



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 IPIS 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

Ocena stężenia pyłu PM₁₀, wybranych metali i WWA na podstawie pomiarów prowadzonych w Skawinie w 2020 r.

Zabrze, 5.02.2021 r.

Wykonano 4 egzemplarze dla:

Egzemplarz nr 1 – Gmina Skawina

Egzemplarz nr 2 – Gmina Skawina

Egzemplarz nr 3 – Gmina Skawina

Egzemplarz nr 4 – Biblioteka IPIŚ PAN

Nr wewnętrzny: C2-910/2019/NP-I

Zleceniodawca: Gmina Skawina
Rynek 1
32 - 050 Skawina

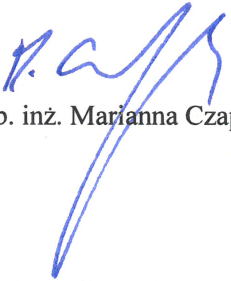
SPRAWOZDANIE

Ocena stężenia pyłu PM10, wybranych metali i WWA na podstawie pomiarów prowadzonych w Skawinie w 2020 r.

Autorzy:

- dr inż. Krzysztof Klejnowski (kierownik pracy)
- prof. dr hab. inż. Marianna Czaplicka
- dr inż. Halina Pyta
- dr inż. Barbara Mathews
- dr Barbara Błaszczak
- dr inż. Patrycja Rogula-Kopiec
- dr inż. Kamila Widziewicz-Rzońca
- mgr Krzysztof Słaby
- mgr Natalia Ziola
- 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	10
2.1 Pomiar stężeń pyłu PM ₁₀	10
2.2 Oznaczanie metali w pyłe PM ₁₀	11
2.3 Oznaczanie WWA w pyłe PM ₁₀	13
3. Wyniki badań	15
3.1 Stężenia pyłu PM ₁₀	15
3.2 Stężenia wybranych metali w pyłe PM ₁₀	21
3.3 Stężenie wybranych WWA w pyłe PM ₁₀	26
4. Analiza wyników	33
5. Podsumowanie i wnioski	37
6. Materiały źródłowe	38

Spis rysunków

Rysunek 1. Lokalizacji stanowiska pomiarowego (N: 49.976647; E: 19.813679) oraz widok niskoprzepływowego pobornika μ PNS LVS16 firmy MCZ.....	10
Rysunek 2. Przebieg serii stężeń dobowych pyłu zawieszonego PM ₁₀ – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 1.01–31.12.2020 r.	16
Rysunek 3. Rozkład częstości średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM ₁₀ – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 1.01–31.12.2020 r.	16
Rysunek 4. Zmienność średnich dobowych stężeń PM ₁₀ na tle zmienności podstawowych parametrów meteorologicznych – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 1.01–31.12.2020 r. 17	
Rysunek 5. Przebieg serii stężeń dobowych pyłu PM ₁₀ z zaznaczonymi kierunkami wiatru – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 1.01-30.06.2020 r.	18
Rysunek 6. Przebieg serii stężeń dobowych pyłu PM ₁₀ z zaznaczonymi kierunkami wiatru – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 1.07-31.12.2020 r.....	19
Rysunek 7. Róża stężeń pyłu PM ₁₀ [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] za okres 1.01–31.12.2020 r. wraz z różą kierunków wiatru na podkładzie mapowym Google.com z zaznaczeniem lokalizacji stanowiska pomiarowego	20
Rysunek 8. Stężenie arsenu (As), kadmu (Cd), kobaltu (Co), niklu (Ni) i wanadu (V) [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 01.01–21.12.2020 r.)	23
Rysunek 9. Stężenie chromu (Cr), miedzi (Cu) i ołowiu (Pb) [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 01.01–21.12.2020 r.)	24
Rysunek 10. Stężenie cynku (Zn) i glinu (Al) [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 01.01–21.12.2020 r.).....	25
Rysunek 11. Stężenie wybranych WWA [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] (naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten) w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 01.01–21.12.2020 r.)	30
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 PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 01.01–21.12.2020 r.)	31
Rysunek 13. Stężenie wybranych WWA [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] (benzo(a)piren, indeno(123-cd)piren, dibenzo(ah)antracen, benzo(ghi)perylen) w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 01.01–21.12.2020 r.)	32

Spis tabel

Tabela 1.	Wykaz próbek składanych pyłu PM ₁₀ z całego okresu pomiarowego (1.01 – 21.12.2020 r.).....	8
Tabela 2.	Wartości niepewności rozszerzonej dla oznaczeń metali.....	14
Tabela 3.	Wartości niepewności rozszerzonej dla oznaczeń WWA	14
Tabela 4.	Statystyki opisowe średnich dobowych stężeń pyłu PM ₁₀ [μg·m ⁻³] w całym okresie pomiarowym (1.01–31.12.2020 r.) oraz w podziale na sezony i miesiące – punkt pomiarowy w Skawinie	15
Tabela 5.	Stężenia wybranych metali [ng·m ⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 1.01–21.12.2020 r.)	21
Tabela 6.	Stężenie wybranych WWA [ng·m ⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM ₁₀ ze Skawiny (okres: 1.01–21.12.2020 r.)	26

1. Cel i zakres badań

Praca została zrealizowana zgodnie z zapisami umowy Nr OP/16/2020 z dnia 13.05.2020 r., zawartej pomiędzy Gminą Skawina a Instytutem Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrze (IPIŚ PAN).

Celem pracy była ocena jakości powietrza na terenie miasta Skawina w zakresie stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ oraz stężenia zawartych w tym pyłe metali i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Podstawą oceny były ciągłe grawimetryczne pomiary stężenia pyłu PM₁₀, prowadzone w Skawinie od początku 2020 r. na jednym stanowisku stacjonarnym, którym towarzyszyła ciągła rejestracja głównych parametrów meteorologicznych. Próbkki pyłu wydzielane 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 1 stycznia do końca grudnia 2020 r. w następującym zakresie:

- zmiany stężenia pyłu PM₁₀ (pomiary średniodobowe, 24h);
- zmiany parametrów meteorologicznych (wyniki uśrednione w ciągu 1h i 24h);
- zmiany stężenia wybranych metali – arsenu (As), kadmu (Cd), kobaltu (Co), chromu (Cr), miedzi (Cu), niklu (Ni), ołowiu (Pb), cynku (Zn), glinu (Al) i wanadu (V) w 7-dobowych składanych próbkach pyłu PM₁₀ (od 1.01.2020 r. do 21.12.2020 r.);
- zmiany stężenia 16 WWA: naftalenu (Na), acenaftyleny (Acy), acenaftenu (Ace), fluoreny (Fl), fenantreny (Phen), antracenu (An), fluorantenu (Fluo), pireny (Pyr), benzo(a)antracenu (B(a)A), chryzenu (Chry), benzo(b)fluorantenu (B(b)F), benzo(k)fluorantenu (B(k)F), benzo(a)pireny (B(a)P), indeno(1,2,3-cd)pireny (I(cd)P), dibenzo(a,h)antracenu (D(ah)A), benzo(g,h,i)perylenu (B(ghi)P) w 7-dobowych składanych próbkach pyłu PM₁₀ (1.01.2020 - 21.12.2020 r.).

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 (1.01 – 21.12.2020 r.)

Nr próbki składanej	Data (Uwagi)	Sezon: H – grzewczy NH – niegrzewczy
1	01.01– 06.01.2020 r.	H
2	07.01 – 13.01.2020 r.	H
3	14.01 – 20.01.2020 r.	H
4	21.01 – 27.01.2020 r.	H
5	28.01 – 03.02.2020 r.	H
6	04.02 – 10.02.2020 r.	H
7	11.02 – 17.02.2020 r.	H
8	18.02 – 24.02.2020 r.	H
9	25.02 – 02.03.2020 r.	H
10	03.03 – 09.03.2020 r.	H
11	10.03 – 16.03.2020 r.	H
12	17.03 – 23.03.2020 r.	H
13	24.03 – 30.03.2020 r.	H
14	31.03 – 06.04.2020 r.	NH
15	07.04 – 13.04.2020 r.	NH
16	14.04 – 20.04.2020 r.	NH
17	21.04 – 27.04.2020 r.	NH
18	28.04 – 04.05.2020 r.	NH
19	05.05 – 11.05.2020 r.	NH
20	12.05 – 18.05.2020 r.	NH
21	19.05 – 25.05.2020 r.	NH
22	26.05 – 01.06.2020 r.	NH
23	02.06 – 08.06.2020 r.	NH
24	09.06 – 15.06.2020 r.	NH
25	16.06 – 22.06.2020 r.	NH
26	23.06 – 29.06.2020 r.	NH
27	30.06 – 06.07.2020 r.	NH
28	07.07 – 13.07.2020 r.	NH
29	14.07 – 20.07.2020 r.	NH

Ocena stężenia pyłu PM₁₀, wybranych metali i WWA na podstawie pomiarów prowadzonych w Skawinie w 2020 r.

Nr próbki składanej	Data (Uwagi)	Sezon: H – grzewczy NH – niegrzewczy
30	21.07 – 27.07.2020 r.	NH
31	28.07 – 03.08.2020 r.	NH
32	04.08 – 10.08.2020 r.	NH
33	11.08 – 17.08.2020 r.	NH
34	18.08 – 24.08.2020 r.	NH
35	25.08 – 31.08.2020 r.	NH
36	01.09 – 07.09.2020 r.	NH
37	08.09 – 14.09.2020 r.	NH
38	15.09 – 21.09.2020 r.	NH
39	22.09 – 28.09.2020 r.	NH
40	29.09 – 05.10.2020 r.	H
41	06.10 – 12.10.2020 r.	H
42	13.10 – 19.10.2020 r.	H
43	20.10 – 26.10.2020 r.	H
44	27.10 – 02.11.2020 r.	H
45	03.11 – 09.11.2020 r.	H
46	10.11 – 16.11.2020 r.	H
47	17.11 – 23.11.2020 r.	H
48	24.11 – 30.11.2020 r.	H
49	01.12 – 07.12.2020 r.	H
50	08.12 – 14.12.2020 r.	H
51	15.12 – 21.12.2020 r.	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 1.01-31.12.2020 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 niskoprzepływowy pobornik μ PNS LVS16 produkcji MCZ, spełniający wymogi ww. normy, o przepływie $2.3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, 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 stanowiska pomiarowego (N: 49.976647; E: 19.813679) oraz widok niskoprzepływowego pobornika μ PNS LVS16 firmy MCZ

Przed ważeniem filtry nieobciążone (czyste, 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 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 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 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 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 1.01–31.12.2020 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. Mineralizację przeprowadzono przy użyciu mineralizatora mikrofalowego MULTIWAVE 3000 firmy Anton Paar. Łączny

czas mineralizacji wynosił 60 minut.

