



**INSTYTUT PODSTAW INŻYNIERII ŚRODOWISKA
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**
ul. M. Skłodowskiej-Curie 34, 41-819 Zabrze

tel. 32 271 64 81, 32 271 70 40, e-mail: ipis@ipispan.edu.pl
BIP: <http://bip.ipis.pan.pl> Internet: www.ipis.pan.pl NIP: 648-000-67-20

Laboratorium Badawcze IPIŚ PAN

Akredytowane analizy wód, ścieków, gleb i odpadów oraz pomiary stężeń gazowych i pyłowych zanieczyszczeń powietrza:

Badania chemiczne:

- gazów odlotowych
- gleby
- wody
- ścieków
- pyłów
- odpadów

Badania dotyczące inżynierii środowiska:

- QAL2 i AST automatycznych systemów monitoringu (AMS)
- urządzeń odpylających gazy odlotowe.

Badania właściwości fizycznych

- wody
- ścieków
- gazów odlotowych

Pobieranie próbek:

- gazów odlotowych
- wody powierzchniowej
- osadów
- ścieków
- gleby

Gospodarka Wodna i Ochrona Wód

Monitoring środowiska wodnego, rekultywacja środowiska wodnego, analizy laboratoryjne wód i ścieków.

**Magnetyzm Środowiska i
Rekultywacja**

Wykorzystanie magnetometrii do badań stanu i jakości gleb. Projekty rekultywacji technicznej i biologicznej terenów poprzemysłowych, analiza stanu środowiska glebowego. Badania wpływu zieleni na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń i kształtowanie klimatu.

**Zanieczyszczenia Obszarowe
Środowiska**

Ekspertyzy, oceny i projekty w zakresie gospodarki odpadami przemysłowymi, badania fizykochemiczne odpadów przemysłowych.

Ochrona Powietrza

Badania emisji i imisji. Ekspertyzy w zakresie oddziaływania zanieczyszczeń powietrza na środowisko. Weryfikacja wskaźników emisji.

Gospodarka Odpadami

Badania w zakresie usuwania zanieczyszczeń z wód i ścieków metodami sorpcji przy użyciu mineralnych i organogenicznych surowców naturalnych oraz odpadowych. Opracowanie nowych technik i technologii odzysku /unieszkodliwiania odpadów.

SPRAWOZDANIE

Wykonanie pomiarów ciągłych stężeń pyłu PM_{10}

Rozdzielnik:

Wykonano 3 egzemplarze dla:

Egzemplarz nr 1 – Gmina Skawina (wersja papierowa)

Egzemplarz nr 2 – Gmina Skawina (wersja elektroniczna)

Egzemplarz nr 3 – Biblioteka IPIŚ PAN

Umowa z dn. 09.01.2025 r., nr OP/37/2024 (nr wew. IPIŚ PAN: C2-501/2025/NP-I/A)

Zleceniodawca: Gmina Skawina
Rynek 1
32-050 Skawina

SPRAWOZDANIE

Wykonanie pomiarów ciągłych stężeń pyłu PM_{10}

Zespół autorski: dr Barbara Błaszczak
lic. Monika Błaszczak
dr inż. Barbara Mathews
dr inż. Patrycja Rogula-Kopiec
mgr Krzysztof Słaby
dr inż. Kamila Widziewicz-Rzońca
mgr inż. Magdalena Żurawka

Kierownik Zakładu: dr inż. Patrycja Rogula-Kopiec



Dyrektor Instytutu: dr hab. Piotr Oskar Czechowski, prof. Instytutu



Spis treści

Spis tabel	5
Spis rysunków.....	6
1. Cel i zakres badań	7
2. Metodyka badań	10
2.1. Pomiar stężeń pyłu PM ₁₀	10
2.2. Oznaczanie pierwiastków śladowych w pyle PM ₁₀	12
2.3. Oznaczanie WWA w pyle PM ₁₀	13
3. Wyniki badań.....	15
3.1. Stężenia pyłu PM ₁₀	15
3.2. Stężenia wybranych pierwiastków w pyle PM ₁₀	20
3.3. Stężenie wybranych WWA w pyle PM ₁₀	27
4. Analiza wyników	34
5. Podsumowanie i wnioski	39
6. Materiały źródłowe.....	41

Spis tabel

Tabela 1.	Wykaz próbek składanych pyłu PM ₁₀ z całego okresu pomiarowego (06.01–28.12.2025 r.).....	8
Tabela 2.	Parametry walidacyjne dla oznaczania pierwiastków śladowych metodą ICP-MS i ICP-OES	12
Tabela 3.	Parametry walidacyjne dla oznaczania WWA metodą GC-MS	14
Tabela 4.	Statystyki opisowe średnich dobowych stężeń pyłu PM ₁₀ [μg·m ⁻³] w całym okresie pomiarowym (01.01–31.12.2025 r.) oraz w podziale na sezony i miesiące – punkt pomiarowy w Skawinie	15
Tabela 5.	Stężenia wybranych pierwiastków [ng·m ⁻³] w tygodniowych próbkach pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.).....	21
Tabela 6.	Stężenia wybranych WWA [ng·m ⁻³] w tygodniowych próbkach pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.).....	27

Spis rysunków

Rysunek 1.	Lokalizacja stanowiska pomiarowego (N: 49.976647; E: 19.813679) oraz widok na aparaturę do poboru prób pyłu PM ₁₀	10
Rysunek 2.	Przebieg serii stężeń dobowych pyłu PM ₁₀ – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 01.01–31.12.2025 r.	16
Rysunek 3.	Rozkład częstości średnich dobowych stężeń pyłu PM ₁₀ – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 01.01–31.12.2025 r.....	16
Rysunek 4.	Zmienność średnich dobowych stężeń pyłu PM ₁₀ na tle zmienności podstawowych parametrów meteorologicznych – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 01.01–31.12.2025 r.	17
Rysunek 5.	Przebieg serii stężeń dobowych pyłu PM ₁₀ z zaznaczonymi kierunkami wiatru – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 01.01–30.06.2025 r.	18
Rysunek 6.	Przebieg serii stężeń dobowych pyłu PM ₁₀ z zaznaczonymi kierunkami wiatru – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 01.07–31.12.2025 r.	19
Rysunek 7.	Róża stężeń pyłu PM ₁₀ [μg·m ⁻³] za okres 01.01–31.12.2025 r. wraz z różą kierunków wiatru (<i>lewy górny róg</i>) na podkładzie mapowym Google.com z zaznaczeniem lokalizacji stanowiska pomiarowego	20
Rysunek 8.	Stężenie arsenu (As), kadmu (Cd), kobaltu (Co) i wanadu (V) [ng·m ⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)	23
Rysunek 9.	Stężenie chromu (Cr), miedzi (Cu) i niklu (Ni) [ng·m ⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)	24
Rysunek 10.	Stężenie cynku (Zn) i ołowiu (Pb) [ng·m ⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)	25
Rysunek 11.	Stężenie glinu (Al) [ng·m ⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)	26
Rysunek 12.	Stężenie wybranych WWA [ng·m ⁻³] (Naph, Acy, Ace, Fl, An, D(ah)A) w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)	30
Rysunek 13.	Stężenie wybranych WWA [ng·m ⁻³] (Phen, Fluo, B(k)F) w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)	31
Rysunek 14.	Stężenie wybranych WWA [ng·m ⁻³] (Pyr, B(a)A, Chry) w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)	32
Rysunek 15.	Stężenie wybranych WWA [ng·m ⁻³] (B(b)F, B(a)P, I(cd)P, B(ghi)P) w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)	33

1. Cel i zakres badań

Praca została zrealizowana zgodnie z zapisami umowy Nr OP/36/2023 z dnia 04.01.2024 r., zawartej pomiędzy Gminą Skawina a Instytutem Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrzu (IPIŚ PAN).

Celem pracy była ocena jakości powietrza na terenie miasta Skawina w zakresie stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ oraz stężenia zawartych w tym pyłe pierwiastków śladowych i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Podstawę oceny stanowiły pomiary ciągłe systematyczne stężenia pyłu PM₁₀, prowadzone w Skawinie od początku 2025 r. na jednym stanowisku stacjonarnym, którym towarzyszyła ciągła, automatyczna rejestracja podstawowych parametrów meteorologicznych. Próbkę pyłu, pobierane w trybie 24-godzinny, były następnie, jako tzw. próbki składane (7-dobowe), poddawane analizie chemicznej w celu określenia zawartości ww. składników.

W niniejszym raporcie przedstawiono ocenę wyników pomiarów przeprowadzonych w okresie od stycznia do grudnia 2025 r. w następującym zakresie:

- zmienność stężenia pyłu PM₁₀ (pomiary średniodobowe (24h), od 01.01.2025 r. do 31.12.2025 r. włącznie);
- zmienność podstawowych parametrów meteorologicznych (wyniki uśrednione w ciągu 1h i 24h, od 01.01.2025 r. do 31.12.2025 r. włącznie);
- zmienność stężeń 16 WWA: naftalenu (Na), acenaftyleny (Acy), acenaftenu (Ace), fluorenu (Fl), fenantreny (Phen), antracenu (An), fluorantenu (Fluo), pirenu (Pyr), benzo(a)antracenu (B(a)A), chryzenu (Chry), benzo(b)fluorantenu (B(b)F), benzo(k)fluorantenu (B(k)F), benzo(a)pirenu (B(a)P), indeno(1,2,3-cd)pirenu (I(cd)P), dibenzo(a,h)antracenu (D(ah)A), benzo(g,h,i)perylenu (B(ghi)P) w próbkach składanych tygodniowych (7 dni) pyłu PM₁₀ (od 06.01.2025 r. do 28.12.2025 r. włącznie);
- Zmienność stężeń pierwiastków śladowych – arsenu (As), kadmu (Cd), kobaltu (Co), chromu (Cr), miedzi (Cu), niklu (Ni), ołowiu (Pb), cynku (Zn) i wanadu (V) w próbkach składanych tygodniowych (7 dni) pyłu PM₁₀ oraz zmienność stężeń glinu (Al) w próbkach składanych tygodniowych (7 dni) pyłu PM₁₀ (od 06.01.2025 r. do 28.12.2025 r. włącznie).

Wykaz próbek składanych, przeznaczonych do analizy na zawartość metali i WWA, zamieszczono w Tabeli 1.

Tabela 1. Wykaz próbek składanych pyłu PM₁₀ z całego okresu pomiarowego (06.01–28.12.2025 r.)

Nr próbki składanej	Data	Sezon *
1	06–12.01.2025 r.	H
2	13–19.01.2025 r.	H
3	20–26.01.2025 r.	H
4	27.01–02.02.2025 r.	H
5	03–09.02.2025 r.	H
6	10–16.02.2025 r.	H
7	17–23.02.2025 r.	H
8	24.02–02.03.2025 r.	H
9	03–09.03.2025 r.	H
10	10–16.03.2025 r.	H
11	17–23.03.2025 r.	H
12	24–30.03.2025 r.	H
13	31.03–06.04.2025 r.	NH
14	07–13.04.2025 r.	NH
15	14–20.04.2025 r.	NH
16 ^{b)}	21–27.04.2025 r.	NH
17 ^{c)}	28.04–04.05.2025 r.	NH
18 ^{c)}	05–11.05.2025 r.	NH
19 ^{c)}	12–18.05.2025 r.	NH
20 ^{b)}	19–25.05.2025 r.	NH
21	26.05–01.06.2025 r.	NH
22	02–08.06.2025 r.	NH
23	09–15.06.2025 r.	NH
24	16–22.06.2025 r.	NH
25	23–29.06.2025 r.	NH
26	30.06–06.07.2025 r.	NH
27	07–13.07.2025 r.	NH
28	14–20.07.2025 r.	NH
29	21–27.07.2025 r.	NH
30	28.07–03.08.2025 r.	NH
31	04–10.08.2025 r.	NH
32	11–17.08.2025 r.	NH
33	18–24.08.2025 r.	NH
34	25–31.08.2025 r.	NH
35	01–07.09.2025 r.	NH
36	08–14.09.2025 r.	NH
37	15–21.09.2025 r.	NH
38	22–28.09.2025 r.	NH
39	29.09–05.10.2025 r.	H

Nr próbki składanej	Data	Sezon *
40	06–12.10.2025 r.	H
41	13–19.10.2025 r.	H
42	20–26.10.2025 r.	H
43	27.10–02.11.2025 r.	H
44	03–09.11.2025 r.	H
45 ^{c)}	10–16.11.2025 r.	H
46 ^{b)}	17–23.11.2025 r.	H
47	24–30.11.2025 r.	H
48	01–07.12.2025 r.	H
49	08–14.12.2025 r.	H
50	15–21.12.2025 r.	H
51	22–28.12.2025 r.	H

[Źródło: opracowanie własne]

^{a)} Oznaczenia: H – sezon grzewczy; NH – sezon niegrzewczy

^{b)} Próbką łączona niekompletna (<7 próbek 24h wskutek awarii pobornika, przerwy w dostawie prądu itp.)

^{c)} Brak próbki łączonej spowodowany awarią aparatury do pobierania próbek pyłu PM₁₀

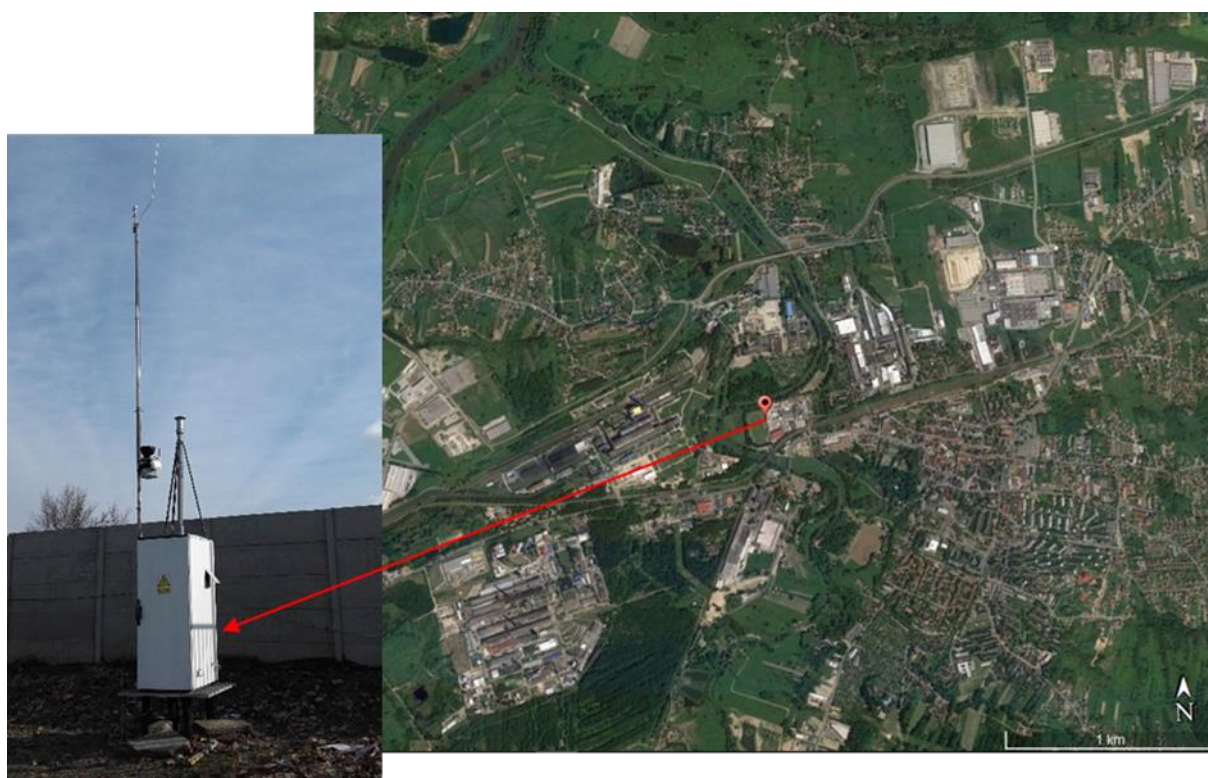
Opis zastosowanych metod pomiarowych i analitycznych przedstawiono w rozdziale 2, natomiast wyniki pomiarów – w postaci zestawień tabelarycznych wraz z interpretacją graficzną – zawarto w rozdziale 3.

