

**RAPORT ROCZNY Z MONITORINGU
WYBRANYCH „HOT-SPOTÓW”
Sezon grzewczy 2023/2024**

Zabrze, 2024

Poradnik przygotowany przez Instytut Technologii Paliw i Energii w ramach projektu zintegrowanego LIFE „**Śląskie. Przywracamy błękit**”. **Kompleksowa realizacja Programu ochrony powietrza dla województwa śląskiego** realizowanego jest przy dofinansowaniu z Programu LIFE Unii Europejskiej oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej



Województwo
Śląskie



Projekt zintegrowany LIFE „**Śląskie. Przywracamy błękit**”. **Kompleksowa realizacja Programu ochrony powietrza dla województwa śląskiego** realizowany jest przy dofinansowaniu z Programu LIFE Unii Europejskiej oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.
LIFE20 IPE/PL/000007 – LIFE-IP AQP-SILESIA-SKY

Wyłącznie odpowiedzialność za treść publikacji ponoszą autorzy. Informacje zawarte w niniejszej broszurze niekoniecznie odzwierciedlają stanowisko lub opinie Komisji Europejskiej, która nie odpowiada za skutki związane z użyciem informacji w niej zawartych.

1	WSTĘP	4
2	ABSTRACT	6
3	METODYKA POMIARÓW	7
3.1	POMIARY Z WYKORZYSTANIEM DRONÓW	7
3.2	POMIARY STACJONARNE.....	9
4	WYNIKI KAMPANII POMIAROWEJ	10
5	OCENA PRZEPROWADZONYCH POMIARÓW W ODNIESIENIU DO STANU BAZOWEGO W „HOT-SPOTACH”	37
6	PODSUMOWANIE	39

1 Wstęp

Niniejsze opracowanie przedstawia zestawienie wyników pomiarów uzyskanych w wyniku realizacji dwóch zadań Poddziałania C.2.1. Monitoring zanieczyszczeń pyłowych PM10 z wykorzystaniem dronów na obszarach występowania tzw. „hot-spotów” związanych z niską emisją w sezonie grzewczym 2023/2024:

- ❖ wybiórczego pomiaru względnej wielkości stężeń PM10 (w odniesieniu do CO₂) w gazach spalinowych nad emitarami indywidualnymi w obrębie wytypowanych „hot-spotów”,
- ❖ ciągłych pomiarów stężeń pyłu PM10 przez urządzenia stacjonarne zainstalowane w wybranych punktach „hot-spotów”.

Monitoring zawartości PM10 w spalinach i w powietrzu z wykorzystaniem dronów oraz mierników stacjonarnych na obszarach występowania „hot-spotów” pyłu zawieszanego (lokalnych maksimum stężeń) związanych z eksploatacją indywidualnych urządzeń grzewczych na paliwa stałe, pozwoli na bieżącą kontrolę postępu wdrażania działania naprawczego PL240X-ZSO. W jego ramach przewidziano wymianę przestarzałych, wysokoemisyjnych źródeł ciepła na paliwa stałe na źródła niskoemisyjne.

W trakcie trwania projektu w ramach wybiórczych pomiarów względnych stężeń PM10 mierzone są wartości stężeń chwilowych PM10 i CO₂ nad emitarami w wybranych „hot-spotach” w 10 gminach woj. śląskiego, a następnie wyliczane stosunki CO₂/PM10 uzyskanych stężeń. Dodatkowo sporządzone są mapy przelotu drona nad wytypowanymi „hot-spotami”. Okres trwania projektu obejmuje 6 lat - w jego trakcie cykle pomiarowe będą wykonywane 5-krotnie, przy czym pierwszy cykl ma charakter pomiaru bazowego – zapewniającego dane wyjściowe do oceny spadku emisji.

Dwutlenek węgla, do którego odnoszone są stężenia PM10, stanowi poziom odniesienia dostarczający przybliżonej informacji o mocy źródła, przy stężeniu zmieniającym się w zależności od odległości od emitora i parametrów meteorologicznych w sposób niemal identyczny jak PM10. W rezultacie iloraz stężeń CO₂ i PM10 w nieznacznym tylko stopniu zależy od mocy źródła, od temperatury powietrza i innych zmiennych czynników meteorologicznych (siła i kierunek wiatru, wilgotność powietrza, wysokość warstwy mieszania itp.), nie zmienia się także w zależności od położenia punktu pomiaru względem emitora i osi strumienia spalin (w przyjętym zakresie odległości), zależy natomiast od jakości prowadzenia procesu

spalania i wielkości związanej z tym emisji pyłów. Podobne zależności mają miejsce podczas spalania biopaliw stałych.

Monitoring dronowy prowadzony zgodnie z metodyką ITPE obejmuje pomiar zanieczyszczeń w smudze spalin emitowanych z budynków mieszkalnych. Metodyka ta pozwala na uniezależnienie mierzonych stężeń pyłu od mających na nie silny wpływ parametrów meteorologicznych, jak też stopnia obciążenia urządzeń grzewczych. Można ją stosować w związku z tym do obiektywnej oceny zmian wielkości emisji z urządzeń grzewczych.

Zgromadzone dane, wraz z danymi pozyskanymi w kolejnych latach trwania projektu, umożliwią wykonanie działań pozwalających na monitorowanie dynamiki zmian emisji pyłów pochodzących ze źródeł ciepła zlokalizowanych na obszarze „hot-spotu”.

W przypadku wykrycia w spalinach gazów świadczących o współspalaniu odpadów, będą o tym natychmiast informowane odpowiednie dla danego rejonu służby mające uprawnienia do przeprowadzenia bezpośredniej kontroli źródła emisji i kotłowni.

Pojedynczy pomiar dla każdego emitora będzie skutkował obliczeniem wskaźnika PDW (stosunek CO₂ do PM10). Wskaźnik ten w postaci 5 wartości dla każdego „hot-spotu”, odpowiadających kolejnym latom pomiarowym, będzie wykorzystany do:

- ❖ przedstawienia statystyki opisowej charakteryzującej każdy hot-spot,
- ❖ dokonania porównania poszczególnych hot spotów pod kątem średniego stężenia PM10,
- ❖ ilościowej (procentowej) oceny zmiany stężeń pyłu PM10 (wzrost/spadek) dla każdego „hot-spotu” w okresie 5-letnim,
- ❖ oszacowania efektu ekonomicznego wprowadzanych na terenie „hot-spotów” zmian w postaci stosunku nakładów do uzyskanego spadku wskaźnika PDW (w tym celu wymagane są dodatkowe informacje nt. wymiany źródeł emisji w hot spotach).

Opisane loty pomiarowe dronem posiadają także efekty niemierzalne o charakterze informacyjno-edukacyjnym, obejmujące:

- ❖ podniesienie kompetencji służb kontrolnych odpowiedzialnych na realizację kontroli indywidualnych urządzeń grzewczych w zakresie wykrywania procederu nielegalnego spalania lub współspalania odpadów oraz przestrzegania przepisów uchwały antysmogowej

w zakresie eksploatowanych urządzeń grzewczych i spalanych paliw stałych,

- ❖ określenie, w cyklu corocznym, stopnia redukcji poziomu stężeń zanieczyszczeń w „hot spotach” w odniesieniu do założeń redukcyjnych wskazanych w POP 2020,
- ❖ wskazanie obszarów wymagających, w pierwszej kolejności, intensyfikacji działań na rzecz ograniczania niskiej emisji,
- ❖ zwiększenie świadomości mieszkańców województwa śląskiego w zakresie oddziaływania indywidualnych urządzeń grzewczych na jakość powietrza w bezpośrednim sąsiedztwie ich domów, poprzez prezentację danych dotyczących zmierzonych stężeń pyłu w gazach spalinowych.

Drugie z realizowanych działań, obejmujące ciągłe pomiary stężeń pyłu PM10 przez urządzenia stacjonarne zainstalowane w wybranych punktach „hot-spotów”, realizuje wprost monitoring jakości powietrza pod kątem stężenia pyłu PM10. Biorąc pod uwagę specyficzne miejsca (obszary o dużym ruchu osób, często przy uczęszczanych obiektach użyteczności publicznej)) i wysokości ulokowania mierników (2 – 4 m nad poziom terenu) ich wskazania odbiegają od wskazań stacji Państwowego Monitoringu Środowiska, wierniej oddając zagrożenia związane z oddziaływaniem pyłów na ludzi długotrwale przebywających w granicach „hot-spotu”. Niniejszy projekt kładzie nacisk na indywidualne urządzenia grzewcze jako podstawowe źródła wysokich poziomów stężeń w „hot-spotach” o charakterze miejskim, w związku z czym dane pomiarowe z urządzeń stacjonarnych prezentowane w niniejszym raporcie dotyczą okresu grzewczego – od momentu zainstalowania mierników, do końca sezonu grzewczego (styczeń – kwiecień 2023).

Wypracowane wytyczne do określania „hot-spotów” oraz monitorowania efektów wdrażania uchwały antysmogowej będą mogły być wykorzystywane przez gminy i województwa na terenie całego kraju oraz w innych krajach. Zadanie stanowi bezpośrednią realizację zapisów POP [realizacja zadania POP – sekcja 1.8.2, str. 181, sekcja 1.8.4, od str. 185].

2 Abstract

The report summarises the results of second measurement campaign (S2) within Sub-action C.2.1. under which measurements of PM10 and CO₂ concentrations in exhaust gases from individual heating devices were

carried out in selected areas of 10 municipalities in the Silesian Voivodship, the so-called 'hot-spots'.

Measurements were conducted using mobile sensors installed on a drone, as well as stationary air quality sensors located in investigated areas. Measurement data obtained during second campaign were referred to the first heating season (S1 - baseline). In the case of measurements using drones, the PDW indicator, i.e. the quotient of CO₂ and PM10 concentrations at the measurement point, was used to analyse changes in PM10 emissions. Its decreasing value indicates an increased content of particulates in the exhaust gases. The improvement of air quality as a result of local government actions, following the implementation of the provisions of the Silesian "anti-smog" resolution, should result in an increase in the PDW value in subsequent measurement periods. The shift of the PDW indicator towards higher values was observed during the second measurement campaign – decrease in the average PDW values were recorded both in emitters and in the background. A decrease in PM10 immission concentrations was also observed in all communes throughout the heating season (October-March), except for Rybnik.

3 Metodyka pomiarów

3.1 Pomiary z wykorzystaniem dronów

Pomiary względnych wartości stężeń PM10 (w odniesieniu do CO₂) zrealizowano za pomocą profesjonalnych dronów przemysłowych, które wyposażone zostały w układy pomiarowe zawierające czujniki stężeń w/w substancji. Loty odbywały się w sezonie grzewczym (01.12.2023-22.03.2024) w godzinach porannych (7:00-10:00) lub południowych (10:00-14:00) lub późnopołudniowych/wieczornych (15:00-19:00). Na terenie każdego z wytypowanych „hot-spotów” pomiar przeprowadzany był 3-krotnie (w różnych dniach lub o różnych porach). Pomiar obejmował przelot dronem nad wszystkimi budynkami znajdującymi się w danym „hot-spocie” (30-50 budynków) oraz określenie oraz zachowanie w pamięci miernika drona stężeń PM10 i CO₂ w smudze spalin nad ich kominami (Rys.1). Każdy pomiar nad emitorem trwał ok. 60 s, a przelot pomiarowy nad całym „hot-spotem” ok. 1h. W trakcie pomiaru na bieżąco prowadzono obserwację (realizowaną przez dodatkowego operatora) dynamiki zmian wartości stężeń nad poszczególnymi emitorami.



Rys. 1. Pomiar stężeń PM10 i CO₂ nad emitorem w jednym z hot-spotów.

W ramach każdego pomiaru dron wykonywał loty w standardzie obejmującym:

- ❖ dokonanie obserwacji kierunku i prędkości wiatru oraz temperatury powietrza,
- ❖ dolot do strumienia gazów odlotowych po zawietrznej stronie komina budynku,
- ❖ wykonanie zawisu w odległości 1 - 2 m od komina o czasie ok. 60 s, możliwie jak najbliżej osi strumienia gazów odlotowych,
- ❖ pomiar stężeń PM10 i CO₂ (oraz ewentualnie zanieczyszczeń charakterystycznych dla współspalania odpadów),
- ❖ dokonanie odczytu współrzędnych i godziny pomiaru i przypisanie im wartości zmierzonych stężeń.

3.2 Pomiary stacjonarne

W celu wsparcia pomiarów dronowych prowadzonych na terenie wytypowanych „hot-spotów” oraz oceny zmian jakości powietrza w następstwie wdrażania zapisów śląskiej uchwały „antysmogowej” (Uchwała Nr V/36/1/2017 Sejmiku Województwa Śląskiego z dnia 7 kwietnia 2017 r.), w okresie jej wprowadzania w życie – (tj. do końca roku 2027), na terenie wytypowanych obszarów zainstalowano czujniki pyłu zawieszonego (Rys. 2). Rozmieszczone na terenie gminy zestawy pomiarowe składają się z miernika stężeń PM1, PM2,5 i PM10 oraz temperatury i wilgotności, a także modułu GSM zapewniającego przesyłanie danych pomiarowych w czasie rzeczywistym.



Rys. 2. Widok ogólny czujnika pyłu zawieszonego z modułem GSM (po lewej).

