиски класи: алифатични и ароматични јаглеводороди, терпени, органосилоксани, алкохоли и етери, алдехиди и кетони, естери и халогенирани соединенија. Дополнително, беше воведена нова класа, разни соединенија, за да се категоризираат VOCs кои претходно не беа класифицирани во внатрешниот воздух за време на студијата Северна Македонија – Косово.

Релативната застапеност на секоја хемиска класа во поединечните примероци е изразена како процент од вкупниот VOCs сигнал, обезбедувајќи јасен преглед на уделот на секоја група кон вкупниот VOCs профил. Во студијата во Милано, VOCs соединенијата беа оценети полуквантитативно, при што концентрациите беа прикажани во микрограми на кубен метар ($\mu g/m^3$).

4.1. Надворешен воздух во прекуграничниот регион меѓу Северна Македонија и Косово

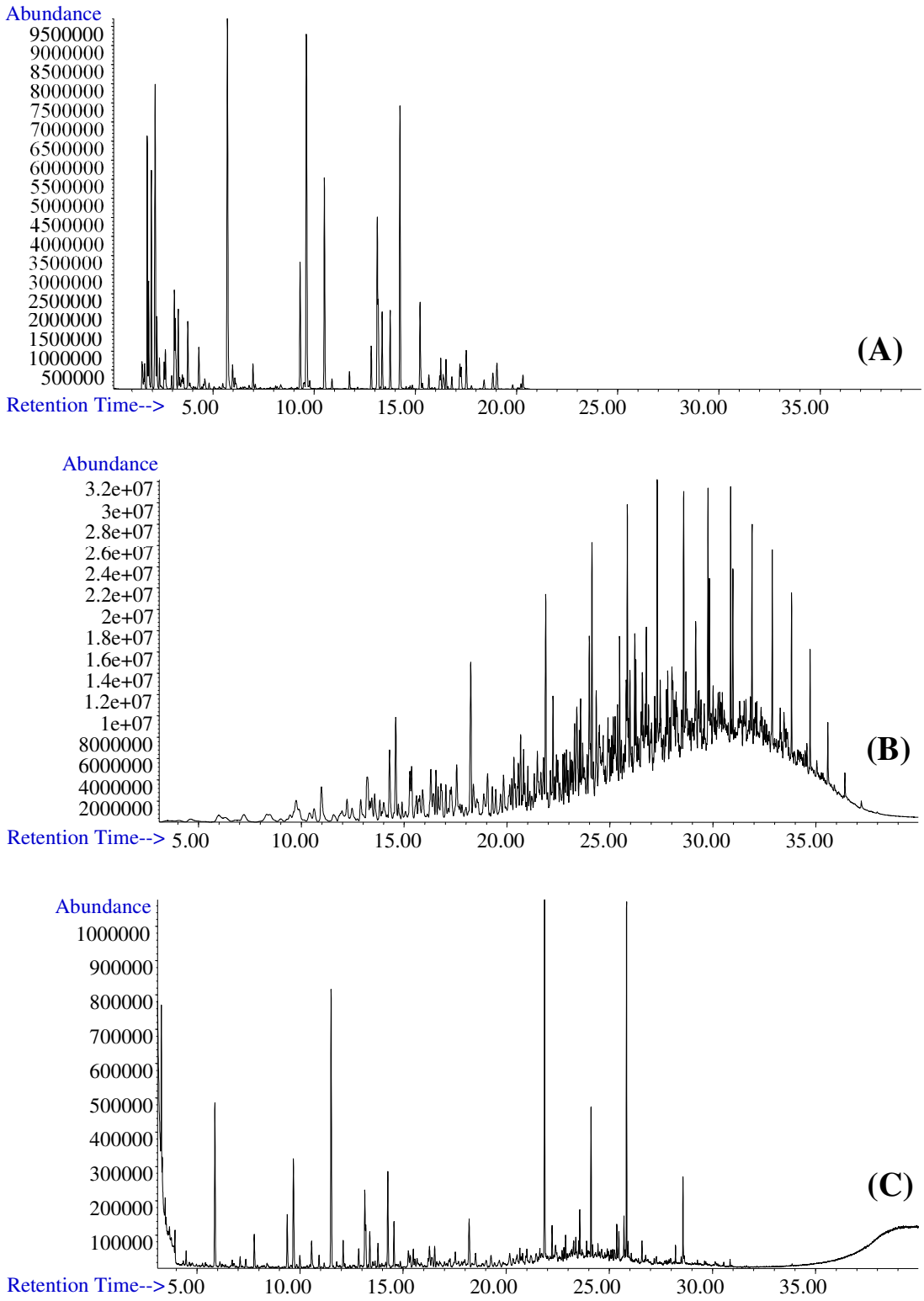
Примероци на комерцијален бензин и дизел горива беа собрани во април 2022 година од главните бензински станици сместени на истите локации каде што беше спроведено мониторирање на надворешниот воздух. Овие станици беа избрани врз основа на нивното широко присуство на пазарот за да се обезбеди репрезентативност на најчесто користените горива како во Северна Македонија, така и во Косово. Овој пристап овозможи директна споредба на составот и релативната застапеност на VOCs помеѓу примероците на гориво и амбиенталниот воздух, обезбедувајќи увид во потенцијалниот придонес на изворите. Идентификуваните VOCs во примероците на гориво беа класифицирани во истите хемиски класи како оние пронајдени во надворешниот воздух, овозможувајќи конзистентна проценка на сличностите во составот помеѓу различните типови на примероци.

Сликите 5 и **6** заедно обезбедуваат сеопфатен преглед на составот на VOCs во примероците на бензин, дизел и амбиентален воздух собрани во април 2022 година. **Слика 5** прикажува репрезентативни хроматограми за секој тип на примерок (панели A – C), при што доминирачките пикови на VOCs забележани во овие панели одговараат на соединенијата наведени со нивните ретенциски времиња во **Табела 4.** На **Слика 6** е

прикажана релативната застапеност на VOCs групирани по хемиска класа во секоја матрица. За амбиенталниот воздух, податоците ја претставуваат просечната релативна застапеност на сите мониторирани локации во април 2022 година, додека за бензинот и дизелот, вредностите ја одразуваат средната релативна застапеност од сите анализирани примероци на гориво.

Примероците на бензин главно се карактеризираа со висок удел од ароматични јаглеводороди и алифатични соединенија со мала молекулска маса, што е во согласност со составот на лесните нафтени фракции (C_5 – C_{10}). Примероците на дизел, пак, покажаа поголем удел на виши алкифатични алкани, што укажува на потешки нафтени дестилати. Слични групи на VOCs беа идентификувани и во примероците на амбиенталниот воздух, каде алифатичните јаглеводороди и ароматичните јаглеводороди заедно сочинуваа околу 84% од вкупната релативна застапеност на VOCs. Оваа споредбена оценка на релативната застапеност го истакнува значителното влијание на емисиите поврзани со горивата врз квалитетот на урбаниот воздух.

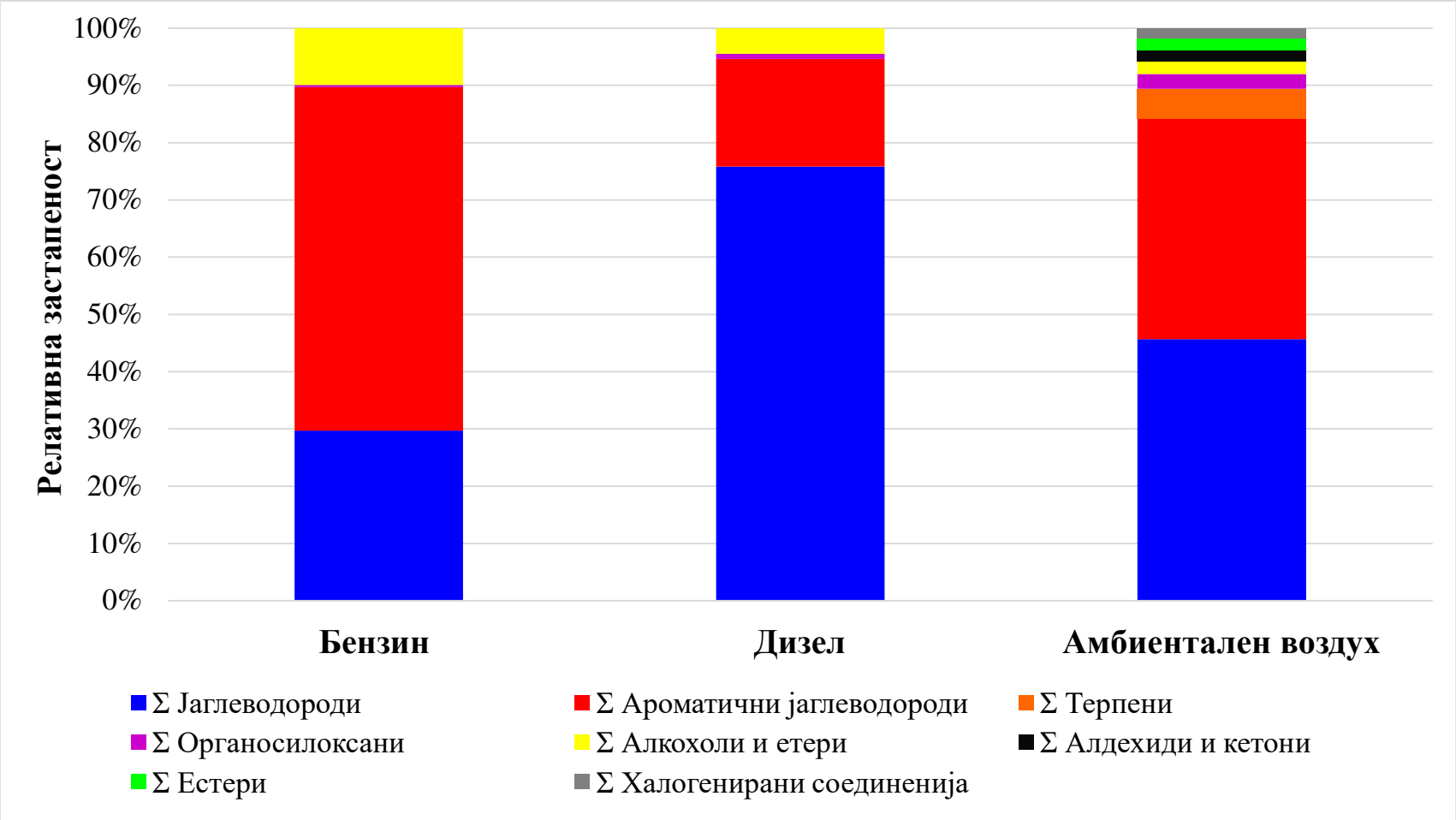
За да се обезбеди сеопфатен преглед на VOCs профилите во амбиенталниот воздух, на **Слика 7** се прикажани репрезентативни хроматограми од девет локации низ целата област што беше истражувана. Секој хроматограм го илустрира карактеристичниот VOCs состав уникатен за соодветната локација. За да се испитаат сезонските динамики, на **Слика 8** е прикажана релативната застапеност на групите на VOC, што овозможува директна споредба на сезонските варијации како помеѓу различните локации, така и во рамките на поединечните локации за времетраењето на пролетта (април–јуни), летото (јули–септември) и есента (октомври–декември). Истиот сет на резултати е достапен и во форма на табели во Додаток 1, во **табелите А10** и **А11**. Овој пристап овозможува систематско и длабинско разбирање на просторно-временската променливост во распределбата на VOCs групите низ целата истражувана област.



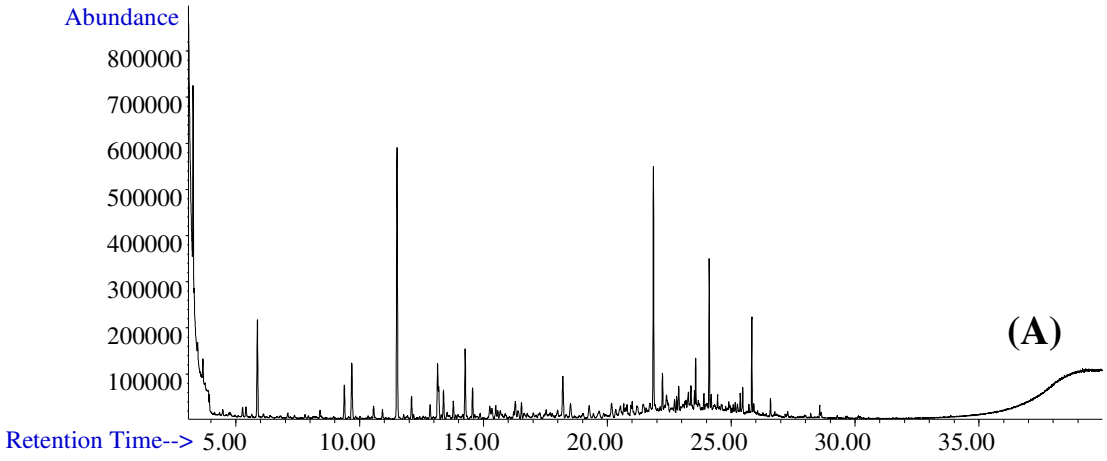
Слика 5. Репрезентативни хроматограми добиени од GC–MS анализи кои ги илустрираат VOCs профилите во **(A)** бензин, **(B)** дизел и **(C)** амбиентален воздух, базирани на примероци собрани во април 2022 година од девет мониторинг локации во прекуграничниот регион помеѓу Северна Македонија и Косово. Доминирачките пикови забележани во хроматограмите (A – C) одговараат на идентификуваните соединенија, чии називи и ретенциски времиња се дадени во Табела 4.

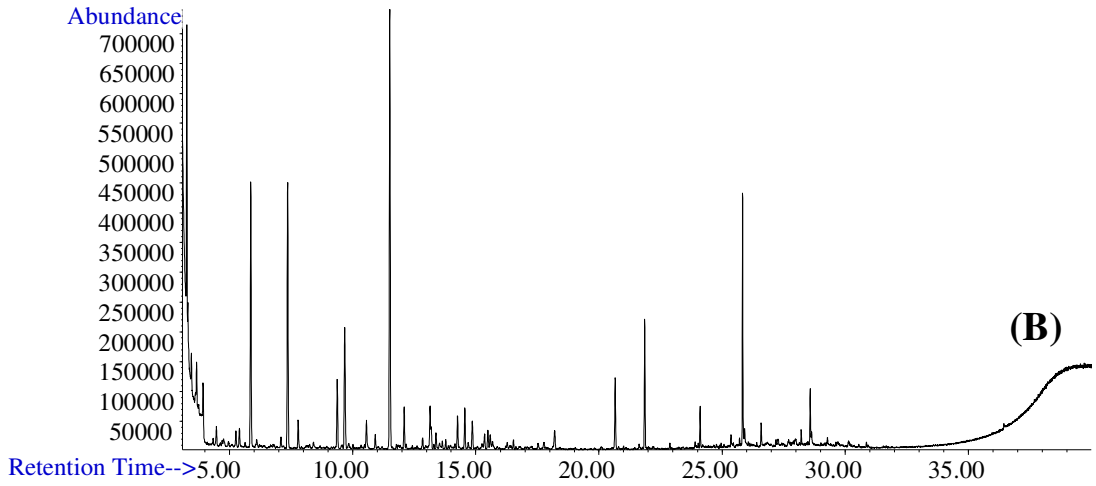
Табела 4. Доминантни VOCs и нивното ретенциско време (t_R) во примероци на бензин, дизел и амбиентален воздух, врз основа на репрезентативните хроматограми прикажани на Слика 5.

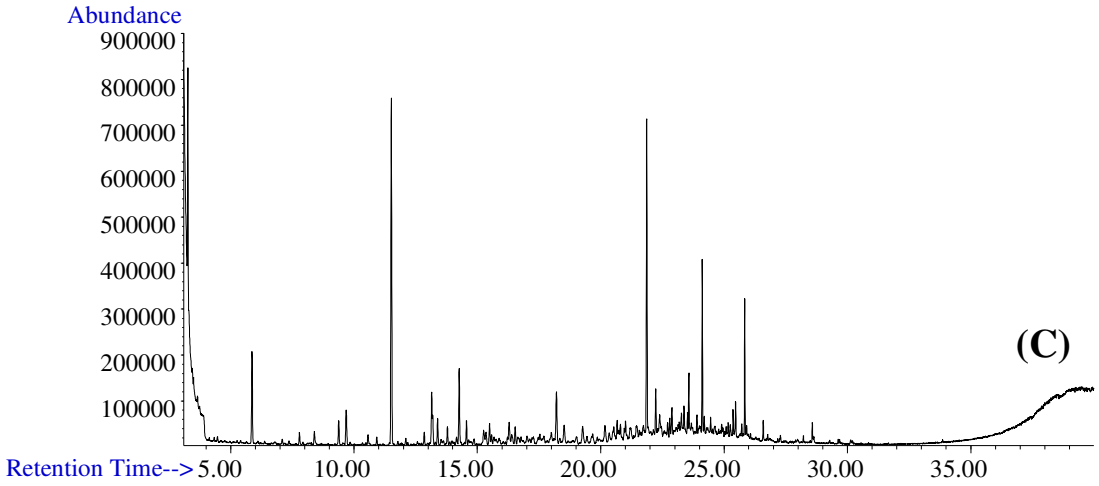
Бензин			Дизел		Амбиентален воздух	
Бр.	**t_R (min)**	**Соединение**	**t_R (min)**	**Соединение**	**t_R (min)**	**Соединение**
1.	1,751	2-Метилбутан	10,982	*n*-Нонан	3,28	Бензен
2.	1,826	*n*-Пентан	13,218	1-Етил-3-метилбензен	3,943	*n*-Хептан
3.	1,96	2,2-Диметилбутан	14,287	1,2,3-Триметилбензен	5,879	Толуен
4.	2,142	2-Метокси-2-метилпропан	14,592	*n*-Декан	7,789	*n*-Бутил ацетат
5.	2,233	3-Метилпентан	16,298	1-Метил-2-пропилбензен	9,383	Етилбензен
6.	2,361	*n*-Хексан	17,555	1-Метил-2-изопропилбензен	9,688	*(p + m)*-Ксилен
7.	2,591	2-Етокси-2-метилпропан	18,24	*n*-Ундекан	10,57	*o*-Ксилен
8.	2,65	Метилциклопентан	20,663	1,2,3,4-Тетрахидронафтален	11,512	Анизол (внатрешен стандард)
9.	3,094	Бензен	21,883	*n*-Додекан	12,1	*α*-Пинен
10.	3,142	2-Метилхексан	22,236	2,6-Диметилундекан	12,849	*n*-Пропилбензен
11.	3,286	3-Метилхексан	23,391	1,2,3,4-Тетрахидро-6-метилнафтален	13,148	1-Етил-3-метилбензен
12.	3,757	*n*-Хептан	23,995	2-Метилнафтален	13,389	1,3,5-Триметилбензен
13.	4,303	Метилциклогексан	24,129	*n*-Тридекан	13,785	1-Етил-2-метилбензен
14.	5,715	Толуен	24,332	1-Метилнафтален	14,266	1,2,3-Триметилбензен
15.	5,972	3-Метилхептан	25,466	2,6,10-Триметилдодекан	14,56	*n*-Декан
16.	6,977	*n*-Октан	25,846	*n*-Тетрадекан	15,256	1-Етил-4-метилбензен
17.	9,304	Етилбензен	25,969	2,6-Диметилнафтален	15,496	Лимонен
18.	9,614	*(p + m)*-Ксилен	26,204	1,7-Диметилнафтален	16,283	1-Метил-2-пропилбензен
19.	10,507	*o*-Ксилен	26,766	*n*-Пентадекан	16,529	2-Етил-1,4-диметилбензен
20.	12,818	*n*-Пропилбензен	27,295	*n*-Хексадекан	18,208	*n*-Ундецан
21.	13,117	1-Етил-3-метилбензен	28,012	Циклопентадекан	20,176	Декахидро-2-метилнафтален
22.	13,358	1,3,5-Триметилбензен	28,584	*n*-Хептадекан	21,861	*n*-Додекан
23.	13,759	1-Етил-2-метилбензен	29,167	2,6,10-Триметилпентадекан	22,23	2,6-Диметилундецан
24.	14,241	1,2,3-Триметилбензен	29,767	*n*-Октадекан	22,883	*n*-Хексилциклогексан
25.	15,23	1-Етил-4-метилбензен	29,831	2,6,10,14-Тетраметилпентадекан	23,38	2-Метилдодекан
26.	16,252	1-Метил-2-пропилбензен	30,868	*n*-Нонадекан	23,573	7-Метилтридекан
27.	16,369	1-Метил-4-пропилбензен	30,97	2,6,10,14-Тетраметилхексадекан	24,113	*n*-Тридекан
28.	16,514	2-Етил-1,4-диметилбензен	31,906	*n*-Еикосан	25,359	4-Метилтетрадецан
29.	17,198	1-Етил-2,4-диметилбензен	32,89	*n*-Хенеи косан	25,461	2,6,10-Триметилдодекан
30.	17,257	1-Етил-3,5-диметилбензен	33,826	*n*-Докусан	25,712	Циклотетрадецан
31.	17,514	1,2-Диметил-4-етилбензен	34,725	*n*-Трикосан	25,835	*n*-Тетрадецан
32.	19,028	1,2,3,5-Тетраметилбензен	35,586	*n*-Тетракосан	28,574	*n*-Хептадекан

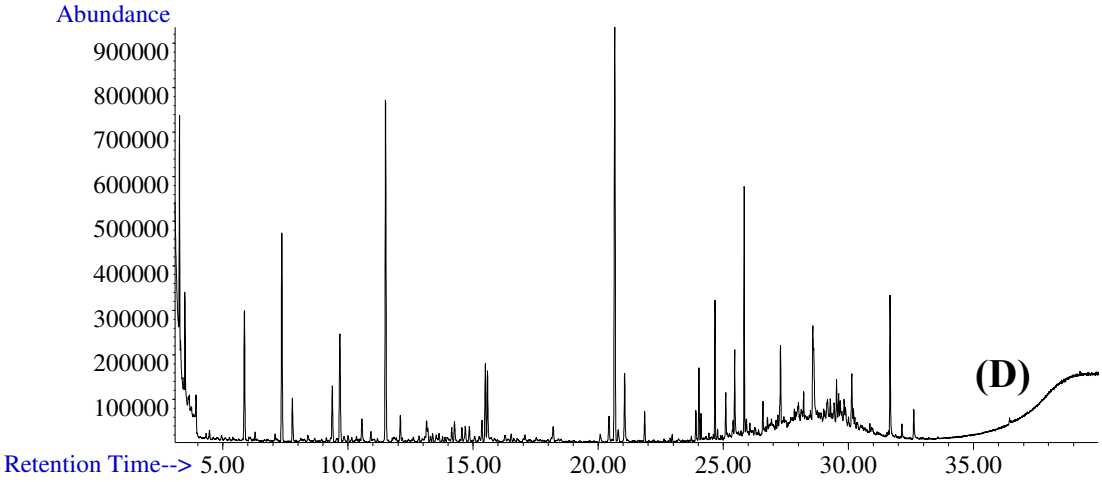


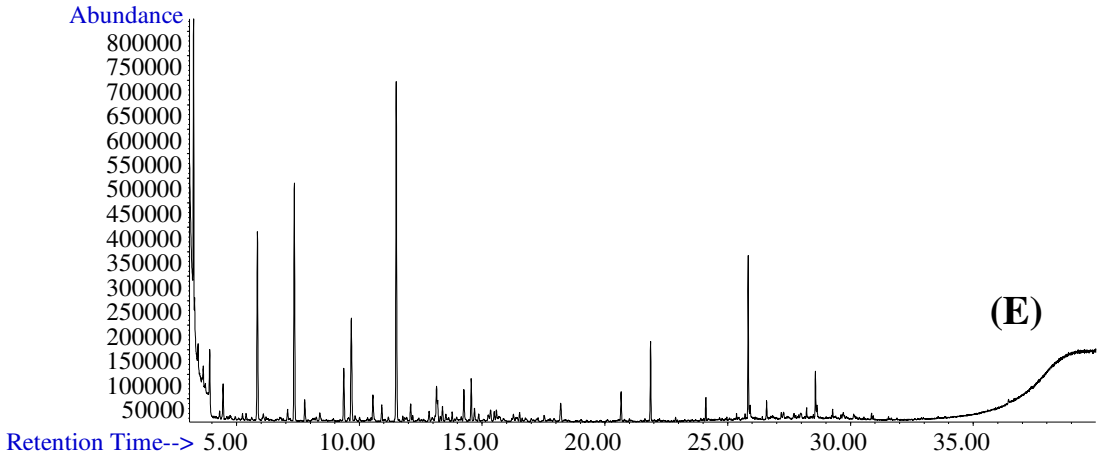
Слика 6. Слоен дијаграм со колони кој споредува просечната релативна застапеност (%) на секоја група на VOCs откриени во примероците од бензин, дизел и амбиентален воздух, врз основа на GC–MS анализи. Мерењата на амбиенталниот воздух се изведени од Radiello® примероци собрани во април 2022 година од девет мониторинг локации во прекуграничниот регион помеѓу Северна Македонија и Косово.[101]

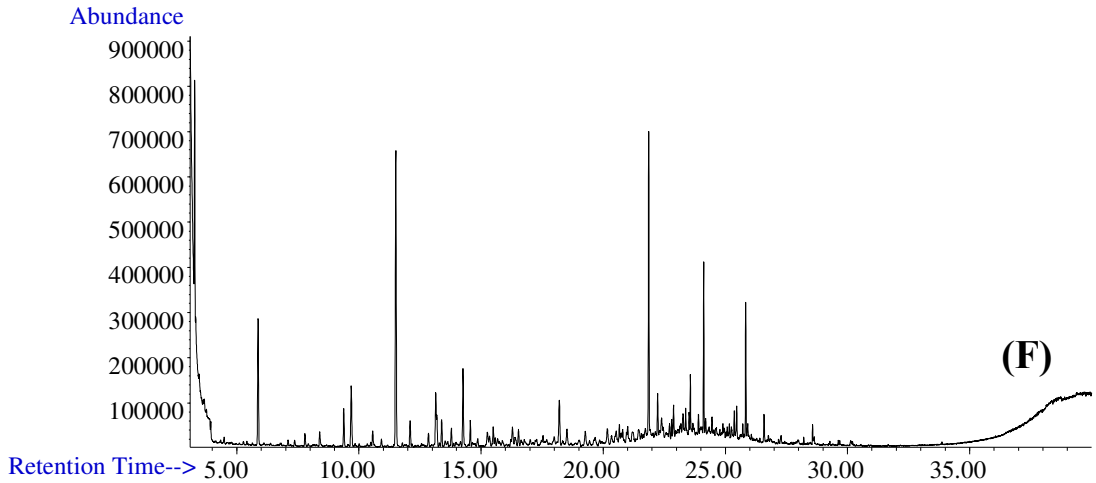

Abundance
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
100000
(A)
Retention Time--> 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00 30.00 35.00

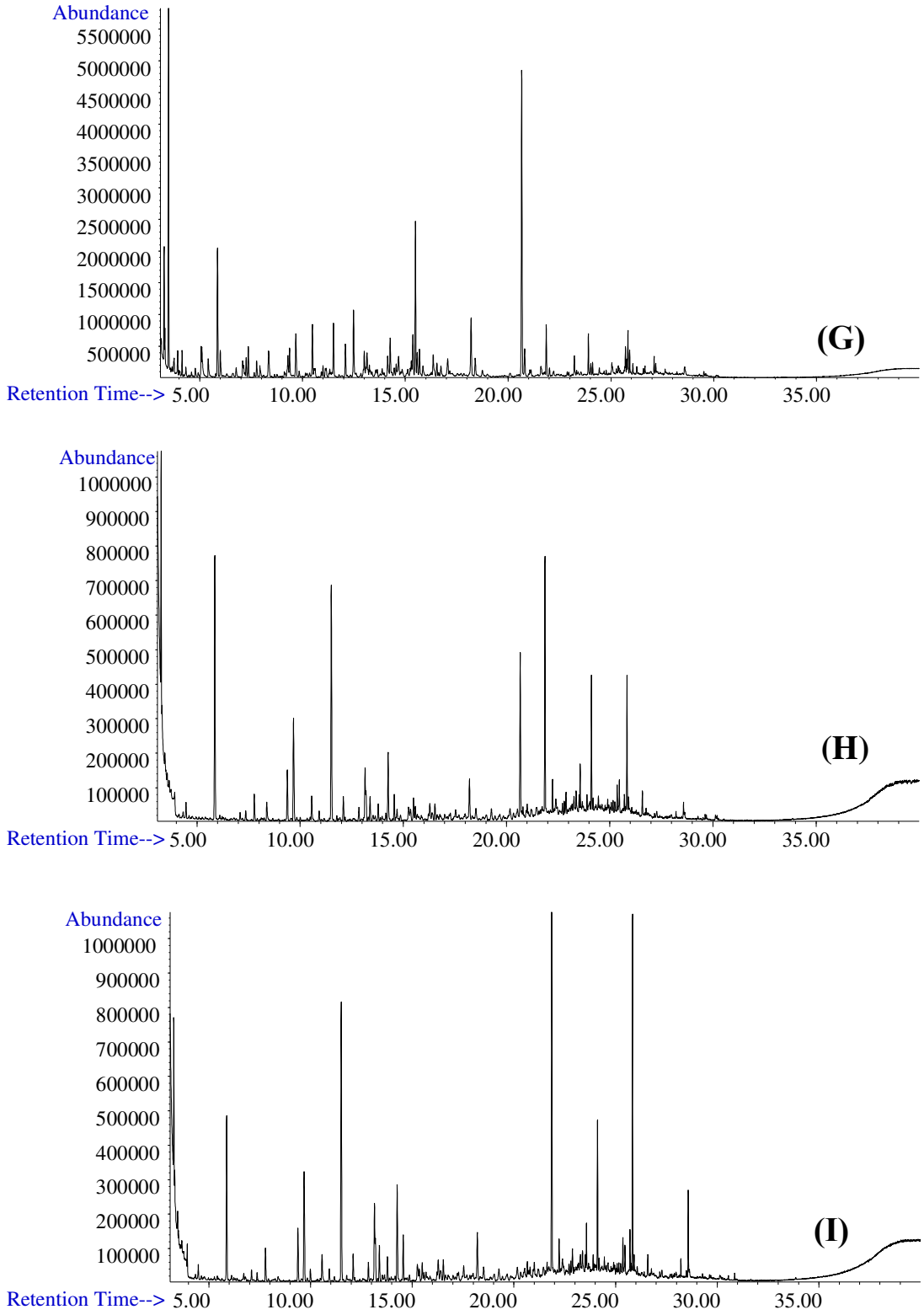

Abundance
700000
650000
600000
550000
500000
450000
400000
350000
300000
250000
200000
150000
100000
50000
(B)
Retention Time--> 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00 30.00 35.00


Abundance
900000
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
100000
(C)
Retention Time--> 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00 30.00 35.00

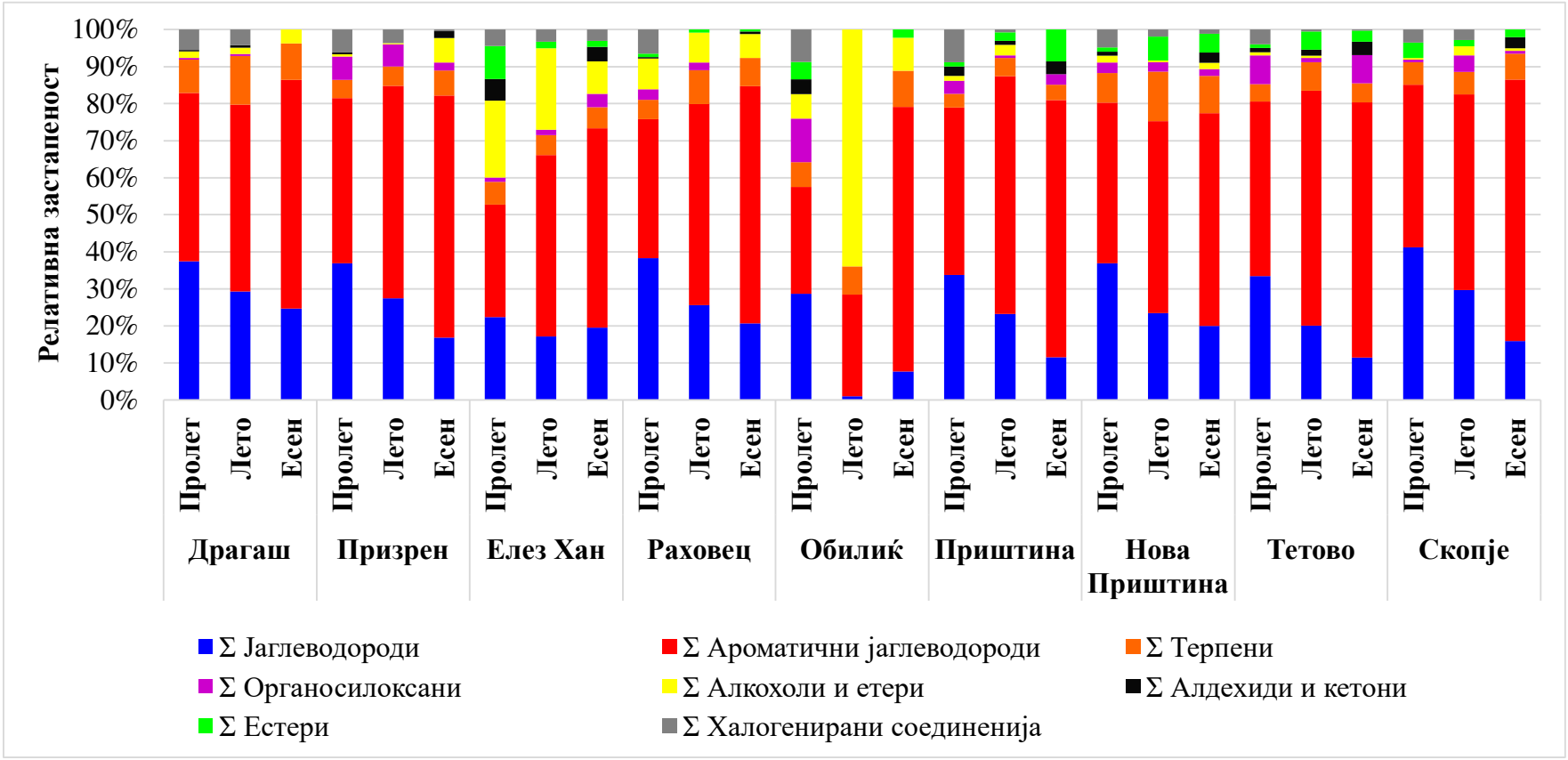

Abundance
900000
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
100000
(D)
Retention Time--> 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00 30.00 35.00


Abundance
800000
750000
700000
650000
600000
550000
500000
450000
400000
350000
300000
250000
200000
150000
100000
50000
(E)
Retention Time--> 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00 30.00 35.00


Abundance
900000
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
100000
(F)
Retention Time--> 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00 30.00 35.00



Слика 7. Репрезентативни хроматограми на VOCs во амбиентален воздух од девет мониторинг локации низ целата студиска област, добиени со пасивно земање примероци користејќи Radiello® самплери и анализирани со GC–MS. Локациите се означени како што следува: **(A)** Драгаш, **(B)** Призрен, **(C)** Раховец, **(D)** Обилиќ, **(E)** Приштина, **(F)** Нова Приштина, **(G)** Елез Хан, **(H)** Тетово и **(I)** Скопје.



Слика 8. Сезонски варијации во релативната застапеност (%) на групите на VOCs, добиени преку анализа со GC–MS на примероци собрани со пасивни примеркувачи Radiello® на девет локации за мониторинг во Северна Македонија и Косово во периодот од април до декември 2022 година. Средните релативни застапености се прикажани за пролет (април–јуни), лето (јули–септември) и есен (октомври–декември), при што се потенцираат сезонските трендови и можните извори на емисија.[101]

Како што е прикажано на **Слика 8**, сезонската анализа на деветте надворешни локации за мониторинг покажува конзистентна доминација на ароматични јаглеводороди и алифатични јаглеводороди во профилот на VOCs во амбиенталниот воздух. Просечно, овие две хемиски класи сочинуваат приближно 77% од вкупната релативна застапеност во текот на периодот на мониторинг (април–декември 2022), при што ароматичните јаглеводороди придонесуваат со 52,59%, а алифатичните јаглеводороди со 24,24%. Овие просечни вредности ги претставуваат податоците агрегирани од сите локации за мониторинг и сезони.

Овие резултати се во согласност со наодите од други урбани средини низ светот. На пример, студиите во Најроби и Лагос, Нигерија, исто така идентификуваа ароматични јаглеводороди, особено бензен и толуен, како доминантни VOCs, нагласувајќи го силното влијание на емисиите од возила врз квалитетот на урбаниот воздух.[113]

Сепак, забележителен исклучок беше забележан во Обилиќ за време на летната сезона, каде релативната застапеност на алкохоли и етери достигна 63,95%, во споредба со 6,53% во пролет и 8,88% во есен. Овој нетипичен пораст веројатно е поврзан со краткорочни локални настани, можеби поврзани со сезонски активности на одржување или чистење и веројатно засилени од повисоките летни температури. Овие набљудувања укажуваат на епизодни локални извори и ја истакнуваат потребата од понатамошно краткорочно, специфично за изворот мониторирање за точно определување на нивното потекло, фреквенција и потенцијално влијание врз животната средина.

Сезонската анализа понатаму откри контрастна временска еволуција помеѓу алифатичните и ароматичните јаглеводороди. Во пролет, алифатичните јаглеводороди покажаа значително повисока релативна застапеност, додека ароматичните јаглеводороди беа споредбено пониски. Овој тренд се промени за време на летото и есента, при што ароматичните јаглеводороди постепено се зголемуваа и достигнаа својот врв на релативна застапеност во есента.

Овие сезонски динамики веројатно ја одразуваат комбинацијата на регионалните климатски услови и културните практики. Пролетта во Западниот Балкан се карактеризира со пониски температури, особено во раните утрински часови и ноќе, што одржува континуирана потреба за домување со греење. Широката употреба на печки на дрва, дизел греалки и системи за греење на база на нафта, кои се чести низ целиот регион, придонесува за зголемени емисии на алкани со долги низи преку непотполно согорување. Особено согорувањето на дрва е идентификувано како главен извор на

алкани со долги низи и со помала молекуларна маса *n*-алкани, кои обично се ослободуваат за време на процесите на непотполно согорување.[114]

Со порастот на температурите во лето и есен, потребата за греење се намалува, што доведува до намалување на емисиите на алифатични јаглеводороди со долги низи. Истовремено, потоплото време ја зголемува атмосферската дисперзија, додека зголемената човечка активност, туризмот и индустриската активност придонесуваат за повисоки емисии од мобилни извори. Сообраќајот, особено возилата со бензински и дизел мотори, претставува главен извор на ароматични јаглеводороди поради ароматичната содржина на горивата и непотполното согорување.[115,116] Понатаму, зголемените амбиентални температури ја поттикнуваат испарливоста на ароматичните соединенија од урбаната инфраструктура, вклучувајќи градежни материјали, растворувачи и објекти за складирање гориво, со што дополнително придонесуваат за нивното присуство во атмосферата.[3]

Во есен станува очигледен двоен ефект: емисиите поврзани со сообраќајот остануваат високи, додека постепеното повторно активирање на домашното греење повторно воведува стационарни извори на емисии. Истовремено, намаленото сончево зрачење и ослабената фотохемиска активност ја ограничуваат атмосферската деградација на ароматичните VOC, со што се зголемува нивното време на задржување во атмосферата и се олеснува нивната акумулација.[117]

Просторно, највисоките средни релативни застапености на ароматични јаглеводороди за време на деветмесечниот период на мониторинг (од април до декември 2022) беа забележани во Приштина (59,60%) и Тетово (59,81%). Овие урбани локации се карактеризираат со висока густина на сообраќај и индустриска активност. За разлика од нив, локациите како Драгаш, Раховец и Скопје покажаа VOCs профили претежно доминирани од алифатични јаглеводороди. Овој образец веројатно е поврзан со земјоделските активности кои вклучуваат употреба на дизел механизација во приградските подрачја на Драгаш (30,46%) и Раховец (28,22%), како и со стареењето на дизел возниот парк во урбаното Скопје (28,97%).

Деталната анализа на составот откри дека во Драгаш, приближно 84% од детектираните алифатични јаглеводороди се соединенија со повеќе од 10 јаглеродни атоми, додека само 16% беа составени од соединенија со помалку од 10 јаглеродни атоми. Слично на тоа, Раховец покажа висока застапеност на алифатични јаглеводороди со долга низа, при што околу 88% од идентификуваните соединенија содржеа повеќе од 10 јаглеродни атоми. Во Скопје, 64% од алифатичните јаглеводороди исто така припаѓаа

на оваа категорија. Овој модел на распределба укажува на силно влијание на емисиите поврзани со дизел горивото. Доминацијата на алифатични јаглеводороди со висока молекуларна маса ја поддржува хипотезата дека процесите на согорување, особено оние поврзани со земјоделската механизација и старите возила на дизел гориво, претставуваат клучен извор на емисии. Ниската атмосферска реактивност на овие соединенија придонесува за нивното продолжено присуство во атмосферата.

Биогените лесно испарливи органски соединенија (BVOCs), како што се терпени, се емитуваат од површините на листовите на растенијата кои содржат хлорофил за време на фотосинтеза. Емисијата на BVOCs е силно зависна од атмосферската температура. Според постоечката литература, концентрацијата на BVOCs во атмосферата се зголемува со зголемување на температурата. Како резултат на тоа, терпени имаат тенденција да бидат поизобилни во атмосферата за време на пролетта и летото, поттикнати од повисоки температури, зголемен интензитет на светлината и интензивирана активност на вегетацијата.[52,118]

Овој сезонски тренд беше конзистентен на повеќето места за мониторинг во областа на студијата. Резултатите открија јасен сезонски образец во релативната застапеност на терпени, со концентрации кои достигнуваа максимум за време на летните месеци на речиси сите локации. Меѓу сите места за мониторинг, највисоките средни релативни застапености на терпени за деветмесечниот период на мониторинг (април до декември 2022) беа забележани во Драгаш (10,65%) и Ново Приштина (10,45%). Овие вредности го претставуваат уделот на терпени во однос на вкупно идентификуваните VOCs на секоја локација.

Во Драгаш, зголемената релативна застапеност на терпени е тесно поврзана со локацијата на местото во Шар Планина, област доминирана од борови шуми богати со видови бор, кои се добро познати емитери на терпени. Природниот пејзаж, карактеризиран со минимална антропогена интервенција, веројатно го зголемува времетраењето и доминацијата на биогените извори. Наспроти тоа, зголемената релативна застапеност на терпени забележана во Нова Приштина е потешко да се објасни. Иако се наоѓа во урбан дел на Приштина, ова место постојано покажува необично висока застапеност на терпени во текот на целиот период на мониторинг. Оваа аномалија можеби ја одразува непознати локални извори, како што се дневно собирање органски отпад, тековни градежни активности или присуство на неуредена вегетација или материјали кои емитираат BVOCs при повисоки летни температури. Точниот извор останува несигурен и бара понатамошно истражување, бидејќи овој образец се разликува

од типичните профили на урбаните емисии. Овие наоди ја истакнуваат комплексната интеракција помеѓу природните и антропогените фактори кои влијаат на варијабилноста на VOCs и ја нагласуваат важноста на детална просторна анализа при оценувањето на емисиите на терпени во хетерогени средини.

Во Обилиќ и Елез Хан беше забележана поголема релативна застапеност на алкохоли и етери, со просек од 26,45% во Обилиќ и 17,21% во Елез Хан во текот на деветмесечниот мониторинг (април–декември 2022). Овие вредности го претставуваат уделот на алкохолите и етерите во однос на вкупните идентификувани VOCs на секоја локација. Зголемената релативна застапеност на алкохоли и етери е тесно поврзана со локалните индустриски активности, особено со работењето на термоелектраните на јаглен (Косово А и Б) и употребата на растворувачи. Овие извори придонесуваат за емисија на различни органски соединенија, вклучувајќи алкохоли и етери, како резултат на непотполно согорување и примена на материјали користени за одржување на опремата. Слично, во Елез Хан, индустриските активности кои вклучуваат значителни количества на растворувачи и хемикалии веројатно придонесуваат за зголемената релативна застапеност на алкохоли и етери во регионот. Овие наоди се во согласност со студии од други региони, каде индустриските активности и употребата на хемикалии се идентификувани како главни фактори за загадување на воздухот со оксидираните VOCs (OVOCs).[119–121]

Малите групи на VOCs, вклучувајќи алдехиди и кетони, органосилоксани, естери и халогенирани соединенија, беа откриени со ниска релативна застапеност, генерално под 5% од вкупните VOCs. Поради нивното ограничено присуство, овие групи не беа детално анализирани во оваа студија; сепак, нивниот придонес кон вкупната сложеност на атмосферата со VOCs останува значаен. Дополнително, комплетен сет на податоци за VOCs откриени во сите примероци собрани во текот на периодот на студијата од април до декември 2022 година, вклучувајќи поединечни површини на хроматограмите и нивната релативна застапеност (%) за секој месечен период на собирање и секоја локација на мониторинг, е обезбеден во дополнителниот дел на Анекс 1, во **табелите A1–A9**.

Односите на бензен и толуен (B/T) и ксилени и етибензен (X/E) се добро воспоставени дијагностички индикатори за проценка на фотохемиската реактивност и карактеристиките на изворите на емисија на VOCs во амбиентниот воздух. Овие односи се особено ефикасни за разликување на свежи локални емисии од стареещи воздушни

маси и за разликување на придонесот од мобилни извори, како што е сообраќајот, и стационарни извори, вклучувајќи индустриски и домашни емисии.[122–124]

Односите B/T обично се движат од 0,23 до 0,66, опсег кој генерално се поврзува со емисии од возила и ја отсликува доминантната улога на транспортот со бензински мотори. Односите под 0,23 често се припишуваат на стационарни извори, како што се индустриски процеси или согорување на гориво од не-мобилни извори, додека односи над 0,66 може да укажуваат на мешан придонес од мобилни и стационарни извори на емисија.[122]

На сличен начин, односите X/E пријавени за средини доминирани од сообраќај обично се движат од 2,8 до 4,6, со просек од приближно 3,5. Оваа конзистентност дополнително ја потврдува доверливоста на односот X/E како сигурен индикатор за емисии од возила во урбаните области.[123]

Односите B/T и X/E пресметани за мониторинг-локациите во оваа студија се прикажани во **Табела 5**, заедно со соодветните вредности пријавени во слични студии од други урбани области, овозможувајќи значајна споредба на профилите на емисии.

Споредено со вредностите пријавени во други урбани области, односите B/T забележани во оваа студија (во опсег од 0,61 до 1,21) се пониски од оние регистрирани во Орлеанс, Франција (B/T = 3,49) и Техеран, Иран (B/T = 1,69), но се споредливи со вредностите пријавени во Лондон (B/T = 0,65) и Гданск, Полска (B/T = 0,70). Овие наоди ја поддржуваат заклучокот дека сообраќајот на патиштата е доминантниот извор на VOCs емисии во мониторинг-локациите. Спротивно на тоа, односите X/E забележани во оваа студија, во опсег од 1,7 до 2,72, се пониски од типичниот опсег од 2,8 до 4,6 поврзан со свежи емисии од возила. Ова укажува на присуство на стареещи воздушни маси под влијание на фотохемиска деградација и долгорочен атмосферски транспорт. Земено заедно, овие дијагностички односи ја истакнуваат комбинираната улога на локалните и регионалните извори во обликувањето на составот на VOCs во амбиенталниот воздух.

Табела 5. Споредба на просечните односи бензен/толуен (B/T) и ксилени/етилбензен (X/E) од оваа студија со вредностите пријавени во други урбани области ширум светот. Локалните истражувачки локации (Северна Македонија и Косово) се наведени први, по што следат локации за меѓународна споредба, групирани по континент/регион.[101]

Град/Држава	B/T	X/E	Референци
Драгаш, Косово	1,18	1,87	Оваа студија
Елез Хан, Косово	0,92	2,25	Оваа студија
Нова Приштина, Косово	0,81	2,38	Оваа студија
Обилиќ, Косово	0,93	2,31	Оваа студија
Приштина, Косово	0,96	2,29	Оваа студија
Призрен, Косово	0,66	2,45	Оваа студија
Раховац, Косово	1,21	1,7	Оваа студија
Скопје, Северна Македонија	0,61	2,72	Оваа студија
Тетово, Северна Македонија	0,62	2,72	Оваа студија
Меѓународни споредбени локации – Азија			
Гуангџоу, Кина	0,35	1,70	[125]
Дели, Индија	0,06	5,74	[126]
Јазд, Иран	0,49	2,97	[127]
Пекинг, Кина	0,83	1,13	[128]
Тајчунг, Тајван	0,08	3,5	[129]
Техеран, Иран	1,69	-	[122]
Улсан, Кореја	0,26	0,94	[130]
Хонг Конг, Кина	0,15	3,20	[131]
Шираз, Иран	0,08	4,28	[132]
Меѓународни споредбени локации – Европа			
Валенсија, Шпанија	0,18	2,89	[133]
Гданск, Полска	0,70	4,51	[134]
Лондон, Англија	0,65	4,90	[135]
Орлеанс, Франција	3,49	-	[122]
Париз, Франција	0,14	4,2	[136]
Рим, Италија	0,36	4,53	[137]
Хелсинки, Финска	0,33	4,42	[138]
Меѓународни споредбени локации – Африка			
Алжир, Алжир	0,41	4,75	[139]
Меѓународни споредбени локации – Америка			
Кармен, Кампече/Мексико	0,48	-	[140]
Рио де Жанеиро/Бразил	0,5	2,18	[141]
Меѓународни споредбени локации – Австралија			
Сиднеј/Австралија	0,29	4,15	[142]

4. 2. Воздух во затворен простор во прекуграничниот регион помеѓу Северна Македонија и Косово

За да се обезбеди сеопфатен преглед на профилите на VOCs во затворен простор, на **Сликите 9–12** се прикажани репрезентативни хроматограми од седумнаесетте мониторинг локации. Секој хроматограм го прикажува карактеристичниот состав на VOCs за соодветната локација. **Сликата 13** ја прикажува просечната релативна застапеност на групите на VOCs низ сите локации, овозможувајќи директни споредби меѓу и во рамките на локациите. Истиот сет на резултати е достапен и во форма на табели во дополнителниот дел, во Додаток 2, во **табелата B18**. Овој пристап ја олеснува интерпретацијата на просторната варијабилност и разновидноста на составот на VOCs во затворениот воздух низ истражуваната област.

Како што е прикажано на **Сликата 13**, хемискиот состав и релативната застапеност на групите на VOCs значително се разликуваа меѓу мониторинг локациите, што ги одразува шемите на емисии обликувани од специфични активности во затворен простор. Овие варијации меѓу различните типови на локации ги истакнуваат доминантните хемиски класи и нивните веројатни извори, нудејќи критички увид во механизмите што ја поттикнуваат динамиката поврзана со загадувањето на воздухот во затворен простор од страна на VOCs.

Во двете станбени средини, куќа и стан, релативната распределба на групите на VOCs покажа јасни разлики, што ги одразува навиките на станарите, употребата на потрошувачки производи и специфичните активности во затворен простор. Релативниот придонес на секоја група на VOCs го истакнува различниот профил на емисии во затворен простор, обезбедувајќи вредни информации за доминантните хемиски класи што го карактеризираат секојдневното станбено микроопкружување.

Во дневната соба на куќата, терпените претставуваа најдоминантна група на VOCs, сочинувајќи 36,84% од вкупната релативна застапеност. Овој профил беше претежно предизвикан од лимонен (28,85%) и α-пинен (5,39%), две биогени соединенија кои често се присутни во ароматизирани домашни производи. Нивното значително присуство јасно укажува на честа употреба на средства за чистење, освежувачи на воздух и производи за лична нега, кои се добро документирани извори на овие терпени.[76,143,144]

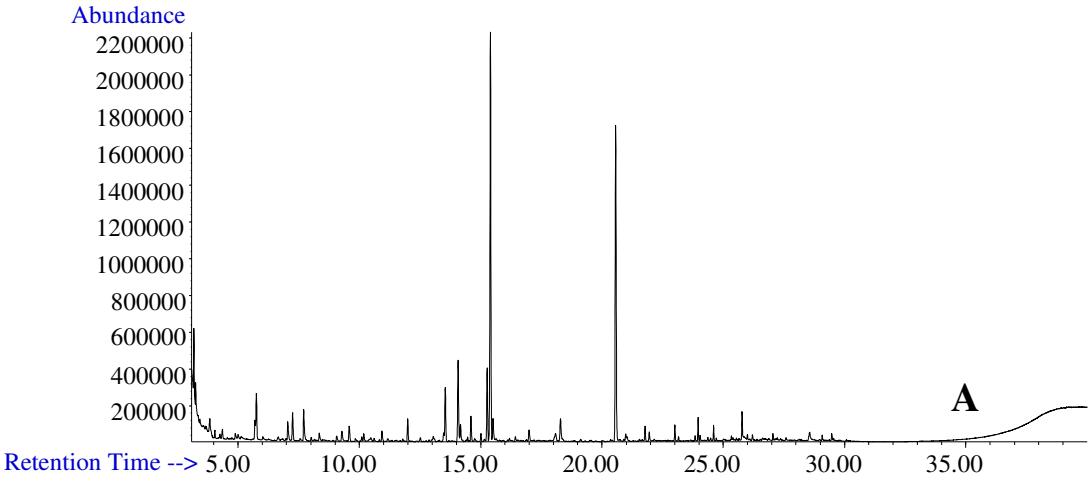
Органосилоксани беа втората по застапеност група, сочинувајќи 25,78% од вкупните VOCs, претежно поради декаметилциклопентасилоксан (D5, 24,12%) и октаметилциклотетрасилоксан (D4, 1,66%), соединенија кои често се наоѓаат во производите за лична нега.[74,75] Ароматичните јаглеводороди исто така беа релативно

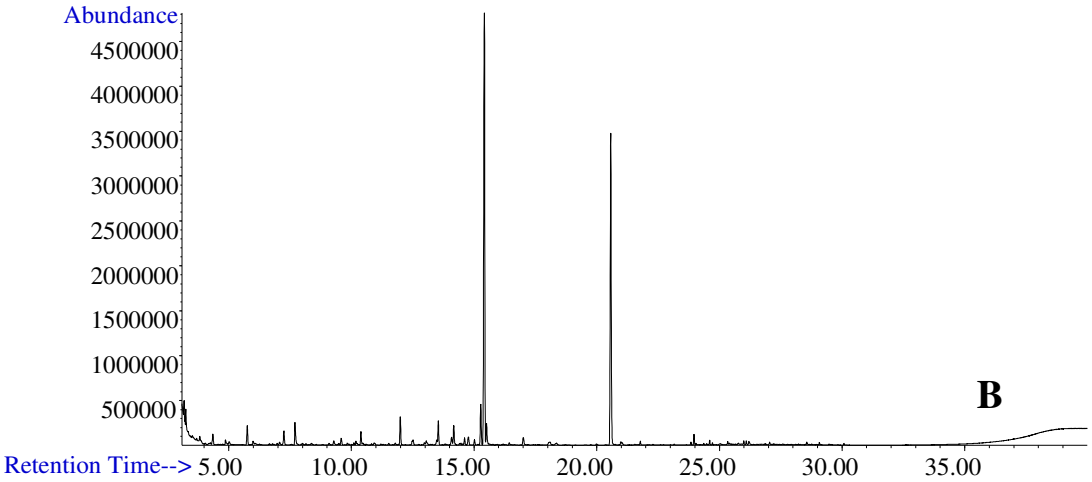
застапени (13,80%), при што главни придонесувачи беа изопропилбензенот (4,87%), бензенот (3,52%) и толуенот (3,33%). Нивното присуство може да се припише на употребата на растворувачки материјали, внатрешни процеси на согорување и инфилтрација од надворешниот урбан воздух.[145,146] Се обезбедува комплетен сет на податоци за VOCs детектирани на ова место за време на една кампања на земање примероци во март 2023 година, кој вклучува индивидуални површини на пикови од хроматограмите и нивната релативна застапеност (%), во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B15**).

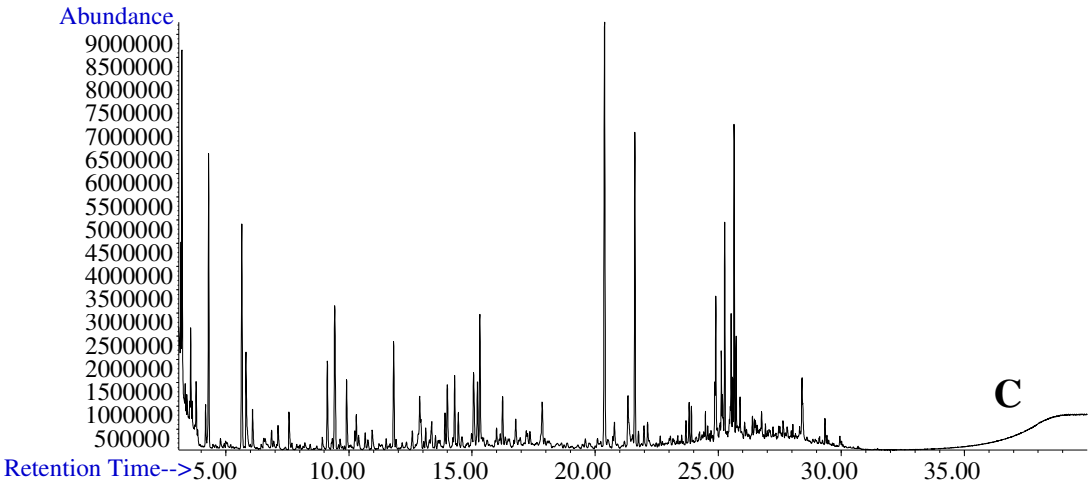
Наспроти тоа, во дневната соба на станот беше забележана уште повисока релативна застапеност на терпени (50,88%) и органосилоксани (31,78%). Овој образец веројатно ја одразува помалата просторна волумен и пониските стапки на размена на воздухот. Овие услови ја поттикнуваат акумулацијата на VOCs испуштени од домашни потрошувачки производи во затворени урбани простори. Исто така, лимоненот (42,91%) и *α*-пиненот (5,76%) беа најдоминантни терпени, додека D5 (29,26%) и D4 (1,46%) останаа превладувачки силиконски соединенија, што е во согласност со нивната широко распространета употреба во урбаните домаќинства.

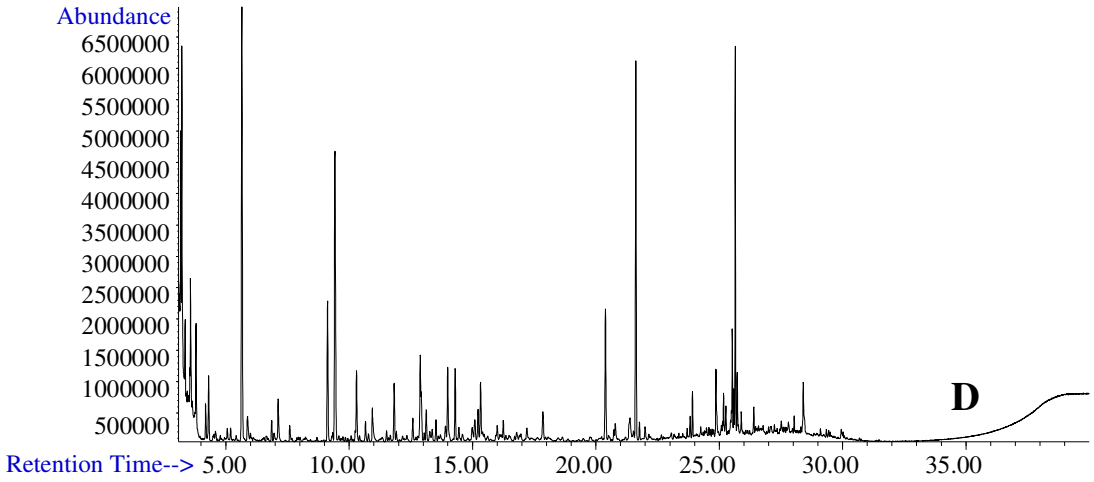
Другите групи на VOCs, алифатичните јаглеводороди , алкохолите и етерите, алдехидите и кетоните, како и халогенираните соединенија, беа помалку застапени во двете резиденцијални поставки, колективно сочинувајќи помалку од 10% од вкупната релативна застапеност на VOCs, што укажува дека емисиите во затворени простори главно беа предизвикани од употребата на потрошувачки производи, а не од структурни или позадински извори. Се обезбедува комплетен сет на податоци за VOCs детектирани на ова место за време на една кампања на земање примероци во март 2023 година, кој вклучува индивидуални површини на пикови од хроматограмите и нивната релативна застапеност (%), во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B14**).

Овие трендови се усогласени со претходните наоди. На пример, Wang и соработниците објавиле дека во домовите во Обединетото Кралство, монотерпените, особено *d*-лимоненот и *α*-пиненот, беа најзастапените VOCs откриени во различни резиденцијални средини. Нивните концентрации варираа значително во зависност од употребата на потрошувачки производи. Органосилоксаните исто така често се детектираа во овие средини.[147]

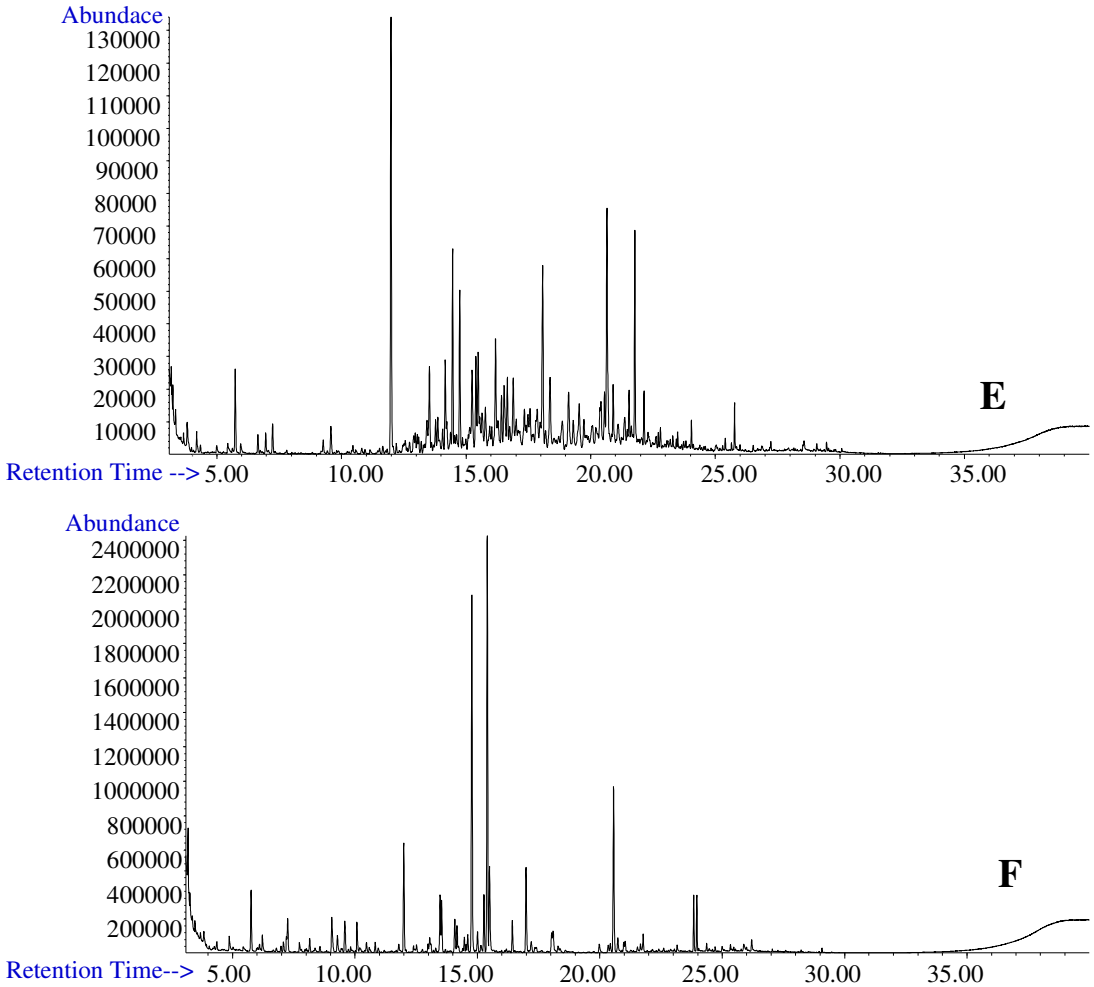

Abundance
2200000
2000000
1800000
1600000
1400000
1200000
1000000
800000
600000
400000
200000
A
Retention Time --> 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00 30.00 35.00

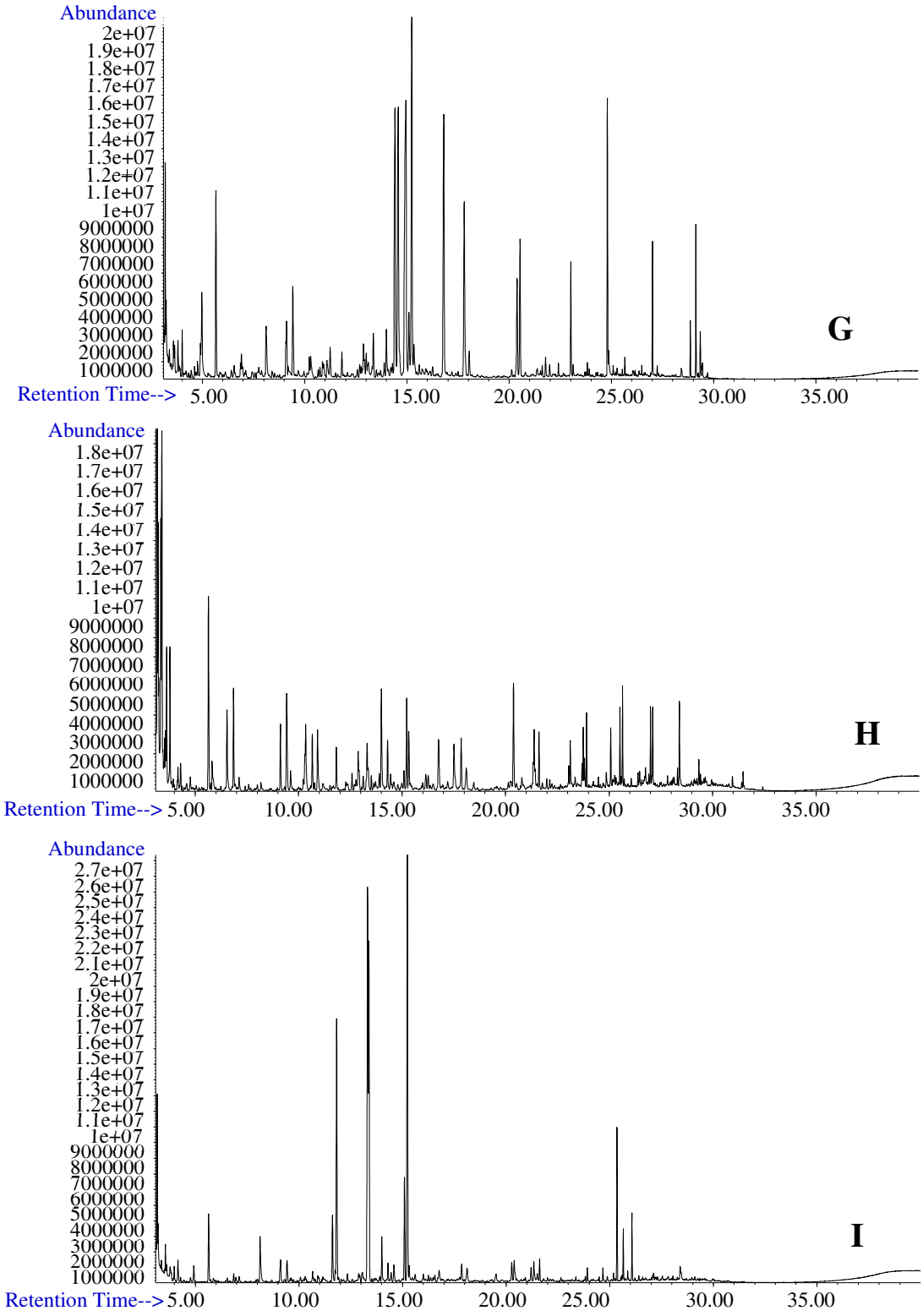

Abundance
4500000
4000000
3500000
3000000
2500000
2000000
1500000
1000000
500000
B
Retention Time--> 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00 30.00 35.00


Abundance
9000000
8500000
8000000
7500000
7000000
6500000
6000000
5500000
5000000
4500000
4000000
3500000
3000000
2500000
2000000
1500000
1000000
500000
C
Retention Time--> 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00 30.00 35.00

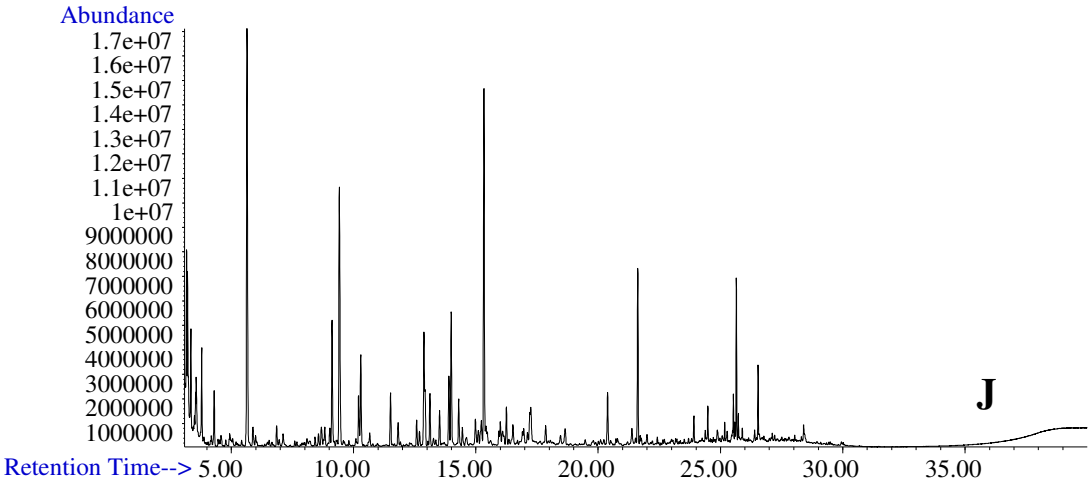


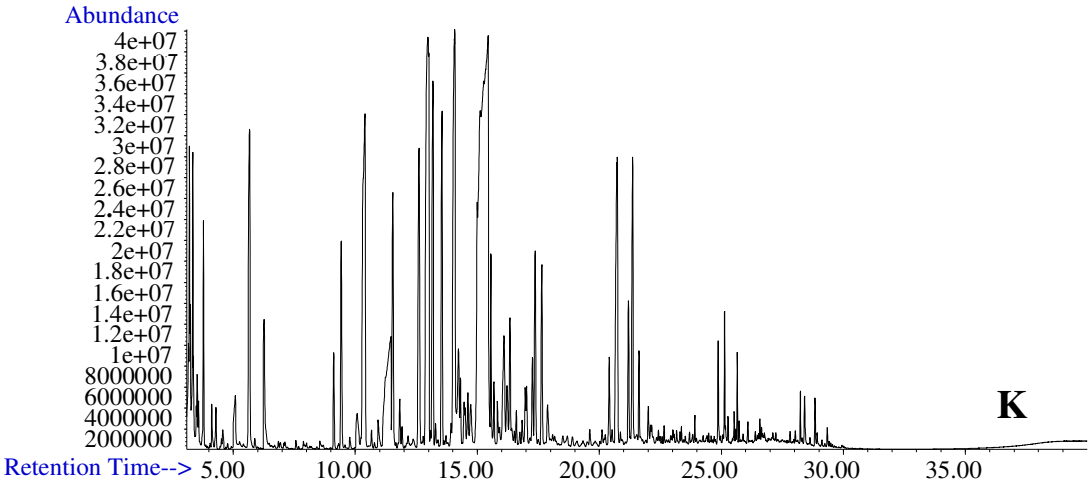
Слика 9. Репрезентативни хроматограми на VOCs од внатрешни простории на избрани локации за мониторинг низ регионот на студијата, добиени со пасивно собирање користејќи Radiello® апарати за примеркување и анализирани со GC–MS. Локациите се означени: **(A)** Резиденцијална куќа, **(B)** Резиденцијален стан, **(C)** Училишна училница и **(D)** Училишен ходник.

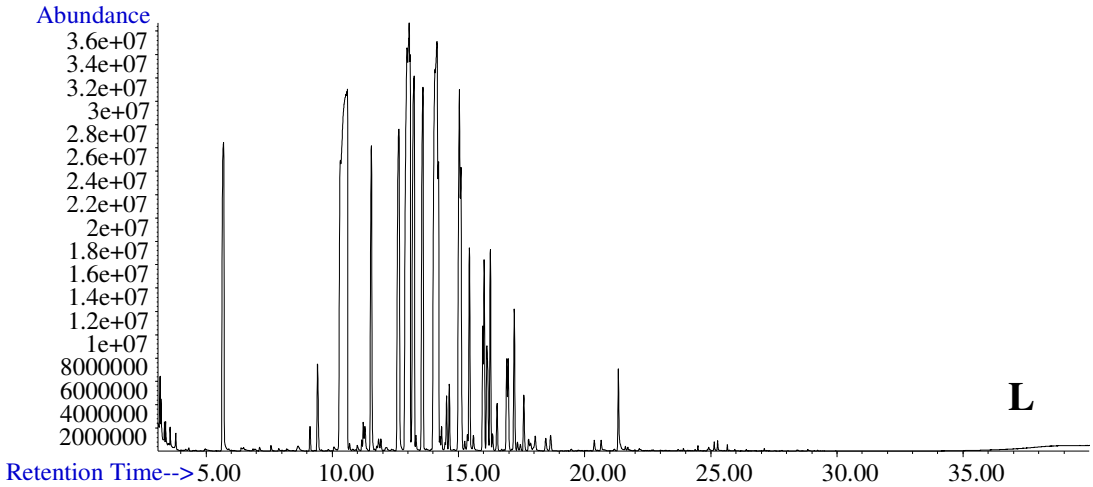


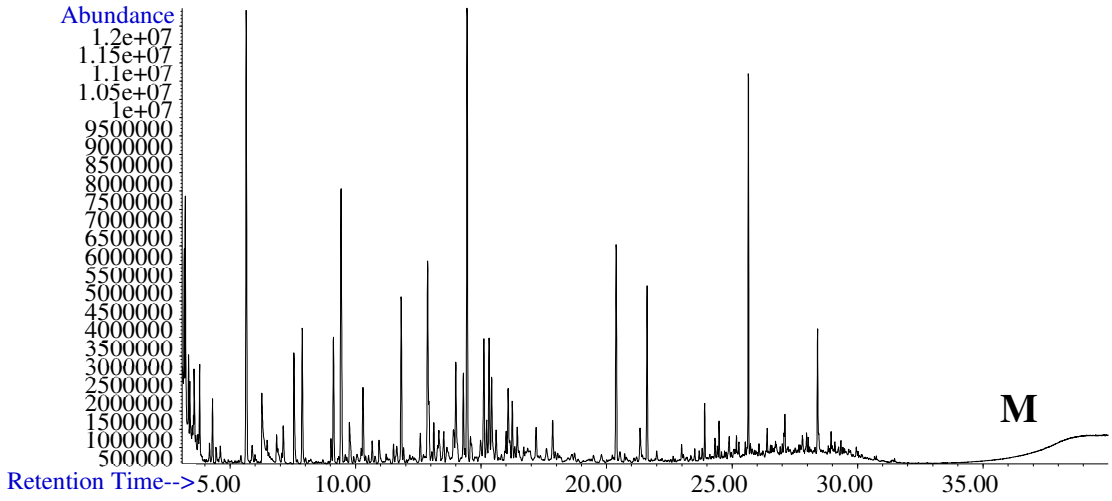


Слика 10. Репрезентативни хроматограми на VOCs од внатрешни простории на избрани локации за мониторинг низ регионот на студијата, добиени со пасивно собирање користејќи Radiello® апарати за примеркување и анализирани со GC–MS. Локациите се означени: **(E)** Продавница за масла и мазива, **(F)** Супермаркет, **(G)** Кафе-бар, **(H)** Кебапџилница и **(I)** Месна фабрика.[102]

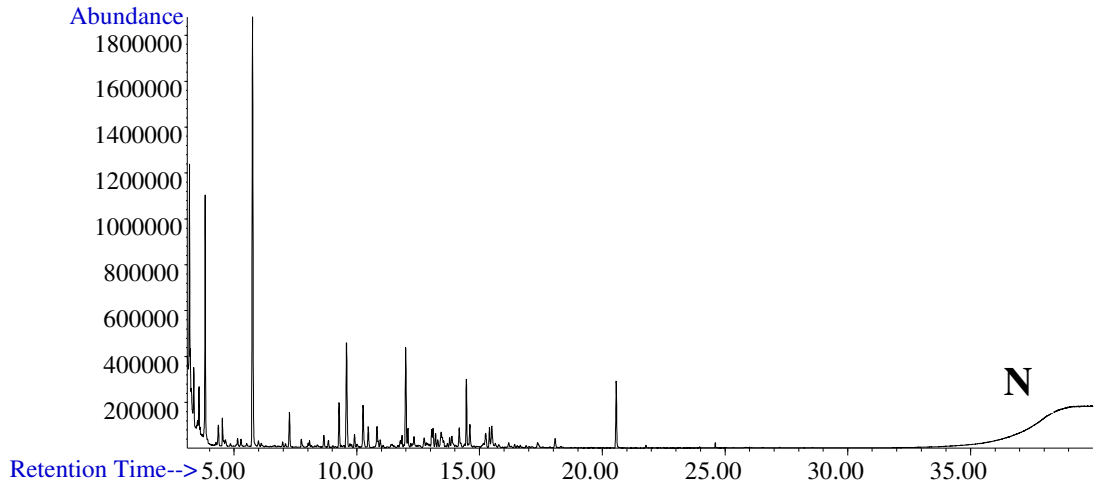

Abundance
1.7e+07
1.6e+07
1.5e+07
1.4e+07
1.3e+07
1.2e+07
1.1e+07
1e+07
9000000
8000000
7000000
6000000
5000000
4000000
3000000
2000000
1000000
Retention Time--> 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00 30.00 35.00
J

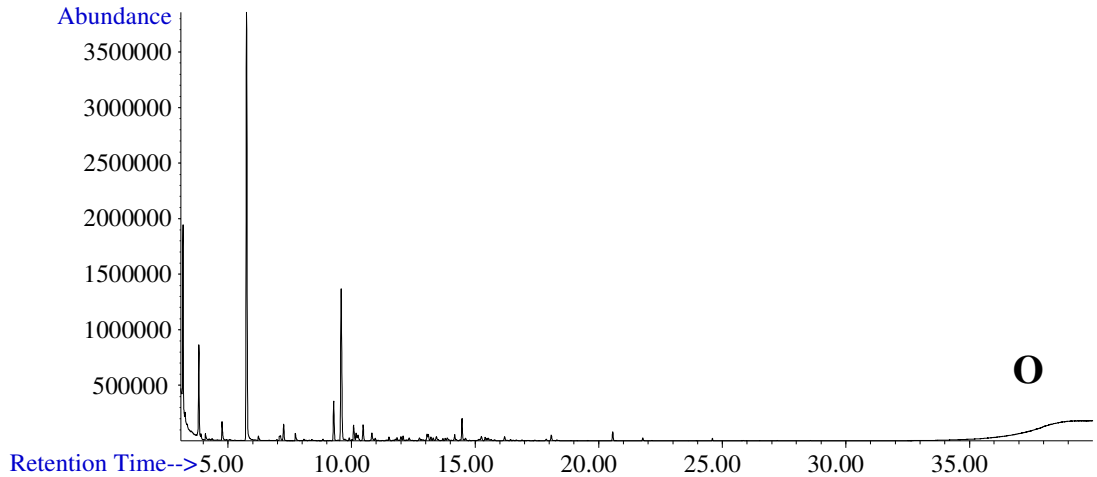

Abundance
4e+07
3.8e+07
3.6e+07
3.4e+07
3.2e+07
3e+07
2.8e+07
2.6e+07
2.4e+07
2.2e+07
2e+07
1.8e+07
1.6e+07
1.4e+07
1.2e+07
1e+07
8000000
6000000
4000000
2000000
Retention Time--> 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00 30.00 35.00
K

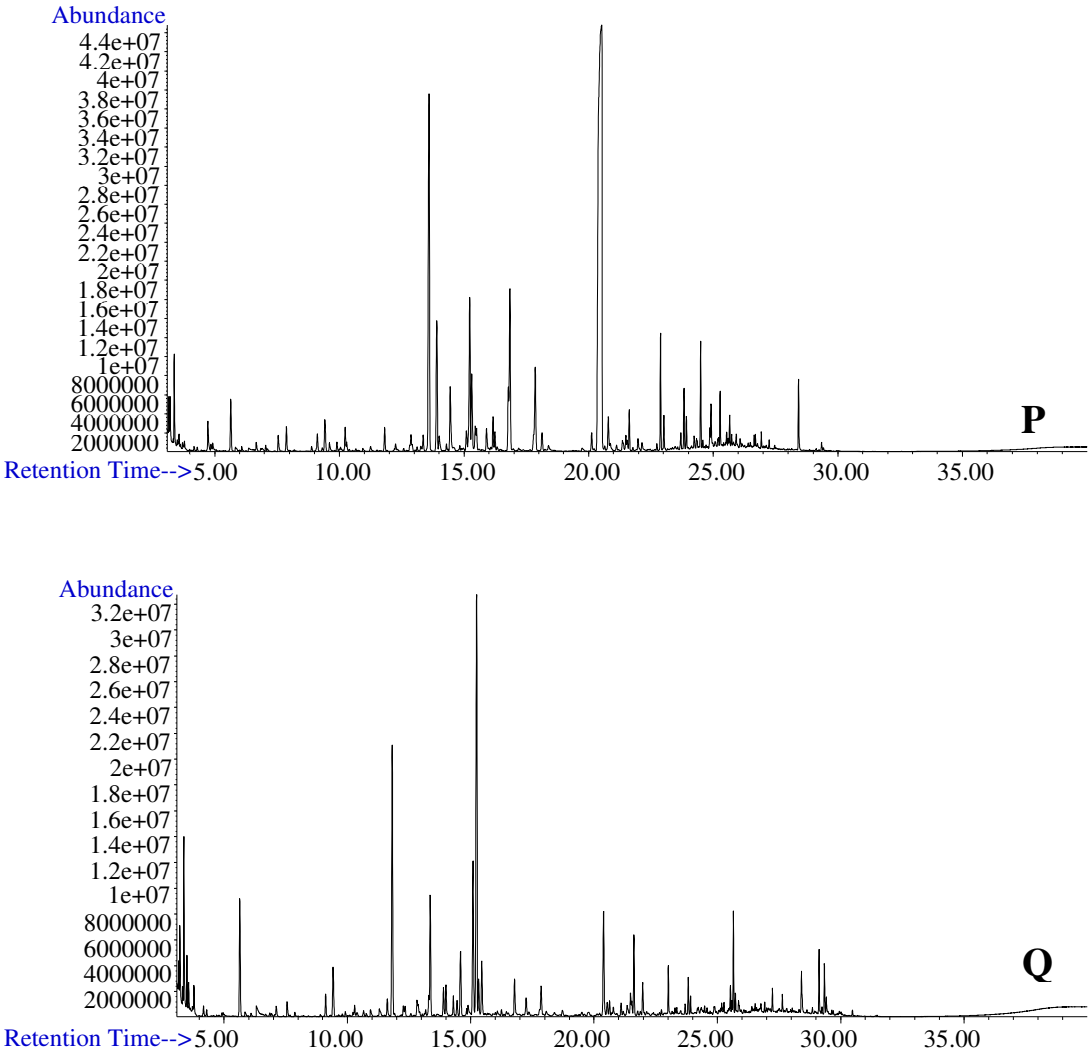

Abundance
3.6e+07
3.4e+07
3.2e+07
3e+07
2.8e+07
2.6e+07
2.4e+07
2.2e+07
2e+07
1.8e+07
1.6e+07
1.4e+07
1.2e+07
1e+07
8000000
6000000
4000000
2000000
Retention Time--> 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00 30.00 35.00
L



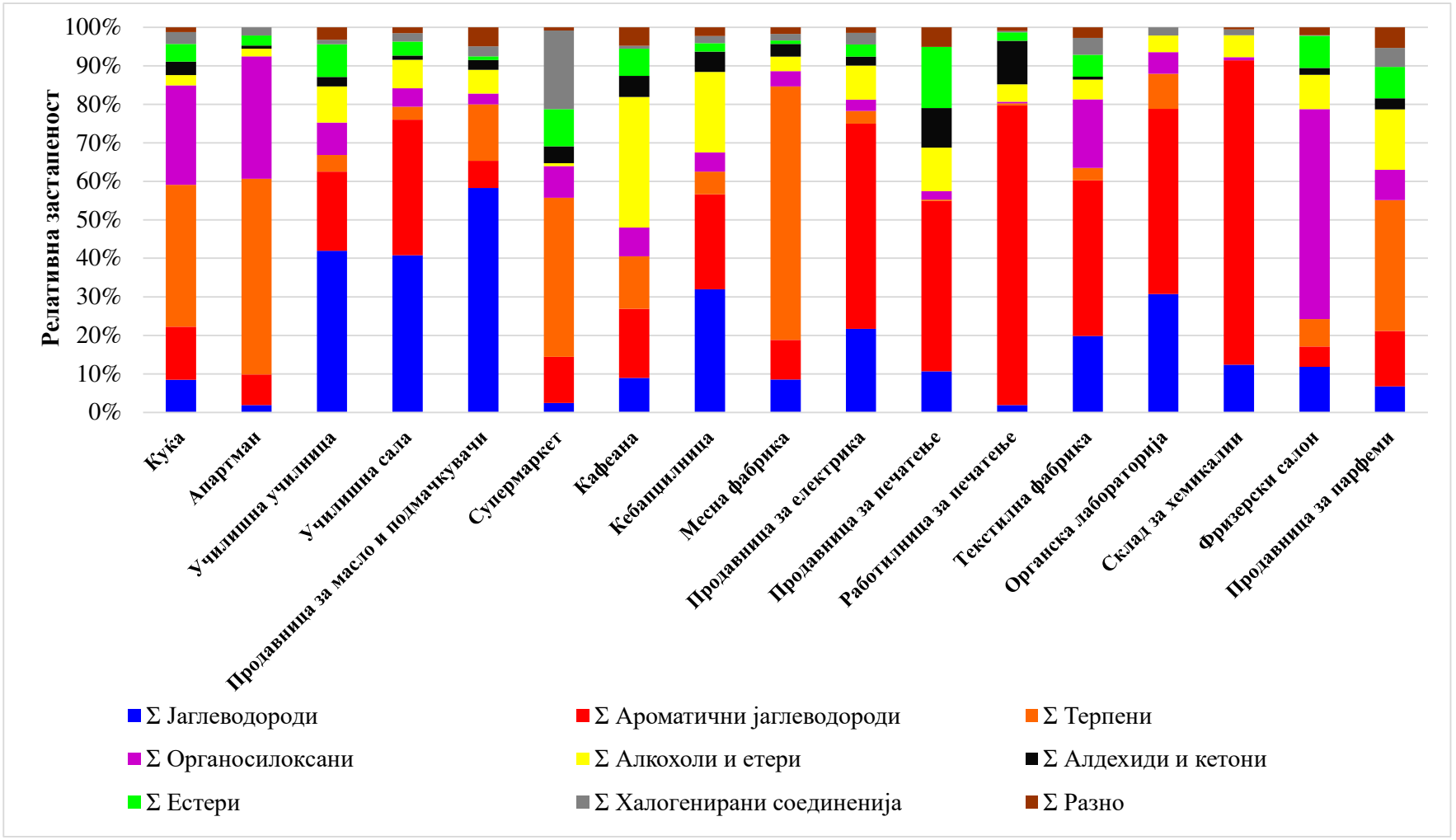
Слика 11. Репрезентативни хроматограми на VOCs од внатрешни простории на избрани локации за мониторинг низ регионот на студијата, добиени со пасивно собирање користејќи Radiello® апарати за примеркување и анализирани со GC–MS. Локациите се означени: **(J)** Продавница за електрични уреди, **(K)** Продавница за печатење, **(L)** Работно место за печатење и **(M)** Текстилна фабрика.[102]







Слика 12. Репрезентативни хроматограми на VOCs од внатрешни простории на избрани локации за мониторинг низ регионот на студијата, добиени со пасивно собирање користејќи Radiello® апарати за примеркување и анализирани со GC–MS. Локациите се означени вака: **(N)** Лабораторија за органска хемија, **(O)** Хемиски магацин, **(P)** Фризерски салон и **(Q)** Продавница за парфеми.[102]



Слика 13. Просечно релативно изобилство (%) на групи VOCs во примероци собрани со пасивни Radiello® апарати за примеркување и анализирани со GC–MS во седумнаесет внатрешни средини следени во Северна Македонија и Косово помеѓу март и декември 2023 година.[102]

Покрај резиденцијалните средини, оваа докторска студија ги вклучи и истражувањата на основно училиште сместено во урбана зона со густ сообраќај. Истражувањето се фокусираше на два репрезентативни внатрешни микро-средини: училница и главна сала. Овие области беа стратешки избрани за да ја отсликаат заедничката употреба на образовни простории во кои се постојано децата и персоналот во текот на целиот ден. Децата се особено ранливи на загадувачи во внатрешниот воздух, што ја прави оваа средина клучна за разбирање на влијанието на внатрешните извори и на надворешните емисии од сообраќајот врз составот на внатрешниот воздух. Вклучувањето на школската средина ја зајакнува компаративната рамка на студијата со вклучување на чувствителна група население во институционален контекст.

