



INSTYTUT PODSTAW INŻYNIERII ŚRODOWISKA POLSKIEJ AKADEMII NAUK

ul. M. Skłodowskiej-Curie 34, 41-819 Zabrze

tel. 32 271 64 81, 32 271 70 40, fax 32 271 74 70
ipis@ipis.zabrze.pl, www.ipis.zabrze.pl, www.ipis.pan.pl
NIP: 648-000-67-20 REGON: 000558009

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 kampanii pomiarowej zanieczyszczeń powietrza: pomiary ciągłe stężeń pyłu PM₁₀

Wykonano 3 egzemplarze dla:

Egzemplarz nr 1 – Gmina Skawina

Egzemplarz nr 2 – Gmina Skawina

Egzemplarz nr 3 – Biblioteka IPIŚ PAN

Nr wewnętrzny C2-910/2019/NP-I

Zleceniodawca: **Gmina Skawina**

Rynek 1
32 - 050 Skawina

SPRAWOZDANIE

Wykonanie kampanii pomiarowej zanieczyszczeń powietrza: pomiary ciągłe stężeń pyłu PM₁₀

Autor: dr inż. Krzysztof Klejnowski

Współautorzy:

prof. dr hab. inż. Marianna Czaplicka

dr inż. Halina Pyta

dr inż. Barbara Mathews

dr inż. Kamila Widziewicz-Rzońca

mgr Barbara Błaszczak

mgr Natalia Ziola

mgr Krzysztof Słaby

mgr inż. Patrycja Rogula-Kopiec

lic. Monika Błaszczak

Kierownik Zakładu: dr inż. Krzysztof Klejnowski

Dyrektor Instytutu: prof. dr hab. inż. Marianna Czaplicka

Spis treści:

Spis rysunków	5
Spis tabel	6
1. Cel i zakres badań	7
2. Metodyka badań	9
2.1 Pomiar stężeń pyłu PM ₁₀	9
2.2 Oznaczanie metali w pyłe PM ₁₀	10
2.3 Oznaczanie WWA w pyłe PM ₁₀	11
3. Wyniki badań	13
3.1 Stężenia pyłu PM ₁₀	13
3.2 Stężenia wybranych metali w pyłe PM ₁₀	19
3.3 Stężenie wybranych WWA w pyłe PM ₁₀	24
4. Analiza wyników	30
5. Podsumowanie i wnioski	33
6. Materiały źródłowe	34

Spis rysunków

- Rysunek 1.** Lokalizacji stacji pomiarowej (N: 49.976647; E: 19.813679) oraz widok na pobornik nisko-przepływowy μ PNS LVS16 firmy MCZ 9
- Rysunek 2.** Przebieg serii stężeń dobowych pyłu zawieszonego PM₁₀ – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 23.02–31.12.2019 r. 14
- Rysunek 3.** Rozkład częstości średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 23.02–31.12.2019 r. 14
- Rysunek 4.** Zmienność średnich dobowych stężeń PM₁₀ na tle zmienności podstawowych parametrów meteorologicznych – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 23.02–31.12.2019 r. 15
- Rysunek 5.** Przebieg serii stężeń dobowych pyłu PM₁₀ z zaznaczonymi kierunkami wiatru – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 23.02–30.06.2019 r. 16
- Rysunek 6.** Przebieg serii stężeń dobowych pyłu PM₁₀ z zaznaczonymi kierunkami wiatru – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 01.07–31.12.2019 r. 17
- Rysunek 7.** Róża stężeń pyłu PM₁₀ [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] oraz róża kierunków wiatru (okres: 23.02–31.12.2019 r.) wraz z lokalizacją punktu pomiarowego..... 18
- Rysunek 8.** Stężenie arsenu (As), kadmu (Cd), kobaltu (Co), niklu (Ni) i wanadu (V) [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)..... 21
- Rysunek 9.** Stężenie chromu (Cr), miedzi (Cu) i ołowiu (Pb) [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.) 22
- Rysunek 10.** Stężenie cynku (Zn) i glinu (Al) [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)..... 23
- Rysunek 11.** Stężenie wybranych WWA [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] (naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten) w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.) 27
- Rysunek 12.** Stężenie wybranych WWA [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] (piren, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten) w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)..... 28
- Rysunek 13.** Stężenie wybranych WWA [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] (benzo(a)piren, indeno(123-cd)piren, dibenzo(ah)antracen, benzo(ghi)perylene) w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)..... 29

Spis tabel

Tabela 1.	Wykaz próbek składanych pyłu PM ₁₀ z całego okresu pomiarowego (23.02–30.12.2019 r.).....	7
Tabela 2.	Wartości niepewności dla oznaczeń poszczególnych WWA.....	12
Tabela 3.	Statystyki opisowe średnich dobowych stężeń pyłu PM ₁₀ [μg·m ⁻³] w całym okresie pomiarowym (23.02 – 31.12.2019 r.) oraz w podziale na sezony i miesiące – punkt pomiarowy w Skawinie	13
Tabela 4.	Stężenie wybranych metali [ng·m ⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)	19
Tabela 5.	Stężenie wybranych WWA [ng·m ⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)	24

1. Cel i zakres badań

Celem badań była ocena jakości powietrza na terenie miasta Skawina, w szczególności pomiary stężeń pyłu PM₁₀ oraz związanych z nim metali i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA).

Raport zawiera analizę wyników pomiarów prowadzonych od 23.02.2019 do 31.12.2019 r., w trakcie których wykonano:

- Pomiary ciągłe stężeń pyłu PM₁₀ w 1 punkcie pomiarowym;
- Pomiary meteorologiczne w 1 punkcie pomiarowym;
- Oznaczenie zawartości wybranych metali – arsenu (As), kadmu (Cd), kobaltu (Co), chromu (Cr), miedzi (Cu), niklu (Ni), ołowiu (Pb), cynku (Zn), glinu (Al) i wanadu (V) w próbkach składanych (7 dni) pyłu PM₁₀;
- Oznaczenie zawartości 16 WWA, w tym benzo(a)pirenu (B(a)P), w próbkach składanych (7 dni) pyłu PM₁₀.

Wykaz próbek składanych, przeznaczonych do analizy na zawartość metali i WWA, zamieszczono w Tabeli 1. Ze względu na metodykę przygotowania próbek składanych (7 próbek dobowych), okres pomiarowy kończy się z dniem 30.12.2019 r. Należy zwrócić uwagę, że w niektórych przypadkach liczba dni wchodzących w tzw. próbkę składaną – tygodniową była niższa niż 7, ze względu na czasowe przerwy w dostawie energii elektrycznej lub niespełnienie wymogów jakościowych przez próbkę dobową.

Tabela 1. Wykaz próbek składanych pyłu PM₁₀ z całego okresu pomiarowego (23.02–30.12.2019 r.)

Nr próbki składanej	Data	Etap badań	Sezon (H – grzewczy; NH – niegrzewczy)
1	23.02-01.03.2019 r.	I	H
2	02.03-08.03.2019 r.	I	H
3	09.03-15.03.2019 r.	I	H
4	21.03-24.03.2019 r.	I	H
5	25.03-29.03.2019 r.	I	H
6	30.03-05.04.2019 r.	I	NH
7	06.04-12.04.2019 r.	I	NH
8	13.04-19.04.2019 r.	I	NH
9	20.04-25.04.2019 r.	I	NH
10	30.04-03.05.2019 r.	I	NH

Nr próbki składanej	Data	Etap badań	Sezon (H – grzewczy; NH – niegrzewczy)
11	04.05-09.05.2019 r.	I	NH
12	10.05-13.05.2019 r.	I	NH
13	14-20.05.2019 r.	II	NH
14	21-27.05.2019 r.	II	NH
15	28.05-03.06.2019 r.	II	NH
16	04-10.06.2019 r.	II	NH
17	11-17.06.2019 r.	II	NH
18	18-24.06.2019 r.	II	NH
19	25.06-01.07.2019 r.	II	NH
20	02-08.07.2019 r.	II	NH
21	09-15.07.2019 r.	II	NH
22	16-22.07.2019 r.	II	NH
23	23-29.07.2019 r.	II	NH
24	30.07-05.08.2019 r.	II	NH
25	06-12.08.2019 r.	II	NH
26	13-16,19.08.2019 r.	II	NH
27	20-26.08.2019 r.	II	NH
28	27.08-01.09.2019 r.	II	NH
29	03-05,07-09.09.2019 r.	II	NH
30	10-16.09.2019 r.	II	NH
31	17-23.09.2019 r.	II	NH
32	24-30.09.2019 r.	II	NH
33	01-07.10.2019 r.	II	H
34	08.09.11-14.10.2019 r.	II	H
35	15-21.10.2019 r.	II	H
36	22-28.10.2019 r.	II	H
37	29.10-04.11.2019 r.	II	H
38	05-11.11.2019 r.	II	H
39	12-18.11.2019 r.	II	H
40	19-25.11.2019 r.	II	H
41	26.11-02.12.2019 r.	II	H
42	03-09.12.2019 r.	II	H
43	10-16.12.2019 r.	II	H
44	17-23.12.2019 r.	II	H
45	24-30.12.2019	II	H

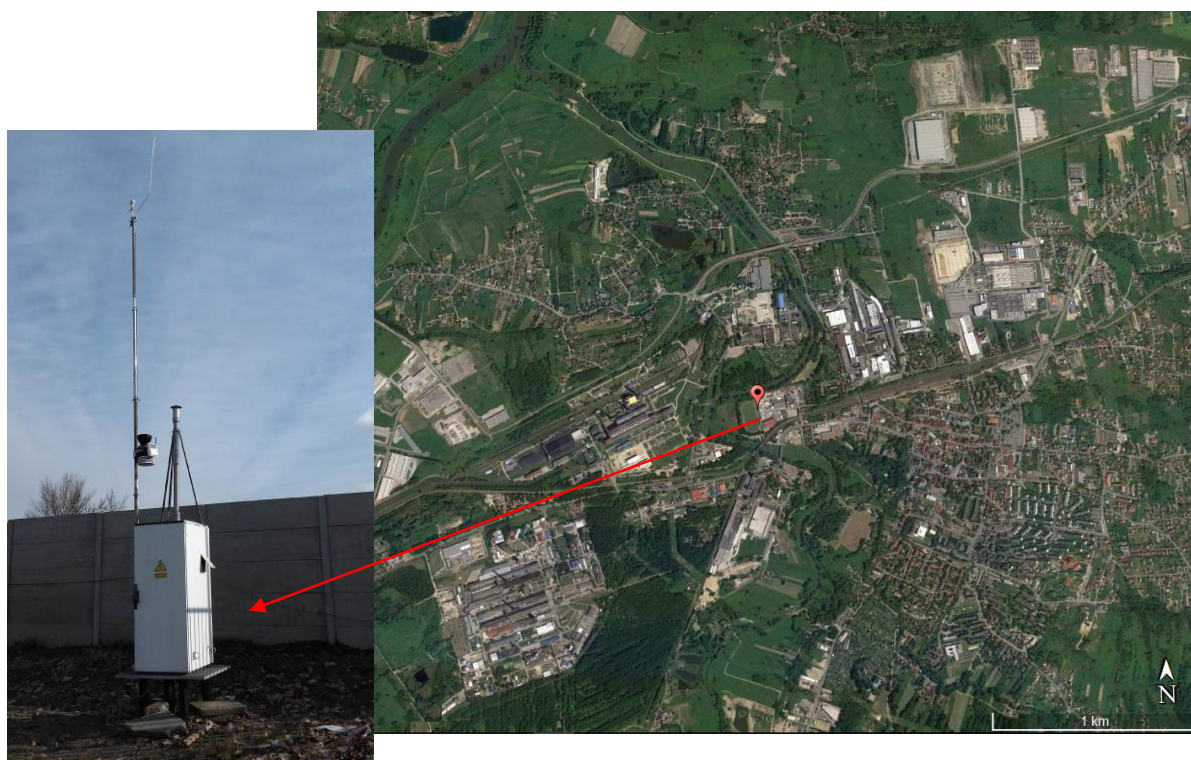
W opracowaniu zamieszczono również wykresy przebiegu zmienności stężeń pyłu PM₁₀, oraz zestawienia parametrów statystycznych dla całej serii pomiarowej oraz wyników oznaczeń wybranych substancji w pobranym pyłe.

