

Raport o jakości powietrza w województwie dolnośląskim i kujawsko-pomorskim w latach 2013 - 2024

Opracowanie:

Zespół Projektu LIFE-MAPPINGAIR/PL

Wrocław 2024

Spis treści

WPROWADZENIE	3
FOREWORD	5
1. OBSZAR PODLEGAJĄCY ANALIZIE	6
1.1. ŹRÓDŁA WYKORZYSTANYCH DANYCH	6
2. STRUKTURA ŹRÓDEŁ CIEPŁA I EMISJI	9
3. ANALIZA PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH DLA WROCŁAWIA I TORUNIA W OKRESIE OD I 2013 DO IX 2024	17
4. ZMIENNOŚĆ STĘŻENIA PYŁU ZAWIESZONEGO W OKRESIE OD I 2013 DO IX 2024	23
4.1. ZMIENNOŚĆ STĘŻENIA PYŁU ZAWIESZONEGO PM ₁₀ W WIELOLECIU 2013-2024	23
4.2. ZMIENNOŚĆ STĘŻENIA PYŁU ZAWIESZONEGO PM _{2,5} W WIELOLECIU 2013-2024	31
5. CHARAKTERYSTYKA SEZONÓW GRZEWczyCH 2016/2017 I 2019/2020	40
5.1. CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH I AEROSANITARNYCH W SEZONIE GRZEWczyM 2016/2017 W WOJEWÓDZTWIE DOLNOŚLĄSKIM	41
5.2. CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH I AEROSANITARNYCH W SEZONIE GRZEWczyM 2019/2020 W WOJEWÓDZTWIE DOLNOŚLĄSKIM	47
5.3. CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH I AEROSANITARNYCH W SEZONIE GRZEWczyM 2016/2017 W WOJEWÓDZTWIE KUJAWSKO-POMORSKIM	53
5.4. CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH I AEROSANITARNYCH W SEZONIE GRZEWczyM 2019/2020 W WOJEWÓDZTWIE KUJAWSKO-POMORSKIM	60
5.5. PORÓWNANIE ZMIENNOŚCI STĘŻEŃ PYŁU ZAWIESZONEGO W WOJ. DOLNOŚLĄSKIM I KUJAWSKO-POMORSKIM	66
PODSUMOWANIE	69
SUMMARY	73
BIBLIOGRAFIA	77

Wprowadzenie

Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego, mimo wyraźnej poprawy obserwowanej w ostatnich latach, jest wciąż jednym z ważniejszych problemów środowiskowych w Polsce. Wyzwania z tym związane stawiane są zarówno organom administracji państwowej w zakresie organizacji i wdrażania wielu działań na rzecz poprawy jakości powietrza, jak i mieszkańcom w związku z koniecznością przełamania starych nawyków i dostosowania do nowych rozwiązań. Jest to istotne, zwłaszcza w kontekście wdrażanych w wielu województwach Uchwał Antysmogowych, jak i w kontekście zmieniającego się prawa unijnego, a zwłaszcza przyjętej w październiku 2024 unijnej Dyrektywy w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (PE, 2024), znacząco zaostrzającej normy jakości powietrza, zwłaszcza dla pyłu zawieszonego.

Jako zespół Projektu LIFE-MAPPINGAIR/PL "Czy wiesz czym oddychasz? Kampania edukacyjno-informacyjna na rzecz poprawy jakości powietrza" uważamy, że jednym z kluczowych aspektów związanych z poprawą jakości powietrza jest rzetelna wiedza na temat stanu środowiska atmosferycznego jego uwarunkowań oraz przyczyn zachodzących w nim zmian. Bez tej wiedzy i świadomości zarówno obywatele, jak i samorządy czy administracja nie będą mogli wdrażać skutecznych działań chroniących nasze powietrze, ani oceniać ich skutków i efektywności.

Z tego względu oddajemy w Państwa ręce niniejszy Raport, obejmujący okres od 2013 do 2024 roku. Był to czas szczególny, ponieważ rok 2013 można uznać za jeden z kluczowych momentów w działaniach na rzecz poprawy jakości powietrza w Polsce. W tym roku właśnie, na skutek licznych artykułów w prasie zachodniej, będących pokłosiem jednego z raportów Europejskiej Agencji Środowiska, rozpoczęły się w naszym kraju aktywne działania na rzecz poprawy jakości powietrza i ograniczenia niskiej emisji. Rok 2024 jest też w pewien sposób przełomowy dla obszaru Projektu LIFE-MAPPINGAIR/PL, czyli aglomeracji wrocławskiej i bydgoskiej, a szerzej województw dolnośląskiego i kujawsko-pomorskiego. Wprowadzone odpowiednio w 2017 i 2019 r. Uchwały Antysmogowe dla tych województw osiągnęły w tym roku jeden ze swoich kamieni milowych, czyli zakaz użytkowania pozaklasowych instalacji grzewczych na paliwa stałe - czyli tak zwanych "kopciuchów".