Анализата покажа дека алифатичните јаглеводороди и ароматичните јаглеводороди беа најдоминантните групи на VOCs и во училницата и во главната сала на училиштето. Во училницата, алифатичните јаглеводороди сочинуваа 41,97%, а ароматичните јаглеводороди 20,55% од вкупните VOCs. Во главната сала, алифатичните јаглеводороди покажаа релативна застапеност од 40,79%, додека ароматичните јаглеводороди беа уште поизразени со 35,24%. Заедно, овие две групи сочинуваа над 60% од вкупниот профил на VOCs во секоја микро-средина, што укажува на нивниот значителен придонес кон вкупниот состав на внатрешниот воздух во оваа образовна средина. Сите други категории на VOCs, вклучувајќи терпени, органосилоксани, алкохоли и етери, алдехиди и кетони, естери и халогенирани соединенија, придонесуваа со помалку од 10% од вкупниот профил на VOCs. Ова ја нагласува нивната помала улога во обликувањето на составот на внатрешниот воздух во овие образовни простории.

Доминацијата на алифатичните и ароматичните јаглеводороди е особено значајна, земајќи ја предвид близината на училиштето до главен пат. Ова ја потврдува хипотезата дека емисиите поврзани со сообраќајот може да претставуваат главен извор на VOCs кои навлегуваат во внатрешниот простор. Влијанието е поизразено во главната сала, простор кој е повеќе изложен на надворешен воздух поради директната поврзаност со влезовите и заедничките простории, што овозможува поголема размена на воздух со надворешната средина. Оваа интерпретација дополнително се потврдува со високата релативна застапеност на соединенија поврзани со сообраќајот, како толуен и ксилени, идентификувани во двете средини. Во училницата, толуенот сочинуваше 6,5%, а ксилените 4,49%, додека во главната сала, овие вредности се зголемија соодветно на 10,78% и 9,15%. Студиите покажале дека алифатичните јаглеводороди и ароматичните јаглеводороди се присутни во урбаните внатрешни простори и можат да потекнуваат

како од надворешни извори, како издувни гасови од возила, така и од внатрешни извори поврзани со човечките активности, вклучувајќи употреба на средства за чистење, растворувачи и бои.[148–150]

Понатаму на емисиите поврзани со сообраќајот, нашата анализа откри значителен придонес од внатрешни потрошувачки производи кои значително влијаат на составот на внатрешниот воздух во училиштето. Особено, метилциклогексан (11,7%) беше детектиран во училницата и може да потекнува од емисии базирани на растворувачи поврзани со градежни материјали, бои или средства за чистење користени во училиштето. Овој наод ја нагласува важноста на внатрешните материјали и практиките на одржување при формирањето на концентрациите на VOC. Покрај тоа, присуството на бутан-1-ол (2,7%), чест составен дел на растворувачи за чистење и производи за лична хигиена, ја истакнува улогата на редовното чистење и одржување во хемијата на внатрешниот воздух. Заедно, овие резултати ја илустрираат комплексната динамична интеракција помеѓу градежните материјали, практиките на чистење и внатрешното загадување на воздухот.[151–153]

Друг значаен соединение што беше идентификувано е D5 (декаметилциклопентасилоксан), широко користен цикличен органосилоксан кој обично се наоѓа во потрошувачки производи.[3,75,154] Неговата релативна застапеност достигна 7,69% во училницата и 4,14% во главната сала, што укажува дека внатрешните емисии значително придонесуваат кон вкупниот профил на VOC, дури и во природно вентилирани средини. Севкупно, составот на VOCs во училиштето открива хибриден загадувачки потпис оформен од спојот на амбиенталната инфилтрација, која главно потекнува од сообраќајот, и внатрешните извори како што се потрошувачките производи и редовните активности за одржување. Овој двоен изворен модел ја нагласува сложеноста на динамиката на квалитетот на внатрешниот воздух во урбаните образовни простори. Сеопфатниот сет на податоци за соединенијата на VOCs детектирани во ова основно училиште, кој ги опфаќа сите примероци собрани во текот на периодот на истражување од септември до декември 2023 година и вклучува индивидуални површини на хроматограмските пикови со нивната релативна застапеност (%) за секој месечен период на земање примероци и мониторинг локација, е прикажан во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B5** за училницата и **Табела B6** за главната сала).

Составот на воздухот во внатрешноста на продавницата за масла и лубриканти, која се наоѓа покрај умерено прометен главен пат, покажа карактеристичен профил на

ВОС. Природната вентилација беше ограничена, при што размена на воздух се случуваше само повремено преку отворање на вратите. Алифатичните јаглеводороди беа доминантна група, сочинувајќи 58,23% од вкупните VOCs. Тие опфаќаа соединенија од кратколанечни алкани до подолги низи со повеќе од десет атоми на јаглерод. Терпените придонесуваа со 14,69% од вкупната релативна застапеност. Пониски релативни застапености беа забележани кај ароматичните јаглеводороди (7,11%), алкохолите и етерите (6,16%), различните соединенија (4,92%), органосилоксаните (2,79%), халогенираните соединенија (2,63%), алдехидите и кетоните (2,5%) и естерите (0,97%).

Овој хемиски отпечаток е во согласност со профилите на емисии обично поврзани со внатрешни простории каде се ракува со производи изведени од нафта, кои се широко присутни и достапни за продажба во објектот. Инвентарот на продавницата вклучува широк спектар на формулации базирани на нафта, како што се моторни масла, масти, лубриканти, адитиви/третмани за масла и гориво, хидраулични течности, механички средства за отстранување масти, средства за чистење сопирачки, моторни флашеви, антифриз и средства за ладење, пакувања и материјали за етикетирање, технички растворувачи и ароматизирани адитиви. Овие производи се добро познати извори на VOCs емисии, особено јаглеводороди, терпени и ароматични јаглеводороди, како и помали, но значајни придонеси од други групи на VOC, поради нивната природна испарливост и карактеристики на пакувањето.[155,156]

Откривањето на толуен и ксилени дополнително укажува на мешан извор на внатрешни VOC, произлегувајќи не само од директна испарливост на производите, туку и од инфилтрација на надворешни загадувачи, особено емисии од возила од соседната улица. Ограничената динамика на вентилација во продавницата веројатно го влошува акумулирањето на VOCs внатре, овозможувајќи синергетски ефект помеѓу внатрешните емисии и надворешната инфилтрација. Ова набљудување ја потенцира придонесот од двојни извори кон внатрешното загадување на воздухот во објектот, каде што и внатрешните материјали базирани на нафта и амбиенталните загадувачи од сообраќајот заеднички влијаат врз вкупниот товар на VOC.[148,149] Комплетниот сет на податоци за соединенијата VOCs откриени на ова место, опфаќајќи ги сите примероци собрани во избраните периоди на мерење во март, јуни и јули 2023 година, вклучувајќи ги индивидуалните површини на пиковите од хроматограмот со нивните релативни застапености (%) за секој месечен период на мерење, е прикажан во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B11**).

Профилот на VOCs во затворен простор на супермаркетот, кој се наоѓа во близина на главен пат со умерен интензитет на сообраќај, беше претежно карактеризиран со терпени (41,33%), халогенирани соединенија (20,42%) и ароматични јаглеводороди (12,03%). Другите групи VOCs беа присутни во помали пропорции, секоја придонесувајќи со помалку од 10% од вкупната застапеност на VOC. Соработката се спроведе специфично во делот на продавницата посветен на хигиена и производи за чистење. Овој дел прикажува голема разновидност на комерцијални формулации, од кои многу содржат испарливи органски состојки, што директно влијае на набљудуваниот состав на VOC.

Најзастапени индивидуални соединенија вклучуваа лимонен (20,28%), 1,3-дихлоробензен (18,73%), D5 (8,21%) и α-пинен (5,06%). Другите соединенија секое придонесуваше со помалку од 5%.

Иако инфилтрацијата од близок сообраќај може маргинално да влијае на нивото на VOCs внатре, пасивниот сензор беше стратешки поставен подлабоко во продавницата, подалеку од влезовите и директниот надворешен проток на воздух. Оваа поставеност го поддржува толкувањето дека набљудуваниот VOC-профил главно се предизвикува од внатрешни извори.

VOC-ите идентификувани во оваа средина се усогласени со емисиите кои обично се ослободуваат од средства за чистење, освежувачи на воздух, производи за лична нега, дезинфекциони средства, технички растворувачи и ароматизирани формулации, кои сите беа активно продавани во пробаниот дел. Нивното присуство ја одразува испарливоста на состојките содржани во овие производи, нагласувајќи ја улогата на составот на производите и нивното изложување во продавницата во обликувањето на хемиските карактеристики на внатрешниот воздух во големопродажни средини.[67,76,77,157] Се обезбедува комплетен сет на податоци за VOCs детектирани на ова место за време на една кампања на земање примероци во март 2023 година, кој вклучува индивидуални површини на пикови од хроматограмите и нивната релативна застапеност (%), во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B13**).

Профилот на VOCs во внатрешноста на кафеаната, сместена покрај прометен главен пат, прикажува сложен хемиски отпечаток под влијание на внатрешни и надворешни фактори. Просторот беше опремен со повремена механичка вентилација. За време на периодот на мониторинг, внатрешното пушење беше дозволено, а електричен освежувач на воздух непрекинато беше активен, значително придонесувајќи кон вкупниот товар на VOC.

Доминантните групи на VOCs вклучуваа алкохоли и етери (33,87%), ароматични јаглеводороди (17,86%) и терпени (13,68%). Другите групи беа присутни во помали пропорции, при што секоја поединечна група придонесуваше со помалку од 10% од вкупната релативна застапеност на VOC. Најзастапените поединечни соединенија вклучуваа 1-(2-метокси-1-метилетокси)пропан-2-ол (11,66%), 1-(2-метоксипропок–си)пропан-2-ол (9,86%), лимонен (10,15%), D5 (7,29%) и толуен (5,00%), додека другите соединенија придонесуваа со помалку од 5% секое.

VOC-ите идентификувани во оваа средина се усогласени со емисиите од освежувачи на воздух, средства за чистење, ароматизирани потрошувачки производи, производи за лична нега и хигиена, пушење внатре, како и инфилтрација на загадувачи поврзани со сообраќај.[67,76,77,158–160] Дополнително, VOCs ослободени од ароматизирани производи можат да доживеат секундарни хемиски трансформации внатре во просторијата. На пример, терпени лесно можат да speагираат со внатрешни оксиданти како озон, хидроксилни радикали и нитратни радикали, создавајќи различни продукти на оксидација, вклучувајќи гликол етери и други секундарни загадувачи.[77] Сеопфатниот сет на податоци за VOCs соединенија откриени на ова место, кој ги опфаќа сите примероци собрани за избраните периоди на земање примероци во март, јуни, јули и месеците од септември до декември 2023 година, вклучувајќи ги и поединечните површини на пикот од хроматограмите со нивните релативни застапености (%) за секој месечен период на земање примероци, е даден во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B1**).

Профилот на VOCs во воздухот во внатрешноста на продавницата за кебап, која се наоѓа покрај главен пат со интензивен сообраќај и работи без механичка вентилација, беше силно определен од емисиите од готвење на јаглен. Размената на воздух беше ограничена само на повремено отворање на вратите, што резултираше со слаба вентилација и акумулација на загадувачи поврзани со согорување. Алифатичните јаглеводороди (31,99%), ароматичните јаглеводороди (24,68%) и алкохолите и етерите (20,86%) доминираа во мешавината на VOC, додека другите групи придонесуваа со помалку од 10% од вкупната застапеност.

Хемиската карактеризација на мешавината на VOCs обезбедува вредни информации за изворите на емисии. Детектираните јаглеводороди, кои вклучуваат и разклонети и линеарни алкани, се карактеристични производи на непотполната согорувачка реакција и термичката деградација на масла и масни киселини при готвење на високи температури. Посебно печењето на јаглен ја зголемува генерацијата на

реактивни хидроксилни радикали, кои подоцна се разградуваат во алкани, алкени, оксигенирани VOCs и ароматични јаглеводороди. Покрај емисиите поврзани со готвењето, присуството на ароматични јаглеводороди како толуен и ксилени може да укажува и на инфилтрација на загадувачи од сообраќај, со оглед на близината на продавницата до зафатен пат. Групата на алкохоли и етери најверојатно потекнува не само од термичките производи на разградба, туку и од постготварските практики за чистење. Овие практики, вклучувајќи употреба на освежувачи на воздух, средства за чистење површини и дезинфекциски средства применети во непикови периоди, дополнително придонесуваат кон оптоварувањето на внатрешниот воздух со VOC. Вкупно, VOCs детектирани во оваа средина ја одразуваат интеракцијата на повеќе извори, вклучувајќи непотполно согорување, термичка деградација на готварски масла и животински масти, редовна употреба на ароматизирани средства за чистење и инфилтрација на надворешен воздух. Слични VOCs профили се документирани и во други готварски средини, при што алканите конзистентно се појавуваат како доминантни компоненти на внатрешниот воздух, поддржувајќи претходно пријавени VOCs профили поврзани со готвењето.[76,77,161–164] Сеопфатниот податочен сет на соединенија на VOCs детектирани на оваа локација, кој ги опфаќа сите примероци собрани за избраните периоди на земање примероци во јуни, јули и од септември до декември 2023 година, вклучувајќи ги и индивидуалните површини на пикови од хроматограмите со нивната релативна застапеност (%) за секој месечен период на земање примероци, е даден во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B3**).

Профилот на VOCs во затворен простор на фабриката за месо, сместена во приградска зелена зона, беше првенствено под влијание на согорување биомаса и термичка обработка на месото. Објектот се состоеше од една затворена просторија која се користеше за подготовка, сушење, ферментација и пушење на месни производи, при што главен извор на топлина беше шпорет на дрво или јаглен. Природната вентилација беше минимална, ограничена на повремено отворање на мало прозорче.

Спектарот на VOCs беше претежно доминиран од терпени, кои сочинуваа 65,78% од вкупната застапеност на VOC, следени од ароматични јаглеводороди (10.35%), додека другите групи на VOCs придонесуваа со помалку од 10% секоја. Најзастапените индивидуални соединенија беа α-пинен (22,48%), феландрен (19,24%) и лимонен (16,31%), додека другите соединенија придонесуваа со помалку од 5% секое.

Откриените VOCs ја одразуваат сложената мешавина на емисии од повеќе внатрешни извори и процеси. Терпените, доминантната група на VOC, најверојатно

потекнуваат од состојки за зачинување, како црн пипер, мускатен орев и каранфил во подготовката на колбаси, со дополнителен придонес од чистење по обработка, вклучувајќи употреба на средства за чистење површини и освежувачи на воздухот. Алифатичните јаглеводороди и ароматичните јаглеводороди се формираат претежно преку непотполно согорување на биомаса и преку прераспоредување на продукти од оксидација на липиди. Нивното влијание врз аромата на месото е ограничено поради високите прагови на мирис. Другите групи соединенија, вклучувајќи алдехиди, кетони, естери, соединенија што содржат сулфур и фурани, произлегуваат од оксидација на липиди, деградација на аминокиселини (на пр. Стрекер реакции), микробна метаболизација и термални реакции за време на ферментација и зреење на месото. Конкретно, алдехидите се поврзани со процесите на сушење и деградација на аминокиселини; кетоните резултираат од оксидација на масни киселини; естерите потекнуваат од процеси на ферментација и естерификација; сулфурните соединенија се поврзани со адитиви од лук; а фурани се произведуваат преку оксидација на линолеинска киселина.[76,161,163,165] Сеопфатниот сет податоци за VOCs откриени на ова место, кој ги опфаќа сите примероци собрани за време на периодот на мерења јуни–јули 2023 година и вклучува индивидуални површини на пиковите од хроматограмите со нивната релативна застапеност (%) за секој месечен период на мерење, е даден во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B12**).

Профилот на квалитетот на воздухот во продавницата за електрична опрема, сместена покрај прометен пат, беше значително под влијание на емисиите од надворешната околина и испарувањата од производите. Продавницата ги одржуваше вратите отворени поголемиот дел од денот, што овозможуваше континуирана размена на воздухот и внесување на VOCs од сообраќајот во внатрешноста.

Доминантните групи на VOCs беа ароматични јаглеводороди (53,39%), алифатични јаглеводороди (21,64%) и алкохоли и етери (8,85%), додека другите групи на VOCs придонесуваа со помалку од 5% секоја. Најзастапените индивидуални соединенија вклучуваа изомери на ксилен (18,15%), толуен (11,86%), 2-етил-1-хексанол (6,87%) и етилбензен (6,75%), додека сите други соединенија беа под 5%.

Зголемените нивоа на ароматични јаглеводороди и јаглеводороди, особено BTEX соединенијата (како што беше забележано во оваа студија), се добро познати индикатори за емисии од возила и урбано амбиентално загадување, кои лесно можат да навлезат во затворени простори, особено во средини со висока природна вентилација, како што е овој продавница. Соединенија како 2-етил-1-хексанол обично потекнуваат од разградба на

пластификатори во поливинил хлорид (PVC), изолација на кабли, лепила и полимерни облеки, кои се чести компоненти во продавници за електрична опрема. Заедно, овие емисии од внатре и придонесот од надворешниот воздух ја покажуваат двојната потекло на ВОС, каде што и внатрешните извори и амбиенталното инфилтрирање синергетски го обликуваат составот на внатрешниот воздух.[148,149,166] Комплетниот сет на податоци за соединенијата VOCs откриени на оваа локација, кој ги опфаќа сите примероци собрани во периодот на мерења септември–декември 2023 година и вклучува индивидуални површини на пиковите од хроматограмите со нивната релативна застапеност (%) за секој месечен период на мерење, е даден во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B7**).

Профилот на VOCs во печатарската продавница, која се состои од продавница за фотокопирање на приземјето и работилница за печатење во подрумот, покажа јасни разлики во составот на VOC, одразувајќи ги и функционалните активности и условите за вентилација на секој простор. Горниот дел од продавницата, користен за активно печатење, копирање и услуги за клиенти, имаше умерена природна вентилација преку отворања на врати. Наспроти тоа, подрумската работилница, посветена на рачни задачи како книжевно поврзување и лепење, немаше прозорци ниту механичка вентилација, што резултираше со слаба размена на воздух и поголема акумулација на VOC.

Во печатарската продавница, доминантните групи на VOCs беа ароматични јаглеводороди (44,26%), естери (15,91%) и алкохоли и етери (11,26%), додека другите групи придонесуваа околу 10% или помалку. Најзастапените соединенија вклучуваа 1-етил-4-метилбензен (12,87%), 1,3,5-триметилбензен (11,08%) и циклогексанон (8,12%).

Во печатарската работилница – подрум, ароматичните јаглеводороди беа уште по-доминантни (77,86%), следени од алдехиди и кетони (11,22%), додека сите други групи придонесуваа помалку од 5%. Најзастапените соединенија беа 1,3,5-триметилбензен (21,43%), 1-етил-2-метилбензен (16,38%), пропилбензен (8,83%), изопропилбензен (6,66%), толуен (6,18%) и циклогексанон (6,16%).

Откриените VOCs одразуваат емисии типично поврзани со средини каде се изведуваат офсет и дигитално печатење, лепење и третмани на површини. Овие емисии најверојатно потекнуваат од често користени материјали како мастила, лепила, тонери, средства за чистење, остатоци од растворувачи и складишни материјали, како и од стареење на опремата. Разликите помеѓу двете внатрешни зони ја истакнуваат критичната улога на вентилацијата: ограниченото обновување на воздухот во подрумот

го поттикнува акумулирањето на загадувачи, особено на оние со помала испарливост или постојани емисии од третирани површини. Вкупно, набљудуваните хемиски отпечатоци се усогласуваат со претходните наоди во слични работни средини поврзани со печатење, нагласувајќи ја комбинираната улога на употребата на материјали, оперативните практики и динамиката на вентилација во обликувањето на квалитетот на внатрешниот воздух.[167–172] Сеопфатниот збир на податоци за VOCs откриени во оваа печатарница, опфаќајќи ги сите примероци собрани во текот на периодот на истражување од септември до декември 2023 година и вклучувајќи ги индивидуалните пик-плошини од хроматограмите со нивната релативна застапеност (%) за секој месечен период на земање примероци и локација на мониторинг, е претставен во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B8** за печатарницата и **Табела B9** за подрумот на работилницата).

Внатрешниот VOCs профил на производствената зона на текстилната фабрика, каде се изведуваа индустриско миење и хемиско завршување, покажуваше јасен образец на емисии формиран од интензивната употреба на растворувачи, сурфактанти и формулации за третман на текстил. Високата механичка активност го зголемуваше испарувањето, додека честата примена на сложени хемиски смеси, вклучувајќи средства за отстранување дамки, омекнувачи, детергенти, растворувачи и агенси за завршна обработка, придонесуваше за хемиски разновиден и составно богат VOCs профил.

Најдоминантни VOCs групи беа ароматични јаглеводороди (40,41%), алифатични јаглеводороди (19,83%) и органосилоксани (17,82%), додека другите групи придонесуваа со ≤5% секоја. Меѓу индивидуалните соединенија, толуенот (17,63%), изомерите на ксилен (9,00%) и D4 (10,43%) беа најзастапени, додека сите други соединенија придонесуваа со <5% секоја.

Овој VOCs состав е во согласност со емисиите пријавени во други индустриски операции за текстилно финализирање, кои главно потекнуваат од детергенти, површински активни супстанции, растворувачи, средства за белење и текстилни помошни средства, како и од испарување на хемиски остатоци за време на брзи машини и термички третмани. Вкупно, набљудуваниот образец ја рефлектира комбинираната влијание на директната употреба на хемикалии, испарувањето на производите и оперативните процеси, истакнувајќи го значајниот придонес на активностите за текстилно финализирање во влошувањето на квалитетот на внатрешниот воздух. Ова, исто така, ја нагласува нивната релевантност за проценка на изложеност на работното место и управување со ризик во индустриски средини.[173–176] Сите податоци за VOCs соединенијата детектирани на ова место, опфаќајќи ги сите примероци собрани за

избраните периоди на мерење во март, јуни, јули и од септември до декември 2023 година, вклучувајќи ги индивидуалните пик области од хроматограмите со нивната релативна застапеност (%) за секој месечен период на мерење, се дадени во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B2**).

Профилот на внатрешните VOCs во органската лабораторија и во магацинот за хемикалии откри различни карактеристики на емисиите, обликувани според нивните специфични обрасци на користење и условите за складирање. Во органската лабораторија, каде што се одвиваат активни експериментални активности и ракување со хемикалии, доминантни групи на VOCs беа ароматичните јаглеводороди (48,10%) и алифатичните јаглеводороди (30,74%), додека другите групи поединечно придонесуваа со помалку од 10% во вкупното релативно изобилство на VOC. Најзастапени поединечни соединенија беа толуен (26,80%), *n*-хептан (12,27%), изомери на ксилен (8,93%), бензен (7,49%) и *α*-пинен (6,16%), додека останатите соединенија поединечно придонесуваа со помалку од 5%.

Во магацинот за хемикалии, кој претежно се користи за складирање на реагенси и растворувачи, профилот на VOCs беше значително доминиран од ароматични јаглеводороди (79,04%), следени од алифатични јаглеводороди (12,36%), додека другите групи беа присутни со или под 5%. Најзастапени поединечни соединенија беа толуен (43,08%), изомери на ксилен (19,11%), бензен (11,99%) и *n*-хептан (7,00%). Овие наоди ја одразуваат силната влијание на складираните испарливи хемикалии, особено ароматичните растворувачи, кои лесно поминуваат во пасивна испарливост дури и во отсуство на активно ракување.

VOC-ите откриени на двете локации веројатно потекнуваат од користењето и складирањето на органски растворувачи, реагенси и средства за чистење, како и од испарувањето на остатоци од отворени садови, обработени површини и пакувачки материјали. Разликите во хемискиот состав меѓу лабораторијата и магацинот ја истакнуваат улогата на нивото на активности, вентилацијата и практиките на ракување со материјали. Овие фактори директно влијаат врз акумулацијата и дисперзијата на VOCs во овие простории. Во согласност со овие набљудувања, слични профили на VOCs се пријавени и во други универзитетски лаборатории, што ја потврдува типичната шема на емисии поврзана со ракувањето и складирањето на хемикалии.[177–180] Комплетниот сет податоци за VOCs откриени на овие локации, со примероци собрани во март 2023 година, вклучувајќи ги поединечните површини на пиковите од хроматограмите со нивните

релативни изобилства (%), е прикажан во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B16** за органската лабораторија и **Табела B17** за магацинот за хемикалии).

Профилот на внатрешни VOCs во фризерскиот салон, сместен во урбана зона покрај умерено прометен пат, покажа специфичен модел на емисии, претежно обликуван од интензивната употреба на производи за лична нега. Иако салонот се наоѓаше близу потенцијален извор на амбиентално загадување, влијанието на надворешниот воздух беше минимално поради постојаната работа на клима-уредите и вообичаеното затворање на вратите и прозорците. Ова создаде релативно затворена средина каде што емитираните VOCs се акумулираа со текот на времето. Ограничената размена на воздух веројатно го олесни акумулирањето на органосилоксани, кои често се емитуваат од производите за лична нега.

Доминантните групи на VOCs беа органосилоксани (54,46%) и алифатични јаглеводороди (11,81%), додека другите групи поединечно придонесуваа со помалку од 10% во вкупното релативно изобилство на VOC. Најзастапени поединечни соединенија беа D5 (31,95%) и октаметилтрисилоксан (9,05%), додека сите останати соединенија поединечно придонесуваа со помалку од 5%.

VOC-ите претежно потекнуваат од употребата на производи за лична нега и козметички формулации, вклучувајќи антиперспиранти, спрејови за коса, креми за раце, дезодоранси, третмани за кожа и производи за стилизирање. Хемискиот состав на VOCs забележан во оваа средина генерално се совпаѓа со наодите од претходни истражувања во слични услови, прикажувајќи карактеристичен хемиски профил доминиран од производи врз силиконска основа и ароматизирани производи, што е потврдено со анализите на производите за лична нега кои покажуваат присуство на органосилоксани. Сепак, некои студии пријавиле минимални концентрации на органосилоксани или не ги вклучиле во опсегот на таргетирани соединенија. Оваа варијабилност ја нагласува влијанието на изборот на производи, практиките на вентилација и регионалните потрошувачки навики врз внатрешниот товар на VOC. Затоа, иако VOC-ите идентификувани тука се хемиски слични на оние пријавени во литературата, релативното изобилство и доминантните групи може да варираат во зависност од таргетираните соединенија и типовите на користени производи.[76,181–188] Комплетниот сет на податоци за соединенијата VOCs откриени на оваа локација, кој ги опфаќа сите примероци собрани во периодот на мерења јули–декември 2023 година и вклучува индивидуални површини на пиковите од хроматограмите со нивната релативна

застапеност (%) за секој месечен период на мерење, е даден во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B4**).

Профилот на внатрешни VOCs во продавницата за парфеми, сместена на вториот кат од трговски центар, откри комплексен и карактеристичен модел на емисии, обликуван од интензивната употреба на ароматизирани потрошувачки производи и ограничената вентилација. Предниот влез на продавницата беше единственото отворање кон централниот коридор, а вентилациските системи работеа претежно во режим на рециркулација. Како резултат, просторот покажуваше ограничена размена на воздух со надворешната средина. Овие услови ја фаворизираа акумулацијата на емитираните VOCs и овозможија развој на комплетен хемиски отпечаток, кој е репрезентативен за типична парфимериска средина.

Беше идентификувана разновидна палета на VOCs класи. Терпените беа доминантната група, сочинејќи 34,01% од вкупното релативно изобилство на VOC, следени од алкохоли и етери (15,67%) и ароматични јаглеводороди (14,33%). Сите други хемиски групи поединечно придонесуваа со помалку од 10%. Меѓу поединечните соединенија, лимонен (18,07%) и α-пинен (8,00%) беа најзастапените монотерпени, што го одразува широко распространетото користење на компоненти за мирис од етерични масла или синтетички мириси. D5 беше детектиран со 6,27%, што укажува на придонеси од органосилоксани, веројатно потекнуващи од производите за лична нега користени од персоналот или клиентите. Ароматичниот јаглеводород 1-метил-3-изопропилбензен (6,00%) сугерира присуство на растворувачки носачи или фиксативи, кои често се користат во синтетички мирисни бази. Сите останати VOCs поединечно придонесуваа со помалку од 5% во вкупното релативно изобилство на VOC.

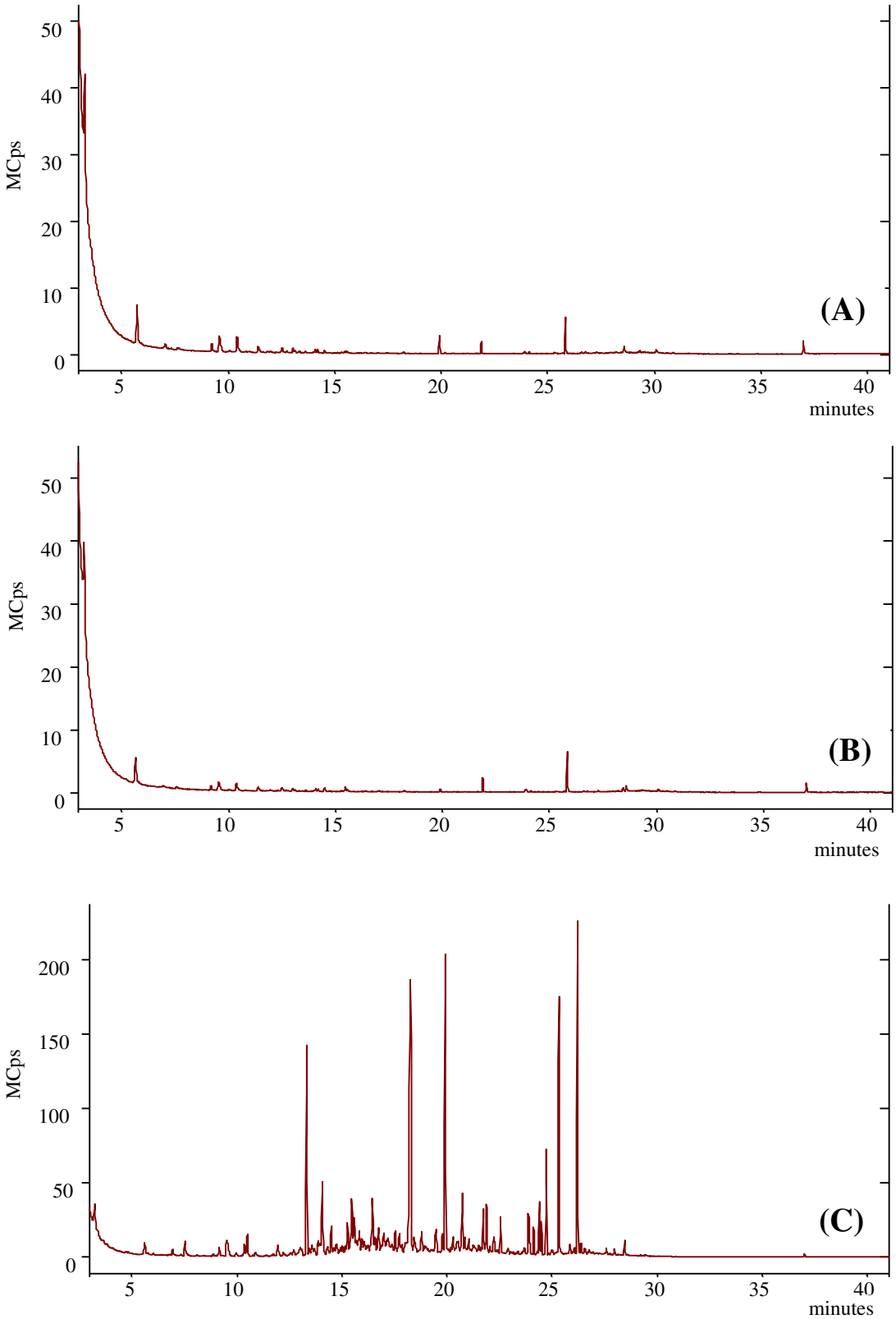
Хемискиот состав на VOCs забележан е во согласност со емисиите обично поврзани со ароматизирани потрошувачки производи, како што се парфеми, спрејови за тело, освежувачи за воздух и производи за лична нега, кои континуирано ослободуваат испарливи состојки во внатрешната средина.[76,77,189–192] Комплетниот сет на податоци за соединенијата VOCs откриени на оваа локација, кој ги опфаќа сите примероци собрани во периодот на мерења септември–декември 2023 година и вклучува индивидуални површини на пиковите од хроматограмите со нивната релативна застапеност (%) за секој месечен период на мерење, е даден во дополнителниот материјал (Додаток II, **Табела B10**).

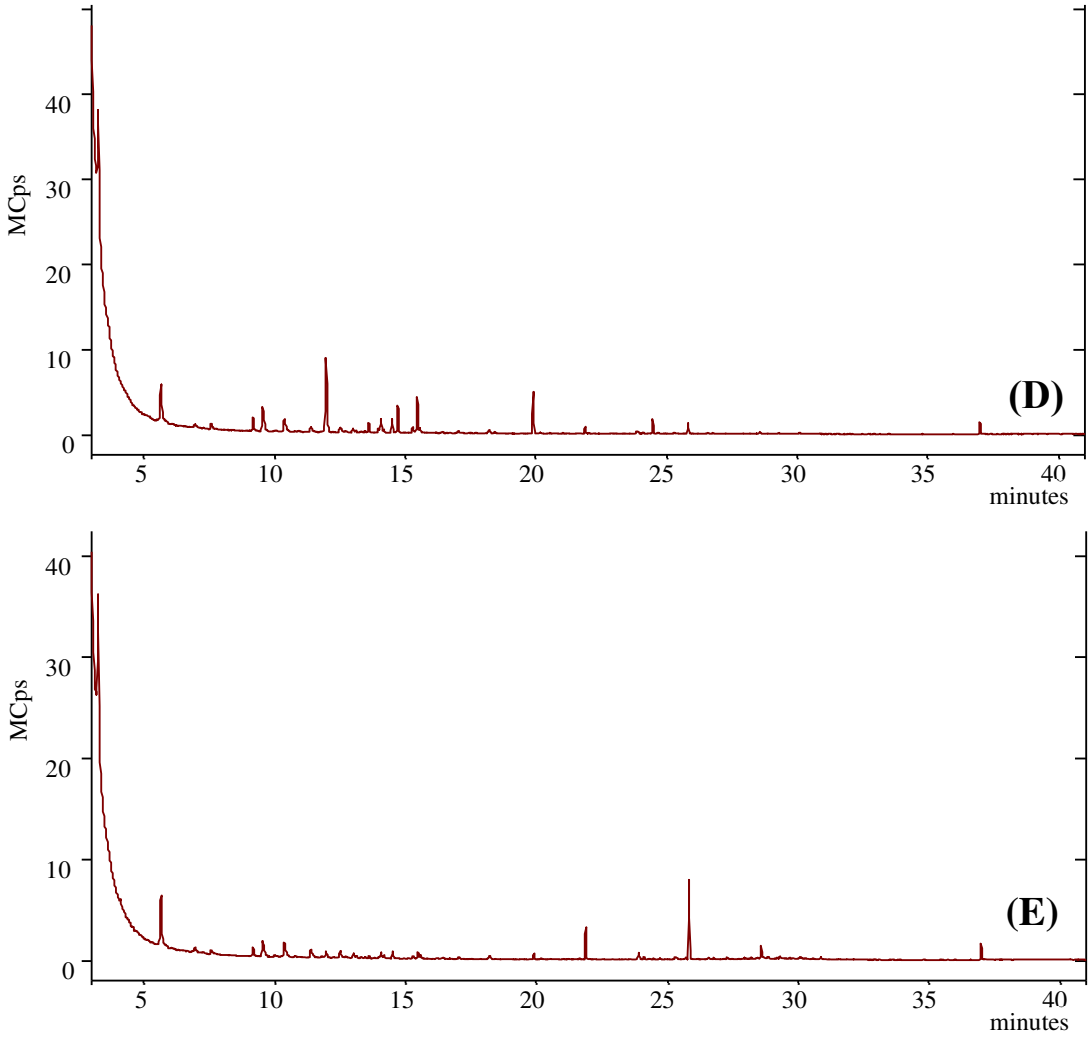
Наодите од оваа студија покажуваат дека внатрешните простории имаат комплексни и високо променливи профили на VOC, обликувани од специфични модели

на извори. Секоја следена внатрешна локација – комерцијална, индустриска, резиденцијална или академска – прикажуваше уникатен VOCs отпечаток. Овој отпечаток ја одразува специфичната активност, материјали и обрасци на користење на секоја средина.

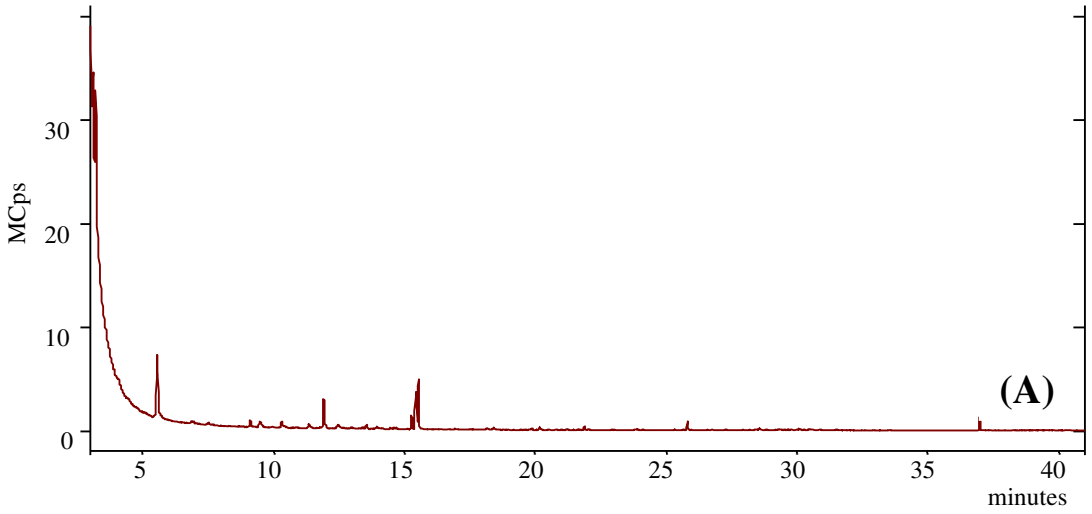
4. 3. Внатрешен и надворешен воздух во Милано, Италија

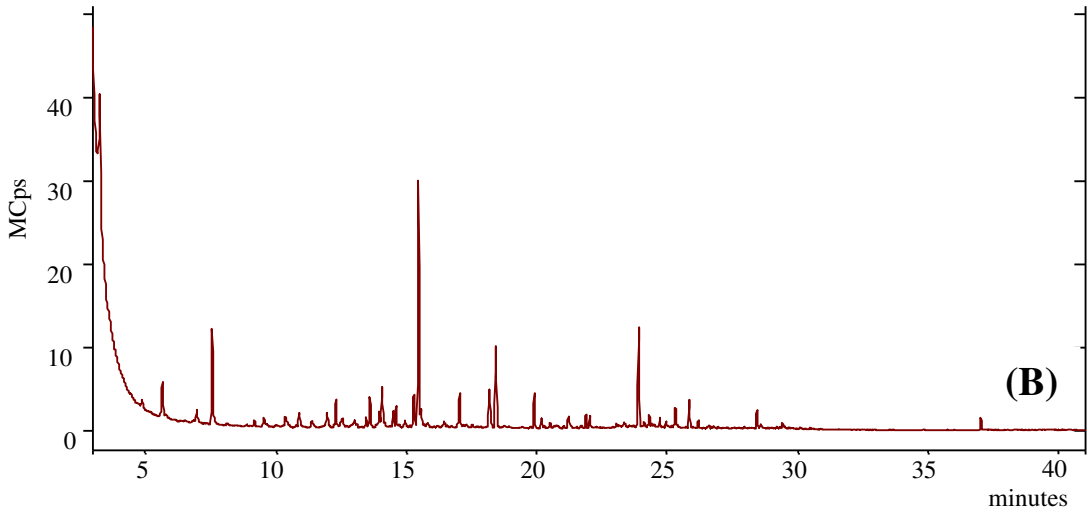
На **Слики 14** и **15** се прикажани репрезентативни хроматограми од петте локации за мониторинг на надворешен и внатрешен воздух, соодветно. Од секој хроматограм може да се забележи специфичниот VOCs профил на соодветната локација, истакнувајќи ги просторните варијации во хемискиот состав. За разлика од претходните хроматограми, кои беа добиени со користење на Agilent 6890N гасен хроматограф спрегнат со масено селективен детектор со еден квадрупол 5975B (MSD), интензитетот на сигналот прикажан на *y*-оската на сите хроматограми овде е изразен во мега броења во секунда (MCps), што ја претставува стапката на броење јони регистрирана од детекторот, која одговара на застапеноста што обично се прикажува во конвенционалните GC–MS хроматограми. Анализите беа извршени со користење на SCION 436–GC спрегнат со масен спектрометар со еден квадрупол (Bruker, Techcomp, САД).

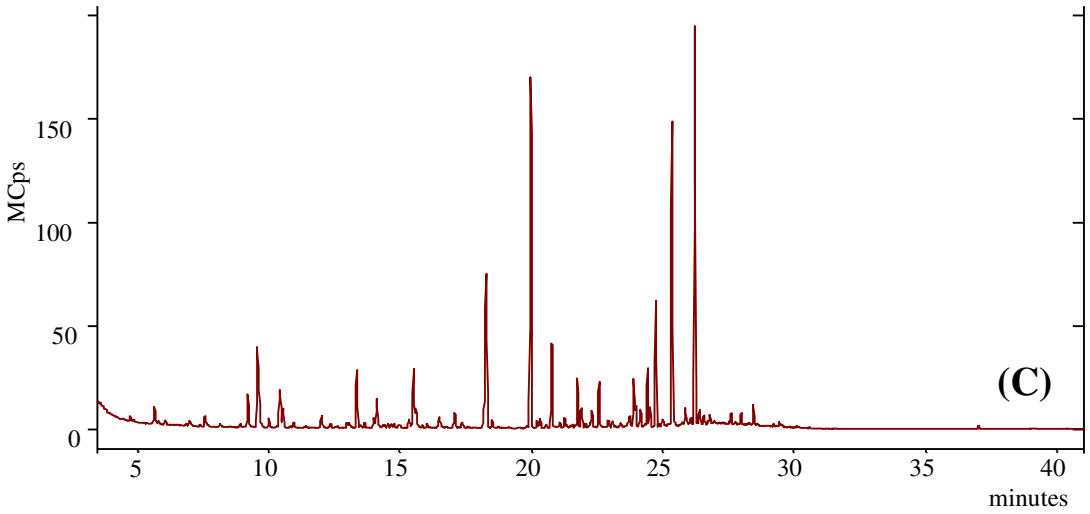

MCps
50
40
30
20
10
0
5
10
15
20
25
30
35
40
minutes
(A)
MCps
50
40
30
20
10
0
5
10
15
20
25
30
35
40
minutes
(B)
MCps
200
150
100
50
0
5
10
15
20
25
30
35
40
minutes
(C)

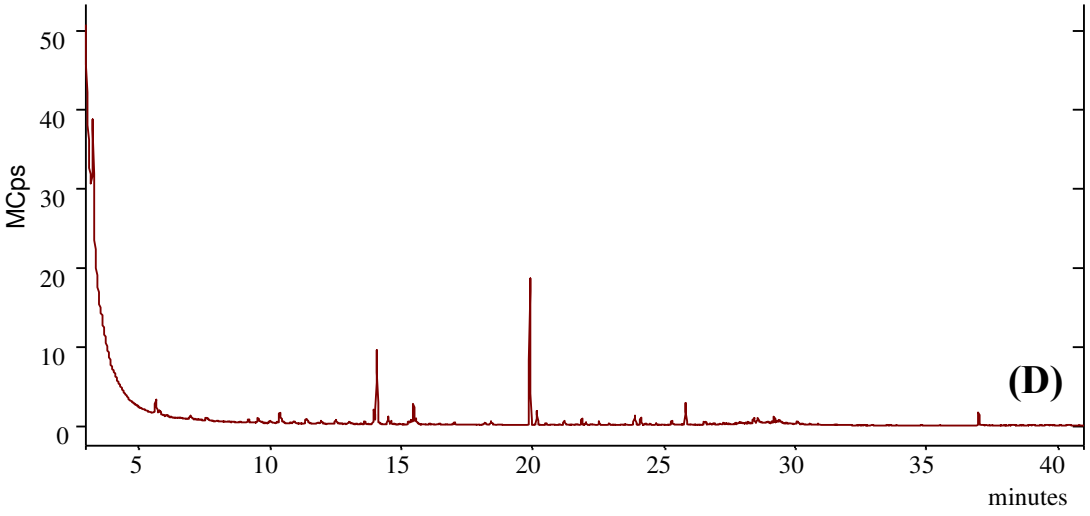


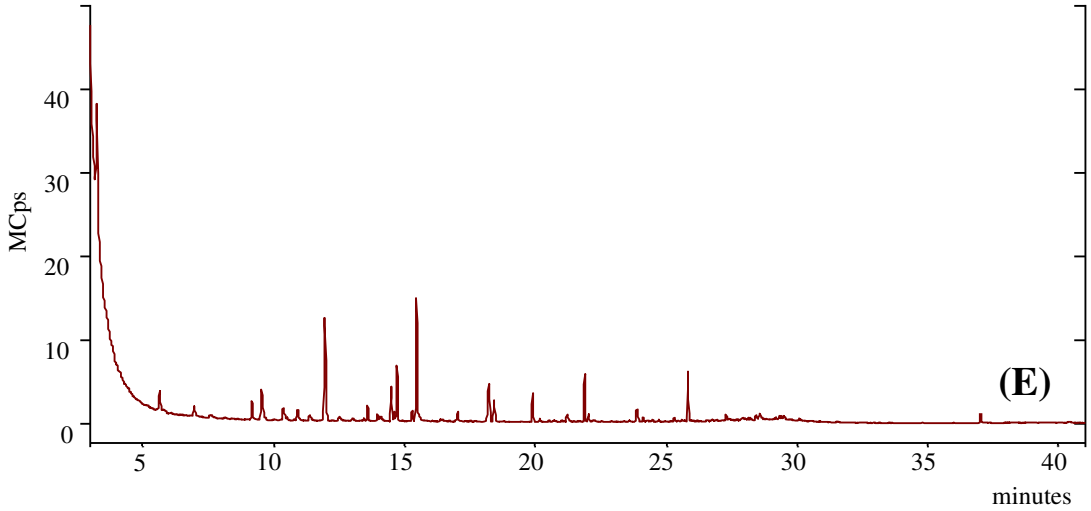
Слика 14. Репрезентативни хроматограми на VOCs во надворешен воздух собрани на пет локации за мониторинг во Милано, добиени со пасивно собирање користејќи Radiello® апарати за приемркување и анализирани со GC–MS. Локациите за примеркување се означени вака: **(A)** Лабораторија, **(B)** Стан 1, **(C)** Стан 2, **(D)** Стан 3 и **(E)** Стан 4. Секоја хроматограма го прикажува карактеристичниот ВОС профил на надворешната средина на соодветната локација.




MCps
40
30
20
10
0
5
10
15
20
25
30
35
40
minutes
(B)


MCps
150
100
50
0
5
10
15
20
25
30
35
40
minutes
(C)


MCps
50
40
30
20
10
0
5
10
15
20
25
30
35
40
minutes
(D)



Слика 15. Репрезентативни хроматограми на VOCs во внатрешен воздух собрани на пет локации за мониторинг во Милано, добиени со пасивно собирање користејќи Radiello® апарати за примеркување и анализирани со GC–MS. Локациите за примеркување се означени вака: **(A)** Лабораторија, **(B)** Стан 1, **(C)** Стан 2, **(D)** Стан 3 и **(E)** Стан 4. Секоја хроматограма го прикажува карактеристичниот VOCs профил на внатрешната средина на соодветната локација.

4.3.1. Полуквантитативна анализа на VOCs во надворешен и внатрешен воздух со користење пасивно земање примероци

Полуквантитативните средни концентрации (μg/m^3) на секоја група на VOCs измерени на петте локации за мониторинг за време на периодот на примеркување се прикажани на **Слика 16** за надворешниот и внатрешниот воздух. Истиот сет на резултати е достапен и во форма на табели во дополнителниот дел, во Додаток 3, во **табелата С3.**

Во надворешниот воздух, алифатичните јаглеводороди ја претставуваа доминантната хемиска група, со просечна концентрација од 173,2 μg/m^3 (опсег: 91,4 до 428,9 μg/m^3). Ароматичните јаглеводороди беа втората најзастапена група со просечна концентрација од 37,2 μg/m^3 (опсег: 9,5 до 125,7 μg/m^3), по што следеа терпените со 2,7 μg/m^3 (опсег: 0,15 до 6,37 μg/m^3), естерите со 2,2 μg/m^3 (опсег: 0,83 до 3,59 μg/m^3), алкохолите и етерите со 1,7 μg/m^3 (опсег: 0 до 3,08 μg/m^3), халогенираните соединенија со 1,5 μg/m^3 (опсег: 0,33 до 3,36 μg/m^3), органосилоксаните со 1,2 μg/m^3 (опсег: 0 до 3,11 μg/m^3) и алдехидите и кетоните со 1,1 μg/m^3 (опсег: 0 до 3,73 μg/m^3). Овие вредности ги претставуваат просечните вредности добиени од сите пет локации за мониторинг на надворешниот воздух во Милано.

Меѓу поединечните VOCs откриени во надворешниот воздух, тетрадеканот покажа највисока полуквантитативна просечна концентрација од 59,8 μg/m^3 (опсег: 35,14 до 105,8 μg/m^3), следен од додеканот со 52,1 μg/m^3 (опсег: 18,4 до 152,2 μg/m^3), хексадеканот со 16,8 μg/m^3 (опсег: 7,1 до 35,7 μg/m^3), тридеканот со 16,1 μg/m^3 (опсег:

0,8 до 61,8 μg/m^3), (*m* + *p*)-ксилените со 13,8 μg/m^3 (опсег: 1,4 до 57,9 μg/m^3), деканот со 10,6 μg/m^3 (опсег: 0,24 до 50,1 μg/m^3), етилметилбензените со 8,1 μg/m^3 (опсег: 0,7 до 34,1 μg/m^3), толуенот со 6,1 μg/m^3 (опсег: 3,6 до 9,5 μg/m^3), *n*-пентадеканот со 5,8 μg/m^3 (опсег: 0 до 16,8 μg/m^3) и 2,2,4-триметилпентанот со 4,6 μg/m^3 (опсег: 1,5 до 8,6 μg/m^3). Целосен список на VOCs откриени во надворешниот воздух, заедно со нивните полуквантитативни концентрациски податоци за сите примероци, е прикажана во дополнителниот материјал (Додаток III, **Табела С1**).

Просечната полуквантитативна концентрација на вкупни лесно испарливи органски соединенија (TVOCs) во надворешниот воздух на сите локации изнесуваше 220,8 μg/m^3 (опсег: 118,7 до 569 μg/m^3). Меѓу следените локации, надворешниот воздух кај Стан 2 покажа значително повисока просечна полуквантитативна концентрација на TVOCs во споредба со другите надворешни локации. Ова зголемено ниво на концентрација се должи претежно на високата сообраќајна густина во областа, што придонесува за зголемени концентрации на специфични алкани (*n*-декан, *n*-додекан и *n*-тетрадекан) и алкилбензени (толуен, етиљбензен, (*m* + *p*)-ксилени и етилметилбензени), кои се во согласност со емисиите од согорување на бензин и дизел. Ова набљудување е во согласност со претходни студии кои го поврзуваат интензивниот сообраќај со зголемени концентрации на VOCs.[132,193]

Во внатрешниот воздух, алифатичните јаглеводороди повторно се покажа како најзастапена група со 95,2 μg/m^3 (опсег: 8,8 до 226,7 μg/m^3), Терпените беа втората најзастапена група со 49,0 μg/m^3 (опсег: 11,7 до 128 μg/m^3), по што следеа естерите со 31,5 μg/m^3 (опсег: 2,9 до 68,4 μg/m^3), алкохолите и етерите со 24,2 μg/m^3 (опсег: 0,7 до 55,8 μg/m^3), ароматичните јаглеводороди со 16,8 μg/m^3 (опсег: 7,2 до 32,1 μg/m^3), органосилоксаните со 12,6 μg/m^3 (опсег: 0,4 до 27,2 μg/m^3), алдехидите и кетоните со 11,4 μg/m^3 (опсег: 1,5 до 22,5 μg/m^3) и халогенираните соединенија со 2,9 μg/m^3 (опсег: 0 до 7,9 μg/m^3). Овие вредности претставуваат просек од сите пет локации за мониторинг на внатрешниот воздух во Милано.

Десетте најзастапени VOCs идентификувани во внатрешниот воздух беа: тетрадекан со полуквантитативна просечна концентрација од 29,2 μg/m^3 (опсег: 3,6 до 62,7 μg/m^3), следен од додекан со 17,3 μg/m^3 (опсег: 1,3 до 32,9 μg/m^3), лимонен со 13,2 μg/m^3 (опсег: 1,7 до 25,1 μg/m^3), *n*-бутил ацетат со 11,9 μg/m^3 (опсег: 0,6 до 27,8 μg/m^3), декаметилциклопентасилоксан со 10,3 μg/m^3 (опсег: 0,1 до 26 μg/m^3), хексадекан со 10,0 μg/m^3 (опсег: 0 до 34,1 μg/m^3), *α*-пинен со 9,7 μg/m^3 (опсег: 1,6 до 28,1 μg/m^3), *β*-линалол со 9,7 μg/m^3 (опсег: 0 до 29 μg/m^3), толуен со 9,1 μg/m^3 (опсег: 3 до 20,7 μg/m^3) и 1-

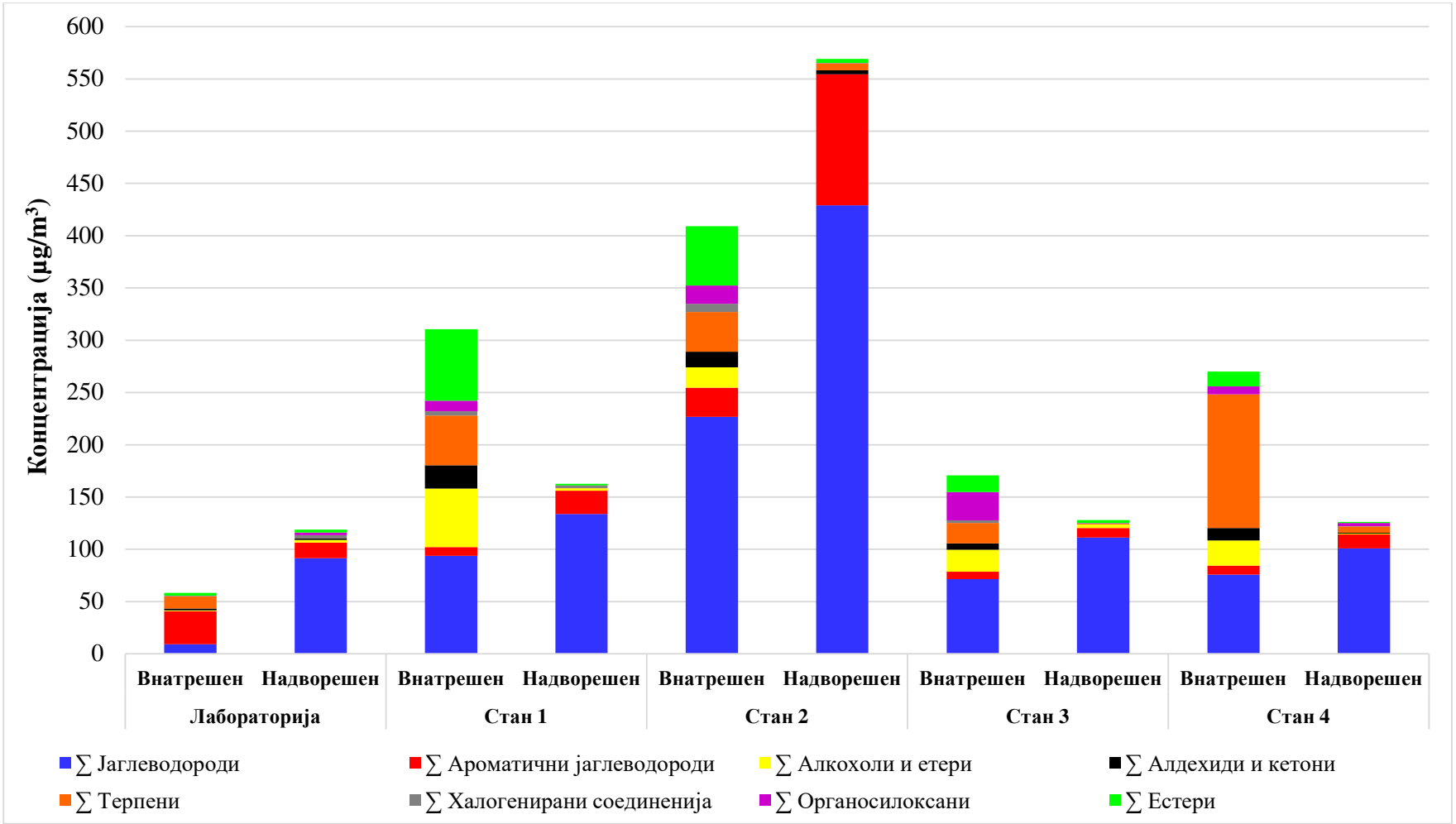
бутокси-2-пропанол со 8,1 μg/m^3 (опсег: 0 до 13,7 μg/m^3). Целосен список на VOCs откриени во внатрешниот воздух, заедно со нивните полуквантитативни концентрациски податоци за сите примероци, е прикажана во дополнителниот материјал (Додаток III, **Табела С2**).

Просечната полуквантитативна концентрација на внатрешни TVOCs изнесуваше 243,6 μg/m^3 (опсег: 58,3 до 408,9 μg/m^3), што во просек е за 10% повисока од концентрациите во надворешниот воздух, со коефициент на внатрешен/надворешен воздух од 1,10. Овој тренд е во согласност со претходни студии кои укажуваат на повисоки концентрации на TVOCs во внатрешни простории во споредба со надворешната средина.[194] Сепак, беа забележани исклучоци во лабораторијата и кај Стан 2, каде полуквантитативната просечна концентрација на TVOCs во надворешниот воздух ја надмина онаа во внатрешниот воздух.

Стан 2 покажуваше највисоки концентрации на TVOCs во внатрешниот воздух, предизвикани од континуираното навлегување на загадувачи од надворешниот воздух преку отворени прозорци, што беше засилено поради неговата близина до главен сообраќаен пат.

Поради зголемените надворешни температури за време на периодот на мониторинг, прозорците и вратите на станот беа редовно оставани отворени преку денот и во текот на ноќта, овозможувајќи нефилтрирана размена со надворешната средина. Ова доведе до акумулација на VOCs поврзани со сообраќајот во внатрешниот воздух. Во овој случај, проветрувањето преку отворени прозорци не го подобри квалитетот на внатрешниот воздух, туку, напротив, овозможи навлегување на загадувачи од надворешниот воздух. Овој наод е во согласност со претходни студии кои покажуваат дека загадениот надворешен воздух може да навлезе во внатрешни простории, зголемувајќи ги нивните нивоа на загадување, особено во области блиску до главни сообраќајници.[148,149]

Наспроти тоа, во лабораторијата, каде прозорците останаа затворени и се користеше механичка вентилација, полуквантитативните концентрации на VOCs во внатрешниот воздух беа пониски од оние во надворешниот воздух. Ова ја истакнува ефикасноста на контролирани вентилациски системи во управувањето со квалитетот на внатрешниот воздух, особено во урбани средини со интензивен сообраќај.



Слика 16. Слојен дијаграм покажува просечни концентрации (µg/m^3) на групи на VOCs собрани со пасивни Radiello® сензори и анализирани со GC–MS во пет внатрешни и надворешни средини во Милано за време на јуни и јули 2024 година.[103]

4.3.2. Односот на VOCs во внатрешниот и надворешниот воздух како показател за определување на изворите

Симултаните мерења на полуквантитативните концентрации на VOCs во внатрешниот и надворешниот воздух овозможија пресметка на односот внатре/надвор (I/O), широко користен дијагностички инструмент за идентификување на доминантните извори на емисија. Однос I/O поголем од 2,0 обично укажува на превладување на внатрешни извори, додека однос близок до 1,0 ± 0,2 сугерира надворешно потекло, Средните вредности (1,2 – 2,0) укажуваат на мешани придонеси од двете средини.[195]

Во оваа студија, релативните I/O односи беа пресметани за хемиските групи, а не за поединечни VOC. Овој пристап е во согласност со шемата на класификација на студијата, подобрувајќи ја јасноста, споредливоста и идентификацијата на изворите. Соединенијата во рамките на секоја група обично имаат слични физикохемиски својства и извори на емисија. Користењето на односите на концентрации по групи го намалува влијанието на краткотрајните варијации во концентрациите на поединечни соединенија. Резиме на релативните I/O односи за осумте VOCs групи на сите локации за земање примероци е прикажано во **Табела 6**.

Анализата откри јасни варијации во I/O односите помеѓу хемиските групи и локациите за примеркување. Алифатичните јаглеводороди и ароматичните јаглеводороди постојано покажуваа I/O односи под 1,0 што укажува на доминантен придонес од надворешни извори. Овој образец е во согласност со високите концентрации на отворено на локации под влијание на сообраќај, потврдувајќи ја интерпретацијата дека емисиите од возила се главни придонесувачи за нивото на овие соединенија во внатрешниот воздух преку инфилтрација и природна вентилација.

Наспроти тоа, ароматичните јаглеводороди во лабораториската средина покажаа I/O односи поголеми од 2,0 што укажува на силен внатрешен извор. Ова најверојатно се должи на употребата на растворувачи со висока чистота за време на лабораториските постапки, што значително ги зголемува концентрациите на овие соединенија во внатрешниот воздух.

Другите групи на VOCs, вклучувајќи алкохоли и етери, алдехиди и кетони, терпени, халогени соединенија, органосилоксани и естери, покажаа I/O односи обично поголеми од 2, што го потврдува нивното примарно внатрешна потекло.

Некои локации прикажаа посложени профили на извори. На пример, халогените соединенија во Стан 1 и алдехидите и кетоните во лабораторијата имаа гранични I/O односи, што укажува на мешани извори. Во овие случаи, и инфилтрацијата од

надворешниот воздух и внатрешните активности значајно придонесоа за концентрациите на VOCs во внатрешниот воздух.

Овие наоди ја истакнуваат важноста од земање предвид на квалитетот на надворешниот воздух при евалуација на концентрациите на VOCs во внатрешниот воздух. Многу соединенија кои потекнуваат од надворешниот воздух можат да се инфилтрираат во внатрешните простории и да влијаат на вкупната изложеност на луѓето, особено во области кои се во близина на главни сообраќајници.

Табела 6. Односи внатрешен/надворешен воздух (I/O) на хемиските групи на VOCs на сите локации за мониторинг.[103]

Хемиски групи на VOC	**I/O однос**									
	Лабораторија Извори		**Стан 1 Извори**		**Стан 2 Извори**		**Стан 3 Извори**		**Стан 4 Извори**	
Јаглеводороди	0,1	O	0,70	O	0,53	O	0,64	O	0,75	O
Ароматични јаглеводороди	2,14	I	0,37	O	0,22	O	0,76	O	0,64	O
Алкохоли и етери	0,27	O	28,19	I	nd*	I	6,77	I	28,98	I
Алдехиди и кетони	1,30	I&O	nd*	I	3,98	I	nd*	I	20,81	I
Терпени	77,73	I	227,19	I	5,97	I	26,09	I	20,78	I
Халогени соединенија	0,07	O	1,58	I&O	10,82	I	4,07	I	nd**	O
Органосилоксани	0,17	O	32,52	I	nd*	I	75,64	I	2,44	I
Естери	1,01	O	49,91	I	15,73	I	6,31	I	19,96	I

*nd – не е детектирано во надворешниот воздух; **nd – не е детектирано во внатрешниот воздух.

4.3.3. Дијагностички односи на VOCs во надворешен воздух: B/T, T/B и X/E

Односите на бензен и толуен (B/T), толуен и бензен (T/B) и (*m* + *p*)-ксилени и етибензен (X/E) се широко користени дијагностички алатки за оценка на потеклото на VOCs и за евалуација на фотохемиското стареење на воздушните маси.

Односот B/T често се користи за проценка на придонесот на изворите на VOC. Односите во опсег од 0,23 до 0,66 обично се поврзуваат со мобилни извори, особено издувните гасови од возила, додека вредности под 0,23 укажуваат на доминација на стационарни извори, како што се испарувања на гориво или индустриски емисии. Наспроти тоа, односот B/T поголем од 0,66 укажува на мешан придонес од мобилни и стационарни извори.[122]

Односот T/B ја дополнува интерпретацијата на B/T и помага да се разликуваат емисиите од сообраќај од оние поврзани со растворувачи. Однос под 2,0 обично одразува свежи емисии од сообраќај. Односи помеѓу 2,0 и 5,0 укажуваат на мешан влијание од возила и индустриски активности кои вклучуваат употреба на растворувачи. Односи над

5,0 се поврзуваат со значителен придонес од индустриски извори или испарување на растворувачи. Овие прагови за T/B се прилагодени од претходни студии спроведени во урбани средини.[196,197]

Во урбаните средини, односите X/E генерално се движат помеѓу 2,5 и 2,9, што одразува релативно свежи емисии. Наспроти тоа, односи X/E под 2,5 укажуваат дека воздушните маси поминале значително фотохемиско стареење,[198] Вредности над овој опсег (2,8 – 4,6) се тесно поврзуваат со сообраќајот, кој е главен придонесувач за VOCs во урбаните средини.[123] Пресметаните просечни релативни односи B/T, T/B и X/E за секоја локација за собирање надворешни примероци се прикажани во **Табела 7**.

Во оваа студија, пресметаните просечни релативни односи на VOCs на сите надворешни локации за мониторинг во Милано изнесуваа 0,39 за B/T, 2,69 за T/B и 2,72 за X/E. Овие резултати сугерираат дека сообраќајот е доминантниот извор на амбиентални VOC, Односите B/T спаѓаат во типичниот опсег поврзан со издувни гасови од возила (0,23 – 0,66), додека односите T/B укажуваат на мешан придонес од сообраќај и индустриски активности поврзани со растворувачи. Просечниот однос X/E (2,72) укажува на релативно свежи емисии со умерено фотохемиско стареење.

Забележително, Стан 2 покажува највисок X/E однос (3,56), што ја потврдува неговата класификација како локација под влијание на сообраќајот. Наспроти тоа, Стан 4 покажа најнизок X/E однос (1,85), укажувајќи на присуство на постари воздушни маси, веројатно поради фотохемиско разградување и атмосферска дисперзија.

Иако и сообраќајот и индустриските активности поврзани со растворувачи придонесуваат за амбиенталните VOCs во Милано, вкупниот профил на емисии е јасно доминиран од страна на возилата. Локалните варијации одразуваат разлики во близината до патишта и урбаната густина. Урбаните области се повеќе погодени од свежи емисии од сообраќај, додека приградската локација покажува знаци на постари воздушни маси.

Табела 7. Односи на специфични за локацијата надворешни VOCs: бензен во однос на толуен (B/T), толуен во однос на бензен (T/B) и (*m* + *p*)-ксилени во однос на етилбензен (X/E) на мониторирани локации во Милано, Италија.[103]

Локација	B/T	T/B	X/E
Лабораторија	0,42	2,36	2,77
Стан 1	0,38	2,60	2,90
Стан 2	0,55	1,83	3,56
Стан 3	0,31	3,26	2,52
Стан 4	0,29	3,41	1,85
Просечен однос	0,39	2,69	2,72

4.3.4. Полу-квантитативно споредување помеѓу емисиите на VOCs од потрошувачки производи и VOCs откриени во внатрешен и надворешен воздух

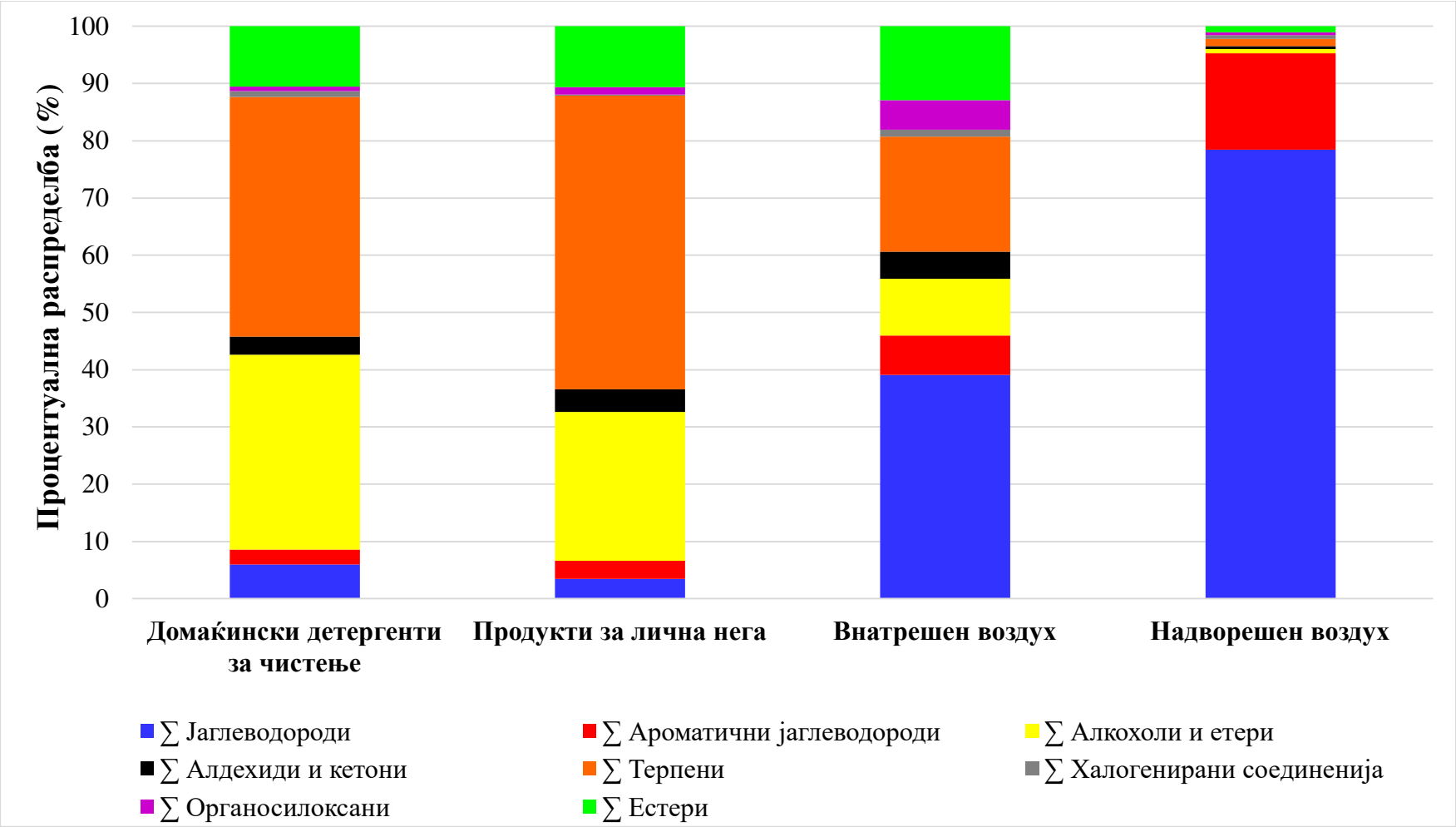
Слика 17 ја прикажува полу-квантитативната процентуална распределба на VOCs емитирани од домашни средства за чистење и производи за лична нега користени на мониторирани локации во Милано. За споредба, на сликата е прикажан и просечниот процентуален состав на групите на VOCs идентификувани во внатрешниот и надворешниот воздух на сите локации за примеркување. Вредностите претставуваат релативен придонес на секоја група на VOCs во вкупниот број на откриени соединенија, обезбедувајќи интегриран преглед на профилите на емисии од производите и составот на амбиенталните VOC.

Наодите покажуваат дека потрошувачките производи, особено средства за чистење и формулации за лична нега, претставуваат доминантни извори на VOCs во внатрешниот воздух. Најзастапените групи на соединенија емитирани од овие производи вклучуваат терпени, алкохоли и етери, како и естери. Овој образец е во согласност со претходни истражувања кои ги идентификуваат овие производи како главни извори на ВОС во затворени простории.[157,199–201]

Спротивно на тоа, алифатичните јаглеводороди и ароматичните јаглеводороди откриени во внатрешниот воздух главно се припишуваат на инфилтрација на надворешниот воздух. Овие соединенија обично се поврзуваат со сообраќај и извори поврзани со согорување. Нивното присуство во внатрешниот простор го одразува преносот на загадувачи од амбиенталната надворешна средина, како што е истакнато и со соодносите внатрешен/надворешен (I/O) разгледани во поглавје 4.3.2.

4.3.5. Концентрации на TVOCs во Милано и споредба со други градови

Табелата 8 ги прикажува просечните полуквантитативни концентрации на TVOCs измерени во надворешниот и внатрешниот воздух во Милано, заедно со пријавените вредности од избрани светски градови. За Милано, просечните концентрации на TVOCs беа добиени преку пресметување на вкупната концентрација на секоја мерна локација (внатрешна и надворешна), а потоа беше изведена аритметичката средина од сите локации. Оваа постапка обезбедува доследност во споредбата и дава сигурен показател за вкупното оптоварување со VOCs во урбаната средина на Милано.



Слика 17. Столбен дијаграм што ја прикажува просечната процентуална распределба на групите на VOCs емитирани од потрошувачки производи и детектирани во внатрешниот и надворешниот воздух на мониторизираните локации.[103]

Сепак, наведените студии значително се разликуваат во однос на локациите примеркување, времетраењето, протоколите, аналитичките методи и особено времето на примеркување. Нашето истражување беше спроведено во летните месеци, додека некои од цитираните студии прикажуваат податоци ограничени само на одредени сезони со мал број мерења во текот на летото или опфаќаат подолги периоди на мониторинг кои ги вклучуваат повеќе сезони. Овие временски разлики ја отежнуваат директната споредба, бидејќи сезонските варијации и должината на мониторингот можат значително да влијаат врз добиените концентрации. Дополнително, концентрациите прикажани овде се полуквантитативни проценки, за разлика од апсолутните вредности претставени во другите студии во **Табелата 8**. Затоа, квантитативните споредби меѓу студиите треба да се толкуваат внимателно, поради методолошките и временските разлики.

И покрај овие ограничувања, споредбената проценка нуди корисна релативна перспектива за варијациите на TVOCs концентрациите како на локално, така и на меѓународно ниво.

Во Милано, просечните полу-квантитативни концентрации на TVOCs беа релативно повисоки во споредба со неколку други урбани центри. На пример, концентрациите на TVOCs во надворешниот воздух во Милано ги надминуваа оние пријавени во Калгари (42 μg/m^3; активно примеркување со 6-L евакирани SUMMA канистери, GC–MS)[202], Гент ((24,5 μg/m^3; активно примеркување со Tenax-TA апсорпциони цевки, термичка десорпција – гасна хроматографија – масена спектрометрија (TD–GC–MS))[203] и Улсан (28,1 μg/m^3; пасивно примерквуање со Radiello®, GC–MS)[130], што најверојатно го одразува поголемиот сообраќаен интензитет и урбаната густина. Концентрациите на TVOCs во внатрешниот воздух во Милано, исто така, беа повисоки од оние пријавени во Ла Плата (112,5 μg/m^3; пасивно примеркување со 3M OVM 3500, GC–MS)[148] и Гент (152 μg/m^3; активно примеркување со Tenax-TA апсорпциони цевки, TD–GC–MS)[203].

Сепак, концентрациите на TVOCs во внатрешниот воздух во Милано останаа пониски од оние измерени во силно загадени средини. На пример, Ајман (3092,2 μg/m^3; активно примеркување со Tenax-TA апсорпциони цевки, GC–MS)[204] и Дубаи (594,8 μg/m^3; активно примеркување со Tenax-TA апсорпциони цевки, GC–MS)[205] пријавија повисоки вредности. Градови како Чанаккале ((500–550 μg/m^3; активно примеркување со двојни апсорпциони цевки, термичка десорпција – гасна хроматографија – детекција со пламенска јонизација (TD–GC–FID))[206] и Харбин (411 μg/m^3; активно примеркување со Tenax-TA апсорпциони цевки, TD–GC–FID)[207] исто така пријавија повисоки

внатрешни вредности. Ова го позиционира Милано на средина во однос на загадување на внатрешниот воздух.

Табела 8. Просечните полуквантитативни концентрации на TVOC (μg/m^3) во внатрешниот и надворешниот воздух во Милано се прикажани прво, по што следат податоците од меѓународните локации за споредба, групирани по континент или регион.[103]

Град/Држава	Тип на воздух	TVOC Концентрација (μg/m^3)	Референци
Милано, Италија	Надвор	220,8	Оваа студија
	Внатрешен	243,6	
Меѓународни споредбени локации – Европа			
Гент, Белгија	Надвор	24,5	203
	Внатрешен	152	
Сквинцано, Италија	Надвор	420	208
	Внатрешен	303	
Словачка	Внатрешен	519,7	209
Шлезвиг-Холштајн, Германија	Внатрешен	289	210
Меѓународни споредбени локации – Азија			
Ајман, Обединети Арапски Емирати	Надвор	114	204
	Внатрешен	3092,2	
Дубаи, Обединети Арапски Емирати	Внатрешен	594,8	205
Пекинг, Кина	Надвор	119	211
Харбин, Кина	Внатрешен	411	207
Улсан, Кореја	Надвор	28,1	130
Чанакале, Турција	Внатрешен	500–550	206
Меѓународни споредбени локации – Африка			
Адис Абеба, Етиопија	Внатрешен	289	212
Нсука, Нигерија	Надвор	71	10
	Внатрешен	115;254	
Меѓународни споредбени локации – Америка			
Калгари – Алберта, Канада	Надвор	42	202
Ла Плата (Буенос Аирес), Аргентина	Надвор	44,5	148
	Внатрешен	112,5	

Важно е што просечната концентрација на внатрешни TVOCs во Милано, иако прикажана како полу-квантитативни податоци, ја надмина границата од 200 μg/m^3 предложена од Мьолхаве (1991), над која може да се појават непријатности или негативни здравствени ефекти во станбени средини.[213] Оваа граница беше надмината во три од четирите мониторирани апартмани, што укажува на присуство на смеси на VOCs кои предизвикуваат загриженост за квалитетот на внатрешниот воздух.