Czujniki zamontowano na obrzeżach każdego „hot-spotu” w 3 różnych punktach pomiarowych leżących po zawietrznej stronie obszaru, względem kierunku dominujących wiatrów. Miejsca ich zamontowania zaznaczono na mapach obrazujących trasy przelotów dronem nad „hot-spotem” (Rys. 4-16). Na Rys. 3 i 4 przedstawiono przykładowe fotografie miejsc zamontowania czujnika w widoku na zewnątrz budynku oraz od środka.



Rys. 3. Zainstalowany czujnik pyłu zawieszonego - widok od środka pomieszczenia.

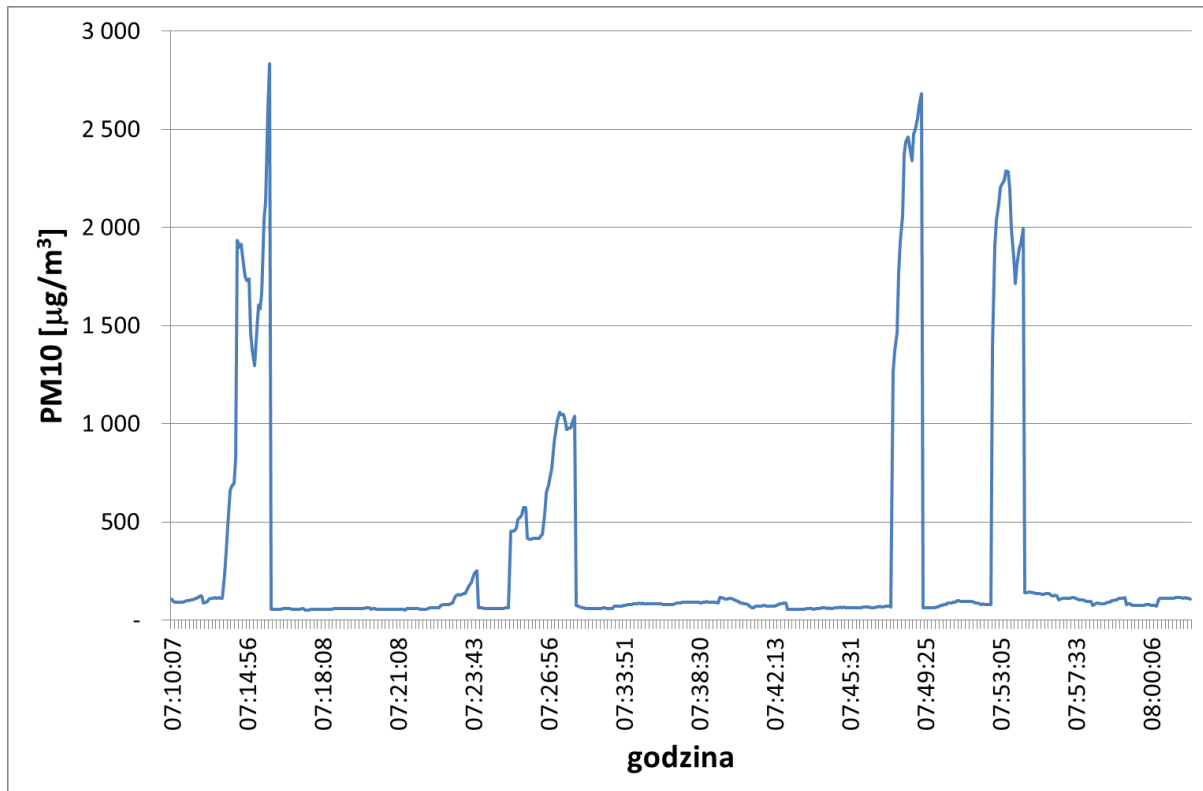


Rys. 4. Zainstalowany czujnik pyłu zawieszonego - widok na zewnątrz budynku.

4 Wyniki kampanii pomiarowej

W Tab. 1-30 przedstawiono średnie wartości stężeń nad emitarami, z których emisja w trakcie pomiaru przekraczała wartości stężeń tła – w praktyce obrazowały to chwilowe wzrosty (piki) na wykresach przebiegu stężeń (Rys. 5), a w realiach pomiarowych mniej lub bardziej widoczna emisja nad emitorem (widoczne gazy odlotowe – Rys. 6). Przedstawione

w tabelach wartości tła to średnie wartości rejestrowane przez czujniki zamontowane na dronie w trakcie przelotu pomiędzy emitorami lub nad niedymiącymi emitorami. Tabele zawierają również wyliczone wartości wskaźnika PDW (stosunek CO₂/PM10). Sumarycznie w obecnym sezonie zestawiono 229 wartości w Tab. 1-30 (w ubiegłym było ich 207).



Rys. 5. Przykładowy przebieg zmian stężeń PM10 w trakcie jednego przelotu pomiarowego nad hot-spotem. Widoczne piki odpowiadają wzrostom stężeń nad emitorami.



Rys. 6. Dron podczas pomiaru nad dymiącym emitorem.

Na mapach (Rys. 7-16) przedstawiono natomiast trasy poszczególnych przelotów nad każdym z „hot-spotów” wraz z naniesionymi lokalizacjami montażu czujników stacjonarnych.

Tabela 1. Miedźno, 08.12.2023

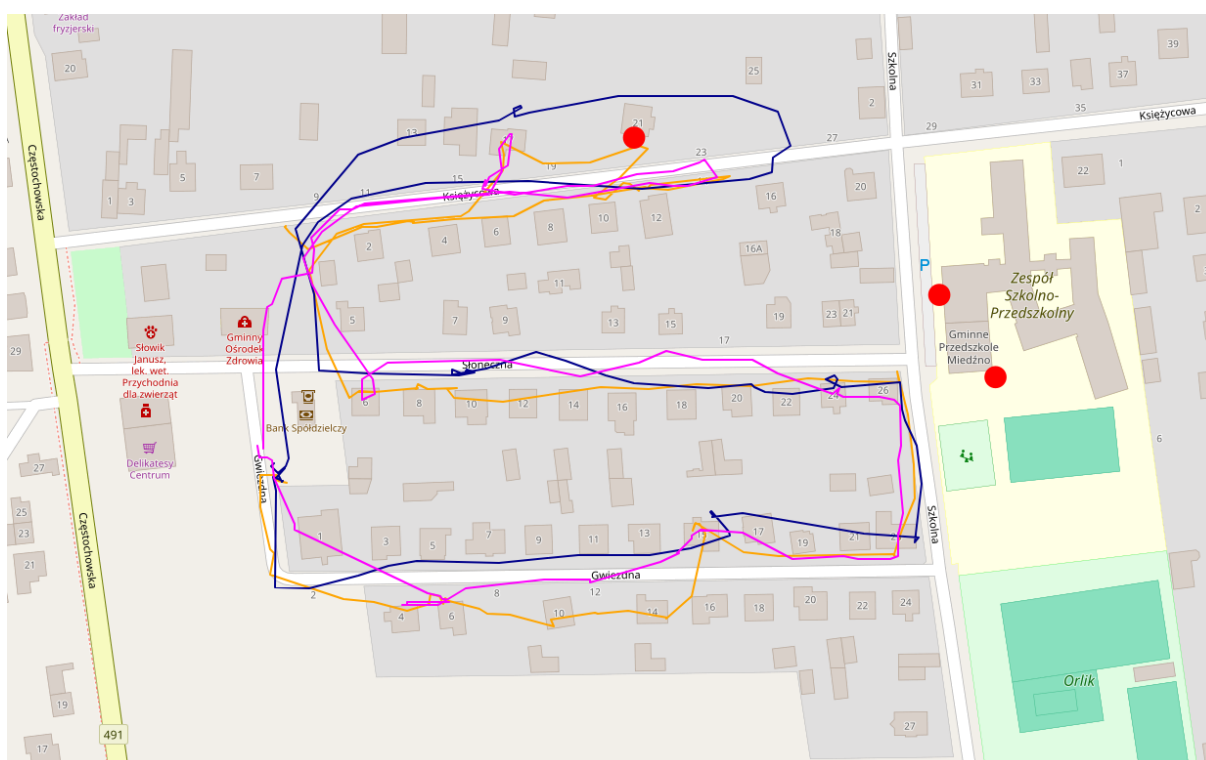
Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		78,9	579,3	7,3
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	M11	278,8	579,6	2,1
2	M12	667,2	579,5	0,9
3	M13	518,3	584,7	1,1
4	M14	408,2	582,6	1,4
5	M15	393,2	585,3	1,5
6	M16	594,3	591,3	1,0
7	M17	783,1	579,1	0,7
8	M18	274,0	579,1	2,1
Średnia		476,6	583,8	1,3

Tabela 2. Miedźno, 12.12.2023

Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		36,4	579,2	15,9
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	M21	81,0	579,6	7,2
2	M22	374,6	652,3	1,7
3	M23	1 400,8	579,1	0,4
4	M24	170,8	578,7	3,4
5	M25	742,4	593,1	0,8
Średnia		553,9	596,6	2,7

Tabela 3. Miedźno, 12.12.2023

Lp.	Nr pomiaru	Tło		
		24,5 PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	578,0 CO ₂ [ppm]	23,6 PDW
1	M31	1 284,2	578,3	0,5
2	M32	1 537,8	578,1	0,4
3	M33	619,6	783,7	1,3
4	M34	156,4	577,9	3,7
5	M35	654,7	577,8	0,9
6	M36	739,2	577,7	0,8
Średnia		832,0	612,2	1,2



Rys. 7. Trasy przelotów dronem nad hot-spotem w Miedźnie. Kolor pomarańczowy – 08.12.2023, granatowy – 13.12.2023, różowy – 22.03.2024. Czerwone punkty określają lokalizację czujników stacjonarnych.

Tabela 4. Koszęcin, 18.12.2023

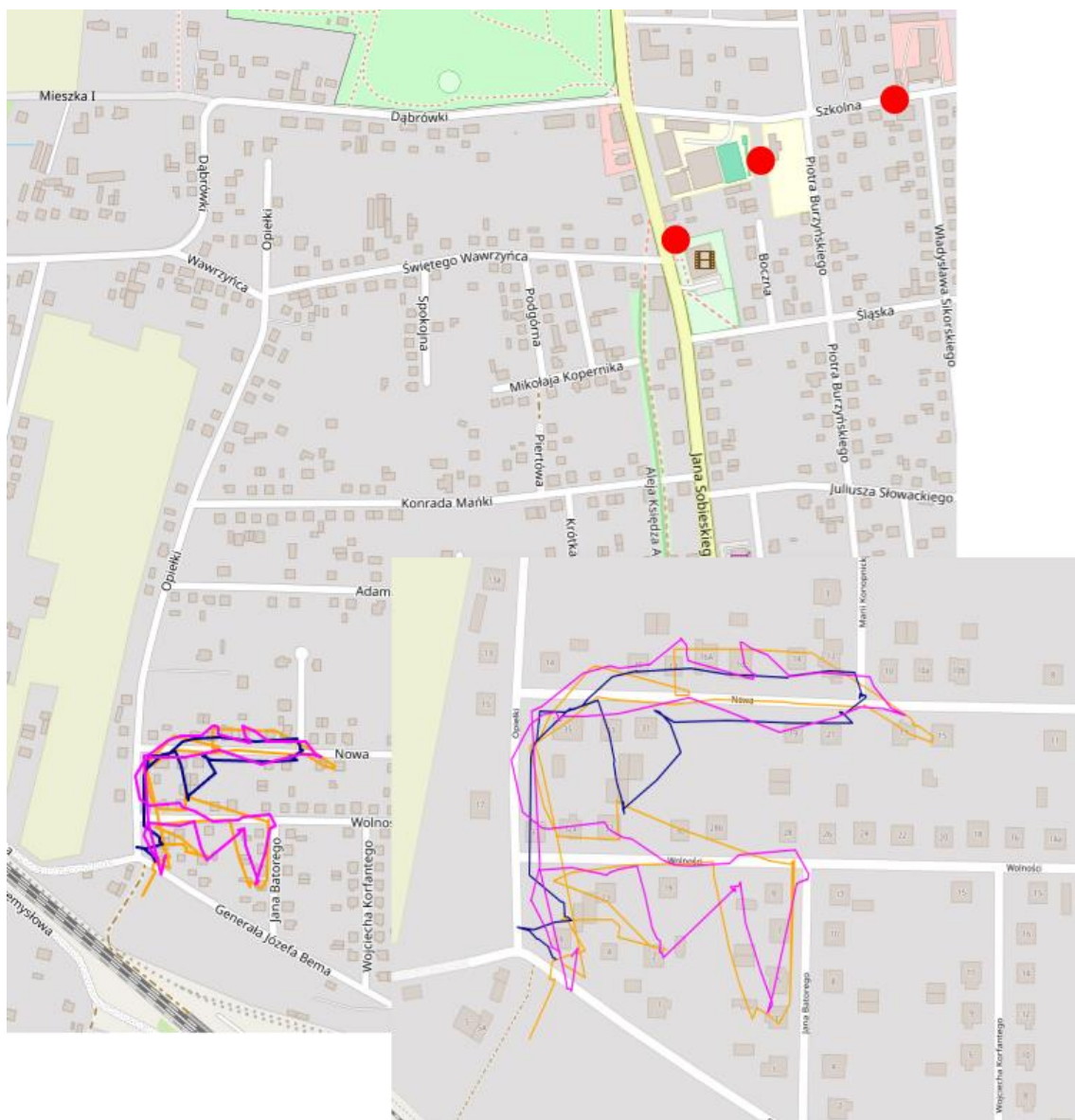
Lp.	Nr pomiaru	Tło		
		34,2 PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	578,6 CO ₂ [ppm]	16,9 PDW
1	K11	1 783,9	582,3	0,3
2	K12	489,6	579,4	1,2
3	K13	228,7	592,6	2,6
4	K14	265,9	578,4	2,2
5	K15	299,3	578,5	1,9
Średnia		613,5	582,3	1,6

Tabela 5. Koszęcin, 12.01.2024

Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		20,6	580,0	28,4
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	K21	802,7	580,3	0,7
2	K22	638,6	580,3	0,9
3	K23	660,8	579,3	0,9
4	K24	326,9	579,5	1,8
5	K25	214,8	617,1	2,9
6	K26	747,8	579,7	0,8
Średnia		565,3	586	1,3

Tabela 6. Koszęcin, 20.03.2024

Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		34,2	577,7	16,7
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	K31	662,4	578,3	0,9
2	K32	102,1	618,9	6,1
3	K33	1 136,6	596,0	0,5
4	K34	1 601,9	577,8	0,4
Średnia		875,8	592,8	2,0



Rys. 8. Trasy przelotów dronem nad hot-spotem w Koszęcinie oraz mapa lokalizacji „hot-spotu” względem czujników stacjonarnych. Kolor pomarańczowy – 18.12.2023, granatowy – 12.01.2024, różowy – 20.03.2024. Czerwone punkty określają lokalizację czujników stacjonarnych.