W niniejszym opracowaniu przedstawiono diagnozę stanu jakości powietrza za okres 2013 - 2024, wraz ze wskazaniem najważniejszych czynników wpływających na wartości stężeń zanieczyszczeń. Szczególną uwagę zwrócono na czynniki meteorologiczne warunkujące dyspersję zanieczyszczeń. W ramach opracowania szczegółowo omówiono również szczególne przypadki, związane z sezonami chłodnymi 2016/2017 (jeden z najmroźniejszych w omawianym okresie) i 2019/2020 (jeden z najcieplejszych sezonów), ilustrujące wpływ warunków pogodowych na warunki aerosanitarne. Analizy te przygotowano w oparciu o ogólnodostępne dane z sieci pomiarowej Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, jak również dane meteorologiczne dla Wrocławia i Torunia, udostępniane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, oraz dostępne dane



Uniwersytet
Wrocławski



Politechnika
Wrocławska



WCSS



Projekt "Czy wiesz czym oddychasz?" – kampania edukacyjno-informacyjna na rzecz czystszej powietrza - LIFE-MAPPINGAIR/PL

Głównego Urzędu Statystycznego, Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego i innych instytucji i organów państwowych gromadzących dane powiązane z problematyką jakości powietrza.

Foreword

Air pollution, despite the significant improvement observed in recent years, remains one of the major environmental issues in Poland. The challenges associated with it concern both state administration authorities, responsible for organizing and implementing various measures to improve air quality, and residents, who must overcome old habits and adapt to new solutions. This is particularly important in the context of the Anti-Smog Resolutions introduced in many voivodeships, as well as in light of changing EU regulations—especially the EU Air Quality Directive adopted in October 2024, which significantly tightens air quality standards, particularly for particulate matter.

As the team of the LIFE-MAPPINGAIR/PL Project “Do You Know What You Breathe? An Educational and Informational Campaign for Air Quality Improvement”, we believe that one of the key aspects of improving air quality is reliable knowledge about the state of the atmospheric environment, its conditions, and the causes of its changes. Without this knowledge and awareness, neither citizens nor local governments or administrative bodies will be able to implement effective measures to protect our air or assess their impact and effectiveness.

For this reason, we present to you this Report, covering the period from 2013 to 2024. This has been a particularly significant time, as the year 2013 can be considered one of the key moments in efforts to improve air quality in Poland. That year, as a result of numerous articles in the Western press – following a report by the European Environment Agency – active measures were initiated in our country to improve air quality and reduce low emissions. The year 2024 is also a milestone for the LIFE-MAPPINGAIR/PL Project area, which includes the Wrocław and Bydgoszcz agglomerations and, more broadly, the Lower Silesian and Kuyavian-Pomeranian voivodeships. The Anti-Smog Resolutions introduced in these voivodeships in 2017 and 2019, respectively, reached an important milestone this year – the ban on using non-classified solid fuel heating installations, commonly known as “smokers”.

This report presents an assessment of air quality from 2013 to 2024, highlighting the key factors influencing pollutant concentration levels. Special attention is given to meteorological factors affecting pollutant dispersion. The study also provides a detailed analysis of specific cases related to the cold seasons of 2016/2017 (one of the coldest in the examined period) and 2019/2020 (one of the warmest), illustrating the impact of weather conditions on air quality. These analyses are based on publicly available data from the monitoring network of the Chief Inspectorate of Environmental Protection, as well as meteorological data for Wrocław and Toruń, provided by the Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute. Additionally, data from the Central Statistical Office, the Main Office of Building Control, and other institutions and government bodies collecting air quality-related data were utilized.

1. Obszar podlegający analizie

Do oceny stanu zanieczyszczenia powietrza konieczne są informacje o ilości i jakości związków/substancji wprowadzanych do środowiska. W niniejszym opracowaniu, analizie poddano stężenia pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ i PM_{10} w powietrzu we Wrocławiu i w Bydgoszczy oraz w sąsiednich miejscowościach. Lokalizacje te wytypowano ze względu na zaplanowany obszar realizacji Projektu LIFE-MAPPINGAIR/PL, który obejmuje aglomerację wrocławską (z uwzględnieniem gmin satelickich) i aglomerację bydgoską.