Zawartość 9 metali w próbkach – As, Cd, Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn, V - oznaczano metodą ICP-MS. Oznaczenie przeprowadzono zgodnie z zakresem akredytacji Laboratorium IPIŚ PAN – 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. Zawartość glinu (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, odczynniki o wysokiej czystości (*suprapur*) oraz certyfikowane materiały referencyjne (NIST SRM 1648a). Wartości niepewności rozszerzonej, określone dla poszczególnych metali zestawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2. Wartości niepewności rozszerzonej dla oznaczeń metali

Metal	Niepewność [%]
Arsen (As)	32,60
Kadm (Cd)	19,26
Kobalt (Co)	27,26
Chrom (Cr)	34,53
Miedź (Cu)	25,64
Nikiel (Ni)	28,50
Cynk (Zn)	32,50
Glin (Al)	34,24
Ołów (Pb)	19,52
Wanad (V)	16,89

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).

W celu kontroli reżimów związanych z jakością wyników oznaczano również zawartość metali w próbkach ślepych – transportowych i laboratoryjnych. Próbę ślepą transportową stanowiła jedna połówka czystego filtra, a próbę ślepą laboratoryjną - 7 połówek czystych filtrów.

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)perylene (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 Z– PB22: Oznaczanie wielopierścieniowych węglowodórów 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 zateżanie 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 3. Wartości niepewności rozszerzonej dla oznaczeń WWA

Związek	Niepewność [%]
Naftalen (Naph)	16,8
Acenaftylen(Acy)	25,3
Acenaften (Ace)	21,4
Fluoren (Fl)	20,9
Fenantren (Phen)	19,0
Antracen (An)	29,5
Fluoranten (Fluo)	21,1
Piren (Pyr)	23,8
Benzo(a)antracen (B(a)A)	29,4
Chryzen (Chry)	24,7
Benzo(b)fluoranten (B(b)F)	25,0
Benzo(k)fluoranten (B(k)F)	33,3
Benzo(a)piren (B(a)P)	31,8
Indeno(1,2,3-cd)piren (I(cd)P)	29,9
Dibenzo(a,h)antracen (D(ah)A)	32,4
Benzo(g,h,i)perylene (B(ghi)P)	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

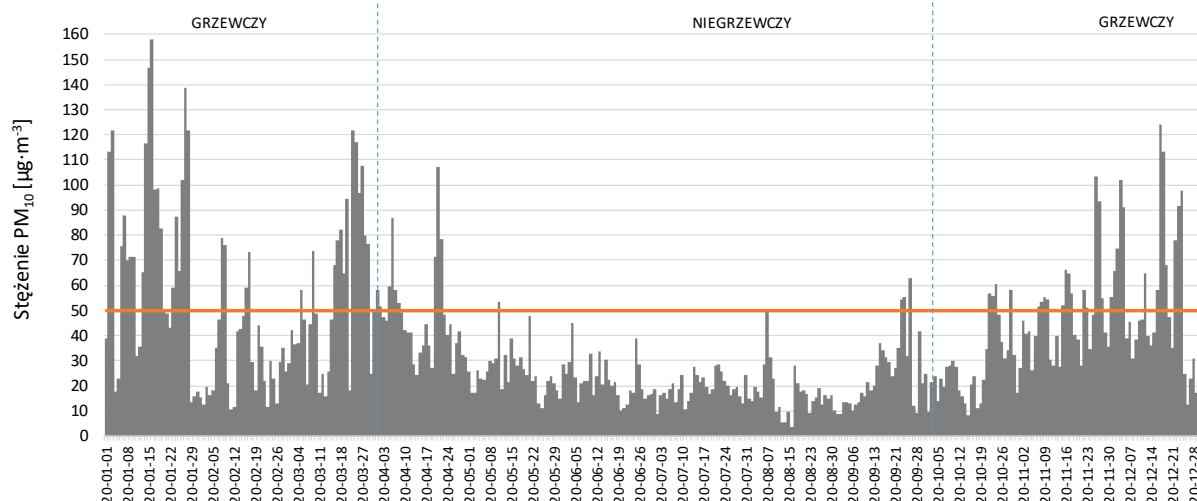
3.1 Stężenia pyłu PM₁₀

W Tabeli 4 przedstawiono statystyki podstawowe dla średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀, mierzonych w punkcie pomiarowym na terenie miasta Skawina w okresie 1.01–31.12.2020 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 (1.01–31.12.2020 r.) oraz w podziale na sezony i miesiące – punkt pomiarowy w Skawinie

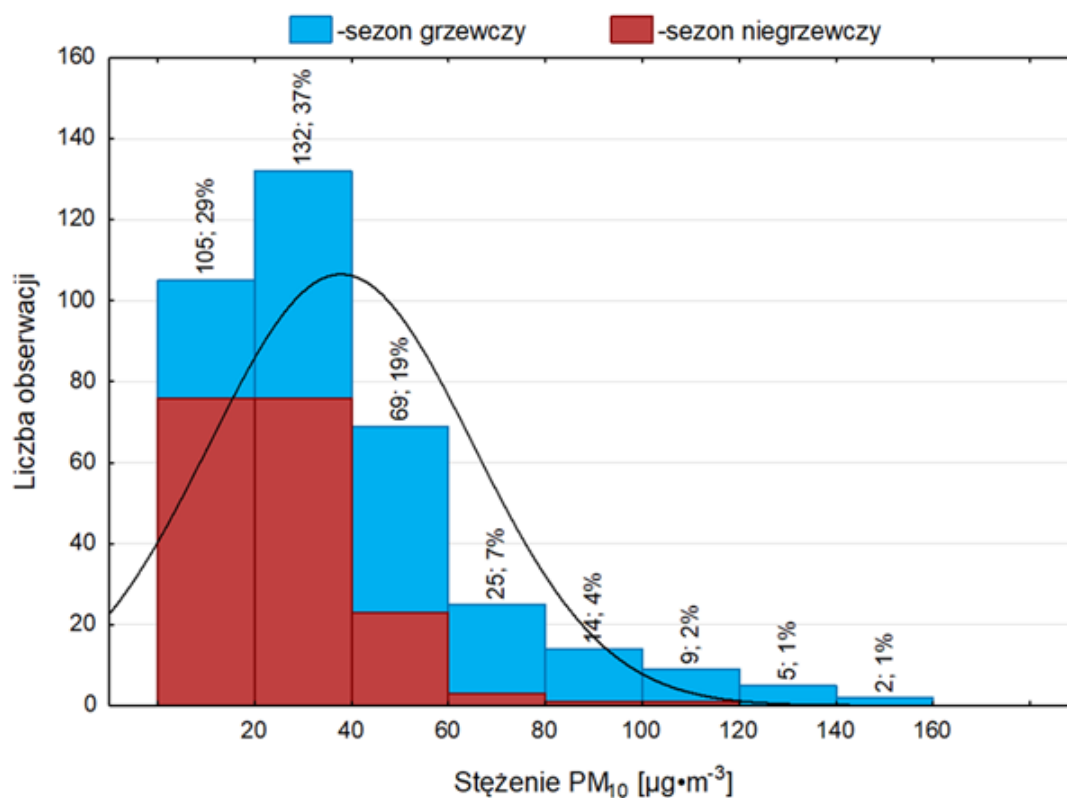
Wyszczególnienie	Średnia	Odchylenie	Min	Max	Mediana	Ilość przekroczeń wartości dopuszczalnej*
Cały okres	37,61	27,02	3,58 (2020-08-16)	157,93 (2020-01-16)	28,71	83
Sezon grzewczy	49,09	31,03	8,22 (2020-10-15)	157,93 (2020-01-16)	41,17	69
Sezon niegrzewczy	26,07	15,27	3,58 (2020-08-16)	107,33 (2020-04-21)	21,90	14
Styczeń 2020 r.	73,78	40,78	13,43 (2020-01-29)	157,93 (2020-01-16)	71,24	20
Luty 2020 r.	32,56	19,71	10,87 (2020-02-11)	79,04 (2020-02-08)	29,55	4
Marzec 2020 r.	56,85	31,20	15,77 (2020-03-13)	121,83 (2020-03-24)	48,65	14
Kwiecień 2020 r.	47,41	18,71	24,15 (2020-04-14)	107,33 (2020-04-21)	43,37	9
Maj 2020 r.	25,40	9,16	11,11 (2020-05-25)	53,54 (2020-05-11)	23,96	1
Czerwiec 2020 r.	22,38	8,17	10,16 (2020-06-20)	44,86 (2020-06-04)	21,32	0
Lipiec 2020 r.	19,32	4,95	8,75 (2020-07-02)	28,78 (2020-07-22)	18,80	0
Sierpień 2020 r.	16,90	9,19	3,58 (2020-08-16)	50,16 (2020-08-07)	15,52	1
Wrzesień 2020 r.	24,90	14,73	8,63 (2020-09-02)	63,04 (2020-09-26)	20,80	3
Październik 2020 r.	27,82	14,72	8,22 (2020-10-15)	60,65 (2020-10-24)	24,04	4
Listopad 2020 r.	47,69	17,88	26,44 (2020-11-05)	103,50 (2020-11-09)	43,81	13
Grudzień 2020 r.	55,23	29,28	12,49 (2020-12-24)	123,95 (2020-12-19)	46,43	14

* 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) z późniejszymi zmianami)