Tabela 7. Rybnik, 01.12.2023

Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		37,4 PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	578,2 CO ₂ [ppm]	15,5 PDW
1	R11	442,3	626,0	1,4
2	R12	821,1	649,6	0,8
3	R13	1 629,6	581,0	0,4
4	R14	1 109,3	579,1	0,5
5	R15	562,3	579,0	1,0
6	R16	952,2	579,0	0,6
Średnia		919,5	598,9	0,8

Tabela 8. Rybnik, 15.12.2023

Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		124,5	579,0	4,7
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	R21	1 039,7	579,1	0,6
2	R22	375,5	587,1	1,6
3	R23	755,2	579,6	0,8
4	R24	753,6	578,8	0,8
5	R25	455,7	578,7	1,3
6	R26	1 512,2	578,7	0,4
Średnia		815,3	580,3	0,9

Tabela 9. Rybnik, 19.03.2024

Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		35,3	579,1	16,4
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	R31	114,5	579,4	5,1
2	R32	138,1	579,1	4,2
3	R33	336,5	579,1	1,7
4	R34	1 345,8	579,1	0,4
Średnia		483,7	579,2	2,9



Rys. 9. Trasy przelotów dronem nad hot-spotem w Rybniku oraz mapa lokalizacji „hot-spotu” względem czujników stacjonarnych. Kolor pomarańczowy – 01.12.2023, granatowy – 15.12.2023, różowy – 19.03.2024. Czerwone punkty określają lokalizację czujników stacjonarnych.

Tabela 10. Węgierska Górka, 17.01.2024

Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		22,8 PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	578,6 CO ₂ [ppm]	25,4 PDW
1	W11	430,8	578,8	1,3
2	W12	518,8	578,8	1,1
3	W13	83,6	578,6	6,9
Średnia		344,4	578,7	3,1

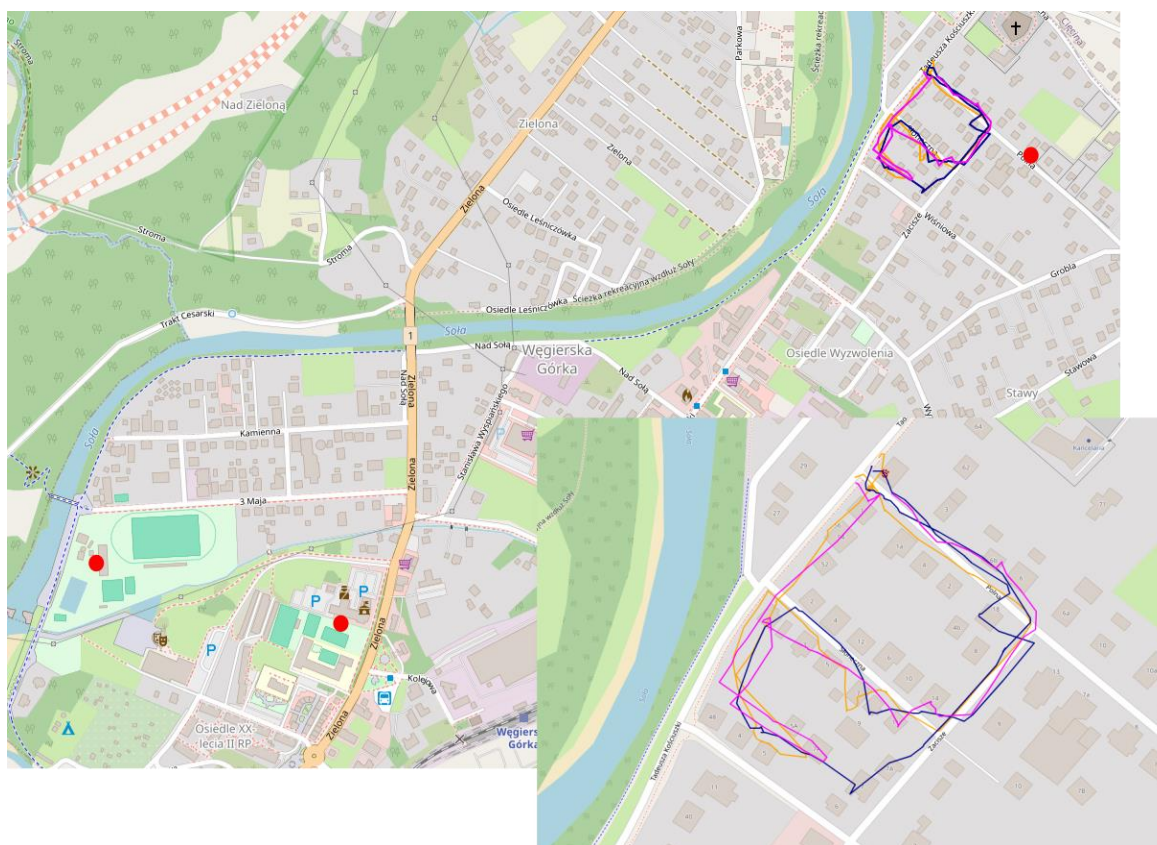
Tabela 11. Węgierska Górka, 29.01.2024

Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		29,8	578,3	19,4

		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO₂ [ppm]	PDW
1	W21	300,7	578,4	1,9
2	W22	177,2	578,4	3,3
3	W23	156,8	578,3	3,7
Średnia		211,6	578,4	3,0

Tabela 12. Węgierska Górka, 07.03.2024

Lp.	Nr pomiaru	Tło		
		85,0	579,0	6,8
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO₂ [ppm]	PDW
1	W31	154,0	579,3	3,8
2	W32	162,4	579,2	3,6
3	W33	170,8	579,2	3,4
4	W34	204,3	579,0	2,8
5	W35	143,4	578,9	4,0
6	W36	1 349,9	579,0	0,4
Średnia		364,1	579,1	3,0



Rys. 10. Trasy przelotów dronem nad hot-spotem w Węgierskiej Górce oraz mapa lokalizacji „hot-spotu” względem czujników stacjonarnych. Kolor pomarańczowy – 17.01.2024, granatowy – 29.01.2024, różowy – 07.03.2024. Czerwone punkty określają lokalizację czujników stacjonarnych.

Tabela 13. Żywiec, 10.01.2024

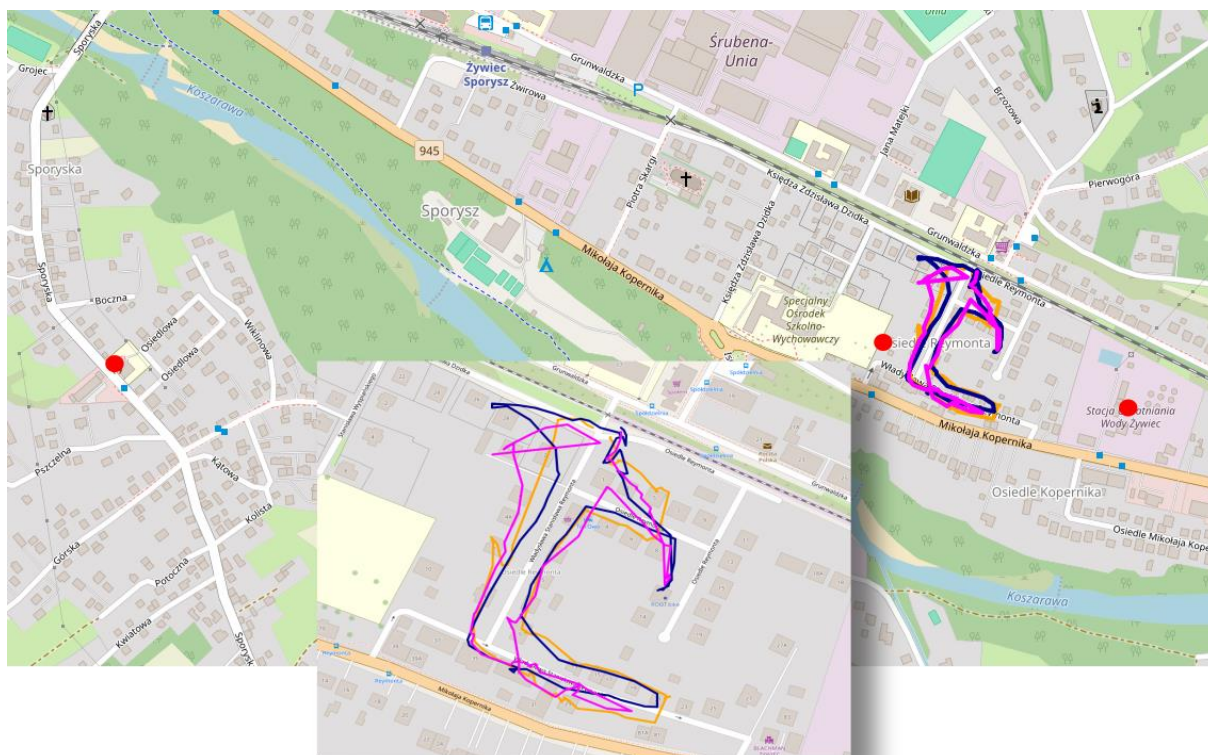
Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		404,9	579,4	1,4
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	Z11	430,4	579,6	1,3
2	Z12	440,3	579,4	1,3
3	Z13	860,0	585,0	0,7
4	Z14	970,7	579,3	0,6
5	Z15	477,3	579,3	1,2
6	Z16	1 408,1	581,4	0,4
7	Z17	1 223,7	630,1	0,5
8	Z18	840,5	579,4	0,7
9	Z19	1 847,9	600,7	0,3
Średnia		944,3	588,2	0,8

Tabela 14. Żywiec, 31.01.2024

Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		36,3	578,5	15,9
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	Z21	281,0	578,9	2,1
2	Z22	593,0	578,7	1,0
3	Z23	145,3	578,3	4,0
4	Z24	148,1	578,2	3,9
5	Z25	964,4	578,2	0,6
6	Z26	558,5	578,2	1,0
7	Z27	896,3	578,1	0,6
Średnia		512,3	578,4	1,9

Tabela 15. Żywiec, 14.03.2024

Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		32,1	578,2	18,0
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	Z31	57,8	578,6	10,0
2	Z32	924,5	578,2	0,6
3	Z33	226,5	578,1	2,6
4	Z34	98,8	578,0	5,8
5	Z35	402,6	577,9	1,4
6	Z36	420,7	577,9	1,4
7	Z37	199,1	638,3	3,2
8	Z38	1 230,6	577,8	0,5
Średnia		585,6	445,1	3,2



Rys. 11. Trasy przelotów dronem nad hot-spotem w Żywcu oraz mapa lokalizacji „hot-spotu” względem czujników stacjonarnych. Kolor pomarańczowy – 10.01.2024, granatowy – 31.01.2024, różowy – 14.03.2024. Czerwone punkty określają lokalizację czujników stacjonarnych.