1.1. Źródła wykorzystanych danych

Na obszarze Polski pomiary jakości powietrza prowadzone są w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ). W 2024 roku liczbę funkcjonujących stacji pomiarowych prowadzonych na obszarze województwa dolnośląskiego i kujawsko-pomorskiego przedstawiono w tabeli 1.1

Tabela 1.1 Stanowiska pomiaru pyłu zawieszonego PM_{10} i $PM_{2,5}$ w podziale na typ pomiaru: automatyczny/manualny - rok 2024 (źródło: GIOŚ).

Województwo	$PM_{2,5}$ stanowiska manualne	$PM_{2,5}$ stanowiska automatyczne	PM_{10} stanowiska automatyczne	PM_{10} stanowiska manualne
KUJAWSKO-POMORSKIE	5	6	11	11
DOLNOŚLĄSKIE	5	6	13	16

Lokalizacja stacji pomiarowych PMŚ, wyznaczanych przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, jest zgodna z kryteriami określonymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (t.j. Dz.U. 2024 poz. 870). Stacje podzielone są na typy ze względu na charakter obszaru, na którym prowadzone są pomiary – wyróżniamy stacje tła (miejskiego, podmiejskiego oraz pozamiejskiego), przemysłowe oraz komunikacyjne. W niniejszym opracowaniu uwzględniono trzy typy stacji:

- stacje tła miejskiego, które lokalizowane są na obszarach w sposób, aby na poziom zanieczyszczenia miało wpływ łączne oddziaływanie emisji zanieczyszczeń pochodzących z wielu źródeł emisji, zaliczanych do różnych kategorii (emisja z indywidualnego ogrzewania budynków, ze środków transportu, z zakładów przemysłowych),
- stacje tła podmiejskiego, na których zanieczyszczenie powietrza mają związek głównie z emisją dwutlenku siarki i dwutlenku azotu z wielu, niekiedy odległych, rejonów i źródeł emisji,
- stacje typu komunikacyjnego oznacza, że została wyznaczona w pobliżu drogi o dużym natężeniu ruchu (wartość stężenia substancji w powietrzu jest reprezentatywna tylko w otoczeniu drogi).

Niestety, stacje GIOŚ nie dają pełnej informacji o przestrzennym zróżnicowaniu stężeń na obszarze miejscowości. W analizie uwzględniono również dane z sieci czujników niskokosztowych zaprojektowanej w ramach Projektu Life-Mappingair/pl. Urządzenia te zostały zainstalowane w optymalnych lokalizacjach, uwzględniających z jednej strony wymogi metodyczne pomiarów pyłu zawieszonego, z drugiej zaś wymogi bezpieczeństwa, możliwości instalacyjne na danym obiekcie i dostęp do zasilania. Publiczny dostęp do danych pomiarowych możliwy jest poprzez stronę <https://airquality.uni.wroc.pl>.

W niniejszym opracowaniu wykorzystano wyniki pomiarów:

- automatycznych stężeń wybranych zanieczyszczeń z Państwowego Monitoringu Środowiska (tabela 1.2),
- z sieci czujników niskokosztowych zaprojektowanych w ramach Projektu Life-Mappingair/pl (tabela 1.3),
- o warunkach meteorologicznych z sieci Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB) oraz Obserwatorium Zakładu Klimatologii i Ochrony Atmosfery Uniwersytetu Wrocławskiego (tabela 1.4).

Dane zostały pobrane w dniu 1 października 2024 r. Lata, w których dane PMŚ brano pod uwagę, przedstawiono w tabeli 1.5 (analizę roku 2024 zakończono na III kwartale). Celem zachowania ciągłości porównania stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5}, dla stacji przy ul. Dziewulskiego w Toruniu wykorzystano dane ze stacji manualnej w latach 2020 i 2021-2024. Okres wykorzystania danych z sieci czujnikowej Projektu Life-Mappingair/pl uwzględniono w tabeli 1.3.

Tabela 1.2 Wykorzystane w opracowaniu dane o jakości powietrza z PMŚ.

Źródło danych	Nazwa stacji pomiarowej	Typ stacji			Mierzony parametr / czas uśredniania danych	
		Tło miejskie (TM)	Tło podmiejskie (TPM)	Komunikacyjna (KM)	Pył zawieszony PM _{2,5}	Pył zawieszony PM ₁₀
województwo dolnośląskie						
PMŚ	Wrocław, ul. Wyb. J. Conrada-Korzeniowskiego	TM			1h	1h
	Wrocław, al. Wiśniowa /ul. Powst. Śląskich			KM	1h	1h
	Kłodzko, ul. Szkolna	TM			1h	1h
	Dzierżonów, ul. Piłsudskiego	TM				1h
	Legnica, al. Rzeczypospolitej	TM				1h
	Nowa Ruda, ul. Jeziorna	TM				1h
	Wałbrzych, ul. Wysockiego	TM				1h
	Jelenia Góra, ul. Ogińskiego	TM			1h	1h
województwo kujawsko-pomorskie						
PMŚ	Bydgoszcz, ul. Warszawska	TM			1h	1h
	Bydgoszcz, Plac Poznański			KM	1h	1h
	Toruń, ul. Dziewulskiego	TM			1h / 24h	1h
	Toruń, Przy Kaszowniku			KM		1h
	Toruń, ul. Wały gen. Sikorskiego	TM				1h
	Włocławek, ul. Okrzei			KM	1h	1h
	Inowrocław, ul. Solankowa		PM			1h

Tabela 1.3 Wykorzystane w opracowaniu dane o warunkach meteorologicznych z sieci IMGW-PIB i UWr.