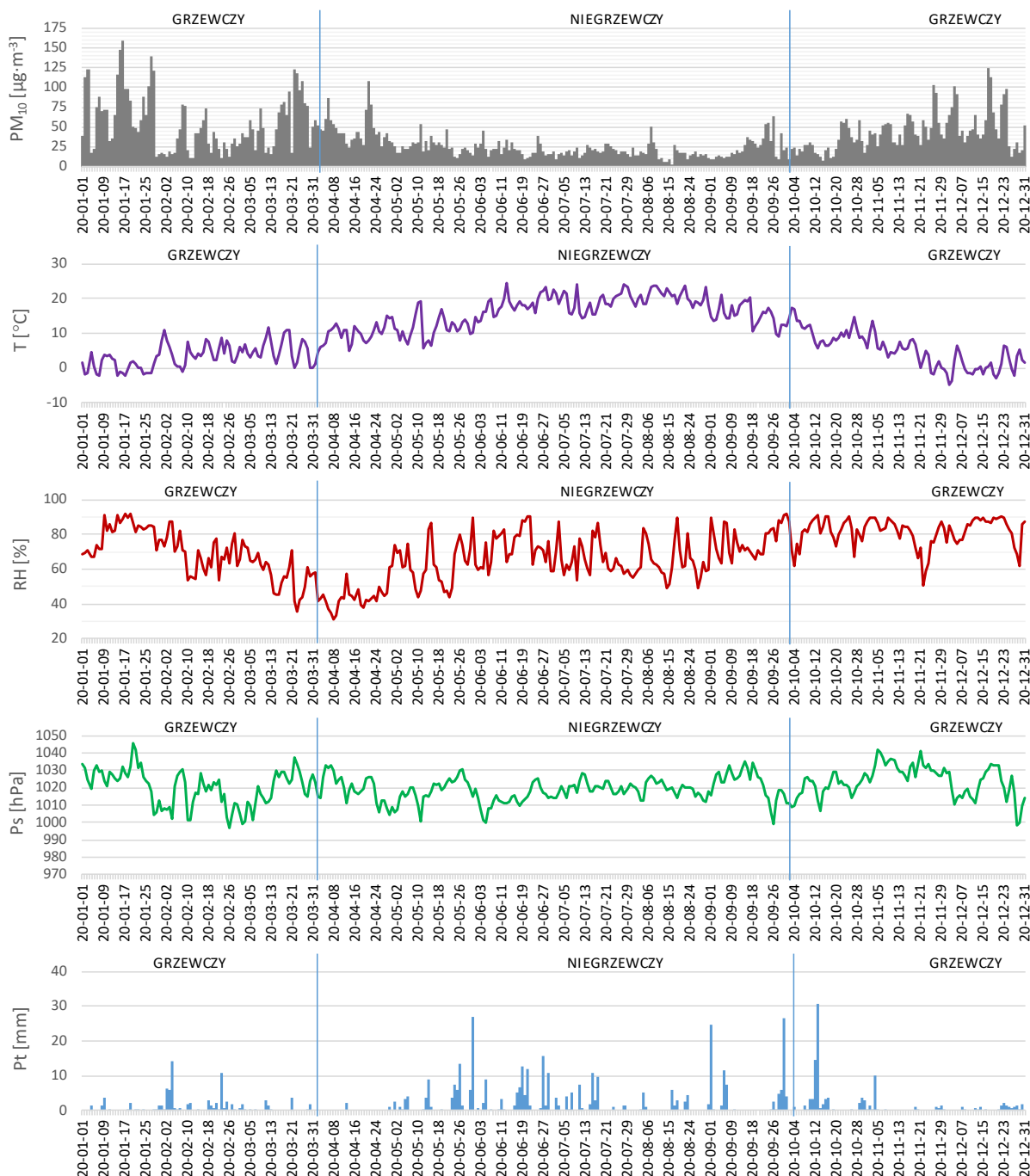


Rysunek 2. Przebieg serii stężeń dobowych pyłu zawieszonego PM₁₀ – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 1.01–31.12.2020 r.

(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: 1.01–31.12.2020 r.

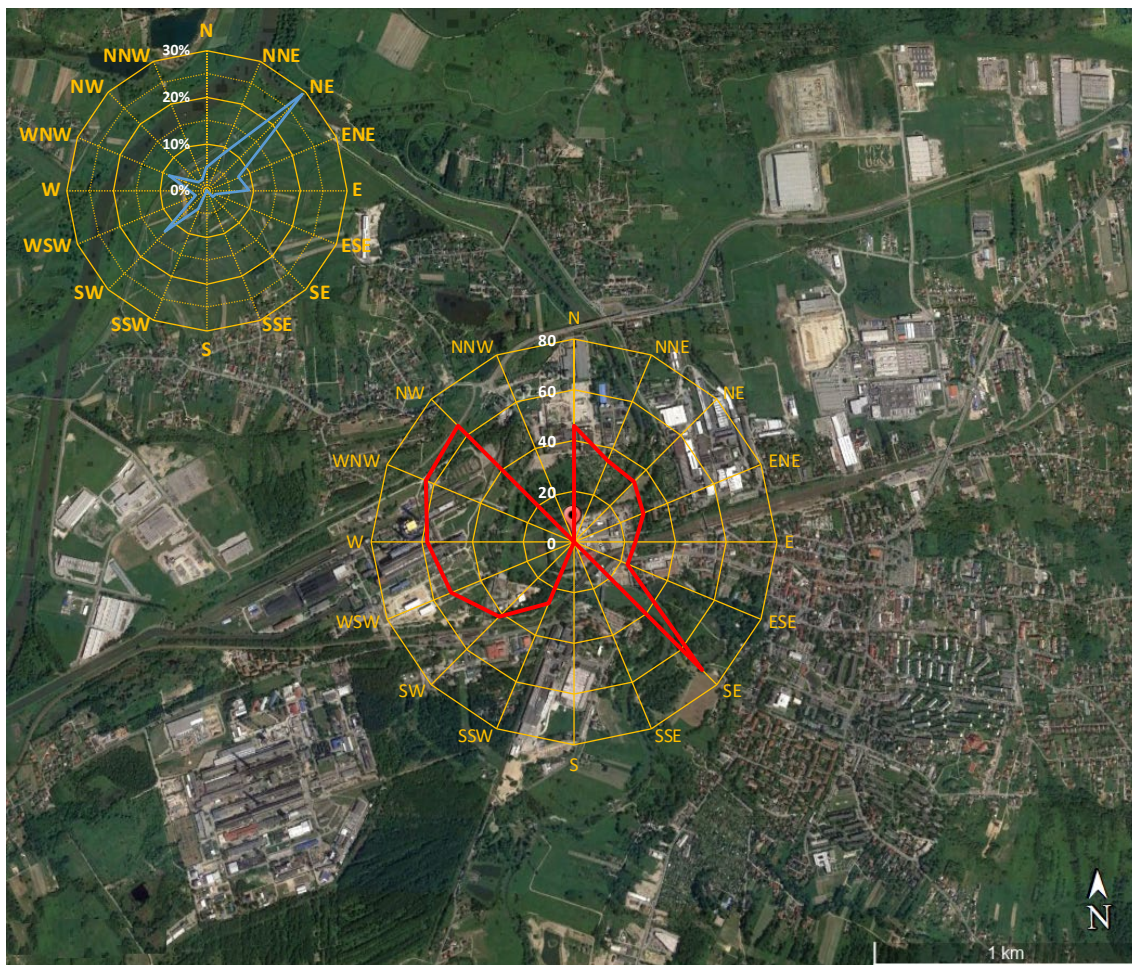


Rysunek 4. Zmienność średnich dobowych stężeń PM₁₀ na tle zmienności podstawowych parametrów meteorologicznych – punkt pomiarowy w Skawinie, okres: 1.01–31.12.2020 r.

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

(linią pomarańczową oznaczono wartość dopuszczalną dla średniego dobowego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ na podstawie Rozp. MŚ z dn. 24.08.2012 r., Dz. U. z 2012 r. poz. 1031)

(linia pomarańczową oznaczono wartość dopuszczalną dla średniego dobowego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ na podstawie Rozp. MŚ z dn. 24.08.2012 r., Dz. U. z 2012 r. poz. 1031)



Rysunek 7. Róża stężeń pyłu PM₁₀ [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] za okres 1.01–31.12.2020 r. wraz z różą kierunków wiatru (*lewy górny róg*) na podkładzie mapowym Google.com z zaznaczeniem lokalizacji stanowiska pomiarowego

3.2 Stężenia wybranych metali w pyłe PM₁₀

W Tabeli 5 zestawiono średnie tygodniowe stężenia wybranych metali w próbkach pyłu PM₁₀, pobieranych w Skawinie od 01.01 do 21.12.2020 r. Wyliczenia stężeń oznaczanych metali, ich sumy oraz statystyki opisowe dla poszczególnych sezonów zostały wykonane w arkuszu Excel i zestawione w tabeli z dokładnością do 10⁻² ng/m³. Graficzną prezentację uzyskanych wyników pokazano na Rysunkach 8-10.