2. Metodyka badań

2.1. Pomiar stężeń pyłu PM₁₀

Pomiar stężenia pyłu PM₁₀ wykonywano metodą grawimetryczną, zgodnie z normą PN-EN 12341:2024-01: *Powietrze atmosferyczne – Standardowa grawimetryczna metoda pomiarowa oznaczania stężeń masowych frakcji PM₁₀ lub PM_{2,5} pyłu zawieszonego*. Badania prowadzono w okresie 01.01–31.12.2025 r. w punkcie pomiarowym zlokalizowanym na terenie Stadionu Miejskiego w Skawinie (ul. A. Mickiewicza 27, 32-050 Skawina) (Rysunek 1). Do pobierania dobowych próbek PM₁₀ wykorzystano referencyjny nisko-przepływowy pobornik μ PNS LVS16 produkcji MCZ, spełniający wymogi ww. normy, o przepływie 2.3 m³·h⁻¹, wyposażony w chłodzony przedział odbiorczy na filtry po ekspozycji.

Pył gromadzono na filtrach z włókna kwarcowego (Whatman QMC, średnica: 47 mm). Do uzyskania frakcji pyłu PM₁₀ wykorzystywano głowicę separacyjną, której konstrukcja została opisana we wspomnianej normie.



Rysunek 1. Lokalizacja stanowiska pomiarowego (N: 49.976647; E: 19.813679) oraz widok na aparaturę do poboru próbek pyłu PM₁₀

Przed ważeniem filtry nieobciążone (czyste, przed ekspozycją) były kondycjonowane w pokoju wagowym, w kabinie laminarnej, w stałych warunkach temperatury (19-21°C) i wilgotności (45-50%), przez minimum 48 godzin. Każdy filtr ważono dwukrotnie, na mikrowadze Mettler Toledo AT20 (zakres: 0.001 mg – 0.1 mg), zgodnie z „Instrukcją obsługi wagi”. Zważone filtry nieobciążone umieszczano w oprawkach i wkładano do specjalnych kaset transportowo-pomiarowych, w celu zabezpieczenia ich w trakcie transportu przed ewentualnym zanieczyszczeniem. Filtry zapakowane w ten sposób przewożono na stanowisko pomiarowe i umieszczano w poborniku pyłu (2-tygodniowy cykl pomiarów).

Po 14-dniowym czasie ekspozycji, filtry w kasetach i izotermicznym kontenerze transportowano do siedziby IPIŚ PAN w Zabrzu. Osoba przyjmująca filtry wyjmowała je z kaset pomiarowych i sprawdzała czy nie uległy uszkodzeniu. Następnie filtry były przekazywane do laboratorium, gdzie wykonywane były dalsze czynności analityczne, zgodnie z procedurą wewnętrzną Zakładu NP-I IPIŚ PAN: *PO2-NP-I – postępowanie z materiałem do badań – analiza grawimetryczna*.

Przed pomiarem grawimetrycznym, filtry obciążone (po ekspozycji) były kondycjonowane w pokoju wagowym, w kabinie laminarnej, przez minimum 48 godzin, w stałych warunkach temperatury (19-21°C) i wilgotności (45-50%). Każdy filtr ważono dwukrotnie, na mikrowadze Mettler Toledo AT20 (zakres: 0.001 mg – 0.1 mg), zgodnie z „Instrukcją obsługi wagi”. Stężenie pyłu (C) obliczano na podstawie równania:

$$C = (m_k - m_p) / V$$

gdzie: m_k – średnia masa (z 2 kolejnych ważeń) filtra po ekspozycji [g]; m_p – średnia masa (z 2 kolejnych ważeń) filtra przed ekspozycją [g], V – objętość przepływającego powietrza [m³].

Po zważeniu filtry do analiz były konfekcjonowane (cięte wykrojnikiem ceramicznym), a następnie umieszczane w oznaczonych szalkach i przechowywane w chłodni do czasu analizy.

Punkt pomiarowy wyposażony był dodatkowo w stację meteorologiczną DAVIS Vantage Pro2, która umożliwiła równoległy pomiar podstawowych parametrów meteorologicznych (prędkość i kierunek wiatru, temperatura powietrza, wilgotność względna, ciśnienie atmosferyczne, wysokość opadu atmosferycznego). Dane o kierunku i prędkości wiatru, uzyskane z okresu 01.01–01.01.2026 r., posłużyły do sporządzenia róży kierunków wiatru i róży stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀.

2.2. Oznaczanie pierwiastków śladowych w pyłe PM₁₀

Oznaczenie zawartości pierwiastków śladowych w PM₁₀ poprzedza mineralizacja filtrów z pyłem. W tym celu filtry cięte są na połówki za pomocą wykrojnika ceramicznego. Połówki filtrów z okresu tygodnia (7 połówek) przenosi się następnie do naczyń teflonowych i mineralizuje w mieszaninie kwasu azotowego oraz nadtlenu wodoru. Mineralizacja przeprowadzana jest przy użyciu mineralizatora mikrofalowego MULTIWAVE 3000 firmy Anton Paar. Łączny czas mineralizacji wynosi 60 minut.

Zawartość 9 pierwiastków śladowych – arsenu (As), kadmu (Cd), ołowiu (Pb), niklu (Ni), kobaltu (Co), chromu (Cr), miedzi (Cu), cynku (Zn) i wanadu (V) – oznaczona jest metodą spektrometrii mas sprzężonej z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS – z ang. *inductively coupled plasma – mass spectrometry*). Oznaczenie przeprowadza się zgodnie z zakresem akredytacji Laboratorium IPIŚ PAN – PB18: Zastosowanie spektrometrii mas z plazmą wzbudzoną indukcyjnie ICP-MS, opartą na normach: PN-EN ISO 17294-1 i PN-EN ISO 17294-2. Do tego celu wykorzystywany jest spektrometr ICP-MS Elan 6100 DRC-e Perkin Elmer. Zawartość glinu (Al) oznaczana jest metodą atomowej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukowanej (ICP-OES – z ang. *inductively coupled plasma optical emission spectrometry*), na spektrometrze ICP-OES firmy Perkin Elmer AVIO 200.

Niezależnie od metody, zarówno w trakcie analiz, jak i podczas walidacji wyników, wykorzystywane są certyfikowane wzorce (Fluka Analytical, Merck – ICP-MS; LGC, ULTRA Scientific – ICP-OES) i gazy, odczynniki o wysokiej czystości (*suprapur*) oraz certyfikowane materiały referencyjne (NIST SRM 1648a). Wartości parametrów walidacyjnych określonych dla poszczególnych pierwiastków zestawiono w poniższej tabeli (Tabela 2).

Tabela 2. Parametry walidacyjne dla oznaczania pierwiastków śladowych metodą ICP-MS i ICP-OES

Pierwiastek	Granica wykrywalności (LOD) [$\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$]	Granica oznaczalności (LOQ) [$\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$]	Niepewność rozszerzona [%]
Arsen (As)	0.000364	0.00099	14.7
Kadm (Cd)	0.000512	0.001393	8
Kobalt (Co)	0.000071	0.000193	27
Chrom (Cr)	0.00094	0.002559	10.6
Miedź (Cu)	0.0122	0.033237	9.5
Nikiel (Ni)	0.00153	0.004188	18.2
Cynk (Zn)	0.00833	0.022675	14.8

Pierwiastek	Granica wykrywalności (LOD) [$\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$]	Granica oznaczalności (LOQ) [$\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$]	Niepewność rozszerzona [%]
Glin (Al)	0.0422	0.1266	18.0
Ołów (Pb)	0.003837	0.010442	17.7
Wanad (V)	0.000396	0.001078	9.9

[Źródło: opracowanie własne]

W/w niepewności spełniają wymogi Rozporządzenia Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. z 2020 r. poz. 2279, zm. Dz.U. z 2022 r. poz. 2131).

2.3. Oznaczanie WWA w pyle PM₁₀

Do oznaczania wybranych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) – naftalenu (Naph), acenaftylenu (Acy), acenaftenu (Ace), fluorenu (Fl), fenantrenu (Phen), antracenu (An), fluorantenu (Fluo), pirenu (Pyr), benzo(a)antracenu (B(a)A), chryzenu (Chry), benzo(b)fluorantenu (B(b)F), benzo(k)fluorantenu (B(k)F), benzo(a)pirenu (B(a)P), indeno(1,2,3-cd)pirenu (I(cd)P), dibenzo(a,h)antracenu (D(ah)A), benzo(g,h,i)perylenu (B(ghi)P) – w próbkach pyłu PM₁₀ wykorzystano metodę chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas (GC-MS – z ang. *gas chromatography – mass spectrometry*).

Oznaczanie analitów przeprowadzono zgodnie z zakresem akredytacji Laboratorium Badawczego, wg procedury PB-22 wyd.1 z dn. 02.08.2021. Analizie podlegał ekstrakt z próbek składanych – tygodniowych; w tym celu filtry cięto na ćwiartki za pomocą wykrojnika ceramicznego. Próbkę filtra z pyłem (7 ćwiartek) ekstrahowano dwustopniowo w łaźni ultradźwiękowej ze stałym przepływem wody chłodzącej przez 30 minut w dichlorometanie. Po odparowaniu rozpuszczalnika, ekstrakt podawano na kolumnę chromatograficzną. Do oznaczeń wykorzystano chromatograf gazowy z detektorem masowym Thermo Scientific TRANCE 1300 ISQ 7000 i kolumną kapilarną 5MS 30 m (średnica 0.25 mm, grubość filmu 0.25 μm).

Standardowo przeprowadzano interpretację wyników analizy w oparciu o wyznaczone wcześniej granice wykrywalności i oznaczalności. Oznaczenia WWA prowadzono w reżimie kontroli jakości wyników:

- z każdą partią próbek rzeczywistych analizowano próbki ślepe w celu sprawdzenia śladów obecności oznaczanych substancji;
- do analizowanych roztworów dodawano wzorzec wewnętrzny.

Parametry walidacyjne stosowanej metody oznaczania WWA techniką GC-MS wraz z rozszerzoną niepewnością metody przedstawiono w tabeli poniżej (Tabela 3).

Tabela 3. Parametry walidacyjne dla oznaczania WWA metodą GC-MS

Oznaczany związek	Skrót	Granica wykrywalności (LOD) [$\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$]	Granica oznaczalności (LOQ) [$\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$]	Niepewność rozszerzona [%]
Naftalen	Naph	0.003	0.010	20.4
Acenaftylen	Acy	0.008	0.023	24.9
Acenaften	Ace	0.011	0.032	18.2
Fluoren	Fl	0.008	0.023	23.5
Fenantren	Phen	0.009	0.027	22.5
Antracen	An	0.010	0.031	22.2
Fluoranten	Fluo	0.010	0.029	20.0
Piren	Pyr	0.009	0.027	22.3
Benzo(a)antracen	B(a)A	0.009	0.027	22.7
Chryzen	Chry	0.009	0.026	19.0
Benzo(b)fluoranten	B(b)F	0.008	0.024	32.1
Benzo(k)fluoranten	B(k)F	0.010	0.030	25.0
Benzo(a)piren	B(a)P	0.007	0.020	23.9
Indeno(1,2,3-cd)piren	I(cd)P	0.009	0.028	20.1
Dibenzo(a,h)antracen	D(ah)A	0.009	0.027	19.7
Benzo(g,h,i)perylene	B(ghi)P	0.009	0.026	23.3

[Źródło: opracowanie własne]

W/w niepewności spełniają wymogi Rozporządzenia Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. z 2020 r. poz. 2279, zm. Dz.U. z 2022 r. poz. 2131).

3. Wyniki badań

3.1. Stężenia pyłu PM₁₀

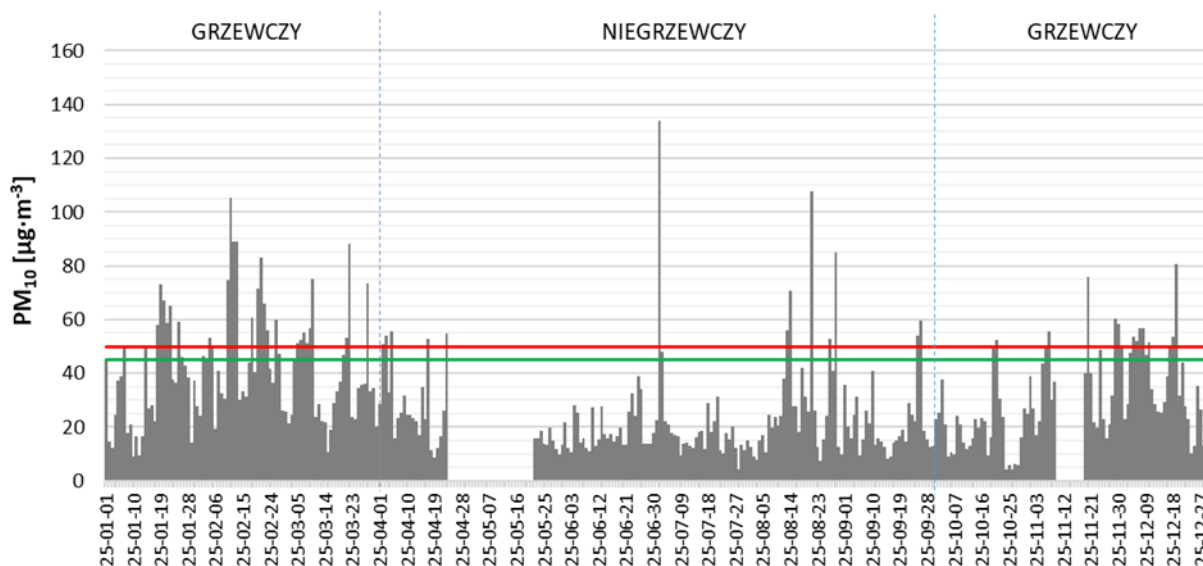
W Tabeli 4 przedstawiono statystyki podstawowe dla średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀, mierzonych w punkcie pomiarowym na terenie miasta Skawina w okresie 01.01–31.12.2025 r. Graficzną prezentację wyników pomiarów ciągłych stężeń PM₁₀ zilustrowano na Rysunkach 2-6. Na podstawie zebranych i wyselekcjonowanych danych o kierunku wiatru, dla okresu objętego badaniami, sporządzono różę stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ (Rysunek 7).