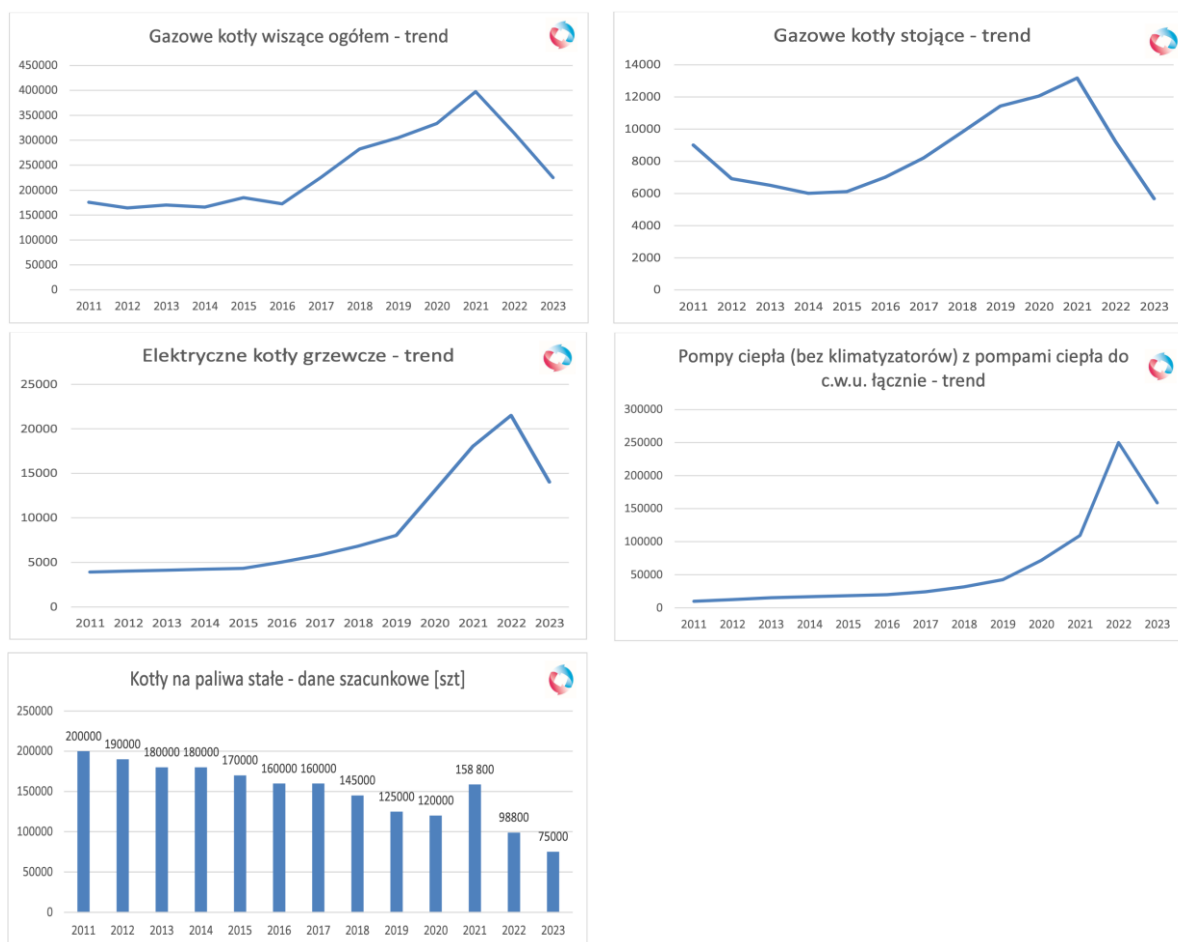
Źródło danych	Lokalizacja stacji	Mierzony parametr	Czas uśredniania danych
UWr	Wrocław, ul. Kosiby 8	Temperatura T [°C]	1h
IMGW-PIB	Wrocław-Strachowice	Temperatura T [°C]	1h, 24h
		Prędkość wiatru V [m/s]	1h, 24h
		Opad [mm]	6h
IMGW-PIB	Toruń (stacja synoptyczna położona najbliżej m. Bydgoszcz)	Temperatura T [°C]	1h, 24h
		Prędkość wiatru V [m/s]	1h, 24h
		Opad [mm]	6h

Tabela 1.4 Kompletność danych PM₁₀ branych pod uwagę w opracowaniu: znakiem „-” oznaczono brak danych, znakiem „+” oznaczono dane ujęte w opracowaniu. W każdej komórce po lewej stronie ujęto informacje o pyłach PM₁₀, zaś w komórce po prawej stronie informacje o pyłach PM_{2,5}.