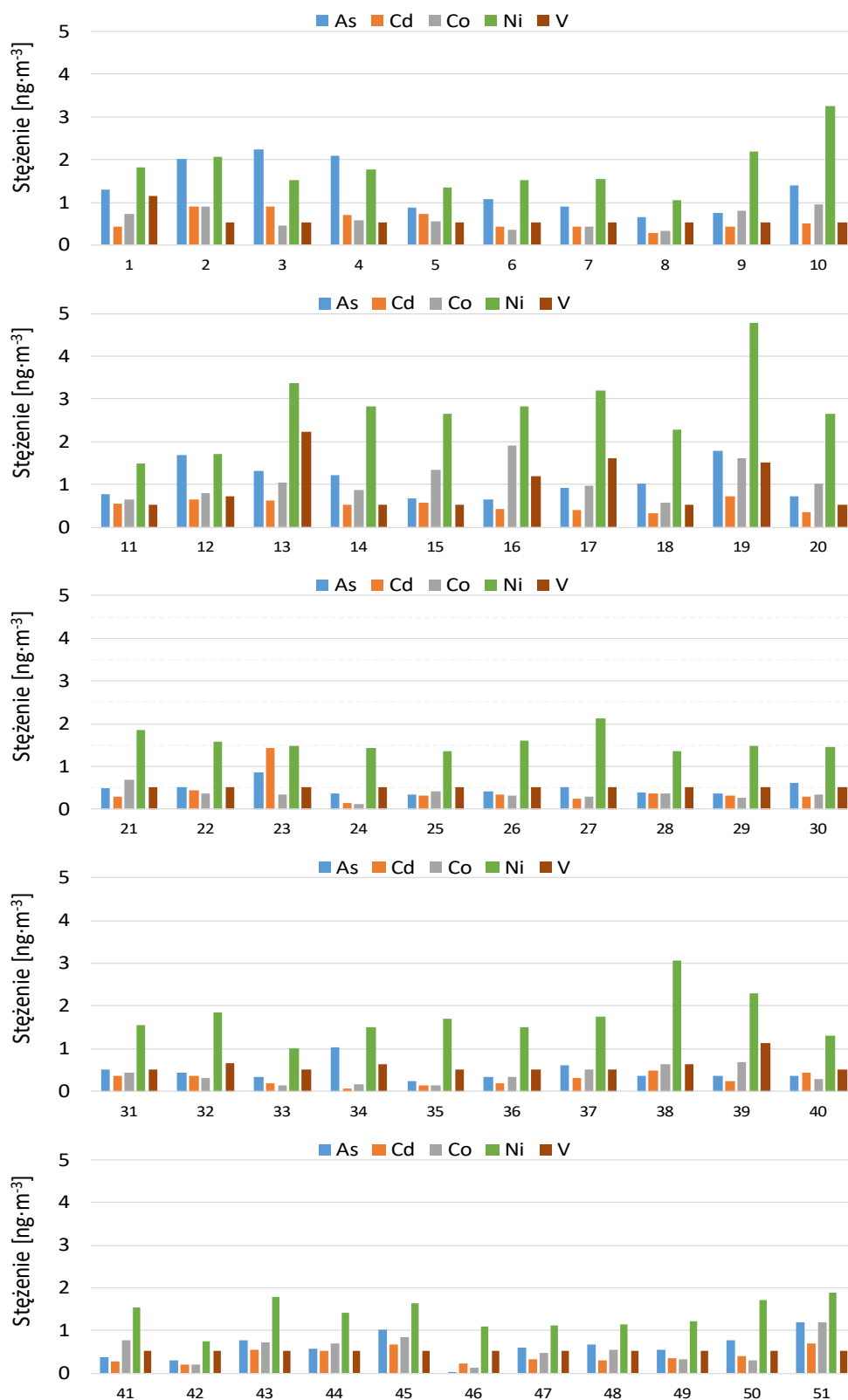
Tabela 5. Stężenia wybranych metali [ng·m⁻³] w tygodniowych próbkach pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 01.01–21.12.2020 r.)

Nr próbki łączonej	Stężenie metali [ng·m ⁻³] w poszczególnych okresach pomiarowych										Suma metali
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Al	Pb	V	
1	1,29	0,43	0,73	3,86	18,25	1,81	49,93	295,54	16,23	1,14	389,20
2	2,01	0,91	0,91	4,55	14,57	2,05	73,11	469,28	31,84	0,52	599,76
3	2,24	0,90	0,47	3,95	14,15	1,52	71,03	194,42	32,35	0,52	321,55
4	2,09	0,69	0,58	4,26	11,67	1,77	68,45	474,48	26,60	0,52	591,10
5	0,87	0,72	0,55	2,28	9,23	1,36	29,92	298,12	14,05	0,52	357,61
6	1,06	0,44	0,35	3,06	10,06	1,53	36,51	280,06	16,28	0,52	349,88
7	0,91	0,43	0,43	3,27	9,13	1,55	38,68	316,27	14,98	0,52	386,16
8	0,65	0,29	0,34	2,30	6,90	1,05	25,88	326,70	10,42	0,52	375,04
9	0,76	0,43	0,79	7,57	8,35	2,18	34,53	427,74	12,29	0,52	495,16
10	1,40	0,49	0,94	11,20	10,27	3,26	42,06	373,38	17,58	0,52	461,10
11	0,77	0,54	0,64	3,35	8,45	1,48	48,06	484,77	16,28	0,52	564,87
12	1,68	0,65	0,78	3,99	10,82	1,72	60,18	540,79	17,86	0,73	639,20
13	1,32	0,62	1,04	9,32	9,11	3,36	61,07	1093,25	17,67	2,24	1199,00
14	1,21	0,53	0,87	10,06	6,95	2,82	44,59	601,43	16,02	0,52	684,99
15	0,67	0,56	1,33	9,80	5,96	2,66	43,04	604,18	13,38	0,52	682,12
16	0,66	0,42	1,90	10,47	8,14	2,82	43,71	655,88	12,34	1,19	737,54
17	0,92	0,40	0,97	10,42	10,06	3,21	42,56	800,99	11,77	1,61	882,91
18	1,02	0,32	0,58	9,23	4,41	2,29	25,10	472,00	8,56	0,52	524,03
19	1,78	0,73	1,60	17,73	14,42	4,79	43,66	345,35	15,82	1,50	447,39
20	0,72	0,34	1,02	13,01	7,10	2,64	28,47	304,87	7,78	0,52	366,47
21	0,48	0,30	0,69	7,52	7,99	1,85	22,37	315,00	5,50	0,52	362,22
22	0,52	0,44	0,37	4,36	5,50	1,57	26,86	273,24	8,97	0,52	322,34
23	0,86	1,43	0,35	4,23	5,55	1,49	22,14	220,91	6,02	0,52	263,49
24	0,37	0,14	0,13	4,30	3,16	1,44	19,18	251,98	4,52	0,52	285,75
25	0,35	0,31	0,42	4,59	4,51	1,36	21,68	153,50	5,50	0,52	192,73
26	0,41	0,35	0,31	5,09	5,08	1,60	18,77	192,88	5,18	0,52	230,18
27	0,52	0,25	0,29	5,34	6,74	2,12	16,03	197,60	4,01	0,52	233,42
28	0,39	0,36	0,36	4,11	6,17	1,35	22,50	174,73	6,64	0,52	217,13
29	0,38	0,31	0,27	6,38	8,82	1,49	20,85	224,03	4,89	0,52	267,93
30	0,62	0,29	0,33	5,65	9,49	1,46	21,78	149,38	6,38	0,52	195,91
31	0,51	0,36	0,43	8,04	6,01	1,55	23,69	233,83	5,50	0,52	280,44
32	0,44	0,36	0,31	5,60	9,38	1,84	25,59	292,41	6,58	0,65	343,16

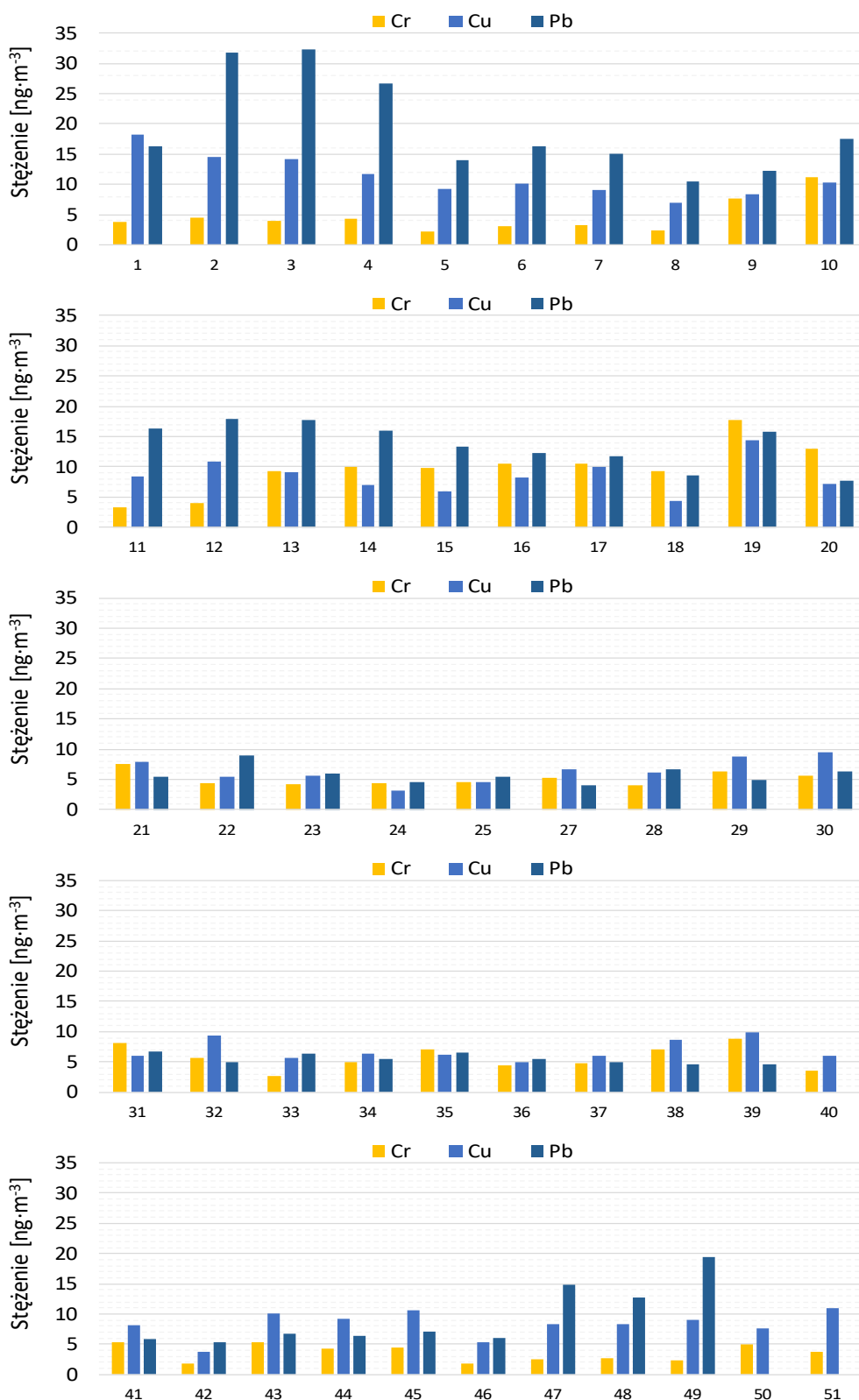
Ocena stężenia pyłu PM10, wybranych metali i WWA na podstawie pomiarów prowadzonych
w Skawinie w 2020 r.