2. Metodyka badań

2.1 Pomiar stężeń pyłu PM₁₀

Pomiary stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wykonywano metodą grawimetryczną, zgodnie z normą PN-EN 12341-2014-07. Badania prowadzono w okresie 23.02-31.12.2019 r. w punkcie pomiarowym zlokalizowanym na terenie Stadionu Miejskiego w Skawinie (ul. A. Mickiewicza 27, 32-050 Skawina) (Rysunek 1). Do poboru dobowych próbek PM₁₀ wykorzystano referencyjny pobornik nisko-przepływowy μ PNS LVS16 (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 QMA, średnica: 47 mm). Do uzyskania frakcji pyłu PM₁₀ wykorzystywano głowicę separacyjną, której konstrukcja została opisana we wspomnianej normie.



Rysunek 1. Lokalizacji stacji pomiarowej (N: 49.976647; E: 19.813679) oraz widok na pobornik nisko-przepływowy μ PNS LVS16 firmy MCZ

Przed ważeniem filtry nieobciążone (przed ekspozycją) były kondycjonowane w pokoju wagowym, w kabinie laminarnej, w stałych warunkach temperatury i wilgotności, przez minimum 48 godzin. Zważone filtry nieobciążone umieszczano w oprawkach i wkładano do specjalnych kaset transportowo-pomiarowych, w celu zabezpieczenia ich w trakcie transportu przed ewentualnymi zanieczyszczeniami zawartymi w powietrzu. Filtry zapakowane w ten sposób przewożono do punktu pomiarowego i umieszczano w poborniku pyłu (cykl 2-tygodniowy).

Po 14-dniowym czasie ekspozycji, filtry w kasetach i izotermicznym kontenerze transportowano do siedziby IPIŚ PAN w Zabrze. 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 NPI 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 i wilgotności. Po zważeniu filtry do analiz były konfekcjonowane (cięte nożem cyrkonowym lub wykrojnikiem prostokątnym), 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, wilgotność, promieniowanie całkowite, wysokość opadu). Dane o kierunku i prędkości wiatru, uzyskane z okresu 23.02–31.12.2019 r., posłużyły do sporządzenia róży kierunków wiatru i róży stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀.

2.2 Oznaczanie metali w pyle PM₁₀

Oznaczenie zawartości metali w PM₁₀ poprzedzała mineralizacja filtrów z pyłem. W tym celu filtry cięto na połówki za pomocą wykrojnika ceramicznego. Połówki filtrów z okresu tygodnia (7 połówek) przenoszono następnie do naczyń teflonowych i mineralizowano w mieszaninie kwasu azotowego oraz nadtlenu wodoru. Próbę ślepą stanowiły próba ślepa transportowa (jedna połówka czystego filtra) oraz próba ślepa laboratoryjna (7 połówek

czystych filtrów). Mineralizację przeprowadzono przy użyciu mineralizatora mikrofalowego MULTIWAVE 3000 firmy Anton Paar. Łączny czas mineralizacji wynosił 60 minut.

Metale w próbkach – As, Cd, Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn, V, oznaczane były metodą ICP-MS. Oznaczanie analitów przeprowadzono zgodnie z zakresem akredytacji Laboratorium IPIŚ PAN (Załącznik 1) – PB18: Zastosowanie spektrometrii mas z plazmą wzbudzoną indukcyjnie ICP-MS, opartą na normie: PN-EN ISO 17294-1 i PN-EN ISO 17294-2. Do tego celu wykorzystano spektrometr ICP-MS Elan 6100 DRC-e Perkin Elmer. Glin (Al) oznaczano na spektrometrze ICP-OES firmy Perkin Elmer AVIO 200.

Niezależnie od metody, zarówno w trakcie analiz jak i podczas walidacji wyników, wykorzystywano certyfikowane wzorce (Fluka Analytical, Merck – ICP-MS; LGC, ULTRA Scientific – ICP-OES) i gazy, inne odczynniki o wysokiej czystości (suprapur) oraz certyfikowane materiały referencyjne (NIST SRM 1648a). Wartości niepewności rozszerzonej, określone dla wybranych metali, wynosiły: 32.6% (As), 19.26% (Cd), 19.52% (Pb), 28.5% (Ni), 27.26% (Co), 34.53% (Cr), 25.64% (Cu), 16.89% (V).

2.3 Oznaczanie WWA w pyłe PM₁₀

Do oznaczania wybranych WWA – naftalen (Na), acenaftylen (Acy), acenaften (Ace), fluoren (Fl), fenantren (Phen), antracen (An), fluoranten (Fluo), piren (Pyr), benzo(a)antracen (B(a)A), chryzen (Chry), benzo(b)fluoranten (B(b)F), benzo(k)fluoranten (B(k)F), benzo(a)piren (B(a)P), indeno(1,2,3-cd)piren (I(cd)P), dibenzo(a,h)antracen (D(ah)A), benzo(g,h,i)terylen (B(ghi)P), w próbkach PM₁₀ wykorzystano chromatograf gazowy z detektorem masowym (Shimadzu GCMS-QP2010 plus). Oznaczanie analitów przeprowadzono zgodnie z zakresem akredytacji Laboratorium IPIŚ PAN (Załącznik 1) – PB22: Oznaczanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w glebie i pyłe metodą chromatografii gazowej z detekcją mas, opartą na normach PN-EN 15549 i PN-EN 15980:2011.

Próbki filtrów przeznaczone do analizy przechowywano w szczelnie zamkniętych naczyniach i chroniono przed dostępem światła. Ekstrakcję prowadzono w łaźni ultradźwiękowej, a zateżnienie ekstraktu – w wyparce próżniowej, wg instrukcji obsługi, do objętości 1 ml. Tak przygotowaną próbę poddawano analizie chromatograficznej jakościowej i ilościowej.

Oznaczenie wykonywano zgodnie z instrukcją obsługi chromatografu. Objętość próbki wprowadzonej do dozownika chromatografu to 1 µl w trybie split 1:10. Analizę prowadzono z zastosowaniem programowanego przyrostu temperatury pracy kolumny. Całkowity czas analizy wynosił 40 minut. Identyfikację sygnału poszczególnych WWA wykonywano poprzez:

- porównanie czasu retencji WWA w mieszaninie wzorcowej, analizowanej w tych samych warunkach co próbka,
- porównanie stosunku masy do ładunku jonu (m/z) dla danego jonu molekularnego WWA w mieszaninie wzorcowej do pików w analizowanej próbce.

Podczas analizy stosowano odczynniki o czystości co najmniej czysty do analiz (cz.d.a.). Ekstrakcję dla próbki ślepej prowadzono w identyczny sposób jak dla prób badanych. Do określenia odzysku używano próbki wody rzeczywistej z dodatkiem wzorca WWA (0.3 µg) oraz deuterowanego wzorca w metanolu (0.1 µg). Wartości niepewności dla oznaczeń przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2. Wartości niepewności dla oznaczeń poszczególnych WWA

Związek	Niepewność [%]
Naftalen	16.8
Acenaftylen	25.3
Acenaften	21.4
Fluoren	20.9
Fenantren	19.0
Antracen	29.5
Fluoranten	21.1
Piren	23.8
Benzo(a)antracen	29.4
Chryzen	24.7
Benzo(b)fluoranten	25.0
Benzo(k)fluoranten	33.3
Benzo(a)piren	31.8
Indeno(1,2,3-cd)piren	29.9
Dibenzo(a,h)antracen	32.4
Benzo(g,h,i)terylen	31.7

W/w niepewności spełniają wymogi Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2018 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z dnia 11.06.2018 r., poz. 1119).

3. Wyniki badań

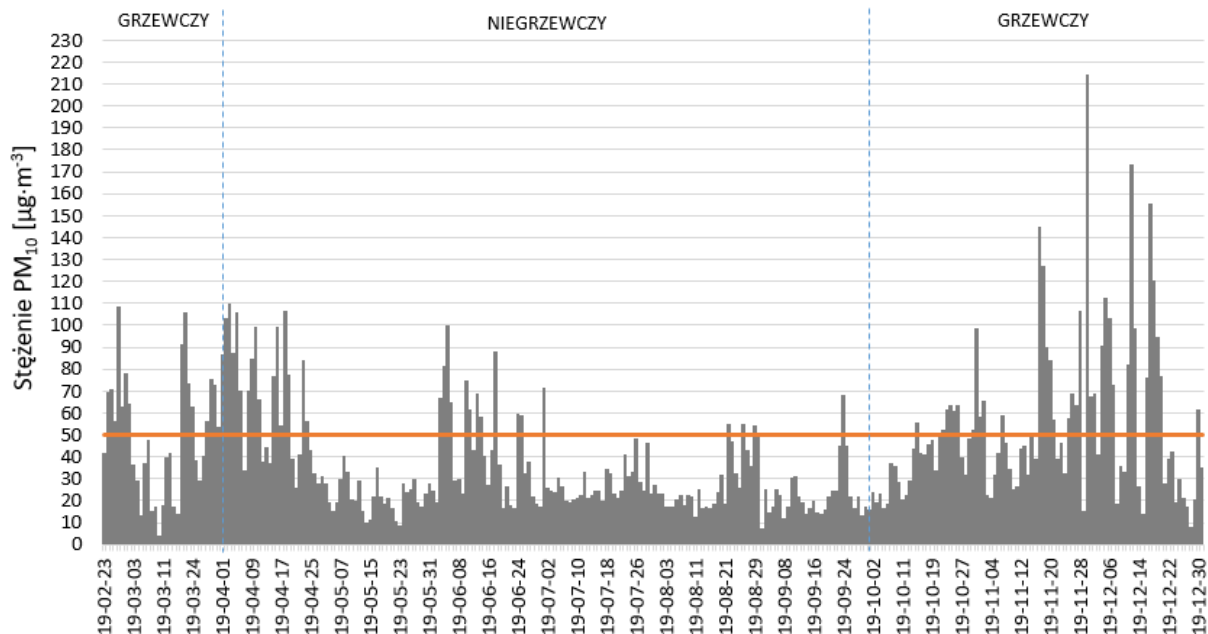
3.1 Stężenia pyłu PM₁₀

W Tabeli 3 przedstawiono statystyki podstawowe dla średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀, mierzonych w punkcie pomiarowym na terenie miasta Skawina w okresie 23.02–31.12.2019 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). Wyniki oznaczeń laboratoryjnych IPIŚ PAN zamieszczono w Załączniku 2.

Tabela 3. Statystyki opisowe średnich dobowych stężeń pyłu PM₁₀ [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] w całym okresie pomiarowym (23.02 – 31.12.2019 r.) oraz w podziale na sezony i miesiące – punkt pomiarowy w Skawinie