Дополнително, релативната просечна концентрација на бензен на отворено, пресметана преку сите локации за примеркување во Милано, изнесуваше приближно 2,5 μg/m^3. На две локации за примеркување, оваа полуквантитативна проценка малку ја надмина референтната граница од 3,4 μg/m^3 утврдена со Директива (ЕУ) 2024/2881.[214]

Овие вредности треба да се толкуваат како индикативни релативни проценки, а не како прецизни апсолутни концентрации, поради методолошките ограничувања што се поврзани со постигнувањето на целосна апсолутна квантитативна анализа.

Овие наоди ја истакнуваат важноста од континуирано следење на VOCs во надворешни и внатрешни средини и нагласуваат дека полу-квантитативните податоци треба да се надополнат со апсолутни квантитативни мерења за да се обезбеди цврста основа за идни истражувања и развој на политики.

ГЛАВА 5

5. ЗАКЛУЧОК

Ова докторска дисертација обезбедува систематска проценка на лесно испарливите органски соединенија (VOCs) и во надворешната и во внатрешната средина, со фокус на прекуграничниот регион меѓу Северна Македонија и Косово и градот Милано, Италија. Со употреба на пасивно примеркување со Radiello® и последователна GC–MS анализа, студијата го обезбедува хемискиот состав на VOCs, ја истражува нивната просторна распределба и ги идентификува можните извори на емисија во различни урбани и приградски средини. Со тоа се адресираат клучните празнини во регионалните податоци за квалитетот на воздухот.

Студијата потврди дека профилите на VOCs се високо специфични за локацијата, што ја рефлектира комплексната интеракција помеѓу антропогените и природните извори. Во надворешниот воздух во прекуграничниот регион меѓу Северна Македонија и Косово, доминираа ароматични и алифатични јаглеводороди, кои сочинуваа околу 77% од вкупната релативна застапеност, што укажува на преовладувачко влијание на согорување на фосилни горива, особено од сообраќајот. Ова дополнително беше потврдено со хемиската сличност помеѓу примероците на амбиентен воздух и гориво. Уделот на биогените VOCs генерално беа мали (<10%), претежно од терпени и терпеноди од растително потекло. Меѓутоа, во планинскиот град Драгаш, биогените VOCs надминаа 10% за време на летото. Значајна исклучок беше забележан во Обилиќ, каде алкохолите и етерите сочинуваа 63,95% летно време, во споредба со 6,53% пролетта и 8,88% есента, што веројатно е поврзано со локализирани краткорочни емисии и ја истакнува изразената сезонска и географска варијабилност на изворите на VOCs.

Анализата на внатрешниот воздух во Северна Македонија и Косово откри дека доминантните групи на VOCs се разликуваат според типот на локацијата, при што секое опкружување го одразува специфичниот хемиски отпечаток формиран од локалните конкретни активности, материјали и начини на користење. Ароматичните јаглеводороди (базирани на бензен) доминираа во хемиската просторија за складирање и печатницата, алкохолите и етерите во кафеаната, органосилоксаните во фризерскиот салон, терпените во фабриката за месо, алифатичните јаглеводороди во продавницата за масла и средстав за пдомачкување, а халогените соединенија во супермаркетот. Ова ја потврдува високата специфичност на профилите на VOCs во затворен простор и нивната поврзаност со локализирани извори на емисии.

Во Милано, полуквантитативната просечна концентрација на TVOCs во затворен простор беше приближно 10% повисока отколку надвор. Во надворешниот воздух доминираа алифатичните и ароматичните јаглеводороди, при што дијагностичките соодноси на BTEX го потврдуваа сообраќајот (транспортни горива) како примарен извор. Наспорти тоа, внатрешниот воздух го доминираа алифатичните јаглеводороди и терпените, со придонес од потрошувачки производи и инфилтрација од надворешниот воздух. Забележително, просечните концентрации на TVOCs во затворен простор го надминаа здравствено базираниот праг од 200 $\mu g/m^3$ предложен од Mølhave во три од четирите мониторирани апартмани, што укажува на потенцијални ризици од изложеност на VOCs во затворен простор.

На сите мониторирани локации, како надворешни така и внатрешни, во Северна Македонија, Косово и Милано, неколку откриени VOCs се поврзани со низа акутни и хронични здравствени ефекти, што ја истакнува нивната потенцијална влијание врз човечкото здравје.

Овој истражување обезбедува суштински основни податоци и обемна хемиска карактеризација на VOCs во проучуваните региони, значително подобрувајќи го разбирањето на квалитетот на урбаниот воздух и изложеноста во затворени простори. За подобрување на проценката на изложеноста, евалуацијата на ризикот и планирањето на мерки за ублажување, идните студии треба да го зголемат просторното и временското покривање, да вклучуваат апсолутни мерења на VOCs и да применат пристапи со трагери специфични за изворот. Зголемувањето на бројот на локации за мерење во секоја средина ќе овозможи поцврсти споредби во и меѓу локациите, додека мониторингот низ целата година и во географски различни области ќе ја долови сезонската и просторната варијабилност на емисиите на VOCs. Конечно, интеграцијата на мерењата во затворени и надворешни простории низ различни урбани контексти може да ги поддржи стратегиите за јавно здравје базирани на докази и да создаде хармонизирани европски политики за квалитет на воздухот.

Конечно, оваа докторска студија нуди подобрено разбирање на динамиката на VOCs во различни географски и функционални средини, демонстрирајќи ја критичната интеракција помеѓу антропогените и природните извори и обезбедувајќи цврста основа за идни истражувања кои ќе поддржат управување со квалитетот на воздухот и заштита на здравјето.

Идните студии треба да го прошират мониторингот на дополнителни локации, како на отворено така и во затворено, со поголем број на примероци за да се постигне

пошироко просторни и временски покриеност. Биолошките ефекти на репрезентативните VOCs откриени на мониторинг локациите можат да се оценат користејќи клеточни култури или експериментални животни. Развојот и оценката на алтернативни адсорбенти, вклучувајќи нано-прашоци и материјали базирани на графен како замена за активен јаглен, би овозможиле споредба на перформансите на адсорпција на VOCs, вклучувајќи капацитет на адсорпција, ефикасност и физичко-хемиски својства. Оценката на оксидацискиот потенцијал на VOCs во затворени и отворени средини би можела понатаму да ја разјасни нивната хемиска реактивност и потенцијалните здравствени ризици, придонесувајќи за подлабоко разбирање на нивните токсиколошки импликации. Конечно, интеграцијата на мониторинг во реално време и напредни пристапи на моделирање би ја подобрила способноста за добивање навремени резултати, поддржувајќи стратегии за намалување на загадувањето со VOCs во затворени и отворени простори.

ГЛАВА 6

6. ЛИТЕРАТУРА

(1) World Health Organization. *WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2,5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization*. World Health Organization.Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228 (accessed 2025-01-09).

(2) Duan, C.; Liao, H.; Wang, K.; Ren, Y. The Research Hotspots and Trends of Volatile Organic Compound Emissions from Anthropogenic and Natural Sources: A Systematic Quantitative Review. *Environ Res* **2023**, *216*, 114386. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114386.

(3) McDonald, B. C.; de Gouw, J. A.; Gilman, J. B.; Jathar, S. H.; Akherati, A.; Cappa, C. D.; Jimenez, J. L.; Lee-Taylor, J.; Hayes, P. L.; McKeen, S. A.; Cui, Y. Y.; Kim, S.-W.; Gentner, D. R.; Isaacman-VanWertz, G.; Goldstein, A. H.; Harley, R. A.; Frost, G. J.; Roberts, J. M.; Ryerson, T. B.; Trainer, M. Volatile Chemical Products Emerging as Largest Petrochemical Source of Urban Organic Emissions. *Science (1979)* **2018**, *359* (6377), 760–764. https://doi.org/10.1126/science.aaq0524.

(4) Mohd Hanif, N.; Limi Hawari, N. S. S.; Othman, M.; Abd Hamid, H. H.; Ahamad, F.; Uning, R.; Ooi, M. C. G.; Wahab, M. I. A.; Sahani, M.; Latif, M. T. Ambient Volatile Organic Compounds in Tropical Environments: Potential Sources, Composition and Impacts – A Review. *Chemosphere* **2021**, *285*, 131355. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131355.

(5) Wang, P.; Chen, Y.; Hu, J.; Zhang, H.; Ying, Q. Attribution of Tropospheric Ozone to NOx and VOC Emissions: Considering Ozone Formation in the Transition Regime. *Environ Sci Technol* **2019**, *53* (3), 1404–1412. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05981.

(6) Oh, H.-J.; Chen, Y.; Kim, H. Deposition of Secondary Organic Aerosol in Human Lung Model: Effect of Photochemically Aged Aerosol on Human Respiratory System. *Ecotoxicol Environ Saf* **2023**, *265*, 115497. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115497.

(7) Ralf Koppmann. *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere*; Koppmann, R., Ed.; Blackwell Publishing Ltd: Oxford, UK, 2007. https://doi.org/10.1002/9780470988657.

(8) U.S. Environmental Protection Agency. *Initial List of Hazardous Air Pollutants with Modifications*. https://www.epa.gov/haps/initial-list-hazardous-air-pollutants-modifications (accessed 2025-01-09).

(9) Paciência, I.; Madureira, J.; Rufo, J.; Moreira, A.; Fernandes, E. de O. A Systematic Review of Evidence and Implications of Spatial and Seasonal Variations of Volatile Organic Compounds (VOC) in Indoor Human Environments. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B* **2016**, *19* (2), 47–64. https://doi.org/10.1080/10937404.2015.1134371.

(10) Agbo, K. E.; Walgraeve, C.; Vandermeersch, L.; Eze, J. I.; Ukoha, P. O.; Van Langenhove, H. Residential VOCs Concentration Levels in Nsukka, Nigeria. *Atmos Environ* **2022**, *289*, 119307. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119307.

(11) Irga, Peter. J.; Mullen, G.; Fleck, R.; Matheson, S.; Wilkinson, Sara. J.; Torpy, Fraser. R. Volatile Organic Compounds Emitted by Humans Indoors– A Review on the Measurement, Test Conditions, and Analysis Techniques. *Build Environ* **2024**, *255*, 111442. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111442.

(12) Kansal, A. Sources and Reactivity of NMHCs and VOCs in the Atmosphere: A Review. *J Hazard Mater* **2009**, *166* (1), 17–26. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.048.

(13) Huang, C.; Shan, W.; Xiao, H. Recent Advances in Passive Air Sampling of Volatile Organic Compounds. *Aerosol Air Qual Res* **2018**, *18* (3), 602–622. https://doi.org/10.4209/aaqr.2017.12.0556.

(14) Gu, S.; Guenther, A.; Faiola, C. Effects of Anthropogenic and Biogenic Volatile Organic Compounds on Los Angeles Air Quality. *Environ Sci Technol* **2021**, *55* (18), 12191–12201. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01481.

(15) Heeley-Hill, A. C.; Grange, S. K.; Ward, M. W.; Lewis, A. C.; Owen, N.; Jordan, C.; Hodgson, G.; Adamson, G. Frequency of Use of Household Products Containing VOCs and Indoor Atmospheric Concentrations in Homes. *Environ Sci Process Impacts* **2021**, *23* (5), 699–713. https://doi.org/10.1039/D0EM00504E.

(16) Sakai, N.; Yamamoto, S.; Matsui, Y.; Khan, M. F.; Latif, M. T.; Ali Mohd, M.; Yoneda, M. Characterization and Source Profiling of Volatile Organic Compounds in Indoor Air of Private Residences in Selangor State, Malaysia. *Science of The Total Environment* **2017**, *586*, 1279–1286. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.139.

(17) Zoran, M. A.; Savastru, R. S.; Savastru, D. M.; Tautan, M. N. Assessing the Relationship between Surface Levels of PM2,5 and PM10 Particulate Matter Impact on COVID-19 in Milan, Italy. *Science of The Total Environment* **2020**, *738*, 139825. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139825.

(18) The European Parliament and the Council of the European Union. *DIRECTIVE 2008/50/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL ON AMBIENT AIR QUALITY AND CLEANER AIR FOR EUROPE*. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj/eng (accessed 2025-01-09).

(19) Kotsiou, O. S.; Kotsios, V. S.; Lampropoulos, I.; Zidros, T.; Zarogiannis, S. G.; Gourgoulianis, K. I. PM2,5 Pollution Strongly Predicted COVID-19 Incidence in Four High-Polluted Urbanized Italian Cities during the Pre-Lockdown and Lockdown Periods. *Int J Environ Res Public Health* **2021**, *18* (10), 5088. https://doi.org/10.3390/ijerph18105088.

(20) Health and Environment Alliance (HEAL). The Health Perspective of Wood Burning in the Western Balkans Region. **2022**.

(21) The World Bank. *Air Pollution Management in North Macedonia*. Available online: https://documents1.worldbank.org/curated/en/116521576516981237/pdf/Air-Quality-Management-in-North-Macedonia.pdf. https://documents1.worldbank.org/curated/en/116521576516981237/pdf/Air-Quality-Management-in-North-Macedonia.pdf (accessed 2025-01-09).

(22) The World Bank. *Air Pollution Management in Kosovo*. https://documents1.worldbank.org/curated/en/214511576520047805/pdf/Air-Pollution-Management-in-Kosovo.pdf (accessed 2025-01-09).

(23) Sokhi, R. S.; Moussiopoulos, N.; Baklanov, A.; Bartzis, J.; Coll, I.; Finardi, S.; Friedrich, R.; Geels, C.; Grönholm, T.; Halenka, T.; Ketzel, M.; Maragkidou, A.; Matthias, V.; Moldanova, J.; Ntziachristos, L.; Schäfer, K.; Suppan, P.; Tsegas, G.; Carmichael, G.; Franco, V.; Hanna, S.; Jalkanen, J.-P.; Velders, G. J. M.; Kukkonen, J. Advances in Air Quality Research – Current and Emerging Challenges. *Atmos Chem Phys* **2022**, *22* (7), 4615–4703. https://doi.org/10.5194/acp-22-4615-2022.

(24) Manisalidis, I.; Stavropoulou, E.; Stavropoulos, A.; Bezirtzoglou, E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Front Public Health* **2020**, *8*. https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014.

(25) B. J. Alloway, D. C. A. *Chemical Principles of Environmental Pollution*, Second edi.; Blackie Academic and Professional, 1997.

(26) Walker, C. H.; Sibly, R. M.; Sibly, R. M.; Peakall, D. B. *Principles of Ecotoxicology*; CRC Press, 2016. https://doi.org/10.1201/b11767.

(27) Fowler, D.; Brimblecombe, P.; Burrows, J.; Heal, M. R.; Grennfelt, P.; Stevenson, D. S.; Jowett, A.; Nemitz, E.; Coyle, M.; Liu, X.; Chang, Y.; Fuller, G. W.; Sutton, M. A.; Klimont, Z.; Unsworth, M. H.; Vieno, M. A Chronology of Global Air Quality. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **2020**, *378* (2183), 20190314. https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0314.

(28) Brimblecombe, P. *The Big Smoke (Routledge Revivals)*; Routledge, 2012. https://doi.org/10.4324/9780203813898.

(29) Seinfeld, J. H.; Pandis, S. N.; Noone, K. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. *Phys Today* **1998**, *51* (10), 88–90. https://doi.org/10.1063/1.882420.

(30) Haagen-Smit, A. J. Chemistry and Physiology of Los Angeles Smog. *Ind Eng Chem* **1952**, *44* (6), 1342–1346. https://doi.org/10.1021/ie50510a045.

(31) The European Parliament and the Council of the European Union. *European Parliament and Council Directive 94/63/EC of 20 December 1994 on the control of volatile organic compound (VOC) emissions resulting from the storage of petrol and its distribution from terminals to service stations*. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:31994L0063 (accessed 2025-01-11).

(32) The European Parliament and the Council of the European Union. *Council Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations*. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:31999L0013 (accessed 2025-01-11).

(33) The European Parliament and the Council of the European Union. *Directive 2004/42/CE of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on the limitation of emissions of volatile organic*

compounds due to the use of organic solvents in certain paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32004L0042 (accessed 2025-01-11).

(34) U.S. Environmental Protection Agency. *1990 Clean Air Act Amendment Summary*. https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/1990-clean-air-act-amendment-summary (accessed 2025-01-11).

(35) U.S. Environmental Protection Agency. *Consumer Products: National Volatile Organic Compound Emission Standards*. https://19january2017snapshot.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/consumer-products-national-volatile-organic-compound-emission_.html (accessed 2025-01-11).

(36) Healy, R. M.; Bennett, J.; Wang, J. M.; Karellas, N. S.; Wong, C.; Todd, A.; Sofowote, U.; Su, Y.; Di Federico, L.; Munoz, A.; Charland, J.-P.; Herod, D.; Siu, M.; White, L. Evaluation of a Passive Sampling Method for Long-Term Continuous Monitoring of Volatile Organic Compounds in Urban Environments. *Environ Sci Technol* **2018**, *52* (18), 10580–10589. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02792.

(37) Huang, C.; Tong, L.; Dai, X.; Xiao, H. Evaluation and Application of a Passive Air Sampler for Atmospheric Volatile Organic Compounds. *Aerosol Air Qual Res* **2018**, *18* (12), 3047–3055. https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.03.0096.

(38) Huang, C.; Shan, W.; Xiao, H. Recent Advances in Passive Air Sampling of Volatile Organic Compounds. *Aerosol Air Qual Res* **2018**, *18* (3), 602–622. https://doi.org/10.4209/aaqr.2017.12.0556.

(39) Zabiegała, B.; Sărbu, C.; Urbanowicz, M.; Namieśnik, J. A Comparative Study of the Performance of Passive Samplers. *J Air Waste Manage Assoc* **2011**, *61* (3), 260–268. https://doi.org/10.3155/1047-3289.61.3.260.

(40) Kumar, A.; Víden, I. Volatile Organic Compounds: Sampling Methods and Their Worldwide Profile in Ambient Air. *Environ Monit Assess* **2007**, *131* (1–3), 301–321. https://doi.org/10.1007/s10661-006-9477-1.

(41) John H. Seinfeld, S. N. P. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 3rd Edition*; Wiley, 2016.

(42) Atkinson, R.; Arey, J. Atmospheric Degradation of Volatile Organic Compounds. *Chem Rev* **2003**, *103* (12), 4605–4638. https://doi.org/10.1021/cr0206420.

(43) U.S. Environmental Protection Agency. *Technical Overview of Volatile Organic Compounds*. https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds (accessed 2025-01-11).

(44) Maji, S.; Beig, G.; Yadav, R. Winter VOCs and OVOCs Measured with PTR-MS at an Urban Site of India: Role of Emissions, Meteorology and Photochemical Sources. *Environmental Pollution* **2020**, *258*, 113651. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113651.

(45) Demeestere, K.; Dewulf, J.; De Witte, B.; Van Langenhove, H. Sample Preparation for the Analysis of Volatile Organic Compounds in Air and Water Matrices. *J Chromatogr A* **2007**, *1153* (1–2), 130–144. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.01.012.

(46) U.S. Environmental Protection Agency. *Overview of Greenhouse Gases*. https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases?utm_source=chatgpt.com (accessed 2025-01-11).

(47) D, S. Rg. Pi. *Environmental Organic Chemistry. Second Edition.*; 2003. https://doi.org/10.1002/0471649643.

(48) Mcmurry, J.; Od, P.; Bogdanov I D-R, J.; Bogdanov, B. *Organic Chemistry Sixth Edition ORGANSKA HEMIJA*. www.brookscole.com.

(49) Lee, S. C.; Chiu, M. Y.; Ho, K. F.; Zou, S. C.; Wang, X. Volatile Organic Compounds (VOCs) in Urban Atmosphere of Hong Kong. *Chemosphere* **2002**, *48* (3), 375–382. https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00040-1.

(50) Gu, S.; Guenther, A.; Faiola, C. Effects of Anthropogenic and Biogenic Volatile Organic Compounds on Los Angeles Air Quality. *Environ Sci Technol* **2021**, *55* (18), 12191–12201. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01481.

(51) Huang, H.; Xu, Y.; Feng, Q.; Leung, D. Y. C. Low Temperature Catalytic Oxidation of Volatile Organic Compounds: A Review. *Catal Sci Technol* **2015**, *5* (5), 2649–2669. https://doi.org/10.1039/C4CY01733A.

(52) Antonelli, M.; Donelli, D.; Barbieri, G.; Valussi, M.; Maggini, V.; Firenzuoli, F. Forest Volatile Organic Compounds and Their Effects on Human Health: A State-of-the-Art Review. *Int J Environ Res Public Health* **2020**, *17* (18), 6506. https://doi.org/10.3390/ijerph17186506.

(53) Zemankova, K.; Brechler, J. Emissions of Biogenic VOC from Forest Ecosystems in Central Europe: Estimation and Comparison with Anthropogenic Emission Inventory. *Environmental Pollution* **2010**, *158* (2), 462–469. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.08.032.

(54) Cheng, X.; Li, H.; Zhang, Y.; Li, Y.; Zhang, W.; Wang, X.; Bi, F.; Zhang, H.; Gao, J.; Chai, F.; Lun, X.; Chen, Y.; Gao, J.; Lv, J. Atmospheric Isoprene and Monoterpenes in a Typical Urban Area of Beijing: Pollution Characterization, Chemical Reactivity and Source Identification. *Journal of Environmental Sciences* **2018**, *71*, 150–167. https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.12.017.

(55) Oderbolz, D. C.; Aksoyoglu, S.; Keller, J.; Barmpadimos, I.; Steinbrecher, R.; Skjøth, C. A.; Plaß-Dülmer, C.; Prévôt, A. S. H. A Comprehensive Emission Inventory of Biogenic Volatile Organic Compounds in Europe: Improved Seasonality and Land-Cover. *Atmos Chem Phys* **2013**, *13* (4), 1689–1712. https://doi.org/10.5194/acp-13-1689-2013.

(56) Kanakidou, M.; Seinfeld, J. H.; Pandis, S. N.; Barnes, I.; Dentener, F. J.; Facchini, M. C.; Van Dingenen, R.; Ervens, B.; Nenes, A.; Nielsen, C. J.; Swietlicki, E.; Putaud, J. P.; Balkanski, Y.; Fuzzi, S.; Horth, J.; Moortgat, G. K.; Winterhalter, R.; Myhre, C. E. L.; Tsigaridis, K.; Vignati, E.; Stephanou, E. G.; Wilson, J. Organic Aerosol and Global Climate Modelling: A Review. *Atmos Chem Phys* **2005**, *5* (4), 1053–1123. https://doi.org/10.5194/acp-5-1053-2005.

(57) Pacifico, F.; Harrison, S. P.; Jones, C. D.; Sitch, S. Isoprene Emissions and Climate. *Atmos Environ* **2009**, *43* (39), 6121–6135. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.09.002.

(58) Dewan, S.; Lakhani, A. Tropospheric Ozone and Its Natural Precursors Impacted by Climatic Changes in Emission and Dynamics. *Front Environ Sci* **2022**, *10*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1007942.

(59) Atkinson, R.; Arey, J. Atmospheric Degradation of Volatile Organic Compounds. *Chem Rev* **2003**, *103* (12), 4605–4638. https://doi.org/10.1021/cr0206420.

(60) von Schneidemesser, E.; Monks, P. S.; Allan, J. D.; Bruhwiler, L.; Forster, P.; Fowler, D.; Lauer, A.; Morgan, W. T.; Paasonen, P.; Righi, M.; Sindelarova, K.; Sutton, M. A. Chemistry and the Linkages between Air Quality and Climate Change. *Chem Rev* **2015**, *115* (10), 3856–3897. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00089.

(61) World Health Organization (WHO). *WHO HOUSING AND HEALTH GUIDELINES*. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/276001/9789241550376-eng.pdf?sequence=1 (accessed 2025-04-29).

(62) Smith, K. R.; Bruce, N.; Balakrishnan, K.; Adair-Rohani, H.; Balmes, J.; Chafe, Z.; Dherani, M.; Hosgood, H. D.; Mehta, S.; Pope, D.; Rehfuess, E. Millions Dead: How Do We Know and What Does It Mean? Methods Used in the Comparative Risk Assessment of Household Air Pollution. *Annu Rev Public Health* **2014**, *35* (1), 185–206. https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182356.

(63) Tran, V. Van; Park, D.; Lee, Y.-C. Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality. *Int J Environ Res Public Health* **2020**, *17* (8), 2927. https://doi.org/10.3390/ijerph17082927.

(64) Ayoko, G. A.; Wang, H. Volatile Organic Compounds in Indoor Environments; 2014; pp 69–107. https://doi.org/10.1007/698_2014_259.

(65) Annesi-Maesano, I.; Baiz, N.; Banerjee, S.; Rudnai, P.; Rive, S.; the SINPHONIE Group. Indoor Air Quality and Sources in Schools and Related Health Effects. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B* **2013**, *16* (8), 491–550. https://doi.org/10.1080/10937404.2013.853609.

(66) Sarigiannis, D. A.; Karakitsios, S. P.; Gotti, A.; Liakos, I. L.; Katsoyiannis, A. Exposure to Major Volatile Organic Compounds and Carbonyls in European Indoor Environments and Associated Health Risk. *Environ Int* **2011**, *37* (4), 743–765. https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.01.005.

(67) Vera, T.; Villanueva, F.; Wimmerová, L.; Tolis, E. I. An Overview of Methodologies for the Determination of Volatile Organic Compounds in Indoor Air. *Appl Spectrosc Rev* **2022**, *57* (8), 625–674. https://doi.org/10.1080/05704928.2022.2085735.

(68) Kampa, M.; Castanas, E. Human Health Effects of Air Pollution. *Environmental Pollution* **2008**, *151* (2), 362–367. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012.

(69) van de Kant, K. D.; van der Sande, L. J.; Jöbsis, Q.; van Schayck, O. C.; Dompeling, E. Clinical Use of Exhaled Volatile Organic Compounds in Pulmonary Diseases: A Systematic Review. *Respir Res* **2012**, *13* (1), 117. https://doi.org/10.1186/1465-9921-13-117.

(70) Masih, A.; Lall, A. S.; Taneja, A.; Singhvi, R. Inhalation Exposure and Related Health Risks of BTEX in Ambient Air at Different Microenvironments of a Terai Zone in North India. *Atmos Environ* **2016**, *147*, 55–66. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.067.

(71) Finamore, P.; Pedone, C.; Lelli, D.; Costanzo, L.; Bartoli, I. R.; De Vincentis, A.; Grasso, S.; Parente, F. R.; Pennazza, G.; Santonico, M.; Incalzi, R. A. Analysis of Volatile Organic Compounds: An Innovative Approach to Heart Failure Characterization in Older Patients. *J Breath Res* **2018**, *12* (2), 026007. https://doi.org/10.1088/1752-7163/aa8cd4.

(72) Liu, N.; Bu, Z.; Liu, W.; Kan, H.; Zhao, Z.; Deng, F.; Huang, C.; Zhao, B.; Zeng, X.; Sun, Y.; Qian, H.; Mo, J.; Sun, C.; Guo, J.; Zheng, X.; Weschler, L. B.; Zhang, Y. Indoor Exposure Levels and Risk Assessment of Volatile Organic Compounds in Residences, Schools, and Offices in China from 2000 to 2021: A Systematic Review. *Indoor Air* **2022**, *32* (9). https://doi.org/10.1111/ina.13091.

(73) International Agency for Research on Cancer (IARC). *Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–137*. https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/ (accessed 2025-01-12).

(74) Gentry, R.; Franzen, A.; Van Landingham, C.; Greene, T.; Plotzke, K. A Global Human Health Risk Assessment for Octamethylcyclotetrasiloxane (D 4). *Toxicol Lett* **2017**, *279*, 23–41. https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2017.05.019.

(75) Molinier, B.; Arata, C.; Katz, E. F.; Lunderberg, D. M.; Liu, Y.; Misztal, P. K.; Nazaroff, W. W.; Goldstein, A. H. Volatile Methyl Siloxanes and Other Organosilicon Compounds in Residential Air. *Environ Sci Technol* **2022**, *56* (22), 15427–15436. https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05438.

(76) Lin, K.-H.; Tsai, J.-H.; Cheng, C.-C.; Chiang, H.-L. Emission of Volatile Organic Compounds from Consumer Products. *Aerosol Air Qual Res* **2022**, *22* (9), 220250. https://doi.org/10.4209/aaqr.220250.

(77) Steinemann, A. Ten Questions Concerning Air Fresheners and Indoor Built Environments. *Build Environ* **2017**, *111*, 279–284. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.009.

(78) The European Parliament and the Council of the European Union. *Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC*. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2016.344.01.0001.01.ENG (accessed 2025-01-12).

(79) The European Parliament and the Council of the European Union. *Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) (recast)*. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj/eng (accessed 2025-01-12).

(80) The European Parliament and the Council of the European Union. *Directive 2003/17/EC of the European Parliament and of the Council of 3 March 2003 amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels*. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32003L0017 (accessed 2025-01-12).

(81) The European Parliament and the Council of the European Union. *Directive 2000/69/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2000 relating to limit values for benzene and carbon monoxide in ambient air*. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/69/oj/eng (accessed 2025-01-12).

(82) U.S. Environmental Protection Agency. *Overview of the Clean Air Act and Air Pollution*. https://www.epa.gov/clean-air-act-overview (accessed 2025-01-12).

(83) U.S. Environmental Protection Agency. *Reviewing National Ambient Air Quality Standards (NAAQS): Scientific and Technical Information*. https://www.epa.gov/naaqs (accessed 2025-01-12).

(84) U.S. Environmental Protection Agency. *National Volatile Organic Compound Emission Standards for Architectural Coatings*. https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-1998-09-11/pdf/98-22659.pdf (accessed 2025-01-12).

(85) Zhang, Y. *Indoor Air Quality Engineering*; CRC Press, 2004. https://doi.org/10.1201/b12485.

(86) Nascimento, M. M.; da Rocha, G. O.; de Andrade, J. B. Pesticides in the Atmospheric Environment: An Overview on Their Determination Methodologies. *Analytical Methods* **2018**, *10* (37), 4484–4504. https://doi.org/10.1039/C8AY01327F.

(87) Lan, H.; Hartonen, K.; Riekkola, M. L. Miniaturised Air Sampling Techniques for Analysis of Volatile Organic Compounds in Air. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* **2020**, *126*, 115873. https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115873.

(88) Król, S.; Zabiegała, B.; Namieśnik, J. Monitoring VOCs in Atmospheric Air II. Sample Collection and Preparation. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **2010**, *29* (9), 1101–1112. https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.05.010.

(89) Ramírez, N.; Cuadras, A.; Rovira, E.; Borrull, F.; Marcé, R. M. Comparative Study of Solvent Extraction and Thermal Desorption Methods for Determining a Wide Range of Volatile Organic Compounds in Ambient Air. *Talanta* **2010**, *82* (2), 719–727. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.05.038.

(90) Istituti Clinici Scientifici Maugeri. *User Manual - Radiello® Passive/Diffusive Samplers*. Fondazione Salvatore Maugeri in Padova,Italy. https://d3pcsg2wjq9izr.cloudfront.net/files/2285/download/724345/radiello_manual_final.pdf (accessed 2025-02-12).

(91) Zimmerman, J. H.; Schumacher, B.; Lutes, C. C.; Cosky, B.; Hayes, H. Long-Term Performance of Passive Volatile Organic Compounds (VOCs) Samplers for Indoor Air. *Environments* **2025**, *12* (8), 267. https://doi.org/10.3390/environments12080267.

(92) Taylor & Francis. *Chromatographic Analysis of the Environment*; Nollet, L. M. L., Lambropoulou, D. A., Eds.; CRC Press: Fourth edition / edited by Leo M. L. Nollet and Dimitra Lambropoulou. | Boca Raton, FL : CRC Press, [2017], 2017. https://doi.org/10.1201/9781315316208.

(93) John Wiley & Sons. *Modern Practice of Gas Chromatography*; Grob, R. L., Barry, E. F., Eds.; Wiley, 2004. https://doi.org/10.1002/0471651141.

(94) McNair, H. M.; Miller, J. M.; Snow, N. H. *Basic Gas Chromatography*; Wiley, 2019. https://doi.org/10.1002/9781119450795.

(95) Dewulf, J.; Van Langenhove, H.; Wittmann, G. Analysis of Volatile Organic Compounds Using Gas Chromatography. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **2002**, *21* (9–10), 637–646. https://doi.org/10.1016/S0165-9936(02)00804-X.

(96) Edmond de Hoffmann, V. S. *Mass Spectrometry: Principles and Applications*, 3rd ed.; John Wiley & Sons, 2013.

(97) Robert M. Silverstein, F. X. W. D. J. K. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*; John Wiley & Sons, 2005.

(98) J. THROCK WATSON, O. D. S. *INTRODUCTION TO MASS SPECTROMETRY: Instrumentation, Applications and Strategies for Data Interpretation* , FOURTH.; John Wiley & Sons, 2007.

(99) National Institute of Standards and Technology.(NIST). *Welcome to the NIST Chemistry WebBook*. https://webbook.nist.gov/ (accessed 2025-02-13).

(100) Haag, A. M. Mass Analyzers and Mass Spectrometers; 2016; pp 157–169. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41448-5_7.

(101) Mula, V.; Bogdanov, J.; Stanoeva, J. P.; Zeneli, L.; Zdravkovski, Z. Monitoring Volatile Organic Compounds in Air Using Passive Sampling: Regional Cross-Border Study between N. Macedonia and Kosovo. *Aerosol Air Qual Res* **2024**, *24* (1), 230170. https://doi.org/10.4209/aaqr.230170.

(102) Mula, V.; Bogdanov, J.; Petreska Stanoeva, J.; Zeneli, L.; Berisha, A.; Zdravkovski, Z. Assessment of Volatile Organic Compounds in Indoor Environments across North Macedonia and Kosovo Using Passive Sampling. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering* **2024**, *43* (2), 207–218. https://doi.org/10.20450/mjcce.2024.2953.

(103) Mula, V.; Bogdanov, J.; Petreska Stanoeva, J.; Zeneli, L.; Mehmeti, V.; Gelmini, F.; Daci, A.; Berisha, A.; Zdravkovski, Z.; Beretta, G. Semi-Quantitative Characterization of Volatile Organic Compounds in Indoor and Outdoor Air Using Passive Samplers: A Case Study of Milan, Italy. *Atmosphere (Basel)* **2025**, *16* (9), 1088. https://doi.org/10.3390/atmos16091088.

(104) Republic of North Macedonia, S. S. O. M. *Census of Population, Households and Dwellings in the Republic of North Macedonia, 2021 - first dataset*. www.stat.gov.mk. https://www.stat.gov.mk/pdf/2022/2.1.22.10Popis-mk-en.pdf (accessed 2025-04-06).

(105) Agjencia e Statistikave të Kosovës (ASK). *Regjistrimi i Popullsisë, Ekonomive Familjare dhe Banesave në Kosovë*. www.ask.rks-gov.net. https://askapi.rks-gov.net/Custom/b45ea5db-09d5-4c97-9258-9d262cd8216f.pdf (accessed 2025-04-07).

(106) Cao, X.-Liang.; Hewitt, C. Nicholas. Study of the Degradation by Ozone of Adsorbents and of Hydrocarbons Adsorbed during the Passive Sampling of Air. *Environ Sci Technol* **1994**, *28* (5), 757–762. https://doi.org/10.1021/es00054a003.

(107) Melymuk, L.; Bohlin-Nizzetto, P.; Prokeš, R.; Kukučka, P.; Přibylová, P.; Vojta, Š.; Kohoutek, J.; Lammel, G.; Klánová, J. Uncertainties in Monitoring of SVOCs in Air Caused by Within-Sampler Degradation during Active and Passive Air Sampling. *Atmos Environ* **2017**, *167*, 553–565. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.038.

(108) Joos, P. E.; Godoi, A. F. L.; De Jong, R.; de Zeeuw, J.; Van Grieken, R. Trace Analysis of Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene Isomers in Environmental Samples by Low-Pressure Gas Chromatography–Ion Trap Mass Spectrometry. *J Chromatogr A* **2003**, *985* (1–2), 191–196. https://doi.org/10.1016/S0021-9673(02)01843-5.

(109) Ivona Sofronievska, J. P. S. J. B. M. S. Assay of Volatile Organic Compounds in Urban Air Using Passive Sampling and Gas Chromatography Coupled to Mass Spectrometry. *Macedonian Journal of Ecology and Environment* **2022**, *24* (2), 103–113.

(110) Sofronievska, I.; Stefova, M.; Petreska Stanoeva, J.; Bogdanov, J. Establishment, Evaluation and Application of a Gas Chromatography-Mass Spectrometry Method for Quantification of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Anisole as an Internal Standard. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering* **2024**, *43* (2), 181–193. https://doi.org/10.20450/mjcce.2024.2939.

(111) Ruiz-Hernández, V.; Roca, M. J.; Egea-Cortines, M.; Weiss, J. A Comparison of Semi-Quantitative Methods Suitable for Establishing Volatile Profiles. *Plant Methods* **2018**, *14* (1), 67. https://doi.org/10.1186/s13007-018-0335-2.

(112) Guiochon, G. , G. C. L. Chapter 15 Quantitative Analysis By Gas Chromatography Measurement of Peak Area and Derivation of Sample Composition; 1988; pp 629–659. https://doi.org/10.1016/S0301-4770(08)70087-3.

(113) Cordell, R. L.; Panchal, R.; Bernard, E.; Gatari, M.; Waiguru, E.; Ng'ang'a, M.; Nyang'aya, J.; Ogot, M.; Wilde, M. J.; Wyche, K. P.; Abayomi, A. A.; Alani, R.; Monks, P. S.; Vande Hey, J. D. Volatile Organic Compound Composition of Urban Air in Nairobi, Kenya and Lagos, Nigeria. *Atmosphere (Basel)* **2021**, *12* (10), 1329. https://doi.org/10.3390/atmos12101329.

(114) Xie, M.; Wang, G.; Hu, S.; Han, Q.; Xu, Y.; Gao, Z. Aliphatic Alkanes and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmospheric PM10 Aerosols from Baoji, China: Implications for Coal Burning. *Atmos Res* **2009**, *93* (4), 840–848. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.04.004.

(115) Huang, H.; Hu, H.; Zhang, J.; Liu, X. Characteristics of Volatile Organic Compounds from Vehicle Emissions through on–Road Test in Wuhan, China. *Environ Res* **2020**, *188*, 109802. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109802.

(116) Zhang, Y.; Wang, X.; Barletta, B.; Simpson, I. J.; Blake, D. R.; Fu, X.; Zhang, Z.; He, Q.; Liu, T.; Zhao, X.; Ding, X. Source Attributions of Hazardous Aromatic Hydrocarbons in Urban, Suburban and Rural Areas in the Pearl River Delta (PRD) Region. *J Hazard Mater* **2013**, *250–251*, 403–411. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.02.023.

(117) Ibragimova, O. P.; Omarova, A.; Bukenov, B.; Zhakupbekova, A.; Baimatova, N. Seasonal and Spatial Variation of Volatile Organic Compounds in Ambient Air of Almaty City, Kazakhstan. *Atmosphere (Basel)* **2021**, *12* (12), 1592. https://doi.org/10.3390/atmos12121592.

(118) Miyama, T.; Morishita, T.; Kominami, Y.; Noguchi, H.; Yasuda, Y.; Yoshifuji, N.; Okano, M.; Yamanoi, K.; Mizoguchi, Y.; Takanashi, S.; Kitamura, K.; Matsumoto, K. Increases in Biogenic Volatile Organic Compound Concentrations Observed after Rains at Six Forest Sites in Non-Summer Periods. *Atmosphere (Basel)* **2020**, *11* (12), 1381. https://doi.org/10.3390/atmos11121381.

(119) Mellouki, A.; Wallington, T. J.; Chen, J. Atmospheric Chemistry of Oxygenated Volatile Organic Compounds: Impacts on Air Quality and Climate. *Chem Rev* **2015**, *115* (10), 3984–4014. https://doi.org/10.1021/cr500549n.

(120) Yan, X.; Qiu, X.; Yao, Z.; Liu, J.; Wang, L. Emissions of Oxygenated Volatile Organic Compounds and Their Roles in Ozone Formation in Beijing. *Atmosphere (Basel)* **2024**, *15* (8), 970. https://doi.org/10.3390/atmos15080970.

(121) Wang, H.; Nie, L.; Li, J.; Wang, Y.; Wang, G.; Wang, J.; Hao, Z. Characterization and Assessment of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emissions from Typical Industries. *Chinese Science Bulletin* **2013**, *58* (7), 724–730. https://doi.org/10.1007/s11434-012-5345-2.

(122) Abtahi, M.; Fakhri, Y.; Conti, G. O.; Ferrante, M.; Taghavi, M.; Tavakoli, J.; Heshmati, A.; Keramati, H.; Moradi, B.; Amanidaz, N.; Khaneghah, A. M. The Concentration of BTEX in the Air of Tehran: A Systematic Review-Meta Analysis and Risk Assessment. *Int J Environ Res Public Health* **2018**, *15* (9), 1837. https://doi.org/10.3390/ijerph15091837.

(123) Caselli, M.; de Gennaro, G.; Marzocca, A.; Trizio, L.; Tutino, M. Assessment of the Impact of the Vehicular Traffic on BTEX Concentration in Ring Roads in Urban Areas of Bari (Italy). *Chemosphere* **2010**, *81* (3), 306–311. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.07.033.

(124) Xue, Y.; Ho, S. S. H.; Huang, Y.; Li, B.; Wang, L.; Dai, W.; Cao, J.; Lee, S. Source Apportionment of VOCs and Their Impacts on Surface Ozone in an Industry City of Baoji, Northwestern China. *Sci Rep* **2017**, *7* (1), 9979. https://doi.org/10.1038/s41598-017-10631-4.

(125) Barletta, B.; Meinardi, S.; Simpson, I. J.; Zou, S.; Sherwood Rowland, F.; Blake, D. R. Ambient Mixing Ratios of Nonmethane Hydrocarbons (NMHCs) in Two Major Urban Centers of the Pearl River Delta (PRD) Region: Guangzhou and Dongguan. *Atmos Environ* **2008**, *42* (18), 4393–4408. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.01.028.

(126) Garg, A.; Gupta, N. C. A Comprehensive Study on Spatio-Temporal Distribution, Health Risk Assessment and Ozone Formation Potential of BTEX Emissions in Ambient Air of Delhi, India. *Science of The Total Environment* **2019**, *659*, 1090–1099. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.426.

(127) Hajizadeh, Y.; Mokhtari, M.; Faraji, M.; Mohammadi, A.; Nemati, S.; Ghanbari, R.; Abdolahnejad, A.; Fard, R. F.; Nikoonahad, A.; Jafari, N.; Miri, M. Trends of BTEX in the Central Urban Area of Iran: A Preliminary Study of Photochemical Ozone Pollution and Health Risk Assessment. *Atmos Pollut Res* **2018**, *9* (2), 220–229. https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.09.005.

(128) Han, T.; Ma, Z.; Xu, W.; Qiao, L.; Li, Y.; He, D.; Wang, Y. Characteristics and Source Implications of Aromatic Hydrocarbons at Urban and Background Areas in Beijing, China. *Science of The Total Environment* **2020**, *707*, 136083. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136083.

(129) Huang, Y. S.; Hsieh, C. C. Ambient Volatile Organic Compound Presence in the Highly Urbanized City: Source Apportionment and Emission Position. *Atmos Environ* **2019**, *206*, 45–59. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.02.046.

(130) Kim, S.-J.; Kwon, H.-O.; Lee, M.-I.; Seo, Y.; Choi, S.-D. Spatial and Temporal Variations of Volatile Organic Compounds Using Passive Air Samplers in the Multi-Industrial City of Ulsan, Korea. *Environmental Science and Pollution Research* **2019**, *26* (6), 5831–5841. https://doi.org/10.1007/s11356-018-4032-5.

(131) Ho, K. F.; Lee, S. C.; Guo, H.; Tsai, W. Y. Seasonal and Diurnal Variations of Volatile Organic Compounds (VOCs) in the Atmosphere of Hong Kong. *Science of The Total Environment* **2004**, *322* (1–3), 155–166. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.10.004.

(132) Abbasi, F.; Pasalari, H.; Delgado-Saborit, J. M.; Rafiee, A.; Abbasi, A.; Hoseini, M. Characterization and Risk Assessment of BTEX in Ambient Air of a Middle Eastern City. *Process Safety and Environmental Protection* **2020**, *139*, 98–105. https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.03.019.

(133) Esplugues, A.; Ballester, F.; Estarlich, M.; Llop, S.; Fuentes-Leonarte, V.; Mantilla, E.; Iñiguez, C. Indoor and Outdoor Air Concentrations of BTEX and Determinants in a Cohort of One-Year Old Children in Valencia, Spain. *Science of The Total Environment* **2010**, *409* (1), 63–69. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.09.039.

(134) Marć, M.; Namieśnik, J.; Zabiegała, B. BTEX Concentration Levels in Urban Air in the Area of the Tri-City Agglomeration (Gdansk, Gdynia, Sopot), Poland. *Air Qual Atmos Health* **2014**, *7* (4), 489–504. https://doi.org/10.1007/s11869-014-0247-x.

(135) Derwent, R. Analysis and Interpretation of Air Quality Data from an Urban Roadside Location in Central London over the Period from July 1991 to July 1992. *Atmos Environ* **1995**, *29* (8), 923–946. https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00219-B.

(136) Gros, V.; Sciare, J.; Yu, T. Air-Quality Measurements in Megacities: Focus on Gaseous Organic and Particulate Pollutants and Comparison between Two Contrasted Cities, Paris and Beijing. *Comptes Rendus Geoscience* **2007**, *339* (11–12), 764–774. https://doi.org/10.1016/j.crte.2007.08.007.

(137) Brocco, D.; Fratarcangeli, R.; Lepore, L.; Petricca, M.; Ventrone, I. Determination of Aromatic Hydrocarbons in Urban Air of Rome. *Atmos Environ* **1997**, *31* (4), 557–566. https://doi.org/10.1016/S1352-2310(96)00226-9.

(138) HELLEN, H.; HAKOLA, H.; LAURILA, T.; HILTUNEN, V.; KOSKENTALO, T. Aromatic Hydrocarbon and Methyl Tert-Butyl Ether Measurements in Ambient Air of Helsinki (Finland) Using Diffusive Samplers. *Sci Total Environ* **2002**, *298* (1–3), 55–64. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00168-7.

(139) Kerchich, Y.; Kerbachi, R. Measurement of BTEX (Benzene, Toluene, Ethybenzene, and Xylene) Levels at Urban and Semirural Areas of Algiers City Using Passive Air Samplers. *J Air Waste Manage Assoc* **2012**, *62* (12), 1370–1379. https://doi.org/10.1080/10962247.2012.712606.

(140) Cerón, J. G.; Ramírez, E.; Cerón, R. M.; Carballo, C.; Aguilar, C.; López, U.; Ramírez, A.; Gracia, Y.; Naal, D.; Campero, A.; Guerra, J.; Guevara, E. Diurnal and Seasonal Variation of BTX in Ambient Air of One Urban Site in Carmen City, Campeche, Mexico. *J Environ Prot (Irvine, Calif)* **2013**, *04* (08), 40–49. https://doi.org/10.4236/jep.2013.48A1006.

(141) Dantas, G.; Gorne, I.; da Silva, C. M.; Arbilla, G. Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene (BTEX) Concentrations in Urban Areas Impacted by Chemical and Petrochemical Industrial Emissions. *Bull Environ Contam Toxicol* **2022**, *108* (2), 204–211. https://doi.org/10.1007/s00128-021-03336-y.

(142) Nelson, P. F.; Quigley, S. M.; Smith, M. Y. Sources of Atmospheric Hydrocarbons in Sydney: A Quantitative Determination Using a Source Reconciliation Technique. *Atmospheric Environment (1967)* **1983**, *17* (3), 439–449. https://doi.org/10.1016/0004-6981(83)90117-8.

(143) Carslaw, N.; Shaw, D. Modification of Cleaning Product Formulations Could Improve Indoor Air Quality. *Indoor Air* **2022**, *32* (3). https://doi.org/10.1111/ina.13021.

(144) Król, S.; Namieśnik, J.; Zabiegała, B. α-Pinene, 3-Carene and d-Limonene in Indoor Air of Polish Apartments: The Impact on Air Quality and Human Exposure. *Science of The Total Environment* **2014**, *468–469*, 985–995. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.099.

(145) Vardoulakis, S.; Giagloglou, E.; Steinle, S.; Davis, A.; Sleeuwenhoek, A.; Galea, K. S.; Dixon, K.; Crawford, J. O. Indoor Exposure to Selected Air Pollutants in the Home Environment: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health* **2020**, *17* (23), 8972. https://doi.org/10.3390/ijerph17238972.

(146) Besis, A.; Margaritis, D.; Samara, C.; Bekiaris, E. Volatile Organic Compounds on Rhodes Island, Greece: Implications for Outdoor and Indoor Human Exposure. *Toxics* **2024**, *12* (7), 486. https://doi.org/10.3390/toxics12070486.

(147) Wang, C. M.; Barratt, B.; Carslaw, N.; Doutsi, A.; Dunmore, R. E.; Ward, M. W.; Lewis, A. C. Unexpectedly High Concentrations of Monoterpenes in a Study of UK Homes. *Environ Sci Process Impacts* **2017**, *19* (4), 528–537. https://doi.org/10.1039/C6EM00569A.

(148) Massolo, L.; Rehwagen, M.; Porta, A.; Ronco, A.; Herbarth, O.; Mueller, A. Indoor–Outdoor Distribution and Risk Assessment of Volatile Organic Compounds in the Atmosphere of Industrial and Urban Areas. *Environ Toxicol* **2010**, *25* (4), 339–349. https://doi.org/10.1002/tox.20504.

(149) Tong, Z.; Chen, Y.; Malkawi, A.; Adamkiewicz, G.; Spengler, J. D. Quantifying the Impact of Traffic-Related Air Pollution on the Indoor Air Quality of a Naturally Ventilated Building. *Environ Int* **2016**, *89–90*, 138–146. https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.01.016.

(150) de Blas, M.; Navazo, M.; Alonso, L.; Durana, N.; Gomez, M. C.; Iza, J. Simultaneous Indoor and Outdoor On-Line Hourly Monitoring of Atmospheric Volatile Organic Compounds in an Urban Building. The Role of inside and Outside Sources. *Science of The Total Environment* **2012**, *426*, 327–335. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.003.

(151) Gallego, E.; Roca, X.; Perales, J. F.; Guardino, X. Determining Indoor Air Quality and Identifying the Origin of Odour Episodes in Indoor Environments. *Journal of Environmental Sciences* **2009**, *21* (3), 333–339. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62273-1.

(152) GOKHALE, S.; KOHAJDA, T.; SCHLINK, U. Source Apportionment of Human Personal Exposure to Volatile Organic Compounds in Homes, Offices and Outdoors by Chemical Mass Balance and Genetic

Algorithm Receptor Models. *Science of The Total Environment* **2008**, *407* (1), 122–138. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.08.025.

(153) Kozicki, M.; Guzik, K. Comparison of VOC Emissions Produced by Different Types of Adhesives Based on Test Chambers. *Materials* **2021**, *14* (8), 1924. https://doi.org/10.3390/ma14081924.

(154) Brunet, C. E.; Marek, R. F.; Stanier, C. O.; Hornbuckle, K. C. Concentrations of Volatile Methyl Siloxanes in New York City Reflect Emissions from Personal Care and Industrial Use. *Environ Sci Technol* **2024**, *58* (20), 8835–8845. https://doi.org/10.1021/acs.est.3c10752.

(155) Chivu, R. M.; Martins, J.; Popescu, F.; Uzuneanu, K.; Ion, I. V.; Goncalves, M.; Codău, T.-C.; Onofrei, E.; Brito, F. P. Turpentine as an Additive for Diesel Engines: Experimental Study on Pollutant Emissions and Engine Performance. *Energies (Basel)* **2023**, *16* (13), 5150. https://doi.org/10.3390/en16135150.

(156) Sun, Y.; Guan, J.; Yue, G.; Xiu, Y.; Wang, H.; McHugh, T.; Ma, J. Chemical Composition and Fingerprints of Headspace Vapors of 37 Petroleum Products and Non-Aqueous Phase Liquid Samples. *Environ Forensics* **2025**, 1–16. https://doi.org/10.1080/15275922.2025.2459405.

(157) Yang, T.; Xiong, J.; Tang, X.; Misztal, P. K. Predicting Indoor Emissions of Cyclic Volatile Methylsiloxanes from the Use of Personal Care Products by University Students. *Environ Sci Technol* **2018**, *52* (24), 14208–14215. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00443.

(158) Xie, J.; Wang, X.; Sheng, G.; Bi, X.; Fu, J. Determination of Tobacco Smoking Influence on Volatile Organic Compounds Constituent by Indoor Tobacco Smoking Simulation Experiment. *Atmos Environ* **2003**, *37* (24), 3365–3374. https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00354-6.

(159) Sheu, R.; Stönner, C.; Ditto, J. C.; Klüpfel, T.; Williams, J.; Gentner, D. R. Human Transport of Thirdhand Tobacco Smoke: A Prominent Source of Hazardous Air Pollutants into Indoor Nonsmoking Environments. *Sci Adv* **2020**, *6* (10). https://doi.org/10.1126/sciadv.aay4109.

(160) Parra, M. A.; Elustondo, D.; Bermejo, R.; Santamaría, J. M. Quantification of Indoor and Outdoor Volatile Organic Compounds (VOCs) in Pubs and Cafés in Pamplona, Spain. *Atmos Environ* **2008**, *42* (27), 6647–6654. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.04.026.

(161) Arı, A.; Ertürk Arı, P.; Yenisoy-Karakaş, S.; Gaga, E. O. Source Characterization and Risk Assessment of Occupational Exposure to Volatile Organic Compounds (VOCs) in a Barbecue Restaurant. *Build Environ* **2020**, *174*, 106791. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106791.

(162) Lee, Y.-Y.; Park, H.; Seo, Y.; Yun, J.; Kwon, J.; Park, K.-W.; Han, S.-B.; Oh, K. C.; Jeon, J.-M.; Cho, K.-S. Emission Characteristics of Particulate Matter, Odors, and Volatile Organic Compounds from the Grilling of Pork. *Environ Res* **2020**, *183*, 109162. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109162.

(163) Wang, H.; Xiang, Z.; Wang, L.; Jing, S.; Lou, S.; Tao, S.; Liu, J.; Yu, M.; Li, L.; Lin, L.; Chen, Y.; Wiedensohler, A.; Chen, C. Emissions of Volatile Organic Compounds (VOCs) from Cooking and Their Speciation: A Case Study for Shanghai with Implications for China. *Science of The Total Environment* **2018**, *621*, 1300–1309. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.098.

(164) Phama, L.; Keretetse, G.; Mbonane, T.; Rathebe, P.; Makae, R.; Masekameni, M. D. BTEX Assessment among Informal Charcoal-Burning Food Traders for Cleaner and Sustainable Environment. *Sustainability* **2024**, *16* (8), 3336. https://doi.org/10.3390/su16083336.

(165) BIANCHI, F.; CANTONI, C.; CARERI, M.; CHIESA, L.; MUSCI, M.; PINNA, A. Characterization of the Aromatic Profile for the Authentication and Differentiation of Typical Italian Dry-Sausages. *Talanta* **2007**, *72* (4), 1552–1563. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2007.02.019.

(166) Wakayama, T.; Ito, Y.; Sakai, K.; Miyake, M.; Shibata, E.; Ohno, H.; Kamijima, M. Comprehensive Review of 2-Ethyl-1-Hexanol as an Indoor Air Pollutant. *J Occup Health* **2019**, *61* (1), 19–35. https://doi.org/10.1002/1348-9585.12017.

(167) Yuan, B.; Shao, M.; Lu, S.; Wang, B. Source Profiles of Volatile Organic Compounds Associated with Solvent Use in Beijing, China. *Atmos Environ* **2010**, *44* (15), 1919–1926. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.02.014.

(168) Wadden, R. A.; Scheff, P. A.; Franke, J. E.; Conroy, L. M.; Javor, M.; Keil, C. B.; Milz, S. A. VOC Emission Rates and Emission Factors for a Sheetfed Offset Printing Shop. *Am Ind Hyg Assoc J* **1995**, *56* (4), 368–376. https://doi.org/10.1080/15428119591016999.

(169) Betha, R.; Selvam, V.; Blake, D. R.; Balasubramanian, R. Emission Characteristics of Ultrafine Particles and Volatile Organic Compounds in a Commercial Printing Center. *J Air Waste Manage Assoc* **2011**, *61* (11), 1093–1101. https://doi.org/10.1080/10473289.2011.604549.

(170) Gioda, A.; de Aquino Neto, F. R. Exposure to High Levels of Volatile Organic Compounds and Other Pollutants in a Printing Facility in Rio de Janeiro, Brazil. *Indoor and Built Environment* **2002**, *11* (5), 302–311. https://doi.org/10.1159/000066528.

(171) Caselli, M.; de Gennaro, G.; Saracino, M. R.; Tutino, M. Indoor Contaminants from Newspapers: VOCs Emissions in Newspaper Stands. *Environ Res* **2009**, *109* (2), 149–157. https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.10.011.

(172) Alabdulhadi, A.; Ramadan, A.; Devey, P.; Boggess, M.; Guest, M. Inhalation Exposure to Volatile Organic Compounds in the Printing Industry. *J Air Waste Manage Assoc* **2019**, *69* (10), 1142–1169. https://doi.org/10.1080/10962247.2019.1629355.

(173) Eun, D.-M.; Han, Y.-S.; Park, S.-H.; Yoo, H.-S.; Le, Y. T.-H.; Jeong, S.; Jeon, K.-J.; Youn, J.-S. Analysis of VOCs Emitted from Small Laundry Facilities: Contributions to Ozone and Secondary Aerosol Formation and Human Risk Assessment. *Int J Environ Res Public Health* **2022**, *19* (22), 15130. https://doi.org/10.3390/ijerph192215130.

(174) Liang, Z.; Wang, J.; Zhang, Y.; Han, C.; Ma, S.; Chen, J.; Li, G.; An, T. Removal of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emitted from a Textile Dyeing Wastewater Treatment Plant and the Attenuation of Respiratory Health Risks Using a Pilot-Scale Biofilter. *J Clean Prod* **2020**, *253*, 120019. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120019.

(175) Chruściel, J. J. Modifications of Textile Materials with Functional Silanes, Liquid Silicone Softeners, and Silicone Rubbers—A Review. *Polymers (Basel)* **2022**, *14* (20), 4382. https://doi.org/10.3390/polym14204382.

(176) Ning, X.-A.; Wang, J.-Y.; Li, R.-J.; Wen, W.-B.; Chen, C.-M.; Wang, Y.-J.; Yang, Z.-Y.; Liu, J.-Y. Fate of Volatile Aromatic Hydrocarbons in the Wastewater from Six Textile Dyeing Wastewater Treatment Plants. *Chemosphere* **2015**, *136*, 50–55. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.086.

(177) Sanchez, J. M. Air and Breath Analysis for the Assessment of Exposure to Solvent Emissions in University Chemistry Laboratories. *Atmos Pollut Res* **2019**, *10* (6), 1795–1802. https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.07.011.

(178) Park, J.; Lee, L.; Byun, H.; Ham, S.; Lee, I.; Park, J.; Rhie, K.; Lee, Y.; Yeom, J.; Tsai, P.; Yoon, C. A Study of the Volatile Organic Compound Emissions at the Stacks of Laboratory Fume Hoods in a University Campus. *J Clean Prod* **2014**, *66*, 10–18. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.024.

(179) Akal, D.; Yurdakul, S.; Civan, M. Y.; Tuncel, G.; Ersan, H. Y. Sources of Volatile Organic Compounds in a University Building. *Environ Forensics* **2015**, *16* (2), 173–185. https://doi.org/10.1080/15275922.2015.1022913.

(180) Hamid, H. H. A.; Nadzir, M. S. M.; Lee, K. E.; Ayatillah, A.; Latif, M. T.; Othman, M. Indoor Level of BTEX and Health Risk Assessment at Science Laboratories in a University. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* **2023**, *1205* (1), 012086. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1205/1/012086.

(181) Tran, T. M.; Tu, M. B.; Vu, N. D. Cyclic Siloxanes in Indoor Environments from Hair Salons in Hanoi, Vietnam: Emission Sources, Spatial Distribution, and Implications for Human Exposure. *Chemosphere* **2018**, *212*, 330–336. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.101.

(182) Liu, N.; Xu, L.; Cai, Y. Methyl Siloxanes in Barbershops and Residence Indoor Dust and the Implication for Human Exposures. *Science of The Total Environment* **2018**, *618*, 1324–1330. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.250.

(183) Jiang, J.; Ding, X.; Patra, S. S.; Cross, J. N.; Huang, C.; Kumar, V.; Price, P.; Reidy, E. K.; Tasoglou, A.; Huber, H.; Stevens, P. S.; Boor, B. E.; Jung, N. Siloxane Emissions and Exposures during the Use of Hair Care Products in Buildings. *Environ Sci Technol* **2023**, *57* (48), 19999–20009. https://doi.org/10.1021/acs.est.3c05156.

(184) Kaikiti, C.; Stylianou, M.; Agapiou, A. TD-GC/MS Analysis of Indoor Air Pollutants (VOCs, PM) in Hair Salons. *Chemosphere* **2022**, *294*, 133691. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133691.

(185) Hadei, M.; Hopke, P. K.; Shahsavani, A.; Moradi, M.; Yarahmadi, M.; Emam, B.; Rastkari, N. Indoor Concentrations of VOCs in Beauty Salons; Association with Cosmetic Practices and Health Risk Assessment. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology* **2018**, *13* (1), 30. https://doi.org/10.1186/s12995-018-0213-x.

(186) Baghani, A. N.; Rostami, R.; Arfaeinia, H.; Hazrati, S.; Fazlzadeh, M.; Delikhoon, M. BTEX in Indoor Air of Beauty Salons: Risk Assessment, Levels and Factors Influencing Their Concentrations. *Ecotoxicol Environ Saf* **2018**, *159*, 102–108. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.044.

(187) de Gennaro, G.; de Gennaro, L.; Mazzone, A.; Porcelli, F.; Tutino, M. Indoor Air Quality in Hair Salons: Screening of Volatile Organic Compounds and Indicators Based on Health Risk Assessment. *Atmos Environ* **2014**, *83*, 119–126. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.056.

(188) Tran, T. M.; Hoang, A. Q.; Le, S. T.; Minh, T. B.; Kannan, K. A Review of Contamination Status, Emission Sources, and Human Exposure to Volatile Methyl Siloxanes (VMSs) in Indoor Environments. *Science of The Total Environment* **2019**, *691*, 584–594. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.168.

(189) Rücker, C.; Kümmerer, K. Environmental Chemistry of Organosiloxanes. *Chem Rev* **2015**, *115* (1), 466–524. https://doi.org/10.1021/cr500319v.

(190) Kim, Y. M.; Harrad, S.; Harrison, R. M. Concentrations and Sources of VOCs in Urban Domestic and Public Microenvironments. *Environ Sci Technol* **2001**, *35* (6), 997–1004. https://doi.org/10.1021/es000192y.

(191) Aghoutane, Y.; Brebu, M.; Moufid, M.; Ionescu, R.; Bouchikhi, B.; El Bari, N. Detection of Counterfeit Perfumes by Using GC-MS Technique and Electronic Nose System Combined with Chemometric Tools. *Micromachines (Basel)* **2023**, *14* (3), 524. https://doi.org/10.3390/mi14030524.

(192) Chisvert, A.; López-Nogueroles, M.; Miralles, P.; Salvador, A. Perfumes in Cosmetics. In *Analysis of Cosmetic Products*; Elsevier, 2018; pp 225–248. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63508-2.00010-2.

(193) Wang, P.; Zhao, W. Assessment of Ambient Volatile Organic Compounds (VOCs) near Major Roads in Urban Nanjing, China. *Atmos Res* **2008**, *89* (3), 289–297. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.03.013.

(194) Ohura, T.; Amagai, T.; Shen, X.; Li, S.; Zhang, P.; Zhu, L. Comparative Study on Indoor Air Quality in Japan and China: Characteristics of Residential Indoor and Outdoor VOCs. *Atmos Environ* **2009**, *43* (40), 6352–6359. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.09.022.

(195) Huang, L.; Wei, Y.; Zhang, L.; Ma, Z.; Zhao, W. Estimates of Emission Strengths of 43 VOCs in Wintertime Residential Indoor Environments, Beijing. *Science of The Total Environment* **2021**, *793*, 148623. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148623.

(196) Luo, S.; Hao, Q.; Xu, Z.; Zhang, G.; Liang, Z.; Gou, Y.; Wang, X.; Chen, F.; He, Y.; Jiang, C. Composition Characteristics of VOCs in the Atmosphere of the Beibei Urban District of Chongqing: Insights from Long-Term Monitoring. *Atmosphere (Basel)* **2023**, *14* (9), 1452. https://doi.org/10.3390/atmos14091452.

(197) Petrus, M.; Popa, C.; Bratu, A.-M. Temporal Variations in Urban Air Pollution during a 2021 Field Campaign: A Case Study of Ethylene, Benzene, Toluene, and Ozone Levels in Southern Romania. *Sustainability* **2024**, *16* (8), 3219. https://doi.org/10.3390/su16083219.

(198) Zhang, X.; Wang, J.; Zhao, J.; He, J.; Lei, Y.; Meng, K.; Wei, R.; Zhang, X.; Zhang, M.; Ni, S.; Aruffo, E. Chemical Characteristics and Sources Apportionment of Volatile Organic Compounds in the Primary Urban Area of Shijiazhuang, North China Plain. *Journal of Environmental Sciences* **2025**, *149*, 465–475. https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.01.009.

(199) Ninyà, N.; Vallecillos, L.; Marcé, R. M.; Borrull, F. Evaluation of Air Quality in Indoor and Outdoor Environments: Impact of Anti-COVID-19 Measures. *Science of The Total Environment* **2022**, *836*, 155611. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155611.

(200) Vallecillos, L.; Borrull, A.; Marcé, R. M.; Borrull, F. Passive Sampling to Control Air Quality in Schools: Uptake Rate Determination and Application. *Indoor Air* **2020**, *30* (5), 1005–1017. https://doi.org/10.1111/ina.12684.

(201) Vallecillos, L.; Borrull, A.; Marcé, R. M.; Borrull, F. Presence of Emerging Organic Contaminants and Solvents in Schools Using Passive Sampling. *Science of The Total Environment* **2021**, *764*, 142903. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142903.

(202) Bari, Md. A.; Kindzierski, W. B. Ambient Volatile Organic Compounds (VOCs) in Calgary, Alberta: Sources and Screening Health Risk Assessment. *Science of The Total Environment* **2018**, *631–632*, 627–640. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.023.

(203) De Coster, G.; Van Overmeiren, P.; Vandermeersch, L.; Van Langenhove, H.; Demeestere, K.; Walgraeve, C. Indoor and Outdoor Air Quality Assessment in Daycare Centres in Ghent (Belgium) in View of Outdoor Sleeping in an Urban Environment. *Atmos Environ* **2023**, *303*, 119711. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119711.

(204) Jung, C.; Awad, J.; Ismail, M. A.; Chohan, A. H. Correlating Temperature, Airtightness, and Pollutant Concentrations: Insights into Indoor Air Quality in Ajman Apartment Buildings. *Future Cities and Environment* **2024**, *10* (1). https://doi.org/10.5334/fce.211.

(205) Jung, C.; Al Qassimi, N.; Arar, M.; Awad, J. The Analysis of Indoor Air Pollutants From Finishing Material of New Apartments at Business Bay, Dubai. *Front Built Environ* **2021**, *7*. https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.765689.

(206) Mentese, S.; Mirici, N. A.; Elbir, T.; Palaz, E.; Mumcuoğlu, D. T.; Cotuker, O.; Bakar, C.; Oymak, S.; Otkun, M. T. A Long-Term Multi-Parametric Monitoring Study: Indoor Air Quality (IAQ) and the Sources of the Pollutants, Prevalence of Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms, and Respiratory Health Indicators. *Atmos Pollut Res* **2020**, *11* (12), 2270–2281. https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.07.016.

(207) Zhang, Z.-F.; Zhang, X.; Zhang, X.; Liu, L.-Y.; Li, Y.-F.; Sun, W. Indoor Occurrence and Health Risk of Formaldehyde, Toluene, Xylene and Total Volatile Organic Compounds Derived from an Extensive Monitoring Campaign in Harbin, a Megacity of China. *Chemosphere* **2020**, *250*, 126324. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126324.

(208) Bergomi, A.; Mangia, C.; Fermo, P.; Genga, A.; Comite, V.; Guadagnini, S.; Ielpo, P. Outdoor Trends and Indoor Investigations of Volatile Organic Compounds in Two High Schools of Southern Italy. *Air Qual Atmos Health* **2024**, *17* (6), 1325–1340. https://doi.org/10.1007/s11869-024-01509-2.

(209) Mečiarová, Ľ.; Vilčeková, S.; Krídlová Burdová, E.; Kiselák, J. Factors Effecting the Total Volatile Organic Compound (TVOC) Concentrations in Slovak Households. *Int J Environ Res Public Health* **2017**, *14* (12), 1443. https://doi.org/10.3390/ijerph14121443.

(210) Hippelein, M. Background Concentrations of Individual and Total Volatile Organic Compounds in Residential Indoor Air of Schleswig-Holstein, Germany. *Journal of Environmental Monitoring* **2004**, *6* (9), 745. https://doi.org/10.1039/b401139m.

(211) Zhang, H.; Li, H.; Zhang, Q.; Zhang, Y.; Zhang, W.; Wang, X.; Bi, F.; Chai, F.; Gao, J.; Meng, L.; Yang, T.; Chen, Y.; Cheng, Q.; Xia, F. Atmospheric Volatile Organic Compounds in a Typical Urban Area of Beijing: Pollution Characterization, Health Risk Assessment and Source Apportionment. *Atmosphere (Basel)* **2017**, *8* (3), 61. https://doi.org/10.3390/atmos8030061.

(212) Embiale, A.; Chandravanshi, B. S.; Zewge, F.; Sahle-Demessie, E. Health Risk Assessment of Total Volatile Organic Compounds, Particulate Matters and Trace Elements in PM_{10} in Typical Living Rooms in Addis Ababa, Ethiopia. *Int J Environ Anal Chem* **2022**, *102* (18), 6583–6601. https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1814266.

(213) Molhave, L. Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Health. *Indoor Air* **1991**, *1* (4), 357–376. https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1991.00001.x.

(214) Office of the European Union. *DIRECTIVE (EU) 2024/2881 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2024 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe (Recast)*; 2024. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402881 (accessed 2025-08-23).

ГЛАВА 7

7. ДОДАТОК

7. 1. Научни публикации произлезени од ова докторско истражување

Следниве публикации се рецензирани и директно се поврзани со истражувањето спроведено во рамките на оваа докторска дисертација.

1. **Vllaznim Mula**, Jane Bogdanov, Jasmina Petreska Stanoeva, Lulzim Zeneli*, Zoran Zdravkovski*. *Monitoring Volatile Organic Compounds in Air Using Passive Sampling: Regional Cross-Border Study between N. Macedonia and Kosovo*. **Aerosol and Air Quality Research**, Volume 24, Issue 1, pp. 230170, **2024**. https://doi.org/10.4209/aaqr.230170. **Indexed:** *Web of Science – SCIE*, *Scopus*, etc. **Impact factor 2,5.** *: Corresponding author.

2. **Vllaznim Mula***, Jane Bogdanov, Jasmina Petreska Stanoeva, Lulzim Zeneli*, Avni Berisha, Zoran Zdravkovski*. *Assessment of volatile organic compounds in indoor environments across North Macedonia and Kosovo using passive sampling*. **Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering**, Volume 43, Issue 2, pp. 207–218, **2024**. https://doi.org/10.20450/mjcce.2024.2953.
Indexed: *Web of Science – SCIE*, *Scopus*, etc. **Impact factor 1.1.** *: Corresponding author.

3. **Vllaznim Mula***, Jane Bogdanov, Jasmina Petreska Stanoeva, Lulzim Zeneli, Valbonë Mehmeti, Fabrizio Gelmini, Armond Daci, Avni Berisha, Zoran Zdravkovski, Giangiacomo Beretta*. *Semi-Quantitative Characterization of Volatile Organic Compounds in Indoor and Outdoor Air Using Passive Samplers: A Case Study of Milan, Italy*. **Atmosphere**, Volume 16, Issue 9, pp. 1088, **2025**. Semi-Quantitative Characterization of Volatile Organic Compounds in Indoor and Outdoor Air Using Passive Samplers: A Case Study of Milan, Italy.
Indexed: *Web of Science – SCIE*, *Scopus*, etc. **Impact factor 2.3.** *: Corresponding author.

7. 2. Научни конференциски презентации произлезени од оваа докторска работа

Следните научни конференциски презентации се базирани на истражувањата спроведени во рамките на оваа докторска дисертација.

1. **Vllaznim Mula***, Jane Bogdanov, Jasmina Petreska Stanoeva, Zoran Zdravkovski. *Development of a method for the detection and characterization of volatile organic compounds in the atmosphere using passive sampling*. In: **Proceedings of the 6th International Joint Science Congress of Materials and Polymers (ISCMP)**, 14–17 September **2022**, Durres, Albania, p. 34. **Oral Presentation.** *Presenter. **Available at:** asdf.

2. **Vllaznim Mula***, Jane Bogdanov, Jasmina Petreska Stanoeva, Zoran Zdravkovski. *Assessment of organic contaminants in some urban locations in the Republic of Kosovo.* In: **Proceedings of the 6th International Joint Science Congress of Materials and Polymers (ISCMP)**, 14–17 September **2022**, Durres, Albania, p. 50. **Poster Presentation.** *Presenter. **Available at:** asdf.

3. **Vllaznim Mula***, Jane Bogdanov, Jasmina Petreska Stanoeva, Zoran Zdravkovski. *Detection of organic compounds in outdoor urban air in Kosova and Macedonia using a passive sampling technique and gas chromatography coupled with mass spectrometry*. In: **Proceedings of the 26th Congress of the Society of Chemists and Technologists of Macedonia (SCTM)**, 20–23 September **2023**, Ohrid, North Macedonia, p. 84. **Oral Presentation.** *Presenter. **Available at:** 26th Congress of SCTM_Book of abstrakts.pdf.

4. **Vllaznim Mula***, Jane Bogdanov, Jasmina Petreska Stanoeva, Zoran Zdravkovski. *Pinpointing the origin of volatile organic compounds in urban air using passive sampling and gas chromatographic methods*. In: **Proceedings of the 26th Congress of the Society of Chemists and Technologists of Macedonia (SCTM)**, 20–23 September **2023**, Ohrid, North Macedonia, p. 90. **Poster Presentation.** *Presenter. **Available at:** 26th Congress of SCTM_Book of abstrakts.pdf.

5. Jasmina Petreska Stanoeva*, **Vllaznim Mula**, Jane Bogdanov, Lulzim Zeneli and Zoran Zdravkovski. *Establishing the origin of Volatile Organic Compounds in urban Air: Regional Cross-Border Study between North Macedonia and Kosovo*. In: **Proceedings of**

the 22nd International Summer School on Bioanalysis, 7–13 July **2024**, Prague, Czech Republic, p. 70. **Oral Presentation**. *Presenter. **Available at:** bookofabstract_ceepus.pdf (bioanalysis-prague-2024.cz).

6. **Vllaznim Mula***, Jane Bogdanov, Jasmina Petreska Stanoeva, Lulzim Zeneli and Zoran Zdravkovski. *Assessment of volatile organic compounds in indoor and outdoor air across North Macedonia and Kosovo*. In: **Proceedings of the 27th Congress of the Society of Chemists and Technologists of Macedonia (SCTM)**, 25–28 September **2024**, Ohrid, North Macedonia, p. 14. **Oral Presentation.** *Presenter. **Available at:** 2024-27th-Congress-Book-of-abstracts.pdf.

7. **Vllaznim Mula***, Jane Bogdanov, Jasmina Petreska Stanoeva, Lulzim Zeneli and Zoran Zdravkovski. *Assessing volatile methyl siloxanes in indoor environments using passive sampling*. In: **Proceedings of the 27th Congress of the Society of Chemists and Technologists of Macedonia (SCTM)**, 25–28 September **2024**, Ohrid, North Macedonia, p. 21. **Poster Presentation.** *Presenter. **Available at:** 2024-27th-Congress-Book-of-abstracts.pdf.

8. **Vllaznim Mula***, Jane Bogdanov, Jasmina Petreska Stanoeva, Lulzim Zeneli, Fabrizio Gelmini, Armond Daci, Avni Berisha, Zoran Zdravkovski, Giangiacomo Beretta. *Monitoring Volatile Organic Compounds in Indoor and Outdoor Air Using Passive Sampling in Milan, Italy.* **2nd NanoKos Workshop,** 31 October **2024**, Tirana, Albania. **Oral Presentation.** *Presenter. **Available at:** NANOBALKAN2024.

9. **Vllaznim Mula***, Jane Bogdanov, Jasmina Petreska Stanoeva, Lulzim Zeneli, Fabrizio Gelmini, Armond Daci, Avni Berisha, Zoran Zdravkovski, Giangiacomo Beretta: *Monitoring Volatile Organic Compounds in Indoor and Outdoor Air Using Passive Sampling in Milan, Italy.* In: **Proceedings of the 2nd nanoBalkan International Conference (NB2024)**, 28 October – 01 November **2024**, Tirana, Albania, p. 80. **Oral Presentation.** *Presenter. **Available at:** AbstractsBook.pdf.

БИОГРАФИЈА

БИОГРАФИЈА

Влазним Мула е роден на 28 ноември 1988 година во Гјакова, Косово. Дипломирал на Департментот за хемиско инженерство при Факултетот за математика и природни науки, Универзитетот во Приштина "Хасан Приштина" во 2010 година, со просечна оценка (GPA) 9.16/10. Потоа ја завршил магистратурата по аналитичка и еколошка хемија во 2014 година, со просечна оценка (GPA) 9.18/10. Неговата магистерска теза, под менторство на проф. д-р Авни Бериша и експериментално спроведена на Факултетот за хемија и хемиско инженерство, Универзитетот Babeș-Bolyai, Клуж-Напока, Романија, се фокусираше на определување на водороден пероксид користејќи електрохемиски сензор базиран на наночестички рутијум поддржани на јаглерод. Неговиот академски успех бил препознаен со стипендија од Универзитетот во Приштина и две стипендии од DAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst – Германска академска размена), кои го поддржале неговото истражување во Косово и Романија.

Во јануари 2020 година, Мула ги започна докторските студии на Факултетот за математика и природни науки при Универзитетот "Св. Кирил и Методиј", Скопје, Северна Македонија, под менторство на проф. д-р Зоран Здравковски. Неговото докторско истражување, насловено „Проценка и карактеризација на испарливи органски соединенија во внатрешен и надворешен воздух преку пасивно земање примероци и напредни аналитички техники", се занимава со критични предизвици во еколошкото следење, користејќи методи на пасивно земање примероци и напредни аналитички пристапи за оценка на квалитетот на воздухот во внатрешни и надворешни средини.

Професионално, Мула има обемно искуство во академијата, индустријата и еколошките истражувања. Тој работел како хемичар во лабораторијата за контрола на квалитет во фармацевтска компанија, во Агенцијата за храна и ветеринарство, како и како професор по хемија во средно училиште. Исто така, тој бил вклучен како Експерт за животна средина во проекти за третман на азбест и материјали кои содржат азбест во Приштина, каде бил одговорен за надзор на земањето на примероци.

Мула водел и придонел во неколку значајни истражувачки проекти. Тој бил Главен истражувач во EU-финансираниот проект NanoKos, "Assessment of Volatile Organic Compounds in Indoor and Outdoor Air of Prishtina, Kosovo: A Comparative Study with Carbon Nanoadsorbents and Health Risk Evaluation", како и член на проект за контаминација со тешки метали во млеко, поддржан од Министерството за образование, наука и технологија на Косово. Тој завршил истражувачки практики на Универзитетот во Милано и Универзитетот во Терамо, Италија, како и на Универзитетот Babeș-Bolyai во Клуж-Напока, Романија, и активно учествувал на национални и меѓународни конференции, работилници и конгреси. Автор е на шест рецензирани трудови индексирани во Web of Science и Scopus, од кои три се со него како прв автор.

Покрај своето истражување, Мула од октомври 2018 година работи како асистент настава на Факултетот за образование при Универзитетот "Фехми Агани" во Гјакова, предавајќи предмети од Основи на природни науки со методологија I и II и Еколошко образование. Тој е активен член на неколку академски комисии, вклучувајќи ја Комисијата за етика при Сенатот, Советот на Факултетот за образование и Комисијата за обезбедување квалитет, придонесувајќи во процесите на институционална реакредитација и академско управување. Исто така, е член на Управниот одбор на Здружението на хемичари на Косово.

Со цврста академска основа и интердисциплинарна експертиза, Мула продолжува да дава значаен придонес во научните истражувања, студиите за животната средина и високото образование.

ДОДАТОЦИ

ДОДАТОК 1

Овој додаток прикажува сеопфатни табели на сите VOCs откриени во амбиенталниот воздух низ Северна Македонија и Косово во периодот од април до декември 2022 година. За секој поединечен примерок, табелите ги прикажуваат хроматографските површини на врвовите за секое соединение, заедно со нивната релативна застапеност (%), пресметана како уделот на секое соединение во вкупната површина на врвовите на примерокот.

Табела А1. VOCs откриени во амбиенталниот воздух во Тетово, Северна Македонија, врз основа на примероци собрани со пасивни апаратчиња Radiello® од април до декември 2022 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површина на врвот и релативна застапеност (%) врз основа на полу-квантитативна анализа. Сезонските просечни вредности (пролет, лето, есен) се исто така дадени за секое соединение.