Tabela 4. Statystyki opisowe średnich dobowych stężeń pyłu PM₁₀ [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] w całym okresie pomiarowym (01.01–31.12.2025 r.) oraz w podziale na sezony i miesiące – punkt pomiarowy w Skawinie

Wyszczególnienie	Średnia	Odch.	Min	Max	Mediana	Ilość przekroczeń wartości dopuszczalnej ^{a)}
Cały okres	29.87	19.45	4.10 (2025-10-26)	133.76 (2025-07-02)	24.15	54
Sezon grzewczy^{b)}	35.73	19.51	4.10 (2025-10-26)	105.37 (2025-02-11)	31.85	41
Sezon niegrzewczy^{c)}	23.33	17.23	4.46 (2025-07-28)	133.76 (2025-07-02)	17.63	13
Styczeń 2025 r.	35.59	18.39	8.96 (2025-01-10)	73.07 (2025-01-19)	37.31	7
Luty 2025 r.	50.97	22.06	19.36 (2025-02-06)	105.37 (2025-02-11)	45.68	11
Marzec 2025 r.	38.27	18.39	10.49 (2025-03-15)	88.26 (2025-03-22)	34.41	9
Kwiecień 2025 r.	29.18	14.75	8.82 (2025-04-19)	55.71 (2025-04-05)	24.61	5
Maj 2025 r.	14.79	2.93	10.02 (2025-05-30)	19.91 (2025-05-27)	14.52	0
Czerwiec 2025 r.	19.28	7.52	10.64 (2025-06-03)	38.82 (2025-06-25)	16.23	0
Lipiec 2025 r.	21.27	22.30	4.46 (2025-07-28)	133.76 (2025-07-02)	16.71	1
Sierpień 2025 r.	29.57	23.40	7.29 (2025-08-24)	107.50 (2025-08-21)	24.13	5
Wrzesień 2025 r.	21.44	12.35	8.27 (2025-09-15)	59.70 (2025-09-26)	16.25	2
Październik 2025 r.	19.45	11.93	4.10 (2025-10-26)	52.45 (2025-10-21)	19.64	2
Listopad 2025 r.	35.91	14.84	15.72 (2025-11-26)	60.35 (2025-11-29)	34.29	1
Grudzień 2025 r.	35.70	16.76	10.07 (2025-12-24)	80.69 (2025-12-19)	31.85	8

[Źródło: opracowanie własne]

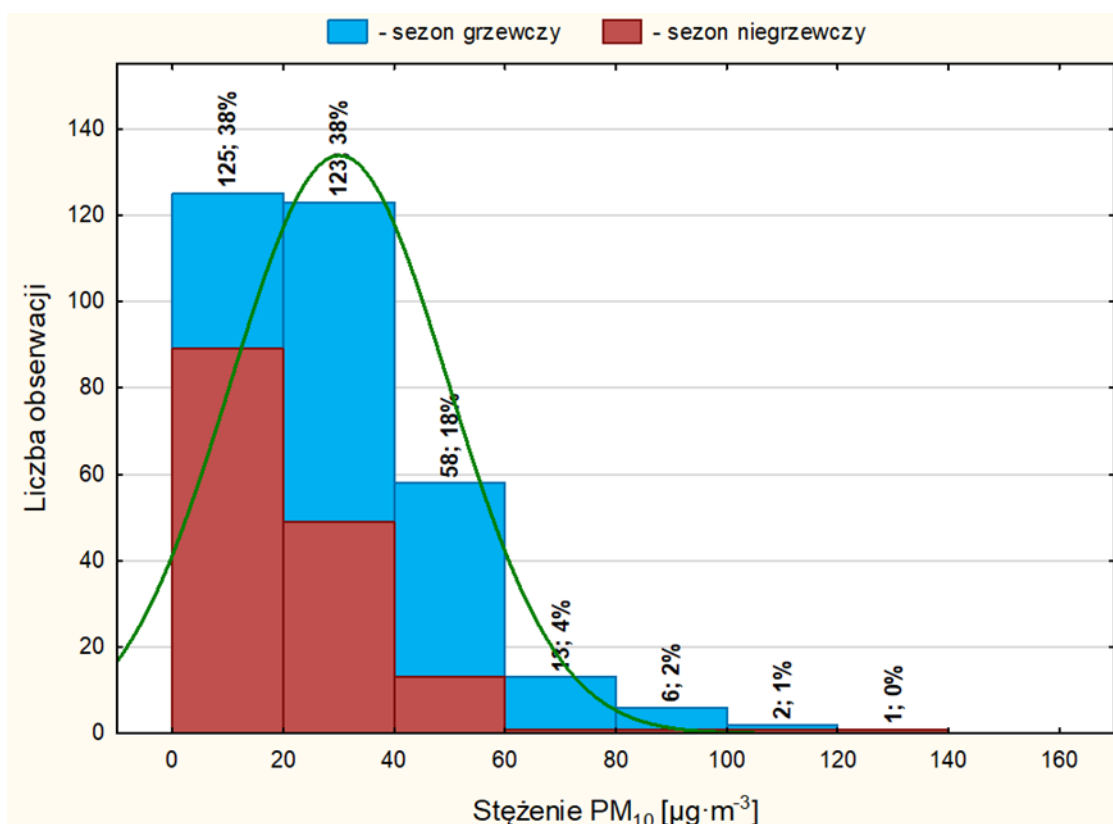
a) Wartość dopuszczalna dla średniego dobowego stężenia PM₁₀ wynosi 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i nie może być przekraczana częściej niż 35 razy w roku kalendarzowym (na podstawie RMŚ z dn. 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2021 r. poz. 845 t.j.));^{b)} Sezon grzewczy obejmuje okres 01.01–31.03.2025 r. i 01.10–30.11.2025 r.;^{c)} Sezon niegrzewczy obejmuje okres 01.04–30.09.2025 r.



Rysunek 2. Przebieg serii stężeń dobowych pyłu PM₁₀ – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 01.01–31.12.2025 r.

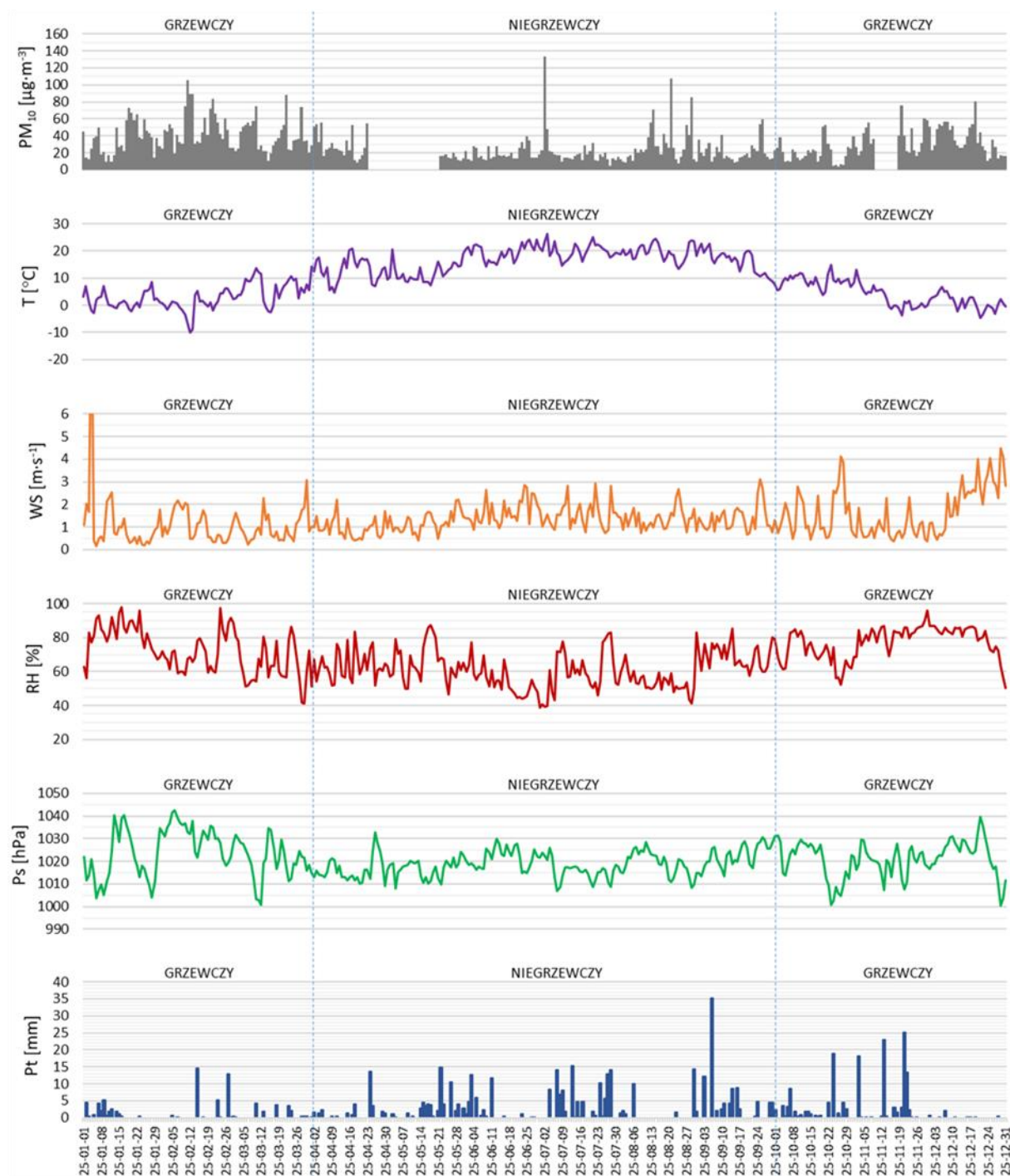
[Źródło: opracowanie własne]

(linią czerwoną zaznaczono wartość dopuszczalną dla średniego dobowego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ (na podstawie RMS z dn. 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. z 2021 r. poz. 845 t.j.); linia zieloną zaznaczono wartość dopuszczalną dla średniego dobowego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wg nowej Dyrektywy Jakości Powietrza 2024/2881 (Dz.U. L, 2024/2881, 20.11.2024), do osiągnięcia do 2030 roku.



Rysunek 3. Rozkład częstości średnich dobowych stężeń pyłu PM₁₀ – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 01.01–31.12.2025 r.

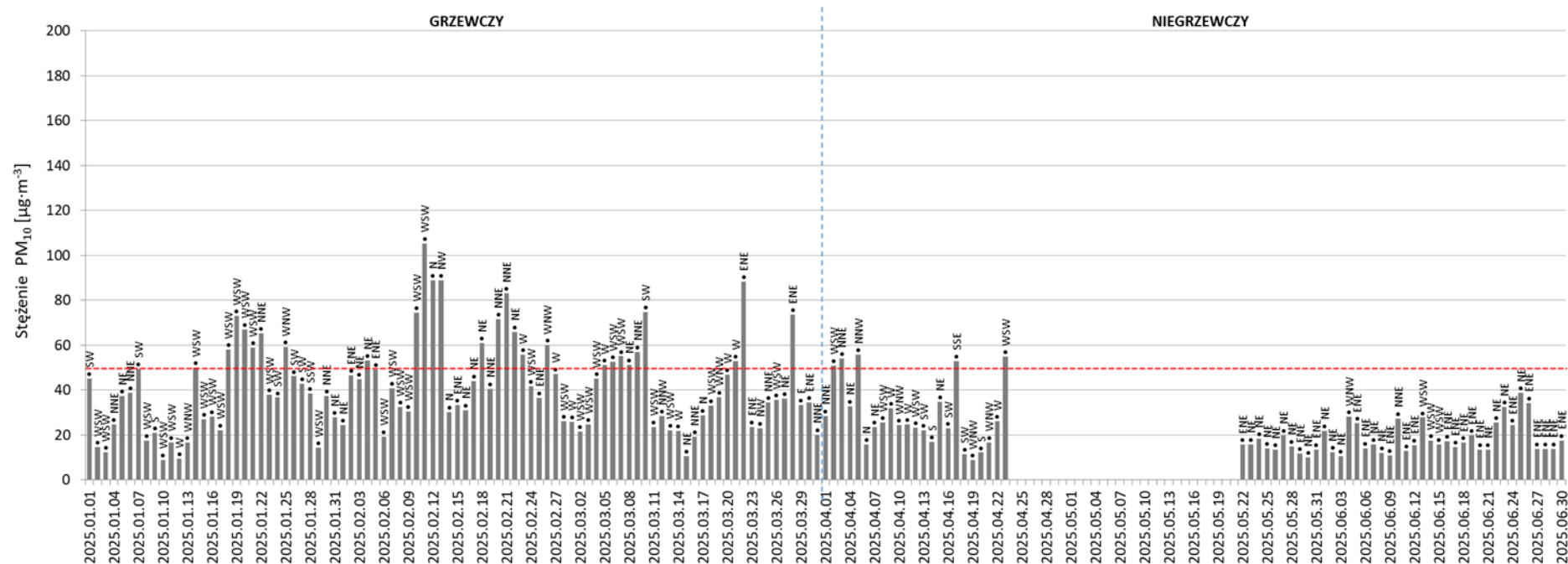
[Źródło: opracowanie własne]



Rysunek 4. Zmienność średnich dobowych stężeń pyłu PM₁₀ na tle zmienności podstawowych parametrów meteorologicznych – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 01.01–31.12.2025 r.

[Źródło: opracowanie własne]

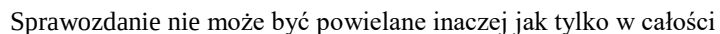
(Oznaczenia: T – temperatura powietrza; WS – prędkość wiatru; RH – wilgotność względna; Ps – ciśnienie atmosferyczne; Pt – opad atmosferyczny)



Rysunek 5. Przebieg serii stężeń dobowych pyłu PM₁₀ z zaznaczonymi kierunkami wiatru – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 01.01–30.06.2025 r.

[Źródło: opracowanie własne]

(linią czerwoną zaznaczono wartość dopuszczalną dla średniego dobowego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ (na podstawie RMŚ z dn. 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2021 r. poz. 845 t.j.))



19

(linią czerwoną zaznaczono wartość dopuszczalną dla średniego dobowego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ (na podstawie RMS z dn. 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2021 r. poz. 845 t.j.))



Rysunek 7. Róża stężeń pyłu PM₁₀ [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] za okres 01.01–31.12.2025 r. wraz z różą kierunków wiatru (lewy górny róg) na podkładzie mapowym Google.com z zaznaczeniem lokalizacji stanowiska pomiarowego

[Źródło: opracowanie własne; Google Maps]

3.2. Stężenia wybranych pierwiastków w pyle PM₁₀

W Tabeli 5 zestawiono średnie tygodniowe stężenia wybranych metali (Cd, Co, Cu, Ni, Zn, Al, Pb, V) i metaloidów (As) w próbkach pyłu PM₁₀, pobieranych w Skawinie od 01.01.2025 r. do 28.12.2025 r. Wyliczenia stężeń oznaczanych pierwiastków, ich sumy oraz statystyki opisowe dla poszczególnych sezonów zostały wykonane w arkuszu Excel i zestawione w tabeli z dokładnością do $10^{-2} \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Graficzną prezentację uzyskanych wyników pokazano na Rysunkach 8-11.