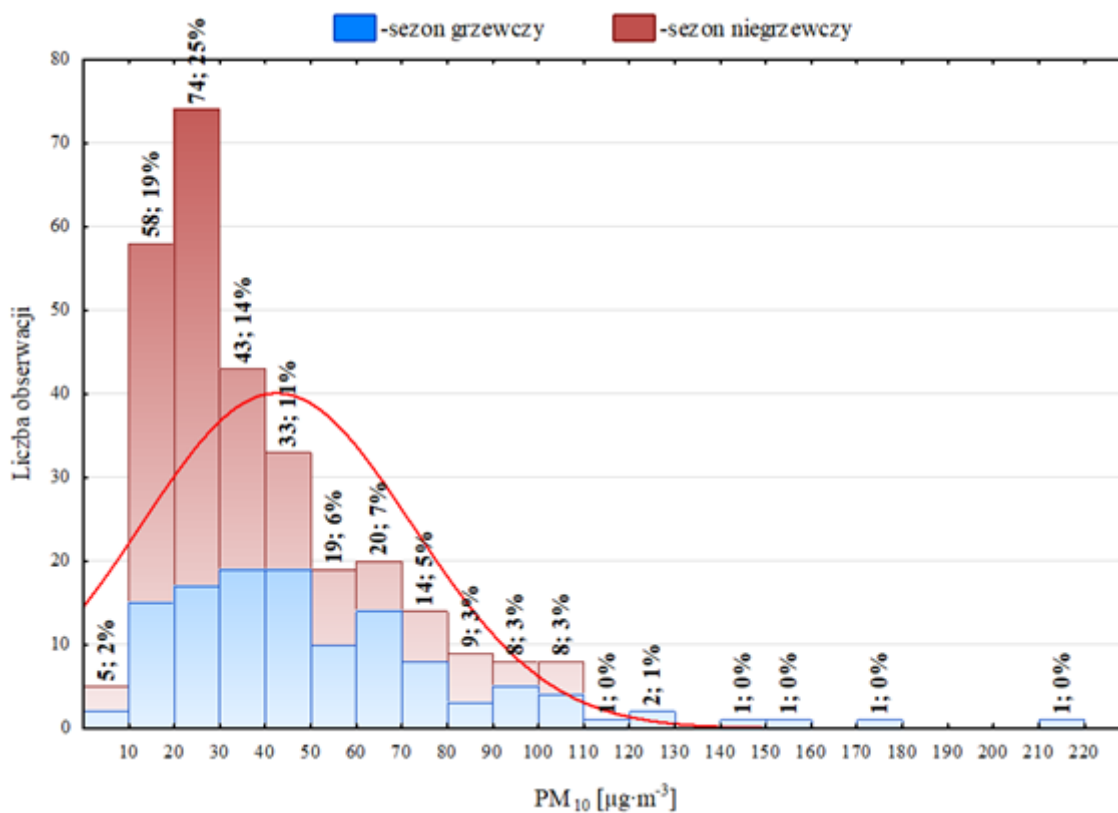
Wyszczególnienie	Średnia	Odchylenie	Min	Max	Mediana	Ilość przekroczeń wartości dopuszczalnej*
Cały okres	42.28	29.66	4.03 (2019-03-10)	214.59 (2019-11-30)	32.25	85
Sezon grzewczy	52.68	34.70	4.03 (2019-03-10)	214.59 (2019-11-30)	43.54	51
Sezon niegrzewczy	34.97	22.96	7.49 (2019-08-31)	109.84 (2019-04-03)	25.42	34
Luty 2019 r.	68.35	22.37	42.04 (2019-02-23)	108.68 (2019-02-27)	66.36	5
Marzec 2019 r.	45.13	26.75	4.03 (2019-03-10)	105.62 (2019-03-22)	40.04	10
Kwiecień 2019 r.	68.23	27.14	25.80 (2019-04-21)	109.84 (2019-04-03)	70.34	17
Maj 2019 r.	22.64	7.68	8.95 (2019-05-23)	40.51 (2019-05-08)	21.61	0
Czerwiec 2019 r.	43.57	23.90	16.35 (2019-06-20)	99.95 (2019-06-05)	37.04	11
Lipiec 2019 r.	28.80	10.79	19.40 (2019-07-08)	71.32 (2019-07-01)	24.71	1
Sierpień 2019 r.	27.30	13.58	7.49 (2019-08-31)	54.85 (2019-08-22)	22.72	4
Wrzesień 2019 r.	23.28	12.02	11.85 (2019-09-08)	67.97 (2019-09-24)	20.79	1
Październik 2019 r.	40.75	18.41	15.99 (2019-10-01)	98.39 (2019-10-31)	40.44	8
Listopad 2019 r.	59.63	42.26	15.57 (2019-11-29)	214.59 (2019-11-30)	46.35	13
Grudzień 2019 r.	60.80	42.50	8.35 (2019-12-28)	173.05 (2019-12-12)	42.28	15

* 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 RMS z dn. 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r. poz. 1031))

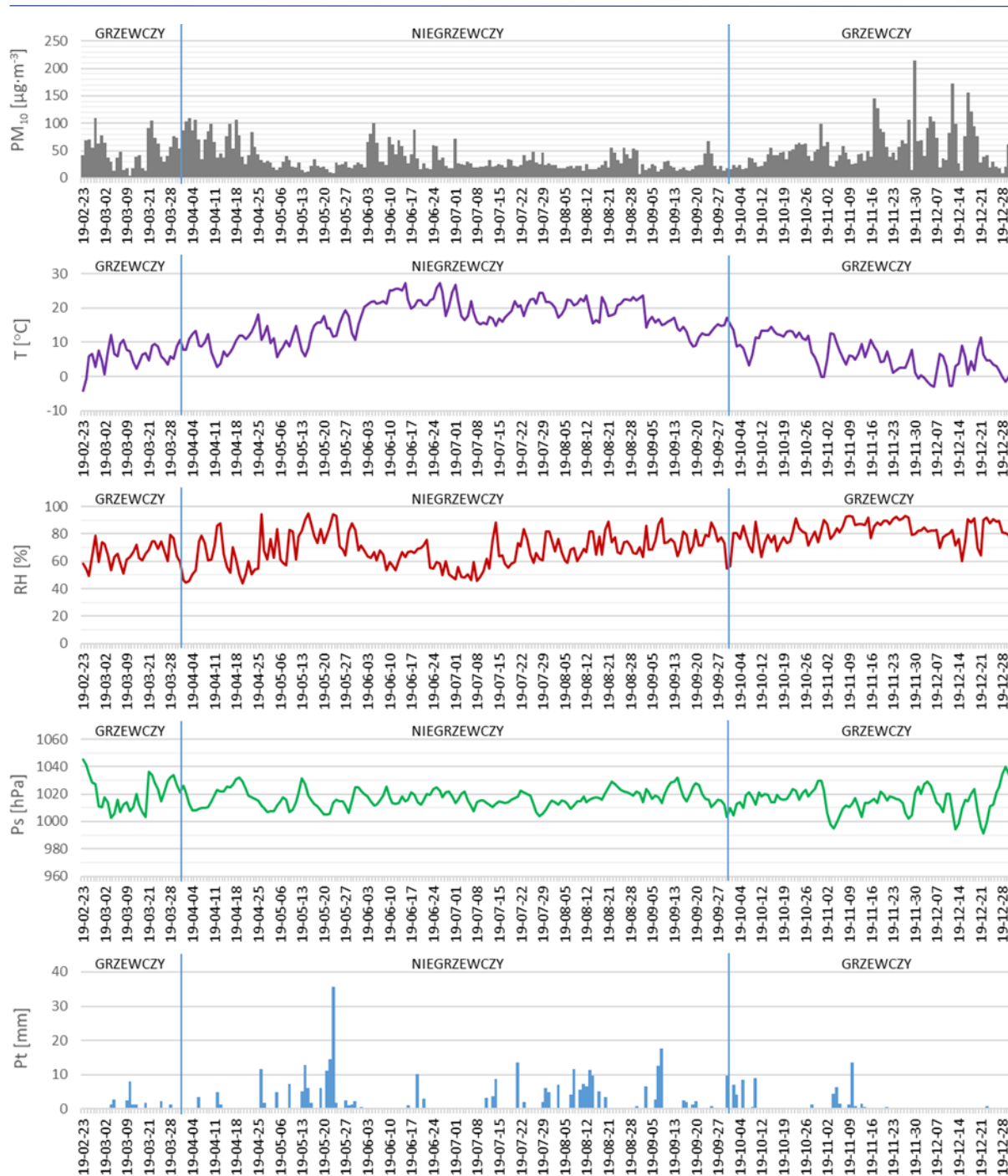


Rysunek 2. Przebieg serii stężeń dobowych pyłu zawieszonego PM₁₀ – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 23.02–31.12.2019 r.

(linią pomarańczową oznaczono wartość dopuszczalną dla średniego dobowego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ (Dyrektywa 2008/50/WE))

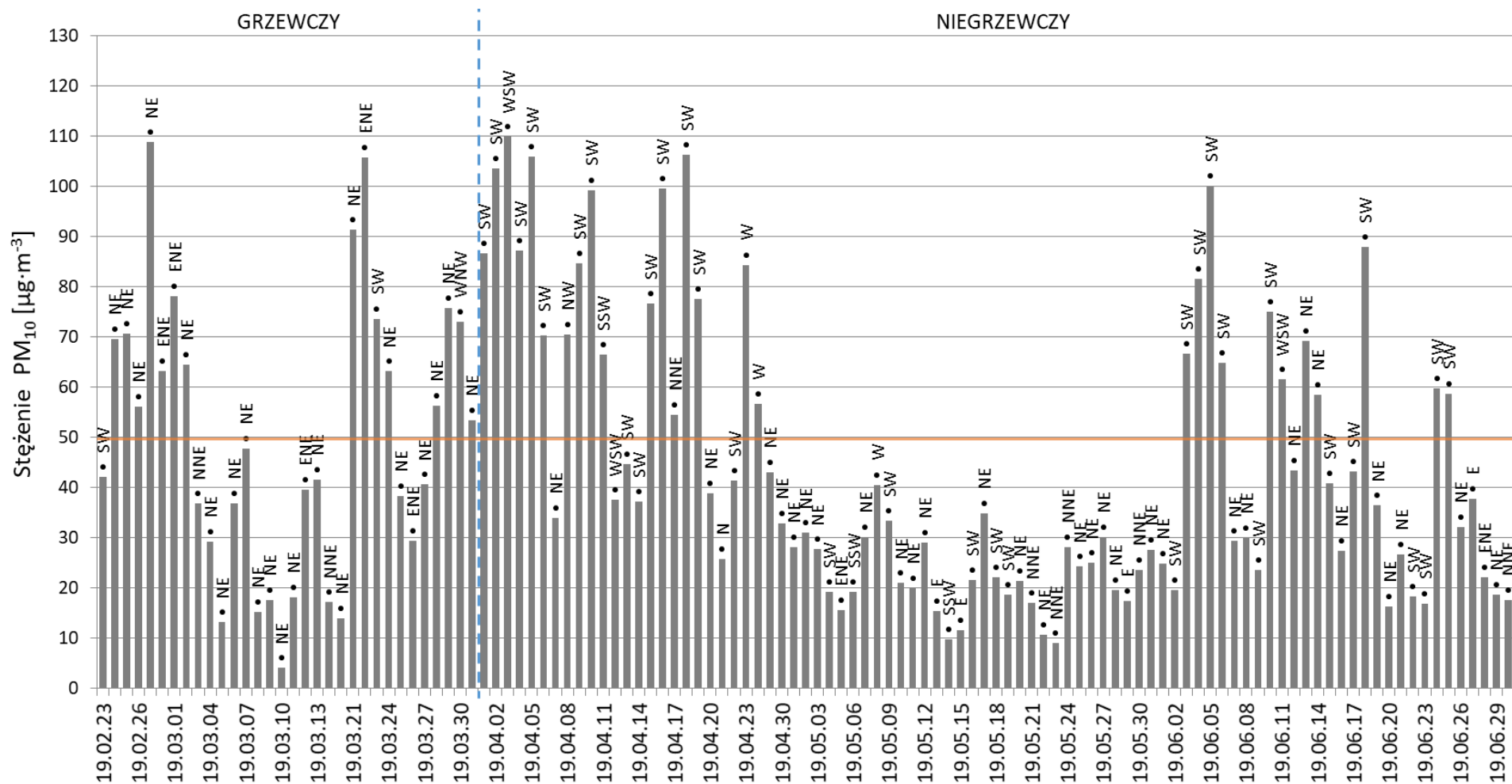


Rysunek 3. Rozkład częstości średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 23.02–31.12.2019 r.