VOCs Група	Соединение	Април – Area*	Април RA (%) *	Maj – Area	Мај RA (%)	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Пролет Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	nd*	nd	127748	1,29	30620	0,45	**0,58**
	Метилциклогексан	308620	1,92	307509	3,09	108747	1,60	**2,20**
	2,3,4-Триметилпентан	172617	1,07	158642	1,60	116746	1,72	**1,47**
	n-Октан	59007	0,37	58651	0,59	113704	1,67	**0,87**
	n-Декан	170901	1,06	140519	1,41	148045	2,17	**1,55**
	Хептилциклогексан	67909	0,42	nd	nd	nd	nd	**0,14**
	n-Ундекан	58895	0,37	121425	1,22	60298	0,89	**0,83**
	4-Етилундекан	111777	0,69	nd	nd	nd	nd	**0,23**
	5-Метилундекан	271486	1,69	nd	nd	nd	nd	**0,56**
	2,3-Диметилундекан	448712	2,79	nd	nd	nd	nd	**0,93**
	n-Додекан	936839	5,82	305194	3,07	173518	2,55	**3,81**
	2,5-Диметилдодекан	404642	2,51	nd	nd	nd	nd	**0,84**
	2,6-Диметилундекан	209458	1,30	nd	nd	nd	nd	**0,43**
	Хексилциклогексан	102733	0,64	nd	nd	nd	nd	**0,22**
	Циклотетрадекан	444159	2,76	120518	1,22	nd	nd	**1,32**
	n-Тридекан	660087	4,10	150523	1,51	nd	nd	**1,87**
	7-Метилтридекан	109333	0,68	106546	1,07	nd	nd	**0,59**
	10-Метилнонадецан	86406	0,53	nd	nd	41105	0,61	**0,38**
	Бициклогексил	74776	0,46	nd	nd	nd	nd	**0,15**
	n-Тетрадекан	628732	3,91	941881	9,48	541449	7,96	**7,12**
	4-Метилтетрадекан	193021	1,20	nd	nd	244119	3,59	**1,59**
	n-Хексадекан	188107	1,17	205794	2,07	492791	7,24	**3,50**
	3-Метилгексадекан	182596	1,13	228583	2,30	31865	0,47	**1,30**
	2-Метилдекахидронафталин	373562	2,32	64391	0,65	nd	nd	**0,99**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	1135130	7,05	1094811	11,02	965819	14,20	**10,75**
	Толуен	1830799	11,37	1740309	17,51	823246	12,11	**13,67**
	Етилбензен	278812	1,73	425140	4,28	189454	2,78	**2,93**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	1073349	6,67	1158395	11,65	496190	7,30	**8,54**
	n-Пропилбензен	263544	1,64	69564	0,70	32685	0,48	**0,94**
	1-Етил-3-метилбензен	621034	3,86	175917	1,77	429969	6,32	**3,98**
	1-Метил-4-пропилбензен	402067	2,49	82764	0,84	23042	0,34	**1,22**
	1,2,4-Триметилбензен	318013	1,98	238088	2,39	32074	0,47	**1,62**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	491910	3,05	208670	2,10	315161	4,64	**3,26**
	Индан	nd	nd	nd	nd	41119	0,60	**0,20**
Терпени	*α*-Пинен	355451	2,21	197633	1,99	225864	3,32	**2,51**
	Лимонен	114765	0,71	186357	1,88	178391	2,63	**1,74**
	1,8-Цинеол	nd	nd	nd	nd	93593	1,37	**0,45**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	99098	0,62	nd	nd	nd	nd	**0,21**
	Декаметилциклопентасилоксан	1146123	7,12	865989	8,71	467814	6,88	**7,57**
Алкохоли и етери	1-Хексадеканол	407694	2,53	nd	nd	3362	0,05	**0,86**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	322789	2,00	80936	0,81	3838	0,06	**0,96**
	6-Метил-5-гептен-2-он	95667	0,59	nd	nd	nd	nd	**0,19**
Естери	Бутил ацетат	273538	1,70	nd	nd	80158	1,18	**0,96**
Халогенирани соединенија	4-Метилпентил 2,2-дихлороацетат	94253	0,59	180357	1,82	nd	nd	**0,81**
	Трихлоретен	116370	0,72	121010	1,22	147588	2,17	**1,37**
	Тетрахлоретен	156342	0,97	73880	0,74	148590	2,18	**1,29**
	1,4-Дихлорбензен	239552	1,49	nd	nd	nd	nd	**0,50**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А1 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Јули – Area	Јули RA (%)	Август – Area	Август RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Летна сезона Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	135831	1,82	964327	10,19	239344	3,66	**5,22**
	Метилциклогексан	76953	1,03	94685	1,00	103521	1,58	**1,21**
	2,3,4-Триметилпентан	105123	1,41	203622	2,15	139518	2,14	**1,90**
	n-Октан	43748	0,58	nd	nd	70417	1,07	**0,55**
	n-Декан	118630	1,59	750821	7,93	240355	3,68	**4,40**
	n-Ундекан	48025	0,64	nd	nd	nd	nd	**0,21**
	n-Додекан	163392	2,19	101557	1,08	190421	2,91	**2,06**
	n-Тридекан	76226	1,02	100953	1,06	164710	2,52	**1,53**
	n-Тетрадекан	176567	2,37	193316	2,05	108742	1,66	**2,03**
	4-Метилтетрадекан	nd	nd	58679	0,62	nd	nd	**0,21**
	n-Хексадекан	nd	nd	nd	nd	101729	1,56	**0,52**
	3-Метилгексадекан	57787	0,77	nd	nd	nd	nd	**0,25**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	1252209	16,77	1312257	13,86	530506	8,11	**12,92**
	Толуен	1644300	22,02	1901453	20,09	729089	11,14	**17,75**
	Етилбензен	423422	5,67	343358	3,63	594689	9,10	**6,13**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	1336625	17,89	1223111	12,93	1119043	17,11	**15,98**
	n-Пропилбензен	142948	1,92	170906	1,80	122975	1,88	**1,86**
	1-Етил-3-метилбензен	160834	2,15	336290	3,55	194254	2,97	**2,89**
	1,2,4-Триметилбензен	286833	3,84	346342	3,66	542235	8,29	**5,27**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	59853	0,80	87725	0,93	nd	nd	**0,57**
Терпени	*α*-Пинен	213740	2,87	360477	3,81	447722	6,84	**4,51**
	Лимонен	139728	1,87	242583	2,56	348531	5,33	**3,25**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	69155	0,92	nd	nd	nd	nd	**0,31**
	Декаметилциклопентасилоксан	186640	2,50	nd	nd	nd	nd	**0,83**
Алкохоли и етери	2,2,4,4-Тетраметилтетрагидрофуран	34291	0,46	121830	1,29	nd	nd	**0,59**
Алдехиди и кетони	6-Метил-5-гептен-2-он	77850	1,04	363709	3,84	nd	nd	**1,62**
Естери	Бутил ацетат	70619	0,95	nd	nd	103582	1,59	**0,85**
	Бензил ацетат	278114	3,72	151473	1,60	448811	6,86	**4,06**
Халогенирани соединенија	Трихлоретен	nd	nd	34621	0,37	nd	nd	**0,12**
	1,4-Дихлорбензен	88524	1,19	nd	nd	nd	nd	**0,40**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А1 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Есенски сезон Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	107125	1,94	164963	3,20	232544	4,69	**3,28**
	Метилциклогексан	62644	1,14	106263	2,06	127153	2,56	**1,92**
	2,3,4-Триметилпентан	75517	1,36	nd	nd	27566	0,56	**0,64**
	n-Октан	159734	2,90	84398	1,64	114082	2,29	**2,27**
	n-Декан	37358	0,67	46104	0,89	18653	0,38	**0,65**
	Хептилциклогексан	42897	0,78	nd	nd	nd	nd	**0,26**
	n-Ундекан	63851	1,16	36228	0,70	nd	nd	**0,62**
	n-Додекан	44262	0,80	27968	0,55	77497	1,56	**0,97**
	n-Тетрадекан	45307	0,82	76703	1,48	10528	0,21	**0,84**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	844073	15,29	608376	11,80	715683	14,43	**13,84**
	Толуен	1246548	22,58	1580443	30,65	1659640	33,45	**28,89**
	Етилбензен	381801	6,92	144961	2,82	201044	4,05	**4,60**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	744597	13,49	512645	9,94	723202	14,58	**12,67**
	n-Пропилбензен	37537	0,68	105490	2,04	137758	2,77	**1,83**
	1-Етил-3-метилбензен	148996	2,70	113544	2,21	291579	5,88	**3,59**
	1-Метил-4-пропилбензен	146784	2,66	37577	0,73	18669	0,38	**1,26**
	1,2,4-Триметилбензен	119528	2,16	122193	2,37	115052	2,32	**2,28**
Терпени	*α*-Пинен	261744	4,74	125256	2,42	97533	1,97	**3,05**
	Лимонен	47257	0,86	87660	1,70	69464	1,39	**1,31**
	1,8-Цинеол	79385	1,44	42361	0,83	nd	nd	**0,76**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	38933	0,70	196264	3,80	nd	nd	**1,50**
	Декаметилциклопентасилоксан	257474	4,67	489345	9,49	201973	4,07	**6,08**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	340797	6,17	240817	4,67	nd	nd	**3,61**
Естери	Бутил ацетат	185991	3,37	166393	3,23	nd	nd	**2,20**
	Диетилфталат	nd	nd	nd	nd	121882	2,46	**0,82**
Халогенирани соединенија	Тетрахлоретен	nd	nd	40167	0,78	nd	nd	**0,26**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Пролетна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од април, мај и јуни.
Летна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од јули, август и септември.
Есенски сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од октомври, ноември и декември.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела А2. VOCs детектирани во надворешниот воздух во Скопје, Северна Македонија, врз основа на примероци собрани со пасивни примероци Radiello® во периодот од април до декември 2022 година. За секое соединение се прикажани површината на пикот од GC–MS анализата и релативната застапеност (%), врз основа на полуколичествена анализа. Сезонските просечни вредности (пролет, лето, есен) се исто така прикажани за секое соединение.

VOC Група	Соединение	Април – Area*	Април RA (%) *	Maj – Area	Мај RA (%)	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Пролет Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	*n*-Хептан	187602	1,17	326188	2,84	244136	3,03	**2,35**
	Метилциклогексан	105966	0,66	305053	2,65	367537	4,56	**2,62**
	2,3,4-Триметилпентан	91281	0,58	69306	0,60	32244	0,40	**0,53**
	n-Октан	72102	0,45	nd	nd	31659	0,39	**0,28**
	n-Декан	295296	1,85	237690	2,07	103006	1,28	**1,73**
	Хептилциклогексан	95675	0,60	nd	nd	nd	nd	**0,20**
	n-Ундекан	104253	0,65	139686	1,22	47118	0,58	**0,82**
	4-Етилундекан	435550	2,73	nd	nd	165952	2,06	**1,60**
	5-Метилундекан	82677	0,52	nd	nd	74921	0,93	**0,48**
	2,3-Диметилундекан	68915	0,43	nd	nd	nd	nd	**0,14**
	n-Додекан	1712586	10,72	891241	7,76	568284	7,05	**8,51**
	2,5-Диметилдодекан	100463	0,63	nd	nd	nd	nd	**0,21**
	2,6-Диметилундекан	774332	4,85	nd	nd	nd	nd	**1,62**
	Хексилциклогексан	407573	2,55	nd	nd	nd	nd	**0,85**
	Циклотетрадекан	510659	3,20	85200	0,74	nd	nd	**1,31**
	n-Тридекан	260317	1,63	98916	0,86	nd	nd	**0,83**
	7-Метилтридекан	244376	1,53	nd	nd	nd	nd	**0,51**
	10-Метилнонадецан	90505	0,57	70318	0,61	nd	nd	**0,39**
	Бициклогексил	136491	0,85	nd	nd	nd	nd	**0,28**
	n-Тетрадекан	1194652	7,48	1284625	11,18	959445	11,90	**10,19**
	4-Метилтетрадекан	82384	0,52	nd	nd	54587	0,67	**0,40**
	n-Гексадекан	404644	2,53	388134	3,38	39254	0,49	**2,13**
	3-Метилгексадекан	188199	1,18	89818	0,79	232079	2,88	**1,62**
	2-Метилдекахидронафталин	710995	4,45	nd	nd	37923	0,46	**1,64**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	582704	3,65	996060	8,67	601192	7,46	**6,59**
	Толуен	859841	5,38	1310596	11,40	828764	10,28	**9,02**
	Етилбензен	384796	2,41	407435	3,55	276530	3,43	**3,13**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	1156673	7,24	1226701	10,67	592828	7,35	**8,42**
	n-Пропилбензен	246041	1,54	393284	3,42	62196	0,77	**1,91**
	1-Етил-3-метилбензен	740641	4,64	606841	5,28	233343	2,89	**4,27**
	1-Метил-4-пропилбензен	184395	1,15	110473	0,96	428986	5,32	**2,48**
	1,2,4-Триметилбензен	935968	5,86	518049	4,51	470998	5,84	**5,40**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	640204	4,01	160633	1,41	119159	1,48	**2,30**
	Индан	72964	0,46	nd	nd	56743	0,70	**0,39**
Терпени	*α*-Пинен	293534	1,84	404724	3,52	235524	2,92	**2,76**
	Лимонен	244318	1,53	354516	3,08	247743	3,07	**2,56**
	1,8-Цинеол	83953	0,52	68547	0,60	87839	1,09	**0,74**
Органосилоксани	Декаметилциклопентасилоксан	111908	0,70	69277	0,60	57572	0,72	**0,67**
Алкохоли и етери	2-Бутоксиетанол	nd*	nd	67283	0,59	66832	0,83	**0,47**
Естери	Бутил ацетат	235816	1,48	nd	nd	163960	2,03	**1,17**
	Бензил ацетат	841088	5,26	103628	0,90	164264	2,04	**2,73**
	Диетилфталат	nd	nd	nd	nd	64965	0,81	**0,27**
Халогенирани соединенија	Трихлоретен	0	0,00	391245	3,41	0	0,00	**1,14**
	Тетрахлоретен	0	0,00	314752	2,73	346336	4,29	**2,34**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А2 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Јули – Area	Јули RA (%)	Август – Area	Август RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Летна сезона Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	*n*-Хептан	372259	4,37	468912	6,09	295892	5,82	**5,43**
	Метилциклогексан	65001	0,76	384361	4,99	33010	0,65	**2,13**
	2,3,4-Триметилпентан	991986	11,64	551341	7,16	nd	nd	**6,27**
	n-Октан	34147	0,41	118743	1,54	15671	0,31	**0,75**
	n-Декан	123281	1,45	107240	1,39	25246	0,49	**1,11**
	Хептилциклогексан	32546	0,38	81607	1,06	nd	nd	**0,48**
	n-Ундекан	53032	0,62	nd	nd	16960	0,34	**0,32**
	4-Етилундекан	63976	0,75	nd	nd	nd	nd	**0,25**
	n-Додекан	290190	3,41	383317	4,98	594114	11,68	**6,69**
	n-Тридекан	nd	nd	241531	3,13	nd	nd	**1,04**
	7-Метилтридекан	83895	0,99	nd	nd	nd	nd	**0,33**
	10-Метилнонадецан	43206	0,50	nd	nd	nd	nd	**0,17**
	n-Тетрадекан	103208	1,22	134567	1,75	103976	2,04	**1,67**
	4-Метилтетрадекан	32376	0,38	nd	nd	nd	nd	**0,13**
	n-Хексадекан	628031	7,37	nd	nd	nd	nd	**2,46**
	3-Метилхексадекан	64935	0,76	nd	nd	nd	nd	**0,25**
	2-Метилдекахидронафталин	55857	0,66	nd	nd	nd	nd	**0,22**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	847009	9,94	740567	9,61	790941	15,55	**11,70**
	Толуен	1114733	13,09	1078475	14,00	1030014	20,25	**15,78**
	Етилбензен	226859	2,66	207628	2,69	190798	3,75	**3,03**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	598204	7,02	781907	10,15	452896	8,90	**8,69**
	n-Пропилбензен	479328	5,63	340712	4,42	218369	4,29	**4,78**
	1-Етил-3-метилбензен	156820	1,84	338601	4,40	92688	1,82	**2,69**
	1-Метил-4-пропилбензен	113689	1,33	591134	7,67	320829	6,31	**5,10**
	1,2,4-Триметилбензен	201632	2,37	nd	nd	17287	0,34	**0,90**
	Индан	nd	nd	nd	nd	15968	0,31	**0,11**
Терпени	*α*-Пинен	214442	2,52	470504	6,11	210974	4,15	**4,26**
	Лимонен	53659	0,63	107384	1,39	17585	0,35	**0,79**
	1,8-Цинеол	53250	0,62	85733	1,11	65536	1,28	**1,00**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	225001	2,64	nd	nd	102421	2,02	**1,56**
	Декаметилциклопентасилоксан	544065	6,39	189377	2,46	nd	nd	**2,95**
Алкохоли и етери	1-Метокси-2-пропанол	213958	2,51	nd	nd	nd	nd	**0,83**
	2-Бутанол	nd	nd	271890	3,53	44047	0,86	**1,46**
	2-Бутоксиетанол	37184	0,44	nd	nd	nd	nd	**0,15**
Естери	Бутил ацетат	245881	2,88	28549	0,37	76528	1,50	**1,58**
	Бензил ацетат	36297	0,43	nd	nd	4832	0,10	**0,18**
Халогенирани соединенија	4-Метилпентил 2,2-дихлороацетат	36253	0,43	nd	nd	nd	nd	**0,14**
	Трихлоретен	nd	nd	nd	nd	106350	2,09	**0,70**
	Тетрахлоретен	82538	0,96	nd	nd	244259	4,80	**1,92**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А2 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Есенски сезон Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	*n*-Хептан	199994	2,99	209051	2,50	105463	1,21	**2,23**
	Метилциклогексан	52983	0,79	429309	5,13	101117	1,16	**2,36**
	2,3,4-Триметилпентан	426485	6,37	512990	6,13	192289	2,19	**4,90**
	n-Октан	116594	1,74	166981	2,00	59364	0,68	**1,47**
	n-Декан	55507	0,83	88370	1,05	66627	0,76	**0,88**
	n-Ундекан	nd	nd	nd	nd	94094	1,08	**0,36**
	n-Додекан	53006	0,79	64804	0,78	480648	5,49	**2,35**
	2,6-Диметилундекан	nd	nd	nd	nd	112132	1,29	**0,43**
	n-Тетрадекан	32224	0,49	197044	2,35	nd	nd	**0,95**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	503272	7,52	640138	7,65	1032810	11,81	**9,00**
	Толуен	1455937	21,75	1579981	18,88	1670319	19,10	**19,91**
	Етилбензен	190729	2,85	631599	7,54	579745	6,63	**5,67**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	1063889	15,89	1491982	17,83	1020932	11,67	**15,12**
	n-Пропилбензен	561109	8,38	349425	4,17	560774	6,41	**6,32**
	1-Етил-3-метилбензен	357333	5,34	304526	3,64	388448	4,44	**4,48**
	1-Метил-4-пропилбензен	251946	3,76	nd	nd	354437	4,05	**2,60**
	1,2,4-Триметилбензен	295617	4,42	301579	3,60	412706	4,71	**4,24**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	144697	2,16	218745	2,62	365115	4,17	**2,99**
	Индан	nd	nd	nd	nd	70229	0,81	**0,27**
Терпени	α-Пинен	324096	4,84	244890	2,92	98044	1,12	**2,96**
	Лимонен	199642	2,98	170123	2,03	76443	0,87	**1,96**
	1,8-Цинеол	234651	3,51	110983	1,33	103828	1,19	**2,01**
Органосилоксани	Декаметилциклопентасилоксан	47930	0,72	67302	0,80	76430	0,87	**0,80**
Алкохоли и етери	1-Метокси-2-пропанол	nd	nd	nd	nd	57841	0,66	**0,22**
	2-Бутанол	40681	0,61	64145	0,77	nd	nd	**0,46**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	nd	nd	nd	nd	128160	1,47	**0,49**
	6-Метил-5-гептен-2-он	38482	0,57	358791	4,29	236494	2,70	**2,52**
Естери	Бутил ацетат	47082	0,70	166939	1,99	244069	2,79	**1,83**
	Бензил ацетат	nd	nd	nd	nd	58591	0,67	**0,22**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Пролетна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од април, мај и јуни.
Летна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од јули, август и септември.
Есенска сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од октомври, ноември и декември.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела А3. VOCs детектирани во надворешниот воздух во Елез Хан, Косово, врз основа на примероци собрани со пасивни примероци Radiello® во периодот од април до декември 2022 година. За секое соединение се прикажани површината на пикот од GC–MS анализата и релативната застапеност (%), врз основа на полуколичествена анализа. Сезонските просечни вредности (пролет, лето, есен) се исто така прикажани за секое соединение.

VOC Група	Соединение	Април – Area*	Април RA (%) *	Maj – Area	Maj RA (%)	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Пролет Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	*n*-Хептан	807828	1,15	43166	0,40	208271	0,98	**0,84**
	n-Октан	346150	0,49	43089	0,39	54387	0,25	**0,38**
	1-Октен	444332	0,63	nd	nd	142027	0,67	**0,43**
	n-Декан	397466	0,57	105039	0,96	50523	0,24	**0,59**
	4-Етилундекан	981716	1,40	78226	0,72	251811	1,18	**1,10**
	5-Метилундекан	1301260	1,85	nd	nd	401144	1,88	**1,24**
	2,3-Диметилундекан	551681	0,78	56296	0,52	101714	0,48	**0,59**
	n-Додекан	1164232	1,66	189872	1,74	293403	1,37	**1,59**
	2,5-Диметилдодекан	596812	0,85	nd	nd	247275	1,16	**0,67**
	2,2,6-Триметилоктан	593985	0,84	55989	0,51	nd	nd	**0,45**
	Хексилциклогексан	612188	0,87	nd	nd	nd	nd	**0,29**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	1935293	2,75	nd	nd	nd	nd	**0,92**
	n-Тридекан	485695	0,69	61725	0,57	779021	3,65	**1,64**
	7-Метилтридекан	1454237	2,07	227200	2,08	173965	0,82	**1,66**
	10-Метилнонадецан	2363596	3,36	nd	nd	738391	3,46	**2,27**
	Бициклогексил	732416	1,04	nd	nd	262955	1,23	**0,76**
	n-Тетрадекан	1687113	2,40	423870	3,88	88506	0,41	**2,23**
	4-Метилтетрадекан	1076691	1,53	577353	5,29	nd	0,00	**2,27**
	n-Гексадекан	1326458	1,89	181087	1,66	533957	2,50	**2,02**
	3-Метилгексадекан	622177	0,88	nd	nd	nd	nd	**0,29**
	2-Метилдекахидронафталин	380957	0,54	nd	nd	nd	nd	**0,18**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	7691682	10,94	583795	5,35	2211386	10,36	**8,88**
	Толуен	10384308	14,77	402083	3,68	3046802	14,28	**10,91**
	Етилбензен	1173600	1,67	296582	2,72	215020	1,01	**1,80**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	2945484	4,19	605400	5,55	709995	3,33	**4,36**
	n-Пропилбензен	2725552	3,88	48298	0,44	843965	3,95	**2,76**
	1-Етил-3-метилбензен	479429	0,68	45662	0,42	128561	0,60	**0,57**
	1-Метил-4-пропилбензен	826302	1,17	80541	0,74	210456	0,99	**0,97**
	1,2,4-Триметилбензен	nd*	nd	47658	0,44	nd	nd	**0,15**
Терпени	*α*-Пинен	1123239	1,60	87184	0,80	347063	1,63	**1,34**
	Лимонен	4841869	6,89	51858	0,48	1479930	6,93	**4,77**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	1065069	1,51	nd	nd	298988	1,40	**0,97**
	Декаметилциклопентасилоксан	nd	nd	62993	0,58	nd	nd	**0,19**
Алкохоли и етери	1-Бутанол	nd	nd	1411764	12,93	nd	nd	**4,31**
	1-Метокси-2-пропанол	nd	nd	nd	nd	2793067	13,09	**4,36**
	1,2-Пропандиол	2121207	3,02	611513	5,60	nd	nd	**2,87**
	1-Етокси-2-пропанол	775243	1,10	nd	nd	nd	nd	**0,37**
	2,6-Диметил-7-октен-2-ол	nd	nd	1669399	15,30	nd	nd	**5,10**
	1-Пентанол	nd	nd	nd	nd	608678	2,85	**0,95**
	2,2'-Оксидиетанол	558552	0,79	nd	nd	176498	0,83	**0,54**
	1-Бутокси-2-пропанол	2307864	3,28	nd	nd	724542	3,39	**2,22**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	1400378	1,99	nd	nd	513274	2,40	**1,46**
	Хептанал	nd	nd	nd	nd	710530	3,33	**1,11**
	6-Метил-5-гептен-2-он	1554597	2,21	61810	0,57	406482	1,90	**1,56**
	Октанал	nd	nd	nd	nd	531198	2,49	**0,83**
	Нонанал	925829	1,32	nd	nd	288896	1,35	**0,89**
Естери	Винил ацетат	1187119	1,69	nd	nd	80338	0,38	**0,70**
	Етил бутаноат	875365	1,24	nd	nd	nd	nd	**0,41**
	Бутил ацетат	613986	0,87	1174638	10,75	689689	3,23	**4,95**
	Бензил ацетат	1410365	2,01	42373	0,39	nd	nd	**0,80**
	Диетилфталат	1744808	2,48	405010	3,71	nd	nd	**2,06**
Халогенирани соединенија	4-Метилпентил 2,2-дихлороацетат	519278	0,74	161192	1,48	nd	nd	**0,74**
	Трихлоретен	nd	nd	211038	1,93	nd	nd	**0,64**
	Тетрахлоретен	1210899	1,72	810001	7,42	nd	nd	**3,05**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А3 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Јули – Area	Јули RA (%)	Август – Area	Август RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Летна сезона Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	nd	nd	12246	0,30	47736	2,61	**0,97**
	Метилциклогексан	166355	4,42	23907	0,58	22354	1,22	**2,07**
	n-Хептан	134277	3,57	nd	nd	10287	0,56	**1,38**
	n-Октан	33521	0,89	67324	1,63	18825	1,03	**1,18**
	1-Октен	nd	nd	15614	0,38	nd	nd	**0,13**
	n-Декан	112788	3,00	nd	nd	14908	0,82	**1,27**
	4-Етилундекан	93169	2,48	650826	15,76	86745	4,75	**7,66**
	n-Додекан	nd	nd	nd	nd	14324	0,78	**0,26**
	n-Тетрадекан	114577	3,05	nd	nd	nd	nd	**1,02**
	4-Метилтетрадекан	nd	nd	nd	nd	41531	2,27	**0,76**
	n-Гексадекан	49621	1,32	nd	nd	nd	nd	**0,44**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	301620	8,02	486281	11,78	142018	7,78	**9,19**
	Толуен	299130	7,95	604942	14,65	167732	9,19	**10,60**
	Етилбензен	228764	6,08	289743	7,02	84643	4,64	**5,91**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	444941	11,83	703128	17,03	196594	10,77	**13,21**
	n-Пропилбензен	285209	7,58	344308	8,34	133433	7,31	**7,74**
	1-Етил-3-метилбензен	56252	1,50	nd	nd	21019	1,15	**0,88**
	1-Метил-4-пропилбензен	60078	1,60	23454	0,57	13556	0,74	**0,97**
	1,2,4-Триметилбензен	43606	1,16	nd	nd	nd	nd	**0,39**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	17355	0,42	nd	nd	**0,14**
Терпени	*α*-Пинен	67708	1,80	174953	4,24	74657	4,09	**3,38**
	Лимонен	33866	0,90	102655	2,49	34294	1,88	**1,76**
	1,8-Цинеол	nd	nd	21096	0,50	nd	nd	**0,17**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	nd	nd	nd	nd	18625	1,02	**0,34**
	Декаметилциклопентасилоксан	47255	1,26	nd	nd	39693	2,17	**1,14**
Алкохоли и етери	1-Бутанол	nd	0,00	261473	6,33	31862	1,74	**2,69**
	1-Метокси-2-пропанол	566309	15,06	94000	2,28	217974	11,94	**9,76**
	1,2-Пропандиол	nd	nd	nd	nd	39220	2,15	**0,72**
	1-Етокси-2-пропанол	nd	nd	138291	3,35	16471	0,90	**1,42**
	2,6-Диметил-7-октен-2-ол	205468	5,46	nd	nd	201070	11,01	**5,49**
	1-Бутокси-2-пропанол	94650	2,52	97653	2,35	19278	1,06	**1,97**
Естери	Бутил ацетат	nd	nd	nd	nd	91912	5,03	**1,68**
Халогенирани соединенија	Тетрахлоретен	321427	8,55	nd	nd	25300	1,39	**3,31**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А3 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Есенски сезон Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	nd	nd	66818	2,62	362471	7,20	**3,27**
	Метилциклогексан	17051	0,52	22346	0,88	484241	9,62	**3,67**
	n-Хептан	nd	nd	84557	3,32	nd	nd	**1,11**
	n-Октан	17733	0,55	nd	nd	62054	1,23	**0,59**
	1-Октен	nd	nd	nd	nd	10703	0,21	**0,07**
	n-Декан	18052	0,56	33448	1,31	70427	1,40	**1,09**
	4-Етилундекан	17815	0,55	nd	nd	nd	nd	**0,18**
	n-Додекан	30280	0,93	59498	2,34	69019	1,37	**1,55**
	n-Тридекан	nd	nd	25200	0,99	244834	4,86	**1,95**
	Бициклогексил	20173	0,62	nd	nd	nd	nd	**0,21**
	n-Тетрадекан	nd	nd	61945	2,43	87091	1,73	**1,39**
	n-Хексадекан	24960	0,77	24191	0,95	44802	0,89	**0,87**
	3-Метилгексадекан	22873	0,70	nd	nd	504138	10,01	**3,57**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	472646	14,54	588935	23,12	468472	9,30	**15,65**
	Толуен	367026	11,29	453498	17,80	795069	15,79	**14,96**
	Етилбензен	87602	2,69	110012	4,32	373804	7,42	**4,81**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	212591	6,54	316077	12,41	656115	13,03	**10,66**
	n-Пропилбензен	47871	1,47	46543	1,83	61257	1,22	**1,51**
	1-Етил-3-метилбензен	17779	0,55	24238	0,95	11394	0,23	**0,58**
	1-Метил-4-пропилбензен	nd	nd	nd	nd	123723	2,46	**0,82**
	1,2,4-Триметилбензен	41812	1,29	nd	nd	565726	11,23	**4,17**
	Индан	40642	1,25	nd	nd	40274	0,80	**0,68**
Терпени	*α*-Пинен	25608	0,79	108651	4,27	nd	nd	**1,69**
	Лимонен	345274	10,62	37551	1,47	nd	nd	**4,03**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	89949	2,77	10057	0,39	nd	nd	**1,05**
	Декаметилциклопентасилоксан	195816	6,02	36325	1,43	nd	nd	**2,48**
Алкохоли и етери	1-Метокси-2-пропанол	423762	13,04	nd	nd	nd	nd	**4,35**
	1,2-Пропандиол	358245	11,01	nd	nd	nd	nd	**3,67**
	1-Хептанол	nd	nd	63807	2,50	nd	nd	**0,83**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	nd	nd	76896	3,02	nd	nd	**1,01**
	6-Метил-5-гептен-2-он	nd	nd	217869	8,55	nd	nd	**2,85**
Естери	Бутил ацетат	70832	2,18	68651	2,70	nd	nd	**1,63**
Халогенирани соединенија	Трихлоретен	nd	nd	10079	0,40	nd	nd	**0,13**
	Тетрахлоретен	284512	8,75	nd	nd	nd	nd	**2,92**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Пролетна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од април, мај и јуни.
Летна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од јули, август и септември.
Есенска сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од октомври, ноември и декември.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела А4. VOCs детектирани во надворешниот воздух во Приштина, Косово, врз основа на примероци собрани со пасивни примероци Radiello® од април до декември 2022 година. За секое соединение се прикажани површината на пикот од GC–MS анализата и релативната застапеност (%), врз основа на полуколичествена анализа. Сезонските просечни вредности (пролет, лето, есен) се исто така прикажани за секое соединение.

VOC Група	Соединение	Април – Area*	Април RA (%) *	Maj – Area	Мај RA (%)	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Пролет Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	Метилциклогексан	135955	1,28	164178	2,13	272853	5,48	**2,96**
	2,3,4-Триметилпентан	nd*	nd	55210	0,72	35607	0,71	**0,48**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	nd	nd	nd	nd	37137	0,75	**0,25**
	n-Декан	174091	1,63	75765	0,98	114248	2,29	**1,63**
	n-Ундекан	346009	3,24	190158	2,47	50102	1,00	**2,24**
	4-Етилундекан	nd	nd	114313	1,48	nd	nd	**0,49**
	2,3-Диметилундекан	179878	1,68	nd	nd	nd	nd	**0,56**
	n-Додекан	1327055	12,43	331258	4,30	161797	3,24	**6,66**
	2,5-Диметилдодекан	100109	0,94	79976	1,04	nd	nd	**0,66**
	2,6-Диметилундекан	144576	1,35	nd	nd	nd	nd	**0,45**
	Хексилциклогексан	nd	nd	55741	0,72	nd	nd	**0,24**
	n-Тридекан	346294	3,24	82541	1,07	nd	nd	**1,44**
	7-Метилтридекан	218632	2,05	nd	nd	172013	3,45	**1,83**
	10-Метилнонадецан	nd	nd	nd	nd	39572	0,80	**0,27**
	n-Тетрадекан	512464	4,80	581770	7,54	322781	6,47	**6,27**
	4-Метилтетрадекан	93831	0,88	80715	1,05	nd	nd	**0,64**
	n-Хексадекан	135876	1,27	378673	4,91	88934	1,78	**2,66**
	3-Метилгексадекан	111646	1,05	172731	2,24	273884	5,50	**2,93**
	2-Метилдекахидронафталин	364225	3,41	nd	nd	nd	nd	**1,13**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	1083929	10,15	819202	10,62	641067	12,86	**11,21**
	Толуен	1516071	14,20	721710	9,36	612525	12,28	**11,95**
	Етилбензен	226942	2,13	368918	4,78	134110	2,69	**3,20**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	595053	5,57	566821	7,35	379775	7,62	**6,85**
	n-Пропилбензен	522444	4,89	358273	4,65	234120	4,68	**4,74**
	1-Етил-3-метилбензен	462139	4,33	256070	3,32	114645	2,30	**3,31**
	1-Метил-4-пропилбензен	115145	1,08	166877	2,17	114558	2,30	**1,85**
	1,2,4-Триметилбензен	365075	3,42	75597	0,98	83961	1,68	**2,03**
Терпени	*α*-Пинен	450981	4,22	84104	1,09	124577	2,50	**2,60**
	Лимонен	119939	1,12	54085	0,70	31126	0,62	**0,81**
	1,8-Цинеол	nd	nd	nd	nd	40279	0,81	**0,27**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	220042	2,07	58634	0,76	68051	1,36	**1,40**
	Декаметилциклопентасилоксан	270408	2,53	140108	1,82	101215	2,03	**2,13**
Алкохоли и етери	1-Гексадеканол	nd	nd	312527	4,05	nd	nd	**1,35**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	107076	1,00	203170	2,64	123000	2,47	**2,04**
	6-Метил-5-гептен-2-он	178179	1,67	nd	nd	nd	nd	**0,55**
Естери	Бутил ацетат	90303	0,85	105793	1,37	55816	1,12	**1,11**
Халогенирани соединенија	Тетрахлоретен	163192	1,52	nd	nd	559017	11,21	**4,24**
	1,4-Дихлорбензен	nd	nd	1056148	13,69	nd	nd	**4,57**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А4 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Јули – Area	Јули RA (%)	Август – Area	Август RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Летна сезона Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	60472	2,31	48358	1,95	71334	3,56	**2,61**
	Метилциклогексан	52552	2,00	72507	2,92	47195	2,36	**2,43**
	2,3,4-Триметилпентан	88539	3,38	20410	0,82	57618	2,88	**2,36**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	nd*	nd	23288	0,94	nd	nd	**0,31**
	n-Декан	54618	2,08	55842	2,25	17828	0,89	**1,74**
	n-Додекан	285288	10,87	183234	7,37	209176	10,45	**9,56**
	2,5-Диметилдодекан	nd	nd	55318	2,23	49184	2,46	**1,56**
	Бициклогексил	nd	nd	31602	1,26	nd	nd	**0,42**
	n-Тетрадекан	15607	0,60	nd	nd	nd	nd	**0,20**
	n-Гексадекан	53023	2,02	35324	1,42	nd	nd	**1,15**
	3-Метилгексадекан	32614	1,24	34611	1,39	nd	nd	**0,88**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	415684	15,84	437034	17,58	400672	20,02	**17,81**
	Толуен	455115	17,35	363556	14,62	496135	24,78	**18,92**
	Етилбензен	129911	4,95	104824	4,22	128006	6,39	**5,19**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	193566	7,38	406486	16,35	194538	9,72	**11,15**
	n-Пропилбензен	177423	6,76	94752	3,82	nd	nd	**3,52**
	1-Етил-3-метилбензен	154609	5,89	64734	2,60	82455	4,12	**4,20**
	1-Метил-4-пропилбензен	36538	1,40	38851	1,56	nd	nd	**0,99**
	1,2,4-Триметилбензен	nd	nd	89518	3,60	31655	1,58	**1,73**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	51810	2,08	nd	nd	**0,69**
Терпени	*α*-Пинен	134504	5,13	106127	4,28	111398	5,56	**4,99**
Органосилоксани	Декаметилциклопентасилоксан	0	0,00	23885	0,96	18827	0,94	**0,63**
Алкохоли и етери	1-Гексадеканол	142585	5,43	54266	2,18	13714	0,69	**2,77**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	18544	0,71	nd	nd	28746	1,44	**0,72**
	6-Метил-5-гептен-2-он	nd	nd	29608	1,19	nd	nd	**0,40**
Естери	Бутил ацетат	34165	1,30	42792	1,72	43319	2,16	**1,72**
	Диетилфталат	49127	1,87	nd	nd	nd	nd	**0,62**
Халогенирани соединенија	Тетрахлоретен	39053	1,49	17140	0,69	nd	nd	**0,73**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А4 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Есенски сезон Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	107108	2,58	113828	1,41	119415	3,28	**2,42**
	Метилциклогексан	154768	3,72	143686	1,78	18484	0,51	**2,00**
	2,3,4-Триметилпентан	130537	3,14	161778	2,01	54633	1,50	**2,22**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	nd*	nd	84144	1,04	nd	nd	**0,35**
	n-Декан	nd	nd	221494	2,75	40542	1,11	**1,29**
	n-Додекан	274873	6,61	87553	1,09	60277	1,65	**3,12**
	n-Тетрадекан	19611	0,47	nd	nd	nd	nd	**0,15**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	917055	22,06	2051516	25,44	939434	25,78	**24,43**
	Толуен	921020	22,15	1921563	23,83	1032053	28,33	**24,77**
	Етилбензен	111197	2,67	242012	3,00	113950	3,13	**2,93**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	323179	7,77	626808	7,77	302732	8,31	**7,95**
	n-Пропилбензен	488703	11,75	nd	nd	57783	1,59	**4,45**
	1-Етил-3-метилбензен	45307	1,09	629680	7,81	48691	1,34	**3,41**
	1-Метил-4-пропилбензен	72870	1,76	122304	1,52	nd	nd	**1,09**
	1,2,4-Триметилбензен	nd	nd	nd	nd	42776	1,17	**0,39**
Терпени	*α*-Пинен	186471	4,48	129821	1,61	10804	0,30	**2,13**
	Лимонен	158366	3,81	154008	1,91	13866	0,38	**2,03**
Органосилоксани	Декаметилциклопентасилоксан	nd	nd	210348	2,61	210755	5,78	**2,80**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	nd	nd	91283	1,13	300091	8,23	**3,12**
	6-Метил-5-гептен-2-он	15467	0,37	nd	nd	31892	0,88	**0,42**
Естери	Бутил ацетат	104460	2,51	471282	5,84	69818	1,92	**3,42**
	Бензил ацетат	127310	3,06	599980	7,45	175479	4,81	**5,11**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Пролетна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од април, мај и јуни.
Летна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од јули, август и септември.
Есенска сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од октомври, ноември и декември.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела А5. VOCs детектирани во надворешниот воздух во Ново Приштина, Косово, врз основа на примероци собрани со пасивни примероци Radiello® од април до декември 2022 година. За секое соединение се прикажани површината на пикот од GC–MS анализата и релативната застапеност (%), врз основа на полуколичествена анализа. Сезонските просечни вредности (пролет, лето, есен) се исто така прикажани за секое соединение.

VOC Група	Соединение	Април – Area*	Април RA (%) *	Maj – Area	Мај RA (%)	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Пролет Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	Метилциклогексан	84670	0,85	nd	nd	nd	nd	**0,28**
	2,3,4-Триметилпентан	98435	0,99	nd	nd	54337	1,40	**0,80**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	152105	1,53	nd	nd	25904	0,67	**0,73**
	n-Декан	124602	1,25	133668	2,27	84271	2,17	**1,90**
	Хептилциклогексан	86738	0,88	nd	nd	nd	nd	**0,29**
	n-Ундекан	74755	0,76	112753	1,92	46859	1,21	**1,30**
	4-Етилундекан	50878	0,51	nd	nd	nd	nd	**0,17**
	n-Додекан	1401281	14,11	396611	6,74	478850	12,35	**11,07**
	2,5-Диметилдодекан	211362	2,13	29397	0,50	79797	2,06	**1,56**
	2,6-Диметилундекан	135253	1,36	nd	nd	nd	nd	**0,45**
	Хексилциклогексан	221045	2,23	nd	nd	nd	nd	**0,74**
	Циклотетрадекан	216641	2,18	nd	nd	nd	nd	**0,73**
	n-Тридекан	865312	8,71	98910	1,68	nd	nd	**3,46**
	7-Метилтридекан	183947	1,85	nd	nd	nd	nd	**0,62**
	10-Метилнонадецан	59752	0,60	nd	nd	nd	nd	**0,20**
	Бициклогексил	130707	1,32	nd	nd	32900	0,85	**0,72**
	n-Тетрадекан	560496	5,64	407168	6,91	447203	11,53	**8,03**
	4-Метилтетрадекан	89575	0,90	nd	nd	nd	nd	**0,30**
	n-Хексадекан	125788	1,27	153362	2,61	52897	1,37	**1,75**
	3-Метилхексадекан	228471	2,30	nd	nd	nd	nd	**0,77**
	2-Метилдекахидронафталин	328537	3,31	nd	nd	nd	nd	**1,10**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	621003	6,25	754603	12,82	478003	12,33	**10,47**
	Толуен	859569	8,65	820035	13,93	534520	13,78	**12,12**
	Етилбензен	205724	2,07	238715	4,06	98909	2,55	**2,89**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	473611	4,77	599266	10,18	230400	5,94	**6,96**
	n-Пропилбензен	391234	3,94	109898	1,86	46881	1,21	**2,34**
	1-Етил-3-метилбензен	294756	2,97	91663	1,56	103953	2,68	**2,40**
	1-Метил-4-пропилбензен	100473	1,01	317275	5,39	36575	0,94	**2,45**
	1,2,4-Триметилбензен	241397	2,43	10154	0,17	58234	1,50	**1,37**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	93761	0,94	60210	1,02	178170	4,60	**2,19**
	Индан	52457	0,53	nd	nd	nd	nd	**0,18**
Терпени	*α*-Пинен	404324	4,07	191599	3,26	144909	3,74	**3,69**
	Лимонен	222088	2,24	196045	3,33	165587	4,27	**3,28**
	1,8-Цинеол	43630	0,44	84846	1,44	40865	1,05	**0,97**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	nd*	nd	208225	3,54	nd	nd	**1,18**
	Декаметилциклопентасилоксан	92628	0,93	112417	1,91	80773	2,08	**1,64**
Алкохоли и етери	2,2,4,4-Тетраметилтетрагидрофуран	80934	0,81	nd	nd	nd	nd	**0,27**
	1-Хексадеканол	86297	0,87	199897	3,39	19587	0,51	**1,59**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	94643	0,96	nd	nd	29832	0,77	**0,58**
	6-Метил-5-гептен-2-он	72818	0,73	52900	0,90	nd	nd	**0,54**
Естери	Бутил ацетат	71003	0,71	80151	1,36	46357	1,20	**1,09**
Халогенирани соединенија	Тетрахлоретен	nd	nd	427037	7,25	281265	7,24	**4,83**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А5 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Јули – Area	Јули RA (%)	Август – Area	Август RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Летна сезона Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	31408	1,80	27139	1,47	39381	2,40	**1,89**
	Метилциклогексан	11604	0,66	14489	0,78	12421	0,76	**0,73**
	2,3,4-Триметилпентан	11183	0,64	15393	0,83	13562	0,83	**0,77**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	14329	0,82	nd	nd	nd	nd	**0,27**
	n-Декан	41755	2,39	41023	2,22	17111	1,04	**1,88**
	n-Ундекан	15929	0,91	17722	0,96	nd	nd	**0,62**
	n-Додекан	136216	7,79	92050	4,97	107568	6,55	**6,44**
	Циклотетрадекан	19118	1,09	nd	nd	nd	nd	**0,36**
	n-Тридекан	45308	2,59	nd	nd	nd	nd	**0,86**
	10-Метилнонадецан	10976	0,63	nd	nd	nd	nd	**0,21**
	n-Тетрадекан	112516	6,44	101704	5,49	109677	6,68	**6,20**
	4-Метилтетрадекан	nd	nd	25062	1,35	nd	nd	**0,45**
	n-Гексадекан	34132	1,95	41541	2,24	nd	nd	**1,40**
	3-Метилгексадекан	33647	1,92	24936	1,35	13320	0,80	**1,37**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	239245	13,69	328242	17,73	212160	12,92	**14,78**
	Толуен	251717	14,40	253607	13,70	404406	24,62	**17,57**
	Етилбензен	58651	3,35	64322	3,48	55490	3,38	**3,40**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	138959	7,95	149576	8,08	129360	7,88	**7,97**
	n-Пропилбензен	131356	7,51	13846	0,75	24251	1,47	**3,24**
	1-Етил-3-метилбензен	15850	0,91	109331	5,91	22925	1,40	**2,74**
	1,2,4-Триметилбензен	20517	1,17	95096	5,14	nd	nd	**2,11**
Терпени	*α*-Пинен	141123	8,08	154789	8,36	180184	10,97	**9,14**
	Лимонен	54581	3,12	18141	0,98	37809	2,30	**2,13**
	1,8-Цинеол	14634	0,84	12962	0,70	77384	4,71	**2,08**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	15928	0,91	nd	nd	nd	nd	**0,30**
	Декаметилциклопентасилоксан	20285	1,16	65031	3,51	35623	2,17	**2,28**
Алкохоли и етери	1-Гексадеканол	nd	nd	23621	1,28	nd	nd	**0,43**
Естери	Бутил ацетат	96243	5,51	125945	6,80	114152	6,95	**6,42**
Халогенирани соединенија	Трихлоретен	31012	1,77	35410	1,92	35730	2,17	**1,96**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А5 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Есенски сезон Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	132556	3,21	168628	2,99	103270	1,99	**2,73**
	Метилциклогексан	70917	1,72	49074	0,87	59254	1,14	**1,24**
	2,3,4-Триметилпентан	359508	8,71	309104	5,47	184781	3,56	**5,91**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	nd	nd	94355	1,67	93357	1,80	**1,16**
	n-Декан	33252	0,81	25987	0,46	106744	2,06	**1,11**
	Хептилциклогексан	nd	nd	41297	0,73	nd	nd	**0,24**
	n-Ундекан	nd	nd	52323	0,93	76437	1,47	**0,80**
	5-Метилундекан	nd	nd	nd	nd	92964	1,79	**0,60**
	n-Додекан	109195	2,65	22548	0,40	108832	2,10	**1,72**
	2,5-Диметилдодекан	nd	nd	nd	nd	14755	0,28	**0,09**
	Хексилциклогексан	48248	1,16	79543	1,41	13792	0,27	**0,95**
	7-Метилтридекан	nd	nd	81753	1,45	nd	nd	**0,48**
	n-Тетрадекан	46594	1,13	74384	1,32	98807	1,91	**1,45**
	4-Метилтетрадекан	nd	nd	37467	0,66	nd	nd	**0,22**
	n-Гексадекан	84731	2,05	37910	0,67	nd	nd	**0,91**
	3-Метилгексадекан	nd	nd	29463	0,52	23412	0,45	**0,32**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	509626	12,35	655794	11,61	974538	18,79	**14,25**
	Толуен	792997	19,21	995996	17,64	1032397	19,91	**18,92**
	Етилбензен	151882	3,68	263763	4,67	382271	7,37	**5,24**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	423218	10,25	670955	11,88	795422	15,34	**12,49**
	n-Пропилбензен	56325	1,37	110500	1,96	110635	2,13	**1,82**
	1-Етил-3-метилбензен	97596	2,37	108562	1,92	104773	2,02	**2,10**
	1-Метил-4-пропилбензен	nd	nd	36199	0,64	nd	nd	**0,22**
	1,2,4-Триметилбензен	47432	1,15	126536	2,25	168503	3,26	**2,22**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	40289	0,71	nd	nd	**0,24**
Терпени	*α*-Пинен	454681	11,01	370963	6,57	145461	2,80	**6,79**
	Лимонен	144340	3,50	206198	3,65	130175	2,51	**3,22**
Органосилоксани	Декаметилциклопентасилоксан	165201	4,00	92388	1,64	nd	nd	**1,88**
Алкохоли и етери	1-Хексадеканол	nd	nd	102734	1,82	71955	1,39	**1,07**
	1-Хептадеканол	nd	nd	108479	1,92	nd	nd	**0,64**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	115681	2,80	178194	3,15	nd	nd	**1,98**
	6-Метил-5-гептен-2-он	nd	nd	130474	2,31	nd	nd	**0,77**
Естери	Бутил ацетат	186595	4,52	169712	3,01	280810	5,41	**4,31**
	Бензил ацетат	nd	nd	133252	2,36	nd	nd	**0,79**
Халогенирани соединенија	Трихлоретен	97021	2,35	nd	nd	nd	nd	**0,78**
	Тетрахлоретен	nd	nd	42186	0,74	12437	0,25	**0,34**

Заелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Пролетна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од април, мај и јуни.
Летна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од јули, август и септември.
Есенска сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од октомври, ноември и декември.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела А6. VOCs детектирани во надворешниот воздух во Призрен, Косово, врз основа на примероци собрани со пасивни примероци Radiello® од април до декември 2022 година. За секое соединение се прикажани површината на пикот од GC–MS анализа и релативната застапеност (%), врз основа на полуколичествена анализа. Сезонските просечни вредности (пролет, лето, есен) исто така се прикажани за секое соединение.

VOC Група	Соединение	Април – Area*	Април RA (%) *	Maj – Area	Мај RA (%)	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Пролет Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	519372	4,60	376224	4,84	240116	5,01	**4,82**
	Метилциклогексан	130560	1,16	178648	2,30	44216	0,92	**1,46**
	2,3,4-Триметилпентан	215289	1,91	127320	1,64	120264	2,51	**2,02**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	70282	0,62	143431	1,84	31499	0,66	**1,04**
	n-Декан	131762	1,17	57386	0,74	52150	1,09	**1,00**
	Хептилциклогексан	56296	0,50	nd	nd	nd	nd	**0,17**
	n-Ундекан	317222	2,81	158964	2,04	96421	2,01	**2,29**
	4-Етилундекан	54129	0,48	nd	nd	32666	0,68	**0,39**
	5-Метилундекан	231356	2,05	nd	nd	55867	1,17	**1,07**
	2,3-Диметилундекан	82219	0,73	nd	nd	nd	nd	**0,24**
	n-Додекан	738548	6,54	443490	5,70	194968	4,07	**5,44**
	2,5-Диметилдодекан	113460	1,00	nd	nd	nd	nd	**0,33**
	2,6-Диметилундекан	173180	1,53	nd	nd	nd	nd	**0,51**
	Хексилциклогексан	168068	1,49	nd	nd	nd	nd	**0,50**
	Циклотетрадекан	205408	1,82	nd	nd	nd	nd	**0,61**
	n-Тридекан	613564	5,42	124474	1,60	nd	nd	**2,34**
	7-Метилтридекан	203258	1,80	nd	nd	nd	nd	**0,60**
	10-Метилнонадецан	79007	0,70	nd	nd	nd	nd	**0,23**
	Бициклогексил	68547	0,60	nd	nd	nd	nd	**0,20**
	n-Тетрадекан	475472	4,21	505464	6,50	458139	9,56	**6,76**
	4-Метилтетрадекан	169833	1,50	79576	1,02	43473	0,91	**1,14**
	n-Хексадекан	nd*	nd	172330	2,22	43161	0,90	**1,04**
	3-Метилхексадекан	135730	1,20	nd	nd	130570	2,72	**1,31**
	2-Метилдекахидронафталин	495297	4,39	nd	nd	nd	nd	**1,46**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	858143	7,60	654380	8,41	445941	9,30	**8,44**
	Толуен	1040401	9,21	993459	12,77	674521	14,07	**12,02**
	Етилбензен	273250	2,42	302593	3,89	153652	3,21	**3,17**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	609374	5,40	726690	9,34	422191	8,81	**7,85**
	n-Пропилбензен	87610	0,78	55905	0,72	39085	0,82	**0,77**
	1-Етил-3-метилбензен	556312	4,93	278401	3,58	229233	4,78	**4,43**
	1-Метил-4-пропилбензен	206105	1,83	174089	2,24	67081	1,40	**1,82**
	1,2,4-Триметилбензен	606154	5,37	207557	2,67	190371	3,97	**4,00**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	310787	2,75	nd	nd	70308	1,47	**1,41**
	Индан	55463	0,49	nd	nd	69834	1,46	**0,65**
Терпени	*α*-Пинен	123007	1,09	164857	2,12	170561	3,56	**2,26**
	Лимонен	153718	1,36	115011	1,48	102234	2,13	**1,66**
	1,8-Цинеол	97491	0,86	84095	1,08	55522	1,16	**1,03**
	α-Тујен	nd	nd	2793	0,04	nd	nd	**0,01**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	0	0,00	102088	1,31	43706	0,90	**0,74**
	Декаметилциклопентасилоксан	501202	4,44	289547	3,72	399651	8,34	**5,50**
Алкохоли и етери	2,2,4,4-Тетраметилтетрагидрофуран	nd	nd	44803	0,58	nd	nd	**0,19**
	1-Хексадеканол	79081	0,70	nd	nd	28034	0,58	**0,43**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	120760	1,07	nd	nd	22025	0,46	**0,51**
Халогенирани соединенија	4-Метилпентил 2,2-дихлороацетат	nd	nd	nd	nd	65452	1,37	**0,45**
	Трихлоретен	nd	nd	505079	6,49	nd	nd	**2,16**
	Тетрахлоретен	nd	nd	709433	9,12	nd	nd	**3,04**
	1,4-Дихлорбензен	166071	1,47	nd	0,00	nd	nd	**0,49**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А6 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Јули – Area	Јули RA (%)	Август – Area	Август RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Летна сезона Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	176106	10,37	145622	5,70	97389	5,46	**7,18**
	Метилциклогексан	13034	0,77	25594	1,00	15694	0,88	**0,88**
	2,3,4-Триметилпентан	39410	2,32	42927	1,68	11944	0,67	**1,56**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	23505	1,38	58603	2,30	16631	0,93	**1,54**
	n-Декан	30041	1,77	71726	2,81	18384	1,03	**1,87**
	Хептилциклогексан	12123	0,71	31298	1,23	nd	nd	**0,65**
	n-Ундекан	nd*	nd	19050	0,75	nd	nd	**0,25**
	2,3-Диметилундекан	9059	0,53	nd	nd	nd	nd	**0,18**
	n-Додекан	34406	2,03	68853	2,70	17229	0,97	**1,90**
	Циклотетрадекан	22244	1,31	nd	nd	257097	14,42	**5,24**
	n-Тридекан	45738	2,69	nd	nd	nd	nd	**0,90**
	7-Метилтридекан	15794	0,93	nd	nd	nd	nd	**0,31**
	n-Тетрадекан	59534	3,51	59333	2,32	nd	nd	**1,94**
	4-Метилтетрадекан	nd	nd	51328	2,01	nd	nd	**0,67**
	n-Хексадекан	37954	2,24	30769	1,21	nd	nd	**1,15**
	3-Метилгексадекан	35744	2,11	25196	0,99	nd	nd	**1,03**
	2-Метилдекахидронафталин	11226	0,66	nd	nd	nd	nd	**0,22**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	232847	13,71	378984	14,84	234562	13,16	**13,90**
	Толуен	462801	27,26	445759	17,46	333677	18,72	**21,15**
	Етилбензен	67355	3,97	93453	3,66	61994	3,48	**3,70**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	171321	10,09	219144	8,58	133541	7,49	**8,72**
	n-Пропилбензен	10443	0,62	15983	0,63	23619	1,32	**0,86**
	1-Етил-3-метилбензен	31659	1,85	82753	3,24	40992	2,30	**2,46**
	1-Метил-4-пропилбензен	nd	nd	122364	4,79	77346	4,34	**3,04**
	1,2,4-Триметилбензен	19721	1,16	173973	6,81	nd	nd	**2,66**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	65693	2,57	nd	nd	**0,85**
Терпени	*α*-Пинен	49543	2,92	108279	4,24	74076	4,15	**3,77**
	Лимонен	11321	0,67	15459	0,61	30419	1,71	**1,00**
	1,8-Цинеол	13421	0,79	14862	0,58	nd	nd	**0,45**
	α-Тујен	nd	nd	1168	0,05	nd	nd	**0,02**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	nd	nd	14781	0,58	nd	nd	**0,19**
	Декаметилциклопентасилоксан	18364	1,08	65539	2,57	246972	13,85	**5,83**
Алкохоли и етери	1-Хексадеканол	nd	nd	16873	0,66	3087	0,17	**0,28**
Халогенирани соединенија	4-Метилпентил 2,2-дихлороацетат	nd	nd	7390	0,29	nd	nd	**0,10**
	Трихлоретен	43283	2,55	nd	nd	nd	nd	**0,85**
	Тетрахлоретен	nd	nd	nd	nd	88213	4,95	**1,65**
	1,4-Дихлорбензен	nd	nd	80261	3,14	nd	nd	**1,05**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А6 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Есенски сезон Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	150653	5,94	173032	2,56	363897	5,62	**4,71**
	Метилциклогексан	336542	13,26	489257	7,24	nd	nd	**6,83**
	2,3,4-Триметилпентан	22318	0,88	54082	0,80	nd	nd	**0,56**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	nd*	nd	nd	nd	122778	1,90	**0,63**
	n-Декан	22863	0,90	128418	1,90	128898	1,99	**1,60**
	n-Додекан	nd	nd	64813	0,96	149596	2,31	**1,09**
	Бициклогексил	nd	nd	80947	1,20	nd	nd	**0,40**
	n-Тетрадекан	nd	nd	65150	0,96	87547	1,35	**0,77**
	n-Хексадекан	nd	nd	nd	nd	53178	0,82	**0,27**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	401544	15,82	1027242	15,19	1026458	15,85	**15,62**
	Толуен	846036	33,33	1628177	24,08	1013212	15,64	**24,35**
	Етилбензен	129027	5,08	250175	3,70	253637	3,92	**4,23**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	292403	11,52	542566	8,02	804630	12,42	**10,65**
	n-Пропилбензен	60306	2,38	129818	1,92	10143	0,16	**1,49**
	1-Етил-3-метилбензен	70871	2,79	143419	2,12	149792	2,31	**2,41**
	1-Метил-4-пропилбензен	nd	nd	36914	0,55	115658	1,79	**0,78**
	1,2,4-Триметилбензен	45401	1,79	107658	1,59	54667	0,84	**1,41**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	468270	6,93	334518	5,16	**4,03**
	Индан	nd	nd	nd	nd	64134	0,99	**0,33**
Терпени	*α*-Пинен	90919	3,58	144707	2,14	98706	1,52	**2,41**
	Лимонен	69412	2,73	152211	2,25	371399	5,73	**3,57**
	1,8-Цинеол	nd	nd	87786	1,30	81061	1,25	**0,85**
Органосилоксани	Декаметилциклопентасилоксан	nd	nd	nd	nd	401282	6,19	**2,06**
Алкохоли и етери	2,2,4,4 Тетраметилтетрагидрофуран	nd	nd	nd	nd	22505	0,35	**0,12**
	1-Хексадеканол	nd	nd	662084	9,79	182337	2,82	**4,20**
	1-Хептадеканол	nd	nd	240947	3,55	226321	3,49	**2,35**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	nd	nd	84253	1,25	276336	4,27	**1,84**
Халогенирани соединенија	4-Метилпентил 2,2-дихлороацетат	nd	nd	nd	nd	85063	1,31	**0,44**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Пролетна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од април, мај и јуни.
Летна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од јули, август и септември.
Есенска сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од октомври, ноември и декември.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела А7. VOCs детектирани во надворешниот воздух во Драгаш или Шар, Косово, врз основа на примероци собрани со пасивни примероци Radiello® од април до декември 2022 година. За секое соединение се прикажани површината на пикот од GC–MS анализа и релативната застапеност (%), врз основа на полуколичествена анализа. Сезонските просечни вредности (пролет, лето, есен) исто така се прикажани за секое соединение.

VOC Група	Соединение	Април – Area*	Април RA (%) *	Maj – Area	Maj RA (%)	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Пролет Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	2,2-Диметилхексан	100077	1,16	nd*	nd	64452	1,66	**0,94**
	n-Хептан	78829	0,92	nd	nd	51246	1,32	**0,75**
	2,3,4-Триметилпентан	101610	1,18	nd	nd	83119	2,14	**1,11**
	n-Нонан	363669	4,22	nd	nd	90934	2,34	**2,19**
	n-Декан	148371	1,72	70300	1,71	69230	1,79	**1,74**
	n-Ундекан	356145	4,14	nd	nd	117396	3,03	**2,39**
	Пентилциклогексан	101677	1,18	nd	nd	24974	0,64	**0,61**
	2-Метилундекан	98421	1,14	nd	nd	24374	0,63	**0,59**
	n-Додекан	1049683	12,20	320000	7,79	235176	6,06	**8,68**
	2,6-Диметилундекан	167422	1,94	nd	nd	41681	1,07	**1,00**
	Хексилциклогексан	276642	3,21	nd	nd	81460	2,10	**1,77**
	3-Метилдодекан	383325	4,45	nd	nd	95857	2,47	**2,31**
	n-Тридекан	564043	6,55	101014	2,46	117206	3,02	**4,01**
	Бициклогексил	111839	1,30	nd	nd	27364	0,71	**0,67**
	n-Тетрадекан	434327	5,05	378264	9,20	82896	2,14	**5,46**
	4-Метилтетрадекан	38809	0,45	nd	nd	9822	0,25	**0,23**
	n-Хексадекан	156356	1,82	105747	2,57	47686	1,23	**1,87**
	3-Метилхексадекан	79598	0,92	nd	nd	20397	0,53	**0,48**
	2-Метилдекахидронафталин	104003	1,21	nd	nd	26345	0,68	**0,63**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	685809	7,97	714159	17,38	595511	15,36	**13,57**
	Толуен	518251	6,02	657986	16,01	471031	12,15	**11,39**
	Етилбензен	196326	2,28	151646	3,70	101503	2,62	**2,87**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	301439	3,50	313224	7,62	127682	3,30	**4,81**
	n-Пропилбензен	270221	3,14	50841	1,24	78104	2,01	**2,13**
	1-Етил-3-метилбензен	510058	5,93	101495	2,47	202389	5,22	**4,54**
	1,2,4-Триметилбензен	539429	6,27	181446	4,41	125417	3,23	**4,64**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	190461	2,21	nd	nd	48307	1,25	**1,15**
	Индан	58873	0,68	nd	nd	14574	0,38	**0,35**
Терпени	*α*-Пинен	117989	1,37	323971	7,88	132644	3,42	**4,22**
	Лимонен	84275	0,98	128195	3,12	100220	2,58	**2,23**
	1,8-Цинеол	62857	0,73	120971	2,94	25417	0,66	**1,44**
	α-Тујен	nd	nd	nd	nd	130105	3,35	**1,12**
Органосилоксани	Декаметилциклопентасилоксан	61527	0,71	nd	nd	33279	0,86	**0,52**
Алкохоли и етери	2,2,4,4-Тетраметилтетрагидрофуран	50994	0,60	nd	nd	41683	1,07	**0,56**
	1-Хексадеканол	123651	1,44	nd	nd	31496	0,81	**0,75**
	1-Хептадеканол	68172	0,79	nd	nd	17046	0,44	**0,41**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	53055	0,62	nd	nd	12859	0,33	**0,32**
Халогенирани соединенија	4-Метилпентил 2,2-дихлороацетат	nd	nd	390522	9,50	277335	7,15	**5,55**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А7 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Јули – Area	Јули RA (%)	Август – Area	Август RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Летна сезона Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	*n*-Хептан	nd	nd	86324	5,57	8117	0,62	**2,06**
	2,3,4-Триметилпентан	14787	1,11	nd	nd	52625	3,99	**1,70**
	n-Нонан	nd	nd	4342	0,28	nd	nd	**0,09**
	n-Декан	22983	1,73	38785	2,50	18627	1,41	**1,88**
	n-Ундекан	nd	nd	nd	nd	15733	1,19	**0,40**
	n-Додекан	36708	2,75	120799	7,79	263113	19,96	**10,17**
	n-Тридекан	125445	9,44	115157	7,43	91248	6,92	**7,93**
	n-Тетрадекан	nd	nd	35081	2,26	25836	1,96	**1,41**
	4-Метилтетрадекан	39124	2,94	32806	2,12	16431	1,25	**2,10**
	n-Хексадекан	20013	1,51	17976	1,16	24859	1,89	**1,52**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	190868	14,36	301029	19,41	283747	21,53	**18,43**
	Толуен	133795	10,07	248680	16,04	262044	19,88	**15,33**
	Етилбензен	49036	3,69	34067	2,20	29484	2,24	**2,71**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	91781	6,90	67139	4,33	45790	3,47	**4,90**
	n-Пропилбензен	25390	1,90	14328	0,92	13676	1,04	**1,29**
	1-Етил-3-метилбензен	61431	4,62	32171	2,07	16249	1,25	**2,65**
	1,2,4-Триметилбензен	10902	0,82	17531	1,13	nd	nd	**0,65**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	11117	0,84	84038	5,42	6235	0,47	**2,24**
	Индан	74932	5,64	19650	1,27	nd	nd	**2,30**
Терпени	*α*-Пинен	87422	6,58	121215	7,82	62533	4,74	**6,38**
	Лимонен	103658	7,80	90975	5,87	5431	0,41	**4,69**
	1,8-Цинеол	15368	1,16	15043	0,97	52268	3,97	**2,03**
Органосилоксани	Декаметилциклопентасилоксан	0	0,00	5600	0,35	16465	1,25	**0,53**
Алкохоли и етери	2,2,4,4-Тетраметилтетрагидрофуран	26451	1,99	19217	1,24	7369	0,56	**1,26**
	1-Хексадеканол	19361	1,46	nd	nd	nd	nd	**0,49**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	nd	nd	28682	1,85	nd	nd	**0,62**
Халогенирани соединенија	Тетрахлоретен	168689	12,69	nd	nd	nd	nd	**4,24**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А7 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Есенски сезон Просек (%) *
Алифатични јаглеводороди	*n*-Хептан	309272	5,16	226447	3,42	48491	0,84	**3,14**
	2,3,4-Триметилпентан	279531	4,67	149672	2,26	42269	0,73	**2,55**
	n-Нонан	nd	nd	nd	nd	24736	0,43	**0,14**
	n-Декан	44357	0,74	nd	nd	nd	nd	**0,25**
	Пентилциклохексан	nd	nd	205000	3,09	nd	nd	**1,03**
	n-Додекан	58479	0,98	189570	2,86	166835	2,88	**2,24**
	n-Тридекан	473246	7,90	517456	7,81	700084	12,08	**9,26**
	n-Тетрадекан	285409	4,77	325487	4,91	344557	5,95	**5,21**
	n-Хексадекан	37655	0,63	97185	1,47	nd	nd	**0,70**
	3-Метилхексадекан	nd	nd	nd	nd	27644	0,48	**0,15**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	935842	15,63	1124391	16,97	1159057	20,01	**17,54**
	Толуен	665105	11,11	1050373	15,85	1074736	18,55	**15,17**
	Етилбензен	170821	2,85	260461	3,93	882344	15,23	**7,34**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	669995	11,19	970398	14,64	1014467	17,51	**14,45**
	n-Пропилбензен	268241	4,48	72664	1,10	13899	0,24	**1,94**
	1-Етил-3-метилбензен	28601	0,48	95165	1,44	63120	1,09	**1,00**
	1,2,4-Триметилбензен	23766	0,40	277073	4,18	108255	1,87	**2,15**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	359390	6,00	16473	0,24	22855	0,38	**2,21**
Терпени	*α*-Пинен	972522	16,23	143666	2,17	30736	0,53	**6,31**
	Лимонен	406278	6,78	221137	3,34	21153	0,37	**3,50**
Алкохоли и етери	1-Хексадеканол	nd	nd	684195	10,32	48334	0,83	**3,72**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Пролетна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од април, мај и јуни.
Летна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од јули, август и септември.
Есенска сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од октомври, ноември и декември.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела А8. VOCs детектирани во надворешниот воздух во Раховец, Косово, врз основа на примероци собрани со пасивни примероци Radiello® од април до декември 2022 година. За секое соединение се прикажани површината на пикот од GC–MS анализа и релативната застапеност (%), врз основа на полуколичествена анализа. Сезонските просечни вредности (пролет, лето, есен) исто така се прикажани за секое соединение.

VOC Група	Соединение	Април – Area*	Април RA (%) *	Мај – Area	Мај RA (%)	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Пролет Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	Метилциклохексан	57952	0,58	nd	nd	10720	0,26	**0,28**
	1-Хептен	nd*	nd	68382	1,03	nd	nd	**0,34**
	n-Октан	59394	0,59	99276	1,50	26966	0,64	**0,91**
	n-Декан	119822	1,19	115729	1,75	79620	1,90	**1,61**
	4-Етилундекан	60135	0,60	149925	2,26	27357	0,65	**1,17**
	5-Метилундекан	347931	3,46	81945	1,24	101126	2,41	**2,37**
	2,3-Диметилундекан	88283	0,88	88213	1,33	14825	0,35	**0,85**
	n-Додекан	1597193	15,90	506561	7,64	361847	8,62	**10,72**
	2,5-Диметилдодекан	108130	1,08	73948	1,12	17325	0,41	**0,87**
	2,2,6-Триметилоктан	69971	0,70	nd	nd	14013	0,33	**0,34**
	Хексилциклохексан	165883	1,65	nd	nd	30351	0,72	**0,79**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	17097	0,17	nd	nd	nd	nd	**0,06**
	n-Тридекан	nd	nd	116176	1,75	106169	2,53	**1,43**
	7-Метилтридекан	221902	2,21	nd	nd	40284	0,96	**1,06**
	10-Метилнонадекан	643865	6,41	nd	nd	118241	2,82	**3,08**
	Бициклохексан	154874	1,54	nd	nd	28547	0,68	**0,74**
	n-Тетрадекан	700341	6,97	622214	9,39	176242	4,20	**6,85**
	4-Метилтетрадекан	nd	nd	nd	nd	13534	0,32	**0,11**
	n-Хексадекан	223637	2,23	134586	2,03	88439	2,11	**2,12**
	3-Метилхексадекан	nd	nd	nd	nd	16747	0,40	**0,13**
	2-Метилдекахидронафтален	526805	5,24	nd	nd	97125	2,31	**2,52**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	1014071	10,09	593102	8,95	563224	13,42	**10,82**
	Толуен	699711	6,96	588972	8,89	461230	10,99	**8,95**
	Етилбензен	133155	1,33	144417	2,18	134928	3,21	**2,24**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	227508	2,26	432416	6,53	167419	3,99	**4,26**
	n-Пропилбензен	542229	5,40	75208	1,13	145442	3,46	**3,33**
	1-Етил-3-метилбензен	464192	4,62	63926	0,96	120241	2,87	**2,82**
	1-Метил-4-пропилбензен	234692	2,34	62704	0,95	66281	1,58	**1,62**
	1,2,4-Триметилбензен	543763	5,40	83512	1,26	145232	3,47	**3,38**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	10416	0,10	nd	nd	nd	nd	**0,03**
Терпени	*α*-Пинен	203846	2,03	85808	1,30	129779	3,09	**2,14**
	Лимонен	126218	1,26	71156	1,07	49341	1,18	**1,17**
	1,8-Цинеол	96972	0,96	56369	0,85	46148	1,10	**0,97**
	3,7-Диметил-1,6-октадиен-3-ол (Линалол)	118327	1,18	75372	1,14	19789	0,47	**0,93**
Органосилоксани	Декаметилциклопентасилоксан	101178	1,01	155338	2,34	228846	5,45	**2,93**
Алкохоли и етери	1-Метокси-2-пропанол	nd	nd	712735	10,76	nd	nd	**3,59**
	1,2-Пропандиол	140528	1,40	796005	12,01	20676	0,49	**4,63**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	85288	0,85	nd	nd	16461	0,39	**0,41**
Естери	Бутил ацетат	64424	0,64	nd	nd	31988	0,76	**0,47**
	Бензил ацетат	nd	nd	nd	nd	52952	1,26	**0,42**
Халогенирани соединенија	4-Метилпентил 2,2-дихлороацетат	77105	0,77	nd	nd	13852	0,33	**0,37**
	Трихлороетен	nd	nd	245296	3,70	104023	2,48	**2,06**
	Тетрахлороетен	nd	nd	327142	4,94	310304	7,39	**4,11**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А8 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Јули – Area	Јули RA (%)	Август – Area	Август RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Летна сезона Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	21939	1,80	nd	nd	nd	nd	**0,60**
	Метилциклохексан	nd*	nd	19261	1,13	nd	nd	**0,38**
	n-Хептан	9271	0,76	nd	0,00	nd	nd	**0,25**
	n-Октан	9624	0,80	55847	3,29	24949	2,36	**2,15**
	n-Декан	29827	2,45	40727	2,40	nd	nd	**1,62**
	4-Етилундекан	nd	nd	26096	1,54	nd	nd	**0,51**
	n-Додекан	107139	8,81	22552	1,32	27229	2,58	**4,24**
	n-Тридекан	50806	4,18	nd	nd	nd	nd	**1,39**
	n-Тетрадекан	30325	2,49	317703	18,70	205642	19,45	**13,55**
	n-Хексадекан	19763	1,64	20441	1,20	nd	nd	**0,94**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	231984	19,08	403874	23,77	187915	17,77	**20,21**
	Толуен	132563	10,90	279926	16,47	269990	25,54	**17,64**
	Етилбензен	37471	3,08	46598	2,74	32341	3,06	**2,96**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	78636	6,47	87987	5,18	62986	5,96	**5,87**
	n-Пропилбензен	11165	0,92	22291	1,31	24387	2,30	**1,51**
	1-Етил-3-метилбензен	14639	1,20	nd	nd	56344	5,33	**2,17**
	1-Метил-4-пропилбензен	61185	5,04	84427	4,97	10135	0,96	**3,66**
	1,2,4-Триметилбензен	8566	0,70	nd	nd	nd	nd	**0,23**
Терпени	*α*-Пинен	41473	3,41	41186	2,42	28093	2,66	**2,83**
	Лимонен	157442	12,95	78495	4,62	15810	1,50	**6,36**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	14310	1,18	nd	nd	nd	nd	**0,39**
	Декаметилциклопентасилоксан	30534	2,51	25876	1,52	10481	0,99	**1,68**
Алкохоли и етери	1-Метокси-2-пропанол	103418	8,51	107738	6,34	87339	8,26	**7,70**
	1-Етокси-2-пропанол	nd	nd	18300	1,08	nd	nd	**0,36**
Естери	Бутил ацетат	13656	1,12	nd	nd	13544	1,28	**0,80**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А8 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Есенски сезон Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	3-Метилхексан	nd*	nd	nd	nd	12384	0,32	**0,11**
	1-Хептен	nd	nd	nd	nd	83413	2,14	**0,71**
	n-Хептан	nd	nd	152206	5,05	nd	nd	**1,68**
	n-Октан	15484	0,47	160274	5,32	126741	3,25	**3,02**
	n-Декан	nd	nd	81360	2,70	64872	1,66	**1,45**
	2,3-Диметилундекан	nd	nd	nd	nd	21357	0,55	**0,18**
	n-Додекан	117758	3,61	nd	nd	224287	5,75	**3,12**
	2,5-Диметилдодекан	20111	0,62	22290	0,74	nd	nd	**0,46**
	n-Тетрадекан	240135	7,37	205445	6,82	384975	9,88	**8,02**
	4-Метилтетрадекан	29025	0,89	66071	2,19	nd	nd	**1,03**
	n-Хексадекан	nd	nd	nd	nd	103821	2,67	**0,89**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	758454	23,27	889531	29,53	1002849	25,73	**26,17**
	Толуен	623714	19,13	648455	21,52	845376	21,69	**20,78**
	Етилбензен	62777	1,93	167751	5,57	202642	5,20	**4,23**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	117298	3,60	273173	9,07	192741	4,94	**5,87**
	n-Пропилбензен	69264	2,12	nd	nd	96074	2,46	**1,53**
	1-Етил-3-метилбензен	226300	6,94	178105	5,91	nd	nd	**4,29**
	1-Метил-4-пропилбензен	nd	nd	45420	1,51	nd	nd	**0,50**
	1,2,4-Триметилбензен	nd	nd	nd	nd	77362	1,99	**0,66**
Терпени	*α*-Пинен	578174	17,74	16870	0,56	10622	0,27	**6,19**
	Лимонен	16047	0,49	86812	2,88	24711	0,64	**1,34**
	1,8-Цинеол	nd	nd	nd	nd	20375	0,52	**0,17**
Алкохоли и етери	1-Метокси-2-пропанол	280848	8,61	nd	nd	nd	nd	**2,87**
	1-Етокси-2-пропанол	54160	1,66	nd	nd	nd	nd	**0,55**
	1-Пентанол	nd	nd	nd	nd	326360	8,37	**2,80**
	2,2'-Оксидиетанол	nd	nd	19022	0,63	nd	nd	**0,21**
Алдехиди и кетони	6-Метил-5-хептен-2-он	33186	1,02	nd	nd	nd	nd	**0,34**
	Октанал	nd	nd	nd	nd	31079	0,80	**0,26**
Естери	Етил бутаноат	17286	0,53	nd	nd	nd	nd	**0,18**
	Бутил ацетат	nd	0,00	nd	nd	45672	1,17	**0,39**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Пролетна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од април, мај и јуни.
Летна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од јули, август и септември.
Есенска сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од октомври, ноември и декември.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела А9. VOCs детектирани во надворешниот воздух во Обилиќ, Косово, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® од април до декември 2022 година. За секој соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полуквантитативна анализа. Се даваат и сезонските просечни вредности (пролет, лето, есен) за секое соединение.

VOC Група	Соединение	Април – Area*	Април RA (%) *	Maj – Area	Мај RA (%)	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Пролет Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	Метилциклохексан	nd*	nd	nd	nd	72936	1,69	**0,56**
	n-Октан	88850	0,73	nd	nd	nd	nd	**0,24**
	n-Декан	105415	0,87	nd	nd	24205	0,56	**0,48**
	4-Етилундекан	297202	2,45	109326	0,74	33269	0,77	**1,32**
	5-Метилундекан	137040	1,13	nd	nd	27493	0,64	**0,59**
	2,3-Диметилундекан	73356	0,60	nd	nd	38226	0,88	**0,50**
	n-Додекан	1045453	8,62	137373	0,92	nd	nd	**3,18**
	2,5-Диметилдодекан	183506	1,51	68570	0,46	25022	0,58	**0,85**
	2,2,6-Триметилоктан	139711	1,15	nd	nd	29745	0,69	**0,61**
	Хексилциклохексан	328876	2,71	nd	nd	41509	0,96	**1,22**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	80388	0,66	nd	nd	33961	0,78	**0,48**
	n-Тридекан	490513	4,05	105963	0,71	97967	2,26	**2,34**
	7-Метилтридекан	303040	2,50	104707	0,70	nd	nd	**1,07**
	10-Метилнонадекан	77104	0,64	144574	0,97	29198	0,67	**0,76**
	Бициклохексил	155188	1,28	82017	0,55	nd	nd	**0,61**
	n-Тетрадекан	603021	4,97	717729	4,80	244263	5,64	**5,14**
	4-Метилтетрадекан	159559	1,32	386688	2,59	nd	nd	**1,30**
	n-Хексадекан	89155	0,74	920963	6,16	270571	6,25	**4,38**
	3-Метилхексадекан	164518	1,36	103373	0,69	nd	nd	**0,68**
	2-Метилдекахидронафтален	629471	5,19	286698	1,92	nd	nd	**2,38**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	821835	6,78	601136	4,02	444275	10,27	**7,02**
	Толуен	976439	8,05	801438	5,36	280193	6,48	**6,63**
	Етилбензен	215371	1,78	410853	2,75	98198	2,27	**2,27**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	530381	4,37	769349	5,15	216022	4,99	**4,84**
	n-Пропилбензен	1083557	8,94	229124	1,53	94697	2,19	**4,22**
	1-Етил-3-метилбензен	10957	0,09	91902	0,62	67992	1,57	**0,76**
	1-Метил-4-пропилбензен	189646	1,56	20000	0,13	nd	nd	**0,56**
	1,2,4-Триметилбензен	636092	5,25	124930	0,84	59430	1,38	**2,49**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	27844	0,19	nd	nd	**0,06**
Терпени	*α*-Пинен	345173	2,85	141712	0,95	82344	1,90	**1,90**
	Лимонен	509661	4,20	434187	2,91	103840	2,40	**3,17**
	1,8-Цинеол	nd	nd	379704	2,54	51250	1,18	**1,24**
	3,7-Диметил-1,6-октадиен-3-ол	nd	nd	nd	nd	46278	1,07	**0,36**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	205744	1,70	618047	4,14	109245	2,53	**2,79**
	Декаметилциклопентасилоксан	nd	nd	2257756	15,11	515042	11,90	**9,00**
Алкохоли и етери	1-Бутанол	83358	0,69	61680	0,41	nd	nd	**0,37**
	1-Метокси-2-пропанол	255184	2,10	436259	2,92	nd	nd	**1,67**
	2-(2-Метоксипропокси)пропан-1-ол	nd	nd	598003	4,00	27982	0,65	**1,55**
	1-(2-Метокси-1-метилетокси)пропан-2-ол	nd	nd	164847	1,10	255910	5,91	**2,33**
	1-(2-Метокси-пропокси)пропан-2-ол	31692	0,26	81108	0,54	42996	0,99	**0,60**
Алдехиди и кетони	Фурфурал	119520	0,99	nd	nd	nd	nd	**0,33**
	5-Метил-2-(пропан-2 ил) циклохексан-1-он	nd	nd	504104	3,37	135475	3,13	**2,17**
	6-Метил-5-хептен-2-он	78800	0,65	433189	2,90	nd	nd	**1,18**
	Октанал	139384	1,15	nd	nd	nd	nd	**0,38**
Естери	Винил ацетат	nd	nd	335207	2,24	nd	nd	**0,75**
	Етил бутаноат	nd	nd	204774	1,37	nd	nd	**0,46**
	Бутил ацетат	85871	0,71	236857	1,59	129572	3,00	**1,77**
	Бензил ацетат	nd	nd	146736	0,98	nd	nd	**0,33**
	Диетилфталат	nd	nd	301077	2,02	94163	2,18	**1,40**
Халогенирани соединенија	4-Метилпентил 2,2-дихлорооцетат	327477	2,70	nd	nd	nd	nd	**0,90**
	Трихлороетен	327844	2,70	222580	1,49	150764	3,48	**2,56**
	Тетрахлороетен	nd	nd	1138716	7,62	353184	8,16	**5,25**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А9 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Юли – Area	Юли RA (%)	Август – Area	Август RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Летна сезона Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	*n*-Октан	nd	nd	nd	nd	110937	3,20	**1,07**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	556700	9,87	1013317	6,44	411025	11,83	**9,38**
	Толуен	548262	9,72	831096	5,29	421597	12,14	**9,05**
	Етилбензен	157286	2,78	113340	0,72	112873	3,25	**2,25**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	330943	5,87	365601	2,33	134645	3,88	**4,03**
	n-Пропилбензен	106365	1,89	108329	0,69	48768	1,40	**1,33**
	1-Етил-3-метилбензен	40655	0,72	13675	0,09	45224	1,31	**0,71**
	1-Метил-4-пропилбензен	19027	0,33	25191	0,16	11903	0,34	**0,28**
	1,2,4-Триметилбензен	nd	nd	nd	nd	26008	0,75	**0,25**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	76212	0,48	nd	nd	**0,16**
Терпени	*α*-Пинен	254751	4,52	204822	1,30	108107	3,11	**2,98**
	Лимонен	353741	6,27	544837	3,47	110139	3,17	**4,30**
	1,8-Цинеол	nd	nd	nd	nd	29062	0,84	**0,28**
Алкохоли и етери	1-Метокси-2-пропанол	79863	1,41	nd	nd	nd	nd	**0,47**
	1,2-Пропандиол	nd	nd	nd	nd	12912	0,37	**0,12**
	2-(2-Метоксипропокси)пропан-1-ол	759488	13,47	2072631	13,18	416877	12,00	**12,87**
	1-(2-Метокси-1-метилетокси) пропан-2-ол	956418	16,95	9873349	62,80	1248122	35,94	**38,57**
	1-(2-Метоксипропокси)пропан-2-ол	1477984	26,20	480930	3,05	224908	6,47	**11,90**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела А9 (продолжение)

VOC Група	Соединение	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Есенски сезон Просек (%) *
Алифатични Јаглеводороди	Метилциклогексан	75752	2,02	nd	nd	42215	1,00	**1,01**
	n-Хептан	nd	nd	92418	2,63	nd	nd	**0,88**
	n-Октан	nd	nd	nd	nd	84848	2,02	**0,67**
	n-Додекан	46181	1,23	127147	3,63	440362	10,42	**5,09**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	864273	23,01	301949	8,60	767528	18,17	**16,59**
	Толуен	664945	17,70	664248	18,91	941521	22,29	**19,63**
	Етилбензен	240887	6,41	142346	4,05	337819	8,00	**6,15**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилен	597201	15,90	438712	12,49	796215	18,85	**15,75**
	n-Пропилбензен	118222	3,15	232119	6,61	110033	2,60	**4,12**
	1-Етил-3-метилбензен	230295	6,13	40237	1,15	417912	9,89	**5,73**
	1-Метил-4-пропилбензен	37932	1,01	40655	1,16	62054	1,47	**1,21**
	1,2,4-Триметилбензен	51719	1,37	29816	0,84	114088	2,69	**1,64**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	74972	2,12	nd	nd	**0,71**
Терпени	*α*-Пинен	400874	10,67	105801	3,01	11083	0,26	**4,64**
	Лимонен	125200	3,33	259160	7,38	10157	0,24	**3,65**
	1,8-Цинеол	52998	1,42	43010	1,22	70284	1,67	**1,44**
Алкохоли и етери	1-Бутанол	nd	nd	641606	18,26	nd	nd	**6,09**
	2-(2-Метоксипропокси)пропан-1-ол	44468	1,18	21893	0,62	nd	nd	**0,60**
	1-(2-Метокси-1-метилетокси) пропан-2-ол	56282	1,50	66108	1,88	nd	nd	**1,12**
	1-(2-Метоксипропокси)пропан-2-ол	73061	1,95	43811	1,26	nd	nd	**1,07**
Естери	Бутил ацетат	nd	nd	73432	2,09	nd	nd	**0,70**
	Диетилфталат	76212	2,02	73432	2,09	18165	0,43	**1,51**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Пролетна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од април, мај и јуни.
Летна сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од јули, август и септември.
Есенска сезона – Просек (%) *: Просечна релативна застапеност за периодот од октомври, ноември и декември.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела А10. Просечни сезонски релативни застапености (%) на групите VOCs во Тетово, Скопје, Елез Хан, Приштина и Нова Приштина (Април–Декември 2022 година).