Tabela 16. Częstochowa, 20.02.2024 (rano)

Lp.	Nr pomiaru	Tło		
		30,4 PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	571,2 CO ₂ [ppm]	18,8 PDW
1	C11	73,2	570,0	7,8
2	C12	77,8	567,5	7,3
3	C13	399,3	586,1	1,5
4	C14	77,3	571,4	7,4
5	C15	73,5	575,3	7,8
6	C16	61,9	602,3	9,7
7	C17	82,5	617,5	7,5
8	C18	73,2	583,2	8,0
9	C19	81,1	577,9	7,1
10	C110	94,6	581,5	6,1
Średnia		109,4	583,3	7,0

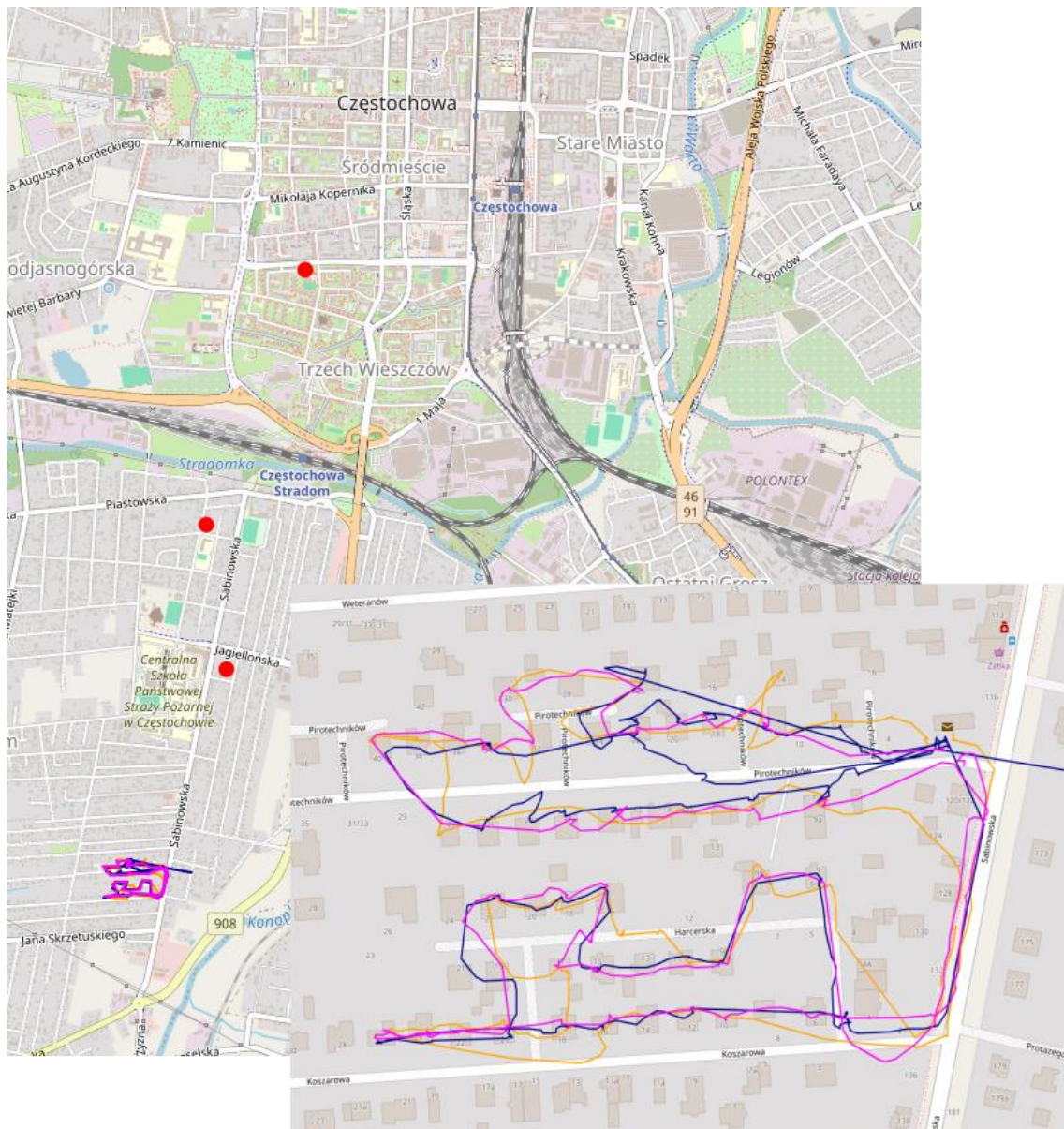
Tabela 17. Częstochowa, 20.02.2024 (południe)

Lp,	Nr pomiaru	Tło		
		39,3 PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	578,6 CO ₂ [ppm]	14,7 PDW
1	C21	251,6	583,3	2,3
2	C22	76,0	620,7	8,2
3	C23	168,8	582,0	3,4

4	C24	81,4	575,5	7,1
5	C25	131,9	614,1	4,7
6	C26	78,1	841,8	10,8
7	C27	94,4	1 616,9	17,1
8	C28	88,3	571,5	6,5
Średnia		121,3	750,7	7,5

Tabela 18. Częstochowa, 21.02.2024 (południe)

Lp,	Nr pomiaru	Tło		
		22,1 PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	544,1 CO ₂ [ppm]	24,6 PDW
1	C31	63,9	617,7	9,7
2	C32	59,4	557,5	9,4
3	C33	66,5	548,0	8,2
4	C34	80,2	548,3	6,8
5	C35	101,1	540,8	5,4
6	C36	110,5	543,7	4,9
7	C37	59,4	545,6	9,2
8	C38	82,4	546,8	6,6
9	C39	113,7	542,0	4,8
Średnia		81,9	554,5	7,2



Rys. 12. Trasy przelotów dronem nad hot-spotem w Częstochowie oraz mapa lokalizacji „hot-spotu” względem czujników stacjonarnych. Kolor pomarańczowy – 20.02.2024 (rano), granatowy – 20.02.2024 (południe), różowy – 21.02.2024. Czerwone punkty określają lokalizację czujników stacjonarnych.

Tabela 19. Woźniki, 05.01.2024 (rano)

Lp,	Nr pomiaru	Tłó		
		89,6 PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	559,9 CO ₂ [ppm]	6,2 PDW
1	W11	3 112,1	638,6	0,2
2	W12	346,4	574,5	1,7
3	W13	506,2	561,0	1,1
4	W14	3 184,6	745,3	0,2
5	W15	1 256,3	648,1	0,5
6	W16	374,4	645,1	1,7
7	W17	244,5	604,1	2,5

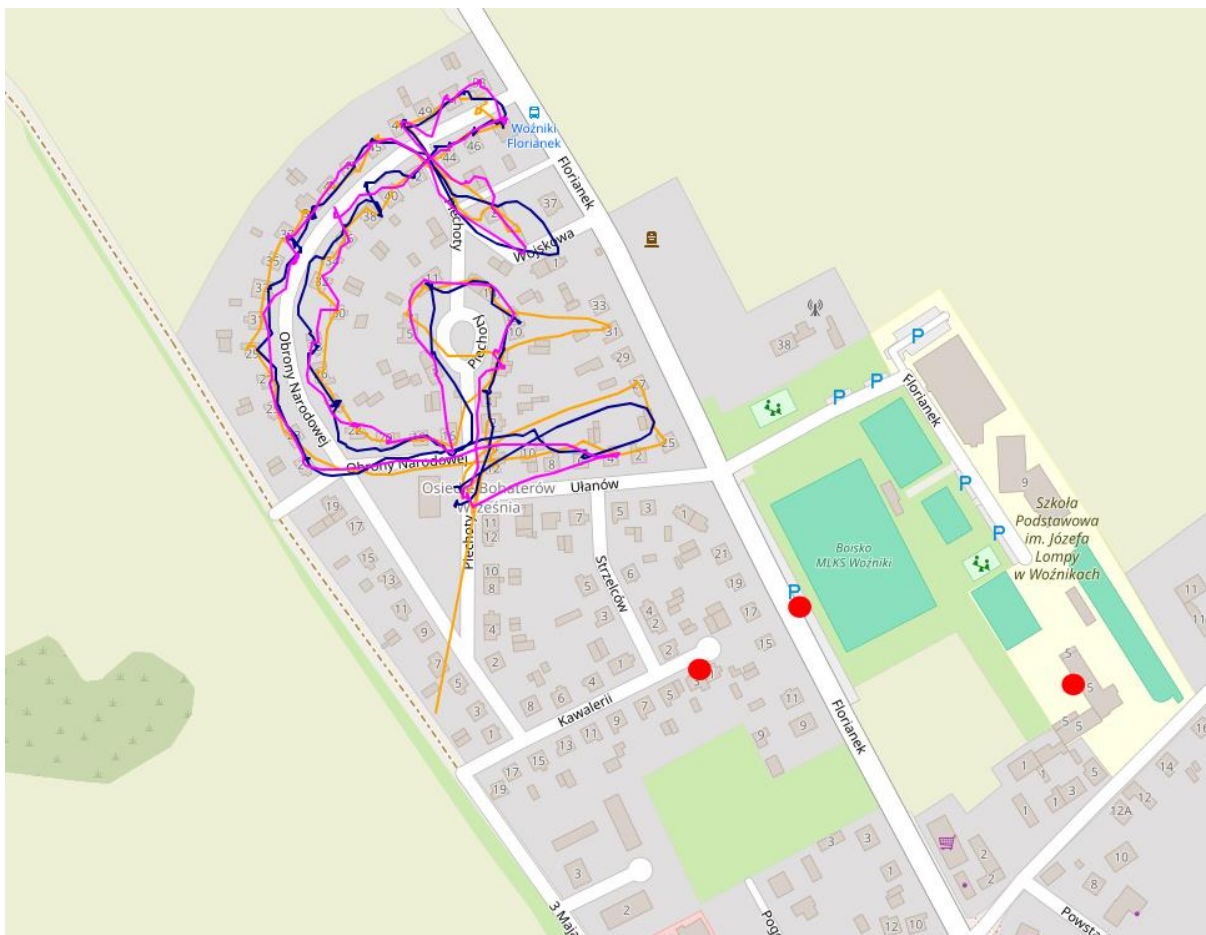
8	W18	362,0	575,2	1,6
9	W19	278,4	565,6	2,0
10	W110	2 894,1	627,3	0,2
11	W111	307,3	559,2	1,8
12	W112	1 523,5	555,5	0,4
13	W113	744,5	583,7	0,8
14	W114	2 167,9	686,8	0,3
Średnia		1 235,9	612,1	1,1

Tabela 20. Woźniki, 06.02.2024 (rano)

Lp,	Nr pomiaru	Tłó		
		8,1	546,0	67,4
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	W21	24,2	549,3	22,7
2	W22	60,0	549,0	9,1
3	W23	30,1	544,0	18,1
4	W24	25,5	545,2	21,4
5	W25	23,5	546,5	23,3
6	W26	28,7	546,4	19,1
Średnia		32,0	546,7	19,0

Tabela 21. Woźniki, 06.02.2024 (południe)

Lp,	Nr pomiaru	Tłó		
		10,1	545,9	54,0
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	W31	353,2	548,2	1,6
2	W32	47,4	547,2	11,5
3	W33	34,9	544,8	15,6
4	W34	1 011,4	544,4	0,5
Średnia		361,7	546,1	7,3



Rys. 13. Trasy przelotów dronem nad hot-spotem w Woźnikach. Kolor pomarańczowy – 05.01.2024 rano, granatowy – 06.02.2024 (rano), różowy – 06.02.2024 (południe). Czerwone punkty określają lokalizację czujników stacjonarnych.

Tabela 22. Krzepice, 20.02.2024 (popołudniu)

Lp,	Nr pomiaru	Tł0		
		32,4 PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	588,0 CO ₂ [ppm]	18,1 PDW
1	K11	87,6	586,1	6,7
2	K12	72,3	589,5	8,2
3	K13	537,7	590,9	1,1
4	K14	73,2	593,0	8,1
5	K15	784,0	631,4	0,8
6	K16	85,5	642,2	7,5
7	K17	127,3	614,5	4,8
8	K18	86,9	603,9	7,0
9	K19	116,7	594,4	5,1
Średnia		219,0	605,1	5,5

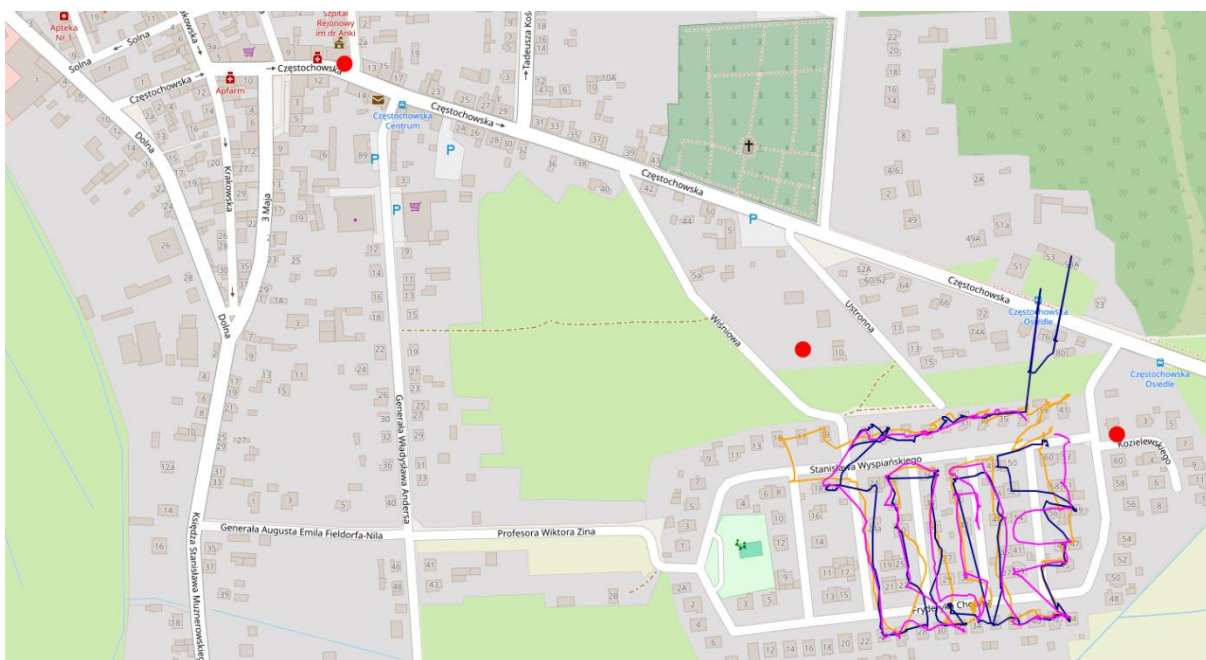
Tabela 23. Krzepice, 20.02.2024 (wieczorem)