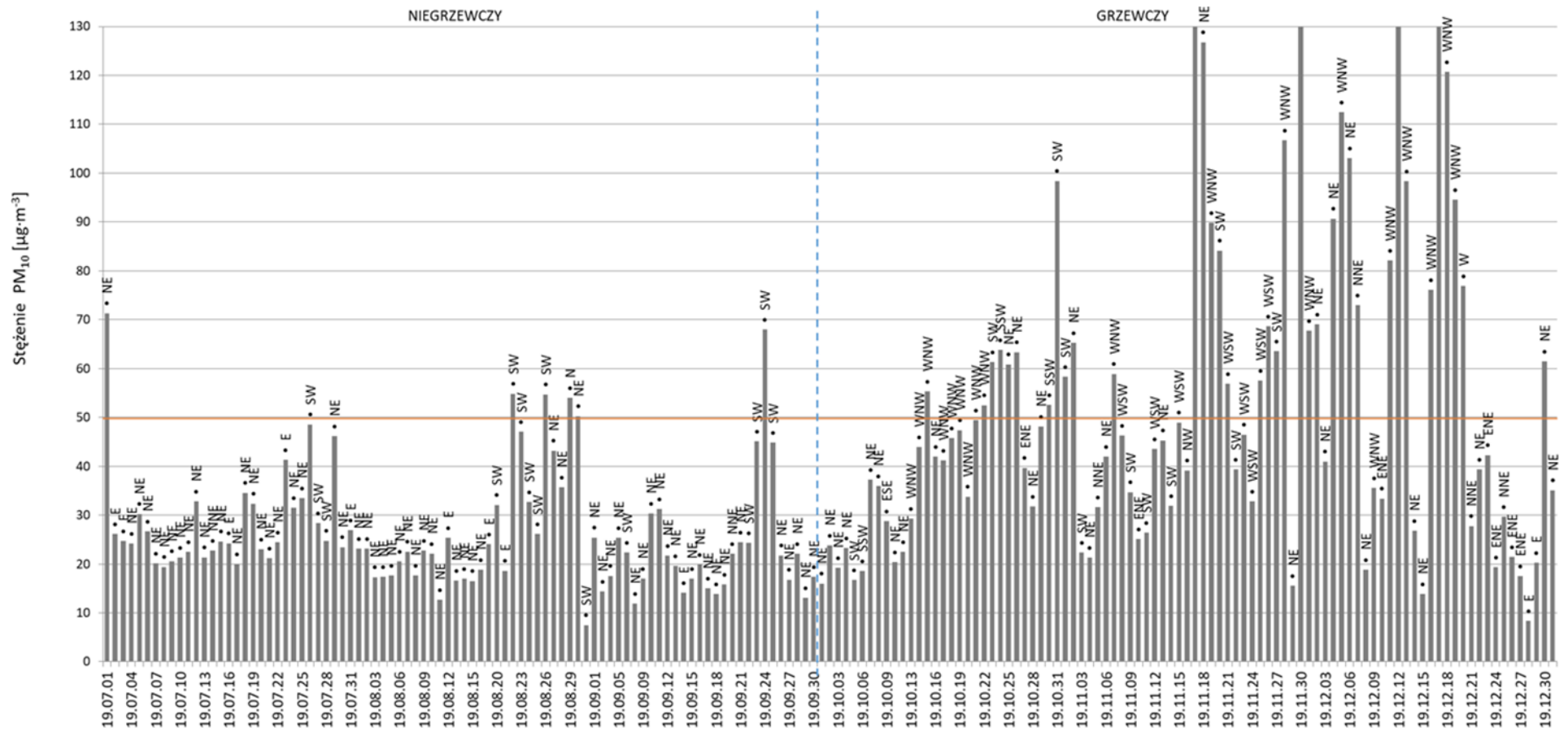
Rysunek 4. Zmienność średnich dobowych stężeń PM₁₀ na tle zmienności podstawowych parametrów meteorologicznych – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 23.02–31.12.2019 r.

(Oznaczenia: T – temperatura powietrza; 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: 23.02–30.06.2019 r.

(linią pomarańczową oznaczono wartość dopuszczalną dla średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ (na podstawie RMS z dn. 24 sierpnia 2012 r., Dz. U. z 2012 r. poz. 1031))



Rysunek 6. Przebieg serii stężeń dobowych pyłu PM₁₀ z zaznaczonymi kierunkami wiatru – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 01.07–31.12.2019 r.

(linią pomarańczową oznaczono wartość dopuszczalną dla średniego rocznego stężenia pyłu zawieszono PM₁₀ (na podstawie RMS z dn. 24 sierpnia 2012 r., Dz. U. z 2012 r. poz. 1031))



Rysunek 7. Róża stężeń pyłu PM₁₀ [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] oraz róża kierunków wiatru (okres: 23.02–31.12.2019 r.) wraz z lokalizacją punktu pomiarowego

3.2 Stężenia wybranych metali w pyłe PM₁₀

W Tabeli 4 zestawiono średnie tygodniowe stężenia wybranych metali oznaczanych w pyłe PM₁₀ ze Skawiny w okresie 23.02–30.12.2019 r. Graficzną prezentację uzyskanych wyników pokazano na Rysunkach 8-10. Wyniki oznaczeń laboratoryjnych IPIŚ PAN zamieszczono w Załączniku 2.

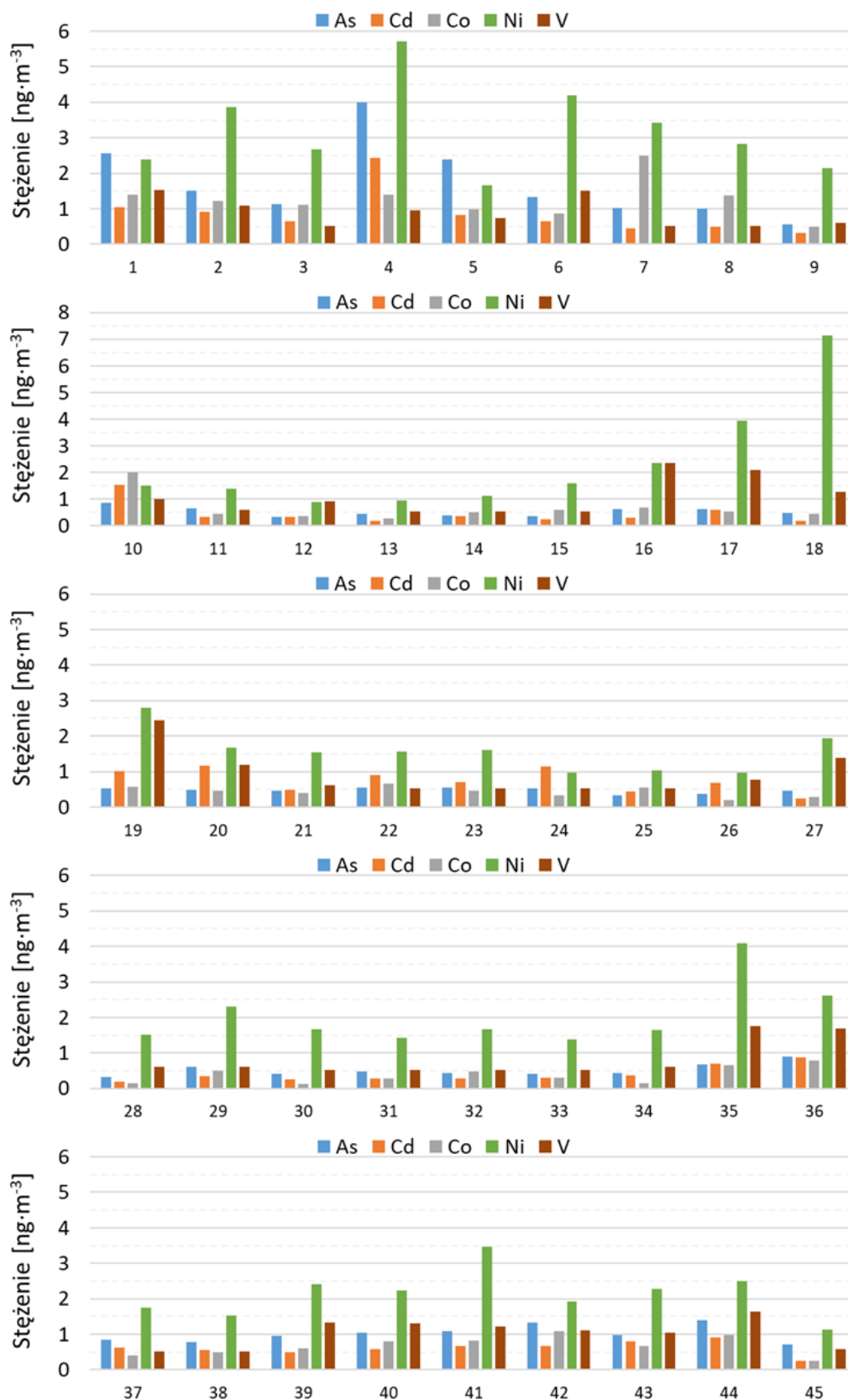
Tabela 4. Stężenie wybranych metali [ng·m⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)

Nr próbki łączonej	Stężenie metali [ng·m ⁻³] w poszczególnych okresach pomiarowych										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Al	Pb	V	Suma metali
1	2.56	1.05	1.40	6.88	13.79	2.40	81.04	561.14	27.27	1.53	699.06
2	1.51	0.91	1.22	12.31	26.30	3.87	57.29	536.26	10.55	1.09	651.46
3	1.14	0.65	1.10	9.02	16.99	2.68	47.21	395.49	8.68	0.52	483.46
4	2.17	1.32	0.75	8.22	24.51	3.10	58.59	283.24	15.68	0.96	733.67
5	1.70	0.59	0.69	3.01	7.99	1.18	41.14	316.94	14.78	0.73	544.18
6	1.34	0.66	0.87	21.91	21.36	4.19	114.50	984.74	19.60	1.50	1170.63
7	1.03	0.46	2.50	7.47	10.89	3.42	65.41	657.06	12.42	0.52	761.43
8	1.00	0.50	1.36	7.04	11.55	2.83	70.07	643.32	15.24	0.52	753.43
9	0.49	0.27	0.42	8.96	6.63	1.84	38.96	598.78	10.94	0.60	779.08
10	0.44	0.78	1.03	1.89	2.15	0.77	20.17	178.28	11.10	1.01	424.09
11	0.56	0.27	0.38	3.17	6.21	1.18	28.80	197.05	9.75	0.60	289.20
12	0.19	0.19	0.21	1.74	2.53	0.50	15.45	130.50	5.76	0.91	275.75
13	0.45	0.19	0.26	3.10	5.35	0.93	20.89	214.87	6.52	0.52	253.09
14	0.39	0.35	0.50	3.95	5.58	1.13	15.95	196.42	6.29	0.52	231.08
15	0.37	0.25	0.59	4.64	6.91	1.59	21.36	185.26	8.24	0.52	229.72
16	0.61	0.30	0.69	21.47	10.64	2.35	25.42	349.95	7.25	2.34	421.02
17	0.61	0.60	0.52	27.62	8.82	3.93	26.08	708.69	6.55	2.10	785.53
18	0.47	0.19	0.46	11.45	8.38	7.13	19.92	800.74	4.08	1.28	854.10
19	0.53	1.01	0.58	11.54	9.17	2.79	25.13	324.31	5.58	2.44	383.08
20	0.49	1.18	0.45	4.22	8.68	1.67	27.32	998.06	5.11	1.18	1048.37
21	0.46	0.49	0.39	4.40	7.09	1.53	23.25	592.49	4.60	0.62	635.33
22	0.55	0.91	0.66	4.05	7.61	1.55	18.21	336.05	3.92	0.52	374.02
23	0.55	0.71	0.47	6.13	7.27	1.61	20.49	366.35	4.43	0.52	408.53
24	0.52	1.14	0.33	3.45	6.24	0.98	22.51	338.04	3.76	0.52	377.48
25	0.33	0.44	0.56	2.61	6.36	1.03	12.29	342.72	2.39	0.52	369.24
26	0.38	0.68	0.19	3.26	8.99	0.96	15.88	351.83	2.81	0.78	385.76
27	0.47	0.24	0.28	8.10	8.90	1.93	23.68	152.74	3.18	1.38	200.88
28	0.33	0.19	0.15	6.59	7.48	1.52	15.91	533.33	2.07	0.61	568.18
29	0.61	0.34	0.49	9.01	9.14	2.31	24.43	264.62	4.14	0.60	315.69
30	0.40	0.27	0.13	6.81	6.39	1.66	19.16	377.99	2.45	0.52	415.78
31	0.48	0.27	0.28	3.70	5.89	1.43	26.61	255.84	3.53	0.52	298.55
32	0.42	0.28	0.48	5.96	8.48	1.66	23.38	487.91	2.84	0.52	531.92
33	0.41	0.30	0.30	4.00	6.65	1.37	24.47	247.81	5.98	0.52	291.81
34	0.44	0.36	0.15	5.12	7.95	1.64	30.49	295.77	7.82	0.60	350.33