VOC	Тетово			Скопје			Елез Хан			Приштина			Нова Приштина		
Група	Пролет*	Лето*	Есен*	Пролет	Лето	Есен	Пролет	Лето	Есен	Пролет	Лето	Есен	Пролет	Лето	Есен
Σ Алифатични јаглеводороди	33,47	20,09	11,45	41,24	29,7	15,93	22,41	17,14	19,52	33,79	23,22	11,55	36,97	23,45	19,93
Σ Ароматични јаглеводороди	47,11	63,37	68,96	43,91	52,78	70,6	30,4	49,03	53,84	45,14	64,2	69,42	43,37	51,81	57,5
Σ Терпени	4,7	7,76	5,12	6,06	6,05	6,93	6,11	5,31	5,72	3,68	4,99	4,16	7,94	13,35	10,01
Σ Органосилоксани	7,78	1,14	7,58	0,67	4,51	0,8	1,16	1,48	3,53	3,53	0,63	2,8	2,82	2,58	1,88
Σ Алкохоли и етери	0,86	0,59	nd*	0,47	2,44	0,68	20,72	22,05	8,85	1,35	2,77	nd	1,86	0,43	1,71
Σ Алдехиди и кетони	1,15	1,62	3,61	nd	nd	3,01	5,85	nd	3,86	2,59	1,12	3,54	1,12	nd	2,75
Σ Естери	0,96	4,91	3,02	4,17	1,76	2,05	8,92	1,68	1,63	1,11	2,34	8,53	1,09	6,42	5,1
Σ Халогенирани соединенија	3,97	0,52	0,26	3,48	2,76	nd	4,43	3,31	3,05	8,81	0,73	nd	4,83	1,96	1,12

Забелешка:

Пролет*: Просек за периодот од април до јуни.

Лето*: Просек за периодот од јули до август.

Есен*: Просек за периодот од октомври до ноември.

nd*: Не е детектирано; групата на VOCs не е откриена во примерокот.

Табела А11. Просечни сезонски релативни застапености (%) на групите VOCs во Драгаш или Шар, Призрен, Раховец и Обилиќ (Април–Декември 2022 година).

VOC	Драгаш или Шар			Призрен			Раховец			Обилиќ		
Група	Пролет*	Лето*	Есен*	Пролет	Лето	Есен	Пролет	Лето	Есен	Пролет	Лето	Есен
Σ Алифатични Јаглеводороди	37,43	29,26	24,67	36,97	27,47	16,86	38,35	25,63	20,67	28,69	1,07	7,65
Σ Ароматични јаглеводороди	45,45	50,5	61,8	44,56	57,34	65,3	37,45	54,25	64,03	28,85	27,44	71,53
Σ Терпени	9,01	13,1	9,81	4,96	5,24	6,83	5,21	9,19	7,7	6,67	7,56	9,73
Σ Органосилоксани	0,52	0,53	nd	6,24	6,02	2,06	2,93	2,07	nd	11,79	nd	nd
Σ Алкохоли и етери	1,72	1,75	3,72	0,62	0,28	6,67	8,22	8,06	6,43	6,52	63,93	8,88
Σ Алдехиди и кетони	0,32	0,62	nd	0,51	nd	1,84	0,41	nd	0,6	4,06	nd	nd
Σ Естери	nd*	nd	nd	nd	nd	nd	0,89	0,8	0,57	4,71	nd	2,21
Σ Халогенирани соединенија	5,55	4,24	nd	6,14	3,65	0,44	6,54	nd	nd	8,71	nd	nd

Забелешка:

Пролет*: Просек за периодот од април до јуни.

Лето*: Просек за периодот од јули до август.

Есен*: Просек за периодот од октомври до ноември.

nd*: Не е детектирано; групата на VOCs не е откриена во примерокот.

ДОДАТОК 2

Овој додаток ги презентира сеопфатните табели на сите VOCs детектирани во внатрешниот воздух низ Северна Македонија и Косово во периодот од март до декември 2023 година. За секој поединечен примерок, табелите ги прикажуваат хроматографските површини на пиковите на секое соединение, заедно со нивната релативна застапеност (%), пресметана како уделот на секое соединение во вкупната површина на пиковите на примерокот.

Табела B1. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на една кафетерија во Северна Македонија, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на избрани месечни кампањи (Март, Јуни, Јули, Септември, Октомври, Ноември и Декември 2023 година). За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полукванитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Март – Area*	Март RA (%) *	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Јули – Area	Јули RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	2-Метилхексан	nd*	nd	nd	nd	29358721	3,69	20020535	2,99	8631865	1,38	nd	nd	nd	nd	**1,15**
	2,3-Диметилпентан	nd	nd	nd	nd	8467697	1,06	8464633	1,26	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,33**
	3-Метилхексан	nd	nd	nd	nd	35943764	4,52	41775711	6,24	7427282	1,19	nd	nd	nd	nd	**1,71**
	1,3-Диметилциклопентан	nd	nd	nd	nd	6826115	0,86	3318264	0,5	1162040	0,19	1114417	0,2	nd	nd	**0,25**
	Хепт-1-ен	243503	1,12	nd	nd	1897474	0,24	2520900	0,38	2266764	0,36	2663139	0,47	3399686	0,47	**0,43**
	n-Хептан	nd	nd	71451	0,54	19394151	2,44	7686512	1,15	4826336	0,77	2121606	0,38	3411264	0,47	**0,82**
	Метилциклогексан	nd	nd	nd	nd	7367880	0,93	16919841	2,53	4013442	0,64	nd	nd	nd	nd	**0,59**
	Етилциклопентан	nd	nd	nd	nd	1643137	0,21	2166623	0,32	816043	0,13	nd	nd	nd	nd	**0,09**
	1,3-Диметилциклогексан	nd	nd	nd	nd	914478	0,11	2929085	0,44	635629	0,1	nd	nd	1691918	0,23	**0,13**
	Окт-1-ен	nd	nd	nd	nd	1039748	0,13	908290	0,14	717296	0,11	nd	nd	nd	nd	**0,05**
	n-Октан	nd	nd	nd	nd	2219331	0,28	5288416	0,79	2339218	0,37	1577865	0,28	1567412	0,22	**0,28**
	1,4-Диметилциклогексан	nd	nd	nd	nd	1629768	0,2	8105580	1,21	1661187	0,27	nd	nd	2083163	0,29	**0,28**
	2,4-Диметилхептан	nd	nd	nd	nd	1705898	0,21	4830098	0,72	nd	nd	nd	nd	1823261	0,25	**0,17**
	3-Изопропилциклохексен	nd	nd	nd	nd	707354	0,09	2619617	0,39	4569044	0,73	756812	0,13	1031288	0,14	**0,21**
	n-Нонан	nd	nd	nd	nd	1055270	0,13	847810	0,13	1414267	0,23	805996	0,14	1107246	0,15	**0,11**
	n-Декан	nd	nd	42155	0,32	19170280	2,41	2034455	0,3	2677843	0,43	924001	0,16	1620882	0,22	**0,55**
	n-Додекан	177718	0,82	136197	1,02	2496190	0,31	15270638	2,28	2588521	0,41	1663135	0,29	1590769	0,22	**0,76**
	n-Тридекан	nd	nd	52434	0,39	2464723	0,31	1868984	0,28	1435400	0,23	1220094	0,22	nd	nd	**0,2**
	n-Тетрадекан	nd	nd	108509	0,82	4053958	0,51	11315976	1,69	5066097	0,81	2725963	0,48	1699186	0,23	**0,65**
	n-Пентадекан	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1540777	0,25	nd	nd	887981	0,12	**0,05**
	Тетрадек-1-ен	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6155117	0,92	602440	0,1	nd	nd	1752839	0,24	**0,18**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	1160033	5,36	422612	3,19	14121377	1,77	9717230	1,45	10969126	1,75	10934954	1,94	15926104	2,19	**2,52**
	Толуен	2077885	9,6	736928	5,54	28372023	3,57	24713543	3,69	30327960	4,85	22873509	4,05	26830925	3,71	**5**
	Етилбензен	736628	3,4	287898	2,16	11926062	1,5	10441232	1,56	12940343	2,07	6698793	1,19	7788306	1,07	**1,85**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	1372646	6,34	549537	4,13	22189094	2,8	22026067	3,29	27308206	4,36	16915328	3	19998681	2,76	**3,81**
	Стирен	nd	nd	nd	nd	1162170	0,15	754007	0,11	1233573	0,2	nd	nd	2331767	0,32	**0,11**
	Изопропилбензен	nd	nd	nd	nd	887819	0,11	747582	0,11	722342	0,12	nd	nd	nd	nd	**0,05**
	n-Пропилбензен	nd	nd	nd	nd	1444775	0,18	1283568	0,19	2602821	0,43	1053933	0,19	1275037	0,18	**0,17**
	1-Етил-3-метилбензен	nd	nd	264566	1,99	5736010	0,72	5088181	0,76	10116083	1,61	6491849	1,15	3696160	0,51	**0,96**
	1,3,5-Триметилбензен	367782	1,7	262302	1,97	9151631	1,15	8028748	1,21	10062374	1,61	2080415	0,37	nd	nd	**1,14**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела В1 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Март – Area	Март RA (%)	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Јули – Area	Јули RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Ароматични јаглеводороди	1-Етил-2-метилбензен	319858	1,48	nd	nd	1333090	0,17	1327991	0,21	1707612	0,27	930862	0,17	1243193	0,17	**0,35**
	1-Метил-3-изопропилбензен	597505	2,76	300870	2,26	9500180	1,19	7644572	1,14	9191057	1,47	9092924	1,61	10841292	1,49	**1,7**
	n-Бутилбензен	nd	nd	nd	nd	729952	0,09	nd	nd	1166684	0,19	934745	0,17	nd	nd	**0,06**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	43122	0,32	1462606	0,18	1131229	0,17	938837	0,15	1017673	0,18	nd	nd	**0,14**
Терпени	*α*-пинен	999724	4,62	238391	1,79	nd	nd	19071974	2,85	4638682	0,74	3033126	0,54	3724378	0,51	**1,58**
	β-пинен	nd	nd	269589	2,03	nd	nd	5645011	0,84	nd	nd	5214181	0,92	6728598	0,93	**0,67**
	β-феландрен	nd	nd	57931	0,44	nd	nd	4461331	0,67	30000	nd	nd	nd	5455405	0,75	**0,27**
	Ментол	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1244323	0,19	761051	0,12	nd	nd	1198012	0,17	**0,07**
	Лимонен	3785577	17,49	1674428	12,59	72701261	9,14	41658639	6,22	53752534	8,59	48864161	8,66	60609831	8,35	**10,15**
	Еписедрол	nd	nd	69123	0,52	2966437	0,37	3216412	0,48	11628227	1,86	6828794	1,21	15777902	2,17	**0,94**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	199116	0,93	62764	0,47	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1236796	0,17	**0,22**
	Декаметилциклопентасилоксан	3656933	16,9	1958053	14,72	52140607	6,55	22022769	3,29	30612409	4,89	13464925	2,39	16786329	2,31	**7,29**
Алкохоли и етери	1-Метоксипропан-2-ол	nd	nd	nd	nd	1104111	0,14	777396	0,12	919357	0,15	4306248	0,76	1668935	0,24	**0,2**
	Пент-3-ен-2-ол	nd	nd	nd	nd	791840	0,1	6360290	0,95	3543284	0,57	2556988	0,45	3142965	0,43	**0,36**
	3-Метилбутан-1-ол	nd	nd	58851	0,44	1786337	0,22	1436056	0,21	1448304	0,23	1242695	0,22	2098289	0,29	**0,23**
	Пропан-1,2-диол	553573	2,56	171041	1,29	6806759	0,86	6512639	0,97	5098094	0,81	7666995	1,36	3873390	0,53	**1,2**
	Пентан-1-ол	nd	nd	276644	2,08	2090683	0,26	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,33**
	Хексан-2-ол	nd	nd	nd	nd	1439052	0,18	5144068	0,77	nd	nd	1289509	0,23	nd	nd	**0,18**
	2-Бутоксиетан-1-ол	nd	nd	nd	nd	1662268	0,21	872211	0,13	744010	0,12	2937491	0,52	1399600	0,19	**0,17**
	1-Бутокси пропан-2-ол	nd	nd	66214	0,5	1000059	0,13	801134	0,12	1536930	0,25	nd	nd	1196876	0,16	**0,18**
	1-(2-Метокси-1-метилетокси) пропан-2-ол	nd	nd	668213	5,02	89782555	11,28	117860051	17,61	101951477	16,29	89955010	15,95	112191989	15,46	**11,66**
	1-(2-Метокси пропокси)пропан -2-ол	nd	nd	1831075	13,77	73361880	9,22	44806933	6,69	85895506	13,72	71655363	12,7	93969373	12,95	**9,86**
	2-Етилхексан-1-ол	nd	nd	182438	1,37	8328508	1,05	nd	nd	1566930	0,25	nd	nd	1378470	0,19	**0,42**
	2,6-Диметилокт-7-ен-2-ол	926854	4,28	563698	4,24	24521743	3,08	5713155	0,85	27615388	4,41	40402415	7,16	51272541	7,06	**4,44**
	3,7-Диметилоктан-3-ол	444533	2,05	400951	3,01	13391643	1,68	732599	0,11	17682563	2,82	28712545	5,09	36048529	4,97	**2,82**
	3,7-Диметилокта-1,6-диен-3-ол	nd	nd	nd	nd	38915220	4,89	28996233	4,33	7284335	1,16	nd	nd	nd	nd	**1,48**
	1-(2-Бутоксиетокси)етан-1-ол	nd	nd	nd	nd	3733268	0,47	4125988	0,62	2489964	0,4	815665	0,14	1639519	0,23	**0,27**
	2-(Тетрадецилокси)етан-1-ол	nd	nd	nd	nd	882868	0,11	955698	0,14	1549331	0,24	nd	nd	nd	nd	**0,07**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B1 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Март – Area	Март RA (%)	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Јули – Area	Јули RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Алдехиди и кетони	Фуран-2-карбалдехид	621208	2,87	85167	0,64	5861379	0,74	5024770	0,75	6272011	1	7786301	1,38	10147162	1,4	**1,25**
	Хексанал	383148	1,77	59820	0,45	nd	nd	nd	nd	920251	0,15	1568300	0,28	3301682	0,45	**0,44**
	Нонанал	214166	0,99	89057	0,67	nd	nd	776390	0,12	993824	0,16	2748230	0,49	5593075	0,77	**0,46**
	Деканал	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1305691	0,21	3693333	0,65	4088495	0,56	**0,2**
	Гептан-2-он	nd	nd	75496	0,57	982077	0,12	nd	nd	2542350	0,41	989507	0,18	7768988	1,07	**0,35**
	5-Метилфуран-2-карбалдехид	152932	0,71	nd	nd	1243963	0,16	928749	0,14	923989	0,15	2243829	0,4	3096340	0,43	**0,28**
	6-Метилгепт-5-ен-2-он	nd	nd	84057	0,63	5395290	0,68	4362055	0,65	5044868	0,81	8944171	1,59	22805903	3,14	**1,07**
	3,7-Диметилокт-6-енал	nd	nd	47998	0,36	5470212	0,69	5070385	0,76	886643	0,14	994081	0,18	1019309	0,14	**0,32**
	4-(2,6,6-Триметилциклохекс-1-ен-1-ил)бут-3-ен-2-он	nd	nd	86417	0,65	11506514	1,45	5290269	0,79	11676774	1,87	14367442	2,55	3531232	0,49	**1,11**
Естери	4-трет-Бутилциклохексил ацетат	271608	1,25	46894	0,35	nd	nd	4694907	0,7	5900848	0,94	1364290	0,24	921733	0,13	**0,52**
	Метил 2-метилпропаноат	nd	nd	341803	2,57	nd	nd	3713239	0,55	975998	0,15	15989468	2,83	12527063	1,73	**1,12**
	Етил буаноат	nd	nd	nd	nd	3547218	0,45	1860358	0,28	598695	0,1	1107386	0,2	3558802	0,49	**0,22**
	Етил 2-фурилацетат	nd	nd	nd	nd	3439668	0,43	599458	0,09	1204717	0,19	3585317	0,64	1598680	0,22	**0,22**
	Бензил ацетат	550844	2,54	123766	0,93	15818450	1,99	7928748	1,18	10647891	1,7	16933192	3	20959296	2,89	**2,03**
	Метил 3,7-диметил-1,6-октадиен-3-ол-2-аминобензоат	nd	nd	80170	0,6	39888450	5,01	25329744	3,78	9079290	1,45	10265682	1,82	nd	nd	**1,81**
	4-(2-метилпропил)циклохексил ацетат	nd	nd	nd	0	29366056	3,69	4567638	0,68	6463018	1,03	1186727	0,21	1558064	0,21	**0,83**
	Диетилфталат	nd	nd	nd	0	3575473	0,45	6369948	0,95	2440492	0,39	1227083	0,22	1552099	0,21	**0,32**
Халогенирани соединенија	4-Хлоргептан	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1553949	0,23	nd	nd	5998134	1,06	5396215	0,74	**0,29**
	Тетрахлоретилен	nd	nd	260486	1,96	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1497462	0,21	**0,31**
	Хлорметил ацетат	nd	nd	nd	nd	1999003	0,25	1798398	0,27	1248391	0,2	894922	0,16	893129	0,12	**0,14**
Разно	2,5-Диметилфуран	261823	1,21	49929	0,38	3288617	0,41	2112458	0,32	2866441	0,46	3495066	0,62	4774685	0,66	**0,58**
	2-Метилбутанонитрил	172264	0,8	41446	0,31	935276	0,12	nd	nd	1588134	0,25	3073311	0,54	1638102	0,23	**0,32**
	2,6-Диметилпиразин	nd	nd	nd	nd	806326	0,1	909892	0,14	697261	0,11	15981288	2,83	2074714	0,29	**0,5**
	Пиридин	154606	0,71	nd	nd	4197164	0,53	2493230	0,37	4637809	0,74	1155497	0,2	50233648	6,92	**1,35**
	Неидентифициран VOC 1	116620	0,54	nd	nd	1571170	0,2	928139	0,14	2141270	0,34	938983	0,17	2882234	0,4	**0,26**
	Неидентифициран VOC 2	252992	1,17	nd	nd	718809	0,09	1845397	0,28	680552	0,11	842857	0,15	1631523	0,22	**0,29**
	Неидентифициран VOC 3	184749	0,85	nd	nd	770586	0,1	771388	0,12	1763487	0,28	1092049	0,19	4615872	0,64	**0,31**
	Неидентифициран VOC 4	215345	0,99	nd	nd	738174	0,09	nd	nd	1564295	0,25	2352269	0,42	1193930	0,16	**0,27**
	Неидентифициран VOC 5	183536	0,85	nd	nd	744490	0,09	nd	nd	2103487	0,34	2980620	0,53	1052285	0,14	**0,28**
	Неидентифициран VOC 6	115924	0,54	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1724103	0,28	1055163	0,19	1136689	0,16	**0,17**
	Неидентифициран VOC 7	173360	0,8	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2463762	0,39	5685783	1,01	7753672	1,07	**0,47**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.

RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Просек RA (%) *: Просечна релативна застапеност за сите месеци на земање примероци.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела B2. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на текстилна фабрика во Косово, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на избрани месечни кампањи (Март, Јуни, Јули, Септември, Октомври, Ноември и Декември 2023 година). За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полуквантитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Март – Area*	Март RA (%) *	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Јули – Area	Јули RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	3-Метилхексане	483405	3,25	nd	nd	3698654	0,94	3718547	1,37	2587174	1,27	1493941	1,4	1438612	1,45	**1,38**
	1,3-Циклохексадиен	nd*	nd	nd	nd	2434839	0,62	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,09**
	n-Хептан	1455415	9,79	240286	1,67	4489028	1,14	5253323	1,94	670789	0,33	3407183	3,18	2295254	2,31	**2,91**
	3-Метилхептан	nd	nd	nd	nd	2604784	0,66	1052941	0,39	834533	0,41	340611	0,32	416482	0,42	**0,31**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	142501	0,96	113566	0,79	15557435	3,94	2176400	0,8	nd	nd	412008	0,39	716586	0,72	**1,09**
	2,2,4-Триметилхептан	nd	nd	nd	nd	5774413	1,46	382438	0,14	nd	nd	496397	0,46	668075	0,67	**0,39**
	Метилциклогексан	nd	nd	nd	nd	3651532	0,93	8474173	3,13	2293249	1,13	1305922	1,22	1251651	1,26	**1,1**
	n-Октан	nd	nd	nd	nd	1773739	0,45	1366817	0,5	1075719	0,53	712143	0,67	661460	0,66	**0,4**
	3-Метилооктан	nd	nd	nd	nd	647237	0,16	1058997	0,39	nd	nd	207582	0,19	202579	0,2	**0,13**
	2,2,6-Триметилооктан	nd	nd	nd	nd	10223705	2,59	2167623	0,8	nd	nd	673540	0,63	959019	0,96	**0,71**
	3,6-Диметилооктан	nd	nd	nd	nd	2876060	0,73	1927703	0,71	nd	nd	202049	0,19	487653	0,49	**0,3**
	n-Нонан	nd	nd	nd	nd	1426995	0,36	689156	0,25	729329	0,36	477021	0,45	422772	0,42	**0,26**
	3,7-Диметилнонан	nd	nd	nd	nd	2548643	0,65	1540805	0,57	529752	0,26	214851	0,2	236287	0,24	**0,27**
	2-Метилнонан	nd	nd	nd	nd	651342	0,17	708146	0,26	nd	nd	247359	0,23	165377	0,17	**0,12**
	n-Декан	169700	1,14	192014	1,34	5342234	1,35	5953764	2,2	3687800	1,82	1768884	1,65	1118968	1,12	**1,52**
	4-Метилдекан	nd	nd	nd	nd	2041695	0,52	871394	0,32	nd	nd	nd	nd	203842	0,2	**0,15**
	n-Ундекан	nd	nd	nd	nd	3123100	0,79	10335663	3,81	1350012	0,66	595183	0,56	364714	0,37	**0,88**
	2,4-Диметилундекан	nd	nd	nd	nd	753635	0,19	555454	0,2	520072	0,26	195678	0,18	192575	0,19	**0,15**
	n-Додекан	297097	2	120463	0,84	11071052	2,81	20005469	7,38	8818920	4,34	3937823	3,68	1985759	2	**3,29**
	n-Тридекан	nd	nd	473688	3,3	2932669	0,74	1606416	0,59	935834	0,46	385074	0,36	273816	0,28	**0,82**
	5-Метилтридекан	nd	nd	nd	nd	1963272	0,5	2689874	0,99	nd	nd	331084	0,31	162546	0,16	**0,28**
	n-Тетрадекан	nd	nd	319837	2,23	17757691	4,5	12475297	4,6	6554891	3,23	2663553	2,49	924636	0,93	**2,57**
	4-Метилтетрадекан	nd	nd	nd	nd	2427645	0,62	491766	0,18	nd	nd	190697	0,18	202916	0,2	**0,17**
	n-Пентадекан	nd	nd	nd	nd	1590061	0,4	983541	0,36	nd	nd	298324	0,28	208214	0,21	**0,18**
	3-Метилпентадекан	nd	nd	nd	nd	622128	0,16	815885	0,3	nd	nd	216877	0,2	410641	0,41	**0,15**
	n-Хексадекан	nd	nd	nd	nd	2364603	0,6	294366	0,11	nd	nd	nd	nd	333680	0,34	**0,15**
	n-Октадекан	nd	nd	nd	nd	1296527	0,33	307827	0,11	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,06**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	425287	2,86	nd	nd	5885998	1,49	5805583	2,14	5635564	2,77	4969691	4,65	8281906	8,32	**3,18**
	Толуен	4154749	27,93	4266550	29,68	32665006	8,29	24686098	9,11	22396022	11,02	18822855	17,59	19694599	19,8	**17,63**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B2 (продолжение)*

VOCs Група	Соединение	Март – Area	Март RA (%)	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Јули – Area	Јули RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Ароматични јаглеводороди	Етилбензен	nd	nd	343697	2,39	8801883	2,23	7126581	2,63	6041816	2,97	4213201	3,94	4774554	4,81	**2,71**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	224728	1,51	1184498	8,24	28050926	7,11	23344503	8,61	19905404	9,8	13420702	12,55	15092755	15,17	**9**
	Изопропилбензен	nd	nd	nd	nd	3966864	1,01	857872	0,32	583069	0,29	322066	0,3	368822	0,37	**0,33**
	n-Пропилбензен	nd	nd	nd	nd	2277192	0,58	1587528	0,6	1155588	0,57	1123561	1,05	760005	0,76	**0,51**
	1-Етил-3-метилбензен	nd	nd	384110	2,67	14963623	3,79	7068646	2,62	5393279	2,65	3482307	3,26	3433031	3,45	**2,63**
	1,3,5-Триметилбензен	152481	1,03	114538	0,81	11824065	3	7944742	2,93	5600721	2,76	3340225	3,12	3275402	3,29	**2,42**
	1-Етил-4-метилбензен	nd	nd	356037	2,48	2817523	0,71	1607128	0,59	1096896	0,54	644357	0,6	754333	0,76	**0,81**
	1-Метил-3-изопропилбензен	nd	nd	102644	0,71	1417524	0,36	1785496	0,66	708846	0,35	1326301	1,24	250585	0,25	**0,51**
	n-Бутилбензен	nd	nd	nd	nd	792138	0,2	1008981	0,37	765732	0,38	201206	0,19	522370	0,53	**0,24**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2656981	0,98	1471722	0,72	661092	0,62	742378	0,75	**0,44**
Терпени	*α*-пинен	149230	1	266401	1,85	11852362	3	6748796	2,49	3212966	1,58	1480729	1,38	925382	0,93	**1,75**
	3-Карен	267357	1,8	nd	nd	1825640	0,46	1278476	0,47	565268	0,28	347368	0,32	362716	0,36	**0,53**
	Лимонен	194354	1,31	nd	nd	3290862	0,83	1243176	0,46	1208894	0,6	760327	0,71	810477	0,81	**0,67**
	Терпинеол	234405	1,58	nd	nd	nd	nd	889579	0,33	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,27**
Органосилоксани	Диметилсиланедиол	nd	nd	nd	nd	857789	0,22	811585	0,3	700982	0,34	328953	0,31	527352	0,53	**0,24**
	Хексаметилциклотрисилоксан	926442	6,23	254475	1,77	9436052	2,39	5730369	2,11	4497467	2,21	1698661	1,59	1905131	1,91	**2,6**
	Октаметилциклотетрасилоксан	1166526	7,84	1170375	8,14	31473744	7,98	27257427	10,06	50046531	24,64	8880835	8,3	6018989	6,06	**10,43**
	Декаметилциклопентасилоксан	663647	4,46	1003631	6,98	15446702	3,91	nd	nd	13979789	6,88	3774043	3,53	1450965	1,46	**3,89**
	Додекаметилциклогексасилоксан	204870	1,38	96838	0,67	1734533	0,44	1195001	0,44	1539952	0,76	461236	0,43	nd	nd	**0,59**
	Тетрадакаметилциклохептасилоксан	nd	nd	nd	nd	2025298	0,51	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,07**
Алкохоли и етери	Бутан-1-ол	nd	nd	231231	1,61	10606924	2,69	867307	0,33	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,66**
	Пент-3-ен-2-ол	nd	nd	nd	nd	4574258	1,16	5093814	1,88	4674764	2,3	2981796	2,79	3335161	3,35	**1,64**
	5-Метилхексан-1-ол	nd	nd	188439	1,31	686102	0,17	610131	0,23	nd	nd	nd	nd	399412	0,4	**0,3**
	2-Бутилоктан-1-ол	nd	nd	nd	nd	1396719	0,35	588252	0,22	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,08**
	2-Етилхексан-1-ол	nd	nd	nd	nd	8774129	2,22	3872824	1,44	2059342	1,01	1267169	1,18	715809	0,72	**0,94**
	Хексадекан-1-ол	nd	nd	nd	nd	639223	0,16	636063	0,23	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,05**
	2-Бутоксиетанол	nd	nd	nd	nd	2540406	0,64	835523	0,31	628929	0,31	369853	0,35	252248	0,25	**0,27**
	1-(2-Бутоксиетокси)етанол	nd	nd	nd	nd	3120171	0,79	2819528	1,04	1438579	0,71	685830	0,64	221719	0,22	**0,49**
	1-Метокси-пропан-2-ол	141132	0,96	225408	1,57	2488566	0,63	759336	0,28	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,49**
	2-(трет-Бутил)циклохексанол	nd	nd	nd	nd	858361	0,22	741647	0,27	nd	nd	nd	nd	327843	0,34	**0,12**
	1-Октилоксиоктан	nd	nd	nd	nd	2114568	0,54	1171088	0,43	nd	nd	nd	nd	180413	0,18	**0,16**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B2 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Март – Area	Март RA (%)	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Јули – Area	Јули RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Алдехиди и кетони	Хексанал	nd	nd	126913	0,88	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	162983	0,16	**0,15**
	Нонанал	nd	nd	142118	0,99	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,14**
	5-Метил*н*-хексан-3-он	129998	0,87	nd	nd	993999	0,25	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,16**
	3,5,5-Триметилциклогекс-2-ен-1-он	159170	1,07	nd	nd	865503	0,22	310613	0,11	nd	nd	nd	nd	183354	0,18	**0,23**
	1-(2,6,6-Триметилциклогекс-1енил) пент-1-ен-3-он	nd	nd	nd	nd	743527	0,19	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,03**
Естери	Метилпропаноат	nd	nd	nd	nd	4864930	1,23	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,18**
	Бутилетаноат	1013351	6,81	nd	nd	8814508	2,23	430388	0,16	600124	0,3	383416	0,36	297400	0,31	**1,45**
	Етил 3-метилбутаноат	nd	nd	1432090	9,96	2265295	0,57	5421415	2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**1,79**
	Диетилфталат	nd	nd	123936	0,86	6928406	1,76	2936772	1,08	1496743	0,74	561262	0,52	nd	nd	**0,71**
	3-Метилбутилбутаноат	171403	1,15	nd	nd	3974967	1,01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,31**
	3-Хексен-1-ил ацетат	nd	nd	467088	3,25	2412952	0,61	1198553	0,44	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,61**
	2-Бутоксиетилетаноат	nd	nd	nd	nd	1373492	0,35	nd	nd	nd	nd	194069	0,18	nd	nd	**0,08**
	1-Метил-1-(4-метилфенил) етилбутаноат	142693	0,96	nd	nd	796224	0,2	596063	0,22	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,2**
	Метилфенилметаноат	262943	1,77	nd	nd	1089978	0,28	305965	0,11	nd	nd	398324	0,37	nd	nd	**0,36**
	Ацетокси(диметил)фенилметанол	nd	nd	nd	nd	1116524	0,28	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,04**
Халогенирани соединенија	4-Хлор*н*-гептан	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9332573	3,44	7728762	3,8	5181596	4,84	5187531	5,21	**2,47**
	Тетрахлоретилен	527672	3,55	313301	2,18	2894688	0,73	3796661	1,4	2500020	1,23	1385923	1,3	1551315	1,56	**1,71**
	Хлорометилацетат	nd	nd	nd	nd	1136046	0,29	2544750	0,94	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,18**
Разно	2,5-Диметилфуран	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	193404	0,19	**0,03**
	2-Метилбутанонитрил	159493	1,07	nd	nd	1171530	0,3	1228505	0,45	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,26**
	3-Метилбутанонитрил	159675	1,07	nd	nd	1409343	0,36	nd	nd	nd	nd	268445	0,25	nd	nd	**0,24**
	Неидентификуван VOC 1	131622	0,88	118810	0,83	8695132	2,2	451383	0,17	4927118	2,43	203113	0,19	226232	0,23	**0,99**
	Неидентификуван VOC 2	210457	1,41	nd	nd	748919	0,19	5407836	2	nd	nd	2066115	1,93	nd	nd	**0,79**
	Неидентификуван VOC 3	152403	1,02	nd	nd	773535	0,2	549548	0,2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,2**
	Неидентификуван VOC 4	199336	1,34	nd	nd	641820	0,16	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,21**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Просек RA (%) *: Просечна релативна застапеност за сите месеци на земање примероци.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.
Табела B2 (продолжение)*: Големината на фонтот е намалена на 7,5 pt поради потребите на распоредот.

Табела B3. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на една продавница за кебап во Косово, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на избрани месечни кампањи (Јуни, Јули, Септември, Октомври, Ноември и Декември 2023 година). За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полуквантитативна анализа.

VOCσ Група	Соединение	Јуни – Area*	Јуни RA (%) *	Јули – Area	Јули RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	2-Метилхексан	549858	4,68	11345667	2,53	13044203	4,2	15707354	7	6302966	5,1	nd	nd	**3,92**
	3-Метилхексан	902112	7,67	17329191	3,86	19874686	6,39	23053144	10,28	7426271	6	619098	0,48	**5,78**
	n-Хептан	300170	2,55	12493908	2,79	7400741	2,38	13289357	5,93	3183066	2,57	3003884	2,34	**3,09**
	2,3-Диметилциклогексан	nd*	nd	nd	nd	422348	0,14	1546174	0,69	nd	nd	507431	0,4	**0,21**
	Метилциклогексан	64714	0,55	4242741	0,95	9344677	3,01	14249039	6,35	3117876	2,52	864164	0,67	**2,34**
	n-Октан	232569	1,98	12664982	2,82	4490611	1,44	1931526	0,86	998178	0,81	1560498	1,22	**1,52**
	1-Метил-4-(1-метилетил) циклогексан	nd	nd	886689	0,2	nd	nd	378540	0,17	1163357	0,94	nd	nd	**0,22**
	2,2,6-Триметилоктан	nd	nd	nd	nd	846898	0,27	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,05**
	3,6-Диметилоктан	nd	nd	nd	nd	2485702	0,8	nd	nd	1017351	0,82	nd	nd	**0,27**
	n-Нонан	135869	1,16	7191535	1,6	2366194	0,76	1122335	0,5	690753	0,56	992553	0,77	**0,89**
	2,3-Диметилпентан	225213	1,92	nd	nd	nd	nd	nd	nd	940106	0,76	336412	0,26	**0,49**
	2-Метилнонан	153003	1,3	nd	nd	nd	nd	1370327	0,61	627058	0,51	nd	nd	**0,4**
	n-Декан	111743	0,95	6193616	1,38	3091237	0,99	1213280	0,54	688216	0,56	967033	0,75	**0,86**
	4-Метилдекан	nd	nd	nd	nd	789115	0,25	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,04**
	n-Ундецан	143768	1,22	8288203	1,85	4137490	1,33	2288024	1,02	nd	nd	454366	0,35	**0,96**
	3-Метилундецан	nd	nd	nd	nd	488076	0,16	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,03**
	3,7-Диметилдекан	nd	nd	nd	nd	984393	0,32	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,05**
	n-Додекан	139411	1,19	6678668	1,49	13925124	4,48	2566811	1,14	1177868	0,95	1046342	0,82	**1,68**
	2-Метилдодекан	nd	nd	1290596	0,29	423771	0,14	286523	0,13	nd	nd	nd	nd	**0,09**
	n-Тридецан	102495	0,87	6761997	1,51	2397871	0,77	1424506	0,64	676801	0,55	646290	0,5	**0,81**
	7-Метилтридецан	nd	nd	nd	nd	1279634	0,41	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,07**
	n-Тетрадекан	217599	1,85	8212512	1,83	12185642	3,92	3739311	1,67	1386737	1,12	655391	0,51	**1,82**
	n-Пентадекан	nd	nd	7326976	1,63	1658664	0,53	445823	0,2	295173	0,24	nd	nd	**0,43**
	3-Метилпентадекан	nd	nd	nd	nd	534042	0,17	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,03**
	n-Хексадекан	69412	0,59	9354099	2,09	2169000	0,7	nd	nd	233192	0,19	nd	nd	**0,6**
	n-Октадекан	nd	nd	nd	nd	nd	nd	364975	0,16	nd	nd	300606	0,23	**0,07**
	Декахидронафталин	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	229293	0,19	nd	nd	**0,03**
	Тридец-1-ен	532704	4,53	nd	nd	nd	nd	473044	0,21	nd	nd	241223	0,19	**0,82**
	Окт-1-ен	195394	1,66	nd	nd	2862178	0,92	1734746	0,77	638598	0,52	1245346	0,97	**0,81**
	Дек-1-ен	322343	2,74	nd	nd	3934676	1,27	1692028	0,75	980619	0,79	1715604	1,34	**1,15**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B3 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Јули – Area	Јули RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Алифатични Јаглеводороди	Тетрадец-1-ен	109423	0,93	nd	nd	4829081	1,55	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,41**
	Нонадек-1-ен	nd	nd	nd	nd	714011	0,23	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,04**
	Додец-1-ен	237869	2,02	nd	nd	8169070	2,63	1641477	0,73	636094	0,51	nd	nd	**0,98**
	1-Метил-2-пропилциклогексан	49481	0,42	1194235	0,27	1289360	0,41	1619165	0,72	330476	0,27	nd	nd	**0,35**
	Пентилциклогексан	68238	0,58	1455675	0,32	3801560	1,22	1254276	0,56	244248	0,2	nd	nd	**0,48**
	1-Метил-2-пентилциклогексан	nd	nd	1440893	0,32	1180652	0,38	1172780	0,52	nd	nd	nd	nd	**0,2**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	777162	6,62	26277744	5,86	13462392	4,33	9561642	4,26	7950552	6,43	11156346	8,69	**6,03**
	Толуен	716552	6,09	26149149	5,83	17507443	5,63	14313171	6,38	9217388	7,45	10511853	8,19	**6,59**
	Етилбензен	199336	1,7	8734920	1,95	5431279	1,75	4147415	1,85	2856561	2,31	3283485	2,56	**2,02**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	386793	3,29	15642961	3,49	14108368	4,54	12184869	5,43	8243629	6,66	7416991	5,78	**4,86**
	Стирен	nd	nd	nd	nd	nd	nd	266845	0,13	nd	nd	225753	0,17	**0,05**
	Изопропилбензен	42904	0,36	1639191	0,36	1032894	0,33	320814	0,14	758500	0,61	nd	nd	**0,3**
	n-Пропилбензен	47963	0,42	2295992	0,51	1146364	0,37	803880	0,36	566837	0,46	625047	0,49	**0,43**
	1-Етил-3-метилбензен	114245	0,97	5182938	1,15	1032133	0,33	2664067	1,2	1997248	1,61	2497515	1,95	**1,2**
	1,3,5-Триметилбензен	39801	0,34	1823321	0,41	1142759	0,37	4658640	2,08	2958838	2,39	3528392	2,75	**1,39**
	1-Етил-4-метилбензен	nd	nd	1822311	0,41	2980695	0,96	751734	0,34	483302	0,39	800063	0,62	**0,45**
	1-Метил-3-изопропилбензен	47450	0,4	3960233	0,88	436150	0,14	1555808	0,69	920336	0,74	1361199	1,06	**0,65**
	n-Бутилбензен	nd	nd	2915513	0,65	1082190	0,35	790101	0,35	245418	0,2	432858	0,34	**0,32**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	2405206	0,54	2215210	0,71	825044	0,37	471186	0,38	448228	0,35	**0,39**
Терпени	*α*-Пинен	128712	1,09	5620535	1,25	5626559	1,81	3916924	1,75	3320404	2,68	3116688	2,43	**1,84**
	Лимонен	203725	1,73	11642296	2,6	6206858	2	5577918	2,49	4890849	3,95	5604649	4,37	**2,86**
	Терпинеол	nd	nd	nd	nd	6463070	2,08	1113214	0,5	577033	0,47	998805	0,78	**0,64**
	Нопинен	nd	nd	nd	nd	1671245	0,54	842185	0,38	nd	nd	526294	0,41	**0,22**
	Ментол	nd	nd	nd	nd	2142306	0,69	nd	nd	1143614	0,92	nd	nd	**0,27**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	98181	0,83	2255893	0,5	1488705	0,48	1399144	0,62	1034772	0,84	537134	0,42	**0,62**
	Декаметилциклопентасилоксан	734304	6,24	15341227	3,42	nd	nd	9775677	4,36	7666014	6,2	7237536	5,64	**4,31**
	Додекаметилциклогексасилоксан	nd	nd	961039	0,21	nd	nd	430741	0,19	269173	0,22	nd	nd	**0,1**
Алкохоли и етери	Пентан-1-ол	65017	0,55	6352866	1,42	537559	0,17	1732086	0,77	nd	nd	688989	0,54	**0,57**
	Хексан-1-ол	nd	nd	6275424	1,4	638058	0,2	1376359	0,61	902426	0,73	1409581	1,1	**0,67**
	1-Метоксипропан-2-ол	1838561	15,63	55502913	12,38	35835267	11,52	26349764	11,75	19491001	15,76	22207441	17,3	**14,06**
	1-Октен-3-ол	nd	nd	6223759	1,39	8559953	2,75	3896472	1,74	2586300	2,09	2427638	1,89	**1,64**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B3 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Јуни – Area	Јуни RA (%)	Јули – Area	Јули RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Алкохоли и етери	2-Етилхексан-1-ол	99108	0,84	11218977	2,5	2523556	0,81	382506	0,17	315501	0,25	nd	nd	**0,76**
	Декан-2-ол	nd	nd	7300119	1,63	1788456	0,57	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,37**
	2,6-Диметил-7-октен-2-ол	90117	0,77	2590373	0,58	4554198	1,46	2272347	1,01	2939532	2,38	1687162	1,31	**1,25**
	Тетрадакан-1-ол	nd	nd	16619580	3,71	6093166	1,96	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,94**
	6-Метилциклогекс-2-ен-1-ол	42758	0,36	1757270	0,39	1311105	0,42	nd	nd	nd	nd	1649090	1,28	**0,41**
	1,2-Диметоксиетилбензен	nd	nd	1226761	0,27	1342687	0,43	nd	nd	251079	0,2	310657	0,24	**0,19**
Алдехиди и кетони	4-метилпентан-2-он	nd	nd	4447856	0,99	449451	0,14	1180591	0,53	nd	nd	237167	0,18	**0,31**
	2-Фуранкарбалдехид	47862	0,41	1314473	0,29	620866	0,2	1152835	0,51	410655	0,33	1369728	1,07	**0,47**
	2-Метил-5-(1-метилетил) циклогексан-1-он	52805	0,45	3382783	0,75	2024145	0,65	605278	0,27	284311	0,23	414684	0,32	**0,44**
	Деканал	325499	2,77	4288339	0,96	3050291	0,98	1861550	0,83	1039595	0,84	3441546	2,68	**1,51**
	Хексанал	114317	0,97	5407957	1,2	1427257	0,46	1234298	0,55	777694	0,63	4399687	3,43	**1,21**
	6-Метил-5-хептен-2-он	46990	0,4	3971779	0,89	1267450	0,41	1010849	0,45	489529	0,4	774973	0,6	**0,52**
	Хептанал	236615	2,01	1081144	0,24	1199844	0,39	1387931	0,63	661059	0,53	1739470	1,36	**0,86**
Естери	Метил 2-метилпропаноат	nd	nd	2494036	0,56	679664	0,22	469057	0,21	700831	0,57	403793	0,31	**0,31**
	Метил карбамат	nd	nd	1108819	0,25	637059	0,2	1220863	0,54	988802	0,8	806829	0,63	**0,4**
	Фенилметанол ацетат	nd	nd	9078574	2,02	917755	0,3	567699	0,25	308142	0,25	330745	0,26	**0,51**
	Метил 4-метоксибензоат	nd	nd	nd	nd	1049893	0,34	392729	0,18	329600	0,27	783064	0,61	**0,23**
	Пентадецил пентаноат	nd	nd	nd	nd	1274346	0,41	1214783	0,54	nd	nd	nd	nd	**0,16**
	4-(1,1-Диметилетил)циклогексил ацетат	nd	nd	3935529	0,88	1780045	0,57	1014428	0,45	236879	0,19	330982	0,26	**0,39**
	Диетил фталат	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1280540	0,57	461432	0,37	nd	nd	**0,16**
Халогенирани соединенија	1,4-Дихлорбензен	239976	2,04	2107444	0,47	1367957	0,44	673576	0,3	621566	0,5	5319312	4,14	**1,32**
	Хлорометил ацетат	nd	nd	2833735	0,63	1582326	0,51	1414590	0,63	993048	0,8	931617	0,73	**0,55**
Разно	Неидентификуван VOC 1	159758	1,36	2207133	0,49	700416	0,23	308145	0,14	355983	0,29	309376	0,24	**0,46**
	Неидентификуван VOC 2	nd	nd	14020687	3,13	2738082	0,88	496890	0,22	nd	nd	320841	0,25	**0,75**
	Неидентификуван VOC 3	nd	nd	2983516	0,67	426128	0,14	290243	0,13	nd	nd	244394	0,19	**0,19**
	Неидентификуван VOC 4	nd	nd	4595042	1,02	6864167	2,21	nd	nd	nd	nd	360943	0,28	**0,59**
	Неидентификуван VOC 5	nd	nd	1437807	0,32	725451	0,23	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,09**
	Неидентификуван VOC 6	nd	nd	1913189	0,43	678009	0,22	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,11**
	Неидентификуван VOC 7	nd	nd	1733199	0,39	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,07**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Просек RA (%) *: Просечна релативна застапеност за сите месеци на земање примероци.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела B4. VOCs ови детектирани во внатрешниот воздух на фризерски салон во Косово, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на кампањата за земање примероци од јули до декември 2023 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полуквантитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Јули – Area*	Јули RA (%) *	Август – Area	Август RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	3-Метилхексан	nd*	nd	1740109	0,09	5721450	0,34	2139406	0,17	nd	nd	nd	nd	**0,10**
	1,3-Циклохексадиен	6011794	0,21	5987052	0,3	2047332	0,12	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,11**
	n-Хептан	3351727	0,12	2602388	0,13	5211935	0,31	4870634	0,39	nd	nd	nd	nd	**0,16**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	187582906	6,51	133308888	6,63	65112068	3,86	44136100	3,56	42841699	3,5	37910941	3,58	**4,61**
	Метилциклогексан	3417385	0,12	2186299	0,11	4550764	0,27	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,08**
	Циклодекан	4917546	0,17	1702381	0,08	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,04**
	n-Декан	3401571	0,12	1711145	0,09	2433451	0,14	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,06**
	4-Метилдекан	4124252	0,14	1894860	0,09	2329180	0,14	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,06**
	n-Ундекан	nd	nd	72432634	3,6	216126625	12,81	48890479	3,94	nd	nd	nd	nd	**3,39**
	2,4-Диметилундекан	nd	nd	nd	nd	3654232	0,22	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,04**
	n-Додекан	7408575	0,26	6756087	0,34	20001301	1,19	14479576	1,17	11192074	0,91	6853657	0,65	**0,75**
	n-Тридекан	9753948	0,34	9394088	0,47	65869439	3,9	12601079	1,02	7597238	0,62	3685779	0,35	**1,12**
	5-Метилтридекан	nd	nd	2112770	0,11	2964302	0,18	4707533	0,38	nd	nd	nd	nd	**0,11**
	n-Тетрадекан	13704732	0,48	7931462	0,39	13976991	0,83	8498605	0,69	7979154	0,65	3566932	0,34	**0,56**
	4-Метилтетрадекан	7722385	0,27	4565118	0,23	4491055	0,27	3260131	0,26	nd	nd	nd	nd	**0,17**
	n-Пентадекан	nd	nd	nd	nd	3753715	0,22	2372397	0,19	nd	nd	nd	nd	**0,07**
	3-Метилпентадекан	nd	nd	nd	nd	3934697	0,23	3937258	0,32	4726695	0,39	5536592	0,52	**0,24**
	1-(Циклохексилметил)-2-метилциклогексан	3737202	0,13	nd	nd	6258137	0,37	3874151	0,31	nd	nd	nd	nd	**0,14**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	6882810	0,24	5753390	0,29	10763923	0,64	6267082	0,51	6713178	0,55	8236803	0,78	**0,50**
	Толуен	25786443	0,89	23012497	1,14	45062322	2,67	23157558	1,87	14366616	1,17	13376310	1,26	**1,50**
	Етилбензен	10290713	0,36	7405048	0,37	14576172	0,86	8366044	0,67	5329243	0,44	5423427	0,51	**0,53**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	21138300	0,73	17154934	0,85	41830343	2,48	21431606	1,73	10117409	0,83	9065332	0,85	**1,24**
	1-Етил-3-метилбензен	nd	nd	2566064	0,13	7715757	0,46	4558903	0,37	7029655	0,57	6026495	0,57	**0,35**
	1,3,5-Триметилбензен	13678041	0,47	6987995	0,35	14447819	0,86	7874837	0,63	5595949	0,46	6755482	0,64	**0,57**
	1-Етил-4-метилбензен	3664050	0,13	1686174	0,09	4501137	0,27	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,08**
	1-Метил-3-изопропилбензен	12969072	0,45	8263962	0,41	5104462	0,3	6445993	0,52	6422461	0,52	7156205	0,68	**0,48**
	n-Бутилбензен	nd	nd	nd	nd	2118678	0,12	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,02**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	nd	nd	2533735	0,15	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,03**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B4 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Јули – Area	Јули RA (%)	Август – Area	Август RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Терпени	*α*-Пинен	26493708	0,92	20241798	1,01	20965952	1,24	15110331	1,22	11562902	0,94	10482542	0,99	**1,05**
	3-Карен	113181751	3,93	2426072	0,12	nd	nd	11132039	0,9	nd	nd	nd	nd	**0,83**
	Лимонен	nd	nd	60127102	2,99	28477224	1,69	47263233	3,81	50717298	4,14	77634140	7,33	**3,33**
	Терпинеол	44019912	1,53	16302181	0,81	10214047	0,61	2651422	0,21	nd	nd	13731652	1,3	**0,74**
	Еукалиптол	nd	nd	33753220	1,68	21926608	1,3	26020250	2,1	26010047	2,12	nd	nd	**1,20**
Органосилоксани	Диметилсиландиаол	5553800	0,19	4703554	0,23	nd	nd	nd	nd	8019228	0,65	nd	nd	**0,18**
	Хексаметилдисилоксан	19772762	0,69	29579603	1,47	3892780	0,23	3444341	0,28	nd	nd	nd	nd	**0,45**
	Хексаметилциклотрисилоксан	32256596	1,12	21303040	1,06	4775384	0,28	3987037	0,32	6842229	0,56	3958309	0,37	**0,62**
	Октаметилтрисилоксан	163868725	5,69	192750479	9,59	129353261	7,66	165355376	13,33	143379207	11,71	66960245	6,32	**9,05**
	Октаметилциклотетрасилоксан	67927146	2,36	46858655	2,33	11928478	0,71	25587329	2,06	21394833	1,75	23931329	2,26	**1,91**
	Метилтрис(триметилсилокси)силан	272376995	9,45	79513244	3,96	52258710	3,1	22808482	1,84	63501290	5,18	57315705	5,41	**4,82**
	Декаметилциклопентасилоксан	741672373	25,73	560145647	27,87	399996939	23,7	406308898	32,75	482705212	39,41	447538675	42,25	**31,95**
	Додекаметилциклогексасилоксан	12371925	0,43	60509085	3,01	32367715	1,92	23066584	1,86	21097935	1,72	10412638	0,98	**1,65**
	Додекаметилпентасилоксан	161822614	5,61	119870120	5,96	56733711	3,36	31353492	2,53	27701528	2,26	17574549	1,66	**3,56**
	Тетрадекаметилхексасилоксан	11254326	0,39	1850187	0,09	7814146	0,46	nd	nd	2763293	0,23	nd	nd	**0,20**
	Тетрадекаметилциклохептасилоксан	5480266	0,19	1937939	0,1	1866116	0,11	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,07**
Алкохоли и етери	Бутан-1-ол	15997785	0,55	15528320	0,77	16881378	1	11884133	0,96	8965837	0,73	7351157	0,69	**0,78**
	1,1'-Оксибис(додекан)	3701825	0,13	nd	nd	2760631	0,16	3848444	0,31	5542292	0,45	nd	nd	**0,18**
	3-Метилбутан-1-ол	16693470	0,58	7815697	0,4	8022802	0,47	6139521	0,49	nd	nd	6864688	0,65	**0,43**
	Пропан-1,2-диол	28071772	0,97	12495511	0,62	26713625	1,58	2744606	0,22	11844976	0,97	nd	nd	**0,73**
	Епицедрол	4533172	0,16	1970406	0,1	2680892	0,16	2855395	0,23	nd	nd	nd	nd	**0,11**
	Хексан-1-ол	9242874	0,32	8307640	0,41	3123651	0,18	3025355	0,24	3013492	0,25	21164152	2	**0,57**
	Бензил алкохол	31864390	1,1	22392896	1,11	8613656	0,51	9938929	0,8	8116965	0,66	5749226	0,54	**0,79**
	Додекан-1-ол	10687027	0,37	2375781	0,12	2581738	0,15	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,11**
	3,5,5-Триметилхексан-1-ол	19474692	0,68	15099929	0,75	7716108	0,46	7981335	0,64	8003960	0,65	8448898	0,8	**0,66**
	1-Метокси пропан-2-ол	19097009	0,66	nd	nd	3349181	0,2	16335816	1,32	18200848	1,49	nd	nd	**0,61**
	1-Бутокси пропан-2-ол	3727481	0,13	3553428	0,18	4154238	0,25	nd	nd	nd	nd	20180685	1,9	**0,41**
	3,7-Диметилоктан-3-ол	58177331	2,02	22806714	1,13	10245065	0,61	15821189	1,28	53062561	4,33	54096250	5,11	**2,41**
	2-Фенилетанол	9541952	0,33	5748143	0,29	4691597	0,28	3090017	0,25	6239625	0,51	nd	nd	**0,28**
	2-Бутилоктан-1-ол	6340343	0,22	nd	nd	9198025	0,54	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,13**
	2-Феноксиетанол	13934744	0,48	7230090	0,37	6998408	0,41	4809059	0,39	nd	nd	2311876	0,22	**0,31**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B4 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Јули – Area	Јули RA (%)	Август – Area	Август RA (%)	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Алкохоли и етери	5-Метил-2-(1-метилетил) циклогексан-1-ол	36336006	1,26	14316593	0,71	4264873	0,25	3268610	0,26	5223203	0,43	nd	nd	**0,48**
Алдехиди и кетони	3,7-Диметилокт-6-енал	4487437	0,15	1686192	0,08	4672133	0,28	2730595	0,22	3180300	0,26	2918168	0,27	**0,21**
	1,2,3,4,5-Пентаметилинден	20257500	0,7	11978229	0,6	4569116	0,27	nd	nd	nd	nd	3864240	0,36	**0,32**
	2,4-Диметилпентан-3-он	4662102	0,16	6607686	0,33	4530928	0,27	3227192	0,26	2533103	0,21	nd	nd	**0,21**
	Бензалдехид	4221565	0,15	2908533	0,14	2229062	0,13	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,07**
	4-Метилциклопентадекан-1-он	11573887	0,4	8706998	0,43	6598786	0,39	4990879	0,4	6574376	0,54	3898520	0,37	**0,42**
	1-(2,6,6-Триметил-1-циклогексен-1-ил)-1-пентен-3-он	24832746	0,86	13478377	0,67	10604972	0,63	4106648	0,33	nd	nd	2641896	0,25	**0,46**
Естери	Бутил етаноат	20432597	0,71	20176865	1	5802828	0,34	8290535	0,67	21962011	1,79	3746015	0,35	**0,81**
	Нонил 2-метилпропаноат	65436969	2,27	28941587	1,44	42285918	2,51	20111865	1,62	12912424	1,05	6712910	0,63	**1,59**
	Бензил етаноат	34635980	1,2	25478806	1,27	6349730	0,38	6046356	0,49	8674540	0,71	19530300	1,84	**0,98**
	Изопулегил ацетат	55418679	1,92	7485008	0,37	4916493	0,29	4969184	0,4	4154648	0,34	nd	nd	**0,55**
	Етил бутаноат	45958752	1,59	23033392	1,15	18977113	1,12	17229534	1,39	3411833	0,28	3674297	0,35	**0,98**
	3-Метилбутил етаноат	30891350	1,07	21383748	1,06	17760350	1,05	14291712	1,15	11288040	0,92	4863224	0,46	**0,95**
	2-(Циклогексил)-2-метилпропил етаноат	34449783	1,2	66544028	3,31	12610942	0,75	5199929	0,42	9343810	0,76	4209553	0,4	**1,14**
	Диетил фталат	50928119	1,77	23388006	1,16	34163467	2,02	21476967	1,73	14031379	1,15	6191815	0,58	**1,40**
Халогенирани соединенија	1-Хлорооктан	nd	nd	1612829	0,08	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,01**
	Тетрахлоретилен	nd	nd	1628443	0,08	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,01**
	Хлорометил ацетат	nd	nd	2400425	0,12	2155079	0,13	3169730	0,25	nd	nd	nd	nd	**0,08**
Разно	Неидентификуван VOC 1	11722338	0,41	2481102	0,12	2975208	0,18	3958666	0,32	2965845	0,24	2528606	0,24	**0,25**
	Неидентификуван VOC 2	3880253	0,13	15226996	0,76	2301709	0,14	13050452	1,05	nd	nd	2403262	0,23	**0,38**
	Неидентификуван VOC 3	5738593	0,2	2888442	0,14	5502721	0,33	nd	nd	nd	nd	5814704	0,55	**0,20**
	Неидентификуван VOC 4	96413992	3,35	3215527	0,16	3579724	0,21	nd	nd	nd	nd	10278291	0,97	**0,78**
	Неидентификуван VOC 5	6818208	0,24	nd	nd	11548093	0,68	nd	nd	nd	nd	3941892	0,37	**0,22**
	Неидентификуван VOC 6	21374484	0,74	nd	nd	1836766	0,11	nd	nd	nd	nd	2816570	0,27	**0,19**
	Неидентификуван VOC 7	12986455	0,45	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,08**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Просек RA (%) *: Просечна релативна застапеност за сите месеци на земање примероци.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела B5. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на училница во училиште во Косово, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на кампањата за земање примероци од септември до декември 2023 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полуквантитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Септември Area*	Септември RA (%) *	Октомври Area	Октомври RA (%)	Ноември Area	Ноември RA (%)	Декември Area	Декември RA (%)	Просек RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	*n*-Октадекан	nd*	nd	nd	nd	nd	nd	67245605	1,87	**0,47**
	3-Метилхексан	745687	0,28	754470	0,31	12217842	4,43	121329468	3,38	**2,1**
	Хексаметил-1,3-циклогексадиен	nd	nd	nd	nd	538358	0,2	25133532	0,7	**0,23**
	n-Хептан	2242152	0,85	nd	nd	2924540	1,06	22496615	0,63	**0,63**
	3-Метилхептан	nd	nd	nd	nd	2728169	0,99	19766284	0,55	**0,39**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	nd	nd	454501	0,18	477819	0,17	63125827	1,77	**0,53**
	2,2,4-Триметилхептан	nd	nd	nd	nd	1023339	0,37	20716124	0,58	**0,24**
	Метилциклогексан	13376092	5,07	67066184	27,28	31977565	11,59	102920347	2,87	**11,7**
	n-Октан	905097	0,34	664982	0,27	1896517	0,69	119557855	3,33	**1,16**
	3-Метилоктан	588003	0,22	nd	nd	2164624	0,78	47276181	1,32	**0,58**
	2,2,6-Триметилоктан	nd	nd	nd	nd	538758	0,2	54922073	1,53	**0,43**
	3,6-Диметилоктан	nd	nd	400460	0,16	3447758	1,25	152114449	4,24	**1,41**
	n-Нонан	1042072	0,4	708781	0,29	7018219	2,54	117177888	3,27	**1,63**
	3,7-Диметилнонан	nd	nd	354989	0,14	14513849	5,26	182382452	5,08	**2,62**
	Додец-2-ен	789949	0,3	nd	nd	535466	0,19	8754724	0,24	**0,18**
	n-Декан	3290831	1,25	1490842	0,61	10390905	3,76	253059418	7,05	**3,17**
	4-Метилдекан	nd	nd	nd	nd	4805717	1,74	89503228	2,5	**1,06**
	n-Ундекан	3220506	1,22	1802222	0,73	6173846	2,24	148674987	4,14	**2,08**
	2,4-Диметилундекан	659659	0,25	nd	nd	751142	0,27	45999442	1,28	**0,45**
	n-Додекан	14883090	5,64	2420130	0,98	2192047	0,79	127056046	3,54	**2,74**
	n-Тридекан	1456423	0,55	862315	0,35	1001917	0,36	43841916	1,22	**0,62**
	5-Метилтридекан	1611388	0,61	nd	nd	1567829	0,57	41957846	1,17	**0,59**
	n-Тетрадекан	10788240	4,09	3913360	1,59	3431294	1,24	20456486	0,57	**1,87**
	4-Метилтетрадекан	nd	nd	nd	nd	nd	nd	67224990	1,87	**0,47**
	n-Пентадекан	557613	0,21	nd	nd	1492075	0,54	135224278	3,77	**1,13**
	3-Метилпентадекан	719193	0,27	nd	nd	671064	0,24	89752168	2,5	**0,75**
	Тетрадец-7-ен	5409208	2,05	nd	nd	468078	0,17	38977705	1,09	**0,83**
	Циклотетрадекан	6976303	2,64	413609	0,17	3070030	1,11	133357611	3,72	**1,91**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	3527532	1,34	4656896	1,89	3435376	1,24	10852367	0,3	**1,19**
	Толуен	12124689	4,6	9818633	3,99	43100187	15,62	64559319	1,81	**6,5**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B5 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Ароматични јаглеводороди	Етилбензен	4785742	1,81	3612221	1,47	4905163	1,78	71128875	1,98	**1,76**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	11217687	4,25	7991959	3,25	14031790	5,08	193139686	5,38	**4,49**
	Изопропилбензен	809040	0,31	514718	0,21	767918	0,28	26887694	0,75	**0,39**
	n-Пропилбензен	1256841	0,48	915009	0,37	2262352	0,82	87193940	2,43	**1,02**
	1-Етил-3-метилбензен	2480985	0,94	2048021	0,83	813425	0,29	33284919	0,93	**0,75**
	1,3,5-Триметилбензен	1126039	0,43	3560201	1,45	4823914	1,75	130121472	3,63	**1,81**
	1-Етил-4-метилбензен	1868378	0,71	503374	0,2	989641	0,36	62791123	1,75	**0,75**
	1-Метил-3-изопропилбензен	762432	0,29	nd	nd	1032896	0,37	48217655	1,34	**0,5**
	n-Бутилбензен	nd	nd	nd	nd	769698	0,28	50058875	1,4	**0,42**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	1049506	0,44	3085953	1,12	82564496	2,3	**0,97**
Терпени	*α*-пинен	7841223	2,97	4337721	1,76	nd	nd	nd	nd	**1,18**
	Камфен	688733	0,26	966437	0,39	2790185	1,01	nd	nd	**0,41**
	Лимонен	3574915	1,36	4174209	1,71	13671936	4,95	56360214	1,57	**2,4**
	Ментол	1504238	0,57	791073	0,32	972258	0,35	nd	nd	**0,31**
Органосилоксани	Октаметилтрисилоксан	nd	nd	nd	nd	634832	0,23	nd	nd	**0,06**
	Октаметилциклотетрасилоксан	1985053	0,75	1275730	0,53	1135387	0,41	nd	nd	**0,42**
	Декаметилциклопентасилоксан	24992229	9,48	36111858	14,7	15076398	5,46	40141842	1,12	**7,69**
	Додекаметилциклогексасилоксан	1044592	0,4	837779	0,34	745324	0,27	nd	nd	**0,25**
Алкохоли и етери	Бутан-1-ол	12499459	4,74	9194522	3,74	6379268	2,31	nd	nd	**2,7**
	1,1'-Оксибис(*n*-октан)	606617	0,23	4063177	1,65	nd	nd	14861490	0,41	**0,57**
	3-Метилбутан-1-ол	592675	0,22	552595	0,22	nd	nd	nd	nd	**0,11**
	2-Етилхексан-1-ол	6759401	2,56	4753536	1,93	nd	nd	nd	nd	**1,12**
	Епицедрол	715167	0,27	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,07**
	Пентан-1-ол	5779723	2,19	3119308	1,27	711502	0,26	nd	nd	**0,93**
	2-Бутил-1-октанол	1272512	0,48	nd	nd	998787	0,36	13134991	0,37	**0,3**
	1-Октадеканол	809658	0,31	nd	nd	1156117	0,42	15064381	0,42	**0,29**
	1-(2-бутоксиетокси)етанол	4503838	1,71	1707163	0,69	553896	0,2	nd	nd	**0,65**
	1-Метокси-2-пропанол	778055	0,29	639363	0,26	nd	nd	nd	nd	**0,14**
	2-Бутоксиетанол	1359263	0,51	1235410	0,5	551633	0,2	nd	nd	**0,3**
	2,6-Диметил-7-октен-2-ол	1737681	0,66	2185067	0,9	1054369	0,38	nd	nd	**0,48**
	Хексан-1-ол	537556	0,2	345915	0,14	nd	nd	nd	nd	**0,09**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B5 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Алкохоли и етери	Пент-1-ен-3-ол	656100	0,25	434176	0,18	nd	nd	nd	nd	**0,11**
	Пент-3-ен-2-ол	3305122	1,25	3494969	1,42	1723605	0,62	nd	nd	**0,82**
	Бис(2-етоксиетил)етер	5526223	2,1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,52**
	2-Феноксиетанол	1379794	0,52	744753	0,3	nd	nd	nd	nd	**0,21**
Алдехиди и кетони	2-Фуралдегид	nd	nd	319900	0,13	nd	nd	nd	nd	**0,03**
	Хептан-2-он	1878888	0,71	1308182	0,53	797909	0,29	24258334	0,68	**0,55**
	2,4-Диметилпентан-3-он	3186954	1,21	1699906	0,69	nd	nd	49449250	1,38	**0,82**
	Бензалдехид	540661	0,2	1752847	0,71	nd	nd	nd	nd	**0,23**
	Хептанал	700930	0,27	1467218	0,61	nd	nd	nd	nd	**0,22**
	1-(2,6,6-Триметилциклогекс-1-ен-1-ил)-1-пентен-3-он	2519270	0,96	1877881	0,76	482609	0,17	15328317	0,43	**0,58**
Естери	Бутил етаноат	4932226	1,87	3699077	1,5	2560075	0,93	8307724	0,23	**1,13**
	Нонил 2-метилпропаноат	10127754	3,84	4138040	1,68	3031321	1,1	nd	nd	**1,65**
	Бензил етаноат	2530673	0,96	2088136	0,85	738431	0,27	23377951	0,65	**0,68**
	Изопулегил ацетат	2419055	0,92	1196414	0,49	937553	0,34	nd	nd	**0,44**
	Етил бутаноат	516172	0,2	835322	0,34	1836618	0,67	nd	nd	**0,3**
	3-Метилбутил етаноат	6454095	2,45	2950279	1,2	4083204	1,48	nd	nd	**1,28**
	Октил ундек-10-еноат	1603970	0,61	9106962	3,7	2424191	0,88	nd	nd	**1,3**
	Диетилфталат	4765148	1,81	3211692	1,31	1375524	0,5	nd	nd	**0,91**
	Бутил бутаноат	5296408	2,01	994742	0,4	661551	0,24	nd	nd	**0,66**
	Ацетокси(диметил)бензенметанол	nd	nd	1472226	0,6	nd	nd	nd	nd	**0,15**
Халогенирани соединенија	1,4-Дихлорбензен	nd	nd	1157654	0,47	nd	nd	11509775	0,32	**0,2**
	Тетрахлоретилен	1580850	0,6	3415286	1,39	1284860	0,47	nd	nd	**0,62**
	Хлорометил ацетат	1942783	0,74	1160630	0,47	953838	0,35	nd	nd	**0,39**
Разно	2,5-Диметилфуран	nd	nd	400203	0,16	nd	nd	nd	nd	**0,04**
	Неидентификуван VOC 1	577848	0,22	906317	0,37	4205900	1,52	14158995	0,39	**0,63**
	Неидентификуван VOC 2	1060187	0,4	560133	0,23	489284	0,18	22562582	0,63	**0,36**
	Неидентификуван VOC 3	5361295	2,03	351805	0,14	1697927	0,62	15676310	0,44	**0,81**
	Неидентификуван VOC 4	523373	0,2	873496	0,36	1085852	0,39	42214325	1,18	**0,53**
	Неидентификуван VOC 5	712526	0,27	532594	0,22	520330	0,19	nd	nd	**0,17**
	Неидентификуван VOC 6	4209555	1,6	761335	0,31	656564	0,24	nd	nd	**0,54**
	Неидентификуван VOC 7	644854	0,24	656119	0,27	nd	nd	nd	nd	**0,13**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Просек RA (%) *: Просечна релативна застапеност за сите месеци на земање примероци.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела B6. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на училишен ходник во Косово, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на кампањата за земање примероци од септември до декември 2023 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полуквантитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Септември Area*	Септември RA (%)*	Октомври Area	Октомври RA (%)	Ноември Area	Ноември RA (%)	Декември Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)*
Алифатични јаглеводороди	*n*-Октадекан	331443	0,2	243922	0,19	nd	nd	nd	nd	**0,1**
	3-Метилхексан	1750099	1,05	1597799	1,24	nd	nd	3375388	0,45	**0,69**
	1,3-Диметилциклогексан	527097	0,32	611607	0,48	2633511	0,92	13809955	1,86	**0,9**
	1,2-Диетилциклопентан	322117	0,19	313679	0,24	699149	0,24	6669073	0,9	**0,39**
	1,1,3-Триметилциклогексан	nd*	nd	147241	0,11	3561469	1,24	17064895	2,3	**0,91**
	1-Етил-3-метилциклогексан	nd	nd	221447	0,17	3838483	1,34	18892725	2,54	**1,01**
	1-Етил-2,4-диметилциклогексан	361211	0,22	290593	0,23	1114596	0,39	5094028	0,69	**0,38**
	1-Метил-2-пропилциклопентан	366288	0,22	nd	nd	3012315	1,05	7399988	1	**0,57**
	1,1,2,3-Тетраметилциклогексан	nd	nd	nd	nd	4343750	1,52	18520834	2,49	**1**
	1-Метил-4-(1-метилетил)циклогексан	nd	nd	nd	nd	1351948	0,47	17802267	2,4	**0,72**
	n-Хептан	4344573	2,61	4234091	3,3	4231416	1,48	6078731	0,82	**2,05**
	3-Метилхептан	1399979	0,84	1037699	0,81	1439897	0,5	5920631	0,8	**0,74**
	3-Етил-2-метилхептан	899616	0,54	783300	0,61	4049890	1,41	15594053	2,1	**1,16**
	2,6-Диметилхептан	nd	nd	401481	0,31	1881552	0,66	10075291	1,36	**0,58**
	Метилциклогексан	2243746	1,35	4911921	3,82	5938736	2,07	10420265	1,4	**2,16**
	Етилциклопентан	455764	0,27	182619	0,14	500438	0,17	11236245	1,51	**0,52**
	Бутилциклопентан	377555	0,23	nd	nd	2227985	0,78	12278886	1,65	**0,67**
	Пропилциклогексан	398626	0,24	163873	0,13	5514676	1,93	12939602	1,74	**1,01**
	n-Октан	795113	0,48	682955	0,53	2822182	0,99	16699424	2,25	**1,06**
	3-Метилоктан	260010	0,16	236009	0,18	3766744	1,32	18884762	2,54	**1,05**
	2,2,6-Триметилоктан	nd	nd	669101	0,52	nd	nd	nd	nd	**0,13**
	2,6-Диметилоктан	nd	nd	674611	0,53	5107236	1,78	23714449	3,19	**1,37**
	n-Нонан	851421	0,51	685249	0,53	9260750	3,23	36820514	4,96	**2,31**
	4-Метилнонан	784442	0,47	606024	0,47	12488476	4,36	46969218	6,32	**2,9**
	3,7-Диметилнонан	444877	0,27	nd	nd	8401473	2,93	25692947	3,46	**1,67**
	2-Додецен	886071	0,53	145705	0,11	nd	nd	nd	nd	**0,16**
	n-Декан	2535845	1,52	1174965	0,91	14526554	5,07	42589870	5,73	**3,31**
	2-Метилдекан	nd	nd	147114	0,11	5599779	1,96	21510949	2,9	**1,24**
	3,7-Диметилдекан	nd	nd	nd	nd	1228285	0,43	1607586	0,22	**0,16**
	n-Ундекан	1439277	0,87	1018656	0,79	7197445	2,51	18504292	2,49	**1,67**
	2-Метилундекан	450368	0,27	nd	nd	1236779	0,43	3135981	0,42	**0,28**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B6 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Алифатични јаглеводороди	2,6-Диметилундекан	nd	nd	353589	0,28	706044	0,25	1610823	0,22	**0,19**
	n-Додекан	13258369	7,97	1601920	1,25	2069869	0,72	4460833	0,6	**2,64**
	2,6,10-Триметилдодекан	291583	0,18	nd	nd	772095	0,27	6527510	0,88	**0,33**
	n-Тридекан	1341480	0,81	634136	0,49	716868	0,25	nd	nd	**0,39**
	5-Метилтридекан	224749	0,14	212998	0,17	940356	0,33	nd	nd	**0,16**
	n-Тетрадекан	9640069	5,79	2405933	1,87	1936698	0,68	nd	nd	**2,09**
	4-Метилтетрадекан	1206312	0,73	194369	0,15	nd	nd	nd	nd	**0,22**
	3-Метилпентадекан	394685	0,24	246993	0,19	4341211	1,52	nd	nd	**0,49**
	7-Тетрадецен	1973408	1,19	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,3**
	Циклотетрадекан	6743938	4,05	516532	0,4	nd	nd	nd	nd	**1,11**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	4297990	2,58	3882727	3,02	4343710	1,52	7982286	1,07	**2,05**
	Толуен	17857900	10,73	17525910	13,64	43176561	15,08	27412448	3,69	**10,78**
	Етилбензен	5590206	3,36	4817214	3,75	7074845	2,47	22616112	3,05	**3,16**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	16834310	10,12	14384076	11,2	20427781	7,13	60687029	8,17	**9,15**
	Изопропилбензен	455242	0,27	1272621	0,99	1121748	0,39	10903157	1,47	**0,78**
	n-Пропилбензен	1088129	0,65	973179	0,76	2684189	0,94	9938177	1,34	**0,92**
	1-Етил-3-метилбензен	5166787	3,1	4969819	3,88	9202070	3,21	20720725	2,79	**3,24**
	1,3,5-Триметилбензен	4584601	2,76	4334693	3,37	6382756	2,23	21367214	2,88	**2,81**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	1429399	0,86	1427584	1,11	2326945	0,81	9155111	1,23	**1**
	1-Метил-3-изопропилбензен	2529577	1,52	1012151	0,79	1573909	0,55	5515799	0,74	**0,9**
	n-Бутилбензен	256391	0,15	245240	0,19	1947255	0,68	2616583	0,35	**0,34**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3289474	0,44	**0,11**
Терпени	*α*-Пинен	2765439	1,66	1563276	1,22	2149303	0,75	nd	nd	**0,91**
	Лимонен	1440120	0,87	4660386	3,63	8176968	2,86	12126441	1,63	**2,25**
	Ментол	763655	0,46	340643	0,27	nd	nd	nd	nd	**0,18**
Органосилоксани	Хексаметилциклотрисилоксан	nd	nd	147301	0,11	810634	0,28	nd	nd	**0,1**
	Октаметилциклотетрасилоксан	573102	0,34	578197	0,45	1273039	0,44	nd	nd	**0,31**
	Декаметилциклопентасилоксан	5503279	3,31	9991983	7,78	10989570	3,84	11977500	1,61	**4,14**
	Додекаметилциклогексасилоксан	266531	0,16	159889	0,12	1631573	0,57	nd	nd	**0,21**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B6 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Алкохоли и етери	2-Етилхексан-1-ол	234399	0,14	1481497	1,15	nd	nd	2051025	0,28	**0,39**
	Пентан-1-ол	9160975	5,51	8200848	6,38	nd	nd	1414877	0,19	**3,02**
	2-Бутилоктан-1-ол	606850	0,36	nd	nd	659763	0,23	nd	nd	**0,15**
	2-(2-Бутоксиетокси)етанол	285121	0,17	376523	0,29	1562261	0,55	3018731	0,41	**0,35**
	2-Метоксипропан-1-ол	235123	0,14	1867249	1,45	nd	nd	nd	nd	**0,4**
	2-Бутоксиетанол	2049737	1,23	1379956	1,07	1609981	0,56	nd	nd	**0,71**
	2,6-Диметил-7-октен-2-ол	743711	0,45	458661	0,37	nd	nd	nd	nd	**0,2**
	Хексан-1-ол	2619272	1,57	237246	0,18	nd	nd	nd	nd	**0,44**
	3-Пентен-2-ол	4191419	2,52	3851546	3	1998711	0,7	3788352	0,51	**1,68**
	2-Феноксиетанол	224664	0,14	156961	0,12	nd	nd	nd	nd	**0,07**
Алдехиди и кетони	4-Метилпентан-2-он	1160149	0,7	196445	0,15	nd	nd	1386111	0,19	**0,26**
	Пентан-2-он	291694	0,18	310493	0,24	878941	0,31	4447279	0,6	**0,33**
	6-Етил-2,3-дихидро-4H-пиран-2,4-дион	261540	0,16	177074	0,14	nd	nd	2492506	0,34	**0,16**
	Бензалдехид	nd	nd	164369	0,13	520644	0,18	nd	nd	**0,08**
	Хептанал	nd	nd	189566	0,15	nd	nd	nd	nd	**0,04**
	1-(2,6,6-Триметилциклохекс-1-ен-1-ил)-1-пентен-3-он	675470	0,41	202637	0,16	855832	0,3	nd	nd	**0,22**
Естери	Бутил етаноат	652762	0,39	1143895	0,89	2259490	0,79	2417379	0,33	**0,6**
	Менил бензоат	732997	0,44	315404	0,25	nd	nd	14142168	1,9	**0,65**
	1-Циклопентилетил 3-метилбензоат	2990135	1,8	525794	0,41	917277	0,32	1569760	0,21	**0,69**
	Изопулегил ацетат	1023988	0,61	501444	0,39	667763	0,23	nd	nd	**0,31**
	Етил бутират	263530	0,16	190743	0,15	562351	0,23	nd	nd	**0,13**
	3-Метилбутил етаноат	337043	0,2	746821	0,58	nd	nd	nd	nd	**0,19**
	Октил ундек-10-еноат	346622	0,21	877635	0,68	nd	nd	nd	nd	**0,22**
	Диетилфталат	2701119	1,62	1220650	0,95	1104044	0,39	nd	nd	**0,74**
	Бутил бутират	524343	0,32	448244	0,35	nd	nd	nd	nd	**0,17**
Халогенирани соединенија	1,4-Дихлорбензен	nd	nd	nd	nd	928040	0,32	nd	nd	**0,08**
	Тетрахлоретилен	2051152	1,23	2320963	1,81	1735202	0,61	2534606	0,34	**1**
	2-Хлоро-2-метилбутан	nd	nd	nd	nd	6335139	2,21	6178996	0,83	**0,76**
	Хлорометил ацетат	1129701	0,68	572609	0,45	741292	0,26	nd	nd	**0,35**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B6 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Разно	Неидентификуван VOC 1	756507	0,45	177470	0,14	8199200	2,86	3252387	0,44	**0,97**
	Неидентификуван VOC 2	383294	0,23	219726	0,17	nd	nd	2464210	0,33	**0,18**
	Неидентификуван VOC 3	241761	0,14	338334	0,26	nd	nd	3337252	0,45	**0,21**
	Неидентификуван VOC 4	358413	0,22	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,05**
	Неидентификуван VOC 5	427041	0,26	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,07**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOC за соодветниот месец.
Просек RA (%) *: Просечна релативна застапеност за сите месеци на земање примероци.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела B7. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на продавница за електрична опрема во Косово, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на кампањата за земање примероци од септември до декември 2023 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полуквантитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Септември Area*	Септември RA (%)*	Октомври Area	Октомври RA (%)	Ноември Area	Ноември RA (%)	Декември Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)*
Алифатични јаглеводороди	*n*-Октадекан	1016092	0,26	793094	0,17	nd	nd	nd	nd	**0,11**
	3-Метилхексан	8917872	2,27	7299697	1,58	2208260	0,76	2524668	0,45	**1,26**
	1-Октен	594910	0,15	5756047	1,25	1698037	0,59	1059784	0,19	**0,54**
	1,2-Диетилциклопентан	2922887	0,75	856217	0,19	nd	nd	nd	nd	**0,24**
	1,1,3-Триметилциклохексан	3170044	0,81	5961956	1,29	3974675	1,37	2547814	0,45	**0,98**
	2-Метил-3-метиленхептан	966830	0,25	nd	nd	nd	nd	1495496	0,26	**0,13**
	1-Етил-2,4-диметилциклохексан	nd*	nd	2214831	0,48	nd	nd	nd	nd	**0,12**
	1-Метил-2-пропилциклопентан	nd	nd	4311153	0,93	877680	0,3	nd	nd	**0,31**
	3-Нонен	2192905	0,56	13088242	2,84	7415319	2,56	3449780	0,61	**1,64**
	n-Хептан	6674608	1,7	7631134	1,65	4006198	1,38	3866724	0,68	**1,35**
	3-Метилхептан	2243578	0,57	4171189	0,9	1430049	0,49	1519045	0,27	**0,55**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	7464421	1,9	9996149	2,17	4678491	1,61	4370726	0,77	**1,61**
	2,4-Диметилхептан	531391	0,14	1351456	0,29	nd	nd	nd	nd	**0,11**
	Метилциклохексан	5370042	1,37	7166959	1,55	3568273	1,23	3848556	0,68	**1,21**
	2,3-Диметилхекс-1-ен	1167614	0,3	2748134	0,6	1997225	0,69	1354215	0,24	**0,46**
	2,4-Диметилхепт-1-ен	2447466	0,62	4166457	0,9	3398677	1,17	2234337	0,39	**0,77**
	n-Октан	2225234	0,57	3385681	0,73	2189087	0,76	2114024	0,37	**0,61**
	3-Метилоктан	1281144	0,33	756956	0,16	nd	nd	3371767	0,59	**0,27**
	2,3,4-Триметилпентан	730632	0,19	670688	0,15	nd	nd	nd	nd	**0,09**
	3,6-Диметилоктан	542281	0,14	3650820	0,79	2568569	0,89	1140661	0,2	**0,5**
	n-Нонан	1379721	0,35	2514296	0,55	3376758	1,16	4718816	0,83	**0,72**
	3-Метилнонан	1074722	0,27	2188400	0,47	1501246	0,52	1694558	0,3	**0,39**
	n-Декан	4972691	1,27	6397889	1,39	6564919	2,26	5295967	0,93	**1,46**
	2-Метилдекан	580030	0,15	782108	0,17	849570	0,29	879797	0,16	**0,19**
	3,7-Диметилдекан	534320	0,14	684417	0,15	1783558	0,62	nd	nd	**0,23**
	n-Ундекан	2190665	0,56	3201745	0,69	3129199	1,08	2927775	0,52	**0,71**
	3-Метилундекан	658312	0,17	721342	0,16	nd	nd	nd	nd	**0,08**
	n-Додекан	15875925	4,05	7143934	1,55	5332586	1,84	3882180	0,68	**2,03**
	2,6,10-Триметилдодекан	1511906	0,39	1222579	0,27	1159072	0,4	nd	nd	**0,27**
	n-Тридекан	2027295	0,52	1905508	0,41	1262506	0,44	nd	nd	**0,34**
	3-Метилтридекан	2286060	0,58	970540	0,21	nd	nd	nd	nd	**0,2**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B7 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Алифатични јаглеводороди	*n*-Тетрадекан	10625878	2,71	4788309	1,04	2653458	0,92	nd	nd	**1,17**
	1-Додецен	2727143	0,7	1321159	0,29	nd	nd	nd	nd	**0,25**
	3-Метилпентадекан	1402383	0,36	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,09**
	7-Тетрадекен	631718	0,16	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,04**
	Циклотетрадекан	8238059	2,1	nd	nd	955677	0,33	nd	nd	**0,61**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	9111545	2,32	10938050	2,37	6299375	2,17	9744379	1,72	**2,15**
	Толуен	50200170	12,81	58205236	12,62	40908590	14,11	44757675	7,9	**11,86**
	Етилбензен	12450009	3,18	24163914	5,25	8468560	2,92	88899253	15,67	**6,75**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	42891897	10,94	65750037	14,26	22296977	7,69	225301913	39,71	**18,15**
	Изопропилбензен	6885639	1,76	1514679	0,33	12653152	4,36	10637511	1,88	**2,08**
	n-Пропилбензен	7642085	1,95	2525193	0,55	5574156	1,92	2032995	0,36	**1,19**
	1-Етил-3-метилбензен	19314375	4,93	27030061	5,86	8692243	3	10290290	1,81	**3,9**
	1,3,5-Триметилбензен	19608436	5	16264933	3,53	14007354	4,83	11513266	2,03	**3,85**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	9595305	2,46	4623939	1	7864389	2,71	5787737	1,02	**1,8**
	1-Метил-3-изопропилбензен	2355350	0,6	1948921	0,42	6435822	2,23	3601022	0,63	**0,97**
	n-Бутилбензен	3482235	0,89	2994739	0,65	2798650	0,97	1470850	0,26	**0,69**
Терпени	*α*-Пинен	2984615	0,76	6031243	1,31	4946093	1,71	3098704	0,55	**1,08**
	Лимонен	3300874	0,84	4274716	0,93	4242276	1,46	26572506	4,68	**1,98**
	Ментол	719890	0,18	2302114	0,5	nd	nd	nd	nd	**0,17**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	2030208	0,52	4199764	0,91	3598899	1,24	3362730	0,59	**0,81**
	Декаметилциклопентасилоксан	5824695	1,49	8617143	1,87	6375129	2,2	5371369	0,95	**1,63**
	Додекаметилциклохексасилоксан	2623056	0,67	2237104	0,49	1763953	0,61	nd	nd	**0,44**
	Тетрадекаметилциклохептасилоксан	555837	0,14	766482	0,17	nd	nd	nd	nd	**0,08**
Алкохоли и етери	2-Етил-1-хексанол	38022158	9,7	36939616	8,01	27668889	9,54	1341571	0,24	**6,87**
	2-Бутил-1-октанол	1116620	0,28	808100	0,18	nd	nd	nd	nd	**0,12**
	1-(2-Бутоксиетокси)етанол	684724	0,17	1661862	0,36	nd	nd	1854972	0,33	**0,21**
	1-Метокси-2-пропанол	644111	0,16	741294	0,16	nd	nd	2210306	0,39	**0,18**
	2-Бутоксиетанол	690269	0,18	987841	0,21	2234954	0,77	1232694	0,22	**0,34**
	3-Пентен-2-ол	5164035	1,32	4071771	0,88	2340891	0,81	3653841	0,64	**0,91**
	Бис(2-етоксиетил) етер	674914	0,17	1314126	0,28	1202331	0,41	nd	nd	**0,22**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B7 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Алдехиди и кетони	4-Метилпентан-2-он	nd	nd	5962916	1,29	3778741	1,3	3079199	0,54	**0,78**
	Пентан-2-он	6664001	1,7	706948	0,15	4263219	1,47	3412255	0,6	**0,98**
	2-Етилхексанал	1451381	0,37	1595323	0,35	nd	0	nd	nd	**0,18**
	Хептанал	nd	nd	4297218	0,93	1195585	0,41	1176016	0,21	**0,39**
Естери	Бутил етаноат	522687	0,13	2516035	0,55	1757042	0,61	19313753	3,4	**1,17**
	Ментил бензоат	557225	0,14	1384249	0,3	nd	nd	1809430	0,32	**0,19**
	1-Циклопентилетил 3-метилбензоат	nd	nd	1699751	0,37	nd	nd	nd	nd	**0,09**
	Изопулегил ацетат	1776951	0,45	959733	0,21	1147579	0,4	3789492	0,67	**0,43**
	Етил бутаноат	594712	0,15	702193	0,15	nd	nd	1252072	0,22	**0,13**
	3-Метилбутил етаноат	526260	0,13	699416	0,15	1290070	0,44	1992257	0,35	**0,27**
	Диетил фталат	5191973	1,32	4171403	0,9	821231	0,28	3591041	0,63	**0,78**
	Бутил бутаноат	835485	0,21	769868	0,17	nd	nd	nd	nd	**0,1**
Халогенирани соединенија	Тетрахлороетилен	2136335	0,54	2578364	0,56	2139087	0,74	1612745	0,28	**0,53**
	2-Хлоро-2-метилбутан	11117624	2,84	12675331	2,75	7446939	2,57	9251581	1,63	**2,45**
	Хлорометил ацетат	663237	0,17	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,04**
Разно	Неидентификуван VOC 1	2945621	0,75	8164628	1,77	7132498	2,46	nd	nd	**1,25**
	Неидентификуван VOC 2	1262959	0,32	851955	0,18	nd	nd	nd	nd	**0,13**
	Неидентификуван VOC 3	nd	nd	695384	0,15	nd	nd	nd	nd	**0,04**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOC за соодветниот месец.
Просек RA (%) *: Просечна релативна застапеност за сите месеци на земање примероци.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела B8. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на принтерска продавница во Косово, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на кампањата за земање примероци од септември до декември 2023 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полуквантитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Септември Area*	Септември RA (%) *	Октомври Area	Октомври RA (%)	Ноември Area	Ноември RA (%)	Декември Area	Декември RA (%)	Просек RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	*n*-Октадекан	nd*	nd	nd	nd	2303680	0,08	1759087	0,06	**0,04**
	3-Метилхексан	94597766	3,2	79542531	2,85	49962457	1,81	93940157	3,2	**2,77**
	1,2-Диметилциклопентан	27380369	0,93	22957093	0,82	32380813	1,17	32733926	1,12	**1,01**
	1,1,2,3-Тетраметилциклохексан	2030350	0,07	2120755	0,08	nd	nd	7202187	0,24	**0,1**
	n-Хептан	43423701	1,47	58562842	2,1	55493022	2,01	52429698	1,79	**1,84**
	3-Метилхептан	2883411	0,1	2811976	0,1	2206383	0,08	11725072	0,4	**0,17**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	6761471	0,23	9021876	0,32	10691591	0,39	12518895	0,43	**0,34**
	2,4-Диметилхептан	5673086	0,19	nd	nd	4818966	0,17	nd	nd	**0,09**
	Метилциклохексан	11162637	0,38	15405027	0,55	15913479	0,58	13122442	0,45	**0,49**
	2,4-Диметилхексан	nd	nd	9832136	0,35	9846871	0,36	2726113	0,09	**0,2**
	n-Октан	nd	nd	2109595	0,08	2144965	0,08	1597221	0,05	**0,05**
	3-Метилоктан	nd	nd	nd	nd	1458340	0,05	1765227	0,06	**0,03**
	4-Метилдекахидронафтален	3727959	0,13	5225349	0,19	nd	nd	nd	nd	**0,08**
	3,6-Диметилоктан	5656330	0,19	4116059	0,15	3529221	0,13	3085530	0,1	**0,14**
	n-Нонан	4751137	0,16	4881745	0,18	4212381	0,15	3788995	0,13	**0,15**
	3-Метилнонан	5261906	0,18	7031455	0,25	6666567	0,24	3843597	0,13	**0,2**
	3,7-Диметилнонан	2130540	0,07	nd	nd	3135227	0,11	nd	nd	**0,05**
	n-Декан	15249219	0,52	4023545	0,14	11467230	0,41	10380213	0,35	**0,36**
	2-Метилдекан	5366766	0,18	5584633	0,2	4625460	0,17	2308574	0,08	**0,16**
	3,7-Диметилдекан	nd	nd	3884304	0,14	1621462	0,06	3482068	0,12	**0,08**
	n-Ундекан	14511486	0,49	9780874	0,35	7546602	0,27	5809703	0,2	**0,33**
	3-Метилундекан	6105495	0,21	4470168	0,16	1440077	0,05	3840218	0,13	**0,14**
	2,6-Диметилундекан	9564191	0,32	11306536	0,41	8121727	0,29	7821761	0,27	**0,32**
	n-Додекан	18404741	0,62	7620738	0,27	5834958	0,21	6629109	0,23	**0,33**
	2-Метилдодекан	2938171	0,1	3227797	0,12	1404172	0,05	7645305	0,26	**0,13**
	n-Тридекан	4839738	0,16	5146267	0,18	4068918	0,15	4383315	0,15	**0,16**
	7-Метилтридекан	3014171	0,1	2663880	0,1	2613994	0,09	3712457	0,13	**0,11**
	n-Тетрадекан	14424984	0,49	7004195	0,25	4349770	0,16	4655511	0,16	**0,27**
	10-Метилнонедекан	2302799	0,08	2269944	0,08	2210590	0,08	6217852	0,21	**0,11**
	1-Тридецен	3856008	0,13	3722685	0,13	3655291	0,13	4458908	0,15	**0,14**
	3-Метилпентадекан	2137737	0,07	2797333	0,1	2627099	0,09	2901117	0,1	**0,09**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B8 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Алифатични јаглеводороди	2,6,10,14-Тетраметилпентадекан	3314073	0,11	3529677	0,13	1521509	0,05	nd	nd	**0,07**
	Циклотетрадекан	8439799	0,29	1978030	0,07	1921743	0,07	nd	nd	**0,11**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	9321315	0,31	17438893	0,63	66665225	2,41	27801903	0,95	**1,07**
	Толуен	135321519	4,58	149768122	5,37	139575682	5,04	133100206	4,54	**4,88**
	Етилбензен	24376889	0,83	29783405	1,07	25328537	0,92	29548219	1,01	**0,96**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	67836693	2,3	76797496	2,76	66729272	2,41	76498467	2,61	**2,52**
	Изопропилбензен	78154904	2,65	nd	nd	64461409	2,34	60342282	2,06	**1,76**
	n-Пропилбензен	121272657	4,1	57442534	2,06	105374324	3,81	95675797	3,26	**3,31**
	1-Етил-4-метилбензен	461907713	15,63	355051860	12,74	336439328	12,16	321232140	10,96	**12,87**
	1,3,5-Триметилбензен	379762066	12,85	300175387	10,77	302514628	10,93	286747558	9,78	**11,08**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	85228459	2,88	72335633	2,6	66329189	2,4	65203784	2,22	**2,53**
	1-Метил-3-изопропилбензен	82878459	2,8	73306923	2,63	17150752	0,63	2343373	0,08	**1,53**
	n-Бутилбензен	2962236	0,1	nd	nd	2043607	0,07	1849639	0,06	**0,06**
	1-Метил-4-пропилбензен	92513579	3,13	nd	nd	58482973	2,11	43914873	1,5	**1,69**
Терпени	*α*-Пинен	11228800	0,38	11411120	0,41	6333577	0,23	6438314	0,22	**0,31**
	Ментол	2243943	0,08	nd	nd	1959641	0,07	2559447	0,09	**0,06**
Органосилоксани	Хексаметилциклотрисилоксан	nd	nd	3137060	0,11	3143860	0,11	5585467	0,19	**0,1**
	Октаметилциклотетрасилоксан	11022763	0,37	9745617	0,35	49579570	1,79	11924443	0,41	**0,73**
	Декаметилциклопентасилоксан	24534406	0,83	31358710	1,13	49331288	1,78	52094354	1,78	**1,38**
	Додекаметилциклогексасилоксан	nd	nd	nd	nd	1433281	0,05	nd	nd	**0,01**
Алкохоли и етери	4-Метил-1-(проп-2-ен-1-ил)циклохексан-1,4-диол	nd	nd	2006752	0,07	nd	nd	24491858	0,84	**0,23**
	2-Метил-2-оксоланилметанол	21260569	0,72	2839535	0,1	2864240	0,1	5201150	0,18	**0,28**
	2-Етилхексан-1-ол	35764379	1,21	35904791	1,29	36999106	1,34	41486709	1,41	**1,31**
	1-(2-Метокси-1-метилетокси)пропан-2-ол	16796533	0,57	13283298	0,48	28180549	1,02	93516886	3,19	**1,31**
	Фенилметанол	14410545	0,49	11585223	0,42	4465394	0,16	1973848	0,07	**0,28**
	2-Феноксиетанол	2490169	0,08	6762761	0,24	2294783	0,08	8406536	0,29	**0,17**
	Диетоксиетан	65321112	2,21	52377756	1,88	nd	nd	3586160	0,12	**1,05**
	2-(2-Метоксиетокси)етанол	3720255	0,13	117936350	4,23	181451047	6,56	241391910	8,24	**4,79**
	1-Метокси-2-пропанол	nd	nd	6199517	0,22	50997434	1,84	3993330	0,14	**0,55**
	2-Бутоксиетанол	9654287	0,33	10559046	0,38	6500989	0,23	12120655	0,41	**0,34**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B8 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Алкохоли и етери	2,6-диметил-7-Октен-2-ол	6512021	0,22	7461252	0,27	14697461	0,53	9697699	0,33	**0,34**
	1-Пентен-3-ол	nd	nd	12044115	0,43	1487092	0,05	2678153	0,09	**0,14**
	Пропан-1,2-диол	26669016	0,9	25331184	0,91	nd	nd	1933514	0,07	**0,47**
Алдехиди и кетони	4-Хидрокси-4-метилпентан-2-он	3128834	0,11	6219984	0,22	4477779	0,16	6851879	0,23	**0,18**
	2-Хидроксициклогексанон	38911875	1,32	38493895	1,38	1926411	0,07	nd	nd	**0,69**
	3-Хептанон	nd	nd	98323743	3,53	1689841	0,06	20961391	0,71	**1,07**
	Бензалдехид	nd	nd	2467471	0,09	1906114	0,07	3445205	0,12	**0,07**
	Циклогексанон	236716540	8,01	172873490	6,2	223428349	8,08	298509087	10,19	**8,12**
	1-(2,6,6-Триметилциклохекс-1-ен-1-ил)пент-1-ен-3-он	3848662	0,13	5388869	0,19	3493498	0,13	3104160	0,11	**0,14**
Естери	Бутил етаноат	6682282	0,23	130813409	4,69	48059280	1,74	4591167	0,16	**1,7**
	Ментил бензоат	37974072	1,29	3823208	0,14	3432651	0,12	187776311	6,41	**1,99**
	1-Циклопентилетил 3-метилбензоат	nd	nd	2637540	0,09	13387584	0,48	4296253	0,15	**0,18**
	Метил 2-метилпроп-2-еноат	20310930	0,69	18687264	0,67	16036560	0,59	11761087	0,4	**0,59**
	Етил бутианоат	2261456	0,08	89159392	3,2	8106746	0,29	18083193	0,62	**1,05**
	2-(2-Бутоксиетокси)етил етаноат	105979057	3,59	54526573	1,96	102871196	3,72	137747990	4,7	**3,49**
	Етил 5-оксотетрахидрофуран-2-карбоксилат	165268843	5,59	7752841	0,28	105846420	3,83	115232980	3,93	**3,41**
	Диетилфталат	11518513	0,39	9733751	0,35	5232463	0,19	4604803	0,16	**0,27**
	2-Бутоксиетил етаноат	56398969	1,91	169037891	6,06	90900169	3,29	4477652	0,15	**2,85**
	Метокси-пропан-2-ил етаноат	24908444	0,84	5694981	0,2	8801978	0,32	4326207	0,15	**0,38**
Халогенирани соединенија	Тридецил 2-хлороацетат	2372203	0,08	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,02**
	Пентадецил 2-бромоацетат	2347178	0,08	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,02**
Разно	Неидентификуван VOC 1	54459746	1,84	102523400	3,68	117312769	4,24	108979329	3,72	**3,37**
	Неидентификуван VOC 2	34975604	1,18	6001024	0,22	4107564	0,15	5916126	0,2	**0,44**
	Неидентификуван VOC 3	10592833	0,36	55276597	1,98	6592776	0,24	nd	nd	**0,65**
	Неидентификуван VOC 4	2056032	0,07	7959098	0,29	36404220	1,32	nd	nd	**0,42**
	Неидентификуван VOC 5	7980570	0,27	5104753	0,18	nd	nd	nd	nd	**0,11**
	Неидентификуван VOC 6	2740844	0,09	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,02**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Просек RA (%) *: Просечна релативна застапеност за сите месеци на земање примероци.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела B9. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на принтерска работилница во Косово, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на кампањата за земање примероци од септември до декември 2023 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полуквантитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Септември Area*	Септември RA (%) *	Октомври Area	Октомври RA (%)	Ноември Area	Ноември RA (%)	Декември Area	Декември RA (%)	Просек RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	3-Метилхексан	41401639	0,84	9630569	0,33	3365345	0,15	2487089	0,13	**0,36**
	1,1,2,3-Тетраметилциклохексан	nd*	nd	1786472	0,06	nd	nd	nd	nd	**0,02**
	n-Хептан	16646794	0,34	11465143	0,39	4033919	0,18	2810904	0,15	**0,27**
	3-Метилхептан	1491694	0,03	2582484	0,09	939590	0,04	492157	0,03	**0,05**
	2,4-Диметилхептан	nd	nd	nd	nd	nd	nd	534441	0,03	**0,01**
	Метилциклохексан	2735383	0,06	2221817	0,08	nd	nd	643615	0,03	**0,04**
	Пентилциклохексан	1522320	0,03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,01**
	n-Октан	1960743	0,04	nd	nd	5057164	0,22	1574840	0,09	**0,09**
	3-Метилоктан	1626903	0,03	nd	nd	1339891	0,06	nd	nd	**0,02**
	3,6-Диметилоктан	20119966	0,41	6831248	0,23	nd	nd	2792675	0,15	**0,2**
	n-Нонан	2019061	0,04	3130351	0,11	1838793	0,08	1557463	0,09	**0,08**
	3-Метилнонан	1497239	0,03	nd	nd	3391160	0,15	3203974	0,17	**0,09**
	n-Декан	4344507	0,09	10354873	0,35	7767590	0,34	4843717	0,26	**0,26**
	3-Метилдекан	2515683	0,05	nd	nd	nd	nd	1085328	0,06	**0,03**
	3,7-Диметилдекан	1624773	0,03	nd	nd	nd	nd	2151586	0,12	**0,04**
	2-Метилундекан	2607627	0,05	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,01**
	2,6-Диметилундекан	2294099	0,05	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,01**
	n-Додекан	16776436	0,34	2694036	0,09	1049685	0,05	712359	0,04	**0,13**
	n-Тетрадекан	10278515	0,21	3923792	0,13	1317196	0,06	830653	0,04	**0,11**
	7-Тетрадекен	2162714	0,04	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,01**
	3-Метилпентадекан	1544251	0,03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,01**
	Циклотетрадекан	4363309	0,09	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,02**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	4823936	0,1	5188523	0,18	4305213	0,19	6797680	0,37	**0,21**
	Толуен	220164432	4,46	196359559	6,71	145303303	6,32	132177828	7,22	**6,18**
	Етилбензен	18744540	0,38	12551746	0,43	6039336	0,26	5445247	0,3	**0,34**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	72143843	1,46	49361748	1,69	27470399	1,19	23693964	1,3	**1,41**
	1,4-Диетилбензен	92689796	1,88	54497096	1,86	38961324	1,69	30192650	1,65	**1,77**
	Изопропилбензен	302231112	6,12	187830537	6,42	170487316	7,41	122390584	6,69	**6,66**
	n-Пропилбензен	278440494	5,64	251278585	8,59	219085285	9,52	211650021	11,57	**8,83**
	1-Етил-2-метилбензен	423876085	8,58	570388782	19,5	398361465	17,32	368004152	20,12	**16,38**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела В9 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Ароматични јаглеводороди	1,3,5-Триметилбензен	1603600411	32,48	617145206	21,1	337217721	14,66	319575028	17,47	**21,43**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	381156155	7,72	173865246	5,94	166305057	7,23	102937598	5,63	**6,63**
	1-Метил-3-изопропилбензен	301902703	6,11	7022092	0,24	4613248	0,2	8365028	0,46	**1,75**
	n-Бутилбензен	40851238	0,83	90546523	3,1	11759616	0,51	39642158	2,17	**1,65**
	1-Метил-3-пропилбензен	134500517	2,72	165656922	5,66	115388874	5,02	93138341	5,09	**4,62**
Терпени	3-Карен	nd	nd	19261651	0,66	6738460	0,29	3116536	0,17	**0,28**
	Лимонен	37335598	0,76	2872279	0,1	3688744	0,16	1672337	0,09	**0,28**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	11179139	0,23	4445004	0,15	1933662	0,08	1361242	0,07	**0,13**
	Декаметилциклопентасилоксан	14271970	0,29	5693334	0,19	4192185	0,18	2764282	0,15	**0,2**
	Додекаметилциклохексасилоксан	3073225	0,06	nd	nd	1452084	0,06	763227	0,04	**0,04**
	Тетрадакаметилциклогептасилоксан	1895234	0,04	nd	nd	1097103	0,05	639931	0,03	**0,03**
Алкохоли и етери	Циклохексанол	12523882	0,25	9163220	0,31	3711402	0,16	1475047	0,08	**0,2**
	Циклопентан-1,2-диол	44881343	0,91	13344930	0,46	11911888	0,52	3124291	0,17	**0,51**
	2-Етилхексан-1-ол	29170172	0,59	10260368	0,35	5473747	0,24	3069769	0,17	**0,34**
	1-(2-Метокси пропокси)пропан-2-ол	4788634	0,1	nd	nd	1067944	0,05	540875	0,03	**0,04**
	2-Феноксиетанол	5283407	0,11	3241923	0,11	1075008	0,05	715580	0,04	**0,08**
	Бис(2-етоксиетил) етер	5515968	0,11	2969259	0,1	1295972	0,06	140429546	7,68	**1,99**
	2-(2-Бутоксиетокси)етанол	45960704	0,93	21552895	0,74	11067696	0,48	20616103	1,13	**0,82**
	1-Метокси-пропан-2-ол	11841295	0,24	9276733	0,32	3952993	0,17	3437727	0,19	**0,23**
	2-Бутоксиетанол	12757161	0,26	4873215	0,17	1567041	0,07	2181324	0,12	**0,14**
	2,6-Диметилокт-7-ен-2-ол	1496221	0,03	nd	nd	989596	0,04	895393	0,05	**0,03**
	Пент-3-ен-2-ол	4598569	0,09	4775105	0,16	2651054	0,12	3406573	0,19	**0,14**
	Пропан-1,2-диол	6001121	0,12	2027923	0,07	1032702	0,04	nd	nd	**0,06**
Алдехиди и кетони	4-Хидрокси-4-метилпентан-2-он	10405043	0,21	5908377	0,2	993208	0,04	2967197	0,16	**0,15**
	1-(3-Метилфенил)етанон	109756268	2,22	nd	nd	393065912	17,09	2206822	0,12	**4,86**
	Бензофенон	4110617	0,08	2108558	0,07	nd	nd	678478	0,04	**0,05**
	Циклохексанон	394473440	7,99	167946021	5,74	116571741	5,07	106990990	5,85	**6,16**
Естери	Бутил етаноат	3385606	0,07	2649296	0,09	1332002	0,06	1268953	0,07	**0,07**
	Етил 2-етоксиетаноат	84248687	1,71	25218488	0,86	6980225	0,3	5804773	0,32	**0,8**
	Метил 2-метилпроп-2-еноат	22193946	0,45	4172074	0,14	3687227	0,16	447969	0,02	**0,19**
	2-(2-Бутоксиетокси)етил етаноат	1964769	0,04	4301567	0,15	4725064	0,2	1383810	0,08	**0,12**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B9 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Естери	2,2,4-Триметилпентан-1,3-диол ди(2-метил пропаноат)	11809589	0,24	3121787	0,11	1491749	0,06	2507629	0,14	**0,14**
	Диетилфталат	4223641	0,09	1775701	0,06	nd	nd	nd	nd	**0,04**
	2-Бутоксиетил етаноат	2197062	0,04	36189186	1,24	14524023	0,63	14142472	0,77	**0,67**
	2-(Фуран-2-ил)етил проп-2-еноат	13810256	0,28	7028428	0,24	3379895	0,15	2789620	0,15	**0,2**
Халогенирани соединенија	2-Хлоро-2-метилбутан	nd	nd	15152082	0,52	6448234	0,28	6597919	0,36	**0,29**
Разно	Неидентификуван VOC 1	2924586	0,06	7692857	0,26	2930644	0,13	1028528	0,06	**0,13**
	Неидентификуван VOC 2	2646497	0,05	5323710	0,18	855248	0,04	549939	0,03	**0,08**
	Неидентификуван VOC 3	2151499	0,04	86819489	2,97	2868479	0,12	nd	nd	**0,78**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Просек RA (%) *: Просечна релативна застапеност за сите месеци на земање примероци.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела B10. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на продавница за парфеми во Косово, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на кампањата за земање примероци од септември до декември 2023 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полуквантитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Септември Area*	Септември RA (%) *	Октомври Area	Октомври RA (%)	Ноември Area	Ноември RA (%)	Декември Area	Декември RA (%)	Просек RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	2-(1-Метилбут-1-ен-3-ил)-1,3,3-триметил циклогекс-1-ен	2177945	0,36	nd	nd	1885332	0,5	1328692	0,44	**0,33**
	4-(Диметоксиметил)-1-метилциклохексен	2912833	0,49	2291344	0,5	nd	nd	nd	nd	**0,25**
	2,2,4,4,6,8,8-Хептаметилнонан	1669052	0,28	nd	nd	1047841	0,28	nd	nd	**0,14**
	1,1,2,3-Тетраметилциклогексан	nd*	nd	1384359	0,3	nd	nd	nd	nd	**0,08**
	n-Хептан	5351125	0,89	3931437	0,85	1782753	0,47	1913996	0,63	**0,71**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	5876424	0,98	5007362	1,09	4884022	1,29	4109041	1,36	**1,18**
	5-Етил-2,2,3-Триметилхептан	878167	0,15	nd	nd	nd	nd	585199	0,19	**0,09**
	Метилциклохексан	1224339	0,2	965510	0,21	1178544	0,31	1000613	0,33	**0,26**
	3,6-Диметилооктан	nd	nd	1626655	0,35	nd	nd	nd	nd	**0,09**
	n-Нонан	1400540	0,23	2076907	0,45	nd	nd	641857	0,21	**0,22**
	3-Метилнонан	nd	nd	1131147	0,25	nd	nd	nd	nd	**0,06**
	n-Декан	3356052	0,56	6646223	1,44	934982	0,25	1039312	0,34	**0,65**
	n-Ундекан	1208667	0,2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,05**
	n-Додекан	14035397	2,34	3110054	0,67	2616501	0,69	1555618	0,51	**1,05**
	2,6,10-Триметилдодекан	2007800	0,33	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,08**
	n-Тридекан	2472144	0,41	1453270	0,32	882569	0,23	650929	0,21	**0,29**
	7-Метилтридекан	1736458	0,29	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,07**
	n-Тетрадекан	13142360	2,19	4558458	0,99	2165382	0,57	1006522	0,33	**1,02**
	7-Тетрадекен	2827975	0,47	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,12**
	Циклотетрадекан	1548104	0,26	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,07**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	3115193	0,52	2512409	0,55	3244548	0,86	5741021	1,88	**0,95**
	Толуен	23624930	3,94	17481610	3,79	13775692	3,64	15674952	5,14	**4,13**
	Етилбензен	4483451	0,76	4617104	1	3941122	1,04	4049234	1,33	**1,03**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	13681211	2,28	8611199	1,87	5812479	1,53	7354308	2,41	**2,02**
	1-Етил-2-метилбензен	nd	nd	2582826	0,56	nd	nd	nd	nd	**0,14**
	2-Етил-1,4-диметилбензен	nd	nd	1044654	0,23	nd	nd	nd	nd	**0,06**
	1-Метил-3-изопропилбензен	35717148	5,96	28226434	6,12	22912104	6,05	17844561	5,85	**6**
Терпени	*α*-Пинен	59641109	9,95	37258290	8,08	27363359	7,22	20575133	6,75	**8**
	Камфен	2294958	0,38	1662376	0,36	690676	0,18	897181	0,29	**0,3**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B10 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Терпени	*β*-Пинен	24659945	4,11	24764855	5,37	19391604	5,12	15747856	5,17	**4,94**
	Лимонен	100332126	16,73	81413797	17,66	67674499	17,87	61100153	20,04	**18,07**
	Ментол	2429819	0,41	nd	nd	722847	0,19	583382	0,19	**0,2**
	Еукалиптол	nd	nd	5056846	1,1	2633229	0,7	692863	0,23	**0,51**
	β-Феландрен	4074857	0,68	7303304	1,58	2274398	0,6	1942145	0,64	**0,87**
	D-Лонгифолен	1648074	0,27	nd	nd	703976	0,19	nd	nd	**0,12**
	Цедрол	872185	0,15	1014622	0,22	1205539	0,32	2315758	0,76	**0,36**
	Амброкс	877251	0,15	1090017	0,24	nd	nd	nd	nd	**0,1**
	trans-Пинокарвеол	921177	0,15	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,04**
	α-Терпиеол	3086654	0,51	1358829	0,29	nd	nd	nd	nd	**0,2**
	Бергамиол	4135282	0,69	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,17**
	p-Мента-6,8-диен-2-он	1005623	0,17	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,04**
	p-Ментан-8-ол	1151396	0,19	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,05**
	2-Оксопинан	874525	0,15	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,04**
Органосилоксани	Хексаметилдисилоксан	7078851	1,18	1946694	0,42	nd	nd	nd	nd	**0,4**
	Хексаметилциклотрисилоксан	nd	nd	1054393	0,23	1409662	0,37	1519600	0,5	**0,28**
	Октаметилциклотетрасилоксан	3488020	0,58	3767407	0,82	3511689	0,93	2586550	0,85	**0,8**
	Декаметилциклопентасилоксан	23414966	3,91	26972562	5,85	32691384	8,63	20345700	6,67	**6,27**
	Додекаметилциклохексасилоксан	971738	0,16	nd	nd	735302	0,19	nd	nd	**0,09**
Алкохоли и етери	1-Бутанол	10256675	1,71	nd	nd	nd	nd	6434825	2,11	**0,95**
	1-Пентанол	1219637	0,2	827371	0,18	nd	nd	552755	0,18	**0,14**
	2-Етилхексан-1-ол	6592831	1,11	nd	nd	4223754	1,12	3149541	1,03	**0,81**
	3,7-Диметил-1,6-октадиен-3-ол	6666691	1,11	nd	nd	7684045	2,03	nd	nd	**0,78**
	3-Метокси-3-метилбутанол	2667928	0,44	4467536	0,97	4170359	1,1	nd	nd	**0,63**
	2-Феноксиетанол	12152201	2,04	nd	nd	10463206	2,76	nd	nd	**1,2**
	2-Фенилпропан-2-ол	4486931	0,75	4734003	1,03	2760374	0,73	nd	nd	**0,63**
	2-Фенилетанол	1908086	0,32	16592976	3,6	962460	0,25	4793881	1,57	**1,43**
	1,1'-Оксибис(етооксиеетан)	865889	0,14	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,04**
	4-Изопропил-3-метилфенол	951513	0,16	948997	0,22	nd	nd	1816875	0,6	**0,25**
	1-Метокси-2-пропанол	23163066	3,86	nd	nd	8302320	2,19	7609396	2,5	**2,14**
	2-Бутоксиетанол	1736839	0,29	1120993	0,24	1053849	0,28	687660	0,23	**0,26**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B10 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Алкохоли и етери	3,7-Диметил-3-октанол	1102717	0,18	8091262	1,76	nd	nd	7163912	2,35	**1,07**
	3-Пентен-2-ол	3143359	0,52	3149790	0,68	2123625	0,56	2612563	0,86	**0,65**
	1,2-Пропандиол	1130104	0,19	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,05**
	1-Бутокси-2-пропанол	2127264	0,35	16359835	3,55	1549731	0,41	930179	0,31	**1,15**
	1-(2-метоксипропокси)-2-пропанол	1905308	0,32	2529556	0,55	1430258	0,38	939346	0,31	**0,39**
	2,6-Диметил-7-октен-2-ол	7754059	1,29	6629704	1,44	7426562	1,96	4882576	1,6	**1,57**
	1-Тетрадеканол	4091637	0,68	nd	nd	2583821	0,68	5075081	1,66	**0,75**
	4-Метил-додекан-1-ол	1981148	0,33	nd	nd	8521024	2,25	1651913	0,54	**0,78**
Алдехиди и кетони	2-Метилциклопентанон	1125240	0,19	1099506	0,24	1232935	0,32	1242268	0,41	**0,29**
	Додеканал	914684	0,15	876113	0,19	nd	nd	613659	0,2	**0,14**
	Бензофенон	893899	0,15	1095671	0,24	nd	nd	nd	nd	**0,1**
	Бензалдехид	3136981	0,52	3127973	0,69	1869758	0,49	1063635	0,35	**0,51**
	3-Метил-4-(2,6,6-триметилциклогекс-2-ен-1-ил)бут-3-ен-2-он	8926413	1,5	8062093	1,75	761465	0,2	733644	0,24	**0,92**
	3,5,5-Триметилциклогекс-2-ен-1-он	1571693	0,26	3059977	0,66	nd	nd	nd	0	**0,23**
	Нонанал	2172026	0,36	1920392	0,42	2851720	0,75	3991324	1,31	**0,71**
Естери	Бутил етаноат	5121997	0,85	2867472	0,62	3520734	0,93	2286187	0,75	**0,79**
	1,3-Диметилбутил бутаноат	5919363	0,99	1907236	0,41	7154828	1,89	4976762	1,63	**1,23**
	Фенилметил етаноат	3116227	0,52	2616157	0,57	3201855	0,85	1532860	0,5	**0,61**
	4-tert-Бутилциклогексил етаноат	6645031	1,11	6042770	1,31	4829872	1,28	5109100	1,68	**1,35**
	Метил 3-(3-метилбут-2-енил)пропаноат	8006634	1,34	4926643	1,07	6870601	1,81	3710086	1,22	**1,36**
	Глицерол триацетат	1324131	0,22	1233095	0,27	1010405	0,27	1087326	0,36	**0,28**
	1,7,7-Триметилбицикло[2,2,1]хепт-2-ил етаноат	1512332	0,25	850765	0,18	1324302	0,35	3793468	1,24	**0,51**
	Диетилфталат	9227003	1,54	6193880	1,34	4607684	1,22	1863060	0,61	**1,18**
	Дибутил (E)-бутендиоат	2448146	0,41	6175146	1,34	1173896	0,31	1782412	0,58	**0,66**
	3-Хидрокси-2,4,4-триметилпентил 2-метил пропаноат	1635695	0,27	1716739	0,37	nd	nd	1085640	0,36	**0,25**
Халогенирани соединенија	1,3-Дихлоробензен	15325792	2,56	11049383	2,4	10656784	2,81	14653879	4,81	**3,14**
	Тетрахлоретилен	2167335	0,36	2122174	0,46	1471532	0,39	1440871	0,47	**0,42**
	2-хлор-2-метилбутан	nd	nd	9681698	2,1	7001796	1,85	nd	nd	**0,99**
	Хлорометил ацетат	1834948	0,31	1415172	0,31	1170844	0,31	863331	0,28	**0,3**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B10 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Септември – Area	Септември RA (%)	Октомври – Area	Октомври RA (%)	Ноември – Area	Ноември RA (%)	Декември – Area	Декември RA (%)	Просек RA (%)
Разно	2,5-Диметилфуран	2097255	0,35	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**0,09**
	Пиридин	nd	nd	3975200	0,86	nd	nd	nd	nd	**0,21**
	Неидентификуван VOC 1	5321594	0,89	3878998	0,84	9508418	2,51	2543501	0,83	**1,27**
	Неидентификуван VOC 2	2993593	0,5	1476852	0,32	1712335	0,45	663304	0,22	**0,37**
	Неидентификуван VOC 3	3858342	0,64	2505880	0,54	1234726	0,33	1438359	0,47	**0,49**
	Неидентификуван VOC 4	6632887	1,11	885925	0,19	2091380	0,55	1264151	0,41	**0,56**
	Неидентификуван VOC 5	2486756	0,41	1263595	0,27	5626409	1,49	2680643	0,88	**0,76**
	Неидентификуван VOC 6	1217600	0,2	7530673	1,63	2215189	0,58	3332133	1,09	**0,87**
	Неидентификуван VOC 7	8619328	1,44	1970413	0,43	4316109	1,14	nd	nd	**0,75**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOCs за соодветниот месец.
Просек RA (%) *: Просечна релативна застапеност за сите месеци на земање примероци.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела B11. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на продавница за масла и подмачкувачи во Косово, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на избрани месечни кампањи (Март, Јуни и Јули 2023 година). За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полукванитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Март Area*	Март RA (%) *	Јуни Area	Јуни RA (%)	Јули Area	Јули RA (%)	Просек RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	2-Метилхексан	nd*	nd	nd	nd	26645736	1,49	**0,5**
	3-Метилхексан	nd	nd	136511	0,41	39925945	2,24	**0,88**
	n-Хептан	66705	0,38	335558	1,02	36149401	2,03	**1,14**
	1,3-Диметилциклопентан	56901	0,32	279042	0,85	18803245	1,05	**0,74**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	58199	0,33	171711	0,52	6141360	0,34	**0,4**
	2,3-Диметилциклогексан	96850	0,55	413049	1,25	45928124	2,58	**1,46**
	Метилциклогексан	133356	0,75	396752	1,2	5894147	0,33	**0,76**
	n-Октан	54828	0,31	nd	nd	3847086	0,21	**0,17**
	1-Метил-4-(1-метилетил)циклогексан	53694	0,3	155724	0,47	44227587	2,48	**1,08**
	2,2,6-Триметилоктан	nd	nd	nd	nd	3846280	0,22	**0,07**
	3,6-Диметилоктан	nd	nd	79864	0,24	5570706	0,31	**0,18**
	n-Нонан	48144	0,27	93019	0,28	8333471	0,47	**0,34**
	2,3-Диметилпентан	nd	nd	nd	nd	7554644	0,42	**0,14**
	2-Метилнонан	137581	0,78	193179	0,59	17204523	0,97	**0,78**
	2,3-Диметилнонан	205025	1,15	nd	nd	25937602	1,45	**0,87**
	2,6-Диметилнонан	343742	1,94	nd	nd	69086185	3,88	**1,94**
	n-Декан	549393	3,09	1436729	4,36	62835317	3,52	**3,66**
	4-Метилдекан	191452	1,08	1541649	4,67	131931924	7,4	**4,38**
	n-Ундекан	965167	5,44	2194304	6,65	92217072	5,17	**5,75**
	3-Метилундекан	88611	0,5	476658	1,45	63319408	3,55	**1,83**
	3,7-Диметилдекан	329267	1,85	262286	0,8	17343289	0,97	**1,21**
	2,6-Диметилундекан	124644	0,7	345117	1,05	21426001	1,2	**0,98**
	n-Додекан	410976	2,32	1434273	4,35	94463396	5,3	**3,99**
	2-Метилдодекан	594931	3,35	76986	0,23	6692142	0,38	**1,32**
	n-Тридекан	164764	0,93	153129	0,46	7130807	0,4	**0,6**
	7-Метилтридекан	324408	1,83	760670	2,31	6093035	0,34	**1,49**
	n-Тетрадекан	241859	1,36	238872	0,72	11529413	0,65	**0,91**
	4-Метилтетрадекан	240310	1,35	135011	0,41	4629151	0,26	**0,67**
	n-Пентадекан	nd	nd	nd	nd	4638239	0,26	**0,09**
	n-Хексадекан	nd	nd	195621	0,59	nd	nd	**0,2**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B11 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Март – Area	Март – RA (%)	Јуни – Area	Јуни – RA (%)	Јули – Area	Јули – RA (%)	Просек RA (%)
Алифатични јаглеводороди	*n*-Октадекан	99804	0,56	469686	1,42	3920611	0,22	**0,73**
	Декахидронафтален	781481	4,4	2940656	8,92	120176565	6,74	**6,69**
	Додец-1-ен	nd	nd	316167	0,96	17040464	0,96	**0,64**
	Окт-1-ен	nd	nd	132964	0,4	4227086	0,24	**0,21**
	Дек-1-ен	nd	nd	724797	2,2	27112632	1,52	**1,24**
	3-Етил-2,5-диметилхек-3-ен	nd	nd	nd	nd	6730101	0,38	**0,13**
	2,4,4,6-Тетраметилхепт-2-ен	nd	nd	nd	nd	25408106	1,43	**0,48**
	2-Метил-1,5-декадиен	nd	nd	nd	nd	48412890	2,72	**0,91**
	1-Метил-2-пропилциклохексан	371022	2,09	704847	2,14	32916315	1,85	**2,03**
	Пентилциклогексан	437312	2,46	94754	0,29	74802291	4,2	**2,32**
	1-Метил-2-пентилциклохексан	775525	4,37	2251933	6,83	31465999	1,77	**4,32**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	659972	3,72	nd	nd	4322772	0,24	**1,32**
	Толуен	440869	2,48	649411	1,97	19812626	1,11	**1,85**
	Етилбензен	234331	1,32	121503	0,37	nd	nd	**0,56**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	934713	5,27	251300	0,76	7659331	0,42	**2,15**
	1-Етил-3-метилбензен	104135	0,59	121475	0,37	5167795	0,3	**0,42**
	1,3,5-Триметилбензен	216907	1,22	110664	0,34	nd	nd	**0,52**
	1-Метил-3-изопропилбензен	nd	nd	286001	0,87	nd	nd	**0,29**
Терпени	*α*-Пинен	1490255	8,39	4338017	13,15	118933277	6,67	**9,4**
	3-Карен	526045	2,96	1222545	3,71	nd	nd	**2,22**
	Лимонен	418685	2,36	801893	2,43	24248345	1,36	**2,05**
	Нопинен	272143	1,53	nd	nd	nd	nd	**0,51**
	Ментан	217511	1,23	97006	0,29	nd	nd	**0,51**
Органосилоксани	Октаметилциклотетразилоксан	171792	0,97	nd	nd	7833583	0,44	**0,47**
	Декаметилциклопентасилоксан	1029684	5,8	379277	1,15	nd	nd	**2,32**
Алкохоли и етери	Пентан-1-ол	nd	nd	297497	0,9	4451316	0,25	**0,38**
	Тетрадекан-1-ол	60955	0,34	185917	0,56	4180768	0,23	**0,38**
	4-(Триметилметил)бензил алкохол	nd	nd	134764	0,41	8741329	0,49	**0,3**
	2-Бутилоктан-1-ол	120124	0,68	2140512	6,49	24241394	1,36	**2,84**
	2-Етилхексан-1-ол	nd	nd	130685	0,4	37610927	2,11	**0,84**
	Декан-2-ол	nd	nd	269533	0,82	5208518	0,29	**0,37**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B11 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Март – Area	Март – RA (%)	Јуни – Area	Јуни – RA (%)	Јули – Area	Јули – RA (%)	Просек RA (%)
Алкохоли и етери	2-[2-(2-Метоксиетокси)етокси]етанол	nd	nd	105905	0,32	16573857	0,93	**0,41**
	1-Декоксидекан	183982	1,04	288797	0,88	nd	nd	**0,64**
Алдехиди и кетони	4a-Метил-октагидро-2H-нафтален-1-он	249193	1,4	nd	nd	5858087	0,33	**0,58**
	3,5,5-Триметилциклогекс-2-ен-1-он	72563	0,41	nd	nd	4726822	0,27	**0,23**
	2-Метил-5-(1-метилетил)циклогексан-1-он	52872	0,3	136056	0,41	23842369	1,34	**0,68**
	1-(1,3-Диметил-3-циклогексен-1-ил)етанон	188246	1,06	177260	0,54	7818901	0,44	**0,68**
	Хексанал	50257	0,28	nd	nd	nd	nd	**0,09**
	2-Пентанон	nd	nd	77195	0,23	nd	nd	**0,08**
	2-Хексанон	nd	nd	161321	0,49	nd	nd	**0,16**
Естери	Метил 2-метилпропаноат	nd	nd	111609	0,34	3844025	0,21	**0,18**
	Метил карбамат	nd	nd	157238	0,48	4133770	0,23	**0,24**
	Диметил 2-(циклогексилметил)-оксалат	nd	nd	73617	0,22	9812785	0,55	**0,26**
	Метил 4-метоксибензоат	nd	nd	156962	0,48	7094696	0,4	**0,29**
Халогенирани соединенија	Тетрахлоретилен	370527	2,09	228637	0,69	nd	nd	**0,93**
	4-Бромхептан	904590	5,1	nd	nd	nd	nd	**1,7**
Разно	Неидентификуван VOC 1	53962	0,3	172584	0,52	5623463	0,32	**0,38**
	Неидентификуван VOC 2	50523	0,28	142324	0,43	5938727	0,33	**0,35**
	Неидентификуван VOC 3	70336	0,4	170626	0,52	3798936	0,21	**0,38**
	Неидентификуван VOC 4	112082	0,63	137076	0,42	78526099	4,4	**1,82**
	Неидентификуван VOC 5	110538	0,62	nd	nd	19205796	1,08	**0,57**
	Неидентификуван VOC 6	55215	0,31	nd	nd	21738813	1,22	**0,51**
	Неидентификуван VOC 7	382865	2,16	nd	nd	10239114	0,57	**0,91**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOC за соодветниот месец.
Просек RA (%) *: Просечна релативна застапеност за сите месеци на земање примероци.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела B12. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на месна фабрика во Косово, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на кампањата за земање примероци од Јуни до Јули 2023 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полуквантитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Јуни Area*	Јуни RA (%) *	Јули Area	Јули RA (%)	Просек RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	1,3-Циклогексадиен	nd*	nd	3272502	0,65	**0,32**
	n-Хептан	nd	nd	1460307	0,29	**0,14**
	3-Метилхептан	nd	nd	868790	0,17	**0,08**
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	nd	nd	1004203	0,2	**0,1**
	2,2,4-Триметилхептан	nd	nd	662969	0,13	**0,07**
	Метилциклогексан	nd	nd	1705169	0,34	**0,17**
	n-Октан	nd	nd	1515294	0,3	**0,15**
	3,6-Диметилоктан	nd	nd	833298	0,17	**0,09**
	n-Нонан	nd	nd	1462468	0,29	**0,15**
	3,7-Диметилнонан	122686	1,1	526435	0,1	**0,6**
	1-Метил-2-пропилциклогексан	nd	nd	3128774	0,62	**0,31**
	n-Декан	81016	0,72	2654562	0,53	**0,63**
	4-Метилдекан	nd	nd	1651000	0,33	**0,17**
	n-Ундецан	130642	1,17	4346103	0,87	**1,02**
	2,4-Диметилундецан	nd	nd	652938	0,13	**0,07**
	n-Додецан	145469	1,3	3853396	0,78	**1,04**
	n-Тридецан	45605	0,41	1773324	0,35	**0,38**
	1-Метил-2-пентилциклогексан	nd	nd	8878571	1,77	**0,88**
	n-Тетрадекан	116375	1,04	5178424	1,03	**1,04**
	4-Метилтетрадекан	nd	nd	716567	0,14	**0,07**
	n-Пентадекан	nd	nd	1769104	0,35	**0,18**
	Декахидронафтален	nd	nd	1873435	0,37	**0,19**
	n-Хексадекан	nd	nd	2070701	0,41	**0,21**
	1-Хептен	nd	nd	4373766	0,87	**0,44**
Ароматични јаглеводороди	Бензен	673535	6,01	15120732	3,01	**4,51**
	Толуен	289703	2,58	10942485	2,18	**2,38**
	Етилбензен	104378	0,93	5077275	1,01	**0,97**
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	91139	0,81	5629054	1,12	**0,96**
	Изопропилбензен	nd	nd	674037	0,13	**0,06**
	n-Пропилбензен	nd	nd	784844	0,16	**0,08**
	1-Етил-3-метилбензен	nd	nd	1022498	0,2	**0,1**
	1,3,5-Триметилбензен	nd	nd	595095	0,12	**0,06**
	1-Етил-4-метилбензен	nd	nd	1053073	0,22	**0,11**
	1-Метил-3-изопропилбензен	234070	2,09	827492	0,16	**1,12**
Терпени	*α*-Пинен	2738968	24,45	103017526	20,52	**22,48**
	3-Карен	119426	1,07	nd	nd	**0,53**
	Лимонен	1941900	17,33	76818172	15,3	**16,31**
	Еукалиптол	114943	1,02	3249558	0,65	**0,83**
	Феландрен	2264209	20,21	91695062	18,27	**19,24**
	Камфен	nd	nd	12953646	2,58	**1,29**
	Пинокарвеол	nd	nd	2246607	0,45	**0,23**
	Цинеол	nd	nd	2157970	0,43	**0,22**
	Копаен	295730	2,64	17829071	3,55	**3,1**
	Карјофилен	122308	1,09	8703150	1,73	**1,41**
	Еудесман	nd	nd	1377790	0,27	**0,14**
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	79241	0,71	1786243	0,36	**0,53**
	Декаметилциклопентасилоксан	670939	5,99	4943354	0,98	**3,48**
Алкохоли и етери	Хексан-2-ол	nd	nd	1088994	0,22	**0,11**
	Пент-3-ен-2-ол	nd	nd	3084550	0,61	**0,3**
	3-Метилбутан-1-ол	nd	nd	808417	0,16	**0,08**
	Октан-1-ол	95878	0,85	2505358	0,5	**0,67**
	2-(Терт-бутил)циклогексанол	nd	nd	1680997	0,33	**0,16**
	1-Метил-4-(1-метилетил)-2-циклогексен-1-ол	nd	nd	1746322	0,35	**0,17**