Nr próbki łączonej	Stężenie metali [ng·m ⁻³] w poszczególnych okresach pomiarowych										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Al	Pb	V	Suma metali
33	0,35	0,20	0,13	2,64	5,65	1,02	16,80	64,29	5,39	0,52	96,99
34	1,04	0,07	0,16	4,96	6,37	1,50	20,33	157,38	4,93	0,64	197,38
35	0,23	0,15	0,13	7,05	6,12	1,70	23,23	230,73	4,56	0,52	274,41
36	0,34	0,18	0,34	4,45	4,87	1,50	18,15	169,56	4,64	0,52	204,56
37	0,60	0,31	0,50	4,74	6,01	1,75	21,83	150,88	5,86	0,52	193,00
38	0,35	0,50	0,62	7,14	8,60	3,07	24,26	357,82	5,42	0,64	408,41
39	0,37	0,23	0,68	8,90	9,92	2,29	26,30	507,08	6,68	1,14	563,59
40	0,37	0,43	0,29	3,51	6,09	1,31	23,19	180,43	6,34	0,52	222,48
41	0,39	0,29	0,77	5,32	8,08	1,54	31,70	689,57	7,03	0,52	745,21
42	0,32	0,21	0,21	1,84	3,70	0,74	24,71	169,02	6,12	0,52	207,39
43	0,77	0,55	0,73	5,38	10,10	1,78	47,76	342,71	14,80	0,52	425,09
44	0,59	0,54	0,69	4,32	9,28	1,43	41,75	596,35	12,77	0,52	668,23
45	1,03	0,67	0,85	4,41	10,66	1,63	51,81	328,21	19,49	0,52	419,29
46	0,04	0,23	0,13	1,86	5,36	1,11	20,57	131,98	7,31	0,52	169,11
47	0,59	0,32	0,48	2,47	8,25	1,12	36,33	176,28	11,41	0,52	237,78
48	0,67	0,30	0,55	2,76	8,39	1,16	40,79	149,59	12,48	0,52	217,21
49	0,56	0,34	0,32	2,39	9,04	1,22	33,37	99,03	11,45	0,52	158,23
50	0,77	0,41	0,31	5,02	7,63	1,71	50,12	244,46	14,36	0,52	325,32
51	1,21	0,69	1,19	3,79	10,98	1,89	63,52	293,18	21,00	0,52	397,97
Cały okres											
Średnia	0,79	0,44	0,59	5,72	8,26	1,85	35,07	334,85	11,41	0,64	399,64
Odchylenie	0,50	0,23	0,38	3,20	2,95	0,74	15,37	199,82	6,77	0,34	214,16
Minimum	0,04	0,07	0,13	1,84	3,16	0,74	16,03	64,29	4,01	0,52	96,99
Maksimum	2,24	1,43	1,90	17,73	18,25	4,79	73,11	1093,25	32,35	2,24	1199,00
Mediana	0,66	0,40	0,50	4,59	8,25	1,60	29,92	293,18	10,42	0,52	357,61
Sezon grzewczy											
Średnia	0,97	0,50	0,60	4,24	9,54	1,65	44,20	359,03	15,56	0,62	436,92
Odchylenie	0,57	0,19	0,27	2,24	3,00	0,60	15,37	215,15	6,88	0,36	226,12
Minimum	0,04	0,21	0,13	1,84	3,70	0,74	20,57	99,03	6,12	0,52	158,23
Maksimum	2,24	0,91	1,19	11,20	18,25	3,36	73,11	1093,25	32,35	2,24	1199,00
Mediana	0,77	0,44	0,58	3,86	9,13	1,54	41,75	316,27	14,80	0,52	389,20
Sezon niegrzewczy											
Średnia	0,62	0,38	0,58	7,15	7,04	2,05	26,29	311,61	7,42	0,66	363,79
Odchylenie	0,35	0,26	0,46	3,37	2,36	0,82	9,07	185,13	3,50	0,32	199,79
Minimum	0,23	0,07	0,13	2,64	3,16	1,02	16,03	64,29	4,01	0,52	96,99
Maksimum	1,78	1,43	1,90	17,73	14,42	4,79	44,59	800,99	16,02	1,61	882,91
Mediana	0,51	0,33	0,39	6,02	6,27	1,72	22,87	242,91	5,94	0,52	283,09

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 RMŚ z dn. 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r. poz. 1031) z późniejszymi zmianami)



Rysunek 8. Stężenie arsenu (As), kadmu (Cd), kobaltu (Co), niklu (Ni) i wanadu (V) [ng·m⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 01.01–21.12.2020 r.)



Rysunek 9. Stężenie chromu (Cr), miedzi (Cu) i ołowiu (Pb) [ng·m⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 01.01–21.12.2020 r.)



Rysunek 10. Stężenie cynku (Zn) i glinu (Al) [ng·m⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 01.01–21.12.2020 r.)

3.3 Stężenie wybranych WWA w pyłe PM₁₀

W Tabeli 6 zestawiono średnie tygodniowe stężenia WWA w próbkach pyłu PM₁₀, pobieranych w Skawinie w okresie od 01.01.2020 r. do 21.12.2020 r. Wyliczenia stężeń oznaczanych WWA, ich sumy oraz statystyki opisowe dla poszczególnych sezonów zostały wykonane w arkuszu Excel i zestawione w tabeli z dokładnością do 10⁻² ng/m³. Graficzną prezentację uzyskanych wyników pokazano na Rysunkach 11-13.

Tabela 6. Stężenie wybranych WWA [ng·m⁻³] w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 01.01–21.12.2020 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	24,89	2,78	7,82	6,17	25,61	1,20	12,13	23,75	19,29	17,21	21,57	6,05	13,07	10,58	2,16	7,45	201,71
2	29,45	2,67	7,96	6,94	24,48	0,92	9,38	18,25	18,15	16,80	20,95	6,38	12,65	9,76	2,05	7,49	194,28
3	30,49	3,49	9,88	6,64	28,20	1,09	11,61	28,52	26,13	23,02	35,26	9,17	21,67	17,94	2,97	10,99	267,06
4	29,87	2,99	8,32	6,28	24,89	1,08	11,51	21,88	19,39	17,53	23,65	5,88	13,69	11,62	2,23	7,65	208,46
5	29,66	2,49	7,88	7,18	24,99	1,03	6,63	8,60	8,88	8,14	8,40	3,03	6,41	5,53	1,31	3,87	133,99
6	27,49	2,54	8,00	6,72	23,96	0,96	8,01	12,65	12,45	10,99	13,48	3,77	8,20	6,69	1,50	4,62	152,04
7	26,96	2,55	8,44	7,42	25,61	1,04	6,74	10,34	10,26	8,82	11,82	3,24	7,21	5,64	1,31	4,03	141,43
8	32,46	2,69	8,87	8,14	26,76	1,10	5,49	6,63	6,80	6,18	7,56	2,18	4,69	3,92	1,11	2,96	127,53
9	28,00	2,64	8,85	7,92	26,55	1,11	5,49	6,89	7,09	6,43	8,31	2,47	5,00	4,10	1,13	3,20	125,16
10	28,63	2,71	8,80	7,80	26,86	1,03	6,75	9,83	10,37	9,56	13,28	3,75	7,93	6,65	1,44	4,61	150,00
11	21,67	2,28	7,61	6,84	24,47	0,94	6,14	8,92	8,86	7,84	11,10	2,93	6,54	5,29	1,30	3,85	126,58
12	30,78	3,21	10,74	10,02	33,83	1,34	6,65	7,78	8,49	8,30	12,57	3,83	7,32	6,52	1,67	4,79	157,84
13	0,11	0,11	0,11	0,11	2,45	0,36	5,16	7,06	7,11	6,96	9,50	2,70	5,40	4,73	1,25	3,50	56,62
14	2,63	0,40	0,67	0,80	4,88	0,51	5,91	9,05	8,62	8,08	10,99	2,92	6,47	5,53	1,30	3,99	72,76
15	10,21	0,81	2,49	2,62	8,83	0,53	4,37	5,35	5,24	5,12	7,88	2,16	4,58	4,15	1,06	2,96	68,35
16	9,20	0,78	2,44	2,42	8,75	0,57	3,85	4,18	3,91	4,15	5,60	1,84	3,26	2,82	0,93	2,22	56,90
17	9,03	0,77	2,45	2,44	8,36	0,52	3,37	3,45	3,25	3,40	5,36	1,68	3,08	2,89	0,91	2,27	53,22
18	11,31	0,79	2,56	2,57	8,10	0,46	1,94	1,69	1,58	1,66	3,04	1,01	1,68	1,78	0,75	1,59	42,50