Tabela 5. Stężenia wybranych pierwiastków [ng·m⁻³] w tygodniowych próbkach pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)

Nr próbki łączonej	Stężenie pierwiastków [ng·m ⁻³] w poszczególnych okresach pomiarowych											Udział w PM ₁₀ [%]
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Al	Pb	V	Suma	
1	1.16	0.36	0.69	9.68	12.66	10.64	36.62	620.07	12.45	0.53	704.88	3.04
2	2.41	0.69	0.78	11.40	13.58	12.51	89.08	566.96	31.13	0.55	729.09	1.82
3	2.60	0.92	0.72	14.02	19.15	11.99	97.91	613.61	37.42	0.61	798.94	1.51
4	1.53	0.58	1.42	13.83	17.79	11.19	66.75	721.41	20.51	0.68	855.70	2.58
5	2.19	0.95	1.60	21.93	14.68	13.18	93.69	791.69	32.56	0.95	973.41	2.52
6	2.13	0.75	0.94	20.83	18.24	12.80	114.18	1279.44	27.70	1.90	1478.91	2.29
7	2.35	0.86	0.78	17.39	18.05	11.67	99.65	819.41	28.80	1.21	1000.17	1.66
8	1.77	0.48	0.46	11.76	12.20	10.94	60.28	579.63	19.09	0.56	697.18	1.88
9	1.44	0.74	1.81	16.03	16.88	11.75	74.70	949.81	22.45	1.24	1096.86	2.28
10	0.68	0.42	1.06	15.71	11.75	12.40	49.24	923.22	12.27	1.35	1028.11	3.59
11	1.30	0.72	1.28	20.03	14.90	12.25	76.41	999.44	21.97	1.33	1149.62	2.59
12	1.25	0.47	0.75	15.70	12.38	12.73	56.46	914.56	16.62	1.36	1032.27	2.67
13	0.94	0.42	1.10	13.77	11.42	12.81	55.52	1037.70	16.88	1.70	1152.25	3.13
14	0.87	0.37	0.69	13.64	8.73	12.12	42.83	872.99	14.42	1.23	967.88	3.87
15	0.41	0.21	0.76	15.19	10.36	11.71	31.68	921.23	6.10	1.09	998.74	4.36
16	1.15	0.34	0.55	19.29	15.98	9.89	31.55	1036.29	7.86	0.84	1123.73	3.45
17*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1.05	0.68	0.40	3.91	16.52	13.26	52.84	637.29	14.47	0.12	740.54	4.62
21	0.58	0.39	1.25	3.66	13.87	20.01	36.05	660.93	8.38	0.80	745.94	4.94
22	0.35	0.29	4.76	8.13	10.32	31.43	22.14	846.67	4.31	0.63	929.03	5.50
23	0.34	0.30	0.43	7.73	10.09	10.76	23.60	666.75	6.25	0.60	726.85	3.98
24	0.94	0.57	0.32	6.38	11.30	11.71	27.77	697.12	8.36	0.57	765.04	4.42
25	0.97	0.26	0.58	8.08	9.66	11.34	24.66	1455.69	7.49	2.25	1520.99	6.21
26	0.74	0.33	1.40	9.05	15.04	12.61	51.73	2066.59	9.82	3.24	2170.54	5.38
27	0.52	0.19	0.22	21.15	8.08	9.85	21.67	543.81	5.23	0.45	611.17	4.41
28	1.17	0.23	0.38	5.05	10.08	11.69	34.46	731.00	7.49	0.81	802.36	4.19
29	0.72	0.31	0.26	4.21	8.90	9.30	28.56	699.78	5.46	0.56	758.06	4.46
30	0.75	0.22	0.27	4.45	7.99	9.39	14.81	594.84	4.65	0.35	637.73	6.00
31	0.62	0.40	0.24	4.34	9.33	9.71	24.30	735.34	5.98	0.54	790.80	4.21
32	0.65	0.41	0.59	9.47	14.14	11.77	49.37	1264.76	9.85	1.50	1362.50	3.64
33	0.58	0.34	0.61	6.41	12.07	10.34	36.08	1349.29	7.49	1.62	1424.83	3.95
34	0.46	0.45	0.69	5.34	12.81	7.82	42.64	2005.94	8.78	1.23	2086.16	6.07
35	0.40	0.41	0.34	4.86	8.90	7.66	30.12	1624.36	7.14	0.59	1684.78	7.74
36	0.43	0.29	0.35	7.14	26.60	9.17	27.89	1379.86	5.86	0.73	1458.33	7.05
37	0.37	0.29	0.42	24.22	10.96	16.33	28.31	1271.14	3.19	0.44	1355.68	9.78
38	1.14	0.35	0.55	10.45	12.84	10.10	62.51	1593.43	8.14	1.34	1700.85	5.33
39	0.68	0.31	0.46	15.78	13.32	13.11	43.00	1433.55	8.03	0.82	1529.07	7.55
40	2.36	0.31	0.31	6.85	10.25	10.05	28.05	1304.69	6.95	0.61	1370.43	9.17
41	1.40	0.43	0.36	7.40	14.22	12.42	43.90	1026.16	9.66	0.54	1116.50	6.03
42	2.65	0.48	0.59	12.60	17.66	12.08	42.49	1611.44	8.45	0.72	1709.17	6.96
43	1.08	0.52	0.46	9.94	16.16	11.44	52.03	1441.28	8.04	0.59	1541.54	7.38
44	1.28	0.77	0.51	13.88	20.58	12.98	63.88	1374.45	13.45	0.64	1502.42	4.13
45*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	1.00	0.84	0.49	11.70	20.76	12.80	72.49	603.13	8.45	0.57	732.23	1.86

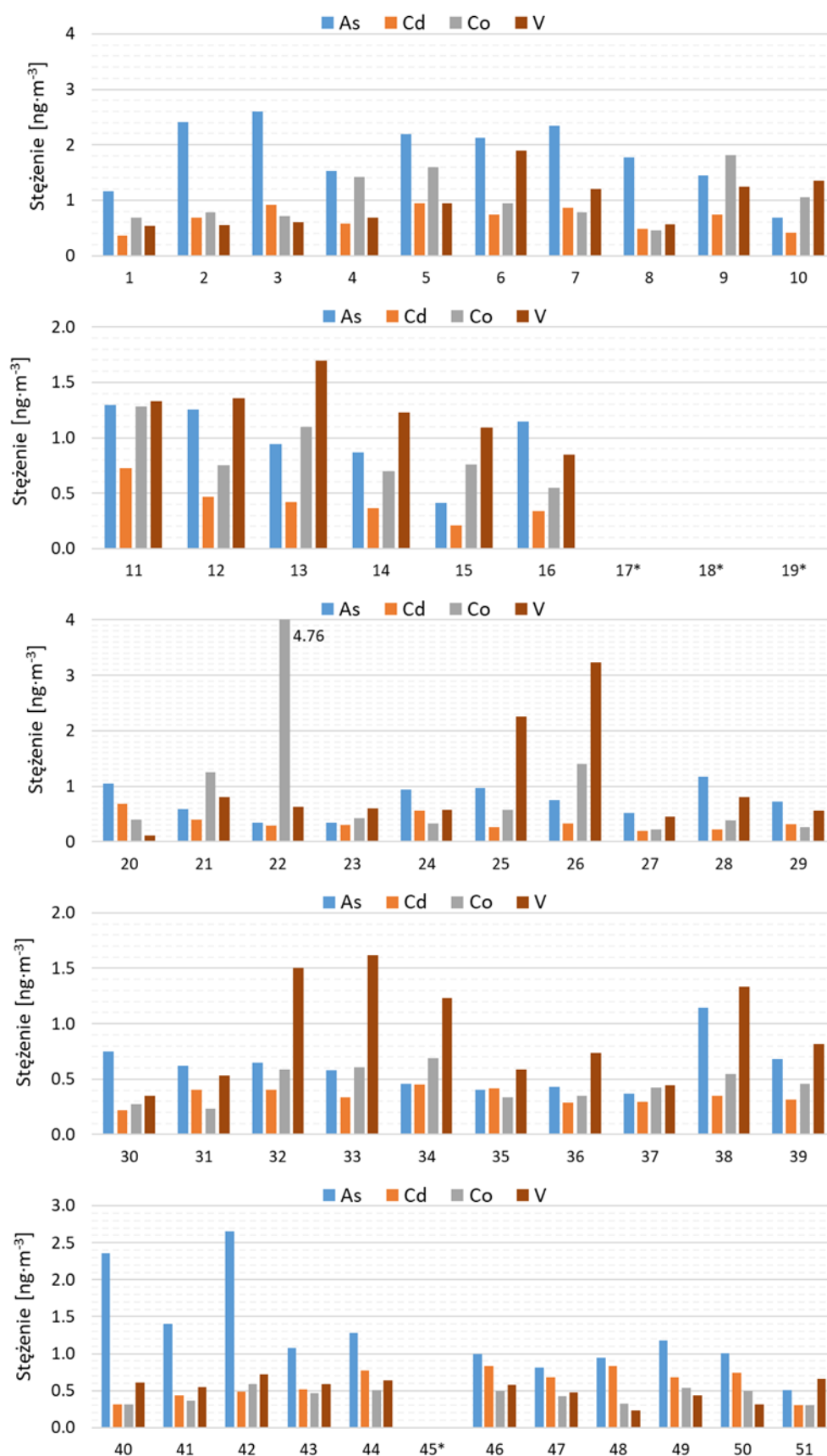
Nr próbki łączonej	Stężenie pierwiastków [ng·m ⁻³] w poszczególnych okresach pomiarowych											Udział w PM ₁₀ [%]
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Al	Pb	V	Suma	
47	0.82	0.68	0.42	10.37	15.65	12.16	71.47	504.57	9.10	0.47	625.70	1.69
48	1.03	0.91	0.35	10.62	16.67	12.29	64.06	538.84	11.41	0.26	656.43	1.21
49	1.18	0.68	0.54	10.41	16.69	11.78	66.35	692.27	9.51	0.43	809.85	1.60
50	1.00	0.74	0.50	9.07	21.20	10.02	78.73	591.20	12.32	0.32	725.11	1.50
51	0.51	0.31	0.30	8.21	9.11	9.75	34.43	673.45	7.06	0.66	743.79	2.95
STATYSTYKI OPISOWE												
Cały okres (06.01–28.12.2025 r.)												
Średnia	1.10	0.49	0.74	11.28	13.81	12.01	50.45	983.40	12.30	0.90	1086.48	4.22
Odchylenie	0.64	0.21	0.71	5.35	4.05	3.51	23.84	404.44	8.16	0.58	401.49	2.10
Minimum	0.34	0.19	0.22	3.66	7.99	7.66	14.81	491.67	3.19	0.12	598.97	1.34
Maksimum	2.65	0.95	4.76	24.22	26.60	31.43	114.18	2066.59	37.42	3.24	2170.54	9.78
Mediana	0.97	0.42	0.55	10.37	13.32	11.71	43.90	872.99	8.78	0.66	998.74	3.98
Sezon grzewczy (06.01–30.03.2025 r.; 29.09–28.12.2025 r.)												
Średnia	1.49	0.62	0.73	13.09	15.55	11.83	65.43	896.96	16.43	0.79	1022.91	3.40
Odchylenie	0.66	0.20	0.42	4.18	3.29	1.00	22.57	340.75	9.27	0.41	335.82	2.26
Minimum	0.51	0.31	0.30	6.85	9.11	9.75	28.05	491.67	6.95	0.24	598.97	1.34
Maksimum	2.65	0.95	1.81	21.93	21.20	13.18	114.18	1611.44	37.42	1.90	1709.17	9.17
Mediana	1.29	0.68	0.56	12.18	15.43	12.03	65.11	805.55	12.39	0.62	986.79	2.55
Sezon niegrzewczy (31.03–28.09.2025 r.)												
Średnia	0.70	0.35	0.75	9.39	12.00	12.21	34.83	1073.60	7.98	1.01	1152.82	5.07
Odchylenie	0.28	0.11	0.93	5.85	4.03	4.97	12.51	451.62	3.36	0.71	458.40	1.55
Minimum	0.34	0.19	0.22	3.66	7.99	7.66	14.81	543.81	3.19	0.12	611.17	3.13
Maksimum	1.17	0.68	4.76	24.22	26.60	31.43	62.51	2066.59	16.88	3.24	2170.54	9.78
Mediana	0.65	0.34	0.55	7.73	10.96	11.34	31.55	921.23	7.49	0.80	998.74	4.46

[Źródło: opracowanie własne]

Kolorem zielonym zaznaczono dotrzymanie standardów jakości powietrza w odniesieniu do pierwiastków, dla których ustanowiono wartości docelowe (As (6 ng·m⁻³), Cd (5 ng·m⁻³), Ni (20 ng·m⁻³)) lub dopuszczalne (Pb (500 ng·m⁻³)) (na podstawie RMŚ z dn. 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2021 r. poz. 845 t.j.))

Kursywą oznaczono wyniki poniżej granicy wykrywalności – w przypadku gdy zawartość danego pierwiastka była niższa niż granica wykrywalności, otrzymany wynik zastępowano ½ wartości tej granicy (zgodnie z zasadami obowiązującymi w sieci Państwowego Monitoringu Środowiska).

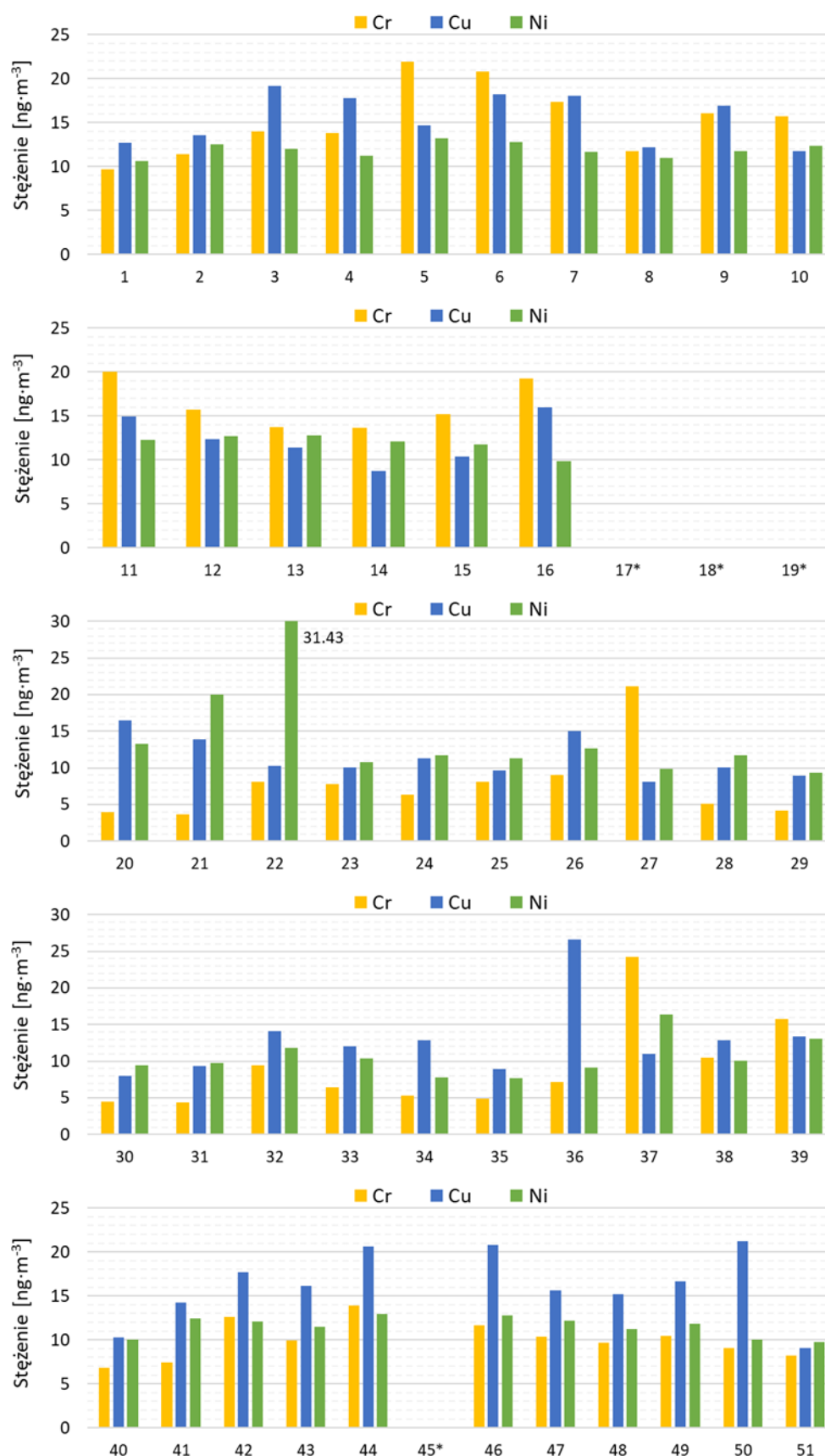
* Brak próbki łączonej spowodowany awarią aparatury do pobierania próbek pyłu PM₁₀.