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела B12 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Јуни – Area	Јуни – RA (%)	Јули – Area	Јули – RA (%)	Просек RA (%)
Алкохоли и етери	1-(2-Бутоксиетокси)етанол	nd	nd	4458447	0,9	**0,45**
	2-(1,1-Диметилетил)циклогексанол	nd	nd	825798	0,16	**0,08**
	1,1'-Оксибис-октан	nd	nd	17453703	3,48	**1,74**
Алдехиди и кетони	Хексанал	nd	nd	1298116	0,26	**0,13**
	3-Метилбут-3-ен-2-он	nd	nd	1197343	0,24	**0,12**
	3,5-Диметилциклогексанон	84197	0,75	843554	0,17	**0,46**
	2-Метилциклопент-2-ен-1-он	nd	nd	996543	0,2	**0,1**
	1-(2,6,6-Триметилциклогекс-1-ен-1-ил)-пент-1-ен-3-он	nd	nd	2432724	0,48	**0,24**
	2-Метил-3-фенилпропанал	nd	nd	822451	0,16	**0,08**
	2,3-Диметилциклопент-2-ен-1-он	nd	nd	5020660	1	**0,5**
	2-Фурокарбалдехид	169961	1,52	9200916	1,83	**1,67**
Естери	Етенил ацетат	nd	nd	3536769	0,7	**0,35**
	Етил 2-(4-метилфенил)-2-метилпропаноат	nd	nd	766596	0,15	**0,08**
	Метил бензоат	101498	0,91	nd	nd	**0,45**
Халогенирани соединенија	3-Хлороктан	nd	nd	677846	0,14	**0,07**
	2-Хлоро-2-метилбутан	nd	nd	4634941	0,92	**0,46**
	Децил дихлороацетат	42780	0,38	573241	0,11	**0,25**
	Тетрахлоретилен	217595	1,94	nd	nd	**0,97**
Разно	2,5-Диметилфуран	47081	0,42	2017052	0,4	**0,41**
	Диметилтрисулфид	62612	0,56	2645027	0,53	**0,55**
	Неидентификуван VOC 1	nd	nd	801957	0,17	**0,09**
	Неидентификуван VOC 2	nd	nd	781315	0,16	**0,08**
	Неидентификуван VOC 3	nd	nd	1750960	0,36	**0,18**
	Неидентификуван VOC 4	nd	nd	3630956	0,72	**0,36**

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOC за соодветниот месец.
Просек RA (%) *: Просечна релативна застапеност за сите месеци на земање примероци.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела B13. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на супермаркет во Северна Македонија, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на една кампања за земање примероци во Март 2023 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полукванитативна анализа.

VOC Група	Соединение	Март – Area*	Март – RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	*n*-Хептан	264549	0,84
	Метилциклогексан	208453	0,66
	n-Додекан	280970	0,89
Ароматични јаглеводороди	Бензен	917523	2,9
	Толуен	906129	2,87
	Етилбензен	287446	0,91
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	546226	1,73
	Изопропилбензен	828100	2,62
	1,2,3-Триметилбензен	314670	1
Терпени	*α*-Пинен	1601299	5,06
	Еукалиптол	1384582	4,38
	Лимонен	6410929	20,28
	Линалол	670099	2,12
	Дихидромирценол	1372351	4,34
	Феландрен	858693	2,72
	Нопинен	768830	2,43
Органосилоксани	Декаметилциклопентасилоксан	2597260	8,21
Алкохоли и етери	Бутан-1-ол	234561	0,74
Алдехиди и кетони	6-Метилхепт-5-ен-2-он	545854	1,73
	2,6,6-Триметилциклохекс-2-ен-1-он	610046	1,93
	3,4-Диметилциклохекс-3-енкарбалдехид	221576	0,7
Естери	2-Метилпропил ацетат	241051	0,76
	Бутил етаноат	332715	1,05
	Етил 2-метилбутаноат	686545	2,17
	Етил 3-метилбутаноат	443131	1,4
	Фенилметанол ацетат	254576	0,8
	2-Ацетокси-1-борнеол	647413	2,05
	3-Метилбутил 2-метилпропаноат	479118	1,52
Халогенирани соединенија	1,3-Дихлорбензен	5922025	18,73
	Тетрахлоретилен	535721	1,69
Разно	Неидентификуван VOC 1	243968	0,77

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOC за соодветниот месец.

Табела B14. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на дневна соба во стан во Северна Македонија, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на една кампања за земање примероци во Март 2023 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полуквантитативна анализа.

VOCs Група	**Соединение**	**Март – Area***	**Март – RA (%) ***
Алифатични јаглеводороди	*n*-Хептан	350143	1,01
	Метилциклогексан	297004	0,86
Ароматични јаглеводороди	Бензен	486600	1,41
	Толуен	528584	1,53
	Етилбензен	154209	0,45
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	218633	0,63
	1-Етил-2-метилбензен	195162	0,56
	1-Метил-3-изопропилбензен	1166580	3,37
Терпени	*α*-Пинен	1991756	5,76
	Лимонен	14837650	42,91
	Еукалиптол	596636	1,73
	Феландрен	164799	0,48
Органосилоксани	Октаметилтрисилоксан	365056	1,06
	Октаметилциклотетрасилоксан	503996	1,46
	Декаметилциклопентасилоксан	10118610	29,26
Алкохоли и етери	Бутан-1-ол	468805	1,36
	2,6-Диметилокт-7-ен-2-ол	208205	0,6
Алдехиди и кетони	6-Метилхепт-5-ен-2-он	282239	0,82
Естери	Бутил етаноат	901548	2,6
Халогенирани соединенија	1,3-Дихлорбензен	305207	0,88
	Тетрахлоретилен	436407	1,26

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOC за соодветниот месец.

Табела B15. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на дневна соба во куќа во Северна Македонија, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на една кампања за земање примероци во Март 2023 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полукванитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Март – Area*	Март – RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	1197249	5,98
	n-Додекан	185092	0,92
	n-Тетрадекан	313809	1,57
Ароматични јаглеводороди	Бензен	706180	3,52
	Толуен	667704	3,33
	Етилбензен	176544	0,88
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	240826	1,2
	Изопропилбензен	976133	4,87
Терпени	*α*-Пинен	1079611	5,39
	Лимонен	5781926	28,85
	Еукалиптол	330799	1,65
	Линалол	191085	0,95
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	333229	1,66
	Декаметилциклопентасилоксан	4834086	24,12
Алкохоли и етери	Бутан-1-ол	359322	1,79
	2,6-Диметилокт-7-ен-2-ол	186787	0,93
Алдехиди и кетони	Нонанал	393960	1,97
	Хексанал	299163	1,49
Естери	Диетилфталат	206160	1,03
	Бутил етаноат	714813	3,57
Халогенирани соединенија	Геранилбромид	224778	1,12
	Тетрахлоретилен	400290	2,01
Разно	Неидентификуван VOC 1	239653	1,2

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOC за соодветниот месец.

Табела B16. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на органска лабораторија во Северна Македонија, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на една кампања за земање примероци во Март 2023 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полукванитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Март – Area*	Март – RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	*n*-Хептан	2211829	12,27
	Циклохексилметан	237891	1,32
	1,2,4-Триметилциклогексан	145665	0,81
	3-Метилхексан	501626	2,78
	2,2,3,3-Тетраметилбутан	327793	1,82
	n-Нонан	297454	1,65
	2,6-Диметилоктан	202533	1,12
	1,1,2,3-Тетраметилциклогексан	145257	0,81
	4-Метилнонан	181572	1,01
	3-Метилнонан	220926	1,23
	1-Метил-3-пропилциклогексан	169922	0,94
	n-Декан	666996	3,7
	2,6-Диметилнонан	230220	1,28
Ароматични јаглеводороди	Бензен	1350355	7,49
	Толуен	4829661	26,8
	Етилбензен	485846	2,7
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	1610179	8,93
	1-Етил-3-метилбензен	188153	1,04
	1,2,3-Триметилбензен	205889	1,14
Терпени	*α*-Пинен	1110467	6,16
	Лимонен	229237	1,27
	Еукалиптол	299154	1,66
Органосилоксани	Октаметилциклотетрасилоксан	261599	1,45
	Декаметилциклопентасилоксан	749716	4,16
Алкохоли и етери	2-Етокси-2-метилбутан	260820	1,45
	Бутоксибутан	515276	2,86
Халогенирани соединенија	Тетрахлоретилен	387171	2,15

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOC за соодветниот месец.

Табела В 17. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на хемиска складишка во Северна Македонија, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на една кампања за земање примероци во Март 2023 година. За секое соединение се прикажани GC–MS површината на пиковите и релативната застапеност (%) врз основа на полукванитативна анализа.

VOCs Група	Соединение	Март – Area*	Март – RA (%) *
Алифатични јаглеводороди	*n*-Хептан	1734450	7
	5-Етил-2-метилхептан	132178	0,53
	n-Нонан	211706	0,85
	2,6-Диметилоктан	107872	0,44
	4-Метилнонан	130871	0,54
	3-Метилнонан	124485	0,5
	n-Декан	453469	1,83
	n-Ундекан	166288	0,67
Ароматични јаглеводороди	Бензен	2970206	11,99
	Толуен	10668239	43,08
	Етилбензен	907376	3,66
	(*o*+*m*+*p*)-Ксилени	4728729	19,11
	1-Етил-3-метилбензен	144094	0,59
	1,3,5-Триметилбензен	151616	0,61
Органосилоксани	Декаметилциклопентасилоксан	214204	0,87
Алкохоли и етери	Етил 2-пропеноат	119958	0,48
	Етил етохуетан	401426	1,62
	Бутил етаноат	176157	0,71
	3-Метилбутил етаноат	541864	2,19
	Бутоксибутан	169115	0,68
Халогенирани соединенија	Тетрахлоретилен	376408	1,52
Разно	Неидентификуван VOC 1	131784	0,53

Забелешка:
Area*: Површината на хроматографските пикови за секој VOC, добиена од GC–MS анализа и изразена во релативни единици.
RA (%) *: Релативна застапеност, изразена како процентуален удел на секое соединение кон вкупната површина на VOC за соодветниот месец.

Табела B18. Средни релативни застапености (%) на групи VOCs во внатрешен воздух на сите мониторирани локации во Северна Македонија и Косово, врз основа на полу-квантитативна GC–MS анализа. Вредностите претставуваат просечни вредности пресметани за целиот период на мониторинг на секоја локација, во опсег од 1 до 7 месеци во 2023 година.

VOCs Група	Куќа	Апартман	Училничка училница	Училишна сала	Продавница за масла и подмачкувачи	Супермаркет	Кафеана	Кебапчилница	Месна фабрика	Продавница за електрична	Продавница за печатење	Работилница за печатење	Текстилна фабрика	Органска лабораторија	Склад за хемикалии	Фризерски салон	Продавница за парфеми
Σ Алифатични јаглеводороди	8,47	1,87	41,97	40,79	58,23	2,39	8,99	31,99	8,5	21,64	10,66	1,87	19,83	30,74	12,36	11,81	6,81
Σ Ароматични јаглеводороди	13,8	7,95	20,55	35,24	7,11	12,03	17,86	24,68	10,35	53,39	44,26	77,86	40,41	48,1	79,04	5,3	14,33
Σ Терпени	36,84	50,88	4,3	3,34	14,69	41,33	13,68	5,83	65,78	3,23	0,37	0,56	3,22	9,09	nd	7,15	34,01
Σ Органосилоксани	25,78	31,78	8,42	4,76	2,79	8,21	7,51	5,03	4,01	2,96	2,22	0,4	17,82	5,61	0,87	54,46	7,84
Σ Алкохоли и етери	2,72	1,96	9,41	7,41	6,16	0,74	33,87	20,86	3,76	8,85	11,26	4,58	5,2	4,31	5,68	8,99	15,67
Σ Алдехиди и кетони	3,47	0,82	2,43	1,09	2,5	4,36	5,48	5,32	3,3	2,33	10,27	11,22	0,71	nd	nd	1,69	2,9
Σ Естери	4,59	2,6	8,5	3,7	0,97	9,75	7,07	2,16	0,88	3,16	15,91	2,23	5,73	nd	nd	8,4	8,22
Σ Халогенирани соединенија	3,13	2,14	1,21	2,19	2,63	20,42	0,74	1,87	1,75	3,02	0,04	0,29	4,36	2,15	1,52	0,1	4,85
Σ Разно	1,2	nd*	3,21	1,48	4,92	0,77	4,8	2,26	1,67	1,42	5,01	0,99	2,72	nd	0,53	2,1	5,37

Забелешка:
nd*: Не е детектирано; групата на VOC не е откриена во примерокот.

ДОДАТОК 3

Овој додаток ги презентира сеопфатните табели на сите VOCs детектирани во внатрешниот и надворешниот воздух во Милано, Италија, за време на периодот на мониторинг од Јуни до Јули 2024 година. За секој поединечен примерок, табелите ги прикажуваат полукванитативните концентрации ($\mu g/m^3$).

Табела C1. VOCs детектирани во надворешниот воздух на пет следени локации во Милано, Италија, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на Јуни и Јули 2024 година. Полукванитативните концентрации (μg/m^3) се прикажани за секоја кампања за земање примероци, заедно со просечните концентрации за целиот период на мониторинг на секоја локација, определени со GC–MS анализа.

VOCs Група	Соединение	Лабораторија Концентрација (μg/m^3) *			Стан 1 Концентрација (μg/m^3)			Стан 2 Концентрација (μg/m^3)			Стан 3 Концентрација (μg/m^3)			Стан 4 Концентрација (μg/m^3)		
		Јуни	Јули	Просек*	Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек
Алифатични јаглеводороди	(2-Метилпропил)циклопентан	1,42	1,07	1,245	nd	0,98	0,49	nd	nd	nd	nd	0,22	0,11	nd	1,72	0,86
	2,2-Диметилоктан	1,58	1,56	1,57	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,23	0,115	nd	nd	nd
	2,2,4-Триметилпентан	3,14	5,44	4,29	nd	2,93	1,465	6,91	3,78	5,345	nd	6,64	3,32	nd	17,12	8,56
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	nd*	nd	nd	nd	1,12	0,56	nd	nd	nd	nd	0,85	0,425	nd	15,64	7,82
	n-Декан	nd	0,48	0,24	nd	1,2	0,6	12,31	87,89	50,1	nd	1,22	0,61	nd	3,32	1,66
	n-Додекан	20,87	15,88	18,375	52,49	17,46	34,975	131,24	173,25	152,245	33,07	25,48	29,275	38,42	12,62	25,52
	n-Тридекан	3,02	6,36	4,69	12,96	1,57	7,265	67,26	56,28	61,77	9,78	2,25	6,015	nd	1,53	0,765
	n-Тетрадекан	43,11	39,65	41,38	85,55	44,55	65,05	73,94	137,64	105,79	46,74	56,24	51,49	61,22	9,06	35,14
	n-Пентадекан	4,75	8,45	6,6	8,26	1,24	4,75	18,67	14,93	16,8	nd	1,33	0,665	nd	nd	nd
	n-Хексадекан	9,1	13,04	11,07	22,45	11,72	17,085	43,01	28,39	35,7	8,35	18,2	13,275	12,04	2,13	7,085
	5-Метил-1-хептен	nd	nd	nd	0,54	0,88	0,71	nd	nd	nd	nd	0,36	0,18	4,63	8,14	6,385
	3,3-Диметил-1-октен	0,8	1,52	1,16	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,52	0,76
	1-Тетрадецен	0,68	0,78	0,73	1,38	nd	0,69	2,34	nd	1,17	9,61	1,47	5,54	9,48	3,13	6,305
Ароматични јаглеводороди	Бензен	2,04	1,64	1,84	3,28	4,02	3,65	3,87	4,58	4,225	2,33	0,84	1,585	0.91	1,23	1,07
	Толуен	4,65	4,04	4,345	10,42	8,56	9,49	5,47	10,03	7,75	6,77	3,57	5,17	4,45	2,84	3,645
	Етилбензен	1,17	1,7	1,435	0,86	1,62	1,24	12,81	19,7	16,255	0,12	1	0,56	1,36	0,8	1,08
	(*m* + *p*)-Ксилени	3,14	4,81	3,975	1,93	5,27	3,6	52,1	63,61	57,855	1,3	1,52	1,41	2,48	1,52	2
	Етилметилбензени	1,86	2,09	1,975	2,32	1,54	1,93	37,88	30,25	34,065	0,89	0,56	0,725	1,71	1,64	1,675
	1-Изопропил-2-метилбензен	0,57	0,84	0,705	1,29	0,72	1,005	3,87	7,13	5,5	nd	nd	nd	2,68	2,22	2,45
	Нонилбензен	nd	1,37	0,685	2,84	0,41	1,625	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,83	1,93	1,38
Терпени	*α*-Пинен	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,38	0,19	1,87	2,71	2,29
	β-Пинен	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,13	0,065	nd	0,08	0,04
	Лимонен	nd	0,12	0,06	nd	0,27	0,135	5,04	1,61	3,325	nd	0,23	0,115	0,38	1	0,69
	Еукалиптол	nd	0,18	0,09	nd	0,15	0,075	4,35	1,74	3,045	nd	0,24	0,12	nd	0,23	0,115
	Камфор	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,2	0,1	0,24	nd	0,12
	Феландрен	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,32	0,16	nd	nd	nd
	3-Карен	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,35	3,46	2,905
Органосилоксани	Декаметилциклопентасилоксан	1,43	2,46	1,945	nd	0,62	0,31	nd	nd	nd	nd	0,72	0,36	1,33	4,89	3,11
	Тетраметилсилан	nd	0,63	0,315	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Алкохоли и етери	1-Пентанол	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	1-Ундеканол	2,88	0,3	1,59	1,49	0,29	0,89	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,16	0,08
	1-Бутокси-2-пропанол	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,26	0,13	0,14	0,22	0,18

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела C1 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Лабораторија Концентрација (µg/m³)			Стан 1 Концентрација (µg/m³)			Стан 2 Концентрација (µg/m³)			Стан 3 Концентрација (µg/m³)			Стан 4 Концентрација (µg/m³)		
		Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек
Алкохоли и етери	2-Бутил-1,3-диоксолан	nd	nd	nd	nd	1,22	0,61	nd	nd	nd	nd	1,61	0,805	nd	nd	nd
	Хепт-3-ен-1-ол	nd	0,34	0,17	0,72	0,24	0,48	nd	nd	nd	nd	1,9	0,95	0,17	0,37	0,27
	2,6-Диметил-7-октен-2-ол	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,12	0,06	nd	nd	nd
	3,7-Диметил-3-октанол	1,03	nd	0,515	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,18	0,59	nd	nd	nd
	2,7-Диметил-2,7-октандиол	0,59	nd	0,295	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,1	0,5	0,3
	4-Терт-бутилциклогексанол	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,09	0,545	nd	nd	nd
Алдехиди и кетони	6-Метил-5-хептен-2-он	2,34	nd	1,17	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,64	0,32
	Циклогексанон	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6,49	0,97	3,73	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Октанал	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,16	nd	0,08
	Нонанал	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,21	nd	0,105
	Деканал	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,15	nd	0,075
Естери	*n*-Бутил ацетат	1,94	1,16	1,55	0,22	0,55	0,385	1,65	0,47	1,06	0,23	0,61	0,42	0,76	0,9	0,83
	4-Терт-бутилциклогексил ацетат	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,08	0,28	0,68	0,94	0,43	0,685	nd	nd	nd
	Диетилфталат	0,96	1,7	1,33	0,12	1,85	0,985	2,33	1,37	1,85	0,79	2,02	1,405	nd	nd	nd
Халогенирани соединенија	Тетрахлоретилен	3,06	1,78	2,42	nd	0,46	0,23	0,23	nd	0,115	0,96	nd	0,48	nd	0,66	0,33
	2-Бромнонан	nd	1,88	0,94	0,69	nd	0,345	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	1,9-Дихлорнонан	nd	nd	nd	3,73	nd	1,865	0,9	0,33	0,615	0,16	nd	0,08	nd	nd	nd

Забелешка:
Концентрација (µg/m³) *: Полу-квантитативна концентрација на секој VOC утврдена со GC–MS анализа.
Просек *: Просечна полу-квантитативна концентрација на секој VOC за целиот период на мониторинг на секоја локација.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела C2. VOCs детектирани во внатрешниот воздух на пет следени локации во Милано, Италија, врз основа на примероци собрани користејќи пасивни собирачи Radiello® за време на Јуни и Јули 2024 година. Полукванитативните концентрации (μg/m^3) се прикажани за секоја кампања за земање примероци, заедно со просечните концентрации за целиот период на мониторинг на секоја локација, определени со GC–MS анализа.

VOCs Група	Соединение	Лабораторија Концентрација (μg/m^3) *			Стан 1 Концентрација (μg/m^3)			Стан 2 Концентрација (μg/m^3)			Стан 3 Концентрација (μg/m^3)			Стан 4 Концентрација (μg/m^3)		
		Јуни	Јули	Просек*	Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек
Алифатични јаглеводороди	(2-Метилпропил)циклопентан	0,3	1,1	0,7	7,06	nd	3,53	12,77	15,54	14,155	nd	0,78	0,39	nd	nd	nd
	2,2-Диметилоктан	nd*	nd	nd	nd	nd	nd	2,67	0,13	1,4	nd	1,54	0,77	4,7	nd	2,35
	2,2,4-Триметилпентан	nd	nd	nd	14,15	12,09	13,12	3,03	11,88	7,455	1,78	5,34	3,56	nd	2,42	1,21
	2,2,4,6,6-Пентаметилхептан	nd	nd	nd	7,48	5,24	6,36	9,74	12,94	11,34	0,48	1	0,74	2,53	8,81	5,67
	n-Декан	nd	0,24	0,12	7,69	24,17	15,93	4,87	18,21	11,54	5	3,14	4,07	4,28	2,54	3,41
	n-Додекан	1,9	0,76	1,33	2,11	55,33	28,72	30,19	35,67	32,93	9,66	8,7	9,18	8,13	20,15	14,14
	n-Тридекан	nd	nd	nd	nd	nd	nd	28,97	39,44	34,205	nd	1,24	0,62	4,21	1,01	2,61
	n-Тетрадекан	5,5	1,7	3,6	9,22	20,5	14,86	73,16	52,27	62,715	46,02	31,22	38,62	30,59	22,03	26,31
	n-Пентадекан	nd	nd	nd	nd	nd	nd	8,57	12,66	10,615	nd	0,4	0,2	3,88	2,64	3,26
	n-Хексадекан	1,25	0,33	0,79	nd	nd	nd	28,36	39,81	34,085	2,8	3,02	2,91	10,15	14,31	12,23
	5-Метил-1-хептен	1,61	0,95	1,28	nd	nd	nd	1,22	nd	0,61	3,24	1,98	2,61	nd	nd	nd
	3,3-Диметил-1-октен	0,48	0,8	0,64	3,15	10,23	6,69	2,64	nd	1,32	4,11	0,45	2,28	0,98	0,46	0,72
	1-Тетрадекен	nd	0,74	0,37	6,94	2,18	4,56	6,74	1,82	4,28	8,3	2,52	5,41	5,01	2,41	3,71
Ароматични јаглеводороди	Бензен	nd	nd	nd	0,36	0,18	0,27	1,98	1,65	1,815	0,66	0,36	0,51	0,21	0,44	0,325
	Толуен	23,47	17,89	20,68	3,81	6,47	5,14	14,31	11,26	12,785	3,4	3,96	3,68	3,49	2,59	3,04
	Етилбензен	3,79	1,59	2,69	nd	nd	nd	2,67	0,49	1,58	nd	0,58	0,29	3,22	1,66	2,44
	(*m* + *p*)-Ксилени	3,63	2,25	2,94	0,98	1,71	1,345	4,78	1,4	3,09	1,43	2,23	1,83	3,09	1,29	2,19
	Етилметилбензени	0,44	nd	0,22	nd	0,76	0,38	8,21	6,73	7,47	nd	0,7	0,35	0,57	0,4	0,485
	1-Изопропил-2-метилбензен	6,38	4,7	5,54	1,06	1,31	1,185	nd	nd	nd	nd	1,02	0,51	nd	nd	nd
	Нонилбензен	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,26	1,76	1,01	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Терпени	*α*-Пинен	3,4	3,3	3,35	1,46	1,8	1,63	17,43	6,97	12,2	5,23	1,45	3,34	35,43	20,67	28,05
	β-Пинен	0,21	0,77	0,49	2,17	2,09	2,13	1,06	3,26	2,16	0,94	0,56	0,75	13,89	10,03	11,96
	Лимонен	1,26	2,18	1,72	18,64	15,1	16,87	11,76	18,31	15,035	8,13	6,09	7,11	34,35	15,81	25,08
	Еукалиптол	3,13	4,51	3,82	1,89	0,67	1,28	3,51	0,74	2,125	2,41	0,44	1,425	nd	nd	nd
	Камфор	0,3	0,9	0,6	7,13	5,45	6,29	nd	nd	nd	6,35	4,44	5,395	nd	nd	nd
	Левоментол	nd	nd	nd	5,16	2,62	3,89	nd	nd	nd	1,72	1,38	1,55	8,52	4,12	6,32
	Феландрен	0,93	0,43	0,68	0,16	nd	0,08	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9,18	nd	4,59
	β-Линалол	1,32	0,68	1	7,02	16,86	11,94	9,17	3,91	6,54	nd	nd	nd	32,61	25,43	29,02
	β-Мирцен	nd	nd	nd	2,42	3,3	2,86	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6,3	2,94	4,62
	α-Терпинеол	nd	nd	nd	nd	1,48	0,74	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,06	0,71	1,385
	3-Карен	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	21,63	12,36	16,995
Органосилоксани	Трисилоксан	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,45	0,93	1,19	nd	nd	nd
	Тетраметилсилан	nd	nd	nd	0,42	nd	0,21	1,18	nd	0,59	nd	nd	nd	nd	nd	nd

(Табелата продолжува на следната страница)

Табела С2 (продолжение)

VOCs Група	Соединение	Лабораторија Концентрација (μg/m³)			Стан 1 Концентрација (μg/m³)			Стан 2 Концентрација (μg/m³)			Стан 3 Концентрација (μg/m³)			Стан 4 Концентрација (μg/m³)		
		Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек	Јуни	Јули	Просек
Органосилоксани	Октаметилциклотетразилоксан	0,5	nd	0,25	nd	nd	nd	11,34	2,68	7,01	nd	nd	nd	3,43	1,29	2,36
	Декаметилциклопентазилоксан	0,28	nd	0,14	8,78	10,96	9,87	15,79	4,19	9,99	28,45	23,63	26,04	3,04	7,44	5,24
Алкохоли и етери	1-Пентанол	nd	nd	nd	0	8,58	4,29	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	1-Бутокси-2-пропанол	nd	nd	nd	1,75	25,61	13,68	13,48	11,92	12,7	9,94	4,6	7,27	8,74	4,68	6,71
	2-Бутил-1,3-диоксолан	nd	nd	nd	1,92	nd	0,96	nd	nd	nd	1,1	0,22	0,66	nd	nd	nd
	2-Етил-1-хексанол	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7,26	5,34	6,3
	2-Бутокси-етанол	0,78	0,42	0,6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,72	nd	0,36	2,45	5,67	4,06
	2-(1,1-Диметилетил)-циклогексанол	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,61	10,25	6,93	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	3-Хептен-1-ол	0,2	nd	0,1	2,06	2,44	2,25	nd	nd	nd	2,2	6,34	4,27	nd	nd	nd
	2,6-Диметил-7-октен-2-ол	nd	nd	nd	6,94	10,88	8,91	nd	nd	nd	1,76	0,5	1,13	1,28	2,26	1,77
	3,7-Диметил-3-октанол	nd	nd	nd	6,48	nd	3,24	nd	nd	nd	3,19	1,15	2,17	nd	nd	nd
	2,7-Диметил-2,7-октандиол	nd	nd	nd	11,39	7,21	9,3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,66	1,33
	4-tert-Бутилциклогексанол	nd	nd	nd	9,88	16,5	13,19	nd	nd	nd	6,42	2,14	4,28	2,62	5,14	3,88
	3,7,11-Триметил-1-додеканол	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,8	0,64	0,72	nd	nd	nd
Алдехиди и кетони	Хексанал	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,08	0,13	0,605	0,78	nd	0,39	1,09	0,67	0,88
	6-Метил-5-хептен-2-он	0,53	1,05	0,79	1,82	nd	0,91	2,62	0,81	1,715	3,28	1,7	2,49	0,34	nd	0,17
	Сулкатон	nd	nd	nd	2,56	0,52	1,54	nd	nd	nd	1,8	0,44	1,12	3,19	2,43	2,81
	Октанал	nd	0,16	0,08	5,09	1,45	3,27	7,88	9,56	8,72	0,96	nd	0,48	1,56	nd	0,78
	Нонанал	0,48	0,82	0,65	10,45	15,57	13,01	3,42	2,57	2,995	1,01	0,63	0,82	8,58	5,16	6,87
	Деканал	nd	nd	nd	3,38	2,36	2,87	0,73	0,86	0,795	0	0,42	0,21	1,12	nd	0,56
	2-Ундеканон	nd	nd	nd	1,76	nd	0,88	nd	nd	nd	1,4	nd	0,7	nd	nd	nd
Естери	*n*-Бутил ацетат	0,8	0,38	0,59	25,67	22,69	24,18	21,05	34,64	27,845	2,34	0,66	1,5	8,31	2,64	5,475
	4-tert-Бутилциклогексил ацетат	1,16	nd	0,58	15,26	21,42	18,34	17,29	9,34	13,315	7,02	1,9	4,46	4,09	3,17	3,63
	Алилил ацетат	nd	0,76	0,38	3,2	5,36	4,28	nd	nd	nd	1,5	0,64	1,07	nd	nd	nd
	Диетилфталат	0,64	0,52	0,58	13,56	17,34	15,45	7,95	16,74	12,345	5,92	7,58	6,75	2,86	6,7	4,78
	Диизопропиладипат	0,99	0,57	0,78	6,83	5,41	6,12	3,88	2,05	2,965	1,22	2,9	2,06	0,39	0	0,195
Халогенирани соединенија	Тетрахлоретилен	nd	nd	nd	1,1	2,9	2	2,47	5,41	3,94	1,06	0,12	0,59	nd	nd	nd
	2-Бромнонан	nd	nd	nd	1,66	nd	0,83	nd	nd	nd	2,25	0,51	1,38	nd	nd	nd
	1,9-Дихлорнонан	0,48	nd	0,24	0	2,06	1,03	7,92	nd	3,96	0,62	nd	0,31	nd	nd	nd

Забелешка:
Концентрација (μg/m³) *: Полу-квантитативна концентрација на секој VOC утврдена со GC–MS анализа.
Просек *: Просечна полу-квантитативна концентрација на секој VOC за целиот период на мониторинг на секоја локација.
nd*: Не е детектирано; соединението не е откриено во примерокот.

Табела С3. Средни полуквантитативни концентрации на групи на VOCs детектирани во внатрешен и надворешен воздух на сите мониторирани локации во Милано, Италија, врз основа на GC–MS анализа. Вредностите претставуваат просечни концентрации на локациите во текот на целокупниот период на мониторинг (јуни–јули 2024).

VOCs Група	**Лабораторија**		**Стан 1**		**Стан 2**		**Стан 3**		**Стан 4**	
	Концентрација (μg/m³) *		Концентрација (μg/m³)		Концентрација (μg/m³)		Концентрација (μg/m³)		Концентрација (μg/m³)	
	Внатрешен *	Надворешен *	Внатрешен	Надворешен	Внатрешен	Надворешен	Внатрешен	Надворешен	Внатрешен	Надворешен
Σ Алифатични јаглеводороди	8,83	91,35	93,77	133,64	226,65	428,92	71,36	111,02	75,62	100,86
Σ Ароматични јаглеводороди	32,07	14,96	8,32	22,54	27,75	125,65	7,17	9,45	8,48	13,3
Σ Терпени	11,66	0,15	47,71	0,21	38,06	6,37	19,57	0,75	128,02	6,16
Σ Органосилоксани	0,39	2,26	10,08	0,31	17,59	nd	27,23	0,36	7,6	3,11
Σ Алкохоли и етери	0,7	2,57	55,82	1,98	19,63	nd	20,86	3,08	24,05	0,83
Σ Алдехиди и кетони	1,52	1,17	22,48	nd*	14,83	3,73	6,21	nd	12,07	0,58
Σ Естери	2,91	2,88	68,37	1,37	56,47	3,59	15,84	2,51	14,08	0,83
Σ Халогенирани соединенија	0,24	3,36	3,86	2,44	7,9	0,73	2,28	0,56	nd	0,33

Забелешка:
Концентрација (μg/m³) *: Просечна полу-квантитативна концентрација на секоја група VOC во текот на целиот период на мониторинг на секоја локација.
Внатрешен *: Се однесува на внатрешен воздух.
Надворешен *: Се однесува на надворешен воздух.
nd*: Не е детектирано; групата на VOC не е откриена во примерокот.

ДОДАТОК 4

Овој додаток содржи целосни текстови на трите научни статии објавени во рамките на оваа докторска истражување. Секоја статија е претставена во целост, како што се појавила во соодветните списанија.

Aerosol and Air Quality Research

ORIGINAL RESEARCH
https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

Monitoring Volatile Organic Compounds in Air Using Passive Sampling: Regional Cross-Border Study between N. Macedonia and Kosovo

Vllaznim Mula[1,2], Jane Bogdanov[2], Jasmina Petreska Stanoeva[2], Lulzim Zeneli[1*], Zoran Zdravkovski[2*]

[1] Faculty of Education, University "Fehmi Agani", Str. "Ismail Qemali", n.n. 50000 Gjakova, Kosovo
[2] Institute of Chemistry, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Ss. Cyril and Methodius University, Skopje, North Macedonia

ABSTRACT

The aim of the study was to monitor volatile organic compounds (VOCs) in outdoor air in nine cities/towns across the Republic of N. Macedonia and the Republic of Kosovo for nine consecutive months, using the Radiello® passive and diffusive samplers, and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). In parallel, employing static headspace gas chromatography-mass spectrometry (SHS-GC-MS) technique, VOCs from different types of commercially available gasoline and diesel fuels in the monitored cities were analyzed in order to obtain the chemical profiles and to evaluate the presence of their components in ambient air. GC-MS analyses indicate that the gasoline fuel components (BTEX: benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes) and diesel fuel components (*n*-undecane, *n*-dodecane, *n*-tridecane, *n*-tetradecane, and other linear alkanes) account for approximately 60% of VOCs in the outdoor air in the sampling sites. The bulk of the VOCs in the all-sampling locations regardless of the season come from fossil fuels (automotive fuels) and only minor fraction comes from biogenic emission which is dominated by monoterpenes. Furthermore, the ratios of benzene to toluene (B/T) and xylenes to ethylbenzene (X/E) were used to assess the origins of VOCs emissions in the outdoor urban air at the monitored sites.