Ocena stężenia pyłu PM10, wybranych metali i WWA na podstawie pomiarów prowadzonych
w Skawinie w 2020 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
19	25,31	2,48	8,54	7,93	25,93	1,24	3,44	2,37	1,74	1,80	2,82	1,04	1,64	1,75	0,76	1,56	90,35
20	24,78	2,50	8,61	8,25	26,65	1,16	3,49	2,60	2,15	2,20	3,63	1,23	2,00	2,08	0,76	1,72	93,83
21	0,10	0,10	0,10	0,10	0,37	0,25	0,94	0,98	0,98	0,95	1,70	0,53	0,99	1,01	0,61	1,03	10,75
22	0,10	0,10	0,10	0,10	0,55	0,34	1,56	1,56	1,56	1,44	3,17	0,80	1,68	1,70	0,78	1,63	17,17
23	0,10	0,10	0,10	0,10	0,21	0,25	0,56	0,63	0,80	0,75	2,21	0,53	0,90	1,21	0,66	1,09	10,22
24	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,22	0,33	0,39	0,57	0,52	1,06	0,30	0,57	0,81	0,59	0,75	6,63
25	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,24	0,29	0,36	0,53	0,45	0,82	0,25	0,52	0,68	0,57	0,65	5,88
26	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,22	0,27	0,35	0,51	0,45	0,88	0,26	0,48	0,61	0,56	0,61	5,71
27	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,22	0,21	0,29	0,47	0,37	0,62	0,10	0,45	0,57	0,55	0,56	4,93
28	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,22	0,32	0,38	0,54	0,46	0,85	0,26	0,55	0,64	0,57	0,61	5,92
29	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,22	0,29	0,35	0,49	0,40	0,75	0,24	0,48	0,64	0,56	0,62	5,56
30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,22	0,34	0,39	0,53	0,45	0,82	0,26	0,50	0,66	0,58	0,64	5,91
31	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,22	0,36	0,40	0,54	0,49	0,91	0,28	0,56	0,71	0,57	0,69	6,25
32	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,27	0,30	0,39	0,60	0,51	0,98	0,31	0,60	0,72	0,70	0,77	6,80
33	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,21	0,27	0,33	0,47	0,56	0,75	0,24	0,45	0,57	0,57	0,56	5,49
34	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,27	0,13	0,32	0,54	0,43	0,75	0,13	0,52	0,68	0,68	0,65	5,72
35	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,23	0,25	0,32	0,50	0,44	0,89	0,28	0,54	0,65	0,56	0,69	5,87
36	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,22	0,26	0,33	0,51	0,43	0,92	0,29	0,60	0,74	0,58	0,73	6,12
37	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,23	0,32	0,41	0,58	0,51	1,20	0,36	0,75	0,92	0,59	0,95	7,35
38	0,13	0,13	0,13	0,19	0,22	0,09	0,35	0,45	0,40	0,21	0,52	0,26	0,30	1,18	0,77	1,95	7,27
39	0,10	0,10	0,10	0,18	0,19	0,12	0,62	0,80	0,34	0,18	0,39	0,20	1,10	1,02	0,64	1,21	7,30
40	0,10	0,10	0,10	0,21	0,21	0,16	0,64	1,34	0,65	0,37	0,36	0,18	1,81	1,17	0,66	1,41	9,49
41	0,10	0,10	0,10	0,30	0,26	0,11	0,42	2,04	1,01	0,49	0,41	0,20	2,58	1,25	0,67	1,85	11,90
42	0,10	0,10	0,10	0,22	0,25	0,19	1,23	2,56	1,12	0,59	0,38	0,19	5,05	1,35	0,69	1,36	15,47
43	0,10	0,10	0,10	0,21	0,62	0,15	5,22	8,22	6,06	3,04	0,90	0,45	7,97	2,57	0,79	5,24	41,75
44	0,10	0,10	0,10	0,26	0,42	0,55	4,37	5,98	4,29	2,15	0,70	0,35	7,63	2,23	0,77	4,60	34,60

Ocena stężenia pyłu PM10, wybranych metali i WWA na podstawie pomiarów prowadzonych
w Skawinie w 2020 r.

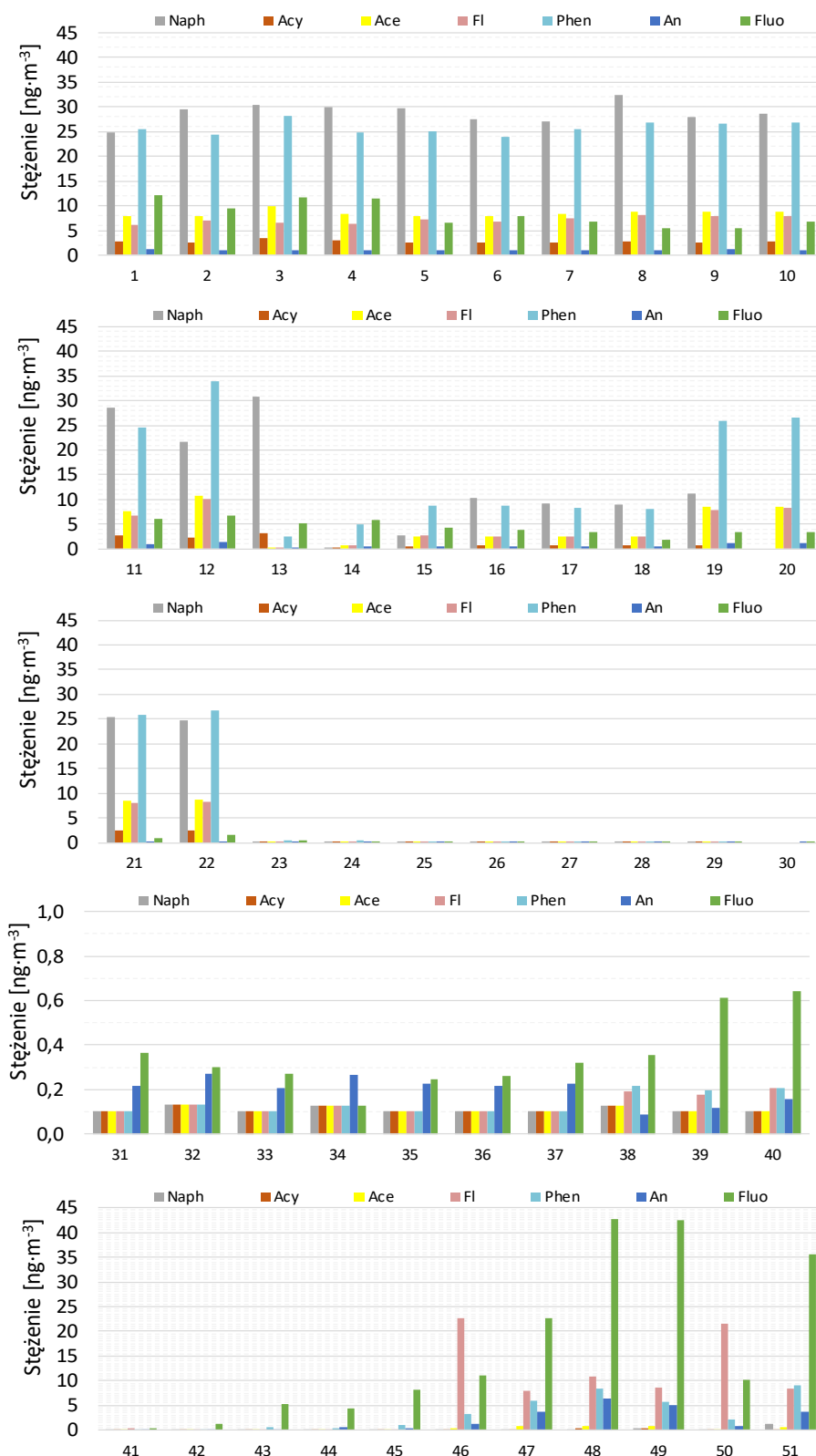
Nr próbki łączonej	Stężenie WWA [ng·m ⁻³] w poszczególnych okresach pomiarowych																
	Naph	Acy	Ace	Fl	Phen	An	Fluo	Pyr	B(a)A	Chry	B(b)F	B(k)F	B(a)P	I(cd)P	D(ah)A	B(ghi)P	Suma WWA
45	0,10	0,10	0,10	0,19	1,01	0,32	8,21	11,97	9,45	4,74	1,14	0,57	9,11	3,21	0,83	10,16	61,22
46	0,13	0,18	0,36	22,69	3,19	1,18	10,96	16,13	19,11	28,53	17,97	7,38	16,08	4,78	0,88	10,23	159,75
47	0,11	0,18	0,79	7,90	6,04	3,63	22,61	32,16	31,51	45,54	20,91	8,50	23,80	7,27	0,92	16,12	227,97
48	0,23	0,42	0,83	10,85	8,43	6,33	42,76	52,89	46,13	65,35	29,38	10,53	35,25	10,38	0,95	20,41	341,10
49	0,45	0,27	0,92	8,69	5,79	5,14	42,38	52,19	51,71	69,74	34,83	13,54	35,33	13,22	0,97	23,46	358,64
50	0,09	0,10	0,15	21,56	2,26	0,81	10,14	12,20	10,62	17,58	7,32	2,87	7,87	2,36	0,78	6,12	102,82
51	1,19	0,05	0,60	8,30	9,14	3,81	35,57	38,93	32,02	46,61	19,04	8,57	28,82	7,78	0,93	14,10	255,46

Ocena stężenia pyłu PM10, wybranych metali i WWA na podstawie pomiarów prowadzonych
w Skawinie w 2020 r.

Nr próbki łącznej	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	8,58	0,89	2,69	3,90	8,84	0,88	6,29	8,74	8,13	9,19	7,65	2,48	6,59	3,79	0,97	4,25	83,88
Odchylenie	12,37	1,16	3,75	5,19	11,29	1,24	9,71	12,58	11,59	15,75	9,32	3,16	8,62	3,87	0,50	5,10	93,32
Minimum	0,09	0,05	0,10	0,10	0,10	0,09	0,13	0,29	0,34	0,18	0,36	0,10	0,30	0,57	0,55	0,56	4,93
Maksimum	32,46	3,49	10,74	22,69	33,83	6,33	42,76	52,89	51,71	69,74	35,26	13,54	35,33	17,94	2,97	23,46	358,64
Mediana	0,13	0,13	0,13	0,30	2,26	0,46	3,49	3,45	3,25	2,20	3,04	1,01	3,26	2,23	0,78	2,22	53,22
Sezon grzewczy																	
Średnia	13,73	1,40	4,30	6,78	14,25	1,42	11,45	16,31	15,08	17,30	13,23	4,35	12,04	6,26	1,25	7,36	146,51
Odchylenie	14,48	1,35	4,26	5,82	12,21	1,58	11,79	14,43	13,33	19,46	10,51	3,63	9,59	4,14	0,58	5,79	96,10
Minimum	0,09	0,05	0,10	0,11	0,21	0,11	0,42	1,34	0,65	0,37	0,36	0,18	1,81	1,17	0,66	1,36	9,49
Maksimum	32,46	3,49	10,74	22,69	33,83	6,33	42,76	52,89	51,71	69,74	35,26	13,54	35,33	17,94	2,97	23,46	358,64
Mediana	1,19	0,42	0,92	6,94	9,14	1,03	6,75	10,34	10,26	8,82	11,82	3,24	7,93	5,53	1,11	4,79	141,43
Sezon niegrzewczy																	
Średnia	3,63	0,41	1,15	1,12	3,64	0,35	1,32	1,47	1,46	1,40	2,29	0,68	1,36	1,41	0,70	1,26	23,64
Odchylenie	7,26	0,66	2,35	2,23	7,36	0,28	1,65	2,06	1,90	1,86	2,58	0,73	1,48	1,22	0,18	0,85	29,26
Minimum	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,13	0,29	0,34	0,18	0,39	0,10	0,30	0,57	0,55	0,56	4,93
Maksimum	25,31	2,50	8,61	8,25	26,65	1,24	5,91	9,05	8,62	8,08	10,99	2,92	6,47	5,53	1,30	3,99	93,83
Mediana	0,10	0,10	0,10	0,10	0,13	0,23	0,35	0,41	0,55	0,51	0,95	0,30	0,60	0,87	0,63	0,86	7,03