Lp,	Nr pomiaru	Tł0		
		51,8 PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	594,2 CO ₂ [ppm]	11,5 PDW
1	K21	273,7	590,3	2,2

2	K22	118,2	588,9	5,0
3	K23	513,4	588,3	1,1
4	K24	3 238,9	1 242,1	0,4
5	K25	1 205,1	725,4	0,6
6	K26	118,7	597,7	5,0
7	K27	137,8	587,6	4,3
8	K28	930,1	588,0	0,6
9	K29	143,2	592,4	4,1
10	K210	276,3	587,1	2,1
11	K211	1 813,1	753,2	0,4
Średnia		797,1	676,5	2,4

Tabela 24. Krzepice, 21.02.2024 (rano)

Lp,	Nr pomiaru	Tło		
		25,8 PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	551,4 CO ₂ [ppm]	21,4 PDW
1	K31	902,3	625,8	0,7
2	K32	149,4	597,0	4,0
3	K33	1 859,7	709,1	0,4
4	K34	2 328,3	906,3	0,4
5	K35	378,9	545,8	1,4
6	K36	491,4	546,5	1,1
Średnia		1 018,3	655,1	1,3



Rys. 14. Trasy przelotów dronem nad hot-spotem w Krzepicach. Kolor pomarańczowy – 20.02.2024 (rano), granatowy – 20.02.2024 (popołudniu), różowy – 21.02.2024. Czerwone punkty określają lokalizację czujników stacjonarnych.

Tabela 25. Bojszowy, 10.01.2024 (rano)

Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		622,8	613,3	1,0
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	B11	1 020,5	616,7	0,6
2	B12	1 228,4	707,7	0,6
3	B13	912,4	611,7	0,7
4	B14	1 661,3	742,3	0,4
5	B15	948,0	636,5	0,7
6	B16	1 005,1	657,6	0,7
7	B17	1 055,5	695,7	0,7
8	B18	1 496,1	684,9	0,5
9	B19	1 402,1	685,9	0,5
10	B110	1 047,8	633,6	0,6
11	B111	2 473,7	669,5	0,3
12	B112	3 323,0	1 097,5	0,3
13	B113	2 119,1	921,3	0,4
Średnia		1 514,9	720,1	0,5

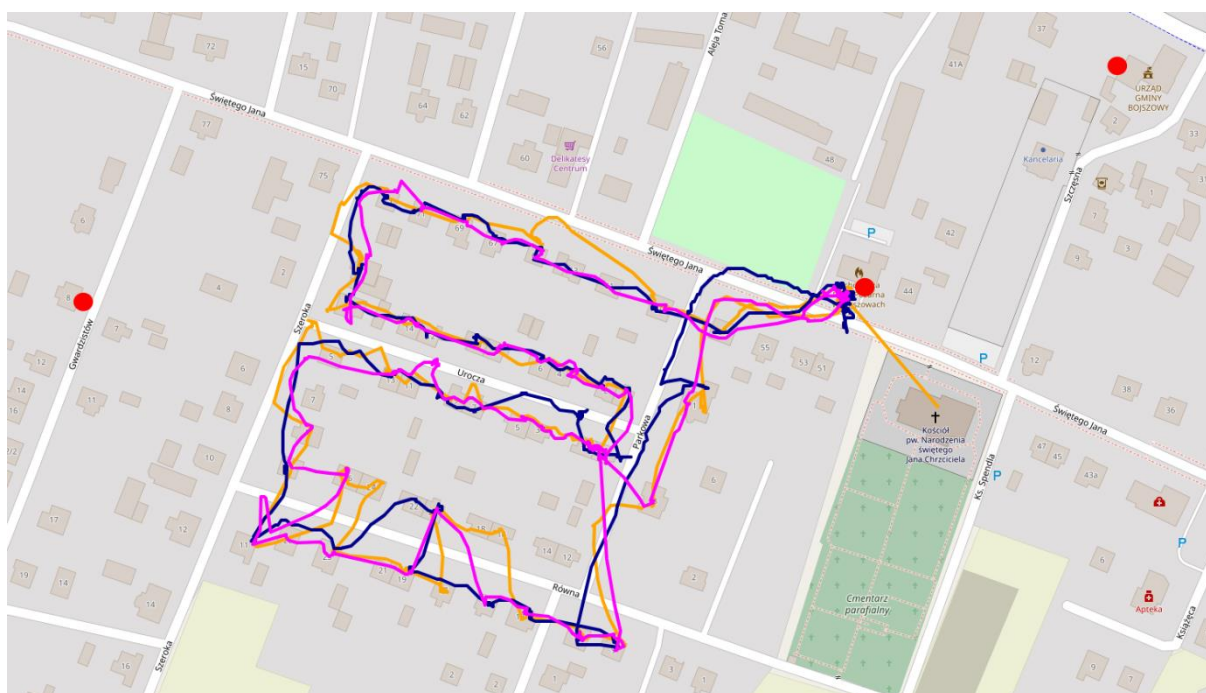
Tabela 26. Bojszowy, 10.01.2024 (wieczorem)

Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		489,3	623,0	1,3
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	B21	1 000,3	706,2	0,7
2	B22	1 552,0	839,4	0,5
3	B23	2 005,6	716,0	0,4
4	B24	3 667,4	724,9	0,2
5	B25	2 157,6	671,7	0,3
6	B26	961,1	653,9	0,7
7	B27	1 340,7	925,9	0,7
8	B28	1 176,9	888,6	0,8
9	B29	1 876,4	788,9	0,4
10	B210	1 338,8	654,8	0,5
11	B211	1 025,5	714,8	0,7
12	B212	1 005,3	625,5	0,6
13	B213	1 188,7	854,5	0,7
14	B214	1 658,1	625,6	0,4
Średnia		1 568,2	742,2	0,5

Tabela 27. Bojszowy, 11.01.2024 (rano)

Lp.	Nr pomiaru	Tłó		
		89,5	558,8	6,2
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	B31	984,3	643,3	0,7
2	B32	241,8	560,1	2,3
3	B33	264,2	565,6	2,1
4	B34	802,7	568,3	0,7
5	B35	333,4	564,8	1,7
6	B36	369,6	632,4	1,7
7	B37	229,5	561,9	2,4
8	B38	213,3	564,3	2,6

Średnia	429,8	582,6	1,8
----------------	--------------	--------------	------------



Rys. 15. Trasy przelotów dronem nad „hot-spotem” w Bojszowach. Kolor pomarańczowy – 10.01.2024 rano, granatowy – 10.01.2024 wieczorem, różowy – 11.01.2024. Czerwone punkty określają lokalizację czujników stacjonarnych.

Tabela 28. Ogrodzieniec, 05.01.2024 (rano)

Lp,	Nr pomiaru	Tłó		
		47,6 PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	557,2 CO ₂ [ppm]	11,7 PDW
1	O11	164,2	554,6	3,4
2	O12	199,0	553,9	2,8
3	O13	1 864,6	554,7	0,3
4	O14	1 297,0	653,0	0,5
5	O15	249,2	598,4	2,4
6	O16	140,2	576,2	4,1
7	O17	128,0	557,7	4,4
8	O18	2 734,7	763,7	0,3
9	O19	284,1	549,7	1,9
10	O110	211,3	550,1	2,6
11	O111	130,2	561,5	4,3
12	O112	1 057,5	802,2	0,8
13	O113	2 182,9	867,0	0,4
14	O114	2 259,5	1 010,1	0,4
Średnia		921,6	653,8	2,0

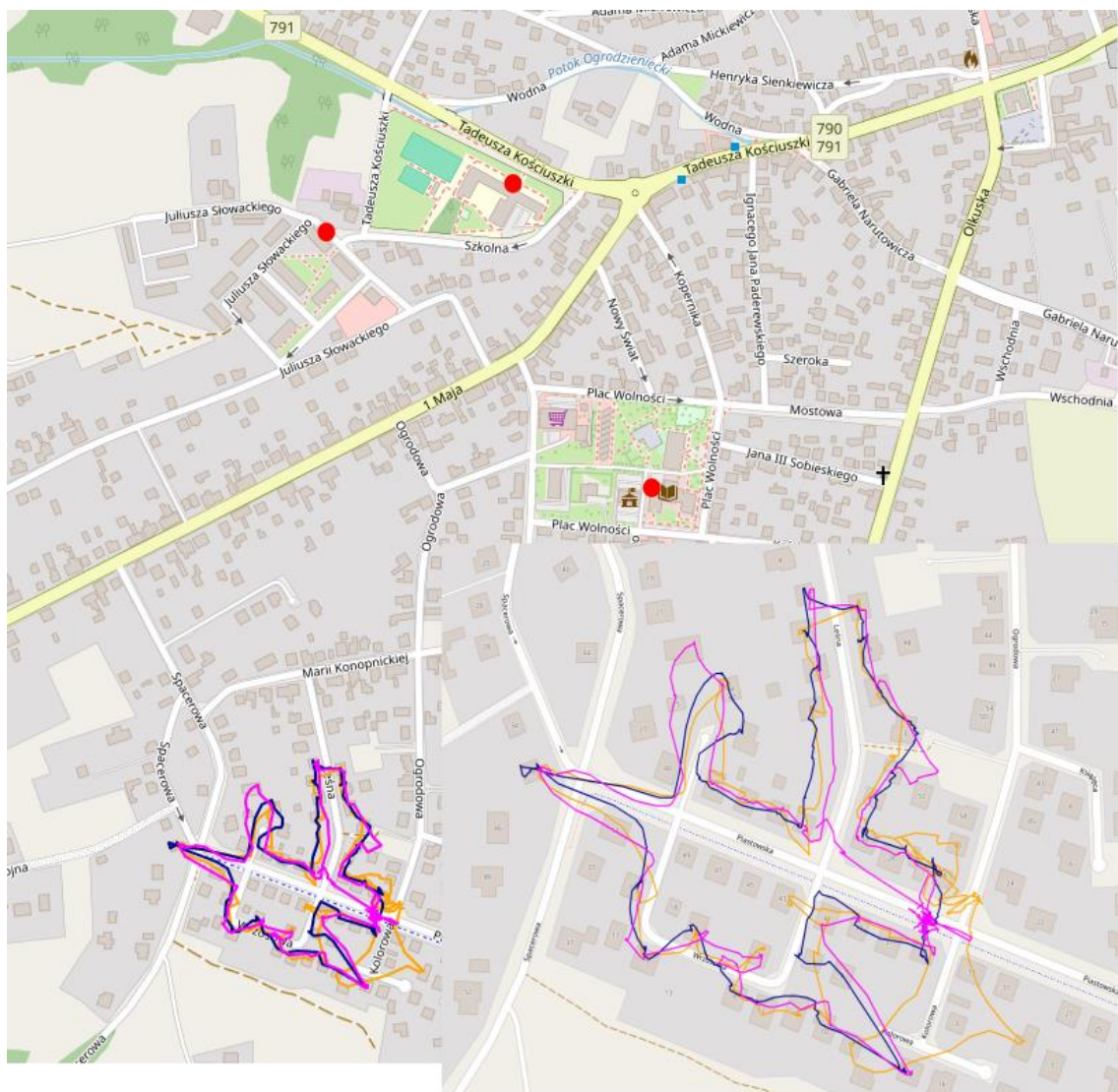
Tabela 29. Ogrodzieniec, 08.01.2024 (rano)

Lp,	Nr pomiaru	Tłó		
		106,5 PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	566,3 CO ₂ [ppm]	5,3 PDW
1	O21	504,3	560,5	1,1
2	O22	1 633,3	639,5	0,4

3	O23	245,9	563,2	2,3
4	O24	239,1	564,2	2,4
5	O25	260,7	564,4	2,2
6	O26	229,5	565,0	2,5
7	O27	262,2	565,6	2,2
8	O28	263,8	574,4	2,2
9	O29	2 666,7	627,2	0,2
Średnia		700.6	580,4	1,7

Tabela 30. Ogrodzieniec, 08.01.2024 (południe)