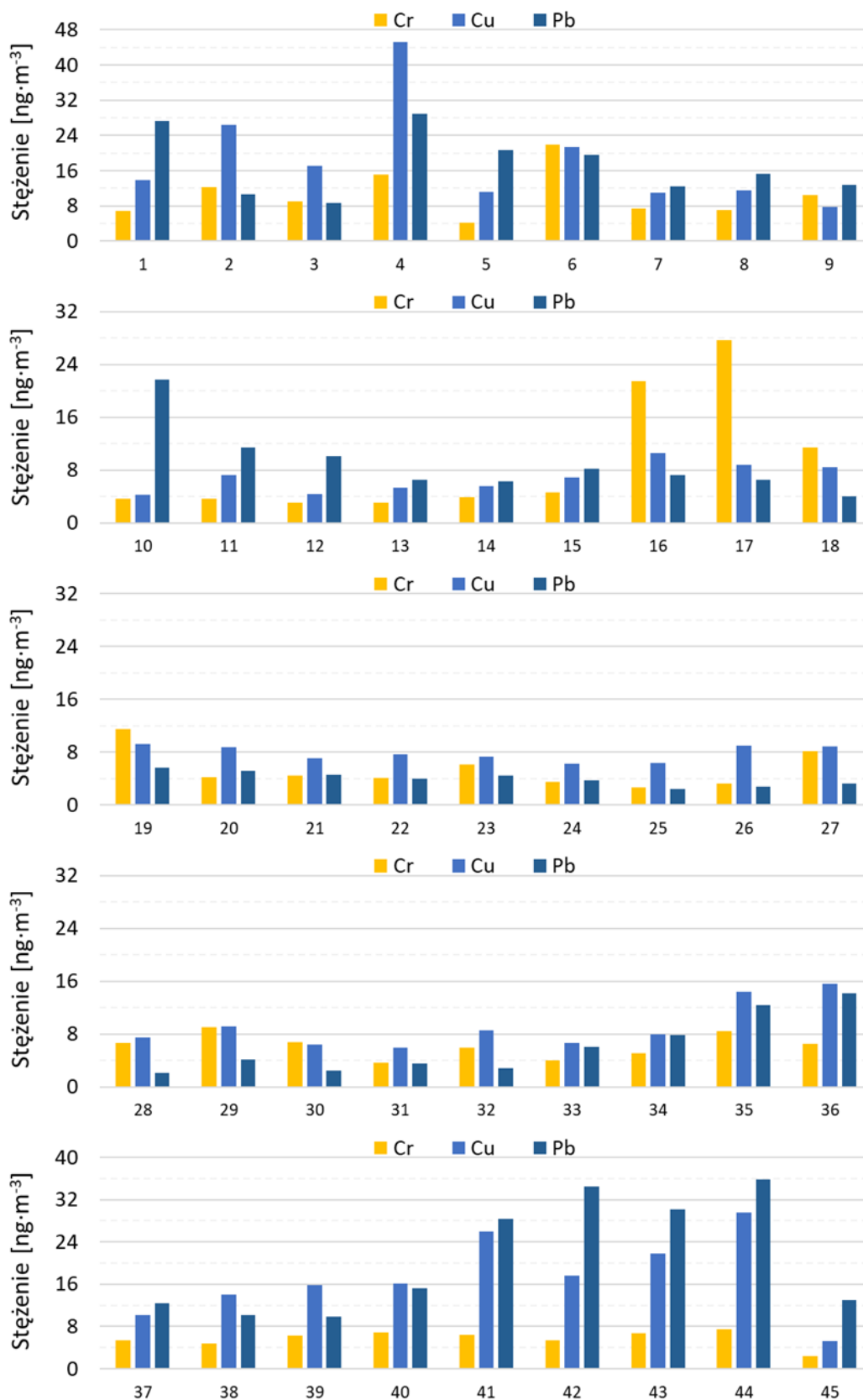
Sprawozdanie z pracy nr C2-910/2019/NP-I
Wykonanie kampanii pomiarowej zanieczyszczeń powietrza: pomiary ciągłe stężeń pyłu PM₁₀

Nr próbki łączonej	Stężenie metali [ng·m ⁻³] w poszczególnych okresach pomiarowych										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Al	Pb	V	Suma metali
35	0.67	0.70	0.65	8.48	14.41	4.09	47.36	498.66	12.31	1.76	589.09
36	0.90	0.88	0.78	6.52	15.65	2.62	47.62	357.33	14.16	1.68	448.14
37	0.86	0.63	0.41	5.31	10.20	1.74	41.22	329.60	12.37	0.52	402.87
38	0.77	0.56	0.49	4.81	14.07	1.52	36.65	202.01	10.10	0.52	271.51
39	0.95	0.50	0.60	6.26	15.88	2.41	46.74	522.15	9.84	1.33	606.68
40	1.05	0.58	0.80	6.91	16.19	2.24	63.08	394.45	15.18	1.32	501.80
41	1.10	0.67	0.83	6.43	25.93	3.47	56.53	405.02	28.42	1.22	529.63
42	1.33	0.67	1.09	5.34	17.63	1.92	58.59	413.21	34.53	1.11	535.41
43	0.97	0.79	0.67	6.74	21.78	2.28	60.67	430.92	30.18	1.04	556.06
44	1.39	0.91	0.99	7.47	29.55	2.49	71.03	456.24	35.77	1.65	607.49
45	0.71	0.26	0.26	2.41	5.19	1.14	18.15	170.10	13.02	0.58	211.80
Cały okres											
Średnia	0.85	0.62	0.68	7.39	11.90	2.25	39.49	425.57	11.53	0.95	501.23
Odchylenie	0.68	0.41	0.48	5.25	7.94	1.27	23.87	198.45	9.17	0.53	219.90
Minimum	0.33	0.19	0.13	2.41	4.21	0.88	12.29	152.74	2.07	0.52	200.88
Maksimum	4.00	2.43	2.50	27.62	45.17	7.13	114.50	998.06	35.77	2.44	1170.63
Mediana	0.61	0.56	0.52	6.26	8.90	1.74	27.32	377.99	8.68	0.62	448.14
Sezon grzewczy											
Średnia	1.29	0.76	0.78	6.86	17.47	2.51	52.98	399.01	18.10	1.04	500.80
Odchylenie	0.89	0.47	0.38	3.01	9.62	1.15	20.94	114.59	9.97	0.44	147.26
Minimum	0.41	0.26	0.15	2.41	5.19	1.14	18.15	170.10	5.98	0.52	211.80
Maksimum	4.00	2.43	1.40	15.15	45.17	5.72	107.97	561.14	35.77	1.76	733.67
Mediana	1.01	0.67	0.79	6.48	15.76	2.34	52.07	409.12	13.59	1.07	532.52
Sezon niegrzewczy											
Średnia	0.56	0.52	0.61	7.75	8.18	2.08	30.49	443.28	7.14	0.90	501.52
Odchylenie	0.24	0.35	0.54	6.35	3.21	1.34	21.62	239.27	5.25	0.59	260.10
Minimum	0.33	0.19	0.13	2.61	4.21	0.88	12.29	152.74	2.07	0.52	200.88
Maksimum	1.34	1.52	2.50	27.62	21.36	7.13	114.50	998.06	21.67	2.44	1170.63
Mediana	0.49	0.35	0.48	5.96	7.61	1.61	23.68	349.95	5.11	0.60	408.53

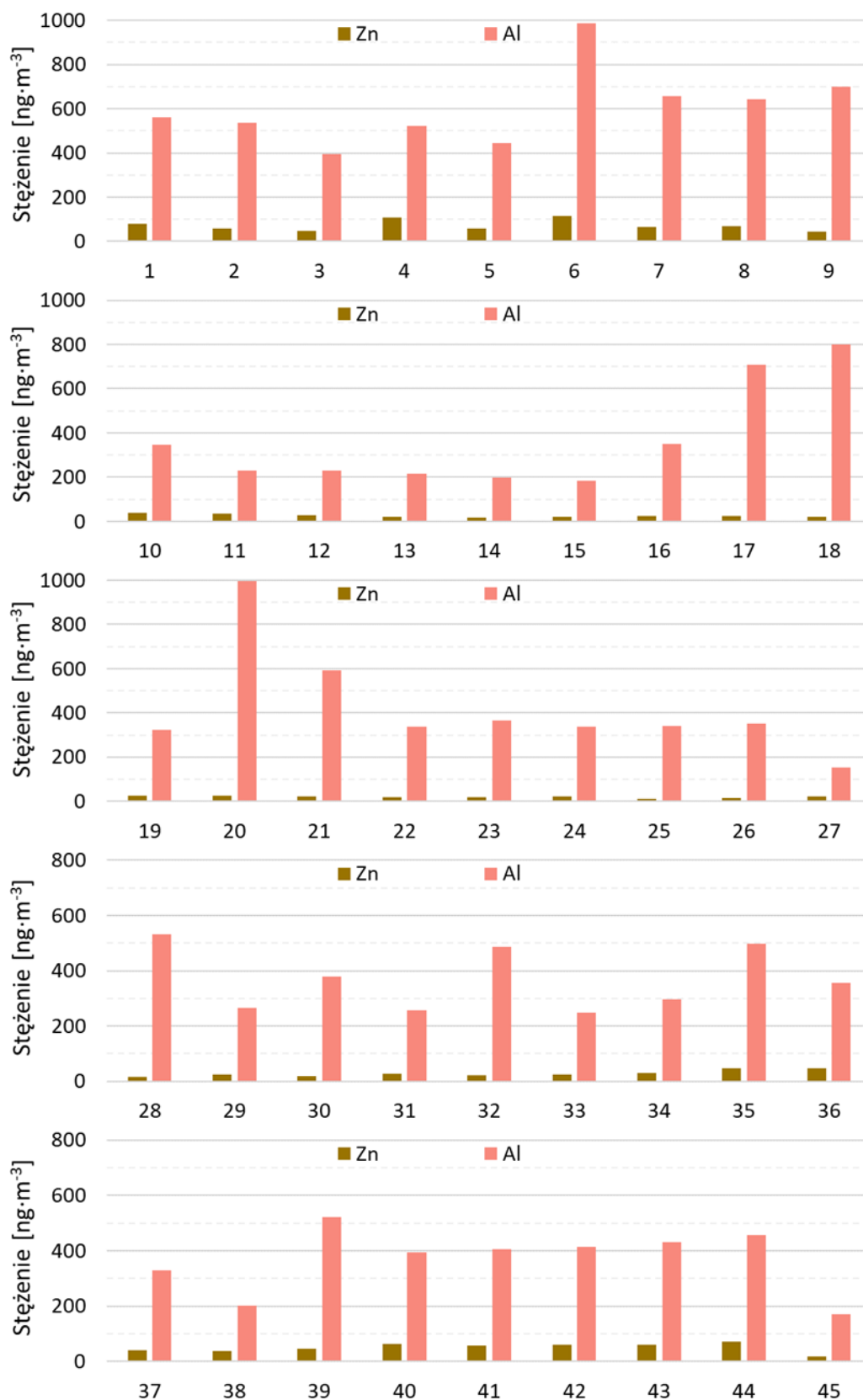
Czcionką pogrubioną zaznaczono pierwiastki dla których ustanowiono wartości docelowe (As (6 ng·m⁻³), Cd (5 ng·m⁻³), Ni (20 ng·m⁻³)) lub dopuszczalne (Pb (500 ng·m⁻³)) (na podstawie RMS z dn. 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r. poz. 1031))



Rysunek 8. Stężenie arsenu (As), kadmu (Cd), kobaltu (Co), niklu (Ni) i wanadu (V) [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)



Rysunek 9. Stężenie chromu (Cr), miedzi (Cu) i ołowiu (Pb) [ng·m⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)



Rysunek 10. Stężenie cynku (Zn) i glinu (Al) [ng·m⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)

3.3 Stężenie wybranych WWA w pyłe PM₁₀

W Tabeli 5 zestawiono średnie tygodniowe stężenia WWA oznaczanych w pyłe PM₁₀ ze Skawiny w rozważanym okresie pomiarowym. Graficzną prezentację uzyskanych wyników pokazano na Rysunkach 11-13. Wyniki oznaczeń laboratoryjnych IPIŚ PAN zamieszczono w Załączniku 2.