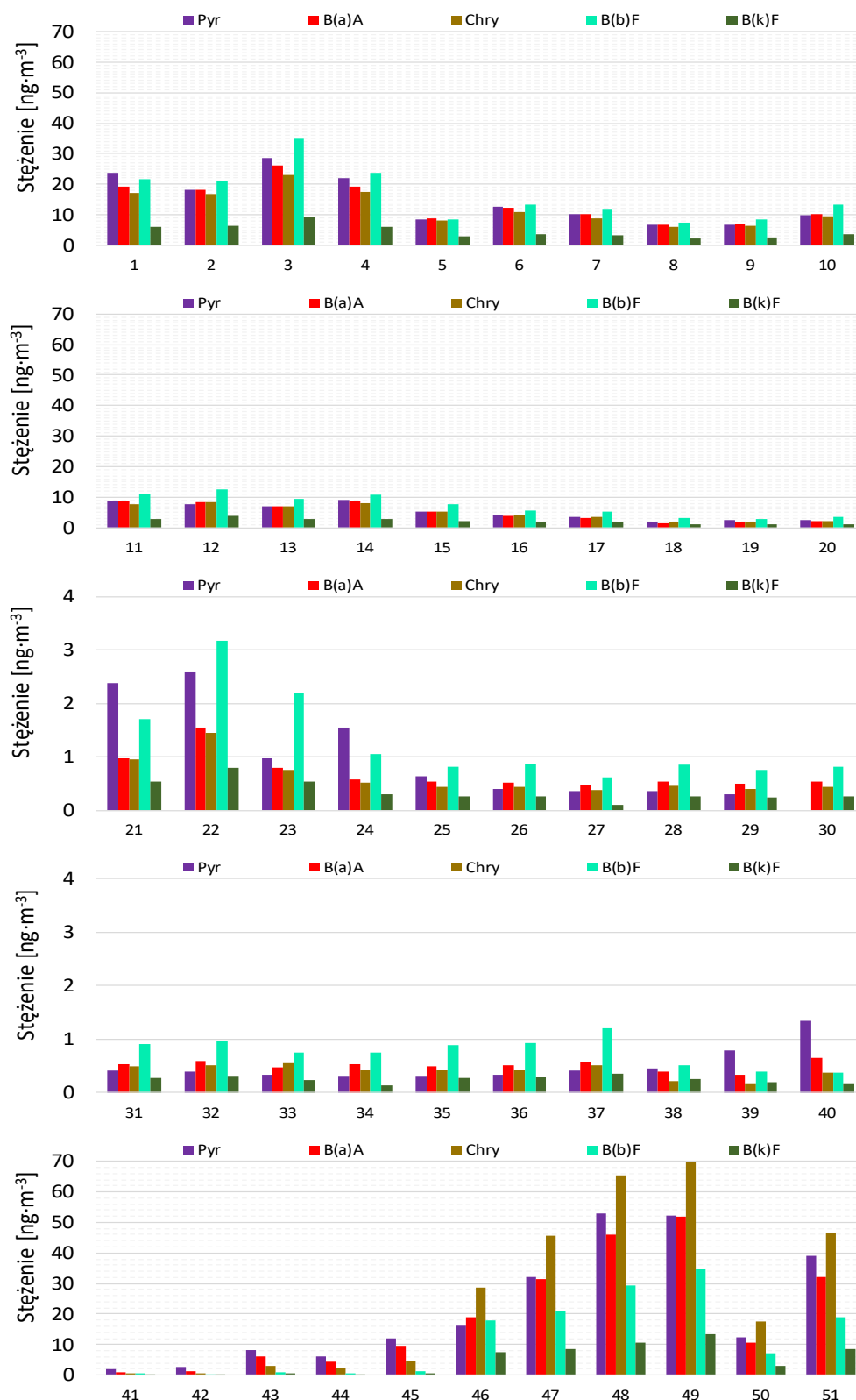
Oznaczenia: Naph – naftalen; Acy – acenaftylen; Ace – acenaften; Fl – fluoren; Phen – fenantren; An – antracen; Fluo – fluoranten; Pyr – piren; B(a)A – benzo(a)antracen; Chry – chryzen; B(b)F – benzo(b)fluoranten; B(k)F – benzo(k)fluoranten; B(a)P – benzo(a)piren; I(cd)P – indeno(123-cd)piren; D(ah)A – 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 RMŚ z dn. 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r. poz. 1031) z późniejszymi zmianami)



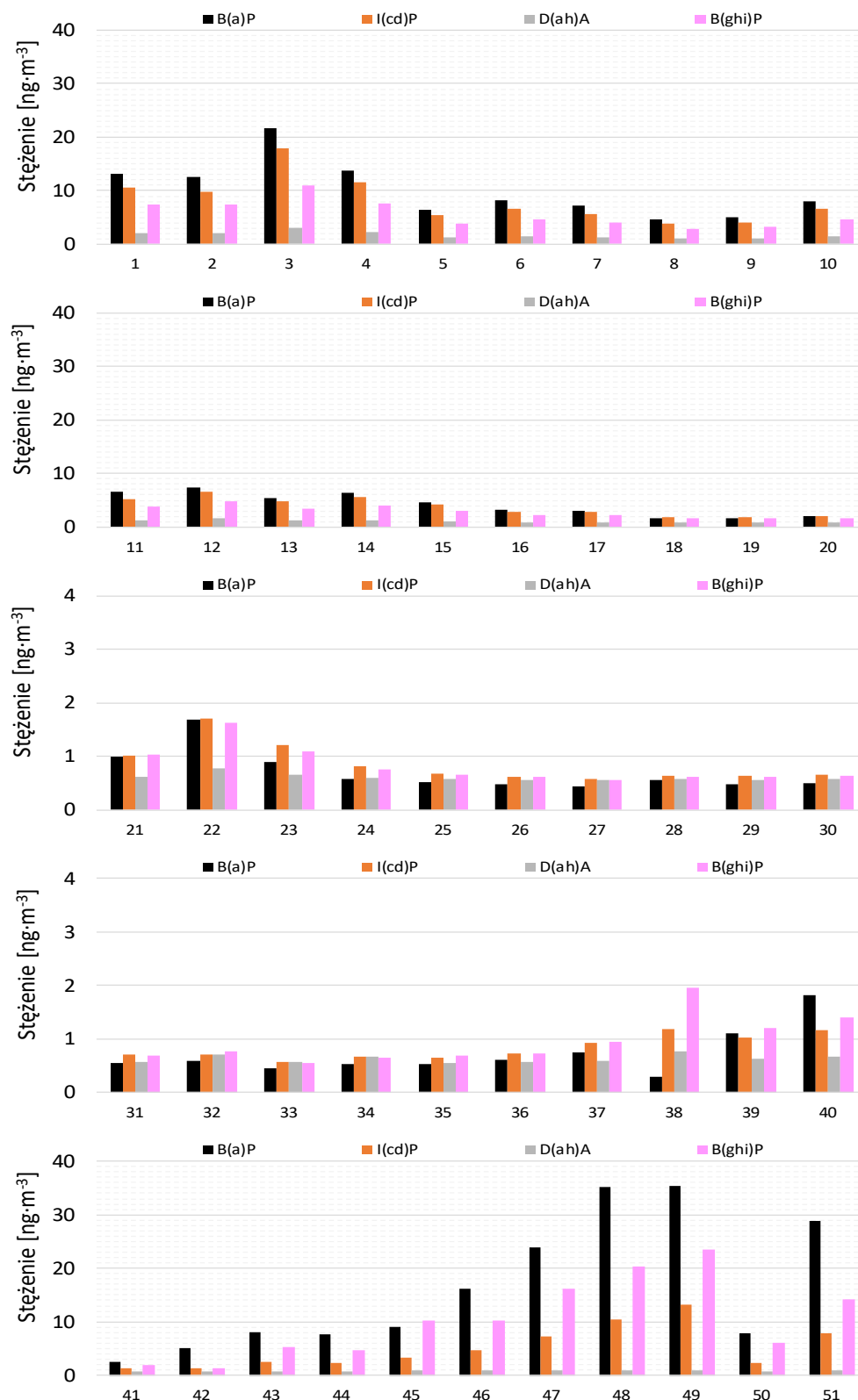
Rysunek 11. Stężenie wybranych WWA [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] (naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten) w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 01.01–21.12.2020 r.)

(Oznaczenia: Naph – naftalen; Acy – acenaftylen; Ace – acenaften; FI – 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: 01.01–21.12.2020 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)perylen) w próbkach tygodniowych pyłu PM₁₀ ze Skawiny (okres: 01.01–21.12.2020 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)perylen)

4. Analiza wyników

W okresie pomiarowym od 1.01 – 31.12.2020 r. (366 dni) uzyskano 361 ważnych danych o stężeniu dobowym PM₁₀, co oznacza, że warunek dotyczący wymaganego pokrycia czasowego dla pomiarów ciągłych i okresowych (>90%), określony w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2018 r. (Dz. U. z 2018 r. poz. 1119), z późniejszymi zmianami (Dz. U. 2020 r., poz. 2279), był spełniony. Podobnie jest w przypadku stężeń metali i WWA. Wymagany ww. rozporządzeniem stopień kompletności danych (jako minimalny procent ważnych danych), w szczególności w zakresie stężenia ołowiu, arsenu, kadmu, niklu i benzo(a)pirenu, dla których określono średnie roczne stężenie dopuszczalne lub docelowe, był również wystarczający do oceny zgodności z obowiązującymi normami jakości powietrza.