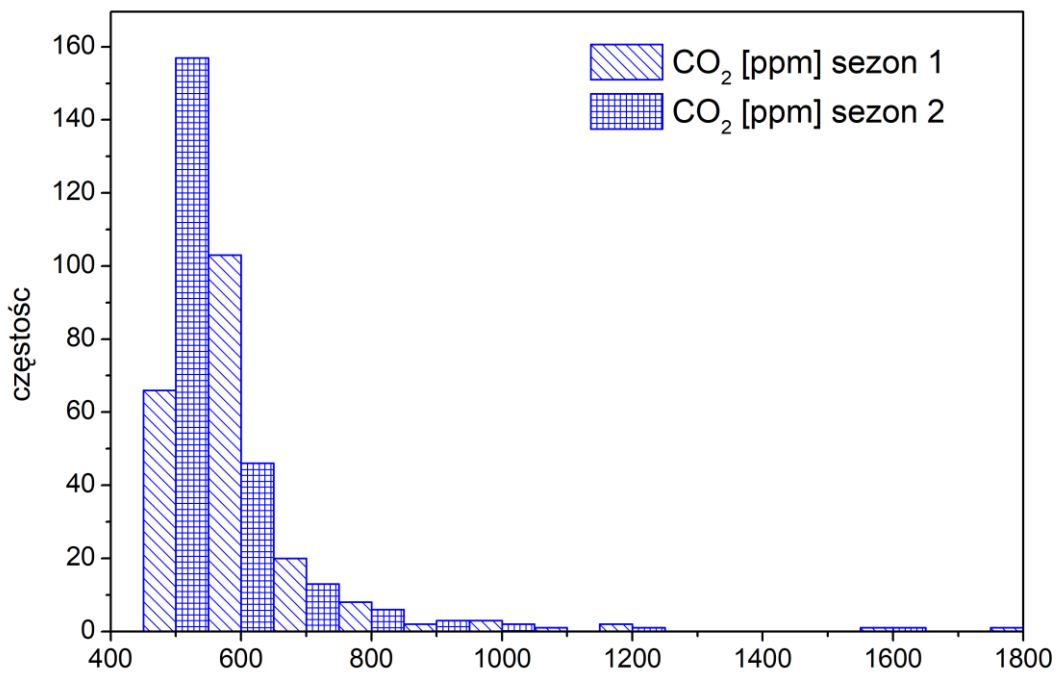
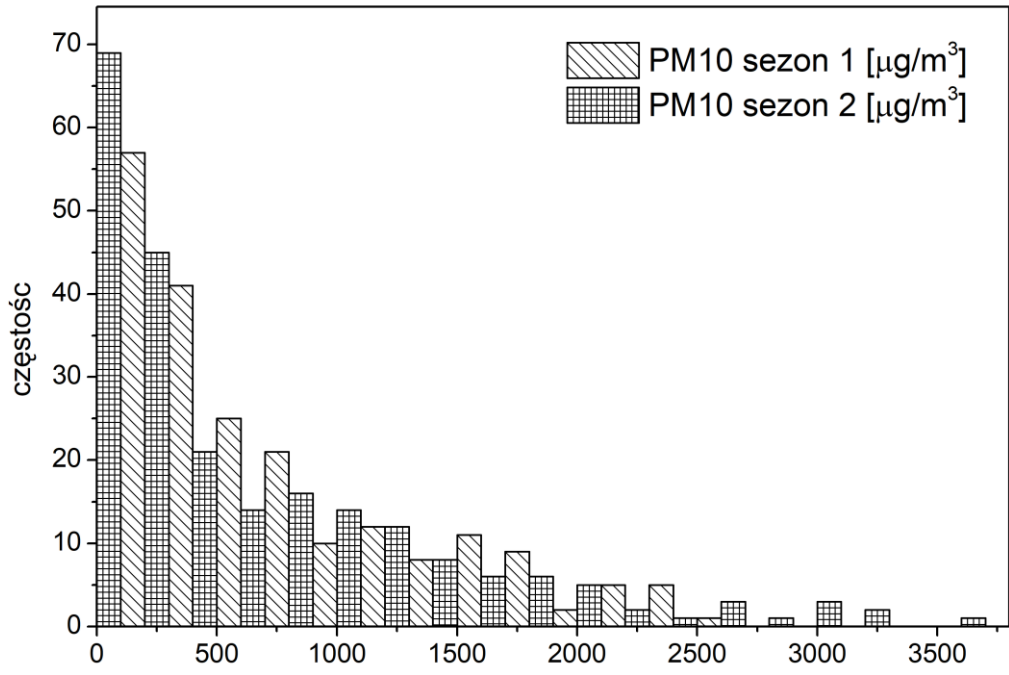
Lp,	Nr pomiaru	Tłó		
		129,6	568,8	4,4
		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO ₂ [ppm]	PDW
1	O31	331,3	567,6	1,7
2	O32	305,1	563,8	1,8
3	O33	2 790,7	682,0	0,2
4	O34	426,2	602,8	1,4
5	O35	1 377,2	577,1	0,4
6	O36	3 076,0	593,2	0,2
7	O37	256,5	561,7	2,2
8	O38	1 958,0	643,9	0,3
Średnia		1 315.1	599,0	1,0



Rys. 16. Trasy przelotów dronem nad hot-spotem w Ogródzieńcu oraz mapa lokalizacji „hot-spotu” względem czujników stacjonarnych. Kolor pomarańczowy – 05.01.2024, granatowy – 08.01.2024 (rano), różowy – 08.01.2024 (południe). Czerwone punkty określają lokalizację czujników stacjonarnych.

Na Rys. 17 porównano zestawienie częstości występowania uzyskanych wartości stężeń PM₁₀ i CO₂ z emitorów w oparciu o dane przedstawione w Tab. 1-30. W przypadku obu zanieczyszczeń w obu okresach pomiarowych dominują niskie wartości (jak na emisję z komina):

- w sezonie 1 (2022-2023): 74% wartości PM₁₀ pon. 900 µg/m³ oraz 82% wartości CO₂ poniżej 650 ppm;
- w sezonie 2 (2023-2024): 72% wartości PM₁₀ pon. 875 µg/m³ oraz 89% wartości CO₂ poniżej 650 ppm.

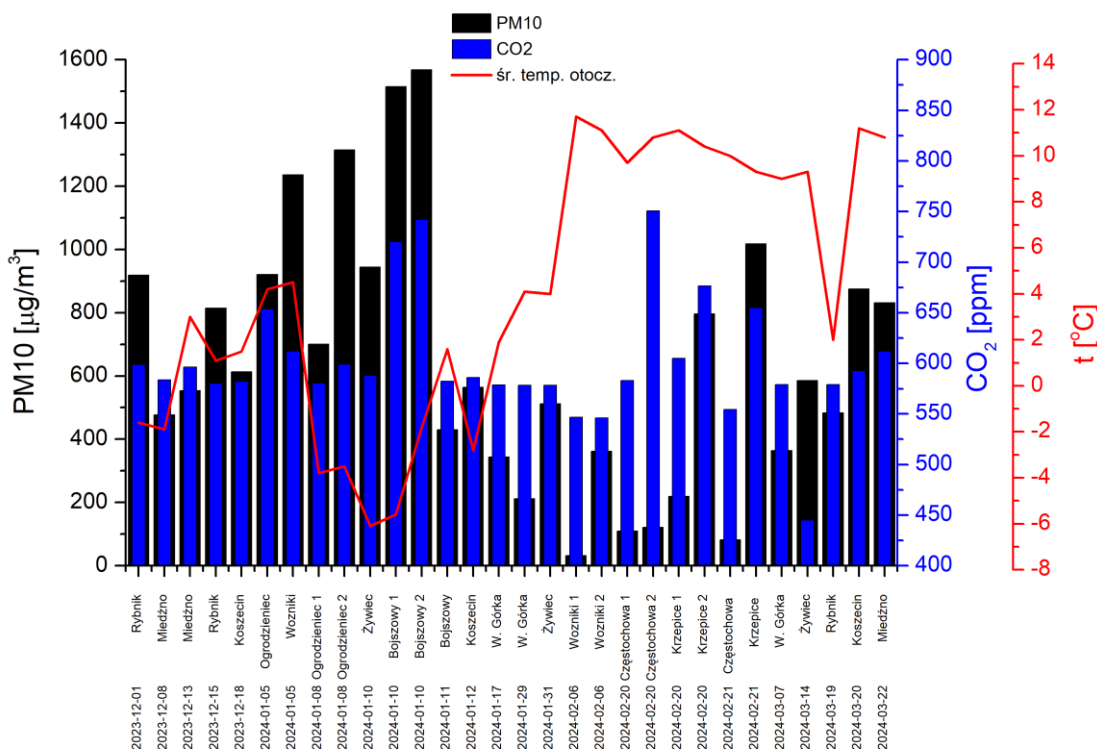
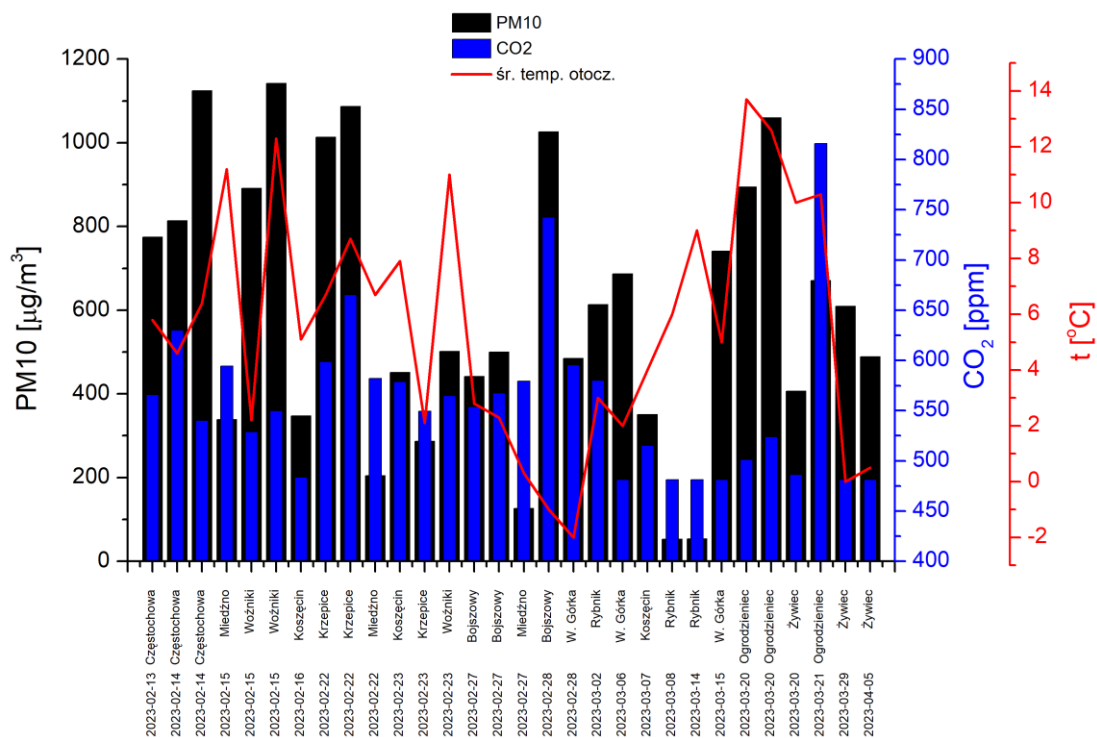


Rys. 17. Częstość występowania stężeń PM10 i CO₂ (w %) o wartościach zestawionych w Tab. 1-30.

Potwierdza się zatem wniosek z poprzedniego okresu pomiarowego, że wysokie wartości stężeń ($\text{PM}_{10} > 900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $\text{CO}_2 > 650 \text{ ppm}$) pochodzące z emitorów domowych ogrzewaczy pomieszczeń zdarzają się stosunkowo rzadko.

Analizując otrzymane dane można stwierdzić, że wartości stężeń emitowanych zanieczyszczeń (częstości występowania różnych poziomów stężeń PM_{10} i CO_2) zmieniały się okresowo w trakcie pomiarów, odzwierciedlając powszechną praktykę użytkowania indywidualnych urządzeń grzewczych, w której najważniejszym elementem decydującym o intensywności i jakości prowadzenia spalania, jest temperatura powietrza. Relacja taka jest dobrze widoczna na wykresie zależności średnich stężeń PM_{10} i CO_2 nad wylotami kominów w odniesieniu od temperatury powietrza w obu sezonach (Rys. 18). Szczególnie wzrosty stężeń przy niskich temperaturach są widoczne pod koniec lutego 2023 i na początku stycznia 2024, a spadki w okolicach 23 lutego i połowy marca 2023 przy temperaturach $8-10^\circ\text{C}$ oraz dynamiczny spadek stężeń przy równoczesnym wzroście temperatury od 4 do prawie 12°C począwszy od 20 stycznia niemal do końca sezonu 2024 (wyjątkowo ciepła zima).

W Tab. 31 zestawiono średnie wartości stężeń PM_{10} mierzone za pomocą czujników stacjonarnych w sezonach grzewczych (październik-marzec). Pierwszy sezon grzewczy liczone od 11.12.2022, czyli od momentu uruchomienia czujników. Wartości te dla obu sezonów nie przekraczają $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (wahają się $13,1-77,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a średnia wartość spadła z $59,3$ do $51,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Spadki średnich wartości stężeń PM_{10} w tle zanotowano zresztą w większości gmin, poza Rybnikiem oraz w pojedynczych punktach Ogrodzieńca, Koszęcina i Miedźna, gdzie zanotowano wzrosty.