Keywords: Air quality, Gasoline, Diesel, Gas chromatography, Passive sampling

OPEN ACCESS

Received: August 4, 2023
Revised: November 17, 2023
Accepted: November 19, 2023

* **Corresponding Authors:**
Lulzim Zeneli
lulzim.zeneli@uni-gjk.org
Zoran Zdravkovski
zoran@ukim.edu.mk

Publisher:
Taiwan Association for Aerosol Research
ISSN: 1680-8584 print
ISSN: 2071-1409 online

Copyright: The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are cited.

1 INTRODUCTION

In this day and age, one of the main global challenges is the exposure of human beings to air pollution (Leung, 2015; McDonald *et al.*, 2018; Seinfeld, 2004). According to the World Health Organization (WHO), air pollution contributes to over seven million annual deaths worldwide, accounting for approximately one-quarter of all fatalities (Wohlgemuth *et al.*, 2020; WHO, 2004). In recent years, growing awareness about air quality has raised concerns regarding hazardous air pollutant (HAP) emissions on a global scale, prompting many states to develop strategies aimed at improving outdoor air quality (Gee and Sollars, 1998; Mohamed *et al.*, 2002).

Using the information from the US Environmental Protection Agency (EPA) and the European Environment Agency (EEA), a diverse group of VOCs, which includes BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes), have been classified as hazardous air pollutants (HAPs) (Huang *et al.*, 2018; U.S. EPA, 2022). Even though BTEX compounds share similar chemical structures, their physicochemical properties differ (Słomińska *et al.*, 2014). In Fig. S1, presented in the supplementary material, literature data on the lifetimes, and total decomposition times of BTEX compounds in atmospheric air presented (Słomińska *et al.*, 2014). It is essential to pinpoint the sources of anthropogenic VOCs to effectively alleviate air pollution and improve human health.

VOCs undergo oxidation in the presence of nitrogen oxides (NO_x = NO + NO_2) and sunlight,

ORIGINAL RESEARCH
https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

leading to the formation of toxic oxidants such as photochemical smog, tropospheric ozone (O_3), particulate matter ($PM_{2.5}$), and secondary organic aerosol (SOA), which are detrimental to human beings because of their harmful properties (carcinogenic, teratogenic, mutagenic, and phytotoxic) and have adverse effects on the environment (Churkina *et al.*, 2017; Gee and Sollars, 1998; Gentner *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2015; Król *et al.*, 2012; McDonald *et al.*, 2018; Shen *et al.*, 2013).

VOCs are emitted into the atmosphere from a range of sources, including anthropogenic activities like industrial processes, transportation, petroleum refineries, domestic processes, fossil fuel-burning power plants, textile cleaning, construction activities, and pharmaceutical industries, as well as from biogenic or natural sources like vegetation, volcanoes, anaerobic moors processes, and natural forest fires (David and Niculescu, 2021; Gu *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2018; Mohamed *et al.*, 2002). Biogenic volatile organic compounds (BVOCs) account for around 80%–90% of all VOCs emissions into the environment annually (Antonelli *et al.*, 2020; Laothawornkitkul *et al.*, 2009).

In urban setting significant contributor to VOCs is the transportation sector, which heavily relies on petrochemical fuels (gasoline, diesel, and fuel oils). In recent years, in the western countries the automotive VOC emissions have steadily dropped due to improved vehicle (gasoline and diesel) engines and fuel technology (McDonald *et al.*, 2018). The same authors have concluded that in urban air, VOCs arising from transportation have decreased and the organic compounds from chemical products (so-called VCP) have drastically increased. In other words, in urban settings there is a shift from transportation-related sources toward VCPs (McDonald *et al.*, 2018).

In 2019, a World Bank study revealed that residents of the Balkans and Eastern Europe experience elevated exposure to fine particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}) in comparison to their Western European counterparts, with the Balkans hosting seven of Europe's top ten most polluting coal-fired power plants of which one is located in the vicinity of the capital of Kosovo (Prishtina) (The World Bank, 2019a, 2019b, 2019c). Regional studies are needed to make an to locate the sources of anthropogenic VOCs to effectively alleviate air pollution.

It is important to note that here are no operating refineries in North Macedonia and Kosovo. From 1982 until 2013 (with some breaks), the OKTA (refinery in Macedonia) near the capital city of Skopje, produced fuels according to the European standards (EU, 2007). Since January 2013, the refinery is inactive, but the storage capacities are used for imported petroleum derivatives which must satisfy the requirements of the European Union. The other large chemical factory OHIS in Skopje shut down the production about 3 decades ago and is not expected to contribute as emitter of VOCs.

It is crucial to have preliminary data on the composition of VOCs and to select the proper air monitoring methods, as there is currently no available data about their presence and content in the Western Balkan countries, especially Kosovo and Macedonia. The study presented herein, was designed for monitoring volatile organic compounds (VOCs) in the atmospheric air at nine cities/towns near the North Macedonia-Kosovo border over several months. Passive/diffusive samplers were used, followed by gas chromatography-mass spectrometric (GC-MS) analyses. The results were compared to VOC profiles found in gasoline and diesel fuel components to identify emission sources at the monitored sites.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Sampling Sites

The monitoring sites were strategically selected in order to represent different urban and suburban settings within the chosen cities/towns along the Kosovo and North Macedonia borders. The selection criteria included several factors: avoiding direct proximity to emission sources, ensuring optimal air circulation, avoiding obstacles or barriers, and ensuring both accessibility and security. The sampling sites were positioned in close proximity to major traffic routes, industrial zones, and residential regions. The samples were collected from nine locations (Fig. 1) with the following characteristics and differences:

1. Tetovo (41.9978°N; 20.9626°E) is a city in North Macedonia, surrounded by the Sharr and Dry Mountains, and has a population of 84,770 people (Wikipedia, 2021). The sample location was one kilometer from the main road, in an open area surrounded by residential buildings (464 m a.s.l.).

ORIGINAL RESEARCH
https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

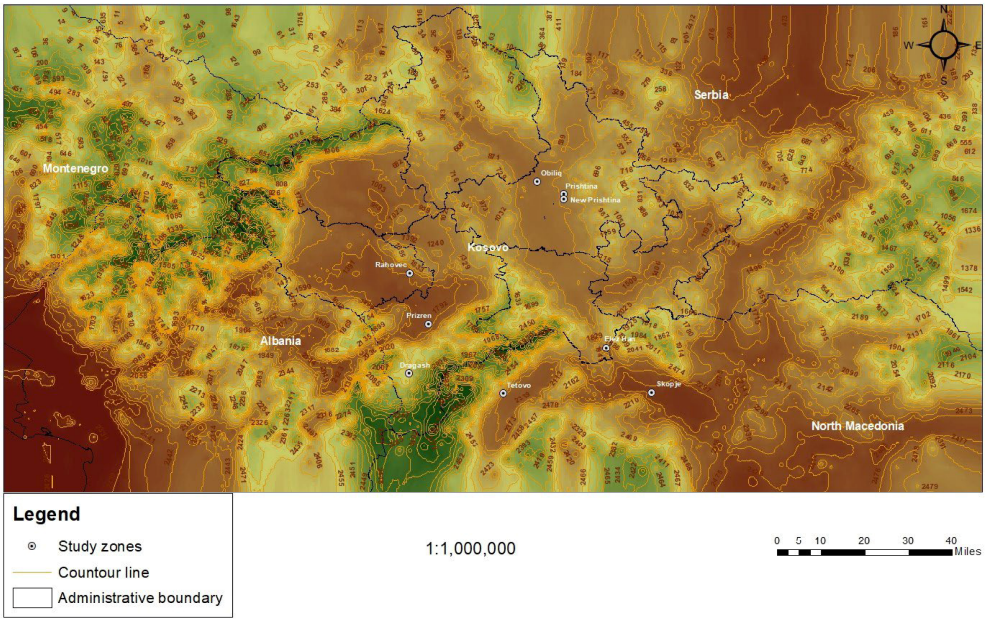


Fig. 1. Geographical location of nine sampling sites.

2. Skopje (42.0013°N; 21.4534°E) is the capital of N. Macedonia with 526,502 inhabitants (Wikipedia, 2021). The sampling site was located 500 meters from the nearest road and is an open area with dwelling homes (250 m a.s.l.).
3. Elez Han (42.1450°N; 21.3027°E) is a town in Kosovo situated on the border with North Macedonian and has an estimated population of 9,389 people (Wikipedia, 2011). The sampling site was 300 meters from the cement factory and 400 meters from the border crossing with N. Macedonia. It depicts an open area with residential houses (381 m a.s.l.).
4. Prishtina (42.6565°N; 21.1636°E) is the capital of Kosovo with estimated population of 198,897 people (Wikipedia, 2011). The sample location was situated in an open area with dwelling facilities and is likely to be influenced by heavy traffic, as the nearest high-traffic route is only 20 meters away (604 m a.s.l.).
5. New Prishtina (42.6388°N; 21.1637°E) is another sampling site within the urban zone of Prishtina. The sampling site was 150 meters from the nearest road and surrounded by residences. Diesel fuel compounds are expected to have an impact on air quality due to the daily construction of new buildings on this site (606 m a.s.l.).
6. Prizren (42.2247°N; 20.7165°E) is a city in Kosovo with a population of 177,781 people (Wikipedia, 2011). The sample location was 1.5 kilometers away from the main road, in an area characterized by open terrain and residential houses (440 m a.s.l.).
7. Dragash or Sharr (42.0623°N; 20.6524°E) is a town in Kosovo surrounded by the Sharr, Koritnik, Gjalic, and Cylen Mountains. The sampling site was 200 meters from the main road, in an open area surrounded by meadows and residence facilities (1080 m a.s.l.). Dragash has an estimated population of 33,997 people (Wikipedia, 2011).
8. Rahovec (42.3936°N; 20.6530°E) is a town in Kosovo with population of 55,053 people (Wikipedia, 2011). The sampling site was 350 meters from the nearest road, in an open area with residential houses and surrounded by vineyards (424 m a.s.l.).



ORIGINAL RESEARCH
https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

9. Obiliq (42.6965°N; 21.0747°E) is a town in the Prishtina District of Kosovo near the coal power plants. There are two power plants in the country: Kosovo A Power Station, with a capacity of 650 MW, and Kosovo B Power Station, comprising two units with a 340 MW generation capacity. The sample location is 350 meters from the nearest road and 1.5 kilometers from the power plants, encircled by meadows and residential dwellings (584 m a.s.l.). The town has an estimated population of 21 549 people (Wikipedia, 2011).

2.2 Sampling Methods and Sample Preparation

Radiello® passive/diffusive samplers, designed and developed by the Fondazione Salvatore Maugeri in Padova, Italy (Radiello®, 2023), were placed in nine sampling locations (Fig. 1) to monitor VOCs in the atmospheric air of the border region between the Republic of North Macedonia (Skopje, Tetovo) and the Republic of Kosovo (Prishtina, New Prishtina, Prizren, Dragash, Rahovec, Obiliq, and Elez Han).

The Radiello® passive sampler (RAD 130) was selected for its ability to effectively capture a wide range of VOCs in outdoor air, its ease of use, low maintenance requirements, and compatibility with our research objectives. Additionally, it operates without the need for pumps or electricity, further enhancing its suitability for our study (Radiello®, 2023).

The adsorbing cartridge is coaxially housed within the white diffusive body, allowing the sampling of BTXE, as well as other VOCs, by diffusion through the microporous polyethylene membrane and adsorption onto the activated charcoal cylindrical cartridge (Radiello®, 2023).

Each RAD 130 sampler was pre-conditioned and calibrated according to the manufacturer's guidelines before application. The samplers were placed at an approximate height of 3 meters above ground level to assess pedestrians' breathing zone exposure. Additionally, they were protected from rain and bright sunshine using mountable polypropylene shelters (Cat. No. RAD196).

Air samples were collected from each site monthly, spanning from April to December 2022. A total of 9 air samples were collected at each monitoring site throughout the study, culminating in a total of 81 samples. A new cartridge was used for each sampling period, with a sampling duration of 28 days. This timeframe was chosen to capture seasonal variations and potential short-term events that might affect air quality. The exposed cartridges were securely stored in sealed plastic bags at a temperature of 4°C until the GC-MS analysis.

The charcoal cartridges used during sampling were transferred into vials and fortified with 100 μL of anisole (internal standard), followed by 2 mL of a dichloromethane. The vials were then sealed with septum caps. The samples were gently shaken for 30 minutes at ambient temperature, and 1000 μL of the liquid phase was transferred to a vial for GC-MS analysis.

The various types of gasoline and diesel fuel from different gas stations were collected in April 2022 at the monitoring sites. The samples were instantly refrigerated at 4°C at the sampling locations before being transferred to the laboratory refrigerator.

2.3 GC-MS Analysis

The chromatographic separation of VOCs was carried out using an Agilent 6890N gas chromatograph coupled to a single quadrupole 5975B mass selective detector. HP-5MS (30 m × 0.25 mm, 2.25 μm, Agilent Technologies Inc.) stationary phase was used with helium as a carrier with a constant flow of 1.0 mL min^{-1}. The GC was initially set at 35°C for a duration of 5 minutes and then gradually raised to 90°C at a rate of 5°C min^{-1} for 3 minutes, followed by another increase to 280°C. The injector temperature was set at 240°C and 2 μL of the sample was injected using the split-less mode. The MS source was set at 230°C, the quadrupole at 150°C and the *m/z* scan range of 35–500 amu. The total run time per analysis was 40 minutes.

For the analysis of gasoline and diesel fuels, an Agilent 7697A Headspace autosampler was used. A 1.0 μL sample was placed in the 22 mL Headspace injection vial, secured with septum and heated at 145°C for 15 minutes. The temperature of the loop was 150°C, with the fill pressure of 15 psi and fill time of 0.25 min. The transfer line was set at 160°C. Upon the completion of the process the sample was introduced to the GC-MS with the same method as described for the liquid injection.

The analysis of collected samples of ambient air, gasoline, and diesel fuels was done using the Agilent MassHunter v.10.0 software or ChemStation. Identification of compounds was accomplished

ORIGINAL RESEARCH
https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

by comparing their retention times with available standards, and also by using mass spectra and matching with NIST Library of mass spectra (NIST MS 2011). The compounds for which standards were not available were identified using the NIST Mass Spectral Database with probability values greater than 85%.

Mass percentages of individual VOCs in ambient air were calculated by dividing each compound's surface area by the response factor of anisole. The resulting values were then divided by the total mass of identified VOCs and multiplied by 100%.

To determine the mass percentage for each group (Alkane C_4–C_9, Alkane C_{10}–C_{24}, BTEX, C_9–C_{11} aromatics, oxygenated volatile organic compounds (OVOCs), and natural volatile organic compounds (NVOCs)), mass percentages of compounds within each group were summed. This method allowed for precise assessment of VOC distribution in the ambient air, providing insights into air quality and composition.

3 RESULTS AND DISCUSSION

Based on the HS-GC-MS analyses of the commercially available automotive fuels in Kosovo and Macedonia it was evident that they have very similar profiles. The analyses indicate that the dominant gasoline fuel components are toluene, ethylbenzene, and xylenes and diesel fuels are dominated by alkanes (*n*-undecane, *n*-dodecane, *n*-tridecane, *n*-tetradecane, and other linear alkanes). These compounds can also be detected in the collected samples from the above-mentioned locations.

In Fig. 2 the mass percentages (%) of the identified organic compounds in ambient air, gasoline, and diesel fuels from April 2022 are depicted. The data indicates that the primary VOCs in air samples from monitoring sites in April 2022 are BTEX, C_9–C_{11} aromatics, and alkane C_{10}–C_{24} species, which collectively account for approximately 84% of the total compounds. These compounds closely resemble those found in different types of gasoline and diesel fuels used in North Macedonia and Kosovo.

In Fig. 3, the average seasonal mass percentages (%) of all categories of VOCs detected at the monitoring sites in 2022 are illustrated.

The BTEX, C_9–C_{11} aromatics, and alkane C_{10}–C_{24} species are the main VOCs detected at monitoring sites, accounting for about 70% of total compounds, and they are most likely from road transport vehicles (Kerchich and Kerbachi, 2012). The profiles of all the samplers are very similar, with exception of those in Dragash and Rahovec. However, in these two locations, alkanes C_{10}–C_{24} (diesel components: *n*-tridecane, *n*-tetradecane, *n*-pentadecane, and *n*-hexadecane) dominate with a

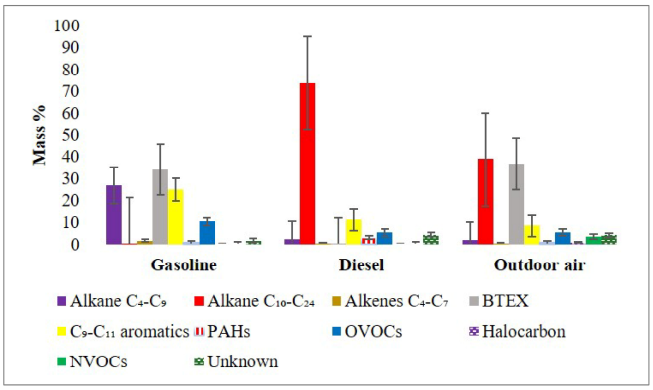


Fig. 2. Comparison of volatile organic compounds (VOCs) in commercial gasoline, commercial automotive diesel, and in outdoor air (April 2022) as determined by GC-MS.

ORIGINAL RESEARCH
https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

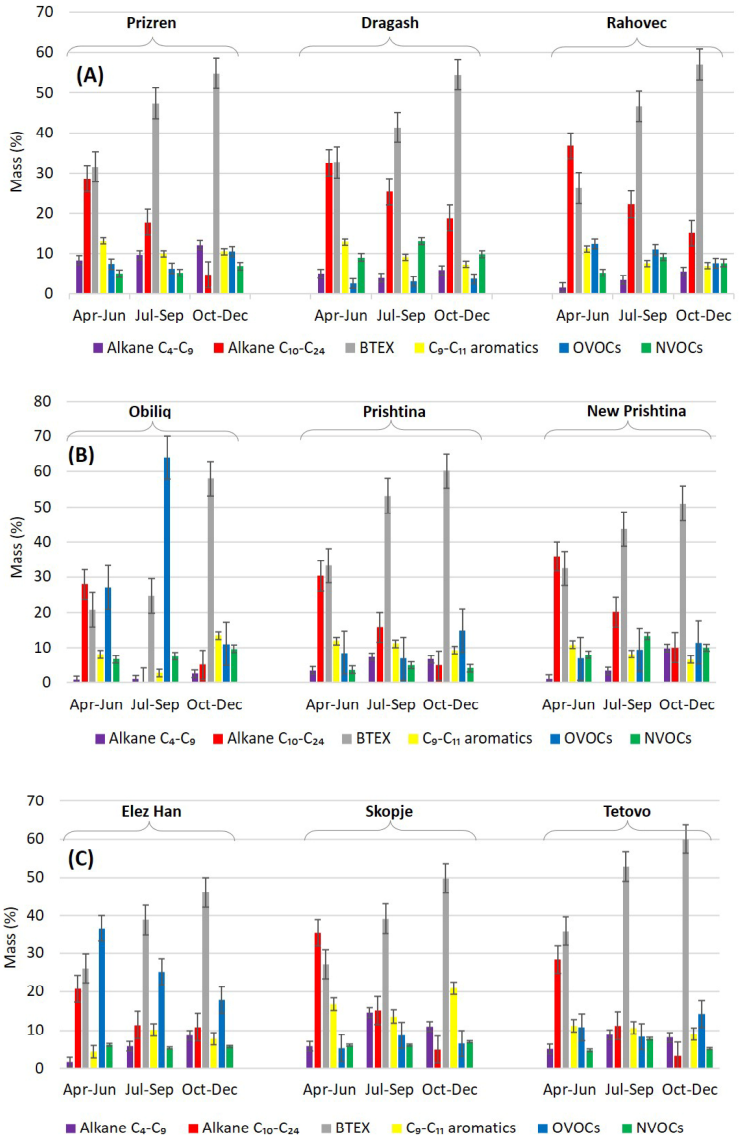


Fig. 3. The average seasonal mass percentages (%) of all VOC categories from the sampling locations: (A) Prizren, Dragash, Rahovec, (B) Obiliq, Prishtina, New Prishtina, and (C) Elez Han, Skopje, and Tetovo during each season (spring, April–June, summer July–September, autumn October–December) in 2022.



ORIGINAL RESEARCH
https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

mass distribution of about 25%. This may be because Dragash and Rahovec are agricultural areas that use a higher proportion of heavy tractors and diesel-powered equipment than other monitoring sites.

The outdoor air in Obiliq and Elez Han has higher levels of oxygenated volatile organic compounds (OVOCs) than those in other sites, with 34% in Obiliq and 26% in Elez Han. This is because of the use of coal and oxygenated solvents by the industrial activity in these areas, such as Power Plants A and B in Obiliq and the cement and plastic factories in Elez Han. Plant emissions are the main natural source of OVOCs, but their levels increase in all samples during summer due to the photochemical oxidation of VOCs in the environment (Mellouki *et al.*, 2015).

Biogenic volatile organic compounds (BVOCs), such as terpenes, are emitted from the leaf surface of chlorophyll-containing plants during photosynthesis (Miyama *et al.*, 2020). The average mass percentage of BVOCs emitted varies with the temperature of the atmosphere (Miyama *et al.*, 2020). Based on the data, one can conclude that the quantity of BVOCs in the atmosphere increases as the temperature of the atmosphere rises (Antonelli *et al.*, 2020; Miyama *et al.*, 2020). As a result, the mass percentage of isoprene, monoterpenes, and sesquiterpenes, which are the main components of BVOCs, in the atmosphere increased in the spring and summer compared to autumn and winter due to higher temperature, light intensity, and vegetation activity (Antonelli *et al.*, 2020; Miyama *et al.*, 2020). Among all monitoring sites, Dragash had the highest quantity of BVOCs (10.65%) compared to other sample locations. It was located in the Sharr Mountains, with abundant coniferous trees such as pine and other green vegetation.

Tetovo and Prishtina had the highest average distribution of mass percentages of BTEX in atmospheric air, with 50% and 49%, respectively. These cities are likely to have high levels of traffic emissions, industrial activities, and gasoline stations, which are the main sources of the VOCs.

With the increasing number of passenger cars, complex issues appear, with serious effects on emissions and fuel use (Kostenidou *et al.*, 2021; Lopes *et al.*, 2014; Saliba *et al.*, 2017; Zhu *et al.*, 2016). Biofuel production and use have expanded dramatically in recent years to lower greenhouse gas emissions and support renewable energy sources (Karavalakis *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2014; Rounce *et al.*, 2012; Shi *et al.*, 2006). One of the most significant distinctions between the two types of diesels is that biodiesel is more viscous and contains approximately 10–12% oxygen, whereas standard diesel has no oxygen (Karavalakis *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2014). Furthermore, the elevated oxygen content in biodiesel fuel enables it to burn more completely, resulting in a reduction of VOC emissions, such as benzene, toluene, and octane, by 60–80% in comparison to regular diesel (Karavalakis *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2014). Biodiesel is both biodegradable and non-toxic (Lopes *et al.*, 2014). Thus, regular diesel is more hazardous to human health compared to biodiesel blends, and higher biodiesel percentages result in lower total VOC emissions (Lopes *et al.*, 2014). However, the impact of biodiesel on VOC emissions can vary significantly depending on the vehicle, engine technology, and driving patterns (Lopes *et al.*, 2014). Total hydrocarbon (THC) emissions were found to be higher in ethanol and diesel fuel mixes, while biodiesel blends produced lower THC emissions than pure diesel fuel (Shi *et al.*, 2006). Research suggests that a combination of biodiesel, ethanol and diesel fuel can be a feasible alternative fuel option for diesel engines (Karavalakis *et al.*, 2009; Rounce *et al.*, 2012; Shi *et al.*, 2006).

The ratios of benzene to toluene (B/T) and xylenes to ethylbenzene (X/E) serve as significant indicators used to assess the origins of volatile organic compounds in the outdoor urban air (Abtahi *et al.*, 2018; Caselli *et al.*, 2010). Based on the previous studies, it has been proposed that B/T ratios within the range of 0.23–0.66 indicate that traffic vehicles constitute the main contributors to VOC emissions in the atmosphere. A B/T ratio lower than 0.23 suggests that volatile organic compounds emanate predominantly from stationary sources, while a B/T exceeding 0.66 indicated that VOC emissions primarily originate from both stationary and mobile sources in the ambient air (Abtahi *et al.*, 2018). Furthermore, literature research suggests that X/E ratios within the range of 2.8–4.6, indicate vehicular traffic as the predominant source of VOCs in the ambient air (Caselli *et al.*, 2010). Ratios of the B/T and X/E calculated from data obtained locations and other areas obtained from the literature are presented in Table 1.

Compared with our findings, the B/T ratios ambient air determined in Orleans (France) and Tehran (Iran) are higher than the B/T ratio in this study, which ranged from 0.61–1.21. The values

ORIGINAL RESEARCH
https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

Table 1. Comparison of B/T (Benzene/Toluene) and X/E (Xylenes/Ethylbenzene) ratios in sampled locations monitored and other areas based on the literature researches.

City/Country	B/T	X/E	References
(1) Tetovo/North Macedonia	0.62	**2.72**	Present study
(2) Skopje/North Macedonia	0.61	**2.72**	Present study
(3) Elez Han/Kosovo	0.92	2.25	Present study
(4) Prishtina/Kosovo	0.96	2.29	Present study
(5) New Prishtina/Kosovo	0.81	2.38	Present study
(6) Prizren/Kosovo	0.66	2.45	Present study
(7) Dragash/Kosovo	**1.18**	1.87	Present study
(8) Rahovec/Kosovo	**1.21**	1.7	Present study
(9) Obiliq/Kosovo	0.93	2.31	Present study
Guangzhou/China	0.35	1.70	(Barletta *et al.*, 2008)
Hong Kong/China	0.15	3.20	(Ho *et al.*, 2004)
Delhi/India	0.06	5.74	(Garg and Gupta, 2019)
Gdansk/Poland	0.70	4.51	(Marć *et al.*, 2014)
Carmen, Campeche/Mexico	0.48	–	(Cerón *et al.*, 2013)
Paris/France	0.14	4.2	(Gros *et al.*, 2007)
London/England	0.65	4.90	(Derwent, 1995)
Valencia/Spain	0.18	2.89	(Esplugues *et al.*, 2010)
Yazd, Iran	0.49	2.97	(Hajizadeh *et al.*, 2018)
Algiers, Algeria	0.41	4.75	(Kerchich and Kerbachi, 2012)
Helsinki/Finland	0.33	4.42	(Hellen *et al.*, 2002)
Rome/Italy	0.36	4.53	(Brocco *et al.*, 1997)
Sydney/Australia	0.29	4.15	(Nelson *et al.*, 1983)
Orleans/France	3.49	–	(Abtahi *et al.*, 2018)
Tehran/Iran	1.69	–	(Abtahi *et al.*, 2018)

obtained in London (B/T = 0.65) are comparable to the values in Tetovo (0.62), Skopje (0.61), and Prizren (0.66). The X/E ratios in our study were from 1.7–2.72 and they were below the suggested range of 2.8–4.6. The average B/T and X/E ratios observed in our work indicate that VOC emissions in the ambient air mainly come from stationary and mobile sources.

All in all, if one takes into account the chemical profiles of commercially available gasolines and diesel fuels, they are very similar in Macedonia and Kosovo. The bulk of the VOCs in all of the sampling locations, regardless of the season, come from fossil fuels (automotive fuels) and only minor fraction (less than 10%) comes from biogenic emission. The highest content of BVOCs was observed in the mountain town of Dragash, where in the summer time they were above 10%. The biogenic emissions were dominated by the monoterpenes limonene and α-pinene. All of the above, points toward the need for a more detailed study in the speciation of AVOCs using complementary sampling techniques, which will help us locate the key emission sources.

4 CONCLUSIONS

Volatile organic compounds (VOCs) have not been monitored, in most of the former Yugoslav countries, including the N. Macedonia and Kosovo. Herein, the Radiello® diffusive passive sampler devices and subsequent GC-MS analysis were applied to monitor VOCs in nine cities/towns near N. Macedonia and Kosovo border. Utilizing HS-GC-MS method we were able to make a profile of VOCs of different types of commercially available gasoline and diesel fuels in the monitored cities and evaluated the presence of their components in ambient air.

The rank order of organic groups of VOCs based on their mass percentages (%) emission in the outdoor air is as follows: alkane C_{10}–C_{24} > BTEX > C_9–C_{11} aromatics > OVOCs > NVOCs > alkane C_4–C_9 > PAHs > halocarbon > alkenes C_4–C_7. The ratios of benzene to toluene (B/T) and xylenes to ethylbenzene (X/E) point that the primary sources of VOC in the ambient air of nine cities



ORIGINAL RESEARCH
https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

include both stationary and mobile emission sources. The majority of the VOCs in the all the sites regardless of the season come from fossil fuels (automotive fuels) and only minor fraction (less than 10%) comes from biogenic emission. Based on the data acquired, one may deduce that the proportion of biogenic organic molecules in the atmosphere increases as the temperature rises. Consequently, the mass percentage of terpenes in the summer was higher than in other seasons.

In conclusion, Radiello® passive samplers offer numerous advantages over active sampling techniques. Furthermore, the long-term goal is to establish quantitative analyses of VOCs in atmospheric air and to continuously monitor by complementary methods their concentrations throughout the year. The ultimate goal is detailed chemical speciation of AVOCs and BVOCs, pinpointing the sources of outdoor urban air pollution and devising control measures for their reduction or elimination, which will eventually lead to adequate air quality in urban areas.

SUPPLEMENTARY MATERIAL

Supplementary material for this article can be found in the online version at https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

REFERENCES

Abtahi, M., Fakhri, Y., Conti, G.O., Ferrante, M., Taghavi, M., Tavakoli, J., Heshmati, A., Keramati, H., Moradi, B., Amanidaz, N., Khaneghah, A.M. (2018). The concentration of BTEX in the air of Tehran: a systematic review-meta analysis and risk assessment. Int. J. Environ. Res. Public Health 15, 1837. https://doi.org/10.3390/ijerph15091837

Antonelli, M., Donelli, D., Barbieri, G., Valussi, M., Maggini, V., Firenzuoli, F. (2020). Forest volatile organic compounds and their effects on human health: a state-of-the-art review. Int. J. Environ. Res. Public Health 17, 6506. https://doi.org/10.3390/ijerph17186506

Barletta, B., Meinardi, S., Simpson, I.J., Zou, S., Sherwood Rowland, F., Blake, D.R. (2008) Ambient mixing ratios of nonmethane hydrocarbons (NMHCs) in two major urban centers of the Pearl River Delta (PRD) region: Guangzhou and Dongguan. Atmos. Environ. 42, 4393–4408. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.01.028

Brocco, D., Fratarcangeli, R., Lepore, L., Petricca, M., Ventrone, I. (1997). Determination of aromatic hydrocarbons in urban air of Rome. Atmos. Environ. 31, 557–566. https://doi.org/10.1016/S1352-2310(96)00226-9

Caselli, M., de Gennaro, G., Marzocca, A., Trizio, L., Tutino, M. (2010). Assessment of the impact of the vehicular traffic on BTEX concentration in ring roads in urban areas of Bari (Italy). Chemosphere 81, 306–311. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.07.033

Cerón, J.G., Ramírez, E., Cerón, R.M., Carballo, C., Aguilar, C., López, U., Ramírez, A., Gracia, Y., Naal, D., Campero, A., Guerra, J., Guevara, E. (2013). Diurnal and seasonal variation of BTX in ambient air of one urban site in Carmen City, Campeche, Mexico. J. Environ. Prot. 4, 40–49. https://doi.org/10.4236/jep.2013.48A1006

Churkina, G., Kuik, F., Bonn, B., Lauer, A., Grote, R., Tomiak, K., Butler, T.M. (2017). Effect of VOC emissions from vegetation on air quality in berlin during a heatwave. Environ. Sci. Technol. 51, 6120–6130. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06514

David, E., Niculescu, V.C. (2021). Volatile organic compounds (VOCs) as environmental pollutants: occurrence and mitigation using nanomaterials. Int. J. Environ. Res. Public Health 18, 13147. https://doi.org/10.3390/ijerph182413147

Derwent, R. (1995). Analysis and interpretation of air quality data from an urban roadside location in Central London over the period from July 1991 to July 1992. Atmos. Environ. 29, 923–946. https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00219-B

Esplugues, A., Ballester, F., Estarlich, M., Llop, S., Fuentes-Leonarte, V., Mantilla, E., Iñiguez, C. (2010). Indoor and outdoor air concentrations of BTEX and determinants in a cohort of one-year old children in Valencia, Spain. Sci. Total Environ. 409, 63–69. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.09.039

European Union (EU) (2007). Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the



ORIGINAL RESEARCH
https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

Council of 20 June 2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2007/715/oj (accessed 8 October 2023).

Garg, A., Gupta, N.C. (2019). A comprehensive study on spatio-temporal distribution, health risk assessment and ozone formation potential of BTEX emissions in ambient air of Delhi, India. Sci. Total Environ. 659, 1090–1099. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.426

Gee, I.L., Sollars, C.J. (1998). Ambient air levels of volatile organic compounds in Latin American and Asian cities. Chemosphere 36, 2497–2506. https://doi.org/10.1016/S0045-6535(97)10217-X

Gentner, D.R., Jathar, S.H., Gordon, T.D., Bahreini, R., Day, D.A., El Haddad, I., Hayes, P.L., Pieber, S.M., Platt, S.M., de Gouw, J., Goldstein, A.H., Harley, R.A., Jimenez, J.L., Prévôt, A.S.H., Robinson, A.L. (2017). Review of urban secondary organic aerosol formation from gasoline and diesel motor vehicle emissions. Environ. Sci. Technol. 51, 1074–1093. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04509

Gros, V., Sciare, J., Yu, T. (2007). Air-quality measurements in megacities: Focus on gaseous organic and particulate pollutants and comparison between two contrasted cities, Paris and Beijing. C.R. Geosci. 339, 764–774. https://doi.org/10.1016/j.crte.2007.08.007

Gu, S., Guenther, A., Faiola, C. (2021). Effects of anthropogenic and biogenic volatile organic compounds on Los Angeles air quality. Environ. Sci. Technol. 55, 12191–12201. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01481

Hajizadeh, Y., Mokhtari, M., Faraji, M., Mohammadi, A., Nemati, S., Ghanbari, R., Abdolahnejad, A., Fard, R.F., Nikoonahad, A., Jafari, N., Miri, M. (2018). Trends of BTEX in the central urban area of Iran: A preliminary study of photochemical ozone pollution and health risk assessment. Atmos. Pollut. Res. 9, 220–229. https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.09.005

Hellen, H., Hakola, H., Laurila, T., Hiltunen, V., Koskentalo, T. (2002). Aromatic hydrocarbon and methyl tert-butyl ether measurements in ambient air of Helsinki (Finland) using diffusive samplers. Sci. Total Environ. 298, 55–64. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00168-7

Ho, K.F., Lee, S.C., Guo, H., Tsai, W.Y. (2004). Seasonal and diurnal variations of volatile organic compounds (VOCs) in the atmosphere of Hong Kong. Sci. Total Environ. 322, 155–166. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.10.004

Huang, C., Shan, W., Xiao, H. (2018). Recent advances in passive air sampling of volatile organic compounds. Aerosol Air Qual Res 18, 602–622. https://doi.org/10.4209/aaqr.2017.12.0556

Huang, H., Xu, Y., Feng, Q., Leung, D.Y.C. (2015). Low temperature catalytic oxidation of volatile organic compounds: a review. Catal. Sci. Technol. 5, 2649–2669. https://doi.org/10.1039/C4CY01733A

Karavalakis, G., Stournas, S., Bakeas, E. (2009). Effects of diesel/biodiesel blends on regulated and unregulated pollutants from a passenger vehicle operated over the European and the Athens driving cycles. Atmos. Environ. 43, 1745–1752. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.12.033

Kerchich, Y., Kerbachi, R. (2012). Measurement of BTEX (benzene, toluene, ethybenzene, and xylene) levels at urban and semirural areas of Algiers City using passive air samplers. J. Air Waste Manage. Assoc. 62, 1370–1379. https://doi.org/10.1080/10962247.2012.712606

Kostenidou, E., Martinez-Valiente, A., R'Mili, B., Marques, B., Temime-Roussel, B., Durand, A., André, M., Liu, Y., Louis, C., Vansevenant, B., Ferry, D., Laffon, C., Parent, P., D'Anna, B. (2021). Technical note: Emission factors, chemical composition, and morphology of particles emitted from Euro 5 diesel and gasoline light-duty vehicles during transient cycles. Atmos. Chem. Phys. 21, 4779–4796. https://doi.org/10.5194/acp-21-4779-2021

Król, S., Zabiegała, B., Namieśnik, J. (2012). Measurement of benzene concentration in urban air using passive sampling. Anal. Bioanal. Chem. 403, 1067–1082. https://doi.org/10.1007/s00216-011-5578-y

Laothawornkitkul, J., Taylor, J.E., Paul, N.D., Hewitt, C.N. (2009). Biogenic volatile organic compounds in the Earth system. New Phytol. 183, 27–51. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02859.x

Leung, D.Y.C. (2015). Outdoor-indoor air pollution in urban environment: challenges and opportunity. Front. Environ. Sci. 2, 69. https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00069



ORIGINAL RESEARCH
https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

Lopes, M., Serrano, L., Ribeiro, I., Cascão, P., Pires, N., Rafael, S., Tarelho, L., Monteiro, A., Nunes, T., Evtyugina, M., Nielsen, O.J., Gameiro da Silva, M., Miranda, A.I., Borrego, C. (2014). Emissions characterization from EURO 5 diesel/biodiesel passenger car operating under the new European driving cycle. Atmos. Environ. 84, 339–348. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.11.071

Marć, M., Namieśnik, J., Zabiegała, B. (2014). BTEX concentration levels in urban air in the area of the Tri-City agglomeration (Gdansk, Gdynia, Sopot), Poland. Air Qual. Atmos. Health 7, 489–504. https://doi.org/10.1007/s11869-014-0247-x

McDonald, B.C., de Gouw, J.A., Gilman, J.B., Jathar, S.H., Akherati, A., Cappa, C.D., Jimenez, J.L., Lee-Taylor, J., Hayes, P.L., McKeen, S.A., Cui, Y.Y., Kim, S.W., Gentner, D.R., Isaacman-VanWertz, G., Goldstein, A.H., Harley, R.A., Frost, G.J., Roberts, J.M., Ryerson, T.B., Trainer, M. (2018). Volatile chemical products emerging as largest petrochemical source of urban organic emissions. Science 359, 760–764. https://doi.org/10.1126/science.aaq0524

Mellouki, A., Wallington, T.J., Chen, J. (2015). Atmospheric chemistry of oxygenated volatile organic compounds: impacts on air quality and climate. Chem. Rev. 115, 3984–4014. https://doi.org/10.1021/cr500549n

Miyama, T., Morishita, T., Kominami, Y., Noguchi, H., Yasuda, Y., Yoshifuji, N., Okano, M., Yamanoi, K., Mizoguchi, Y., Takanashi, S., Kitamura, K., Matsumoto, K. (2020). Increases in biogenic volatile organic compound concentrations observed after rains at six forest sites in non-summer periods. Atmosphere 11, 1381. https://doi.org/10.3390/atmos11121381

Mohamed, M.F., Kang, D., Aneja, V.P. (2002). Volatile organic compounds in some urban locations in United States. Chemosphere 47, 863–882. https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00107-8

Nelson, P.F., Quigley, S.M., Smith, M.Y. (1983). Sources of atmospheric hydrocarbons in Sydney: A quantitative determination using a source reconciliation technique. Atmos. Environ. 17, 439–449. https://doi.org/10.1016/0004-6981(83)90117-8

Radiello® (2023). Radiello® Manual. https://d3pcsg2wjq9izr.cloudfront.net/files/2285/download/724345/radiello_manual_final.pdf (accessed 8 October 2023).

Rounce, P., Tsolakis, A., York, A.P.E. (2012). Speciation of particulate matter and hydrocarbon emissions from biodiesel combustion and its reduction by aftertreatment. Fuel 96, 90–99. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.12.071

Saliba, G., Saleh, R., Zhao, Y., Presto, A.A., Lambe, A.T., Frodin, B., Sardar, S., Maldonado, H., Maddox, C., May, A.A., Drozd, G.T., Goldstein, A.H., Russell, L.M., Hagen, F., Robinson, A.L. (2017). Comparison of gasoline direct-injection (GDI) and port fuel injection (PFI) vehicle emissions: emission certification standards, cold-start, secondary organic aerosol formation potential, and potential climate impacts. Environ. Sci. Technol. 51, 6542–6552. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06509

Seinfeld, J.H. (2004). Mark Jacobson, atmospheric pollution: history, science, and regulation. Clim. Change 65, 251–252. https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000037589.60845.51

Shen, X., Zhao, Y., Chen, Z., Huang, D. (2013). Heterogeneous reactions of volatile organic compounds in the atmosphere. Atmos. Environ. 68, 297–314. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.11.027

Shi, X., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Chen, H., Li, R. (2006). Emission reduction potential of using ethanol–biodiesel–diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine. Atmos. Environ. 40, 2567–2574. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.12.026

Słomińska, M., Konieczka, P., Namieśnik, J. (2014). The fate of BTEX compounds in ambient air. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 44, 455–472. https://doi.org/10.1080/10643389.2012.728808

The World Bank (2019a). Air Pollution Management in Bosnia and Herzegovina. https://thedocs.worldbank.org/en/doc/571891579547481576-0080022020/original/AirQualityManagementinBosniaandHerzegovinaExecutiveSummaryeng.pdf (accessed 8 October 2023).

The World Bank (2019b). Air Pollution Management in Kosovo. https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/85d8a80e-51a3-5bc0-b7fd-6063c90a865c/content (accessed 8 October 2023).

The World Bank (2019c). Air Pollution Management in North Macedonia. https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/519c3b95-ebbe-55c5-a3fe-ca9dd1af68d3/content (accessed 8 October 2023).



ORIGINAL RESEARCH
https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (2022). Initial List of Hazardous Air Pollutants with Modifications. https://www.epa.gov/haps/initial-list-hazardous-air-pollutants-modifications (accessed 8 October 2023).

Wikipedia (2011). Demographics of Kosovo. https://en.wikipedia.org/wiki/Demographics_of_Kosovo (accessed 14 October 2023).

Wikipedia (2021). List of municipalities in North Macedonia by population. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_municipalities_in_North_Macedonia_by_population (accessed 14 October 2023).

Wohlgemuth, L., McLagan, D., Flückiger, B., Vienneau, D., Osterwalder, S. (2020). Concurrently measured concentrations of atmospheric mercury in indoor (household) and outdoor air of Basel, Switzerland. Environ. Sci. Technol. Lett 7, 234–239. https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00110

World Health Organization (WHO) (2004). Ostro B. Outdoor air pollution: Assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Geneva, World Health Organization, 2004 (WHO Environmental Burden of Disease Series No. 5). https://www.who.int/publications/i/item/9241591463 (accessed 8 October 2023).

Zhu, R., Hu, J., Bao, X., He, L., Lai, Y., Zu, L., Li, Y., Su, S. (2016). Tailpipe emissions from gasoline direct injection (GDI) and port fuel injection (PFI) vehicles at both low and high ambient temperatures. Environ. Pollut. 216, 223–234. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.066

Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, Vol. **43**, No. 2, pp. 207–218 (2024)
MJCCA9 – 907
ISSN 1857-5552
e-ISSN 1857-5625
Received: September 1, 2024
DOI: 10.20450/mjcce.2024.2953
Accepted: November 27, 2024
Original scientific paper

ASSESSMENT OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN INDOOR ENVIRONMENTS ACROSS NORTH MACEDONIA AND KOSOVO USING PASSIVE SAMPLING[1]

Vllaznim Mula[1,2*], Jane Bogdanov[2], Jasmina Petreska Stanoeva[2], Lulzim Zeneli[1*], Avni Berisha[3], Zoran Zdravkovski[2*]

[1]*University "Fehmi Agani", 50000 Gjakova, Kosovo*
[2]*Institute of Chemistry, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, 1000 Skopje, N. Macedonia*
[3]*Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Prishtina, 10000 Prishtina, Kosovo*

vllaznim.mula@uni-gjk.org; lulzim.zeneli@uni-gjk.org; zoran@ukim.edu.mk

Humans are exposed to various volatile organic compounds (VOCs) through ingestion, inhalation, or skin contact, potentially leading to adverse health consequences. In this study, the distribution of various VOCs in indoor air in North Macedonia and Kosovo was investigated for the first time. From March to December 2023, the monthly relative abundance of VOCs was monitored using Radiello® passive/diffusive samplers, followed by gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) analysis.

A total of 60 samples were collected from 17 sites, where over 70 individual VOCs belonging to several classes were identified. Benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (BTEX) compounds were the most abundant in the chemical stockroom, contributing up to 77.84 % of the total VOC relative abundance. In the printing store/workplace, alkylbenzenes were predominant, comprising 69.72 %. Alcohols and ethers were primarily detected in the coffee shop, whereas organosiloxanes were dominant in the hair salon, accounting for 33.87 % and 54.46 % of the total VOCs, respectively. Terpenes were a significant component in the meat factory, representing 65.78 % of the total VOCs, while hydrocarbons were most prevalent in the oil & lubricants store, accounting for 58.23%. Halogenated compounds were primarily found in the superstore, constituting 20.42 % of total VOCs. The VOC composition results indicate that their presence in indoor environments may pose both acute and chronic health risks.

Keywords: volatile organic compounds; indoor air; air pollution; passive sampling; GC-MS

ПРОЦЕНА НА ИСПАРЛИВИТЕ ОРГАНСКИ СОЕДИНЕНИЈА ВО ЗАТВОРЕНИ ПРОСТРИИ ВО СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА И КОСОВО СО ПРИМЕНА НА ПАСИВНО ЗЕМАЊЕ ПРИМЕРОЦИ

Луѓето се изложени на голем број испарливи органски соединенија (VOCs) преку храната, вдишувањето или контактот со кожата, што потенцијално може да доведе до негативни здравствени последици. Во оваа студија, за прв пат е испитана дистрибуцијата на различни VOCs во воздухот во затворени простории во Северна Македонија и Косово. Релативната застапеност на различни класи испарливи органски соединенија беше следена во периодот од март до декември 2023 година. Примероците беа земани месечно, со примена на пасивни примеркувачи од марката Radiello®, а потоа анализирани со гасна хроматографија спрегната со масена спектрометрија (GC-MS).

[1] Dedicated on the occasion of the Golden Jubilee of the *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*

Во текот на студијата беа собрани вкупно 60 примероци од 17 локации, при што беа идентификувани над 70 соединенија групирани во неколку класи. Соединенијата од типот на бензен, толуен, етилбензен и ксилени (BTEX) беа најзастапени во складиште со хемикалии, придонесувајќи со 77,84 % од вкупната содржина на VOCs. Во печатницата доминираа алкилбензените, со застапеност од 69,72 %. Алкохолите и етерите беа детектирани во примероците собрани во кафетерија, додека органосилоксаните беа доминантни во фризерски салон, со релативна застапеност од 33,87 % и 54,46 %, соодветно. Терпените беа најприсутни во фабрика за месо и сочинуваа 65,78 % од вкупната содржина на VOCs, додека јаглеводородите доминираа во складиште за нафта, со застапеност од 58,23 %. Халогенираните соединенија главно беа детектирани во хипермаркет, каде сочинуваа 20,42 % од вкупната содржина на VOCs.

Резултатите од анализата на VOC покажуваат дека нивното присуство во затворени простории е значајно, што може да претставува потенцијален здравствен ризик.

Клучни зборови: испарливи органски соединенија, воздух во затворени простории; загадување на воздух; пасивно примеркување; GC-MS

1. INTRODUCTION

Indoor air pollution presents a critical global challenge, especially in developing nations such as North Macedonia and Kosovo. With individuals spending approximately 90% of their time indoors, they are frequently exposed to elevated levels of pollutants, including volatile organic compounds (VOCs).[1–4]

Previous research has demonstrated that indoor air can contain VOC concentrations up to ten times higher than the air found outdoors.[5–9] The World Health Organization (WHO) estimates that exposure to air pollution is responsible for millions of deaths annually, ranking as the fourth most significant global health risk factor.[10]

Exposure to VOCs in indoor environments has been linked to various acute and chronic health effects. These effects include sick building syndrome (SBS), allergies, respiratory issues, asthma, bronchitis, cardiovascular disease, leukemia, cancer, and severe physical and mental health complications.[5,11–13]

Previous research, such as the study by Yingjie Li et al., titled "Profiles and monthly variations of selected volatile organic compounds in indoor air in Canadian homes: Results of Canadian national indoor air survey 2012–2013," highlighted the dominance of six VOCs: limonene, decamethylcyclopentasiloxane, toluene, hexanal, nonanal, and α-pinene. These compounds were detected in the highest concentrations, collectively accounting for 54 % of the total VOCs monitored across 3,524 Canadian residential homes.[14]

Similarly, a study by Bin Yuan et al., titled "Source profiles of volatile organic compounds associated with solvent use in Beijing, China," revealed that toluene and C_8 aromatics were the predominant species, constituting 76 % of the total VOCs emitted during paint applications. Additionally, the analysis of printing emissions identified heavier alkanes and aromatics, including *n*-nonane, *n*-decane, *n*-undecane, toluene, and *m*/*p*-xylene, as the dominant compounds.[15]

These studies highlight the variability in VOC composition across different indoor settings and geographical locations, reflecting the diverse sources contributing to indoor air pollution. Primary contributors, as identified in various studies, include construction materials, furnishings, paints, glues, tobacco smoke, cleaning products, carpets, textiles, personal care products, solvents, floorings, and cooking, among others.[11–13]

Despite these concerning statistics, there is a significant lack of scientific data on indoor air quality, particularly regarding VOCs in North Macedonia and Kosovo. To address this gap, a specialized study was conducted to investigate the distribution and characteristics of VOCs across various indoor environments.

Several techniques and methodologies are available for assessing VOC distribution in indoor environments. This study adopted a comprehensive approach based on internationally recognized standards, including ISO 16000-5:2007 and the American Society for Testing and Materials (ASTM) D6196-03.[16,17] Using Radiello® passive/diffusive samplers combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analysis, VOC distribution was measured across diverse indoor environments in North Macedonia and Kosovo.[18]

The findings of this study offer valuable insights into the indoor air quality in North Macedonia and Kosovo through the analysis of a wide range of VOCs. This research contributes significantly to global discussions on indoor air quality, highlighting the complexity of the VOC landscape.

The diversity of the VOCs identified underscores the importance of developing a comprehensive approach to formulating effective strategies for managing and improving indoor air quality in these regions. These insights are crucial for policymakers tasked with safeguarding indoor air quality in these regions, highlighting the global relevance of addressing this crucial issue.

2. EXPERIMENTAL SECTION

2.1. *Sampling sites*

The study was conducted across various indoor environments in North Macedonia and Kosovo. Sampling sites were carefully selected to represent a range of indoor environments, including educational, industrial, commercial, and residential settings. Consideration was given to factors such as the strategic placement of passive samplers, by avoiding direct proximity to emission sources, optimizing air circulation, by maintaining unobstructed airflow, and ensuring both security and accessibility. Prior approval was obtained from the inhabitants or owners of each site, in accordance with ethical guidelines and with respect for property rights.[19]

From March to December 2023, a total of 60 indoor air samples were collected from 17 diverse sites, including a coffee shop, textile factory, superstore, and other establishments (see Table 1). For each 28-day sampling interval, a new adsorbing cartridge was used to prevent cross-contamination and to ensure accurate VOC measurements.

T a b l e 1

Description of indoor air sampling locations

Location	Type of environment	Description
North Macedonia	Coffee shop	Urban area, smoking is permitted
Kosovo	Textile factory	Urban area, a sampler is situated within the fabric washing section.
North Macedonia	Superstore	Urban area, a sampler is situated within the washing and cleaning products section of the superstore.
Kosovo	Oil & lubricants store	Urban area, a sampler is located in the store's stockroom.
North Macedonia	Residential settings	Urban area, one sampler is placed in the living room of an apartment, and another is located in the living room of a house.
North Macedonia	Organic laboratory and chemical stockroom	Urban area, one sampler is situated in the organic laboratory, and another is located in the chemical stockroom of the institute.
Kosovo	Meat factory	Suburban area, the sampler is located within the sausage processing and drying section of the factory.
Kosovo	Hair salon	Urban area, a women-only hair salon. A sampler is located in the center of the salon.
Kosovo	Kebab shop	Urban area, using charcoal grill. A sampler is located in the center of the kebab shop.
Kosovo	School	Urban area, one sampler is situated in a classroom, and another is located in the main hall of the primary school.
Kosovo	Electrical store	Urban area, small store selling electrical supplies. A sampler is situated in the center of the store.
Kosovo	Printing	Urban area, one sampler is located in the store, and another is in the windowless basement of the workplace.
Kosovo	Perfume shop	Urban area, a sampler is located in the shop within the shopping center.

2.2. *Sampling methods and sample preparation*

The Radiello® passive sampler (RAD 130), developed by Fondazione Salvatore Maugeri in Padova, Italy, consists of a cylindrical adsorbing cartridge housed within a white diffusive body. This design allows VOCs to be sampled by diffusion across a microporous polyethylene membrane.[18]

This choice stems from the sampler's demonstrated efficacy in capturing a broad spectrum of indoor VOCs, as well as its user-friendly operation, minimal maintenance requirements, and effective use of activated charcoal. The charcoal boasts an extensive surface area and intricate structure, ideal for adsorbing compounds pertinent to our research. Furthermore, its pump-free and electricity-independent operation aligns perfectly with the needs of our study.[18,19]

Endorsed by the European Union, the Radiello® sampler follows approved methodologies, ensuring comparability with other passive sampling techniques and establishing its status as a reference sampler.[20]

Passive/diffusive samplers were strategically positioned indoors at the center of each monitoring site, at heights ranging from approximately 1.5 meters to 3 meters, to effectively capture variations in VOC concentrations and account for diverse sources.

After completing the sampling process, each adsorbent-loaded cartridge was securely sealed in a glass tube and transported to the laboratory. The samples were then stored at 4 °C for up to one week before undergoing extraction and GC-MS analysis. For desorption, 2 ml of dichloromethane was added to the glass tube containing the adsorbent, with 100 µl of anisole as an internal standard. The mixture was allowed to sit at ambient temperature for 30 minutes with occasional shaking to facilitate desorption. After extraction, the extract was transferred to a vial and analyzed by GC-MS.[19]

Based on previous research, carbon disulfide was replaced with dichloromethane for extraction, and anisole was selected as the internal standard for its ability to produce a stable and distinct peak in GC-MS analysis, without interference from the target analytes. Its consistent reference signal enabled the determination of the relative abundance of VOCs, which is particularly useful since passive sampling methods, like those used in our study, do not provide absolute concentrations. Consequently, our analysis focuses on the relative ratios of individual VOCs, reflecting their comparative abundance within the sample. This approach is essential given the limitations of passive sampling in determining absolute VOC concentrations.[19,21,22]

Using relative abundance with an internal standard offers several advantages for assessing VOC composition. One key advantage is its simplicity and cost-effectiveness. This approach does not require expensive equipment or standards, making it a practical and affordable option for large-scale studies or long-term monitoring of VOCs. Furthermore, it enables efficient and rapid analysis, particularly when assessing the relative distribution of VOCs over time, which is essential for understanding their presence and variability in indoor air.

Another advantage of passive diffusion is the ability to conduct continuous and long-term monitoring of VOCs. Since passive samplers can be deployed over extended periods without requiring frequent maintenance or calibration, they serve as an excellent tool for monitoring VOC distribution across various indoor environments. This is particularly useful for capturing fluctuations in VOC composition, which may vary over time or with changing environmental conditions. The use of an internal standard also enhances the precision of relative comparisons between compounds, providing a clear indication of the relative abundance of different VOCs within the sample. Moreover, this method is non-intrusive and can be easily implemented in hard-to-reach areas, further supporting its use for environmental monitoring.

However, there are some limitations to this approach. The primary disadvantage is that the method provides relative quantification rather than absolute concentration values. While this allows for comparison between different VOCs within a sample, it does not offer precise concentration measurements, which may be necessary for regulatory purposes or detailed risk assessments. Another limitation is that the accuracy of the method can be influenced by environmental factors such as temperature, humidity, and airflow, which may impact the absorption rate of VOCs into the passive sampler. Additionally, this method may not capture all VOCs, particularly those with very low volatility, which could limit the comprehensiveness of the data.

2.3. *GC-MS analysis*

The analyses of VOCs were conducted using an Agilent 6890N gas chromatograph coupled with a single quadrupole 5975B mass selective detector, employing split injection and the internal standard method. The system employed an HP-5MS capillary column (30 m × 250 µm, film thickness 0.25 µm) coated with a nonpolar stationary phase of (5%-phenyl)-methylpolysiloxane. Helium served as the carrier gas, with a constant flow rate of 1 ml/min. The temperature program for the gas chromatograph began at 35 °C (held for 5 minutes), then gradually increased to 90 °C at a rate of 5 °C/min, holding for 3 minutes. The temperature was further ramped up to 280 °C at 10 °C/min for 2 minutes, followed by a final ramp to 300 °C at 5 °C/min. The injector temperature was maintained at 250 °C, with an injected volume of 2 µl and a split ratio of 1:2. For mass spectrometry, the MS source temperature was set to 230 °C, the quadrupole temperature to 150 °C, and the mass-to-charge ratio (*m/z*) scan range was 35 – 500 amu. Each analysis had a total runtime of 40 minutes.[19]

The samples were analyzed using Agilent MassHunter v.10.0 software, with compound identification based on the NIST Library of Mass Spectra database (NIST MS Search 2.0), using probability values above 85 %. The relative abundance of each individual VOC in indoor air was calculated by dividing the surface area of each compound by the total surface area of all compounds. The resulting quotient was then multiplied by 100 % to express the relative abundance as a percentage.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The findings presented here highlight the diverse range of VOCs identified in the monitored indoor environments. Our study systematically categorizes these compounds into specific categories, including BTEX, alkylbenzenes, alcohols and ethers, aldehydes and ketones, organosiloxanes, terpenes, hydrocarbons, esters, halogenated compounds, and miscellaneous compounds. This classification not only improves our understanding of the sources and composition of indoor air pollutants but also facilitates more focused discussions and analyses, ultimately contributing to a deeper understanding of indoor air quality issues.

Figures 1–3 present representative chromatograms of VOCs detected in various indoor environments in North Macedonia and Kosovo. These chromatograms illustrate common indoor air pollution profiles, highlighting the main compounds identified in these settings. The data provide a foundation for comparing VOC distribution across different indoor environments and offer insight into the factors contributing to indoor air pollution.

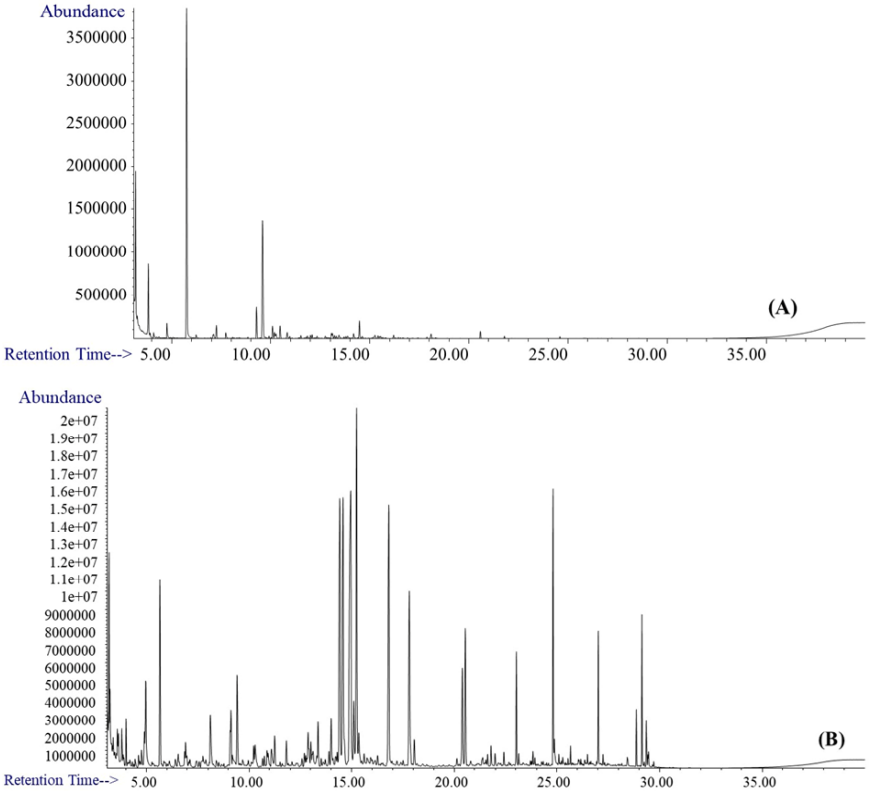


Fig. 1. Representative VOC chromatograms from various indoor environments in North Macedonia and Kosovo. **(A)** Chemical stockroom. **(B)** Coffee shop.

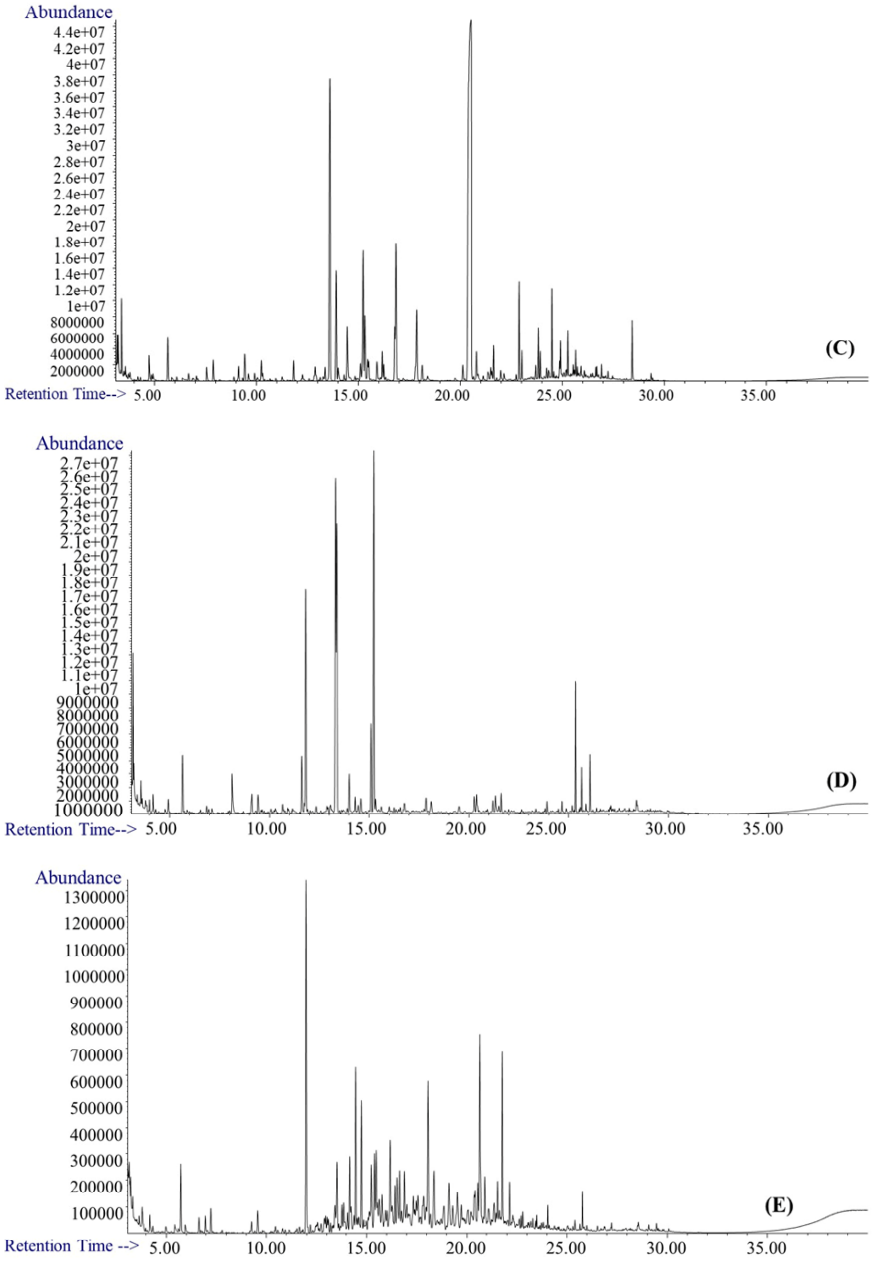


Fig. 2. Representative VOC chromatograms from various indoor environments in North Macedonia and Kosovo. **(C)** Hair salon. **(D)** Meat factory. **(E)** Oil & lubricants store.

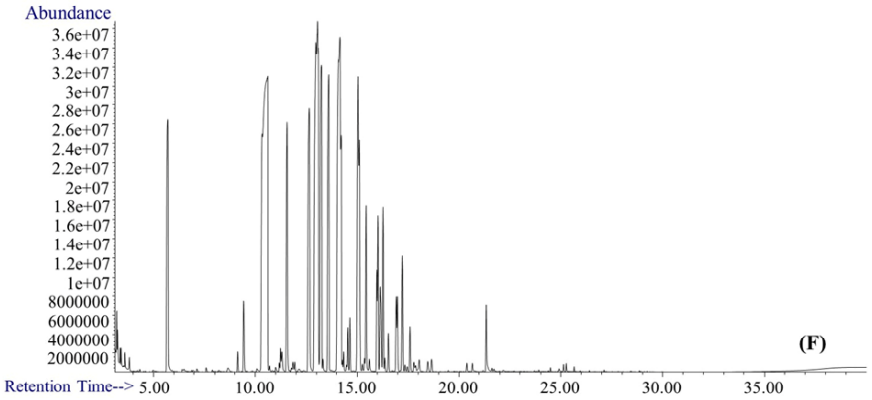


Fig. 3. Representative VOC chromatograms from various indoor environments in North Macedonia and Kosovo. **(F)** Printing store – workplace.

Figures 4 and 5 provides a comprehensive overview of the average relative abundance of the groups of VOCs detected across all indoor environments monitored. The analysis presented in these figures serves as the foundation for the detailed results and discussions that follow, offering deeper insights into these findings.

Previous research conducted in various countries has investigated the composition of VOCs in indoor environments across diverse settings. A particular focus has been placed on several categories of VOCs: **aromatic hydrocarbons** (e.g., BTEX, various trimethylbenzene isomers, and n-propylbenzene); **alkanes** (e.g., *n*-pentane, *n*-hexane, *n*-heptane, *n*-decane, *n*-dodecane, *n*-tetradecane, methylcyclopentane, and cyclohexane); **alcohols** (e.g., propan-1-ol, butan-1-ol, 2-methylpropan-1-ol, and 2-ethylhexan-1-ol); **terpenes** (e.g., α-pinene, β-pinene, *d*-limonene, and camphene); **aldehydes** (e.g., formaldehyde, acetaldehyde, butanal, and benzaldehyde); **ketones** (e.g., acetone and butan-2-one); **volatile methyl siloxanes** (e.g., hexamethyldisiloxane (L2), decamethyltetrasiloxane (L4), decamethylcyclopentasiloxane (D5), and dodecamethylcyclohexasiloxane (D6)); **halogenated compounds** (e.g., chlorobenzene, 1,3-dichlorobenzene, 1,2-dichloroethane, and tetrachloromethane); **glycol/glycol ether** (e.g., 1-methoxypropan-2-ol, 2-butoxyethanol, and 2-phenoxyethanol); **heterocyclic compounds** (e.g., tetrahydrofuran and 2,5-dimethylfuran), among others.[13] Most of these pollutants were detected in the indoor air monitoring locations, as indicated by the results of the study presented below.

In this study, varying relative abundances of **BTEX** compounds (benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes) were observed in all indoor air-monitored locations. The chemical stockroom (77.84%), the organic laboratory (45.92%), the electrical store (38.91%), and the textile factory (32.52%) exhibited the highest concentrations of BTEX. Among the BTEX components, toluene and xylenes were found to have the highest percentages in the observed locations.

In the printing store, **alkylbenzenes** accounted for the highest relative abundance among the total VOCs, comprising 34.83 %. In contrast, this proportion increased significantly to 69.72% in the windowless basement workshop. Key compounds identified within this group included 1,3,5-trimethylbenzene, 1-ethyl-2-methylbenzene, 1-ethyl-4-methylbenzene, propylbenzene, isopropyl-benzene, and 2-ethyl-1,4-dimethylbenzene, among others.

The highest relative abundance of **alcohols and ethers** were found in the coffee shop (33.87 %), followed by the kebab shop (20.86 %), the perfume shop (15.67%), and the printing store (11.26 %). Commonly detected compounds in this group included 1-methoxypropan-2-ol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)propan-2-ol, 3,7-dimethyloctan-3-ol, 1-(2-methoxypropoxy)propan-2-ol, 2,6-dimethyloct-7-en-2-ol, and 1-octen-3-ol, among others.

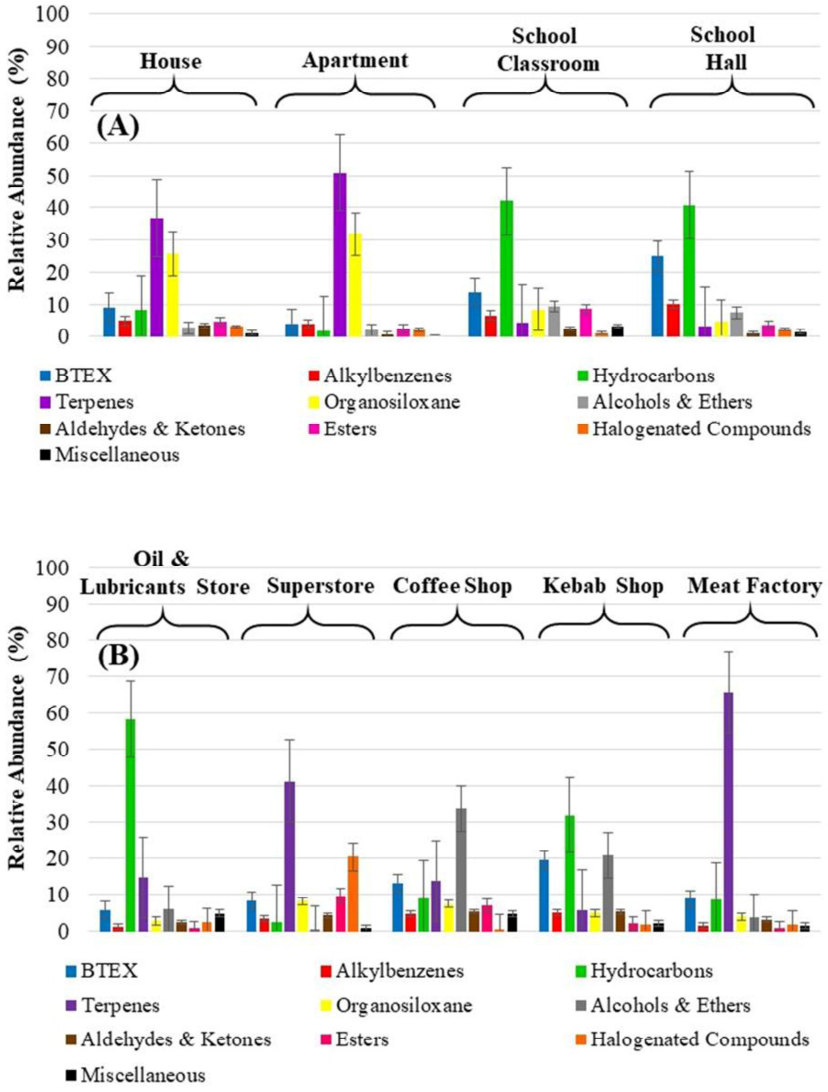


Fig. 4. The average relative abundance (%) of all VOC categories from sampling locations during March to December 2023:
(A) House, apartment, school classroom, and school hall;
(B) Oil & lubricants store, superstore, coffee shop, kebab shop, and meat factory.

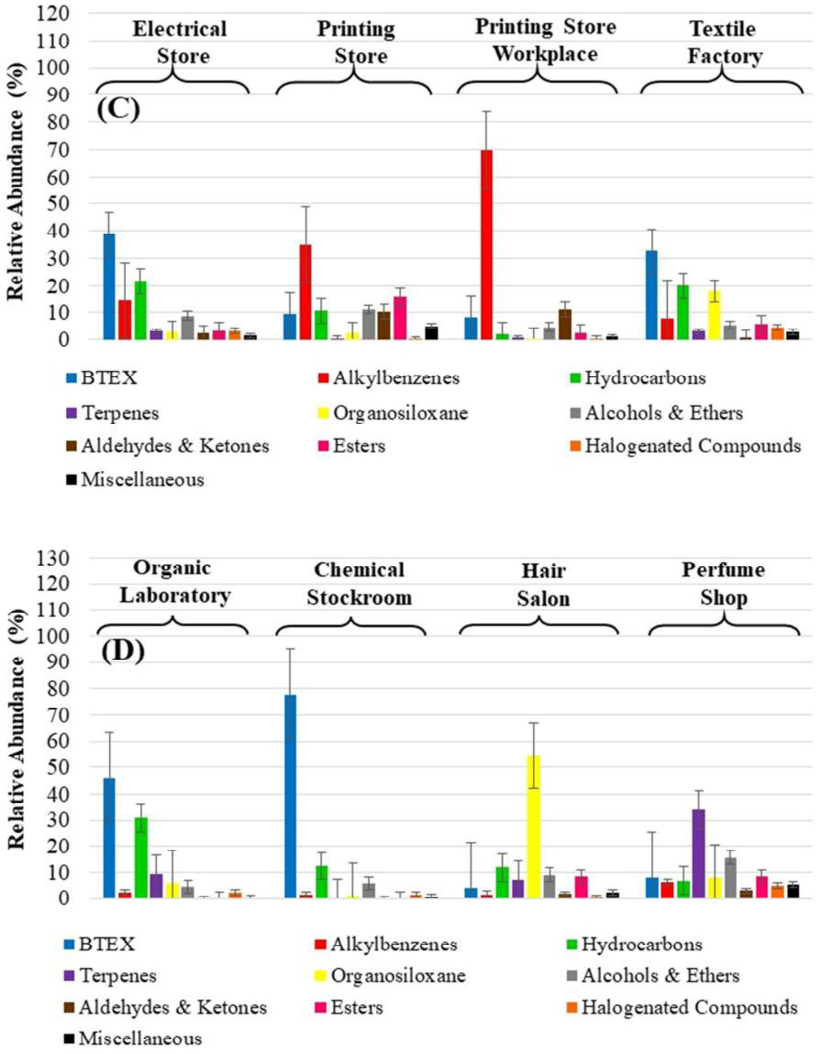


Fig. 5. The average relative abundance (%) of all VOC categories from sampling locations during March to December 2023:
(C) Electrical store, printing store, printing store-workplace, and textile factory;
(D) Organic laboratory, chemical stockroom, hair salon, and perfume shop

Aldehydes and ketones were detected in all monitored locations, with relative abundances ranging from 0.71 % to 11.22 %, except in the organic laboratory and chemical stockroom. Commonly detected compounds in this group included cyclohexanone, 1-(3-methylphenyl)ethenone, furan-2-carbaldehyde, 6-methylhept-5-en-2-one, hexanal, nonanal, and octanal, among others.

The hair salon displayed the highest relative abundance of **organosiloxane** compounds, reaching 54.46 %. The apartment setting followed closely with a relative abundance of 31.78%, while the

house showed 25.78 %, and the textile factory had 17.82 %. Commonly detected compounds in this group included decamethylcyclopentasiloxane (D5), octamethylcyclotetrasiloxane (D4), octamethyltrisiloxane, dodecamethylpentasiloxane, and methyltris(trimethylsiloxy)silane, among others.

Terpene compounds exhibited the highest relative abundance in the following settings: meat factory (65.78 %), apartment (50.88 %), hypermarket (41.33 %), house (36.84 %), and perfume shop (34.01 %). Notable compounds within this group commonly detected in the monitored indoor air included limonene, α-pinene, β-pinene, phellandrene, eucalyptol, linalool, and 3-carene, among others.

In the oil & lubricants store, **hydrocarbons** dominated, accounting for 58.23 % of the total relative abundance, a level higher than those observed in other areas. This category included a diverse range of hydrocarbon compounds, from those with low carbon numbers to those with chains exceeding 10 atoms, excluding aromatic hydrocarbons from this classification.

Esters were observed in all sampled locations, with relative abundances ranging from 0.88 % to 15.91 %, except in the organic laboratory and the chemical stockroom. Notable compounds in this group included 2-(2-butoxyethoxy)ethyl ethanoate, ethyl 5-oxotetrahydrofuran-2-carboxylate, 2-butoxyethyl ethanoate, methyl benzoate, butyl ethanoate, diethyl phthalate, butyl butanoate, among others.

The superstore exhibited the highest relative abundance of **halogenated compounds**, accounting for 20.42 % of the total identified VOCs. Notably, 1,3-dichlorobenzene alone contributed 18.73 % to the overall VOC composition in the superstore. Commonly detected halogenated compounds in the monitored indoor air included 1,3-dichlorobenzene, 1,4-dichlorobenzene, 2-chloro-2-methylbutane, 4-bromoheptane, 1-chlorooctane, 4-chloroheptane, among others.

In all monitored indoor air locations, the most frequently detected compounds within the **miscellaneous** group included 2,5-dimethylfuran, pyridine, 2-methylbutanenitrile, 2,6-dimethylpyrazine, and other unidentified VOCs.

A complete list of all VOCs detected in indoor air, along with their semi-quantitative data (peak area) and relative abundances for all samples, is provided in the **supplementary table**.

Based on the available data, as well as our monitoring results, it is evident that indoor air in the monitored locations contains VOCs from a diverse range of sources. These sources include, but are not limited to building materials, combustion processes, household products, personal care items, tobacco smoke, air fresheners, heating appliances, solvents, cleaning products, paints, office equipment, ink, toner, industrial processes, plastic materials, electronic devices, inadequate ventilation, and external factors such as vehicular emissions.[11–13,23–26]

The compounds identified in our monitoring underscore the significant health risks of indoor air pollution, including acute and chronic effects such as sick building syndrome. The severity of these effects may vary depending on factors such as concentration, exposure duration, and individual sensitivity.[3,27–29]

Acute effects associated with VOC exposure include irritation of sensory organs, respiratory tract irritation, headaches, dizziness, visual disorders, skin irritation, breathing difficulties, nausea, mucous membrane irritation, confusion, fatigue, and general malaise, among others. Chronic exposure poses an even greater risk, correlating with an increased likelihood of cardiovascular and pulmonary diseases, asthma, heart disease, liver damage, cancer, adverse birth outcomes, congenital malformations, and neurobehavioral issues, among other health concerns. In extreme cases, chronic exposure can result in premature death.[5,6,12,25,28,30–32]

Notably, BTEX compounds elicit particular concerns due to their classification as carcinogens or potential carcinogens by reputable regulatory bodies. Benzene is classified as carcinogenic to humans and animals by the U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), and the International Agency for Research on Cancer (IARC) categorizes benzene as Group 1 (carcinogenic to humans). Ethylbenzene is classified as Group 2B (possibly carcinogenic to humans), while toluene and xylenes are categorized as Group 3 (not classifiable as to their carcinogenicity to humans) by IARC. The carcinogenic properties of benzene, in particular, highlight the urgent need for stringent regulatory measures to minimize exposure to this hazardous substance.[19,33,34]

Furthermore, our inquiry highlights the detrimental effects associated with certain VOCs, particularly decamethylcyclopentasiloxane (D5) and octamethylcyclotetrasiloxane (D4). These compounds have been shown to negatively impact various physiological systems, including the endocrine and reproductive systems, with potential implications for immune function, as well as the liver, lungs, and kidneys. Notably, while D4 meets the criteria for persistence, bioaccumulation, and toxicity, authorities classify D5 as highly persistent and bioaccumulative, with uncertainty surrounding its toxicity.[35,36]

Tobacco smoke, a significant contributor to indoor VOC concentrations, has unequi

vocally been classified as a Group A carcinogen by the USEPA since 1994, highlighting the serious health risks it poses. According to the WHO, tobacco smoke is responsible for approximately 90% of lung cancer deaths.[27,37,38]

Additionally, VOCs emitted by air fresheners are considered potentially toxic or hazardous under federal regulations in the United States and standards set by the EPA, with some classified as carcinogenic. These emissions are one of the primary sources of VOCs in monitored indoor air locations.[24,39]

These findings emphasize the urgent need for comprehensive measures to address indoor air pollution, including improved ventilation, removal of VOC sources, and increased public awareness of the associated health risks.

4. CONCLUSION

This study addresses a significant gap in indoor air quality monitoring in North Macedonia and Kosovo, where volatile organic compounds (VOCs) had not been previously monitored. Comprehensive monitoring was conducted at seventeen sites spanning educational, industrial, commercial, and residential areas, employing Radiello® diffusive/passive sampler devices.

The findings reveal a diverse range of sources contributing to the VOC profile in indoor air, with compounds detected that are known to cause adverse health effects. These effects encompass a wide spectrum of acute and chronic health issues, including sick building syndrome (SBS).

The study highlights the critical need for continuous year-round monitoring of VOC concentrations in various indoor environments. Furthermore, it underscores the necessity of implementing a national program to promote and enforce indoor air quality standards pertaining to VOCs.

REFERENCES

(1) Huang, L.; Qian, H.; Deng, S.; Guo, J.; Li, Y.; Zhao, W.; Yue, Y., Urban Residential Indoor Volatile Organic Compounds in Summer, Beijing: Profile, Concentration and Source Characterization. *Atmos Environ* **2018**, *188*, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.06.009

(2) Arı, A.; Ertürk Arı, P.; Yenisoy-Karakaş, S.; Gaga, E. O., Source Characterization and Risk Assessment of Occupational Exposure to Volatile Organic Compounds (VOCs) in a Barbecue Restaurant. *Build Environ* **2020**, *174*, 106791. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106791

(3) Sakai, N.; Yamamoto, S.; Matsui, Y.; Khan, M. F.; Latif, M. T.; Ali Mohd, M.; Yoneda, M., Characterization and Source Profiling of Volatile Organic Compounds in Indoor Air of Private Residences in Selangor State, Malaysia. *Sci Total Environ* **2017**, *586*, 1279–1286. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.139

(4) Srivastava, P., Volatile Organic Compounds in Indoor Environments in Mumbai, India. *Sci Total Environ* **2000**, *255* (1–3), 161–168. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00465-4

(5) Irga, Peter. J.; Mullen, G.; Fleck, R.; Matheson, S.; Wilkinson, Sara. J.; Torpy, Fraser. R., Volatile Organic Compounds Emitted by Humans Indoors – A Review on the Measurement, Test Conditions, and Analysis Techniques. *Build Environ* **2024**, *255*, 111442. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111442

(6) Otgonbyamba, O.-E.; Ganbat, G.; Khuyag, S.-O.; Altangerel, E.; Ganbold, B.; Bayanjargal, A.; Bat-Erdene, A.; Chuluunbaatar, B.; Badrakh, B.; Batbaatar, S., Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds for Children in Indoor Air, Ulaanbaatar, Mongolia. *Aerosol Air Qual Res* **2023**, *23* (8), 230028. https://doi.org/10.4209/aaqr.230028

(7) Goodman, N. B.; Steinemann, A.; Wheeler, A. J.; Paevere, P. J.; Cheng, M.; Brown, S. K., Volatile Organic Compounds within Indoor Environments in Australia. *Build Environ* **2017**, *122*, 116–125. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.033

(8) Wetzel, T. A.; Doucette, W. J., Plant Leaves as Indoor Air Passive Samplers for Volatile Organic Compounds (VOCs). *Chemosphere* **2015**, *122*, 32–37. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.10.065

(9) Montaluisa-Mantilla, M. S.; García-Encina, P.; Lebrero, R.; Muñoz, R., Botanical Filters for the Abatement of Indoor Air Pollutants. *Chemosphere* **2023**, *345*, 140483. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140483

(10) World Health Organization, *WHO Global Air Quality guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide.* World Health Organization 2021. https://iris.who.int/handle/10665/345329 (accessed 2024-04-14).