Nazwa stacji pomiarowej	Okres [rok]											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Wyniki pomiarów zanieczyszczenia pyłem zawieszonym: PM₁₀ / PM_{2,5}												
Wrocław, ul. Wyb. J. Conrada-Korzeniowskiego	- / -	+ / -	- /	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +
Wrocław, al. Wiśniowa /ul. Powst. Śląskich	+ / +	- / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +
Kłodzko, ul. Szkolna	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +
Dzierżoniów, ul. Piłsudskiego	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -
Legnica, al. Rzeczypospolitej	- / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -
Nowa Ruda, ul. Jeziora	- / -	- / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -
Wałbrzych, ul. Wysockiego	- / -	- / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -
Jelenia Góra, ul. Ogińskiego	+ / -	+ / -	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +
Bydgoszcz, ul. Warszawska	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / -	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +
Bydgoszcz, Plac Poznański	+ / -	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +
Toruń, ul. Dziewulskiego	- / -	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +
Toruń, Przy Kaszowniku	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -
Toruń, ul. Wały gen. Sikorskiego	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -
Wrocław, ul. Okrzei	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +
Inowrocław, ul. Solankowa	- / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -

2. Struktura źródeł ciepła i emisji

Pomimo trudności związanych z dostępem surowców i podwyżkami cen, ostatnie lata sprzyjały inwestycjom mającym na celu poprawę jakości powietrza na poziomie lokalnym. Prowadzone kampanie na rzecz wdrażania działań w kierunku podwyższania efektywności energetycznej w budynkach wpłynęły znacznie na wzrost zainteresowania automatyką, pozwalając na optymalne gospodarowanie energią, w tym zarządzanie ciepłem w domach. Podejmowane od 2017 r. tzw. uchwały antysmogowe¹ wprowadzające ograniczenia i zakazy dotyczące eksploatacji instalacji na paliwa stałe oraz stopniowe wdrażanie obowiązków z nich wynikających, a także działania edukacyjne i wzrost ilości dostępnych dotacji na wymianę przestarzałych źródeł ciepła na ekologiczne (na poziomie lokalnym i krajowym), spowodowały wzrost zainteresowania urządzeniami spełniającymi obowiązujące przepisy.

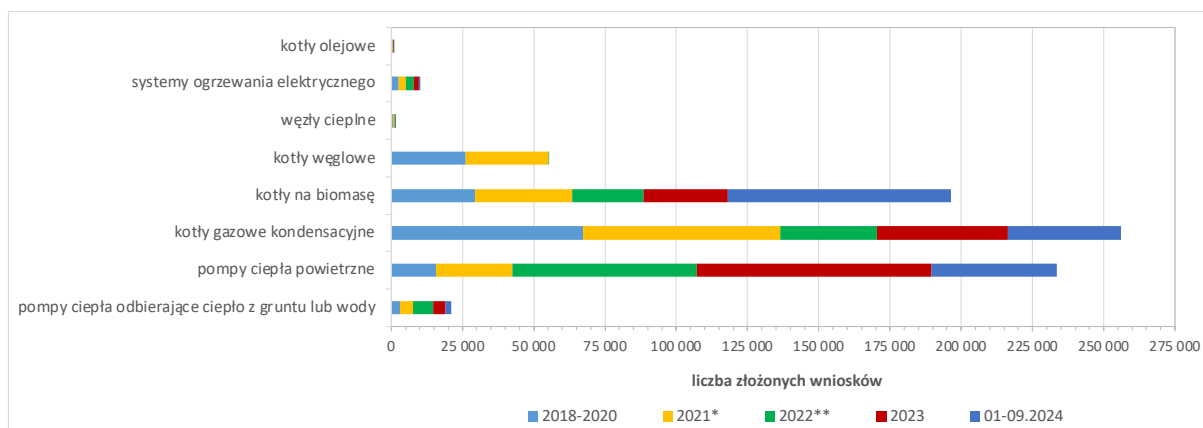


Rys. 2.1 Sprzedaż urządzeń grzewczych w okresie 2011-2023 (źródło: SPIUG 2024).