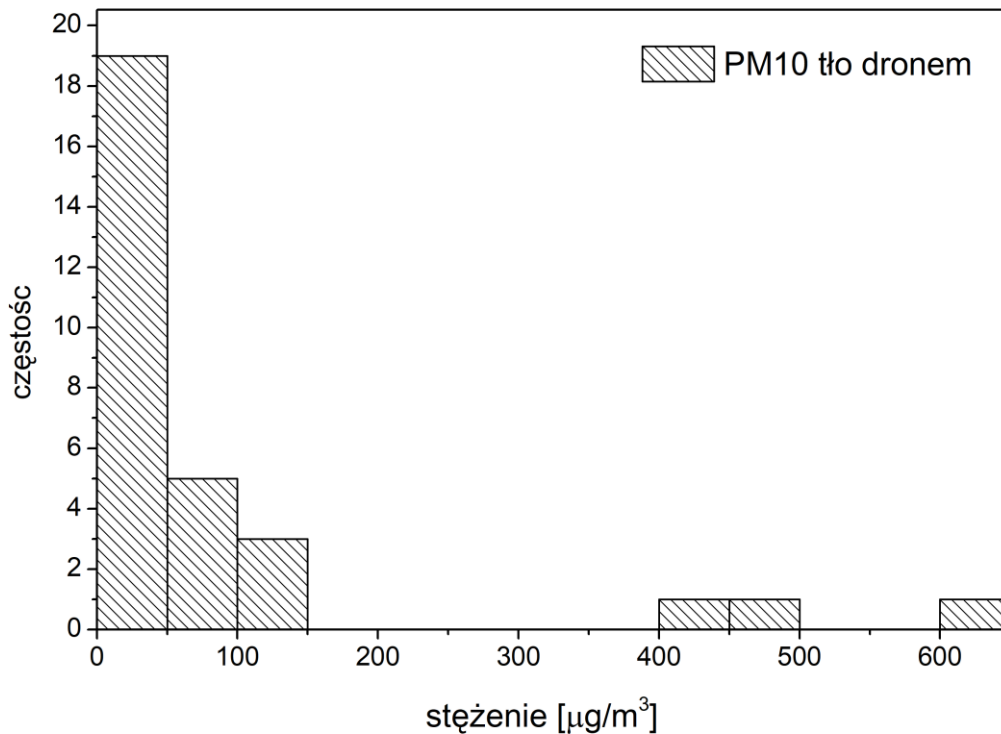


Rys. 18. Chronologiczne zestawienie zmian średnich wartości stężeń PM10 i CO₂ w poszczególnych „hot-spotach” na tle średnich temperatur w dniach pomiarowych w S1 i S2.

Tabela 31. Zestawienie średnich wartości stężeń PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] zmierzonych w poszczególnych „hot-spotach” za pomocą czujników stacjonarnych w sezonach grzewczych S1 i S2 (średnia za okres od października do marca). Na zielono zaznaczono spadek, a na czerwono wzrost wartości w stosunku do poprzedniego sezonu.

Częstochowa	S1	S2	Ogrodzieniec	S1	S2
ul. Sobieskiego 15	49,6	39,5	ul. Plac Wolności 25	46,5	51,0
ul. Powstańców 9	62,0	56,8	ul. Kościuszki 67	50,9	44,6
ul. Sabinowska 81	63,6	63,5	ul. Kościuszki 69	58,5	48,5
Żywiec			Koszęcin		
ul. Reymonta 10	77,3	69,5	ul. Szkolna 13	61,4	46,4
ul. Kopernika 83a	62,2	54,5	ul. Szkolna 4	60,2	13,1
ul. Sporyska 39	67,4	65,8	ul. Sobieskiego 11a	57,0	57,7
Rybnik			Bojszowy		
ul. Borki 37 D	45,0	48,1	ul. Św. Jana 46	71,9	62,2
ul. Łączna 12 A	56,7	73,9	ul. Św. Jana 49	67,9	56,2
ul. Rudzka 132	36,4	41,2	ul. Gwardzistów 8	70,5	54,0
Krzepice			Miedźno		
ul. Częstochowska 13	66,8	52,3	ul. Szkolna 1	55,7	64,8
ul. Ustronna 10	58,2	50,4	ul. Szkolna 1	51,2	50,6
ul. Kozielskiego 1	61,6	55,6	ul. Księżycowa 21	51,3	40,6
Woźniki			Węgierska Górka		
ul. Kawalerii 3	65,2	56,6	ul. 3-go Maja 5	46,2	30,9
ul. Florianek 4	55,1	34,2	ul. Zielona 42	62,9	51,2
ul. Powstańców 7	61,5	38,6	ul. Polna 10 A	77,1	63,8
Średnia sezon 1	59,3		Średnia sezon 2	51,2	

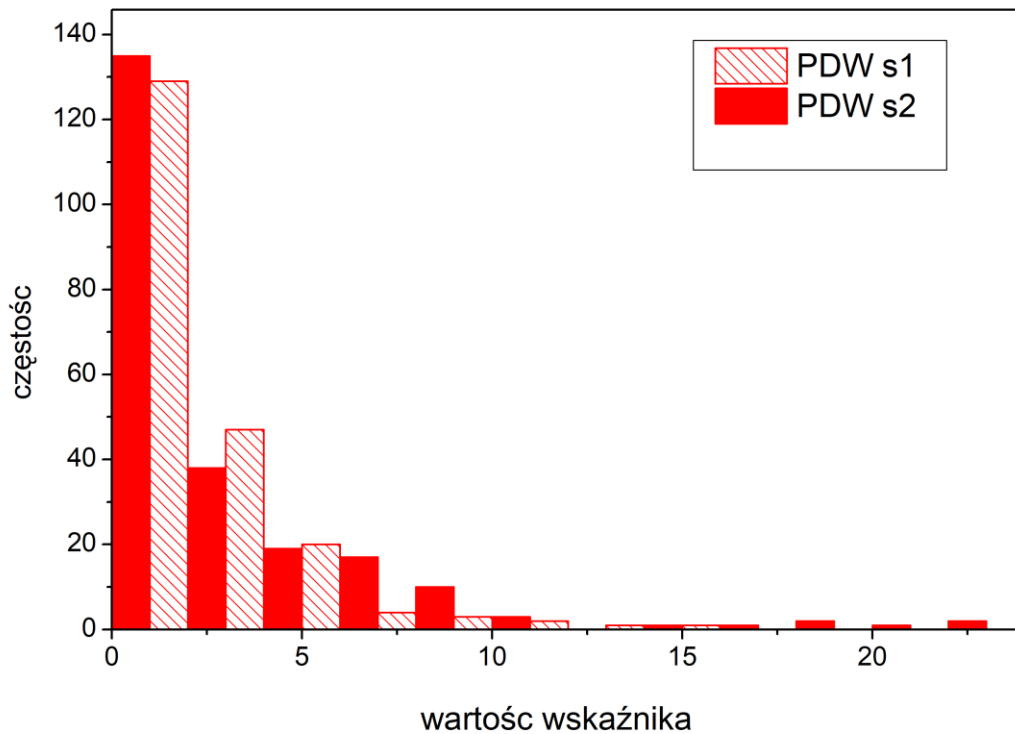
Średnie wartości tła zmierzone za pomocą drona są natomiast niemal dwukrotnie wyższe od tych pochodzących z czujników i ich średnia wynosi $94,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Wynika to z faktu wysokich wartości stężeń tła panującego 10.01.2024 zarówno w Bojszowach (Tab. 25 i 26), jak i Żywcu (Tab. 13), gdzie zanotowano wyjątkowo wysokie wartości tła dronem, odpowiednio: 489 , 623 i $405 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Potwierdzają to podwyższone średnie wartości tła zmierzone w w/w hotspotach w odpowiednich godzinach pomiarowych za pomocą zamontowanych tam czujników stacjonarnych wyniosły odpowiednio: 330 , 301 i $307 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Fakt, że są to wartości incydentalne, dobrze widać na histogramie wartości stężeń PM10 w tle zmierzonych za pomocą drona (Rys. 19). Dominują jednak wartości niskie (80% pon. $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), dla których średnia wynosi $42,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Rys. 19. Częstość występowania średnich wartości PM10 zmierzonego w tle za pomocą drona.

Wskaźnik PDW (Rys. 20), czyli stosunek stężeń CO₂ do PM10, jest wysoki dla pomiarów w tle, a maleje podczas pomiaru nad emitorem. Zatem spadek częstości występowania jego niskich wartości z biegiem okresów pomiarowych będzie świadczyć o poprawie jakości powietrza, wynikającej z jakości procesu spalania. W omawianym okresie udział niskich wartości PDW (PDW<5) wyniósł 84%, podczas gdy w ubiegłym był aż o 10% wyższy (94%), mimo że zanotowano wzrosty stężeń nad 229 emitarami, a poprzednim okresie 207.

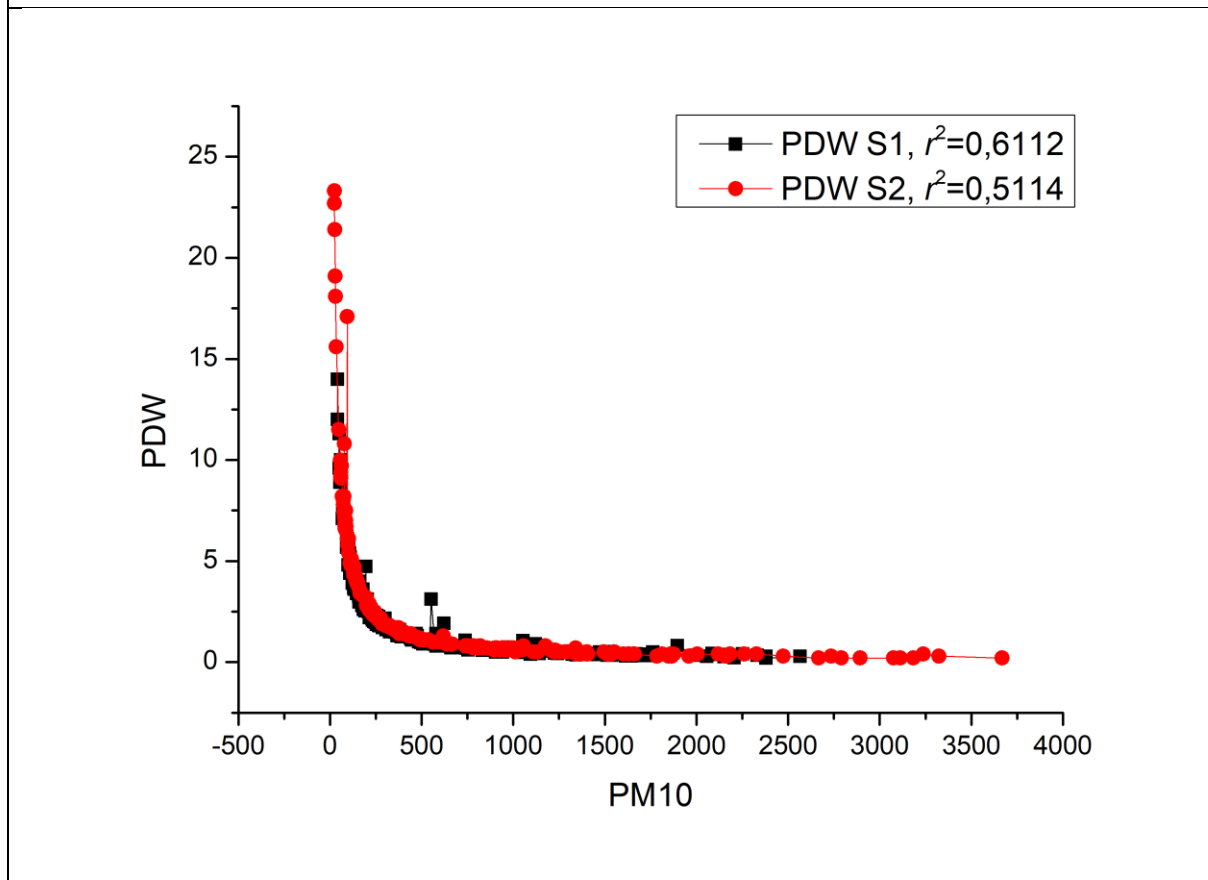
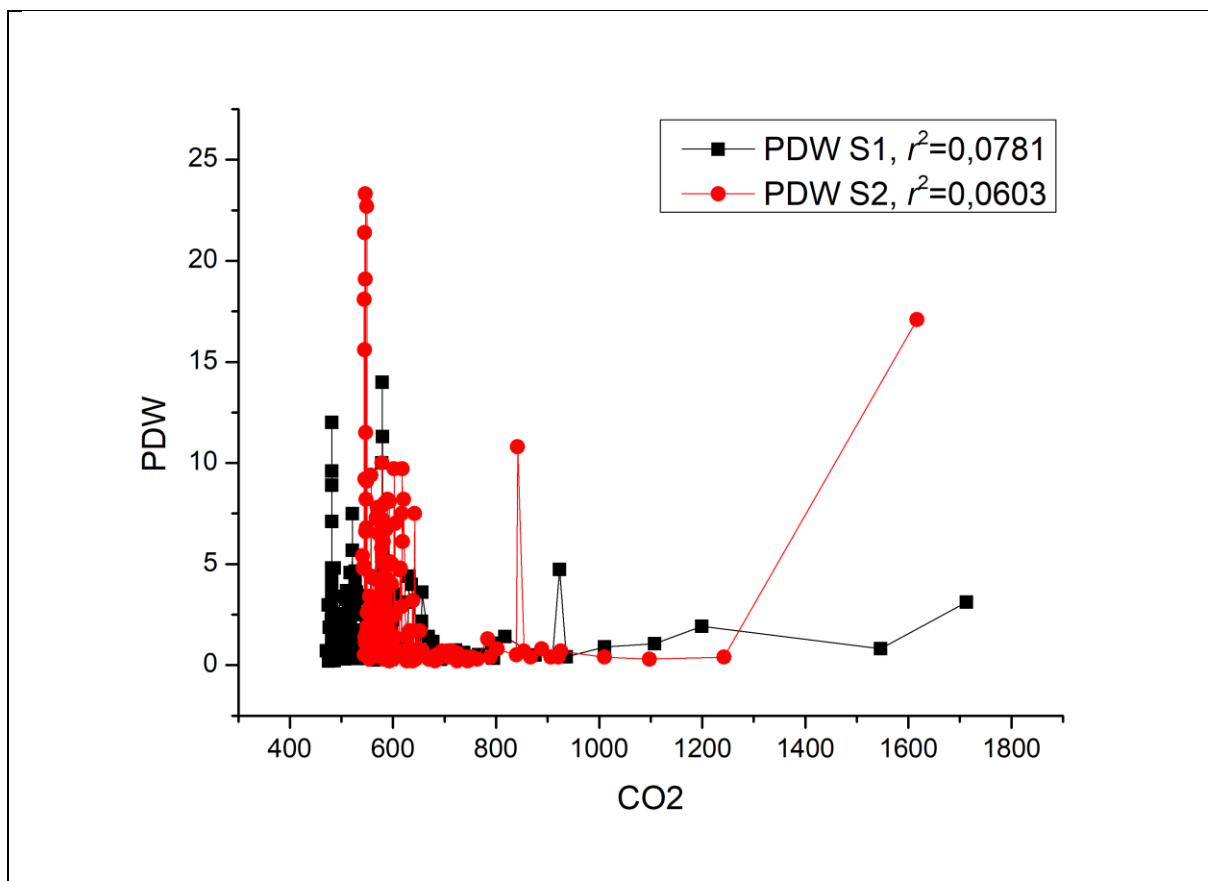
Statystyczne porównanie mierzonych wartości w obu sezonach (Tab. 32) pokazuje podobny rozkład wartości PM10 (podobny udział wartości poniżej średniej). Większe zróżnicowanie jest widoczne w stężeniach CO₂, gdzie w S2 większy jest udział wartości poniżej średniej, niż w przypadku S1. Pamiętaj tu jednak należy, że sama średnia CO₂ w S2 jest wyższa o ok. 50 ppm.