Tabela 5. Stężenie wybranych WWA [ng·m⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)

Nr próbki łączonej	Stężenie WWA [ng·m ⁻³] w poszczególnych okresach pomiarowych																
	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	23.95	2.29	7.01	7.44	32.40	8.03	12.39	14.64	13.80	9.85	8.43	6.48	9.27	6.35	0.98	4.68	167.99
2	27.59	2.07	7.06	7.84	31.06	6.50	6.59	5.64	5.62	4.05	4.35	2.65	4.08	2.90	0.44	2.13	120.59
3	27.98	2.02	7.05	7.40	28.09	6.26	5.05	4.12	3.66	2.72	2.43	1.61	2.61	1.83	0.27	1.44	104.55
4	45.52	3.90	12.95	14.45	55.38	11.00	11.29	11.62	14.22	10.80	11.06	7.89	12.05	8.20	1.34	6.24	237.91
5	37.78	2.71	9.69	9.66	39.05	9.53	8.90	8.93	9.16	6.98	5.66	4.48	6.54	4.41	0.69	3.84	168.02
6	26.66	2.14	7.39	8.19	32.23	6.47	5.98	5.51	5.64	4.41	4.48	3.37	4.84	3.66	0.49	2.73	124.19
7	46.71	3.73	13.27	15.11	54.76	11.99	6.62	4.44	3.68	3.00	3.70	2.23	3.25	2.53	0.41	1.92	177.33
8	22.40	1.84	6.42	7.16	27.94	6.12	5.61	5.70	6.15	4.72	4.81	3.36	5.07	3.67	0.52	2.90	114.40
9	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	1.46	1.59	1.44	1.32	1.57	1.03	1.71	1.22	0.12	1.15	13.34
10	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	1.08	1.03	1.23	1.11	1.55	0.89	1.52	1.13	0.20	0.94	11.90
11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.40	0.12	1.53	1.58	1.81	1.51	1.74	1.07	1.78	1.32	0.12	1.12	14.56
12	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	1.18	1.18	1.13	1.09	1.34	0.69	1.29	0.94	0.18	0.94	11.05
13	0.50	0.28	0.28	0.63	0.77	0.43	1.23	1.09	0.36	1.31	2.60	1.47	1.77	1.54	0.99	1.58	16.82
14	0.50	0.26	0.26	0.62	0.67	0.40	0.95	0.81	0.10	1.02	2.04	1.31	1.50	1.32	0.94	1.36	14.06
15	0.49	0.25	0.27	0.64	0.60	0.38	0.75	0.61	0.10	0.84	1.73	1.22	1.36	1.16	0.92	1.22	12.53
16	0.53	0.24	0.27	0.62	0.52	0.37	0.49	0.36	0.10	0.60	1.13	1.07	1.07	0.84	0.88	0.97	10.08
17	0.52	0.24	0.29	0.65	0.58	0.39	0.59	0.43	0.10	0.59	1.07	1.06	1.06	0.82	0.88	0.94	10.21
18	0.55	0.25	0.27	0.64	0.50	0.37	0.51	0.37	0.10	0.62	1.08	1.06	1.06	0.78	0.88	0.90	9.96
19	0.49	0.24	0.27	0.59	0.47	0.37	0.41	0.28	0.10	0.51	0.91	1.02	1.00	0.70	0.86	0.83	9.06

Sprawozdanie z pracy nr C2-910/2019/NP-I
Wykonanie kampanii pomiarowej zanieczyszczeń powietrza: pomiary ciągłe stężeń pyłu PM₁₀

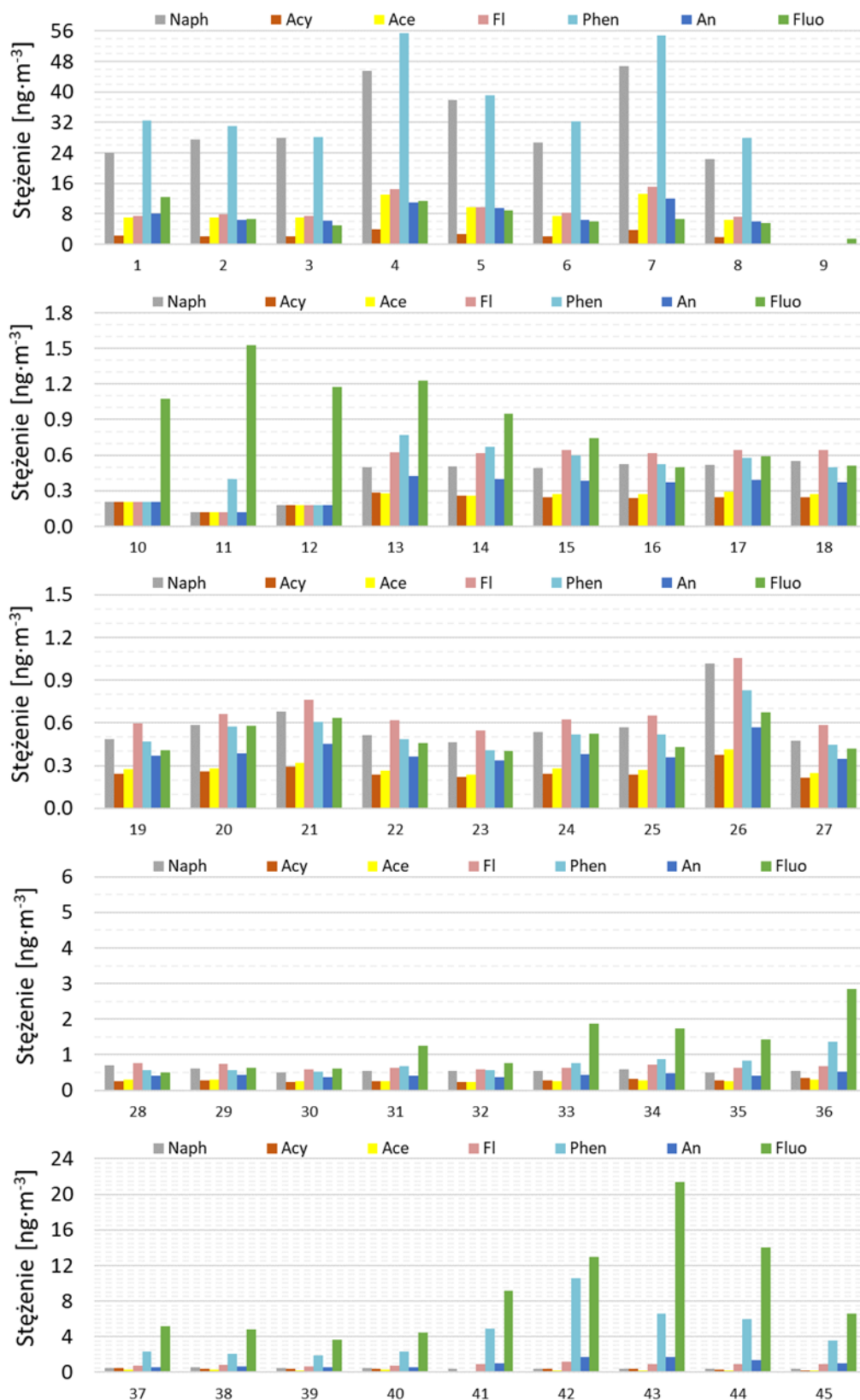
Nr próbki łącznie	Stężenie WWA [ng·m ⁻³] w poszczególnych okresach pomiarowych																
	Naph	Acy	Ace	Fl	Phen	An	Fluo	Pyr	B(a)A	Chry	B(b)F	B(k)F	B(a)P	I(cd)P	D(ah)A	B(ghi)P	Suma WWA
20	0.58	0.26	0.28	0.66	0.57	0.39	0.58	0.44	0.10	0.62	1.13	1.07	1.10	0.81	0.89	0.92	10.40
21	0.68	0.29	0.32	0.76	0.61	0.45	0.64	0.47	0.12	0.73	1.39	1.33	1.37	1.00	1.10	1.15	12.42
22	0.51	0.24	0.26	0.62	0.48	0.36	0.46	0.32	0.10	0.56	1.14	1.06	1.09	0.83	0.87	0.93	9.85
23	0.46	0.22	0.24	0.55	0.41	0.34	0.40	0.28	0.10	0.51	0.98	0.99	1.00	0.75	0.83	0.94	9.00
24	0.53	0.24	0.28	0.62	0.52	0.38	0.52	0.37	0.10	0.66	1.59	1.24	1.23	1.08	0.97	1.02	11.36
25	0.57	0.24	0.27	0.65	0.52	0.36	0.43	0.30	0.10	0.52	1.00	1.04	1.03	0.77	0.86	0.89	9.54
26	1.02	0.37	0.41	1.05	0.83	0.57	0.67	0.47	0.16	0.83	1.60	1.64	1.63	1.19	1.37	1.23	15.05
27	0.47	0.21	0.24	0.59	0.45	0.35	0.42	0.31	0.10	0.55	1.07	1.03	1.03	0.76	0.83	0.89	9.31
28	0.71	0.26	0.30	0.77	0.57	0.42	0.50	0.38	0.12	0.65	1.33	1.25	1.29	0.98	1.01	1.14	11.67
29	0.61	0.27	0.30	0.75	0.58	0.43	0.63	0.46	0.12	0.72	1.46	1.27	1.35	1.04	1.03	1.17	12.19
30	0.51	0.23	0.25	0.59	0.53	0.37	0.61	0.49	0.10	0.70	1.55	1.18	1.30	1.09	0.90	1.18	11.58
31	0.54	0.26	0.25	0.64	0.69	0.41	1.25	1.20	0.80	1.71	3.44	1.66	2.21	1.91	1.03	1.91	19.90
32	0.54	0.23	0.24	0.59	0.56	0.36	0.77	0.74	0.37	1.33	3.37	1.58	1.98	1.74	0.99	1.77	17.16
33	0.54	0.27	0.25	0.63	0.77	0.43	1.88	2.05	2.26	2.61	4.17	1.88	2.77	2.15	1.07	2.11	25.84
34	0.59	0.32	0.28	0.71	0.88	0.47	1.74	1.87	1.99	2.63	4.96	2.17	3.27	2.72	1.23	2.93	28.77
35	0.51	0.28	0.25	0.64	0.83	0.42	1.43	1.52	2.41	2.76	5.73	2.31	3.83	3.32	1.23	3.20	30.67
36	0.55	0.35	0.31	0.67	1.35	0.52	2.84	3.03	4.56	4.30	9.26	3.11	5.59	4.56	1.49	4.18	46.67
37	0.48	0.43	0.26	0.72	2.36	0.59	5.17	7.63	10.81	8.89	12.88	4.12	7.64	6.37	1.83	5.69	75.87
38	0.60	0.43	0.28	0.79	2.08	0.62	4.80	7.02	10.78	8.65	12.39	4.25	7.76	6.17	1.84	5.71	74.18
39	0.44	0.40	0.25	0.69	1.93	0.58	3.63	5.27	8.14	6.85	11.27	3.71	6.99	5.65	1.66	5.24	62.67
40	0.45	0.40	0.25	0.75	2.30	0.60	4.48	6.95	10.56	8.37	12.47	3.83	7.53	5.59	1.65	5.15	71.31
41	0.35	0.10	0.10	0.88	4.89	1.04	9.12	15.77	34.02	15.77	19.91	6.10	12.14	9.79	2.37	8.69	141.03
42	0.40	0.40	0.23	1.18	10.58	1.71	12.96	27.48	49.88	21.15	26.55	8.25	16.80	13.79	3.26	11.61	206.23
43	0.37	0.34	0.22	0.95	6.62	1.70	21.36	22.61	42.73	18.05	24.79	7.43	15.45	12.55	2.87	10.89	188.93
44	0.35	0.30	0.22	0.92	5.93	1.32	14.00	17.01	41.37	17.63	26.65	7.86	16.28	12.65	2.99	11.09	176.57
45	0.34	0.25	0.22	0.91	3.57	0.99	6.60	8.38	13.38	7.20	9.24	3.05	5.37	4.47	1.47	4.06	69.49

Sprawozdanie z pracy nr C2-910/2019/NP-I
Wykonanie kampanii pomiarowej zanieczyszczeń powietrza: pomiary ciągłe stężeń pyłu PM₁₀