(11) Paciência, I.; Madureira, J.; Rufo, J.; Moreira, A.; De Olivera Fernandes, E., A Systematic Review of Evidence and Implications of Spatial and Seasonal Variations of Volatile Organic Compounds (VOC) in Indoor Human Environments. *J. Toxicol. Environ. Health, Part B* **2016**, *19* (2), 47–64. https://doi.org/10.1080/10937404.2015.1134371

(12) Liu, N.; Bu, Z.; Liu, W.; Kan, H.; Zhao, Z.; Deng, F.; Huang, C.; Zhao, B.; Zeng, X.; Sun, Y.; Qian, H.; Mo, J.; Sun, C.; Guo, J.; Zheng, X.; Weschler, L. B.; Zhang, Y., Indoor Exposure Levels and Risk Assessment of Volatile Organic Compounds in Residences, Schools, and Offices in China from 2000 to 2021: A Systematic Review. *Indoor Air* **2022**, *32* (9). https://doi.org/10.1111/ina.13091

(13) Vera, T.; Villanueva, F.; Wimmerová, L.; Tolis, E. I. An Overview of Methodologies for the Determination of Volatile Organic Compounds in Indoor Air. *Appl Spectrosc Rev* **2022**, *57* (8), 625–674. https://doi.org/10.1080/05704928.2022.2085735

(14) Li, Y.; Cakmak, S.; Zhu, J. Profiles and Monthly Variations of Selected Volatile Organic Compounds in Indoor Air in Canadian Homes: Results of Canadian National

Indoor Air Survey 2012–2013. *Environ Int* **2019**, *126*, 134–144. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.035

(15) Yuan, B.; Shao, M.; Lu, S.; Wang, B. Source Profiles of Volatile Organic Compounds Associated with Solvent Use in Beijing, China. *Atmos Environ* **2010**, *44* (15), 1919–1926. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.02.014

(16) ASTM D6196-03. *Standard Practice for Selection of Sorbents, Sampling, and Thermal Desorption Analysis Procedures for Volatile Organic Compounds in Air*. https://www.astm.org/d6196-03.html (Accessed 2024-04-14)

(17) ISO 16000-5:2007. *Indoor Air — Part 5: Sampling Strategy for Volatile Organic Compounds (VOCs)*. https://www.iso.org/standard/37388.html (Accessed 2024-04-14)

(18) Radiello®. *Radiello® Manual*. https://d3pcsg2wjq9izr.cloudfront.net/files/2285/download/724345/radiello_manual_final.pdf (Accessed 2024-04-14)

(19) Mula, V.; Bogdanov, J.; Stanoeva, J. P.; Zeneli, L.; Zdravkovski, Z., Monitoring Volatile Organic Compounds in Air Using Passive Sampling: Regional Cross-Border Study between N. Macedonia and Kosovo. *Aerosol Air Qual Res* **2024**, *24* (1), 230170. https://doi.org/10.4209/aaqr.230170

(20) Król, S.; Zabiegała, B.; Namieśnik, J., Monitoring VOCs in Atmospheric Air II, Sample Collection and Preparation. *TrAC, Trends Anal. Chem.* **2010**, *29* (9), 1101–1112. https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.05.010

(21) Joos, P. E.; Godoi, A. F. L.; De Jong, R.; De Zeeuw, J.; Van Grieken, R., Trace Analysis of Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene Isomers in Environmental Samples by Low-Pressure Gas Chromatography–Ion Trap Mass Spectrometry. *J Chromatogr A* **2003**, *985* (1–2), 191–196. https://doi.org/10.1016/S0021-9673(02)01843-5

(22) Sofronievska, I.; Petreska Stanoeva, J.; Bogdanov, J.; Stefova, M. Assay of Volatile Organic Compounds in Urban Air Using Passive Sampling and Gas Chromatography Coupled to Mass Spectrometry. *Maced. J. Ecol. Environ.* **2022**, *24* (2), 103–113. https://doi.org/10.59194/MJEE22242103s

(23) Baya, M. P.; Bakeas, E. B.; Siskos, P. A. Volatile Organic Compounds in the Air of 25 Greek Homes. *Indoor Built Environ.* **2004**, *13* (1), 53–61. https://doi.org/10.1177/1420326X04036007

(24) Lin, K.-H.; Tsai, J.-H.; Cheng, C.-C.; Chiang, H.-L., Emission of Volatile Organic Compounds from Consumer Products. *Aerosol Air Qual Res* **2022**, *22* (9), 220250. https://doi.org/10.4209/aaqr.220250

(25) Xu, J.; Szyszkowicz, M.; Jovic, B.; Cakmak, S.; Austin, C. C.; Zhu, J., Estimation of Indoor and Outdoor Ratios of Selected Volatile Organic Compounds in Canada. *Atmos Environ* **2016**, *141*, 523–531. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.07.031

(26) Pośniak, M.; Makhniashvili, I.; Koziel, E., Volatile Organic Compounds in the Indoor Air of Warsaw Office Buildings. *Indoor Built Environ.* **2005**, *14* (3–4), 269–275. https://doi.org/10.1177/1420326X05054071

(27) Parra, M. A.; Elustondo, D.; Bermejo, R.; Santamaría, J. M., Quantification of Indoor and Outdoor Volatile Organic Compounds (VOCs) in Pubs and Cafés in Pamplona, Spain. *Atmos Environ* **2008**, *42* (27), 6647–6654. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.04.026

(28) Nunes, C. R. de O.; Sánchez, B.; Gatts, C. E. N.; De Almeida, C. M. S.; Canela, M. C., Evaluation of Volatile Organic Compounds Coupled to Seasonality Effects in Indoor Air from a Commercial Office in Madrid (Spain) Applying Chemometric Techniques. *Sci. Total Environ.* **2019**, *650*, 868–877. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.095

(29) Chi Sing Chan; Shun Cheng Lee; Chan, W.; Kin Fai Ho; Linwei Tian; Sen Chao Lai; Yok Sheung Li; Yu Huang., Characterisation of Volatile Organic Compounds at Hotels in Southern China. *Indoor Built Environ.* **2011**, *20* (4), 420–429. https://doi.org/10.1177/1420326X11409458

(30) Zhang, Z.-F.; Zhang, X.; Zhang, X.; Liu, L.-Y.; Li, Y.-F.; Sun, W., Indoor Occurrence and Health Risk of Formaldehyde, Toluene, Xylene and Total Volatile Organic Compounds Derived from an Extensive Monitoring Campaign in Harbin, a Megacity of China. *Chemosphere* **2020**, *250*, 126324. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126324

(31) Grenga, P. N.; Gallagher, M. J.; McGahan, M. E.; Raymond, D. M.; Priefer, R. Assessment of Airborne Total Volatile Organic Compounds of Niagara Falls Residences as Compared to Resident Lifestyle. *Indoor Built Environ.* **2011**, *20* (2), 226–231. https://doi.org/10.1177/1420326X10389277

(32) Reese, K.; Tebehaevu, O.; Balanay, J. A. G., Volatile Organic Compound Emission in a University Printing Press Facility in Eastern North Carolina. *Indoor Built Environ.* **2021**, *30* (3), 426–434. https://doi.org/10.1177/1420326X19896840

(33) World Health Organization. *Agents Classified by the IARC Monographs,* Volumes 1–135. https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/ (Accessed 2024-04-14)

(34) U.S. Environmental Protection Agency. *Initial List of Hazardous Air Pollutants with Modifications*. https://www.epa.gov/haps/initial-list-hazardous-air-pollutants-modifications (accessed 2024-04-14).

(35) Gentry, R.; Franzen, A.; Van Landingham, C.; Greene, T.; Plotzke, K., A Global Human Health Risk Assessment for Octamethylcyclotetrasiloxane (D 4). *Toxicol Lett* **2017**, *279*, 23–41. https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2017.05.019

(36) Molinier, B.; Arata, C.; Katz, E. F.; Lunderberg, D. M.; Liu, Y.; Misztal, P. K.; Nazaroff, W. W.; Goldstein, A. H., Volatile Methyl Siloxanes and Other Organosilicon Compounds in Residential Air. *Environ Sci Technol* **2022**, *56* (22), 15427–15436. https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05438

(37) Sheu, R.; Stönner, C.; Ditto, J. C.; Klüpfel, T.; Williams, J.; Gentner, D. R., Human Transport of Thirdhand Tobacco Smoke: A Prominent Source of Hazardous Air Pollutants into Indoor Nonsmoking Environments. *Sci Adv* **2020**, *6* (10). https://doi.org/10.1126/sciadv.aay4109

(38) Xie, J.; Wang, X.; Sheng, G.; Bi, X.; Fu, J., Determination of Tobacco Smoking Influence on Volatile Organic Compounds Constituent by Indoor Tobacco Smoking Simulation Experiment. *Atmos Environ* **2003**, *37* (24), 3365–3374. https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00354-6

(39) Steinemann, A. Ten Questions Concerning Air Fresheners and Indoor Built Environments. *Build Environ* **2017**, *111*, 279–284. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.009

atmosphere

MDPI

Article

Semi-Quantitative Characterization of Volatile Organic Compounds in Indoor and Outdoor Air Using Passive Samplers: A Case Study of Milan, Italy

Vllaznim Mula [1,2,3,*], Jane Bogdanov [3], Jasmina Petreska Stanoeva [3], Lulzim Zeneli [1], Valbonë Mehmeti [4], Fabrizio Gelmini [2], Armond Daci [5], Avni Berisha [6], Zoran Zdravkovski [3] and Giangiacomo Beretta [2,*]

[1] Faculty of Education, University 'Fehmi Agani' in Gjakova, 50000 Gjakova, Kosovo; lulzim.zeneli@uni-gjk.org
[2] Department of Environmental Science and Policy, Università Degli Studi di Milano, 20133 Milan, Italy; fabrizio.gelmini@unimi.it
[3] Institute of Chemistry, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, 1000 Skopje, North Macedonia; j_b_bogdanov@yahoo.com (J.B.); jasmina.petreska@pmf.ukim.mk (J.P.S.); zoran@ukim.edu.mk (Z.Z.)
[4] Faculty of Agriculture and Veterinary, University of Prishtina 'Hasan Prishtina', 10000 Prishtina, Kosovo; valbona.mehmeti@uni-pr.edu
[5] Department of Pharmacy, Faculty of Medicine, University of Prishtina 'Hasan Prishtina', 10000 Prishtina, Kosovo; armond.daci@uni-pr.edu
[6] Department of Chemistry, Faculty of Natural and Mathematics Science, University of Prishtina 'Hasan Prishtina', 10000 Prishtina, Kosovo; avni.berisha@uni-pr.edu
* Correspondence: vllaznim.mula@uni-gjk.org (V.M.); giangiacomo.beretta@unimi.it (G.B.)

Abstract

This study presents a semi-quantitative characterization of volatile organic compound (VOC) concentrations and their emission sources in indoor and outdoor environments across four residential and laboratory sites in Milan, Italy, during the summer of 2024. Radiello® passive samplers (Fondazione Salvatore Maugeri in Padova, Italy) were employed for VOC collection, followed by gas chromatography–mass spectrometry analysis. The semi-quantitative mean total VOC (TVOC) concentration was 220.8 ± 195.4 μg/m^3 for the outdoor air and slightly higher at 243.6 ± 134.3 μg/m^3 for the indoor air, resulting in an indoor-to-outdoor relative ratio of 1.10. The outdoor VOC profile was dominated by hydrocarbons, accounting for 80.3% ± 4.6% (173.2 ± 143.8 μg/m^3) of TVOCs, followed by aromatic hydrocarbons at 13.3% ± 5.5% (37.2 ± 49.7 μg/m^3). Indoors, hydrocarbons also predominated, representing 34.1% ± 15.2% (95.2 ± 80.1 μg/m^3) of the TVOCs, followed by terpenes at 20.7% ± 15.5% (49.0 ± 46.4 μg/m^3). Other VOC groups contributed smaller fractions in both environments. The emission profiles from cleaning and personal care products were assessed semi-quantitatively to determine their relative percentage contributions to the indoor VOCs. Source attribution was further supported by diagnostic relative ratios—benzene/toluene, toluene/benzene, and (*m* + *p*)-xylene/ethylbenzene—which provided insight into dominant emission sources and photochemical aging.

Keywords: volatile organic compounds; urban air quality; indoor air quality; household products; gas chromatography–mass spectrometry; passive sampling; Radiello samplers; Milan

check for updates

Academic Editor: Jin Shang

Received: 16 July 2025
Revised: 26 August 2025
Accepted: 28 August 2025
Published: 16 September 2025

Citation: Mula, V.; Bogdanov, J.; Petreska Stanoeva, J.; Zeneli, L.; Mehmeti, V.; Gelmini, F.; Daci, A.; Berisha, A.; Zdravkovski, Z.; Beretta, G. Semi-Quantitative Characterization of Volatile Organic Compounds in Indoor and Outdoor Air Using Passive Samplers: A Case Study of Milan, Italy. *Atmosphere* **2025**, *16*, 1088. https://doi.org/10.3390/atmos16091088

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Air pollution represents one of the most critical global environmental and public health challenges of the 21st century. According to the World Health Organization (WHO), air pollution is responsible for approximately 7 million premature deaths annually. Moreover,

over 90% of the global population resides in areas where air quality fails to meet WHO standards [1,2]. Volatile organic compounds (VOCs) are key contributors to air pollution, significantly affecting both air quality and human health [3].

VOCs play a key role in atmospheric chemistry. They contribute to the formation of secondary organic aerosols (SOAs) through interactions with atmospheric oxidants such as hydroxyl radicals (•OH), ozone (O_3), and nitrate radicals ($\bullet NO_3$). This process leads to the formation of fine particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), which is linked to severe health issues, including respiratory and cardiovascular diseases, and an increased risk of premature mortality [4–7]. Moreover, VOCs are integral to the development of photochemical smog; their reaction with nitrogen oxides (NO_x) under sunlight produces ground-level O_3, which exacerbates respiratory conditions such as asthma, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and acute respiratory distress syndrome (ARDS) [8,9]. Certain classes of VOCs, including halogenated compounds, contribute to stratospheric O_3 depletion through photodissociation, releasing reactive halogen species that catalyze O_3 destruction, thus increasing the risks of skin cancer and cataracts [10,11].

VOCs are omnipresent in both outdoor and indoor environments, originating from a variety of natural and anthropogenic sources. Natural sources, such as vegetation, forest fires, volcanic activity, and oceanic processes, continuously emit VOCs into the atmosphere, contributing to the global VOC burden [4,12]. However, human activities are responsible for a significant portion of toxic VOC emissions. Overall, vehicle emissions, industrial processes, solvent use, and biomass burning, among others, contribute to approximately 25% of the total global VOC burden [4,13,14]. In indoor environments, major sources of VOC emissions include construction materials, wall paints, furniture, and household products [15–17]. The health effects that result from VOC exposure range from acute symptoms such as throat irritation and headaches to long-term conditions including liver damage, respiratory diseases, and an increased risk of cancer [15,18,19]. Addressing these health risks requires comprehensive monitoring and understanding of VOC sources and concentrations.

Although VOCs have been extensively studied in outdoor and indoor environments worldwide, there is a lack of detailed investigation specifically focused on Milan, Italy. Despite Milan's high urbanization, traffic density, and industrial emissions, comprehensive VOC monitoring addressing both indoor and outdoor environments is scarce. To address this gap, this study presents a semi-quantitative characterization of VOC concentrations and emission profiles across five selected sites in Milan during a two-month period (June–July 2024), with parallel indoor and outdoor sampling. A key feature of this work is the use of the relative indoor-to-outdoor (I/O) VOC ratios as indicators to distinguish between indoor and outdoor sources for different VOC groups, complemented by established diagnostic VOC ratios in outdoor air—benzene/toluene (B/T), toluene/benzene (T/B), and (*m* + *p*)-xylene/ethylbenzene (X/E)—which help to further differentiate specific emission sources and photochemical aging. Furthermore, this study provides the semi-quantitative percentage distribution of VOC emissions originating from cleaning and personal care products used in the monitored indoor environments. This important aspect, which has frequently been neglected in previous research, offers valuable insight into indoor VOC source contributions, thereby enhancing the understanding of indoor air quality dynamics.

We identified a wide range of VOC chemical classes, including hydrocarbons such as long-chain alkanes linked to diesel-related compounds [4]; aromatic hydrocarbons, including benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (BTEX) and others, primarily associated with vehicular emissions [4]; cyclic siloxanes, such as octamethylcyclotetrasiloxane (D4) and decamethylcyclopentasiloxane (D5), noted for their environmental persistence and bioaccumulation concerns [20,21]; and other VOC groups, including terpenes, aldehydes,

ketones, ethers, alcohols, esters, and halogenated VOCs. Several of the detected compounds are known or suspected to cause adverse health effects, including carcinogenicity and endocrine disruption. By capturing this comprehensive VOC profile and applying source attribution analyses, this study fills a critical knowledge gap for Milan by providing essential data to support future absolute quantification studies, long-term monitoring, health risk assessments, and seasonal variation analyses.

Although comprehensive data on VOC characterization and quantification in Milan remain scarce, historical studies have shown that benzene concentrations in the city were substantially higher in previous decades. For example, Fustinoni et al. [22] reported a mean outdoor benzene concentration of 53 $\mu g/m^3$, with an average total BTEX concentration in outdoor air of 408 $\mu g/m^3$. Later, Lai et al. [23] documented a mean outdoor benzene concentration of approximately 12 $\mu g/m^3$ and an indoor concentration of 9 $\mu g/m^3$ during the 1996–2000 period. More recently, Collivignarelli et al. [24] observed an outdoor benzene concentration ranging from 1.5 to 4.0 $\mu g/m^3$ during 2016–2018, based on ARPA Lombardia air quality monitoring data. Together, these findings demonstrate a pronounced decline in benzene and BTEX concentrations over the past three decades, reflecting the effectiveness of emission control measures. In our study, the semi-quantitative mean benzene concentration measured during the summer was 2.5 $\mu g/m^3$ for outdoor air and 0.6 $\mu g/m^3$ for indoor air. The corresponding mean semi-quantitative total BTEX concentration was 26.44 $\mu g/m^3$ for outdoor air, confirming the marked and consistent long-term reduction.

Milan is located within the Po Valley, surrounded by the Alps to the north and the Apennines to the south. Its geography is characterized by low wind speeds, particularly during winter, with temperature inversions and frequent ground-based thermal inversions being especially common during this season. These mesoscale meteorological conditions reduce vertical mixing and favor the accumulation of pollutants near the surface, leading to wintertime concentrations that are often substantially higher than those observed in summer [25]. Consequently, the semi-quantitative concentrations reported in this study, derived from summer measurements, may underestimate the potential annual mean exposure. The mean annual semi-quantitative concentrations could be even higher if we had included data collected in winter.

Passive air samplers (PASs) provide a cost-effective and practical tool for long-term VOC monitoring in both indoor and outdoor environments. Compared with active sampling methods, PASs offer advantages such as lower maintenance costs, ease of use, independence from external power sources, and silent operation [12,26]. While active samplers rely on controlled airflow and provide high-resolution temporal data, delivering information about episodic VOC concentrations over short periods, PASs may underestimate episodic peaks but provide reliable estimates of average VOC concentrations through time-integrated sampling. Due to the time-integrated nature of passive air sampling, short-term peak concentrations are averaged over the entire sampling period, thus minimizing their influence on the reported VOC concentrations. This characteristic makes them especially suitable for assessing long-term exposure trends and spatial variations. Their ability to operate continuously in remote or inaccessible locations further supports their applicability in extended air quality studies [26–29].

Based on geometric configuration, PASs are categorized into axial and radial samplers, each with distinct operational characteristics. Axial samplers have longer diffusion paths and smaller cross-sectional areas, resulting in lower uptake rates. In contrast, radial samplers have a larger diffusive surface and shorter diffusion paths, and their 360° symmetrical geometry allows analytes to access the sorbent material from all directions, increasing the uptake rate and enabling more uniform VOC absorption. However, a higher sampling rate does not necessarily translate into greater sampling efficiency, which also depends

on compound-specific diffusion behavior and the physicochemical properties of the sorbent [12,30–32]. The selection between these configurations depends on factors such as the study objectives, target compounds, and environmental conditions.

For this study, Radiello® passive/diffusive samplers were selected for their ability to effectively capture a wide range of VOCs. The highly adsorptive activated charcoal allows the collection of both polar and non-polar VOCs, ensuring a comprehensive assessment of indoor and outdoor air quality. According to Fuselli et al. [33] and the Radiello® manual, VOCs collected on these samplers remain stable for up to 6 months when the cartridges are properly sealed and stored at 4 °C—the analyte content remains unaltered during this period. This stability ensures the reliability of the collected data during storage and transport prior to analysis. Their performance is further supported by European regulatory frameworks for VOC monitoring, reinforcing their suitability for scientific air quality assessments [34,35].

PASs are widely used for VOC monitoring worldwide. Key studies that have used PASs include one by Mukerjee et al. [36], who investigated VOC distributions near a petroleum refinery in South Philadelphia, United States, and one by Vallecillos et al. [26], who conducted a multi-year VOC monitoring study near petrochemical industries in Tarragona, Spain. These studies, among others, confirm the reliability and broad applicability of PASs for long-term VOC assessment in diverse urban and industrial environments. Building on this foundation, we employed PASs to assess VOCs in both outdoor and indoor air in Milan, integrating passive sampling with gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) for accurate identification and semi-quantitative analysis. We expect our findings to contribute to a better understanding of VOC dynamics in Milan's urban environment, supporting the development of targeted air quality management strategies.

2. Materials and Methods

2.1. Sampling Sites

Milan, located in northern Italy, is the most populous city in the country, with approximately 5 million residents [37]. As a major European metropolis, Milan presents a complex urban landscape shaped by intensive commercial activity, a strong manufacturing base, and a dense transportation network. These characteristics make it a strategically relevant location for investigating VOC concentrations and their emission sources.

To obtain a comprehensive semi-quantitative characterization of VOCs in both indoor and outdoor air and to identify their potential sources, air sampling was carried out at five carefully selected sites across Milan. These locations were selected to represent a range of urban and suburban environments, including high-traffic areas, quieter residential zones, and sites with significant green space. The selection aimed to capture the heterogeneity of urban background levels and traffic-related VOC emissions across the city. The monitoring sites were selected by prioritizing accessibility and safety to ensure the integrity and reliability of the data collection process. Precautions were taken to protect the sampling equipment from environmental or human interference. The study also adhered to ethical standards by obtaining prior informed consent from property owners or occupants when necessary.

The sampling locations included one laboratory and four residential apartments, as described below. Figure 1 presents the spatial distribution of these sites, along with representative satellite imagery from Google Maps.

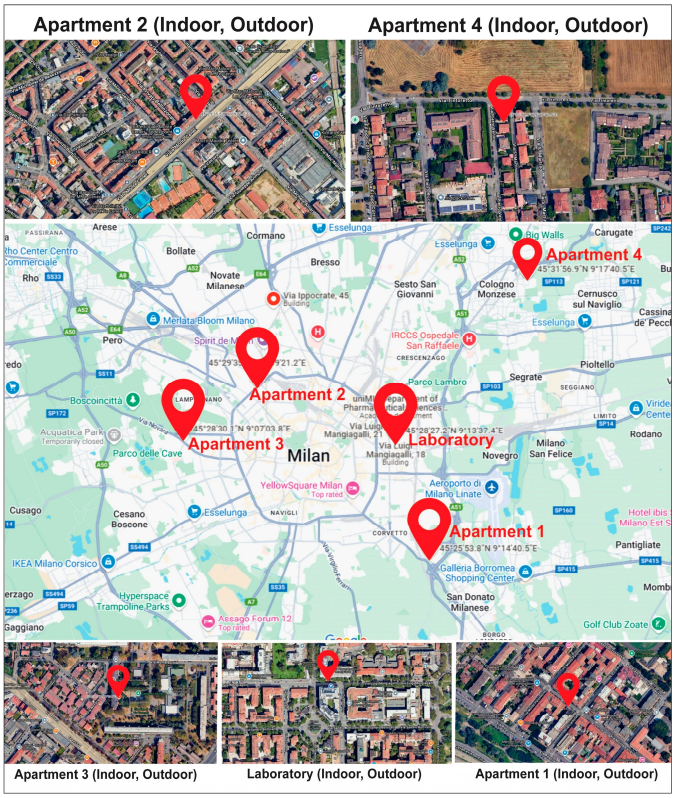


Figure 1. The map shows the locations of the indoor and outdoor volatile organic compound sampling sites across the metropolitan area of Milan, Italy.

1. Laboratory (latitude: 45.474220, longitude: 9.227056): This site is located in a mixed-use area comprising residential and institutional buildings. Outdoor sampling was carried out in the laboratory courtyard, approximately 200 m from a major road, allowing the capture of both urban background levels and traffic-related emissions.
2. Apartment 1 (latitude: 45.431622, longitude: 9.244577): This site is situated in a densely populated residential area with high traffic intensity. Sampling was performed 50 m from a busy road, enabling the assessment of traffic-influenced VOC concentrations in a highly urbanized setting.
3. Apartment 2 (latitude: 45.493200, longitude: 9.155900): This site is located in a residential setting with elevated traffic volumes. The sampling point was 20 m from a primary road, providing data representative of urban VOC exposure hotspots.
4. Apartment 3 (latitude: 45.475016, longitude: 9.117718): This site lies in a residential neighborhood characterized by greater green coverage and lower traffic density relative to the other locations. It offers a useful contrast to the more polluted urban sites, reflecting VOC concentrations in a relatively cleaner microenvironment.
5. Apartment 4 (latitude: 45.53248, longitude: 9.29457): This site is positioned in a suburban residential zone with moderate traffic influence. Sampling was con-

ducted 100 m from the nearest roadway, representing VOC exposure levels typical of suburban conditions.

2.2. Chemicals and Standard Solutions

Dichloromethane (DCM, ≥99.8%, stabilized with amylene; Merck KGaA, Darmstadt, Germany) was employed as the extraction solvent for VOC desorption from the Radiello® cartridges. A homologous series of *n*-alkanes ranging from C_8 to C_{20} (40 mg/L in hexane; Sigma-Aldrich, Merck KGaA, Darmstadt, Germany) was used to calculate the retention indices (RIs) to support compound identification via gas chromatography.

For accurate identification and semi-quantitative determination, individual external standards of selected VOCs were prepared in DCM. Compounds were identified by using the NIST Mass Spectral Library, applying a minimum match probability threshold of ≥85% to ensure reliable spectral confirmation. The selected VOC standards included toluene (≥99.5%), *m*-xylene (≥99.5%), *p*-xylene (≥99.5%), (±)-citronellal (≥95%, racemic mixture), (R)-(+)-limonene (≥99%, enantiomerically enriched), γ-terpinene (≥97%), α-pinene (≥98.0%), (-)-β-pinene (≥99%), (-)-β-citronellol (≥98.5%, enantiomerically enriched), (-)-terpinen-4-ol (≥95%), cineole (≥99%), terpineol (60–85%, mixture of positional isomers), butyl acetate (≥99.7%), and dibutyl phthalate (≥98.0%). All reference compounds were purchased from Sigma-Aldrich (Merck KGaA, Darmstadt, Germany), except cineole, which was sourced from Janssen Chimica (Geel, Belgium).

Given the semi-quantitative scope of this study, full calibration curves were not developed for each compound. Instead, a single-point calibration approach was adopted for most VOCs. Limonene was selected as a representative compound for multi-point calibration, prepared in concentrations ranging from 0.000189 to 0.30312 mg/L, consistently yielding a correlation coefficient (R^2) > 0.995. For all other compounds, semi-quantitative estimations were performed based on single-concentration standards, under the assumption of comparable detector responses.

Where analytical standards were not available, estimated response factors (RFs) were calculated using structurally related compounds, including alkanes (C_8–C_{20}) and available standards, to improve the reliability of semi-quantitative estimations in the absence of analytical standards for all detected compounds. This approach enabled the calculation of approximate concentrations for unidentified VOCs based on their relative detector responses.

However, there are several limitations associated with this semi-quantitative characterization method. First, the lack of certified analytical standards for many VOCs detected in both outdoor and indoor air limits the accuracy of the quantification. Additionally, the absence of equipment to measure environmental factors, such as temperature, humidity, and airflow, at the sampling sites introduces further uncertainty, because these factors can influence the uptake rates of VOCs by PAS, potentially causing variability and bias in the results. The main disadvantage of this method is that it provides relative quantification of concentrations rather than absolute concentration values, which are necessary for accurate health risk assessments of the detected VOCs. Moreover, the limited number of sampling sites in Milan and the absence of duplicate samplers at each location may reduce the reliability of the data. Furthermore, sampling was only conducted during the summer, which limits the capture of seasonal variations. Considering Milan's location within the Po Valley, winter meteorological conditions such as temperature inversions and limited air circulation may lead to elevated VOC concentrations compared to those measured in summer [25]. This method is typically used when the study objectives focus on relative semi-quantitative characterization of VOCs, rather than precise absolute quantification.

Future studies should overcome these limitations by implementing on-site monitoring of environmental parameters to allow precise sampling rate corrections, increasing the number of sampling sites with duplicates, and extending monitoring across all seasons to capture temporal variability. Additionally, the application of absolute quantification methods is essential to enhance the accuracy and reliability of VOC measurements. Expanding both spatial and temporal coverage will improve the understanding of VOC dynamics and strengthen the foundation for accurate health risk assessments, particularly for regulated VOCs.

2.3. Sampling Methods and Sample Preparation

Radiello® passive/diffusive samplers developed by the Fondazione Salvatore Maugeri in Padova, Italy, were used to assess VOCs in both outdoor and indoor air in Milan, Italy. These samplers utilize a cylindrical adsorbing cartridge housed within a white diffusive body, supplied by Sigma-Aldrich (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)). VOC sampling is facilitated by diffusion across a microporous polyethylene membrane that is 1.7 mm thick, with an average pore size of 25 ± 5 µm and a length of 18 mm. VOCs are adsorbed onto an activated charcoal cartridge housed within a stainless-steel net cylinder, which features a 100-mesh grid and a diameter of 5.8 mm, and is filled with approximately 530 ± 30 mg of activated charcoal with a particle size range of 35–50 mesh [35].

Sampling was conducted from June to July 2024, a period marked by elevated temperatures and increased traffic emissions, to capture potential variations in VOC concentrations. Indoor samplers were placed in residential apartment hallways (40–70 m^2) at a height of 1.5–2 m, ensuring coverage of major living areas as well as centrally within the laboratory. Outdoor samplers were placed 20–30 m from indoor sites, at an elevation of 2–4 m, housed in polypropylene shelters to protect against rain and direct sunlight, following the manufacturer's recommendations to avoid weather-induced contamination. Each Radiello® sampler was pre-conditioned and calibrated according to the manufacturer's guidelines prior to use to ensure precision and reliability [35].

The frequency of cartridge replacement was determined based on the expected VOC concentration variability. Indoor cartridges were replaced every 14 days, reflecting the typically higher and more variable VOC concentrations in indoor environments, influenced by internal pollution sources [15]. Conversely, outdoor cartridges were replaced every 28 days, reflecting generally more stable VOC concentrations in outdoor environments, as reported previously [4]. This approach ensured the collection of reliable and representative data from both indoor and outdoor settings. A total of 20 indoor and 10 outdoor samplers were employed.

This sampling duration is consistent with the Radiello® manual, which recommends an exposure period of up to 30 days for long-term monitoring. According to the manufacturer's specifications, the breakthrough volume for Radiello® samplers with a white diffusive body and solvent extraction is 70,000–80,000 $\mu g/m^3$, substantially higher than the maximum total VOC semi-quantitative concentration observed in this study (about 570 $\mu g/m^3$). This large safety margin ensures that breakthrough and saturation effects are negligible [35]. Furthermore, Zimmerman et al. [38] confirmed that these samplers maintain VOC stability within their sorption capacity and acceptable relative percent difference (%Bias) limits for up to 1 month of exposure. While some compounds may degrade beyond 1 month, most remain stable for up to 12 months, supporting the appropriateness of a 4-week sampling interval. Some VOCs may react or polymerize during sampling, potentially affecting their measured concentrations, a known limitation of passive VOC sampling [39,40].

At the end of the sampling period, each cartridge was carefully sealed in a glass tube and transported to the laboratory, where it was stored at 4 °C and analyzed within 72 h to

preserve the adsorbed VOCs. For desorption, 2 mL of DCM was added directly into the glass tube containing the cartridge, with gentle stirring for 30 min at room temperature. Then, the extract was transferred to a vial for GC-MS analysis. DCM was chosen over carbon disulfide (CS_2), as recommended by the manufacturer, due to its superior efficacy in VOC extraction, thus ensuring more reliable and accurate results [41].

Rigorous quality control measures were implemented to ensure the reliability of the data, including blank and negative controls. Blank controls were analyzed before each measurement set to detect potential contamination from DCM. Negative controls involved placing 2 mL of DCM in a glass tube with a new Radiello® cartridge, which was incubated for 30 min with periodic agitation. This step was carried out to detect any contamination from the sample preparation environment. Additionally, each sample was analyzed twice using a semi-quantitative method to assess consistency and accuracy.

2.4. VOC Emissions from Cleaning and Personal Care Products

VOC emissions were assessed from 17 household cleaning detergents and 21 personal care products, which were commonly used at the indoor sampling locations during the monitoring period. The primary aim of this analysis was to determine semi-quantitatively the relative abundance and category distribution of VOCs emitted from these products. This procedure enabled the identification of potential emission sources and their relative contributions to the indoor VOC burden observed at the sampling sites.

For each product, a 10 mL aliquot was transferred into a 300 mL glass jar, into which a Radiello® cartridge was placed within a white diffusive body. The jars were hermetically sealed and heated in a water bath at 50 °C for 1 h to promote the volatilization of VOCs into the headspace, where they were subsequently adsorbed by the cartridge. After the exposure period, VOCs were desorbed using 2 mL of DCM for 30 min, following the procedure described in Section 2.3. The extracts were analyzed by GC–MS using the same analytical method applied to air samples (see Section 2.5).

2.5. GC-MS Analysis

VOCs were analyzed using a SCION 436-GC gas chromatograph equipped with a single quadrupole mass spectrometer (Bruker Corporation, Techcomp, Fulton, MD, USA), operated at the Department of Environmental Science and Policy, University of Milan, Italy. A Zebron ZB-SemiVolatiles capillary column (30 m long × 0.25 mm internal diameter × 0.25 µm film thickness; Phenomenex, Bologna, Italy) was used for chromatographic separation. It was selected for its excellent peak capacity and low bleed characteristics, making it suitable for the resolution of a broad spectrum of VOCs. The carrier gas was high-purity helium delivered at a constant flow rate of 1.0 mL/min to maintain retention time reproducibility and optimal peak symmetry. The temperature gradient of the GC oven was optimized for compounds of varying volatility: an initial hold at 35 °C for 5 min to retain highly volatile analytes, followed by a ramp to 90 °C at 5 °C/min, and holding at that temperature for 3 min to optimize the resolution of mid-volatility compounds. Finally, the temperature was increased to a final temperature of 280 °C at 10 °C/min, and held there for 3 min to elute less volatile, higher-molecular-weight species. The total chromatographic runtime was 41 min.

Samples (2 µL) were injected in splitless mode, with an injector temperature maintained at 240 °C. This technique was employed to maximize analyte transfer to the column and to improve the detection sensitivity of trace-level compounds. The mass spectrometer operated in electron ionization mode, with an ion source temperature of 230 °C and a quadrupole temperature of 150 °C. Mass spectra were acquired over a scan range of m/z 35–500 amu, encompassing the expected mass range of indoor, outdoor, and product-derived VOCs. This configuration ensured high sensitivity and reproducibility for the

detection of both low- and high-molecular-weight VOCs, aligning with current analytical standards for environmental VOC profiling.

3. Results and Discussion

3.1. Overview of Detected VOCs

We conducted a semi-quantitative characterization of VOCs in both indoor and outdoor air at five monitoring sites in Milan, Italy. The concentration of each VOC group detected in the sample air is expressed as micrograms per cubic meter ($\mu g/m^3$). We considered the following VOC groups: hydrocarbons, aromatic hydrocarbons, terpenes, organosiloxanes, alcohols and ethers, aldehydes and ketones, esters, and halogenated compounds. The VOCs within each group generally share similar physicochemical properties and emission sources. This classification facilitated our interpretation of VOC distribution patterns and supported preliminary source attribution by linking chemical groups to known emission sources. It also allowed us to perform a comparative assessment of indoor and outdoor VOC compositions, revealing the combined impact of ambient pollution and emissions from indoor product use on air quality. Details on the calculation method for VOC concentrations are provided in the Supplementary Material (Table S1; Equations (S1)–(S3)).

3.2. Semi-Quantitative Characterization of VOCs in Outdoor and Indoor Air

Figure 2 shows the semi-quantitative mean concentrations for each VOC group in outdoor and indoor air. Because the sampling sites differed substantially in the types and concentrations of VOCs, the results of the quantitative analyses are expressed as the mean with the standard deviation. In this context, the standard deviation reflects the variation between different sites rather than repeated measurements from the same site. This distinction is important for interpreting the magnitude of the deviations observed.

In the outdoor air, hydrocarbons were the dominant chemical group across all five sites, with a mean concentration of 173.2 ± 143.8 $\mu g/m^3$, accounting for $80.3\% \pm 4.6\%$ of the total volatile organic compounds (TVOCs). Aromatic hydrocarbons were the second most abundant group (37.2 ± 49.7 $\mu g/m^3$, $13.3\% \pm 5.5\%$ of TVOCs), followed by terpenes (2.7 ± 3.2 $\mu g/m^3$), esters (2.2 ± 1.1 $\mu g/m^3$), alcohols and ethers (1.7 ± 1.3 $\mu g/m^3$), halogenated compounds (1.5 ± 1.3 $\mu g/m^3$), organosiloxanes (1.2 ± 1.4 $\mu g/m^3$), and aldehydes and ketones (1.1 ± 1.6 $\mu g/m^3$).

Among the individual VOC species detected in outdoor air, tetradecane showed the highest semi-quantitative mean concentration (59.8 ± 28.1 $\mu g/m^3$), followed by dodecane (52.1 ± 56.3 $\mu g/m^3$) and hexadecane (16.8 ± 11.1 $\mu g/m^3$). Other major contributors included tridecane (16.1 ± 25.6 $\mu g/m^3$), (*m* + *p*) xylenes (13.8 ± 24.7 $\mu g/m^3$), decane (10.6 ± 22.1 $\mu g/m^3$), ethylmethylbenzenes (8.1 ± 14.5 $\mu g/m^3$), toluene (6.1 ± 2.5 $\mu g/m^3$), pentadecane (5.8 ± 6.8 $\mu g/m^3$), and 2,2,4-trimethylpentane (4.6 ± 2.6 $\mu g/m^3$). These 10 compounds collectively accounted for $84.1\% \pm 9.7\%$ of outdoor TVOCs. Table S2 presents a full list of VOCs detected outdoors, along with the semi-quantitative concentration for all samples.

The mean semi-quantitative TVOC concentration in outdoor air across all sites was 220.8 ± 195.4 $\mu g/m^3$. Among the monitored locations, the mean semi-quantitative TVOC concentration of Outside Apartment 2 was notably higher compared with the other outdoor sites. This elevated concentration is primarily attributed to the high traffic density in the area, contributing to increased levels of specific alkanes (*n*-decane, *n*-dodecane, *n*-tridecane, *n*-tetradecane, and other linear alkanes) and alkylbenzenes (benzene, toluene, ethylbenzene, *m* + *p* xylene, and ethylmethylbenzenes), which are consistent with emissions from gasoline and diesel combustion. This finding aligns with previous research linking heavy traffic to elevated VOC concentrations [4,42,43].

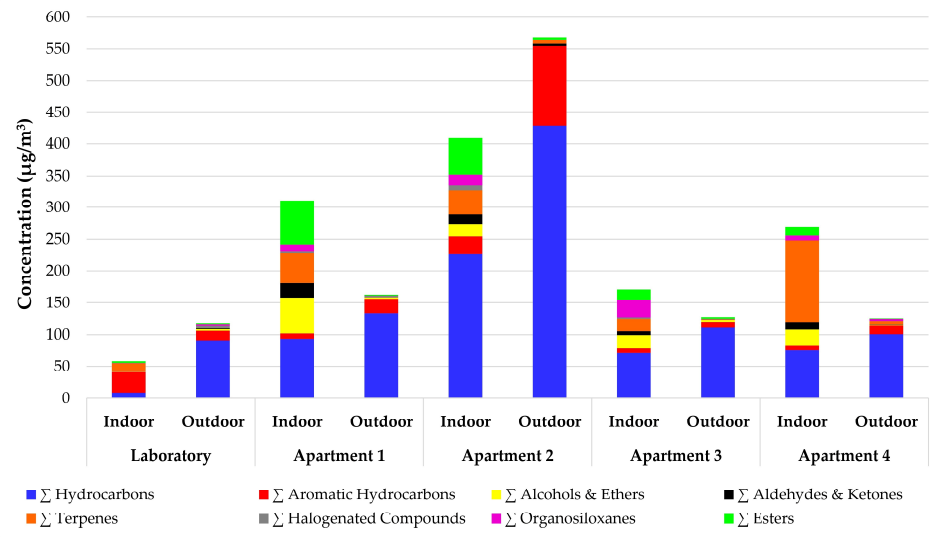


Figure 2. The stacked bar chart shows the mean semi-quantitative concentrations (µg/m^3) of the volatile organic compound groups across five indoor and outdoor environments in Milan.

Considering the five indoor air monitoring sites, hydrocarbons were again the most abundant group (95.2 ± 80.1 μg/m^3), accounting for 34.1% ± 15.2% of TVOCs. Terpenes were the second most abundant group (49.0 ± 46.4 μg/m^3, 20.7 ± 15.5% of TVOCs), followed by esters (31.5 ± 28.9 μg/m^3), alcohols and ethers (24.2 ± 19.9 μg/m^3), aromatic hydrocarbons (16.8 ± 12.1 μg/m^3), organosiloxanes (12.6 ± 10.2 μg/m^3), aldehydes and ketones (11.4 ± 8.1 μg/m^3), and halogenated compounds (2.9 ± 3.2 μg/m^3).

The 10 most abundant VOCs identified indoors were tetradecane (29.2 ± 22.8 μg/m^3), dodecane (17.3 ± 13.3 μg/m^3), limonene (13.2 ± 9.0 μg/m^3), *n*-butyl acetate (11.9 ± 13.1 μg/m^3), decamethylcyclopentasiloxane (10.3 ± 9.7 μg/m^3), hexadecane (10.0 ± 14.3 μg/m^3), α-pinene (9.7 ± 11.1 μg/m^3), β-linalool (9.7 ± 11.8 μg/m^3), toluene (9.1 ± 7.6 μg/m^3), and 1-butoxy-2-propanol (8.1 ± 5.5 μg/m^3). Collectively, these compounds accounted for 53.9% ± 7.3% of indoor TVOCs. Table S3 provides a full list of VOCs detected indoors, along with their semi-quantitative concentrations.

The mean semi-quantitative indoor TVOC concentration was 243.6 ± 134.3 μg/m^3, which was on average 10% higher than the outdoor concentrations. Overall, the I/O ratio was 1.10. Thus, the indoor TVOC concentration was 10% higher compared with the outdoor TVOC concentration. This higher indoor TVOC concentration is consistent with a previous study [44]. However, the laboratory and Apartment 2 sites showed a higher mean outdoor semi-quantitative TVOC concentration relative to the mean indoor semi-quantitative TVOC concentration.

Apartment 2 exhibited the highest indoor semi-quantitative TVOC concentrations, driven by the continuous infiltration of outdoor pollutants through open windows, amplified by its proximity to a major traffic route. Due to elevated ambient temperatures during the monitoring period, apartment windows and doors were routinely left open throughout the day and into the night, facilitating unfiltered exchange with the outdoor environment. This led to the indoor accumulation of traffic-related VOCs. In this case, open-window ventilation did not improve indoor air quality but instead facilitated the intrusion of outdoor pollutants. This finding aligns with previous studies showing that polluted outdoor air can infiltrate indoor environments, increasing indoor pollution levels, particularly in areas near major roads [45,46]. Conversely, in the laboratory, where windows remained closed and mechanical ventilation was used, the indoor semi-quantitative VOC concentrations were lower than those outdoors. This underscores the effectiveness of controlled ventilation systems in managing indoor air quality, particularly in high-traffic urban environments.

3.3. I/O VOC Ratios as Indicators of Source Attribution

We calculated the I/O ratio for each VOC group. This diagnostic tool is widely used to identify dominant emission sources. Moreover, the use of relative I/O ratios based on VOC group concentrations minimizes the influence of short-term variability in individual compound concentrations. An I/O ratio greater than 2.0 typically suggests a predominance of indoor sources, whereas a ratio close to 1.0 ± 0.2 implies an outdoor origin. Intermediate values (1.2–2.0) indicate mixed contributions from both environments [18]. Table 1 presents a summary of the relative I/O ratio for each of eight VOC groups across all sampling sites.

We observed notable variations in the I/O ratios across the VOC groups and sampling locations. Hydrocarbons and aromatic hydrocarbons consistently exhibited an I/O ratio < 1.0, indicating a dominant contribution from outdoor sources. This pattern aligns with the elevated outdoor concentrations observed at traffic-influenced sites and supports the interpretation that vehicular emissions, via infiltration and natural ventilation, are major contributors to indoor levels of these compounds.

Table 1. Indoor-to-outdoor (I/O) ratios of volatile organic compound chemical groups across all monitoring sites.

Groups of VOCs	I/O Ratio									
	Laboratory Sources		Apartment 1 Sources		Apartment 2 Sources		Apartment 3 Sources		Apartment 4 Sources	
Hydrocarbons	0.1	O	0.70	O	0.53	O	0.64	O	0.75	O
Aromatic Hydrocarbons	2.14	I	0.37	O	0.22	O	0.76	O	0.64	O
Alcohols and Ethers	0.27	O	28.19	I	nd *	I	6.77	I	28.98	I
Aldehydes and Ketones	1.30	I and O	nd *	I	3.98	I	nd *	I	20.81	I
Terpenes	77.73	I	227.19	I	5.97	I	26.09	I	20.78	I
Halogenated Compounds	0.07	O	1.58	I and O	10.82	I	4.07	I	nd **	O
Organosiloxanes	0.17	O	32.52	I	nd *	I	75.64	I	2.44	I
Esters	1.01	O	49.91	I	15.73	I	6.31	I	19.96	I

* nd—not detected in outdoor air; ** nd—not detected in indoor air.

Interestingly, aromatic hydrocarbons in the laboratory environment showed an I/O ratio > 2.0, pointing to a strong indoor source. This can likely be attributed to the use of high-purity solvents during laboratory procedures, which considerably elevate indoor concentrations of these compounds.

For the other VOC groups, including alcohols and ethers, aldehydes and ketones, terpenes, halogenated compounds, organosiloxanes, and esters, the I/O ratio was usually >2, indicating a primary indoor origin. These VOC groups are typically emitted from cleaning agents, personal care formulations, and a variety of consumer products frequently used in indoor environments. However, some sites exhibited more complex source profiles. For example, halogenated compounds in Apartment 1 and aldehydes and ketones in the laboratory showed an intermediate I/O ratio, indicating mixed sources. In these cases, both outdoor infiltration and indoor activities contributed significantly to the indoor VOC concentrations. These findings underscore the importance of considering outdoor air quality when evaluating indoor VOC concentrations, as many outdoor-derived compounds are transported into indoor spaces through different pathways.

3.4. Diagnostic VOC Ratios in Outdoor Air: B/T, T/B, and X/E

The B/T, T/B, and X/E ratios are widely used diagnostic tools to assess the origin of VOCs and to evaluate the photochemical aging of air masses. The B/T ratio is frequently employed to estimate the contribution of VOC sources. A B/T ratio of 0.23–0.66 is typically associated with mobile sources, especially vehicular exhaust, whereas a B/T ratio < 0.23 suggests that stationary sources, such as fuel evaporation or industrial emissions, are dominant. Conversely, a B/T ratio > 0.66 implies a mixed contribution from both mobile and stationary sources [47]. The T/B ratio, which complements the B/T ratio, helps differentiate between traffic and solvent-related emissions. A T/B ratio < 2.0 typically reflects fresh traffic emissions. A T/B ratio of 2.0–5.0 indicates mixed influence from vehicles and industrial activities involving solvent use, while a T/B ratio > 5.0 has been associated with significant contributions from industrial sources or solvent evaporation. These T/B thresholds are adapted from previous studies conducted in urban environments [48,49]. In urban environments, the X/E ratio generally ranges from 2.5 to 2.9, reflecting relatively fresh emissions. Conversely, an X/E ratio < 2.5 suggests that air masses have undergone substantial photochemical aging [50]. An X/E ratio of 2.8–4.6 has been strongly associated with vehicular traffic, a major contributor to urban VOCs [51].

The calculated mean relative B/T, T/B, and X/E ratios for each outdoor sampling site are presented in Table 2. The mean was 0.39, 2.69, and 2.72, respectively. These

values suggest that vehicular traffic is the predominant source of VOCs in the ambient environment. The B/T ratios fall within the typical range associated with vehicle exhaust (0.23–0.66), while the T/B ratios indicate mixed contributions from traffic and solvent-related industrial activities. The mean X/E ratio (2.72) points to relatively fresh emissions with moderate photochemical aging.

Table 2. Site-specific outdoor volatile organic compound ratios of benzene to toluene (B/T), toluene to benzene (T/B), and (*m* + *p*)-xylene to ethylbenzene (X/E) at the monitored locations in Milan, Italy.

Location	B/T	T/B	X/E
Laboratory	0.42	2.36	2.77
Apartment 1	0.38	2.60	2.90
Apartment 2	0.55	1.83	3.56
Apartment 3	0.31	3.26	2.52
Apartment 4	0.29	3.41	1.85
Mean ratio	0.39	2.69	2.72

Notably, Apartment 2 exhibited the highest X/E ratio (3.56), reinforcing its classification as a traffic-influenced site. In contrast, Apartment 4 showed the lowest X/E ratio (1.85), indicating the presence of more aged air masses, likely due to photochemical degradation and atmospheric dispersion.

Although both vehicular traffic and industrial solvent-related activities contribute to ambient VOCs in Milan, the overall emission profile is clearly dominated by vehicular sources. Local variations reflect differences in proximity to roads and urban density, with urban areas more affected by fresh traffic emissions, while the suburban site exhibits signs of aged air masses.

3.5. Semi-Quantitative Comparison Between VOC Emissions from Consumer Products and VOCs Detected in Indoor and Outdoor Air

Figure 3 presents the semi-quantitative percentage distribution of VOCs emitted from household cleaning detergents and personal care products used at the monitoring sites in Milan. For comparison, the figure also shows the average percentage composition of VOC groups identified in both indoor and outdoor air across all sampling locations. The values represent the relative contribution of each VOC group to the total detected compounds, providing an integrated view of product emission profiles and ambient VOC composition.

Based on the results, the predominant contributors to indoor VOC emissions are consumer products, particularly cleaning detergents and personal care products. The most abundant compound groups emitted from these products include terpenes, alcohols and ethers, and esters. This pattern is consistent with previous studies highlighting these products as major indoor VOC sources [17,52–55]. In contrast, hydrocarbons and aromatic hydrocarbons detected indoors are primarily attributed to outdoor air infiltration. These groups are typically associated with vehicular traffic and combustion-related sources, and their presence indoors reflects the transport of pollutants from the ambient outdoor environment. This interpretation is further supported by the I/O ratios (see Section 3.3), which emphasize the contribution of outdoor-origin VOCs to indoor air composition.

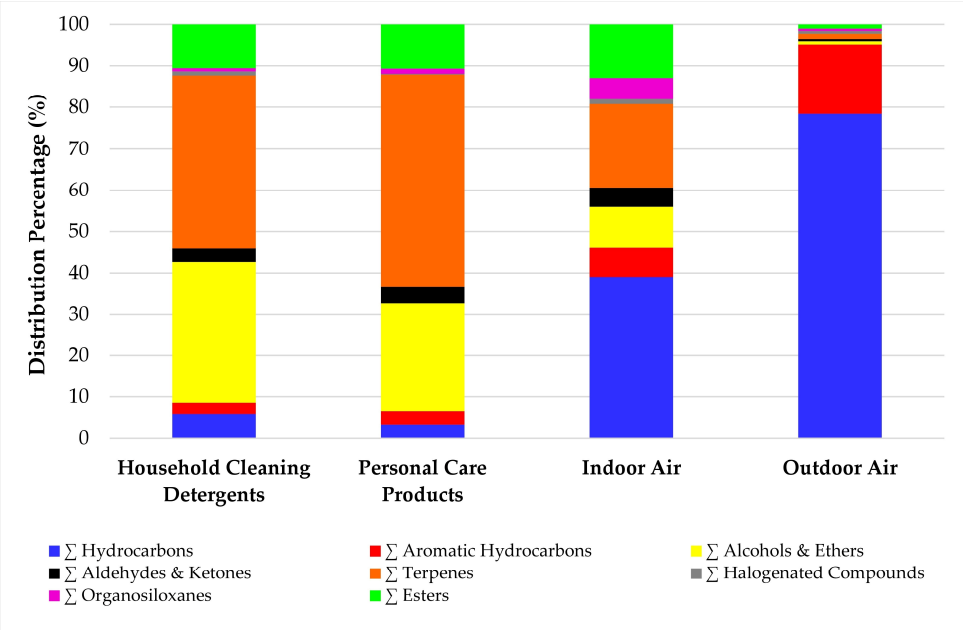


Figure 3. The bar chart shows the average percentage distribution of volatile organic compound groups emitted from consumer products and detected in indoor and outdoor air at the monitored sites.

3.6. TVOC Concentrations in Milan and Comparison with Global Cities

Table 3 presents the mean semi-quantitative concentrations of TVOCs in both outdoor and indoor air in Milan, alongside reported values from selected international cities. We calculated the mean semi-quantitative TVOC concentrations for Milan by determining the total concentrations at each monitoring site (indoor and outdoor) and then using these values to calculate the arithmetic mean across all sites. This approach provides a relative overview of the local urban TVOC burden. Note that the referenced studies differ significantly in terms of sampling locations, durations, protocols, analytical methods, and especially the timing of data collection. While we conducted our study during the summer, some of the cited studies either reported data limited to specific seasons, with sparse measurement from the summer or covered much longer monitoring periods that span multiple seasons. These temporal differences complicate direct comparisons, as seasonal variations and monitoring duration can substantially affect the concentrations. Furthermore, the concentrations reported here are semi-quantitative estimates, in contrast to the absolute values presented in other studies in Table 3. Therefore, direct comparisons should be made cautiously, considering these methodological differences. Despite these limitations, the comparative assessment offers a valuable relative perspective on TVOC variability at both local and international scales.

In Milan, the mean semi-quantitative TVOC concentrations were relatively elevated compared with several other urban centers. For example, the outdoor TVOC concentration in Milan exceeds the concentrations reported in Calgary (42 $\mu g/m^3$), Ghent (24.5 $\mu g/m^3$), and Ulsan (28.1 $\mu g/m^3$), likely reflecting higher vehicular traffic and urban density. Similarly, the indoor TVOC concentration in Milan is higher than what was

reported in La Plata (112.5 μg/m^3) and Ghent (152 μg/m^3), underscoring the contribution of indoor sources, including consumer products and infiltration of outdoor air. However, the indoor TVOC concentration in Milan is lower than the concentrations found in highly polluted environments such as Ajman (3092.2 μg/m^3) and Dubai (594.8 μg/m^3). Cities such as Çanakkale (500–550 μg/m^3) and Harbin (411 μg/m^3) also have higher indoor TVOC concentrations, so Milan is placed in the intermediate range of indoor air pollution. These findings highlight the significant influence of local factors, such as traffic emissions, industrial activities, building ventilation, climatic conditions, and population density, on urban VOC concentrations.

Table 3. The mean semi-quantitative total volatile organic compound concentrations (μg/m^3) in indoor and outdoor air in Milan, compared with values reported in selected global cities.

City/Country	Type of Air	TVOC Concentration (μg/m^3)	References
Milan/Italy	Outdoor Indoor	220.8 243.6	Present study
Ghent/Belgium	Outdoor Indoor	24.5 152	[56]
Slovakia	Indoor	519.7	[57]
Squinzano/Italy	Outdoor Indoor	420 303	[58]
Ajman/United Arab Emirates	Outdoor Indoor	114 3092.16	[59]
Dubai/United Arab Emirates	Indoor	594.77	[60]
Çanakkale/Turkey	Indoor	500–550	[61]
Schleswig-Holstein/Germany	Indoor	289	[62]
Harbin/China	Indoor	411	[63]
Addis Ababa/Ethiopia	Indoor	289	[64]
La Plata (Buenos Aires)/Argentina	Outdoor Indoor	44.51 112.46	[46]
Calgary, Alberta/Canada	Outdoor	42	[65]
Beijing/China	Outdoor	119	[66]
Ulsan, Korea	Outdoor	28.1	[67]
Nsukka, Nigeria	Outdoor Indoor	71 115; 254	[19]

Although we have provided relative quantification of VOCs rather than absolute concentrations, the identified VOC profile still warrants attention due to potential human health impacts, particularly regarding BTEX compounds because of their established or potential carcinogenicity, as classified by authoritative regulatory agencies. Benzene is classified as carcinogenic to humans (Group 1) by both the U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) and the International Agency for Research on Cancer (IARC). Ethylbenzene is classified as Group 2B, indicating it is possibly carcinogenic to humans, while toluene and xylenes are classified as Group 3, meaning they are not classifiable regarding their carcinogenicity to humans [17,68,69].

The relative mean outdoor benzene concentration, averaged across all sampling locations, was approximately 2.5 μg/m^3. At two sampling sites, this semi-quantitative estimate slightly exceeded the reference limit of 3.4 μg/m^3 established by Directive (EU) 2024/2881 [70]. However, these figures should be interpreted as indicative relative estimates rather than precise absolute concentrations due to methodological limitations inherent in achieving full absolute quantification.

Some of the cyclic siloxanes detected in this study, such as decamethylcyclopentasiloxane (D5) and octamethylcyclotetrasiloxane (D4), have been linked to adverse effects on the

endocrine and reproductive systems, with potential impacts on immune function as well as liver, lung, and kidney health. These compounds raise concerns regarding their disruption potential and bioaccumulation. Specifically, D4 meets the criteria for persistence, bioaccumulation, and toxicity, while D5 is classified as highly persistent and bioaccumulative, though its toxicity remains uncertain [20,21].

VOCs emitted by air fresheners are recognized as potentially toxic or hazardous under U.S. federal regulations and USEPA guidelines, with some compounds classified as carcinogens. These emissions contribute significantly to indoor VOC levels in monitored environments [71,72].

Importantly, although we have presented relative semi-quantitative estimates, the mean indoor TVOC concentration in Milan exceeded the 200 $\mu g/m^3$ threshold proposed by Mølhave [73], above which discomfort or adverse health effects may occur in residential environments. Three of the four monitored apartments surpassed this threshold. Despite the relative nature of the data, these findings highlight the presence of VOC mixtures that raise concerns about indoor air quality and underscore the need for mitigation strategies in urban residential settings. These relative findings emphasize the importance of ongoing VOC monitoring in both outdoor and indoor environments, which should be complemented by absolute quantitative measurements to accurately assess population exposure to VOCs.

4. Conclusions

We have provided a comprehensive semi-quantitative characterization of VOCs in indoor and outdoor environments in Milan, Italy, over a two-month summer period in 2024. Based on a Radiello® PAS and GC-MS, we found that the mean indoor TVOC concentration exceeded the mean outdoor TVOC concentration. Specifically, the relative mean I/O ratio was 1.10, indicating that indoor VOC concentrations were approximately 10% higher. This suggests that indoor spaces, even under natural ventilation conditions, act as reservoirs for VOCs due to continuous emissions from consumer products and infiltration from outdoor sources.

Hydrocarbons were the dominant VOC group in both environments, although the distribution patterns varied. In outdoor air, hydrocarbons and aromatic hydrocarbons comprised most of the VOCs, followed by terpenes, esters, alcohols and ethers, halogenated compounds, organosiloxanes, and aldehydes and ketones. Indoor air was dominated by hydrocarbons and terpenes, followed by esters, alcohols and ethers, aromatic hydrocarbons, organosiloxanes, aldehydes and ketones, and halogenated compounds.

The B/T, T/B, and X/E ratios confirmed that vehicular traffic is the primary contributor to outdoor VOCs in Milan, with secondary influences from industrial solvent use and photochemical aging. Indoor VOC sources were mainly linked to emissions from consumer products, particularly cleaning and personal care products, with additional contributions from outdoor air infiltration, highlighted by the alignment between product emissions and indoor VOC profiles. Importantly, the mean indoor TVOC concentration in three of the four monitored apartments exceeded the health-based threshold of 200 $\mu g/m^3$ proposed by Mølhave [73], raising concerns about indoor air quality and the potential need for mitigation strategies in residential settings.

The Radiello® PAS demonstrated their effectiveness for integrated, long-term monitoring of VOCs in both indoor and outdoor environments. They offer a reliable, low-maintenance tool for exposure assessment. Nonetheless, certain limitations must be acknowledged. The semi-quantitative nature of the analysis, which relied on relative RFs and RIs, introduces uncertainty in absolute concentration values. The limited number of sampling sites also constrained spatial representativeness. Furthermore, our restriction to a single summer season limits its applicability to other climatic periods. Future studies

should include year-round and spatially diverse monitoring to better capture seasonal and geographical variability in VOC emissions, thereby improving exposure assessments and mitigation planning.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at https://www.mdpi.com/article/10.3390/atmos16091088/s1, Equations (S1)–(S3): Calculation of volatile organic compound concentrations; Table S1. Manufacturer-specified sampling rates (Q) for Radiello® passive samplers under standard conditions (25 °C and 1013 hPa). The values have been reproduced from the Radiello® Manual; Table S2: List of volatile organic compounds detected in outdoor air across five locations in Milan, Italy, during monthly sampling campaigns in June and July 2024. The semi-quantitative concentrations are reported for each campaign, along with the mean concentrations over the full monitoring duration at each site; Table S3: List of volatile organic compounds detected in indoor air across five locations in Milan, Italy, based on biweekly sampling campaigns conducted in June and July 2024 (two samples per month). Semi-quantitative concentrations are reported separately for each month, along with overall mean concentrations for the full monitoring period at each site [35,74].

Author Contributions: Conceptualisation, V.M. (Vllaznim Mula), J.P.S., A.B., Z.Z. and G.B.; methodology, V.M. (Vllaznim Mula), L.Z., J.B., A.B., V.M. (Valbonë Mehmeti) and J.P.S.; software, A.B. and V.M. (Valbonë Mehmeti); formal analysis, V.M. (Vllaznim Mula), G.B. and F.G.; investigation, G.B. and Z.Z.; data curation, V.M. (Vllaznim Mula) and F.G.; writing—original draft preparation, V.M. (Vllaznim Mula); writing—review and editing, G.B., A.B., L.Z., V.M. (Vllaznim Mula), J.B., J.P.S., V.M. (Valbonë Mehmeti), F.G., A.D. and Z.Z.; visualization, L.Z., V.M. (Vllaznim Mula), A.D. and J.B.; supervision, G.B., J.B. and Z.Z.; funding acquisition, A.D. and G.B. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the NanoKos project, Nanoparticles in Environment and Medical Research, part of the European Commission under reference EUROPEAID/173691/DD/ACT/XK (NanoKos—438247).

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to privacy.

Acknowledgments: We would like to express our gratitude to Albertinë Hoti, Granit Salihu, and Ardita Zuka for their valuable assistance in the laboratory.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Duan, C.; Liao, H.; Wang, K.; Ren, Y. The Research Hotspots and Trends of Volatile Organic Compound Emissions from Anthropogenic and Natural Sources: A Systematic Quantitative Review. *Environ. Res.* **2023**, *216*, 114386. [CrossRef] [PubMed]
2. World Health Organization WHO. *Global Air Quality Guidelines. Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2021. Available online: https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228 (accessed on 6 September 2024).
3. Soni, V.; Singh, P.; Shree, V.; Goel, V. Effects of VOCs on Human Health. In *Air Pollution and Control*; Springer: Singapore, 2018; pp. 119–142.
4. Mula, V.; Bogdanov, J.; Stanoeva, J.P.; Zeneli, L.; Zdravkovski, Z. Monitoring Volatile Organic Compounds in Air Using Passive Sampling: Regional Cross-Border Study between N. Macedonia and Kosovo. *Aerosol Air Qual. Res.* **2024**, *24*, 230170. [CrossRef]
5. Brook, R.D.; Rajagopalan, S.; Pope, C.A.; Brook, J.R.; Bhatnagar, A.; Diez-Roux, A.V.; Holguin, F.; Hong, Y.; Luepker, R.V.; Mittleman, M.A.; et al. Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease. *Circulation* **2010**, *121*, 2331–2378. [CrossRef]
6. Guo, C.; Lv, S.; Liu, Y.; Li, Y. Biomarkers for the Adverse Effects on Respiratory System Health Associated with Atmospheric Particulate Matter Exposure. *J. Hazard. Mater.* **2022**, *421*, 126760. [CrossRef]

7. Dörter, M.; Odabasi, M.; Yenisoy-Karakaş, S. Source Apportionment of Biogenic and Anthropogenic VOCs in Bolu Plateau. *Sci. Total Environ.* **2020**, *731*, 139201. [CrossRef]
8. Wang, P.; Chen, Y.; Hu, J.; Zhang, H.; Ying, Q. Attribution of Tropospheric Ozone to NOx and VOC Emissions: Considering Ozone Formation in the Transition Regime. *Environ. Sci. Technol.* **2019**, *53*, 1404–1412. [CrossRef]
9. Soares, A.R.; Silva, C. Review of Ground-Level Ozone Impact in Respiratory Health Deterioration for the Past Two Decades. *Atmosphere* **2022**, *13*, 434. [CrossRef]
10. Mohd Hanif, N.; Limi Hawari, N.S.S.; Othman, M.; Abd Hamid, H.H.; Ahamad, F.; Uning, R.; Ooi, M.C.G.; Wahab, M.I.A.; Sahani, M.; Latif, M.T. Ambient Volatile Organic Compounds in Tropical Environments: Potential Sources, Composition and Impacts—A Review. *Chemosphere* **2021**, *285*, 131355. [CrossRef]
11. Madronich, S.; Lee-Taylor, J.M.; Wagner, M.; Kyle, J.; Hu, Z.; Landolfi, R. Estimation of Skin and Ocular Damage Avoided in the United States through Implementation of the Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer. *ACS Earth Space Chem.* **2021**, *5*, 1876–1888. [CrossRef] [PubMed]
12. Huang, C.; Shan, W.; Xiao, H. Recent Advances in Passive Air Sampling of Volatile Organic Compounds. *Aerosol Air Qual. Res.* **2018**, *18*, 602–622. [CrossRef]
13. Kansal, A. Sources and Reactivity of NMHCs and VOCs in the Atmosphere: A Review. *J. Hazard. Mater.* **2009**, *166*, 17–26. [CrossRef] [PubMed]
14. Montero-Montoya, R.; López-Vargas, R.; Arellano-Aguilar, O. Volatile Organic Compounds in Air: Sources, Distribution, Exposure and Associated Illnesses in Children. *Ann. Glob. Health* **2018**, *84*, 225–238. [CrossRef]
15. Irga, P.J.; Mullen, G.; Fleck, R.; Matheson, S.; Wilkinson, S.J.; Torpy, F.R. Volatile Organic Compounds Emitted by Humans Indoors– A Review on the Measurement, Test Conditions, and Analysis Techniques. *Build. Environ.* **2024**, *255*, 111442. [CrossRef]
16. Heeley-Hill, A.C.; Grange, S.K.; Ward, M.W.; Lewis, A.C.; Owen, N.; Jordan, C.; Hodgson, G.; Adamson, G. Frequency of Use of Household Products Containing VOCs and Indoor Atmospheric Concentrations in Homes. *Environ. Sci. Process. Impacts* **2021**, *23*, 699–713. [CrossRef]
17. Mula, V.; Bogdanov, J.; Petreska Stanoeva, J.; Zeneli, L.; Berisha, A.; Zdravkovski, Z. Assessment of Volatile Organic Compounds in Indoor Environments across North Macedonia and Kosovo Using Passive Sampling. *Maced. J. Chem. Chem. Eng.* **2024**, *43*, 207–218. [CrossRef]
18. Huang, L.; Wei, Y.; Zhang, L.; Ma, Z.; Zhao, W. Estimates of Emission Strengths of 43 VOCs in Wintertime Residential Indoor Environments, Beijing. *Sci. Total Environ.* **2021**, *793*, 148623. [CrossRef]
19. Agbo, K.E.; Walgraeve, C.; Vandermeersch, L.; Eze, J.I.; Ukoha, P.O.; Van Langenhove, H. Residential VOCs Concentration Levels in Nsukka, Nigeria. *Atmos. Environ.* **2022**, *289*, 119307. [CrossRef]
20. Molinier, B.; Arata, C.; Katz, E.F.; Lunderberg, D.M.; Liu, Y.; Misztal, P.K.; Nazaroff, W.W.; Goldstein, A.H. Volatile Methyl Siloxanes and Other Organosilicon Compounds in Residential Air. *Environ. Sci. Technol.* **2022**, *56*, 15427–15436. [CrossRef] [PubMed]
21. Gentry, R.; Franzen, A.; Van Landingham, C.; Greene, T.; Plotzke, K. A Global Human Health Risk Assessment for Octamethylcyclotetrasiloxane (D 4). *Toxicol. Lett.* **2017**, *279*, 23–41. [CrossRef]
22. Fustinoni, S.; Buratti, M.; Giarnpiccolob, R.; Colombib, A. Biological and Environmental Monitoring of Exposure to Airborne Benzene and Other Aromatic Hydrocarbons in Milan Traffic Wardens. *Toxicol. Lett.* **1995**, *77*, 387–392. [CrossRef] [PubMed]
23. Lai, H.K.; Jantunen, M.J.; Künzli, N.; Kulinskaya, E.; Colvile, R.; Nieuwenhuijsen, M.J. Determinants of Indoor Benzene in Europe. *Atmos. Environ.* **2007**, *41*, 9128–9135. [CrossRef]
24. Collivignarelli, M.C.; Abbà, A.; Bertanza, G.; Pedrazzani, R.; Ricciardi, P.; Carnevale Miino, M. Lockdown for CoViD-2019 in Milan: What Are the Effects on Air Quality? *Sci. Total Environ.* **2020**, *732*, 139280. [CrossRef] [PubMed]
25. Raffaelli, K.; Deserti, M.; Stortini, M.; Amorati, R.; Vasconi, M.; Giovannini, G. Improving Air Quality in the Po Valley, Italy: Some Results by the LIFE-IP-PREPAIR Project. *Atmosphere* **2020**, *11*, 429. [CrossRef]
26. Vallecillos, L.; Riu, J.; Marcé, R.M.; Borrull, F. Air Monitoring with Passive Samplers for Volatile Organic Compounds in Atmospheres Close to Petrochemical Industrial Areas. The Case Study of Tarragona (2019–2021). *Atmos. Pollut. Res.* **2024**, *15*, 101986. [CrossRef]
27. Tromp, P.C.; Beeltje, H.; Okeme, J.O.; Vermeulen, R.; Pronk, A.; Diamond, M.L. Calibration of Polydimethylsiloxane and Polyurethane Foam Passive Air Samplers for Measuring Semi Volatile Organic Compounds Using a Novel Exposure Chamber Design. *Chemosphere* **2019**, *227*, 435–443. [CrossRef]
28. Huang, C.; Shi, Y.; Yang, M.; Tong, L.; Dai, X.; Liu, F.; Huang, C.; Zheng, J.; Li, J.; Xiao, H. Spatiotemporal Distribution, Source Apportionment and Health Risk Assessment of Atmospheric Volatile Organic Compounds Using Passive Air Samplers in a Typical Coastal Area, China. *J. Clean. Prod.* **2023**, *423*, 138741. [CrossRef]
29. Lan, H.; Hartonen, K.; Riekkola, M.-L. Miniaturised Air Sampling Techniques for Analysis of Volatile Organic Compounds in Air. *TrAC Trends Anal. Chem.* **2020**, *126*, 115873. [CrossRef]

30. Vera, T.; Villanueva, F.; Wimmerová, L.; Tolis, E.I. An Overview of Methodologies for the Determination of Volatile Organic Compounds in Indoor Air. *Appl. Spectrosc. Rev.* **2022**, *57*, 625–674. [CrossRef]
31. Ras, M.R.; Borrull, F.; Marcé, R.M. Sampling and Preconcentration Techniques for Determination of Volatile Organic Compounds in Air Samples. *TrAC Trends Anal. Chem.* **2009**, *28*, 347–361. [CrossRef]
32. Woolfenden, E. Sorbent-Based Sampling Methods for Volatile and Semi-Volatile Organic Compounds in Air. *J. Chromatogr. A* **2010**, *1217*, 2674–2684. [CrossRef]
33. Fuselli, S.; De Felice, M.; Morlino, R.; Turrio-Baldassarri, L. A Three Year Study on 14 VOCs at One Site in Rome: Levels, Seasonal Variations, Indoor/Outdoor Ratio and Temporal Trends. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2010**, *7*, 3792–3803. [CrossRef] [PubMed]
34. Król, S.; Zabiegała, B.; Namieśnik, J. Monitoring VOCs in Atmospheric Air II. Sample Collection and Preparation. *TrAC Trends Anal. Chem.* **2010**, *29*, 1101–1112. [CrossRef]
35. Istituti Clinici Scientifici Maugeri. User Manual—Radiello®. Passive/Diffusive Samplers. Available online: https://d3pcsg2wjq9izr.cloudfront.net/files/2285/download/724345/radiello_manual_final.pdf (accessed on 7 September 2024).
36. Mukerjee, S.; Smith, L.A.; Thoma, E.D.; Oliver, K.D.; Whitaker, D.A.; Wu, T.; Colon, M.; Alston, L.; Cousett, T.A.; Stallings, C. Spatial Analysis of Volatile Organic Compounds in South Philadelphia Using Passive Samplers. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **2016**, *66*, 492–498. [CrossRef]
37. Istituto Nazionale di Statistica—ISTAT. Annuario Statistico Italiano. Available online: https://www.istat.it/wp-content/uploads/2024/12/ASI_2024.pdf (accessed on 17 February 2025).
38. Zimmerman, J.H.; Schumacher, B.; Lutes, C.C.; Cosky, B.; Hayes, H. Long-Term Performance of Passive Volatile Organic Compounds (VOCs) Samplers for Indoor Air. *Environments* **2025**, *12*, 267. [CrossRef]
39. Cao, X.L.; Hewitt, C.N. Study of the Degradation by Ozone of Adsorbents and of Hydrocarbons Adsorbed during the Passive Sampling of Air. *Environ. Sci. Technol.* **1994**, *28*, 757–762. [CrossRef]
40. Melymuk, L.; Bohlin-Nizzetto, P.; Prokeš, R.; Kukučka, P.; Přibylová, P.; Vojta, Š.; Kohoutek, J.; Lammel, G.; Klánová, J. Uncertainties in Monitoring of SVOCs in Air Caused by Within-Sampler Degradation during Active and Passive Air Sampling. *Atmos. Environ.* **2017**, *167*, 553–565. [CrossRef]
41. Joos, P.E.; Godoi, A.F.L.; De Jong, R.; de Zeeuw, J.; Van Grieken, R. Trace Analysis of Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene Isomers in Environmental Samples by Low-Pressure Gas Chromatography–Ion Trap Mass Spectrometry. *J. Chromatogr. A* **2003**, *985*, 191–196. [CrossRef]
42. Abbasi, F.; Pasalari, H.; Delgado-Saborit, J.M.; Rafiee, A.; Abbasi, A.; Hoseini, M. Characterization and Risk Assessment of BTEX in Ambient Air of a Middle Eastern City. *Process Saf. Environ. Prot.* **2020**, *139*, 98–105. [CrossRef]
43. Wang, P.; Zhao, W. Assessment of Ambient Volatile Organic Compounds (VOCs) near Major Roads in Urban Nanjing, China. *Atmos. Res.* **2008**, *89*, 289–297. [CrossRef]
44. Ohura, T.; Amagai, T.; Shen, X.; Li, S.; Zhang, P.; Zhu, L. Comparative Study on Indoor Air Quality in Japan and China: Characteristics of Residential Indoor and Outdoor VOCs. *Atmos. Environ.* **2009**, *43*, 6352–6359. [CrossRef]
45. Tong, Z.; Chen, Y.; Malkawi, A.; Adamkiewicz, G.; Spengler, J.D. Quantifying the Impact of Traffic-Related Air Pollution on the Indoor Air Quality of a Naturally Ventilated Building. *Environ. Int.* **2016**, *89–90*, 138–146. [CrossRef]
46. Massolo, L.; Rehwagen, M.; Porta, A.; Ronco, A.; Herbarth, O.; Mueller, A. Indoor–Outdoor Distribution and Risk Assessment of Volatile Organic Compounds in the Atmosphere of Industrial and Urban Areas. *Environ. Toxicol.* **2010**, *25*, 339–349. [CrossRef]
47. Abtahi, M.; Fakhri, Y.; Conti, G.O.; Ferrante, M.; Taghavi, M.; Tavakoli, J.; Heshmati, A.; Keramati, H.; Moradi, B.; Amanidaz, N.; et al. The Concentration of BTEX in the Air of Tehran: A Systematic Review-Meta Analysis and Risk Assessment. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, *15*, 1837. [CrossRef]
48. Luo, S.; Hao, Q.; Xu, Z.; Zhang, G.; Liang, Z.; Gou, Y.; Wang, X.; Chen, F.; He, Y.; Jiang, C. Composition Characteristics of VOCs in the Atmosphere of the Beibei Urban District of Chongqing: Insights from Long-Term Monitoring. *Atmosphere* **2023**, *14*, 1452. [CrossRef]
49. Petrus, M.; Popa, C.; Bratu, A.-M. Temporal Variations in Urban Air Pollution during a 2021 Field Campaign: A Case Study of Ethylene, Benzene, Toluene, and Ozone Levels in Southern Romania. *Sustainability* **2024**, *16*, 3219. [CrossRef]
50. Zhang, X.; Wang, J.; Zhao, J.; He, J.; Lei, Y.; Meng, K.; Wei, R.; Zhang, X.; Zhang, M.; Ni, S.; et al. Chemical Characteristics and Sources Apportionment of Volatile Organic Compounds in the Primary Urban Area of Shijiazhuang, North China Plain. *J. Environ. Sci.* **2025**, *149*, 465–475. [CrossRef] [PubMed]
51. Caselli, M.; de Gennaro, G.; Marzocca, A.; Trizio, L.; Tutino, M. Assessment of the Impact of the Vehicular Traffic on BTEX Concentration in Ring Roads in Urban Areas of Bari (Italy). *Chemosphere* **2010**, *81*, 306–311. [CrossRef]
52. Vallecillos, L.; Borrull, A.; Marcé, R.M.; Borrull, F. Passive Sampling to Control Air Quality in Schools: Uptake Rate Determination and Application. *Indoor Air* **2020**, *30*, 1005–1017. [CrossRef] [PubMed]
53. Ninyà, N.; Vallecillos, L.; Marcé, R.M.; Borrull, F. Evaluation of Air Quality in Indoor and Outdoor Environments: Impact of Anti-COVID-19 Measures. *Sci. Total Environ.* **2022**, *836*, 155611. [CrossRef]

54. Vallecillos, L.; Borrull, A.; Marcé, R.M.; Borrull, F. Presence of Emerging Organic Contaminants and Solvents in Schools Using Passive Sampling. *Sci. Total Environ.* **2021**, *764*, 142903. [CrossRef]
55. Yang, T.; Xiong, J.; Tang, X.; Misztal, P.K. Predicting Indoor Emissions of Cyclic Volatile Methylsiloxanes from the Use of Personal Care Products by University Students. *Environ. Sci. Technol.* **2018**, *52*, 14208–14215. [CrossRef]
56. De Coster, G.; Van Overmeiren, P.; Vandermeersch, L.; Van Langenhove, H.; Demeestere, K.; Walgraeve, C. Indoor and Outdoor Air Quality Assessment in Daycare Centres in Ghent (Belgium) in View of Outdoor Sleeping in an Urban Environment. *Atmos. Environ.* **2023**, *303*, 119711. [CrossRef]
57. Mečiarová, Ľ.; Vilčeková, S.; Krídlová Burdová, E.; Kiselák, J. Factors Effecting the Total Volatile Organic Compound (TVOC) Concentrations in Slovak Households. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2017**, *14*, 1443. [CrossRef] [PubMed]
58. Bergomi, A.; Mangia, C.; Fermo, P.; Genga, A.; Comite, V.; Guadagnini, S.; Ielpo, P. Outdoor Trends and Indoor Investigations of Volatile Organic Compounds in Two High Schools of Southern Italy. *Air Qual. Atmos. Health* **2024**, *17*, 1325–1340. [CrossRef]
59. Jung, C.; Awad, J.; Ismail, M.A.; Chohan, A.H. Correlating Temperature, Airtightness, and Pollutant Concentrations: Insights into Indoor Air Quality in Ajman Apartment Buildings. *Future Cities Environ.* **2024**, *10*, 1–16. [CrossRef]
60. Jung, C.; Al Qassimi, N.; Arar, M.; Awad, J. The Analysis of Indoor Air Pollutants From Finishing Material of New Apartments at Business Bay, Dubai. *Front. Built Environ.* **2021**, *7*, 765689. [CrossRef]
61. Mentese, S.; Mirici, N.A.; Elbir, T.; Palaz, E.; Mumcuoğlu, D.T.; Cotuker, O.; Bakar, C.; Oymak, S.; Otkun, M.T. A Long-Term Multi-Parametric Monitoring Study: Indoor Air Quality (IAQ) and the Sources of the Pollutants, Prevalence of Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms, and Respiratory Health Indicators. *Atmos. Pollut. Res.* **2020**, *11*, 2270–2281. [CrossRef]
62. Hippelein, M. Background Concentrations of Individual and Total Volatile Organic Compounds in Residential Indoor Air of Schleswig-Holstein, Germany. *J. Environ. Monit.* **2004**, *6*, 745. [CrossRef]
63. Zhang, Z.-F.; Zhang, X.; Zhang, X.; Liu, L.-Y.; Li, Y.-F.; Sun, W. Indoor Occurrence and Health Risk of Formaldehyde, Toluene, Xylene and Total Volatile Organic Compounds Derived from an Extensive Monitoring Campaign in Harbin, a Megacity of China. *Chemosphere* **2020**, *250*, 126324. [CrossRef]
64. Embiale, A.; Chandravanshi, B.S.; Zewge, F.; Sahle-Demessie, E. Health Risk Assessment of Total Volatile Organic Compounds, Particulate Matters and Trace Elements in PM_{10} in Typical Living Rooms in Addis Ababa, Ethiopia. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **2022**, *102*, 6583–6601. [CrossRef]
65. Bari, M.A.; Kindzierski, W.B. Ambient Volatile Organic Compounds (VOCs) in Calgary, Alberta: Sources and Screening Health Risk Assessment. *Sci. Total Environ.* **2018**, *631–632*, 627–640. [CrossRef]
66. Zhang, H.; Li, H.; Zhang, Q.; Zhang, Y.; Zhang, W.; Wang, X.; Bi, F.; Chai, F.; Gao, J.; Meng, L.; et al. Atmospheric Volatile Organic Compounds in a Typical Urban Area of Beijing: Pollution Characterization, Health Risk Assessment and Source Apportionment. *Atmosphere* **2017**, *8*, 61. [CrossRef]
67. Kim, S.-J.; Kwon, H.-O.; Lee, M.-I.; Seo, Y.; Choi, S.-D. Spatial and Temporal Variations of Volatile Organic Compounds Using Passive Air Samplers in the Multi-Industrial City of Ulsan, Korea. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2019**, *26*, 5831–5841. [CrossRef] [PubMed]
68. U.S. Environmental Protection Agency. Initial List of Hazardous Air Pollutants with Modifications. Available online: https://www.epa.gov/haps/initial-list-hazardous-air-pollutants-modifications (accessed on 11 August 2025).
69. World Health Organization. Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–139. Available online: https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/ (accessed on 11 August 2025).
70. Official Journal of the European Union. *Directive (EU) 2024/2881 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2024 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe (Recast)*; Official Journal of the European Union: Luxembourg, 2024.
71. Lin, K.-H.; Tsai, J.-H.; Cheng, C.-C.; Chiang, H.-L. Emission of Volatile Organic Compounds from Consumer Products. *Aerosol Air Qual. Res.* **2022**, *22*, 220250. [CrossRef]
72. Steinemann, A. Ten Questions Concerning Air Fresheners and Indoor Built Environments. *Build. Environ.* **2017**, *111*, 279–284. [CrossRef]
73. Molhave, L. Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Health. *Indoor Air* **1991**, *1*, 357–376. [CrossRef]
74. Guiochon, G.; Guillemin, C.L. Chapter 15 Quantitative Analysis By Gas Chromatography Measurement of Peak Area and Dervation of Sample Composition. In *Laboratory Analyses and On-Line Process Control*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 1988; pp. 629–659.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.