Średnie dobowe stężenia PM₁₀ w Skawinie przyjmowały wartości z przedziału 3,58 – 157,93 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Tabela 4). Średnia z całego okresu pomiarowego (obliczana na podstawie stężeń 24 h) wynosiła 37,61 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, co stanowiło ~94% dopuszczalnego średniorocznego stężenia PM₁₀ (40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), zg. z Rozp. MŚ z dn. 8 czerwca 2018 r. (Dz. U. z 2018 r. poz. 1119) z późniejszymi zmianami.

Stężenia PM₁₀ wykazywały wyraźną zmienność sezonową (Tabela 4, Rysunek 2-3), podobnie jak miało to miejsce w 2019 r. Wysokie stężenia PM₁₀ w sezonie grzewczym 2020 r. (średnio: 49,09 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) wynikały ze wzrostu aktywności lokalnych źródeł energetycznych i jednocześnie - 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 z powietrza. Niższe niż w sezonie grzewczym, ale wciąż wysokie stężenia PM₁₀ w sezonie niegrzewczym (średnio: 26,07 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) sugerują, że ważną rolę w rozkładzie stężenia PM₁₀ w badanym obszarze odgrywają 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 83 przypadki przekroczeń dopuszczalnego średniodobowego stężenia PM₁₀, wynoszącego 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (za Rozp. MŚ z dn. 8 czerwca 2018 r., Dz. U. z 2018 r. poz. 1119), w proporcji 69 takich przypadków w sezonie grzewczym i 14 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 w analizowanym okresie dotrzymany. Uzyskane wyniki, podobnie jak to miało miejsce w 2019 r., wskazują na występowanie poważnego problemu w zakresie narażenia okolicznych mieszkańców z tytułu inhalacji pyłu zawieszonego PM₁₀ i sygnalizują konieczność podjęcia działań służących poprawie jakości powietrza w monitorowanym obszarze.

Najwyższe stężenia PM₁₀ występowały przy adwekcji z sektora SE (71,24 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), NW (64,77 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i WNW (63,58 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Najwyższe średnie stężenie tej frakcji pyłu występowało przy napływie zanieczyszczonego powietrza z podmiejskich terenów starej zabudowy komunalnej, terenów przemysłowych w zachodniej części miasta oraz od strony północno-wschodniej względem stanowiska pomiarowego (Rysunek 5-7). Sytuacja w zakresie napływu mas powietrza zanieczyszczonych pyłem PM₁₀ okazała się spójna z obserwacjami, poczynionymi w roku 2019.

Badania składu chemicznego wykazały obecność wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (Tabela 6, 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 ~0,18%, przy czym udział ten był wyraźnie wyższy w sezonie grzewczym (~0,29%) w porównaniu do okresu niegrzewczego (~0,08%). Odnotowano relatywnie wysokie stężenia kancerogennego benzo(a)pirenu. Stężenia B(a)P przyjmowały wartości z przedziału od 0,30 do 35,33 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Średnie stężenie B(a)P w całym okresie pomiarowym wynosiło 6,59 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ i było ponad 6-krotnie wyższe niż limitowane prawem docelowe średnioroczne stężenie B(a)P, równe 1 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ (za Rozp. MŚ z dn. 24 sierpnia 2012 r., Dz.U. z 2012 r. poz. 1031) z późniejszymi zmianami. Wskazuje to na potencjalnie wysokie ryzyko zdrowotne narażenia okolicznych mieszkańców na inhalację cząstek PM₁₀, zawierających B(a)P oraz inne WWA, w szczególności w sezonie grzewczym. Stężenie D(ah)A, o względnie wysokim współczynniku toksyczności (wg. niektórych autorów 5-krotnie wyższym w porównaniu do B(a)P, Naumczyk, 2017), kształtowało się na poziomie 0,97 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ w całym analizowanym okresie. Należy zaznaczyć, że stężenie D(ah)A nie jest obecnie limitowane przepisami prawa. Najbardziej prawdopodobnym źródłem emisji B(a)P w obszarze badań, jak również pozostałych WWA, było spalanie paliw w gospodarstwach domowych. Wskazuje na to

wyraźna różnica pomiędzy stężeniami B(a)P w sezonie grzewczym (średnio: 12,04 ng·m⁻³) i niegrzewczym (średnio: 1,36 ng·m⁻³). Analogiczne różnice sezonowe obserwowano również dla pozostałych związków z grupy WWA. 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 0,17 do 0,59 (przeciętnie: 0,43). Znaczący udział procesów spalania paliw kopalnych w kształtowaniu rozkładu stężenia WWA potwierdzają również proporcje stężenia benzo(a)antracenu do sumy stężeń benzo(a)antracenu i chryzenu (przeciętnie: 0,53) (Dvorská i inni, 2011, Slezakova i inni, 2010). Prawidłowości związane z rozkładem stężenia WWA w badanym obszarze w 2020 r. okazały się spójne z obserwacjami poczynionymi w roku 2019.

Biorąc pod uwagę przeciętne stężenie metali w próbkach PM₁₀ pobranych w całym okresie pomiarowym, oznaczane pierwiastki można uporządkować wg następującej kolejności: Al (355,85 ng·m⁻³) > Zn (35,07 ng·m⁻³) > Pb (11,41 ng·m⁻³) > Cu (8,26 ng·m⁻³) > Cr (5,72 ng·m⁻³) > Ni (1,85 ng·m⁻³) > As (0,79 ng·m⁻³) > V (0,64 ng·m⁻³) > Co (0,59 ng·m⁻³) > Cd (0,44 ng·m⁻³) (Tabela 5). Kolejność ta jest niemal identyczna z uszeregowaniem uzyskanym w 2019 r. Średni sumaryczny udział stężeń analizowanych metali w PM₁₀ wynosił ~1,20%, przyjmując w sezonie grzewczym i niegrzewczym wartości odpowiednio ~1,03% oraz ~1,37%. Zasadniczo wyższe stężenia metali, zarówno sumy, jak i poszczególnych pierwiastków, rejestrowano w sezonie grzewczym. Wyjątek stanowiły chrom i nikiel, dla których wyższe stężenia uzyskano w sezonie niegrzewczym (Tabela 5, Rysunek 8-10). W przypadku wanadu, w obu sezonach otrzymano porównywalne średnie stężenia. Podobnie jak w 2019 r., w całym okresie pomiarowym odnotowano wysokie stężenia glinu i chromu, co wskazuje na obecność silnych antropogenicznych źródeł pochodzenia tych pierwiastków. W przypadku glinu jest to najprawdopodobniej emisja związana z procesem przerobu złomu aluminium z instalacji istniejących na terenie miasta. Z kolei głównym źródłem emisji chromu jest przemysł metalurgiczny, ogniotrwały, chemiczny. Toksyczność chromu zależy od stopnia jego utlenienia – wg klasyfikacji Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem działanie kancerogenne wykazują związki chromu (VI). W ramach prowadzonych badań oznaczano nie jedną formę specjacyjną chromu (Cr VI), ale jego całkowitą zawartość w PM₁₀, przy czym stężenie tego pierwiastka (średnio: 5,72 ng·m⁻³) 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 poziomów dopuszczalnych (Pb: $500 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) i docelowych (As, Cd i Ni: odpowiednio 6, 5 i $20 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) za Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dn. 24 sierpnia 2012 r. (Dz. U. z 2012 r. poz. 1031) z późniejszymi zmianami.

5. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w raporcie wyniki badań objęły okres 1.01 - 31.12.2020 r. Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić wysokie stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀. Jakkolwiek średnie stężenie PM₁₀ w 2020 r. wynosiło 37,61 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a więc ~94% dopuszczalnego średniorocznego stężenia PM₁₀ (40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), to w analizowanym obszarze przekroczona została dopuszczona prawem częstość przekraczania dopuszczalnego średniodobowego stężenia PM₁₀ 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. W całym okresie pomiarowym odnotowano 83 przypadki przekroczeń poziomu 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, wobec dopuszczalnych 35 takich przekroczeń w roku kalendarzowym. Przekroczenia średniodobowego poziomu 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ notowano głównie w sezonie grzewczym (69 przypadków), ale również w okresie niegrzewczym (14 przypadków).

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. Czynniki te mogły w znacznym stopniu przyczyniać się do pogorszenia jakości powietrza w obszarze badań, o czym świadczą wysokie, w odniesieniu do wartości docelowej, stężenia benzo(a)pirenu (średnio: 6,59 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$), zwłaszcza w sezonie grzewczym. Stężenia innych oznaczanych WWA nie są obecnie limitowane prawem.

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

Z uwagi na istniejące zagrożenie zdrowia okolicznych mieszkańców z tytułu przekraczania standardów jakości powietrza w zakresie stężenia PM₁₀ i B(a)P, zalecane jest kontynuowanie pomiarów stężeń i składu chemicznego tej frakcji pyłu, jako wskaźnika efektów wdrażania rozwiązań ograniczających emisję przemysłową i komunalną na terenie miasta Skawina. Wysokie stężenia PM₁₀ w sezonie niegrzewczym wskazują na konieczność analizy źródeł pochodzenia pyłu zawieszonego i podjęcia działań ukierunkowanych na ograniczenie wtórnej emisji pyłów z terenów przemysłowych w sąsiedztwie stanowiska pomiarowego.

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)

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.

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: Ocena stężenia pyłu PM₁₀, wybranych metali i WWA na podstawie pomiarów prowadzonych w Skawinie w 2020 r.

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

Autorzy: dr inż. Krzysztof Klejnowski (kierownik pracy)
prof. dr hab. inż. Marianna Czaplicka
dr inż. Halina Pyta
dr inż. Barbara Mathews
dr Barbara Błaszczak
dr inż. Patrycja Rogula-Kopiec
dr inż. Kamila Widziewicz-Rzońca
mgr Krzysztof Słaby
mgr Natalia Ziola
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 okres od 1.01.2020 do 31.12.2020. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w okresie pomiarowym były bardzo wysokie – zidentyfikowano 83 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. 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 docelowych i dopuszczalnych.