Nr próbki łączonej	Stężenie WWA [ng·m ⁻³] w poszczególnych okresach pomiarowych																
	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
Cały okres																	
Średnia	6.14	0.68	1.78	2.26	7.94	1.90	3.79	4.50	6.75	4.27	5.84	2.63	4.26	3.31	1.11	2.97	60.14
Odchylenie	12.90	0.95	3.51	3.72	14.80	3.14	4.66	6.29	12.03	5.29	6.93	2.15	4.36	3.43	0.70	2.88	67.17
Minimum	0.12	0.10	0.10	0.12	0.12	0.12	0.40	0.28	0.10	0.51	0.91	0.69	1.00	0.70	0.12	0.83	9.00
Maksimum	46.71	3.90	13.27	15.11	55.38	11.99	21.36	27.48	49.88	21.15	26.65	8.25	16.80	13.79	3.26	11.61	237.91
Mediana	0.53	0.27	0.27	0.67	0.77	0.43	1.43	1.52	1.44	1.51	2.60	1.61	1.98	1.74	0.97	1.58	17.16
Sezon grzewczy																	
Średnia	9.38	0.96	2.60	3.18	12.78	2.91	7.46	9.53	15.52	8.85	11.79	4.51	8.11	6.30	1.59	5.49	110.96
Odchylenie	15.41	1.11	4.12	4.20	16.64	3.58	5.29	7.36	15.33	5.80	7.76	2.25	4.63	3.70	0.84	3.14	66.82
Minimum	0.34	0.10	0.10	0.63	0.77	0.42	1.43	1.52	1.99	2.61	2.43	1.61	2.61	1.83	0.27	1.44	25.84
Maksimum	45.52	3.90	12.95	14.45	55.38	11.00	21.36	27.48	49.88	21.15	26.65	8.25	16.80	13.79	3.26	11.61	237.91
Mediana	0.52	0.40	0.25	0.90	4.23	1.01	5.88	7.32	10.67	7.78	10.16	3.97	7.26	5.62	1.48	4.92	90.21
Sezon niegrzewczy																	
Średnia	3.99	0.50	1.23	1.64	4.71	1.23	1.34	1.16	0.91	1.21	1.88	1.38	1.70	1.32	0.78	1.28	26.26
Odchylenie	10.69	0.80	2.99	3.30	12.75	2.67	1.74	1.53	1.64	1.10	1.10	0.65	1.06	0.79	0.32	0.54	41.65
Minimum	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.40	0.28	0.10	0.51	0.91	0.69	1.00	0.70	0.12	0.83	9.00
Maksimum	46.71	3.73	13.27	15.11	54.76	11.99	6.62	5.70	6.15	4.72	4.81	3.37	5.07	3.67	1.37	2.90	177.33
Mediana	0.53	0.24	0.27	0.63	0.56	0.38	0.64	0.47	0.12	0.73	1.55	1.18	1.35	1.08	0.88	1.14	11.90

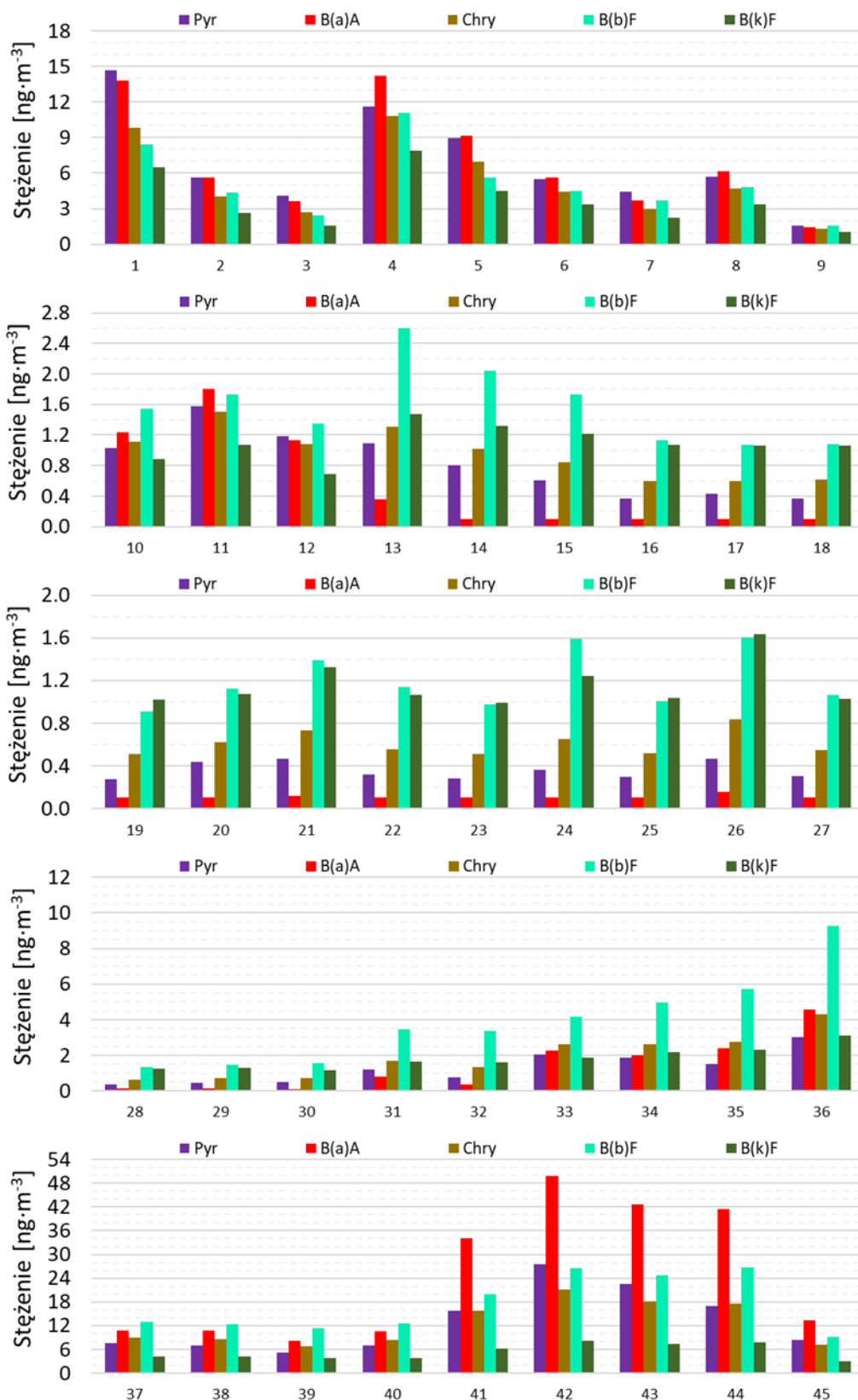
Oznaczenia: Naph – naftalen; Acy – acenaftylen; Ace – acenaften; Fl – fluoren; Phen – fenantren; An – antracen; Fluo – fluoranten; B(a)A – benzo(a)antracen; Chry – chryzen; B(b)F – benzo(b)fluoranten; B(k)F – benzo(k)fluoranten; B(a)P – benzo(a)piren; I(cd)P – indeno(123-cd)piren; D(ah)A – dibenzo(ah)antracen;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

Kolorem czerwonym zaznaczono przekroczenie wartości docelowej dla średniego rocznego stężenia B(a)P (1 ng·m⁻³) (na podstawie RMŚ z dn. 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r. poz. 1031))



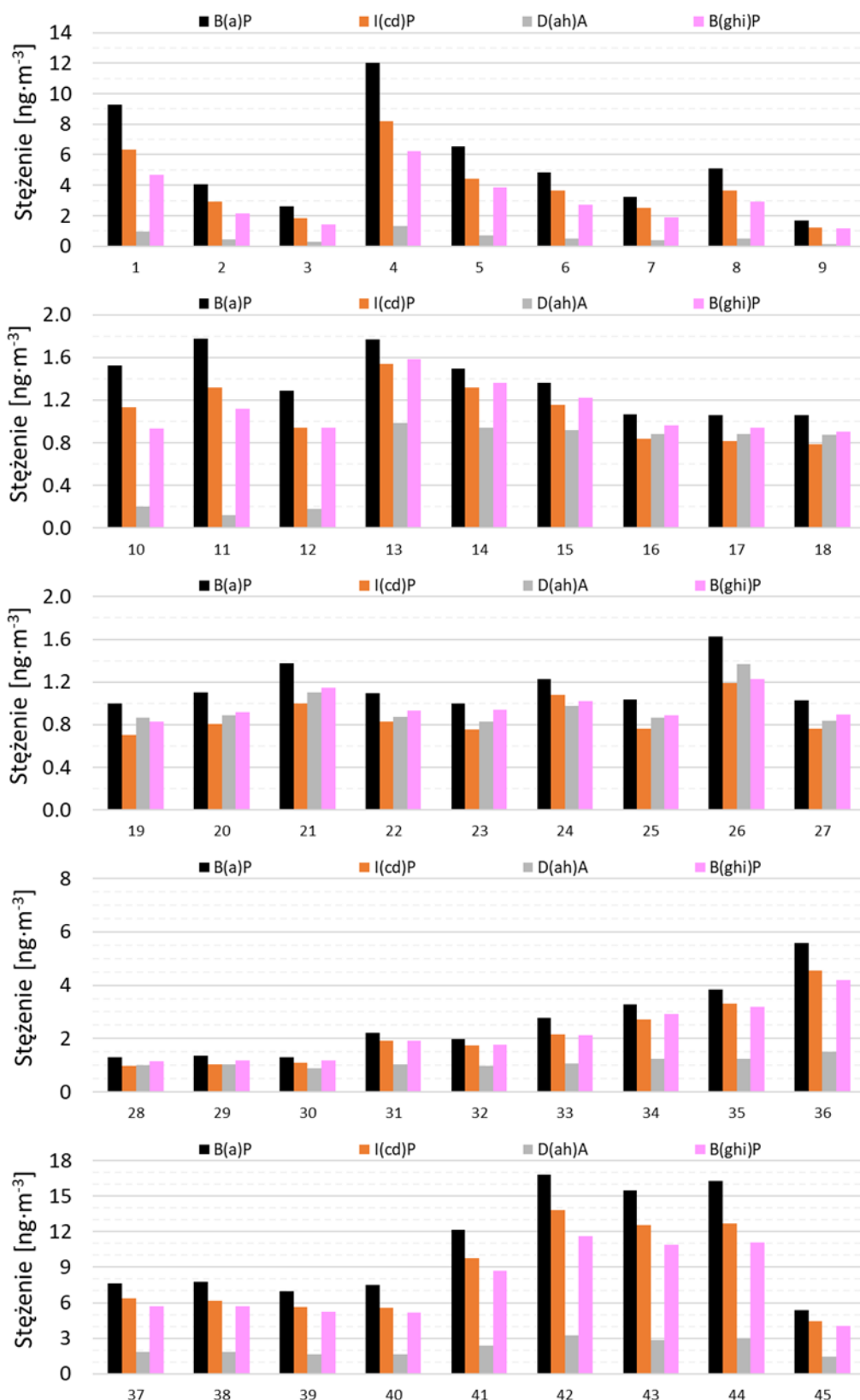
Rysunek 11. Stężenie wybranych WWA [ng·m⁻³] (naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten) w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)

(Oznaczenia: Naph – naftalen; Acy – acenaftylen; Ace – acenaften; Fl – fluoren; Phen – fenantren; An – antracen; Fluo – fluoranten)



Rysunek 12. Stężenie wybranych WWA [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] (piren, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten) w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)

(Oznaczenia: Pyr – piren; B(a)A – benzo(a)antracen; Chry – chryzen; B(b)F – benzo(b)fluoranten; B(k)F – benzo(k)fluoranten)



Rysunek 13. Stężenie wybranych WWA [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] (benzo(a)piren, indeno(123-cd)piren, dibenzo(ah)antracen, benzo(ghi)perylene) w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 23.02–30.12.2019 r.)

(Oznaczenia: B(a)P – benzo(a)piren; I(cd)P – indeno(123-cd)piren; D(ah)A – dibenzo(ah)antracen; B(ghi)P – benzo(ghi)perylene)

4. Analiza wyników

W okresie pomiarowym 23.02 – 31.12.2019 r. uzyskano 298 stężeń dobowych PM₁₀, co oznacza, że warunek dotyczący wymaganego pokrycia czasowego dla pomiarów ciągłych i okresowych (96%), określony w stosownych aktach prawnych (RMŚ z dn. 8 czerwca 2018 r. (Dz. U. z 2018 r. poz. 1119)) dla tej serii pomiarowej jest spełniony. Jednak z uwagi na czas trwania badań, interpretacja kryterium dotrzymania normy rocznej jest nie do końca wiarygodna, ze względu na ograniczoną ilość danych z sezonu grzewczego. W przypadku stężeń metali i B(a)P wymagany rozporządzeniem stopień kompletności danych jest wystarczający do oceny zgodności z normami.