Rysunek 8. Stężenie arsenu (As), kadmu (Cd), kobaltu (Co) i wanadu (V) [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)

[Źródło: opracowanie własne]

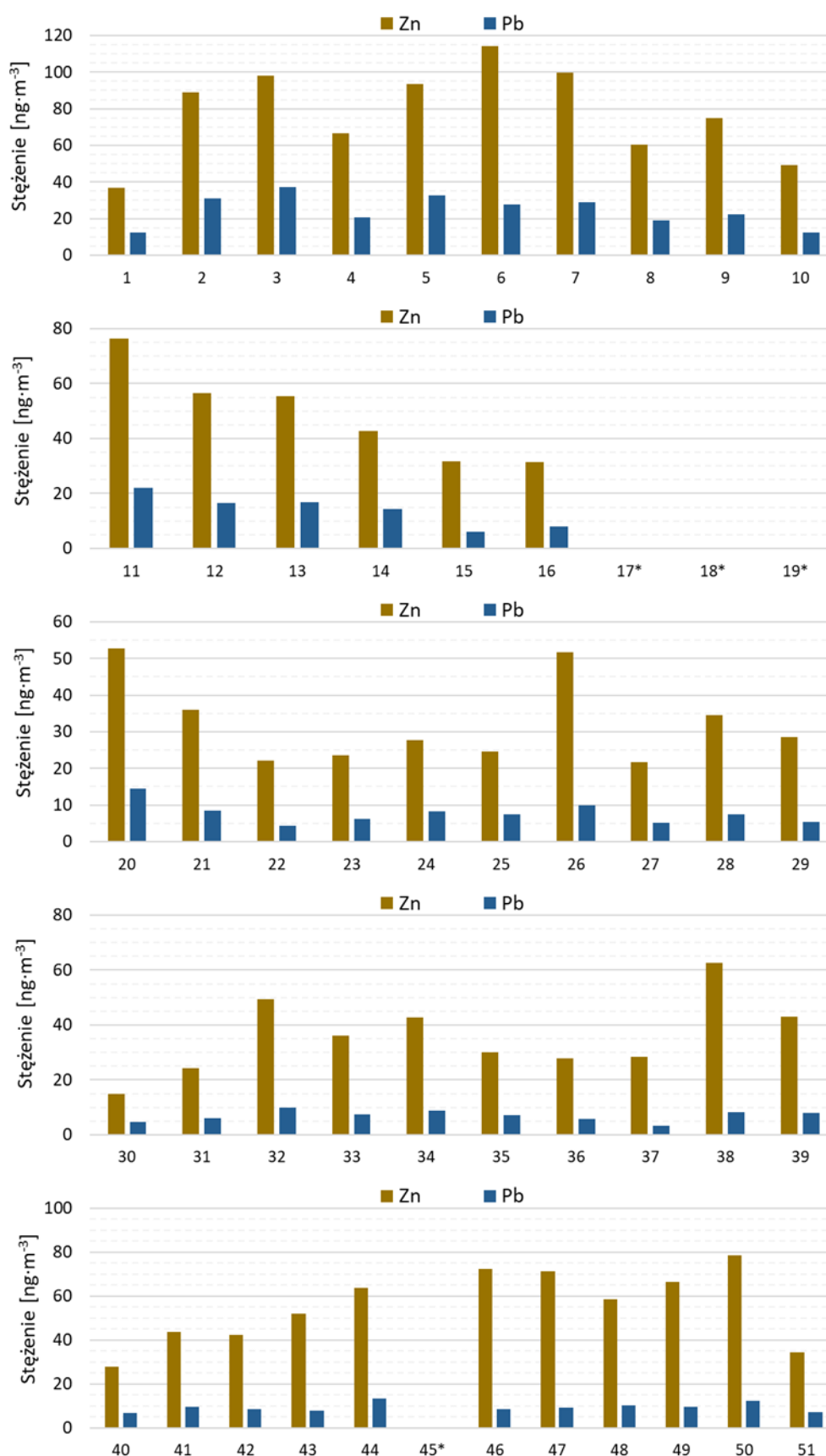
* Brak próbki łączącej spowodowany awarią aparatury do pobierania próbek pyłu PM₁₀



Rysunek 9. Stężenie chromu (Cr), miedzi (Cu) i niklu (Ni) [ng·m⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)

[Źródło: opracowanie własne]

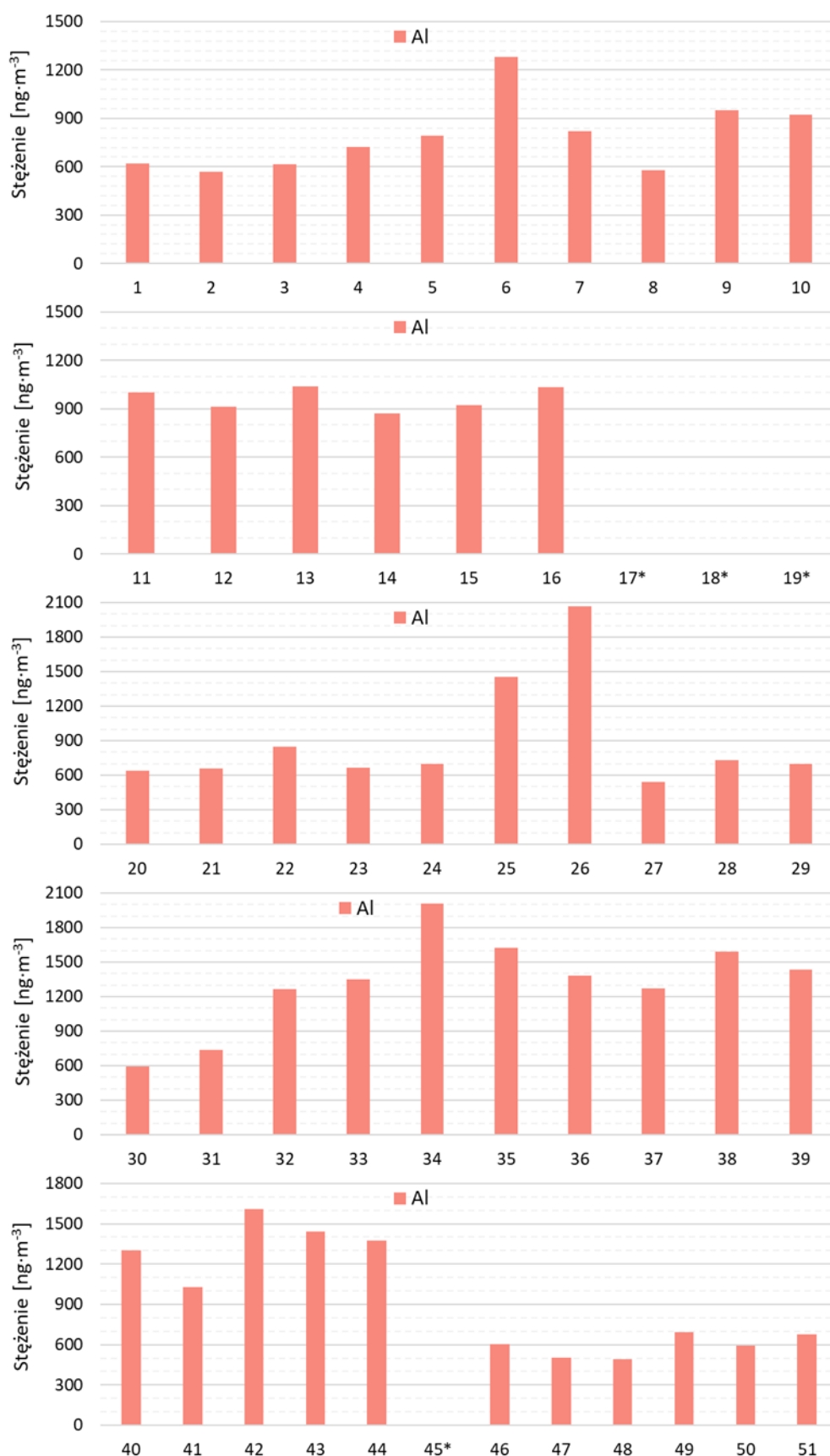
* Brak próbki łączącej spowodowany awarią aparatury do pobierania próbek pyłu PM₁₀



Rysunek 10. Stężenie cynku (Zn) i ołowiu (Pb) [ng·m⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)

[Źródło: opracowanie własne]

* Brak próbki łączonej spowodowany awarią aparatury do pobierania próbek pyłu PM₁₀



Rysunek 11. Stężenie glinu (Al) [ng·m⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)

[Źródło: opracowanie własne]

* Brak próbki łączonej spowodowany awarią aparatury do pobierania próbek pyłu PM₁₀

3.3. Stężenie wybranych WWA w pyłe PM₁₀

W Tabeli 6 zestawiono średnie tygodniowe stężenia WWA w próbkach PM₁₀ za okres 06.01–28.12.2025 r. Stężenia i udziały WWA oraz statystyki opisowe wyliczono w Excelu i zestawiono z dokładnością do 10⁻² ng·m⁻³. Graficzną prezentację wyników pokazano na Rysunkach 12-15.

Tabela 6. Stężenia wybranych WWA [ng·m⁻³] w tygodniowych próbkach pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)

Nr próbki łączonej	Stężenie WWA [ng·m ⁻³] w poszczególnych okresach pomiarowych																	Udział w PM ₁₀ [%]
	Naph	Acy	Ace	Fl	Phen	An	Fluo	Pyr	B(a)A	Chry	B(b)F	B(k)F	B(a)P	I(cd)P	D(ah)A	B(ghi)P	Suma WWA	
1	0.50	0.04	0.06	0.15	1.35	0.31	3.25	3.21	3.73	1.98	3.13	2.08	2.46	5.19	0.81	4.10	32.33	0.14
2	0.02	0.04	0.06	0.12	4.03	0.91	8.55	8.47	7.12	4.16	6.56	3.35	3.85	9.27	1.49	7.67	65.67	0.16
3	0.02	0.04	0.06	0.11	4.66	1.03	10.85	11.41	11.42	6.01	9.38	4.44	5.53	13.09	1.83	10.93	90.80	0.17
4	0.02	0.04	0.06	0.10	1.89	0.50	4.30	4.28	4.99	2.67	5.55	2.69	3.25	8.18	1.09	6.11	45.72	0.14
5	0.02	0.04	0.06	0.11	3.12	0.68	7.21	6.71	5.93	3.59	7.00	3.15	3.78	9.40	1.35	7.83	59.98	0.16
6	0.02	0.04	0.06	0.11	3.62	0.68	8.11	6.92	5.56	3.50	6.75	3.13	3.64	9.14	1.27	6.88	59.43	0.09
7	0.02	0.04	0.06	0.10	6.27	1.25	14.33	15.41	11.33	5.86	8.89	4.28	5.24	12.88	1.52	9.70	97.18	0.16
8	0.02	0.04	0.06	0.13	1.49	0.30	3.74	3.74	4.34	2.56	4.80	2.71	3.51	8.32	0.98	5.46	42.20	0.11
9	0.02	0.04	0.06	0.12	1.68	0.49	5.38	5.57	5.42	3.78	7.42	3.44	4.43	10.42	1.16	7.25	56.67	0.12
10	0.09	0.04	0.06	0.11	0.59	0.14	1.14	0.92	1.35	0.83	2.20	0.98	1.53	3.57	0.46	2.00	16.01	0.06
11	0.02	0.04	0.06	0.16	2.08	0.55	5.20	5.41	4.96	3.20	6.18	2.91	3.77	8.99	1.17	6.70	51.40	0.12
12	0.05	0.04	0.06	0.11	0.57	0.15	1.05	0.96	1.36	0.79	2.23	0.95	1.52	3.59	0.43	2.02	15.89	0.04
13	0.24	0.04	0.06	0.12	0.65	0.13	0.96	0.85	1.15	0.66	1.73	0.83	1.31	2.76	0.40	1.43	13.35	0.04
14	0.26	0.04	0.06	0.11	0.57	0.12	1.18	0.95	1.23	0.69	1.75	0.92	1.48	2.71	0.40	1.42	13.90	0.06
15	0.27	0.04	0.06	0.09	0.19	0.05	0.16	0.05	0.36	0.05	0.69	0.25	0.36	1.01	0.29	0.51	4.42	0.02
16	2.11	0.10	0.13	0.19	0.28	0.12	0.12	0.11	0.60	0.11	1.00	0.28	0.08	1.17	0.57	0.60	7.59	0.02
17*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0.03	0.08	0.11	0.17	0.39	0.10	0.10	0.09	0.65	0.09	1.29	0.52	0.26	0.77	0.77	0.26	5.69	0.04
21	0.02	0.15	0.06	0.09	0.14	0.05	0.05	0.05	0.29	0.05	0.57	0.22	0.04	0.38	0.36	0.05	2.54	0.02

Nr próbki łączonej	Stężenie WWA [ng·m ⁻³] w poszczególnych okresach pomiarowych																	Udział w PM ₁₀ [%]
	Naph	Acy	Ace	Fl	Phen	An	Fluo	Pyr	B(a)A	Chry	B(b)F	B(k)F	B(a)P	I(cd)P	D(ah)A	B(ghi)P	Suma WWA	
22	0.02	0.12	0.06	0.09	0.12	0.05	0.05	0.05	0.25	0.05	0.47	0.05	0.04	0.25	0.21	0.05	1.93	0.01
23	0.02	0.04	0.06	0.10	0.11	0.05	0.05	0.05	0.28	0.05	0.49	0.17	0.04	0.25	0.25	0.10	2.10	0.01
24	0.05	0.04	0.06	0.10	0.17	0.05	0.12	0.05	0.28	0.05	0.49	0.16	0.04	0.25	0.22	0.09	2.21	0.01
25	0.02	0.04	0.06	0.09	0.05	0.05	0.12	0.05	0.24	0.05	0.41	0.10	0.04	0.15	0.15	0.05	1.66	0.01
26	0.02	0.09	0.06	0.10	0.15	0.05	0.05	0.05	0.28	0.05	0.63	0.21	0.08	0.35	0.31	0.23	2.70	0.01
27	0.02	0.25	0.06	0.08	0.26	0.05	0.05	0.20	0.27	0.05	0.63	0.21	0.04	0.27	0.19	0.14	2.77	0.02
28	0.02	0.34	0.06	0.08	0.27	0.05	0.05	0.35	0.27	0.05	0.51	0.15	0.04	0.20	0.15	0.14	2.71	0.01
29	0.02	0.18	0.06	0.09	0.32	0.14	0.26	0.25	0.26	0.05	0.62	0.22	0.04	0.18	0.18	0.32	3.16	0.02
30	0.02	0.42	0.06	0.11	0.25	0.18	0.26	0.66	0.29	0.09	0.59	0.23	0.04	0.25	0.20	0.26	3.90	0.04
31	0.02	0.21	0.06	0.13	0.11	0.05	0.05	0.05	0.25	0.05	0.65	0.24	0.04	0.44	0.22	0.05	2.60	0.01
32	0.02	0.24	0.06	0.14	0.30	0.32	0.18	0.28	0.29	0.05	0.93	0.42	0.04	0.73	0.27	0.17	4.44	0.01
33	0.02	0.37	0.06	0.14	0.49	0.17	0.28	0.22	0.29	0.11	1.01	0.45	0.09	0.56	0.23	0.24	4.70	0.01
34	0.02	0.26	0.06	0.15	0.46	0.24	0.40	0.21	0.30	0.17	0.97	0.40	0.04	0.55	0.22	0.33	4.76	0.01
35	0.02	0.43	0.06	0.12	0.38	0.11	0.17	0.12	0.29	0.10	0.74	0.32	0.04	0.40	0.22	0.43	3.93	0.02
36	0.02	0.29	0.06	0.14	0.36	0.05	0.19	0.19	0.27	0.09	0.64	0.34	0.04	0.29	0.24	0.38	3.55	0.02
37	0.02	0.12	0.06	0.15	0.37	0.13	0.31	0.12	0.31	0.05	0.58	0.26	0.04	0.90	0.22	0.23	3.87	0.03
38	0.02	0.20	0.06	0.14	0.41	0.05	0.29	0.17	0.46	0.29	1.61	0.62	0.17	1.08	0.32	0.29	6.17	0.02
39	0.02	0.10	0.06	0.15	0.39	0.13	0.47	0.34	0.91	0.58	1.54	0.80	1.10	1.15	0.89	0.70	9.31	0.05
40	0.02	0.04	0.06	0.04	0.69	0.26	0.74	0.36	0.71	0.18	1.06	0.58	0.52	2.72	0.05	0.05	8.06	0.05
41	0.02	0.04	0.06	0.12	1.24	0.43	1.57	1.17	1.74	0.72	1.71	1.05	1.24	4.53	0.05	3.20	18.89	0.10
42	0.02	0.04	0.06	0.04	1.06	0.35	1.27	1.11	2.07	0.88	2.20	1.30	1.75	5.88	0.05	7.13	25.20	0.10
43	0.02	0.04	0.06	0.04	1.16	0.44	1.34	1.07	2.11	0.91	2.47	1.45	1.92	6.53	0.05	7.69	27.28	0.13
44	0.02	0.04	0.06	0.13	1.83	0.54	2.93	3.02	5.34	2.50	5.34	2.68	3.89	12.48	0.05	30.15	70.99	0.20
45 *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	0.02	0.06	0.09	0.06	2.34	0.56	7.53	8.83	10.86	8.71	7.49	8.29	8.93	4.29	1.04	5.83	74.95	0.19
47	0.02	0.04	0.06	0.04	3.20	0.64	8.12	8.58	9.04	8.45	14.58	15.56	13.48	8.38	0.90	5.23	96.32	0.26
48	0.02	0.04	0.06	0.04	3.12	0.63	8.92	10.16	13.68	10.92	13.10	14.77	13.08	8.20	1.06	6.55	104.35	0.23
49	0.02	0.04	0.06	0.04	1.92	0.41	5.35	6.62	9.84	7.61	9.97	11.58	10.60	6.21	0.83	5.34	76.43	0.20