W 2019 r. odnotowano wzrost sprzedaży zarówno nowoczesnych urządzeń grzewczych spełniających wymogi ekoprojektu, jak i kotłów gazowych (rys. 2.1) (SPIUG, 2020). Dużym zainteresowaniem cieszyły się również pompy ciepła i fotowoltaika jako technologia pozyskiwania energii słonecznej na cele prosumenckie. Pomimo pandemii COVID-19

¹ art. 96 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (t.j. Dz.U. 2024 poz. 54).

w 2020 r. zainteresowanie ekologicznymi źródłami ciepła utrzymało się na wysokim poziomie (SPIUG, 2021). W 2021 r. stale wzrastające ceny urządzeń i długi czas oczekiwania stały się motywacją do podjęcia decyzji o zakupie nowego urządzenia grzewczego (SPIUG, 2022). Zwiększenie zainteresowania zakupem kotłów grzewczych na paliwa stałe wynikało głównie ze wzrostu sprzedaży w grupie kotłów na biomasę (z uwagi na wzrost cen węgla). Pod koniec roku większe zakupy kotłów na węgiel i jego pochodne spowodowane były ograniczeniami Programu „Czyste Powietrze”, w którym tego typu urządzenia były dofinansowywane tylko do końca roku. Dodatkowo w IV kwartale 2021 r. zaobserwowano zwiększone zainteresowanie panelami PV z uwagi na wchodzące od kwietnia 2022 nowe (mniej korzystne) przepisy rozliczania energii elektrycznej wytwarzanej w przydomowych instalacjach PV. Natomiast w roku 2023 na sprzedaż urządzeń głównie wpłynęły stale rosnące ceny energii oraz spekulacje i dezinformacja w mediach, co mogło prowadzić do wstrzymywania się z decyzjami co do zakupu nowych czy wymiany zużytych urządzeń przez odbiorców końcowych (SPIUG, 2024).



*od października 2021 r. liczba wniosków nie uwzględnia ścieżki bankowej z uwagi na brak wskazania rodzaju wymienionego źródła ciepła w formularzu ścieżki bankowej

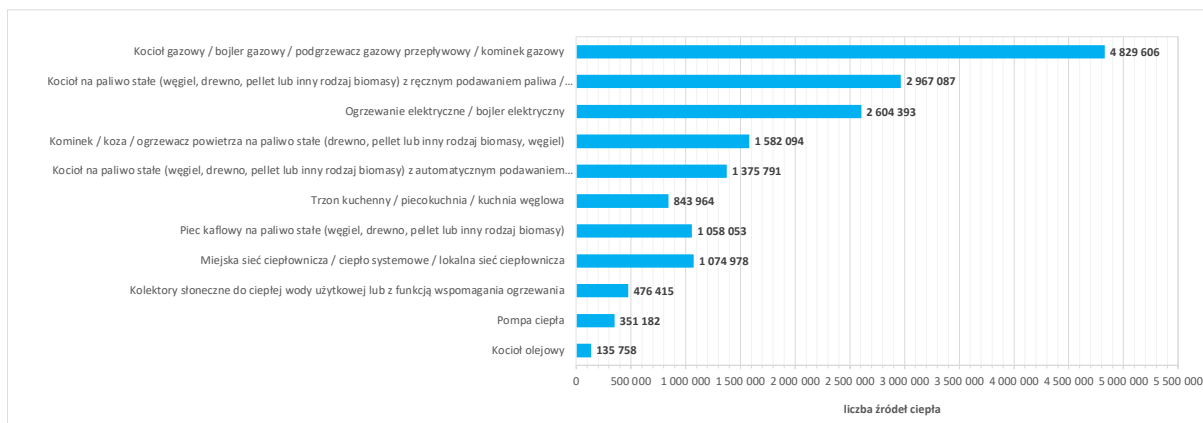
** wnioski złożone błędnie, od 01.01.2022 kotły na węgiel nie podlegają dofinansowaniu

Rys. 2.2 Liczba złożonych wniosków o dotacje z programu "Czyste powietrze" wg poszczególnych źródeł ciepła (opracowanie własne na podstawie danych statystycznych <https://czystepowietrze.gov.pl/>).