Średnie dobowe stężenia PM₁₀ w punkcie pomiarowym w Skawinie przyjmowały wartości z przedziału 4.03 – 214.59 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Tabela 3). Średnia z całego okresu pomiarowego (obliczana na podstawie stężeń 24 h) wynosiła 42.28 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, co stanowiło ~105.7% wartości dopuszczalnej dla średniego rocznego stężenia PM₁₀ (40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) (RMŚ z dn. 8 czerwca 2018 r. (Dz. U. z 2018 r. poz. 1119)).

Stężenia PM₁₀ wykazywały wyraźną zmienność sezonową (Tabela 3, Rysunek 2-3). Za wysokie stężenia PM₁₀ w sezonie grzewczym (średnio: 52.68 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) odpowiadała sytuacja imisyjna o tej porze roku – zwiększona aktywność lokalnych źródeł emisji oraz zespół niekorzystnych warunków meteorologicznych (m.in. niskie temperatury powietrza, niskie prędkości wiatru, ograniczona ilość opadów atmosferycznych) (Rysunek 4), które utrudniały rozpraszanie i usuwanie zanieczyszczeń. Stosunkowo wysokie stężenia PM₁₀ notowane w sezonie niegrzewczym (średnio: 34.97 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) wskazywały, że ważną rolę mogły odgrywać źródła mobilne i przemysłowe a także procesy wtórnego pylenia pyłu drogowego i/lub glebowego. W całym okresie pomiarowym odnotowano 85 przypadków przekroczeń wartości dopuszczalnej dla średniego dobowego stężenia PM₁₀, które stwierdzano zarówno w sezonie grzewczym (51 przypadków) jak i niegrzewczym (34 przypadki). A zatem warunek dotyczący dopuszczalnej liczby dni z przekroczeniami wartości dopuszczalnej dla średniego dobowego stężenia PM₁₀ (35 dni w roku kalendarzowym) nie został dotrzymany. Uzyskane wyniki wskazują na występowanie poważnego problemu w zakresie narażenia mieszkańców na frakcje PM₁₀ pyłu zawieszonego i sygnalizują konieczność podjęcia działań ukierunkowanych na poprawę jakości powietrza na badanym obszarze.

Najwyższe stężenia PM₁₀ występowały przy adwekcji z sektorów zachodnich (SW ÷ NW)

(Rysunek 5-7), z maksimum przy napływie z kierunku WSW ($75.78 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), co sugerowało potencjalnie istotny wpływ obszaru przemysłowego, zlokalizowanego w zachodniej części miasta. Ważną rolę w występowaniu wysokich stężeń PM₁₀ mogły także odgrywać tereny podmiejskie (emisja komunalna) zlokalizowane w tych sektorach, co wskazuje że źródła komunalne mogą w znaczący sposób wpływać na realizację programu ochrony powietrza w mieście.

Badania składu chemicznego wykazały obecność wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (Tabela 5, Rysunek 11-13), 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. Średni sumaryczny udział analizowanych WWA w stężeniach PM₁₀ wynosił ~1.25%, przy czym udział ten nieznacznie wzrastał w sezonie grzewczym (średnio: ~2.19%) w porównaniu do niegrzewczego (średnio: ~ 0.63%). Odnotowano relatywnie wysokie stężenia benzo-a-pirenu, uznawanego za substancję kancerogenną – stężenia B(a)P mieściły się w zakresie od 1.00 do 16.80 ng·m⁻³. Średnie stężenie B(a)P w całym okresie pomiarowym wynosiło 4.26 ng·m⁻³, ponad 4-krotnie więcej niż wartość docelowa dla średniego rocznego stężenia B(a)P (1 ng·m⁻³) (RMŚ z dn. 24 sierpnia 2012 r. (Dz.U. z 2012 r. poz. 1031)). Wskazuje to na potencjalnie duże ryzyko zdrowotne dla mieszkańców badanego obszaru, wynikające z narażenia na WWA, zwłaszcza w sezonie zimowym. Stężenie D(ah)A, którego współczynnik kancerogenności jest 5-krotnie wyższy w porównaniu do B(a)P, pozostawało na stosunkowo niskim poziomie (średnio: 1.11 ng·m⁻³, cały okres). Najbardziej prawdopodobnym źródłem emisji B(a)P, podobnie jak pozostałych WWA, było spalanie paliw w gospodarstwach domowych, na co wskazuje wyraźna różnica pomiędzy stężeniami B(a)P notowanymi w sezonie grzewczym (średnio: 8.11 ng·m⁻³) a tymi z sezonu niegrzewczego (średnio: 1.70 ng·m⁻³), kiedy to występowały zdecydowanie wyższe temperatury powietrza. Analogiczne różnice sezonowe obserwowano również dla pozostałych analizowanych WWA. Wpływ spalania węgla i biomasy (Dvorská i inni, 2011) na zanieczyszczenia powietrza WWA potwierdza wartość stosunku stężenia fluorantenu do sumy stężeń fluorantenu i pirenu w rozważanym okresie, która osiągała wartości w przedziale od 0.32 do 0.60 (średnio: 0.51). Za dużą rolę procesów spalania przemawiają również wartości stosunku stężenia benzo(a)antracenu do sumy stężeń benzo(a)antracenu i chryzenu (średnio:

0.39, cały okres), jakkolwiek niższe wartości tego stosunku notowane w sezonie niegrzewczym (średnio: 0.26) sugerują prawdopodobny wpływ komunikacyjnych źródeł emisji (Dvorská i inni, 2011). Przemawia za tym również obecność dibenzo(a,h)antracenu, często stwierdzanego w sąsiedztwie szlaków komunikacyjnych (Slezakova i inni, 2010).

Biorąc pod uwagę stężenie średnie w całym okresie pomiarowym, pierwiastki analizowane w PM₁₀ z punktu pomiarowego w Skawinie można uporządkować wg następującej kolejności: Al (425.57 ng·m⁻³) > Zn (39.49 ng·m⁻³) > Cu (11.90 ng·m⁻³) > Pb (11.53 ng·m⁻³) > Cr (7.39 ng·m⁻³) > Ni (2.25 ng·m⁻³) > V (0.95 ng·m⁻³) > As (0.85 ng·m⁻³) > Co (0.68 ng·m⁻³) > Cd (0.62 ng·m⁻³) (Tabela 4). Średni sumaryczny udział analizowanych pierwiastków w stężeniach PM₁₀ wynosił ~1.37% i nie wykazywał wyraźnej zmienności sezonowej (średnio: ~1.09% (sezon grzewczy) i ~1.55% (sezon niegrzewczy)). Niemniej na ogół wyższe stężenia tych pierwiastków rejestrowano w sezonie grzewczym (serie: 1-5 i 33-45) w porównaniu do niegrzewczego (serie: 6-32), za wyjątkiem glinu i chromu (Rysunek 8-10). Wysokie stężenia glinu i chromu, obserwowane w całym okresie pomiarowym, wskazują na obecność silnych antropogenicznych źródeł pochodzenia tych pierwiastków. W przypadku glinu jest to najprawdopodobniej emisja związana z procesem przerobu złomu aluminium z istniejących na terenie miasta instalacji tego typu. Z kolei głównym źródłem emisji chromu jest przemysł metalurgiczny, ogniotrwały, chemiczny i garbarstwo. Toksyczność chromu w dużym stopniu zależy od stopnia jego utlenienia – wg klasyfikacji Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakim działanie kancerogenne wykazują związki chromu (VI). W ramach prowadzonych badań oznaczano całkowitą zawartość chromu w PM₁₀, a stężenie tego pierwiastka (średnio: 7.39 ng·m⁻³, cały okres) było 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). Stężenia metali objętych regulacjami prawnymi – As, Cd, Ni i Pb były stosunkowo niskie i nie przekraczały wartości dopuszczalnych (Pb: 500 ng·m⁻³) i docelowych (As, Cd i Ni: 6, 5 i 20 µg·m⁻³, odpowiednio) (RMŚ z dn. 24 sierpnia 2012 r. (Dz. U. z 2012 r. poz. 1031)).

5. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w raporcie wyniki badań obejmują okres od 23.02 do 31.12.2019 r. Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w analizowanym obszarze były bardzo wysokie. W całym okresie pomiarowym odnotowano 85 przypadków przekroczeń wartości dopuszczalnej dla średniego dobowego stężenia PM₁₀, które stwierdzano zarówno w sezonie grzewczym (51 przypadków) jak i niegrzewczym (34 przypadki). Z uwagi na brak pomiarów ze stycznia i większej części lutego, należy przypuszczać, że stężenie średnioroczne PM₁₀ może być wyższe niż uzyskane w obecnej kampanii pomiarowej (średnio: 42.28 µg·m⁻³), podobnie jak liczba dni z przekroczonym dopuszczalnym stężeniem dobowym.

Obecność wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych związana była z procesami niepełnego spalania paliw i innych substancji palnych nieznanego pochodzenia. Zmienność stężeń poszczególnych związków z grupy WWA wskazywała na dominującą rolę emisji ze spalania paliw kopalnych i biomasy w źródłach komunalnych w kształtowaniu profilu chemicznego WWA w PM₁₀. Czynnikiem ten mógł w znacznym stopniu przyczynić się do pogorszenia jakości powietrza na obszarze badań, o czym świadczą wysokie, w odniesieniu do wartości docelowej, stężenia benzo(a)pirenu (średnio: 4.26 ng·m⁻³), zwłaszcza w sezonie grzewczym.

Analiza składu pierwiastkowego sugerowała wzbogacenie pyłu PM₁₀ substancjami pochodzącymi z przetwórstwa aluminium (Al, Zn) w związku z wysokimi i porównywalnymi w obu sezonach stężeniami glinu. Stężenia metali objętych regulacjami prawnymi – As, Cd, Ni i Pb były stosunkowo niskie i nie przekraczały wartości dopuszczalnych i docelowych.

Zalecane jest kontynuowanie pomiarów stężeń i składu chemicznego PM₁₀ jako wskaźnika efektów wdrażania rozwiązań ograniczających emisję przemysłową i komunalną, realizowanych na terenie miasta. Wysokie stężenia PM₁₀ w sezonie niegrzewczym wskazują na konieczność analizy źródeł pochodzenia pyłu zawieszonego i podjęcia działań ukierunkowanych na ograniczenie tzw. wtórnej emisji pyłów z terenów przemysłowych, w sąsiedztwie których zlokalizowana jest stacja pomiarowa.

6. Materiały źródłowe

PN-EN 12341:2014-07: Jakość powietrza atmosferycznego – Standardowa grawimetryczna metoda oznaczania frakcji masowej PM_{2,5} i PM₁₀ 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 z dnia 10.02.2016 r.]

Procedura Badawcza PB22: Oznaczanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w glebie i pyle metodą chromatografii gazowej z detekcją mas [wydanie z dnia 10.02.2016 r.]

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r. poz. 1031)

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2018 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2018 r. poz. 1119)

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.

Majewski, G., Rogula-Kozłowska, W. (2016). The elemental composition and origin of fine ambient particles in the largest Polish conurbation: first results from the short-term winter campaign. *Theoretical and Applied Climatology* 125(1–2), 79–92.

Tytuł pracy: Wykonanie kampanii pomiarowej zanieczyszczeń powietrza metodą pasywną obejmującej jedną serię pomiarową

Numer umowy: C2-910/2019/NP-I

Autor: dr inż. Krzysztof Klejnowski

Współautorzy: prof. dr hab. inż. Marianna Czaplicka
dr inż. Halina Pyta
dr inż. Barbara Mathews
dr inż. Kamila Widziewicz-Rzońca
mgr Barbara Błaszczak
mgr Natalia Ziola
mgr Krzysztof Słaby
mgr inż. Patrycja Rogula-Kopiec
lic. Monika Błaszczak

Streszczenie: Celem badań była ocena jakości powietrza na terenie miasta Skawina, poprzez wyznaczenie stężeń pyłu PM₁₀ oraz związanych z nim metali i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Kampania pomiarowa obejmowała 2 serie badań, przeprowadzonych w okresach: 23.02–13.05.2019 r. (I etap) i 14.05–31.12.2019 r. (II etap). Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w okresie pomiarowym były bardzo wysokie – zidentyfikowano 85 przypadków 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. Analiza składu pierwiastkowego sugerowała wzbogacenie pyłu PM₁₀ substancjami pochodzącymi z przetwórstwa aluminium (Al, Zn). Stężenia metali objętych regulacjami prawnymi – As, Cd, Ni i Pb były stosunkowo niskie i nie przekraczały wartości dopuszczalnych i docelowych.