Nr próbek łączonej	Stężenie WWA [ng·m ⁻³] w poszczególnych okresach pomiarowych																	Udział w PM ₁₀ [%]
	Naph	Acy	Ace	Fl	Phen	An	Fluo	Pyr	B(a)A	Chry	B(b)F	B(k)F	B(a)P	I(cd)P	D(ah)A	B(ghi)P	Suma WWA	
50	0.02	0.04	0.06	0.04	3.77	0.64	9.99	12.49	16.62	12.41	16.84	18.00	16.07	10.48	1.18	7.51	126.16	0.27
51	0.02	0.04	0.06	0.04	2.70	0.47	4.55	4.64	4.18	4.12	4.03	4.16	3.50	2.01	0.39	2.35	37.25	0.18
STATYSTYKI OPISOWE																		
Cały okres (01.01–28.12.2025 r.)																		
Średnia	0.09	0.11	0.06	0.11	1.31	0.32	2.79	2.90	3.27	2.13	3.60	2.59	2.62	4.06	0.57	3.54	30.07	0.08
Odchylenie	0.31	0.11	0.01	0.04	1.44	0.29	3.66	3.99	4.20	3.12	4.08	4.21	3.87	4.15	0.48	5.14	34.41	0.08
Minimum	0.02	0.04	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.24	0.05	0.41	0.05	0.04	0.15	0.05	0.05	1.66	0.01
Maksimum	2.11	0.43	0.13	0.19	6.27	1.25	14.33	15.41	16.62	12.41	16.84	18.00	16.07	13.09	1.83	30.15	126.16	0.27
Mediana	0.02	0.04	0.06	0.11	0.57	0.18	0.96	0.85	1.15	0.66	1.71	0.83	1.24	2.71	0.36	1.42	13.35	0.05
Sezon grzewczy (06.01–30.03.2025 r. i 29.09–28.12.2025 r.)																		
Średnia	0.04	0.04	0.06	0.09	2.28	0.52	5.24	5.47	6.03	4.04	6.27	4.76	4.94	7.29	0.84	6.60	54.52	0.14
Odchylenie	0.10	0.01	0.01	0.04	1.46	0.27	3.74	4.21	4.37	3.42	4.24	5.03	4.28	3.42	0.53	5.71	32.92	0.06
Minimum	0.02	0.04	0.06	0.04	0.39	0.13	0.47	0.34	0.71	0.18	1.06	0.58	0.52	1.15	0.05	0.05	8.06	0.04
Maksimum	0.50	0.10	0.09	0.16	6.27	1.25	14.33	15.41	16.62	12.41	16.84	18.00	16.07	13.09	1.83	30.15	126.16	0.27
Mediana	0.02	0.04	0.06	0.11	1.90	0.50	4.88	5.02	5.17	3.35	5.87	3.02	3.71	8.19	0.94	6.33	54.03	0.14
Sezon niegrzewczy (31.03–28.09.2025 r.)																		
Średnia	0.14	0.18	0.06	0.12	0.30	0.10	0.24	0.22	0.40	0.13	0.83	0.33	0.19	0.69	0.29	0.34	4.55	0.02
Odchylenie	0.44	0.13	0.02	0.03	0.16	0.07	0.28	0.26	0.27	0.18	0.40	0.22	0.39	0.71	0.14	0.37	3.21	0.01
Minimum	0.02	0.04	0.06	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05	0.24	0.05	0.41	0.05	0.04	0.15	0.15	0.05	1.66	0.01
Maksimum	2.11	0.43	0.13	0.19	0.65	0.32	1.18	0.95	1.23	0.69	1.75	0.92	1.48	2.76	0.77	1.43	13.90	0.06
Mediana	0.02	0.15	0.06	0.11	0.28	0.05	0.16	0.12	0.29	0.05	0.64	0.25	0.04	0.40	0.23	0.24	3.87	0.02

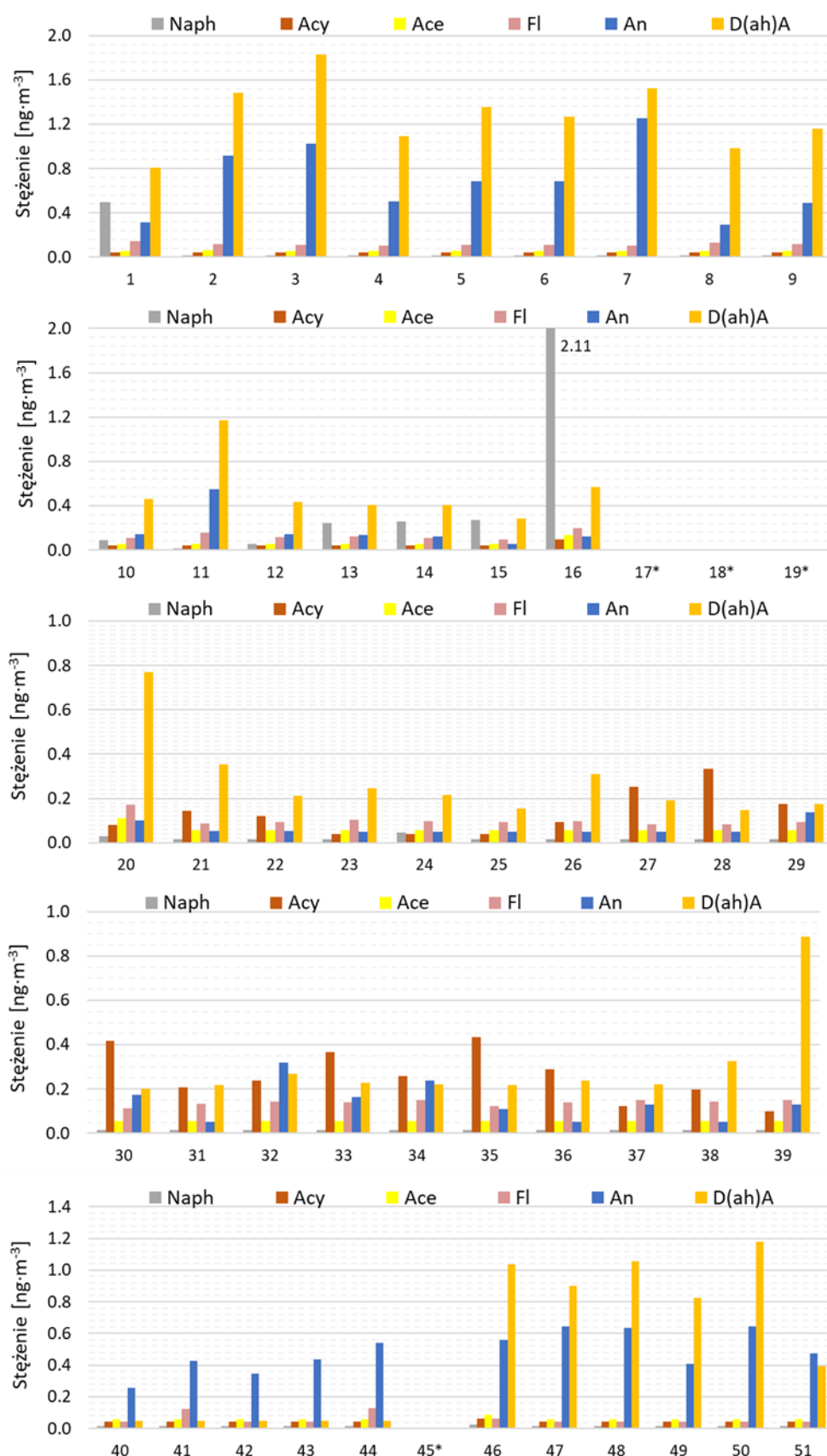
[Źródło: opracowanie własne]

Oznaczenia: Naph – naftalen; Acy – acenaftylen; Ace – acenaften; Fl – fluoren; Phen – fenantren; An – antracen; Fluo – fluoranten; Pyr – piren; B(a)A – benzo(a)antracen; Chry – chryzen; B(b)F – benzo(b)fluoranten; B(k)F – benzo(k)fluoranten; B(a)P – benzo(a)piren; I(cd)P – indeno(123-cd)piren; D(ah)A – dibenzo(ah)antracen; B(ghi)P – benzo(ghi)perylen

Kolorem czerwonym zaznaczono przekroczenie wartości docelowej dla średniego rocznego stężenia B(a)P (1 ng·m⁻³) (na podstawie RMS z dn. 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2021 r. poz. 845 t.j.))

Kursywą oznaczono wyniki poniżej granicy wykrywalności – w przypadku gdy zawartość danego WWA była niższa niż granica wykrywalności, otrzymany wynik zastępowano ½ wartości tej granicy (zgodnie z zasadami obowiązującymi w sieci Państwowego Monitoringu Środowiska).

* Brak próbek łączonej spowodowany awarią aparatury do pobierania próbek pyłu PM₁₀.

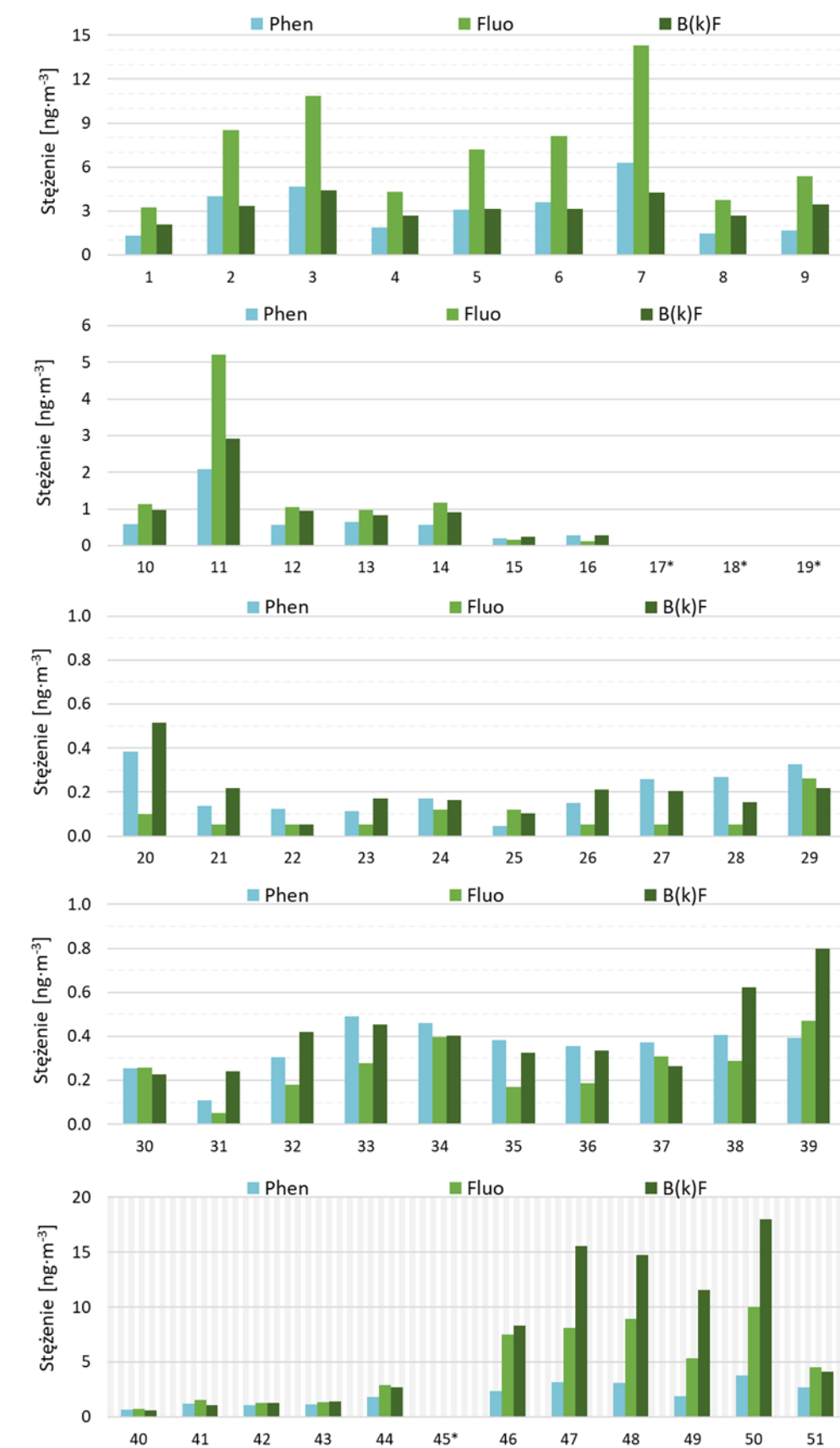


Rysunek 12. Stężenie wybranych WWA [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] (Naph, Acy, Ace, Fl, An, D(ah)A) w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)

[Źródło: opracowanie własne]

(Oznaczenia: Naph – naftalen; Acy – acenaftylen; Ace – acenaften; Fl – fluoren; An – antracen; D(ah)A – dibenzo(ah)antracen)

* Brak próbki łączonej spowodowany awarią aparatury do pobierania próbek pyłu PM₁₀