Niestety kryzys ekonomiczny i surowcowy oraz wybuch wojny w Ukrainie w 2022 r. przeniosły obawy społeczeństwa na ilość wymienianych źródeł ciepła (SPIUG, 2023), która według statystyk programu „Czyste powietrze”² spadła prawie o 18% w stosunku do roku poprzedniego (rys. 2.1, 2.2). O ile od początku działania programu rządowego „Czyste powietrze” (lata 2018-2021) przeważały wnioski o dotację na kotły gazowe kondensacyjne, tak w 2022 r. w związku ze znacznym wzrostem cen paliw (gazu i węgla kamiennego) i ryzykiem braku dostępności w składach węgla kamiennego, ponad połowa wniosków o dotację dotyczyła pomp ciepła (czyli urządzeń bezemisyjnych). Podobną tendencję można zauważyć w 2023 r. W roku 2024 widać dużą dynamikę wzrostową w wypadku zakupu kotłów na biomasę, co było głównie spowodowane wciąż rosnącymi cenami energii.

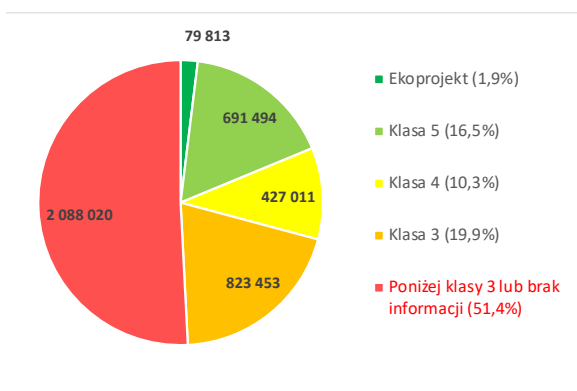
² Program „Czyste powietrze” (na lata 2018-2029) to rządowy program dofinansowania kompleksowej termomodernizacji budynków oraz wymiany starych i nieefektywnych źródeł ciepła na paliwo stałe na nowoczesne źródła ciepła spełniające najwyższe normy, <https://czystepowietrze.gov.pl/czyste-powietrze/>.

Od początku działania programu „Czyste powietrze” złożonych zostało blisko 613 tys. wniosków na wymianę źródła ciepła (stan na wrzesień 2024 r.), z czego 6,4% stanowiły wnioski złożone w woj. kujawsko-pomorskim, zaś 4,9% w woj. dolnośląskim. Jest to niewielki procent wymienionych nieekologicznych urządzeń grzewczych w stosunku do deklarowanych (rys. 2.3).

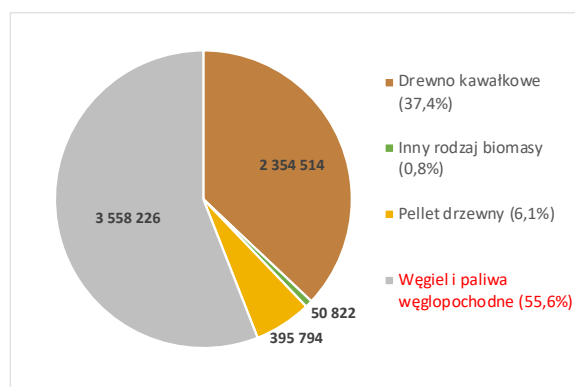


Rys. 2.3 Struktura źródeł ciepła w Polsce ze względu na rodzaj (dane GUNB wg stanu na dzień 23.10.2023).

Według statystyk Centralnej Ewidencji Emisyjności Budynków na dzień 23.10.2023 r. w całym kraju zostało wskazanych ponad 4,1 mln kotłów na paliwo stałe, z czego ponad połowę stanowią kotły poniżej klasy 3 lub kotły, o których klasie brak jest informacji. Niestety kotłów spełniających wymogi ekoprojektu na chwilę obecną jest zaledwie 1,9% (rys. 2.4, 2.5). 56% eksploatowanych urządzeń opalanych jest węglem i paliwami węglowodukowymi, na drugim miejscu plasuje się drewno kawałkowe (rys. 2.5).



Rys. 2.4 Udział poszczególnych klas kotłów w ogólnej liczbie kotłów na paliwo stałe (dane GUNB wg stanu na dzień 23.10.2023).

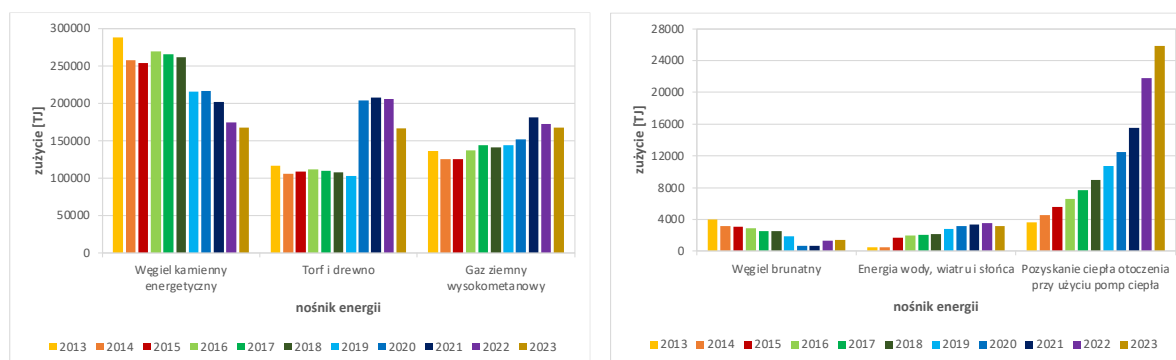


Rys. 2.5 Struktura rodzaju paliwa w kotłach na paliwo stałe (dane GUNB wg stanu na dzień 23.10.2023).