Rys. 20. Częstość uzyskanych wartości wskaźnika PDW dla pomiarów stężeń nad emitorem.

Tabela 32. Porównanie statystyczne pomiarów wykonanych w S1 i S2.

Zanieczyszczenie	Sezon	S1	S2
	N	207	229
PM10	Średnia	671.2	726.9
	% pon. średniej	65%	62%
	Min	40.2	3.5
	Max	2 566.3	3 667.4
CO2	Średnia	573.2	619.0
	% pon. średniej	60%	74%
	Min	470.8	540.8
	Max	1 713.2	1 616.9
PDW	Średnia	2.1	3.0
	% pon. średniej	63%	71%
	Min	0.20	0.20
	Max	14.00	23.30



Rys. 21. Zależności pomiędzy stężeniami PM10 i CO2 a otrzymanym wskaźnikiem PDW.

Zresztą w S2 w przypadku obu stężeń widoczne jest przesunięcie ku wyższym wartościom. Wpływa to ostatecznie na wzrost wartości wskaźnika PDW, przy czym największy wpływ na jego wartość ma stężenie PM10, mniej natomiast zależy od CO₂. Stąd spadek stężeń PM10 najbardziej decyduje o poprawie jakości powietrza spowodowanego lepszą kontrolą procesu spalania. Dobrze to widać przy analizie współczynników korelacji pomiędzy stężeniami obu zanieczyszczeń a otrzymanym wskaźnikiem PDW (Rys. 21). Najwyższe wartości PDW lokują się po lewej stronie wykresów, czyli dla najniższych wartości PM10 i CO₂. PDW maleje istotnie wraz ze wzrostem PM10, ale delikatnie ze wzrostem CO₂; praktycznie od stężeń CO₂>700 ppm wartości PDW się stabilizują i są w zasadzie zależne już tylko od PM10.

5 Ocena przeprowadzonych pomiarów w odniesieniu do stanu bazowego w „hot-spotach”

Średnie wartości stężeń PM10, CO₂, obliczonego PDW oraz PM10 tła zmierzone za pomocą czujników stacjonarnych w 10 wytypowanych „hot-spotach” wyznaczone w S1 określają stan bazowy, będący punktem odniesienia dla pomiarów w kolejnych latach trwania projektu. W Tab. 33 przedstawiono wyniki pomiarów w S2 w odniesieniu do stanu bazowego.

Analiza uzyskanych danych pozwala na sformułowanie następujących spostrzeżeń:

- ❖ stężenie PM10 nad emitorem (spaliny) jest średnio 10-krotnie większe od stężenia w tle (sumaryczna średnia z obu sezonów),
- ❖ średnie wartości stężeń CO₂ niemal nie wykazują różnicy pomiędzy tłem a emitorem, chociaż w każdym przypadku są wyższe w spalinach. W pojedynczych przypadkach odnotowywano jednak stężenia CO₂ nad emitorem kilkukrotnie przekraczające wartości tła (np. Tab. 17 pkt. C27, Tab. 23 pkt. K24, Tab. 25 pkt. B112, Tab. 28 pkt. O114),
- ❖ choć wyznaczone średnie wartości tła PM10 za pomocą czujników stacjonarnych (w tych samych dniach i godzinach, co pomiary dronem) są z reguły wyższe od danych zmierzonych za pomocą drona, wykazują jednak względnie wysoką zgodność z tymi ostatnimi (wsp. korelacji Pearsona dla S1 $r^2 = 0,7414$, dla S2 $r^2 = 0,8942$). Oznacza to, że wzrost wartości stężenia tła zmierzony za pomocą drona w dużym stopniu odpowiada wzrostowi stężenia tła zmierzonego za pomocą pomiaru stacjonarnego i na odwrót,

- ❖ w S2 zanotowano spadek średnich stężeń PM10 oraz wzrost stężeń CO₂ mierzonych w emitorze, choć w poszczególnych „hot-spotach” wartości te bywają raz większe, raz mniejsze. Dlatego wyraźniejszym wskaźnikiem zmian w/w stężeń jest PDW, którego średnia wartość zarówno w emitorach, jak i w tle wzrosła odpowiednio: z 2 na 3,2 i z 9,7 na 16,6, co zresztą wynika również z analiz Rys. 20,
- ❖ średnie stężenia PM10 w tle (przy obu rodzajach pomiarów) wzrosło w S2 w godzinach pomiarowych, jednak średnia za cały okres grzewczy spadła w S2, poza Rybnikiem, gdzie wzrosła, oraz w pojedynczych czujnikach Ogrodzieńca, Koszęcina i Miedźna.

Tabela 33. Odniesienie pomiarów w S2 w odniesieniu do stanu bazowego (S1) w „hot-spotach” – zestawienie wartości stężeń PM10 i CO₂ (średnia z 3 dni pomiarowych) zmierzonych w poszczególnych „hot-spotach” za pomocą dronów, ich stosunków (wskaźnik PDW) oraz średnich wartości PM10 zmierzonych za pomocą pomiarów stacjonarnych (średnia z 3 dni podczas godzin pomiarowych). Na zielono zaznaczono spadek, a na czerwono wzrost wartości w stosunku do poprzedniego sezonu. Kolor czarny – brak zmian.

Sezon 1 (bazowy)									
„Hot-spot”	Pomiar za pomocą drona								Pomiar stacjonarny
	Emitor			Tło			Emitor/tło		PM10 [µg/m ³]
	PM10 [µg/m ³]	CO ₂ [ppm]	PDW	PM10 [µg/m ³]	CO ₂ [ppm]	PDW	PM10	CO ₂	
Miedźno	241,6	586,9	4,1	50,2	578,5	12,6	4,8	1,0	72,1
Koszęcin	382,9	523,6	2,2	56,9	513,5	9,5	6,7	1,0	85,4
Rybnik	333,4	530,8	5,2	34,7	513,1	18,6	8,8	1,0	42,8
W. Górka	633,2	519,3	2,6	37,4	513,9	15,2	16,9	1,0	61,4
Żywiec	497,2	483,1	1,5	84,5	481,1	6,3	5,9	1,0	102,9
Częstochowa	917,1	574,8	0,7	53,1	488,1	4,0	17,3	1,2	37,3
Woźniki	828,0	546,4	0,8	40,6	495,2	5,2	20,4	1,1	84,1
Krzepice	919,7	621,4	0,9	40,5	516,2	5,7	22,7	1,2	51,2
Bojszowy	689,1	631,6	1,1	28,9	544,3	10,5	23,9	1,2	42,9
Ogrodzieńca	884,8	632,8	1,1	25,0	507,7	9,4	35,4	1,2	41,5
Średnia	632,7	565,1	2,0	45,2	515,1	9,7	16,3	1,1	62,2
Sezon 2									
„Hot-spot”	Pomiar za pomocą drona								Pomiar stacjonarny
	Emitor			Tło			Emitor/tło		PM10 [µg/m ³]
	PM10 [µg/m ³]	CO ₂ [ppm]	PDW	PM10 [µg/m ³]	CO ₂ [ppm]	PDW	PM10	CO ₂	

Miedźno	620,8	597,5	1,7	46,6	578,8	15,6	13,3	1,0	65,3
Koszęcin	684,9	587,0	1,6	29,7	578,8	20,7	23,1	1,0	46,6
Rybnik	739,5	586,1	1,5	65,7	578,8	12,2	11,3	1,0	114,9
W. Górka	306,7	578,7	3,0	45,9	578,6	17,2	6,7	1,0	66,6
Żywiec	680,7	537,2	2,0	157,8	578,7	11,8	4,3	0,9	151,9
Częstochowa	104,2	629,5	7,2	30,6	564,6	19,4	3,4	1,1	27,7
Woźniki	196,9	568,3	9,1	35,9	550,6	42,5	5,5	1,0	27,3
Krzepice	508,1	645,6	3,1	36,7	577,9	17,0	13,9	1,1	39,4
Bojszowy	429,8	681,6	0,9	400,5	598,4	2,8	1,1	1,1	218,4
Ogrodzieniec	979,1	611,1	1,6	94,6	564,1	7,1	10,4	1,1	39,8
Średnia	525,1	602,3	3,2	94,4	574,9	16,6	9,3	1,0	79,8

6 Podsumowanie

W niniejszym etapie pracy kontynuowano kampanię pomiarową (łącznie 30 godzinnych pomiarów w 10 „hot-spotach”) stężeń PM10 i CO₂ w gazach odlotowych, pochodzących z indywidualnych urządzeń grzewczych z wykorzystaniem mobilnych urządzeń pomiarowych zainstalowanych na dronie w drugim sezonie grzewczym (S2). Zebrane wartości odniesiono do pierwszego sezonu grzewczego (S1 – bazowego).

W przypadku pomiarów z wykorzystaniem dronów do analizy zmian wielkości emisji PM10 w gazach spalinowych zastosowano wskaźnik PDW będący ilorazem stężenia CO₂ oraz pyłu PM10 w punkcie pomiarowym. Jego malejąca wartość wskazuje na zwiększoną zawartość pyłu w strumieniu spalin. Poprawa jakości powietrza na skutek działań samorządów w następstwie wdrażania zapisów śląskiej uchwały „antysmogowej” powinna skutkować zwiększaniem się wartości wskaźnika PDW w kolejnych okresach pomiarowych, co w praktyce powinno być widoczne w postaci przesuwania się wskaźnika PDW w kierunku wyższych wartości na histogramie. Po analizie wyników pomiarów w S2 taka zmiana została zaobserwowana – zarejestrowano spadki średnich wartości PDW zarówno w emitorach, jak i w tle. Zaobserwowano również spadek stężeń emisji PM10 we wszystkich gminach w całym sezonie grzewczym (październik-marzec), poza Rybnikiem.

Stężenia PM10 mierzone w powietrzu w sposób stacjonarny i zestawione w Tab. 33 stanowią wprost podstawę do oceny zmian jakości powietrza w kolejnych latach trwania projektu, po uwzględnieniu wyników pomiarów prowadzonych w kolejnych sezonach grzewczych.

Zmiany wskaźnika PDW będą podstawą do szacowania dynamiki zmian wielkości emisji będących skutkiem realizacji działań naprawczych, w oparciu o analogiczne pomiary planowane w kolejnych etapach.

Dane uzyskane w kolejnych sezonach grzewczych pozwolą na obserwację dynamiki zmian zanieczyszczenia powietrza zarówno w strumieniach gazów odlotowych z kominów gospodarstw domowych (pomiary dronem), jak też w emisji atmosferycznej (pomiary stacjonarne), będących efektem likwidacji wysokoemisyjnych urządzeń grzewczych w ramach realizacji działań naprawczych PL240X-ZSO i związanej z tym poprawy jakości powietrza.