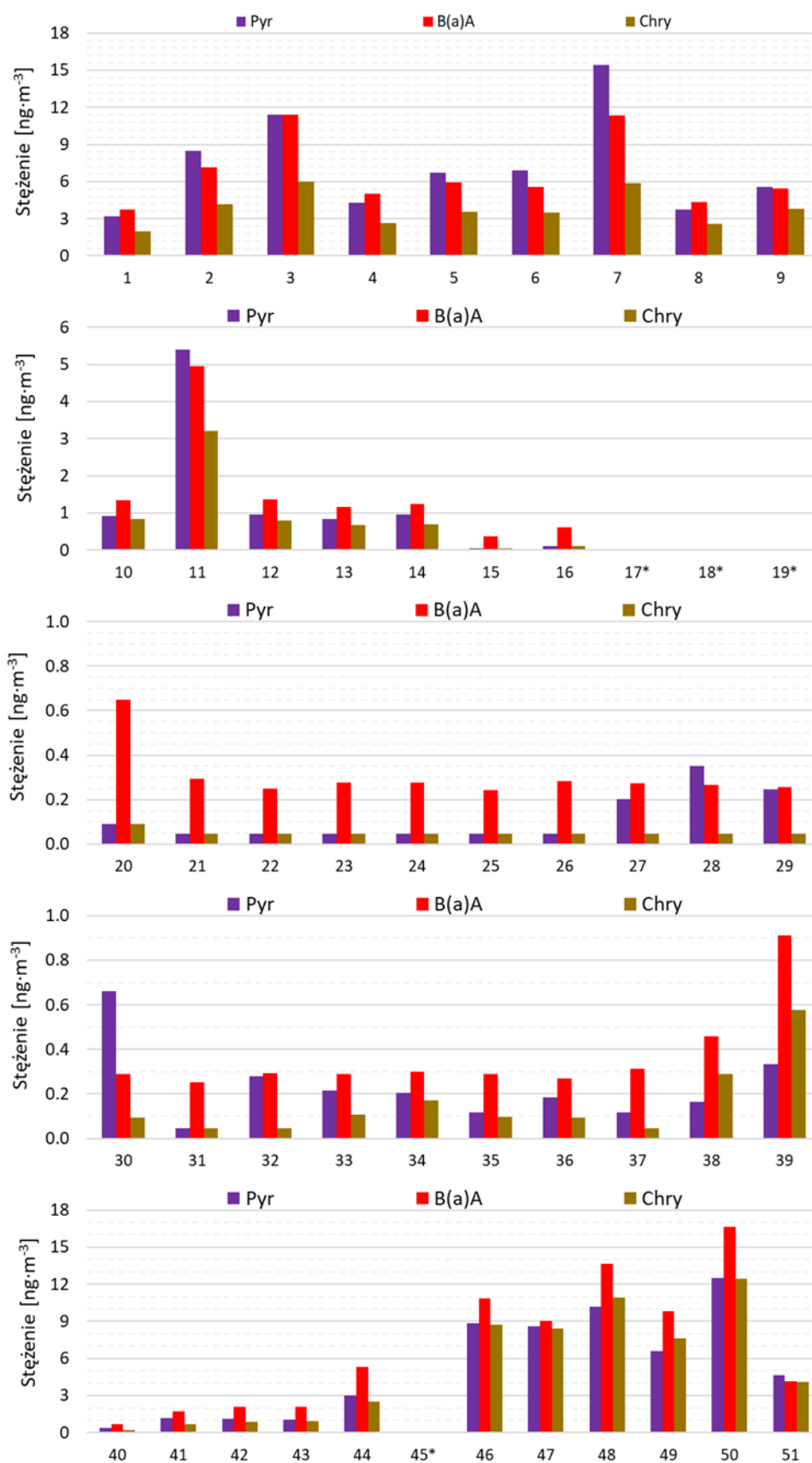


Rysunek 13. Stężenie wybranych WWA [ng·m⁻³] (Phen, Fluo, B(k)F) w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)

[Źródło: opracowanie własne]

(Oznaczenia: Phen – fenantren; Fluo – fluorantenu; B(k)F – benzo(k)fluoranten)

* Brak próbki łączony spowodowany awarią aparatury do pobierania próbek pyłu PM₁₀

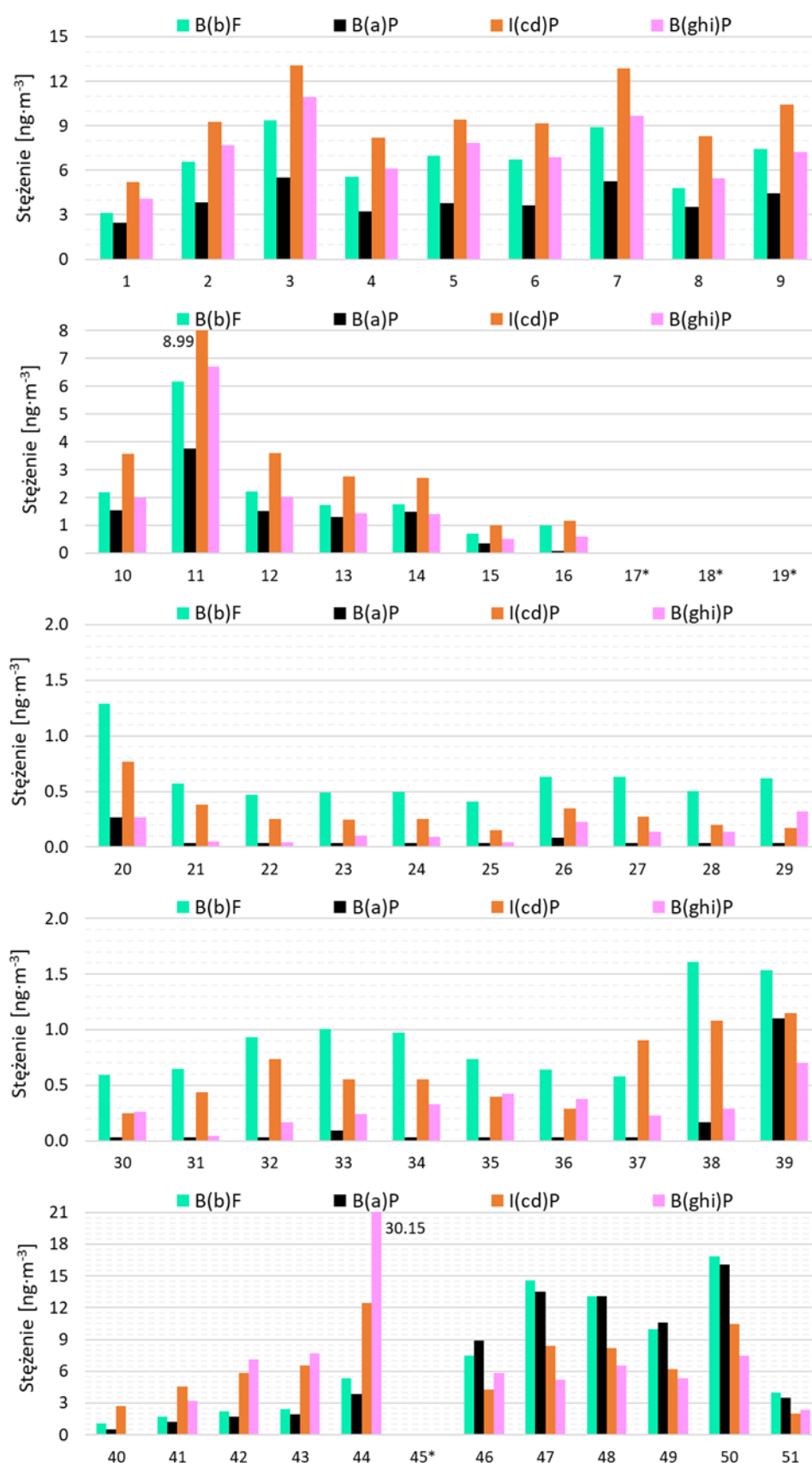


Rysunek 14. Stężenie wybranych WWA [ng·m⁻³] (Pyr, B(a)A), Chry) w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)

[Źródło: opracowanie własne]

(Oznaczenia: Pyr – piren; B(a)A – benzo(a)antracen; Chry – chryzen)

* Brak próbki łączony spowodowany awarią aparatury do pobierania próbek pyłu PM₁₀



Rysunek 15. Stężenie wybranych WWA [ng·m⁻³] (B(b)F, B(a)P, I(cd)P, B(ghi)P) w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 06.01–28.12.2025 r.)

[Źródło: opracowanie własne]

(Oznaczenia: B(b)F – benzo(b)fluoranten; B(a)P – benzo(a)piren; I(cd)P – indeno(123-cd)piren; B(ghi)P – benzo(ghi)perylen)

* Brak próbki łączącej spowodowany awarią aparatury do pobierania próbek pyłu PM₁₀

4. Analiza wyników

W okresie pomiarowym od 1.01–31.12.2025 r. (365 dni) uzyskano 328 ważnych danych o stężeniu dobowym PM₁₀, co oznacza, że warunek dotyczący wymaganego pokrycia czasowego dla pomiarów ciągłych i okresowych (> 90%), określony w Rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r., w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. z 2020 r. poz. 2279, zm. Dz.U. z 2022 r. poz. 2131), został spełniony. Relatywnie niskie – w stosunku do lat poprzednich – pokrycie okresu pomiarowego danymi o stężeniu PM₁₀ (90%) wynikało z dłuższej awarii aparatury do pobierania prób pyłu PM₁₀ (24.04–21.05.2025 r.) oraz wynikającej z tego jej naprawy i kalibracji. Wymagany stopień kompletności danych (jako minimalny uzysk ważnych danych) (>90%) został również dotrzymany w przypadku stężeń analizowanych pierwiastków śladowych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Oznacza to, że był on wystarczający do oceny zgodności uzyskanych rezultatów z obowiązującymi normami jakości powietrza – w odniesieniu do stężeń substancji, dla których ustanowiono wartości dopuszczalne (Pb) i docelowe (As, Cd, Ni, B(a)P).

Średnie dobowe stężenia PM₁₀ w Skawinie przyjmowały wartości z przedziału 4.10–133.76 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Tabela 4). Średnia z całego okresu pomiarowego (obliczana na podstawie stężeń 24 h) wynosiła 29.87 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, co stanowiło ok. 75% dopuszczalnego średniorocznego stężenia PM₁₀ (40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dn. 24 sierpnia 2012 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 845 t.j.), oraz ok. 149% nowego standardu (20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, rok kalendarzowy), ustalonego Dyrektywą 2024/2881 (Dz.U. L, 2024/2881, 20.11.2024). Nieznacznie niższą wartość średniego stężenia PM₁₀ obserwowano w roku 2024 (28.94 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i 2023 (28.02 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), natomiast było ono wyraźnie niższe w porównaniu do poziomów rejestrowanych w latach 2019–2022 r. (2019 r.: ~45 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; 2020–2022 r.: ~37 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Analizując wahania stężeń dobowych PM₁₀ z okresu styczeń – grudzień 2025 r. (Tabela 4, Rysunek 2-3), odnotowano występowanie wyraźnej zmienności sezonowej. Stężenia PM₁₀ w sezonie grzewczym (styczeń-marzec oraz październik-grudzień) były wyższe niż w sezonie niegrzewczym (kwiecień-wrzesień), z wartościami średnimi wynoszącymi odpowiednio 35.73 i 23.33 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Obserwowane wahania sezonowe wynikały ze wzrostu aktywności lokalnych źródeł energetycznych w okresie jesienno-zimowym oraz typowych dla tego okresu szeregu niekorzystnych zjawisk meteorologicznych (m.in. z niższej temperatury powietrza, niższej prędkości wiatru i ograniczonej ilości opadów atmosferycznych, Rysunek 4), utrudniających

dyspersję i usuwanie zanieczyszczeń. Najwyższe średniomiesięczne stężenie PM₁₀ odnotowano w lutym 2025 r. ($50.97 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), co mogło być spowodowane dużymi sytuacjami smogowymi, które objęły swoim zasięgiem duży obszar południowej Polski (Błaszczak i inni, 2025). Stosunkowo wysokie stężenia PM₁₀ w sezonie niegrzewczym, z maksymalnym stężeniem średniodobowym zarejestrowanym na początku lipca 2025 r. ($133.76 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), sugerowało natomiast, że ważną rolę w rozkładzie stężenia PM₁₀ w badanym obszarze odgrywają również lokalne źródła przemysłowe i procesy wtórnego pylenia z powierzchni utwardzonych (np. drogi, place) oraz pylenie z powierzchni odkrytego gruntu.

W analizowanym okresie pomiarowym odnotowano łącznie 54 przypadki przekroczeń dopuszczalnego średniodobowego stężenia PM₁₀, wynoszącego $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 24 sierpnia 2012 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 845 t.j.)), w proporcji 41 takich przypadków w sezonie grzewczym i 13 przypadków przekroczeń w sezonie niegrzewczym. Zatem warunek dotyczący maksymalnej liczby dni z przekroczeniami dopuszczalnego średniodobowego stężenia PM₁₀ (tj. 35 dni w roku kalendarzowym) nie został dotrzymany. Uzyskane wyniki, podobnie jak to miało miejsce w latach 2019–2024, wskazują na występowanie problemu w zakresie narażenia okolicznych mieszkańców z tytułu inhalacji pyłu zawieszonego PM₁₀ i sygnalizują konieczność podjęcia działań służących poprawie jakości powietrza w monitorowanym obszarze.

W roku 2025 dominującymi kierunkami wiatru były kierunki północno-wschodnie (NE i ENE), które łącznie odpowiadały za ponad 40% wszystkich obserwacji, a wraz z kierunkami południowo-zachodnimi (SW, WSW) stanowiły ponad 60% przypadków. Napływ mas powietrza z tych kierunków związany był z relatywnie niskimi stężeniami pyłu PM₁₀, co może wskazywać na korzystniejsze warunki wentylacyjne oraz brak istotnych źródeł emisji w dominujących sektorach napływu powietrza. Dla dominujących kierunków wiatru (NE, ENE i SW) średnie stężenia PM₁₀ mieściły się w zakresie $23.25\text{--}27.26 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, czyli były wyraźnie niższe niż stężenia obserwowane przy rzadkich kierunkach wschodnich i zachodnich. Obszarami źródłowymi o potencjalnie największej roli w kształtowaniu wysokich poziomów PM₁₀ były tereny starej zabudowy komunalnej oraz tereny przemysłowe w północno-zachodniej części miasta (Rysunek 5-7). Sytuacja w zakresie napływu mas powietrza zanieczyszczonych pyłem PM₁₀ okazała się w 2025 r. spójna z obserwacjami z ubiegłych lat. Przekroczenia wartości dopuszczalnej występowały niemal wyłącznie w sezonie grzewczym i były najczęściej obserwowane przy wiatrach z sektorów zachodnich i północno-zachodnich.

W okresie niegrzewczym stężenia PM₁₀ były niskie i stabilne, a wpływ kierunku wiatru na ich poziom był ograniczony.

Badania składu chemicznego wykazały obecność wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (Tabela 6, Rysunek 12-15), pochodzących z niepełnego spalania paliw kopalnych i innych substancji w źródłach komunalnych i w procesach przemysłowych. Cechą wspólną wszystkich WWA jest ich wysoka trwałość w środowisku i wysoka toksyczność przewlekła (Naumczyk, 2017). Średni sumaryczny udział analizowanych WWA w stężeniach PM₁₀ był niemal identyczny jak w latach poprzednich i w 2025 r. wynosił ~0.08%. Udział ten był 7-krotnie wyższy w sezonie grzewczym (~0.14%) w porównaniu do okresu niegrzewczego (~0.02%).

Odnotowano relatywnie wysokie stężenia kancerogennego benzo(a)pirenu, które przyjmowały wartości z przedziału od 0.04 do 16.07 ng·m⁻³. Średnie stężenie B(a)P w całym okresie pomiarowym wynosiło 2.62 ng·m⁻³ (1.96 ng·m⁻³ w 2024 r., 3.35 ng·m⁻³ w 2023 r. oraz 3.74 ng·m⁻³ w 2022 r.) i było znacznie wyższe (~260%) niż limitowane prawem docelowe średnioroczne stężenie B(a)P, równe 1 ng·m⁻³ (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 24 sierpnia 2012 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 845 t.j.)). Do wzrostu stężenia B(a)P w 2025 r. mogła przyczynić się emisja tego związku w drobnych cząstkach PM (sadza), emitowanych z silników pracujących wokół maszyn budowlanych i samochodów ciężarowych. Ponadnormatywny poziom B(a)P w 2025 r. oraz w minionych latach wskazuje na potencjalnie wysokie ryzyko narażenia zdrowia okolicznych mieszkańców. Najbardziej prawdopodobnym źródłem emisji B(a)P w obszarze badań, jak również pozostałych WWA, jest spalanie paliw w gospodarstwach domowych i innych źródłach grzewczych. Wskazuje na to wyraźna różnica pomiędzy stężeniami B(a)P w sezonie grzewczym (średnio: 4.94 ng·m⁻³) i niegrzewczym (średnio: 0.19 ng·m⁻³). Warto zauważyć, że w jednej z próbek tygodniowych (03–09.11.2025 r.) odnotowano podwyższone stężenie benzo(g,h,i)perylenu (30.15 ng·m⁻³), co wskazuje na wystąpienie krótkotrwałego epizodu intensywnej emisji związanej z procesami spalania, któremu towarzyszyły niekorzystne warunki meteorologiczne. Wpływ spalania węgla i biomasy (Dvorská i inni, 2011) na zanieczyszczenie powietrza przez WWA potwierdza proporcja stężenia fluorantenu do sumy stężeń fluorantenu i pirenu, która w rozważanym okresie przyjmowała wartości z przedziału od 0.13 do 0.78 (przeciętnie: 0.52). Za dużą rolę procesów spalania przemawiają również wartości stosunku stężenia benzo(a)antracenu do sumy stężeń benzo(a)antracenu i chryzenu (od 0.50 do 0.89, przeciętnie: 0.71) (Dvorská i inni, 2011,

Slezakova i inni, 2010). Podsumowując, prawidłowości związane z rozkładem stężenia WWA w badanym obszarze w 2025 r. okazały się spójne z obserwacjami poczynionymi w latach 2019–2024.

Biorąc pod uwagę stężenie średnie w całym okresie pomiarowym, analizowane pierwiastki w PM₁₀ z punktu pomiarowego w Skawinie można uporządkować wg następującej kolejności: Al (984.40 ng·m⁻³) > Zn (50.45 ng·m⁻³) > Cu (13.81 ng·m⁻³) > Pb (12.30 ng·m⁻³) > Ni (12.01 ng·m⁻³) > Cr (11.28 ng·m⁻³) > As (1.10 ng·m⁻³) > V (0.90 ng·m⁻³) > Co (0.74 ng·m⁻³) > Cd (0.49 ng·m⁻³) (Tabela 5). W porównaniu z rokiem 2024, w 2025 r. zaobserwowano wyraźny wzrost średnich stężeń większości analizowanych metali w pyłe PM₁₀, w szczególności glinu, cynku oraz pierwiastków związanych ze spalaniem paliw stałych (Ni, Cr, As). Jednocześnie odnotowano spadek stężenia miedzi, co może wskazywać na zmniejszony udział emisji komunikacyjnych typu „*non-exhaust*” (tj. nie związanych ze spalaniem). Zaobserwowane zmiany sugerują silniejszy wpływ procesów grzewczych oraz resuspensji pyłu mineralnego w 2025 r., w porównaniu z rokiem poprzednim.

Na ogół wyższe poziomy pierwiastków rejestrowano w sezonie grzewczym (serie: 1-12 i 39-51) w porównaniu do niegrzewczego (serie: 13-38) (Rysunek 8-11); wyjątkami są nikiel, glin kobalt oraz wanad. W 2025 r., średnie sumaryczne stężenie oznaczanych składników w całym okresie pomiarowym wynosiło 1086.48 ng·m⁻³, w proporcji 1022.91 ng·m⁻³ – sezon grzewczy i 1152.82 ng·m⁻³ – sezon niegrzewczy (Tabela 5. Rysunek 8-11). Udział omawianej grupy składników w stężeniach PM₁₀ w całym okresie pomiarowym wynosił średnio 4.22% i był niższy w sezonie grzewczym ~3.40% niż w okresie wiosenno-letnim ~5.07%. Należy zaznaczyć, że udział ten był ponad 2-krotnie wyższy niż w 2024 roku (w całym okresie pomiarowym wynosił on wówczas średnio ~2.00%, w okresie wiosenno-letnim ~2.18% i w okresie jesienno-zimowym 1.81%).

Obserwowana zmienność sezonowa – zarówno w odniesieniu do zawartości bezwzględnej (stężenia) jak i względnej (udział masowy) – może wskazywać na dużą rolę przemysłowych i komunikacyjnych źródeł emisji, co potwierdzają wysokie stężenia glinu i cynku w próbkach PM₁₀ ze Skawiny. W przypadku glinu dużą rolę może tu odgrywać m.in. emisja związana z procesem przerobu złomu aluminium z instalacji istniejących na terenie miasta. W trakcie całego okresu pomiarowego notowano również stosunkowo wysokie stężenia chromu (średnio: 11.28 ng·m⁻³) – wyższe w porównaniu do wartości rejestrowanych na innych stanowiskach pomiarowych w Polsce – np. Zabrze – 1.7 ng·m⁻³, Łódź – 3.3 ng·m⁻³, Warszawa – 1.2 ng·m⁻³

(Majewski i Rogula-Kozłowska, 2016). Głównym źródłem chromu (Cr) jest przemysł metalurgiczny, ogniotrwały, chemiczny. Toksyczność tego pierwiastka zależy od stopnia jego utlenienia – wg klasyfikacji Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem działanie kancerogenne wykazują związki chromu (VI). W ramach prowadzonych badań oznaczano jednak całkowitą zawartość Cr w PM₁₀. Stężenia pierwiastków objętych regulacjami prawnymi – As, Cd, Ni i Pb były stosunkowo niskie i nie przekraczały poziomów dopuszczalnych (Pb: 500 ng·m⁻³) i docelowych (As, Cd i Ni: odpowiednio 6, 5 i 20 µg·m⁻³) (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 24 sierpnia 2012 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 845 t.j.).

5. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w raporcie wyniki badań objęły okres od 1.01.2025 r. do 31.12.2025 r. włącznie w odniesieniu do oceny zmienności średniodobowego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ oraz okres od 6.01.2025 r. do 28.12.2025 r. włącznie – do oceny jakościowej składanych (tygodniowych) próbek PM₁₀ w zakresie zawartości wybranych pierwiastków śladowych i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA).

Wyniki badań prowadzonych w Skawinie w 2025 r. potwierdzają utrzymujący się problem jakości powietrza związany z obecnością pyłu PM₁₀ oraz jego toksycznych składników, mimo zauważalnej poprawy w porównaniu z okresem sprzed 2023 r. W analizowanym roku uzyskano 328 ważnych danych dobowych PM₁₀, co odpowiada 90% pokryciu czasowemu i spełnia wymagania formalne dotyczące kompletności danych, umożliwiając wiarygodną ocenę zgodności z obowiązującymi normami jakości powietrza. Podobny poziom kompletności dotyczył oznaczeń pierwiastków śladowych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, w tym benzo(a)pirenu.

Średnie dobowe stężenia PM₁₀ mieściły się w szerokim zakresie od 4.10 do 133.76 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a średnia roczna wyniosła 29.87 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, co stanowiło około 75% dopuszczalnej wartości średniorocznej (40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Poziom ten był zbliżony do obserwowanego w 2024 r. (28.77 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i wyraźnie niższy niż w latach 2019–2022, kiedy średnie roczne stężenia PM₁₀ przekraczały 37–45 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Jednocześnie odnotowano aż 54 dni z przekroczeniami dopuszczalnego stężenia dobowego PM₁₀ (50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), z czego 41 przypadków wystąpiło w sezonie grzewczym, co oznacza niespełnienie kryterium dopuszczalnej liczby 35 dni w roku. Wskazuje to, że pomimo spadku wartości średnich, krótkookresowe epizody wysokiego narażenia nadal stanowią istotny problem zdrowotny dla mieszkańców.

Analiza sezonowa wykazała, że średnie stężenia PM₁₀ były wyższe w sezonie grzewczym (35.73 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) niż w niegrzewczym (23.33 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Szczególnie wysokie stężenia PM₁₀ odnotowano w lipcu 2025 r. (maksimum dobowe 133.76 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), co wskazuje na znaczący udział wtórnego pylenia z powierzchni utwardzonych, resuspensji pyłu drogowego oraz lokalnych źródeł przemysłowych. Z kolei wysokie stężenia zimowe (maksimum 105.37 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ w lutym) były związane z niekorzystnymi warunkami meteorologicznymi oraz nasilonym spalaniem paliw w źródłach komunalnych.

Dominujące kierunki wiatru (NE i ENE), odpowiadające łącznie za ponad 40% obserwacji, były związane z relatywnie niskimi stężeniami PM₁₀ (23.25–27.26 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), co sugeruje brak istotnych źródeł emisji w tych sektorach oraz korzystniejsze warunki wentylacyjne. Najwyższe stężenia PM₁₀ występowały natomiast przy wiatrach z sektorów zachodnich i północno-zachodnich, szczególnie w sezonie grzewczym, co wskazuje na wpływ starej zabudowy komunalnej oraz obszarów przemysłowych zlokalizowanych w tych kierunkach względem stanowiska pomiarowego.

Skład chemiczny PM₁₀ potwierdził istotny udział potencjalnie toksycznych składników. Średni udział WWA w masie PM₁₀ wynosił 0.08%, przy wyraźnej sezonowości – 0.14% w sezonie grzewczym i 0.02% w niegrzewczym. Średnie roczne stężenie benzo(a)pirenu wyniosło 2.62 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$., czyli ponad dwukrotnie więcej niż wartość docelowa 1 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$, mimo spadku w porównaniu z 2023 r. (3.35 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$). Różnica pomiędzy sezonem grzewczym (4.99 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$) a niegrzewczym (0.19 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$.) jednoznacznie wskazuje na spalanie paliw stałych jako główne źródło B(a)P i pozostałych WWA. Epizodycznie bardzo wysokie stężenie benzo(g,h,i)perylenu (30.15 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$). potwierdza możliwość występowania krótkotrwałych, intensywnych zdarzeń emisyjnych związanych zarówno z niską emisją, jak i transportem drogowym.

Analiza pierwiastków śladowych wskazywała na dominację glinu (983.40 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$), cynku (50.45 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$) oraz miedzi (13.81 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$), co sugeruje istotną rolę resuspensji pyłu mineralnego oraz emisji komunikacyjnych i przemysłowych. W porównaniu z 2024 r. nastąpił bardzo wyraźny wzrost stężenia glinu oraz cynku a także pierwiastków związanych ze spalaniem paliw stałych, takich jak nikiel, chrom i arsen. Jednocześnie odnotowano spadek stężenia miedzi, co może wskazywać na zmniejszenie udziału emisji komunikacyjnych typu „non-exhaust”. Wysokie stężenia chromu (średnio 11.30 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$), wyższe niż na wielu innych stanowiskach w Polsce, sugerują istotny wpływ lokalnych źródeł przemysłowych.

Podsumowując, wyniki z 2025 r. wskazują na stopniową poprawę jakości powietrza w ujęciu średniorocznym, jednak utrzymujące się liczne przekroczenia dobowych stężeń PM₁₀, ponadnormatywne stężenia benzo(a)pirenu oraz rosnące obciążenie pyłu metalami pochodzenia antropogenicznego i mineralnego potwierdzają, że narażenie mieszkańców Skawiny na zanieczyszczenia powietrza pozostaje istotnym problemem zdrowotnym i wymaga dalszych działań ograniczających zarówno niską emisję, jak i emisje przemysłowe oraz wtórne pylenie.

6. Materiały źródłowe

PN-EN 12341:2024-01: Powietrze atmosferyczne – Standardowa grawimetryczna metoda pomiarowa oznaczania stężeń masowych frakcji PM₁₀ lub PM_{2.5} pyłu zawieszonego.

PO2-NP-I – Postępowanie z próbkami do badań – analiza grawimetryczna [wydanie z dnia 09.01.2017 r.]

Procedura Badawcza PB18: Zastosowanie spektrometrii mas z plazmą wzbudzoną indukcyjnie ICP-MS [wydanie 5 z dnia 10.07.2019 r.]

Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2020 r. poz. 2279)

Procedura Badawcza PB-22: Oznaczanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w glebie i pyle metodą chromatografii gazowej z detekcją mas [wydanie 1 z dnia 02.08.2021 r.]

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. z 2021 r. poz. 845 t.j.)

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/2881 z dnia 23 października 2024 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (Dz.U. L, 2024/2881, 20.11.2024)

Błaszczak, B., Słaby, K., Rogula-Kopiec, P. (2025). The role of fine and submicron aerosol particles in urban air pollution in the context of meeting new air quality standards. *Sci Rep* 16, 915.

Naumczyk, J. Chemia środowiska. PWN. Warszawa 2017.

Dvorská, A., Lammel, G., Klánová, J. (2011). Use of diagnostic ratios for studying source apportionment and reactivity of ambient polycyclic aromatic hydrocarbons over Central Europe. *Atmospheric Environment* 45. 420–427.

Slezakova, K., Castro, D., Pereira, M.C., Morais, S., Delerue-Matos, C., Alvim-Ferraz, M.C. (2010). Influence of Traffic Emissions on the Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Outdoor Breathable Particles. *Journal of the Air & Waste Management Association* 60(4). 393–401.

Tytuł pracy: Wykonanie pomiarów ciągłych stężeń pyłu PM₁₀

Numer umowy: OP/37/2024 (nr wew. IPIŚ PAN: C2-501/2025/NP-I/A)

Zespół autorski: dr Barbara Błaszczak
lic. Monika Błaszczak
dr inż. Barbara Mathews
dr inż. Patrycja Rogula-Kopiec
mgr Krzysztof Słaby
dr inż. Kamila Widziewicz-Rzońca
mgr inż. Magdalena Żurawka

Streszczenie: Celem badań była ocena jakości powietrza na terenie miasta Skawina, poprzez wyznaczenie stężeń pyłu PM₁₀ oraz związanych z nim pierwiastków śladowych i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Kampania pomiarowa obejmowała okres 1.01–31.12.2025 r., w odniesieniu do oceny zmienności średniodobowego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ oraz 06.01–28.12.2025 r. w odniesieniu do oceny jakościowej składanych (tygodniowych) próbek PM₁₀. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w okresie pomiarowym były wysokie – zidentyfikowano łącznie 54 przypadki przekroczeń wartości dopuszczalnej dla średniego dobowego stężenia PM₁₀ (50 µg·m⁻³). Obecność WWA związana była z procesami niepełnego spalania paliw i innych substancji palnych nieznanego pochodzenia. Stwierdzono ponad 2-krotne przekroczenie średniorocznej wartości docelowej B(a)P, jakkolwiek na uwagę zasługuje wyraźna redukcja stężenia B(a)P w porównaniu do okresu sprzed 2023 r. Analiza składu pierwiastkowego sugerowała wzbogacenie pyłu PM₁₀ substancjami pochodzącymi z przetwórstwa aluminium (Al., Zn). Stężenia pierwiastków objętych regulacjami prawnymi – As, Cd, Ni i Pb były stosunkowo niskie i nie przekraczały wartości docelowych i dopuszczalnych.