Taka struktura ogrzewania indywidualnych budynków mieszkalnych wpływa na zwiększoną emisję zanieczyszczeń (zwłaszcza pyłowych). Kolejnym czynnikiem, który wpływa na wielkość emisji, jest spalanie złych jakościowo paliw. Pomimo wprowadzonego zakazu sprzedaży detalicznej najgorszych jakościowo paliw (mułów węglowych, flotokonzentratów,

miałów węglowych i węgla brunatnego)³ oraz wdrażania przepisów lokalnych (tzw. uchwał antysmogowych), sytuacja taka nadal ma miejsce. Wybór tańszego i niskiej jakości paliwa często wiąże się ze złą sytuacją ekonomiczną Polaków. Dodatkowo w związku ze znaczącym wzrostem cen węgla w wyniku zaprzestania importu paliw z Rosji, od czerwca 2022 r. do grudnia 2023 r. zostało wprowadzanych pięć rozporządzeń zawieszających normy jakościowe dla paliw stałych⁴. W efekcie uchwalona we wrześniu 2022 r. ustawa o wsparciu odbiorców ciepła⁵ umożliwiła sprzedaż gospodarstwom domowym węgla brunatnego oraz jego produktów w postaci stałej otrzymywanych w procesie przeróbki termicznej przeznaczonych do spalania, a także zniosła zakaz wprowadzania tego rodzaju paliwa do obrotu do dnia 30 kwietnia 2023 r. Zmiany te tłumaczono ochroną indywidualnych nabywców przed sankcjami za złamanie uchwał antysmogowych. W praktyce gorszej jakości paliwo oznacza zwiększone emisje spalin i tym samym wyższe stężenia szkodliwych pyłów i rakotwórczego benzo(a)pirenu w powietrzu.

Niestety pomimo spadku zużycia węgla kamiennego i wzrostu zainteresowania pompami ciepła w ostatniej dekadzie, użytkowanie kotłów na paliwo stałe jest nadal popularne, a węgiel wraz z biomasą pozostają głównym nośnikami energii w Polsce (rys. 2.6).



Rys. 2.6 Zużycie bezpośrednio najważniejszych pierwotnych nośników energii oraz pozyskanie ciepła otoczenia przy użyciu pomp ciepła w gospodarstwach domowych w Polsce (opracowanie własne na podstawie danych GUS 2015a-2024a).

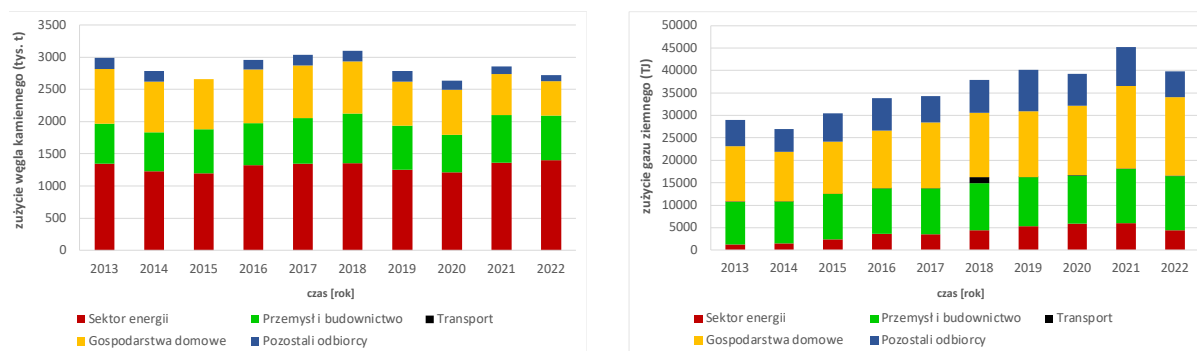
W województwie dolnośląskim w 2022 r. (rys. 2.7) zużycie węgla kamiennego w stosunku do roku 2013 spadło w gospodarstwach domowych (o 36,9%) i u pozostałych odbiorców w tym w rolnictwie (o 48,3%), natomiast wzrost o 4,1% wystąpił w sektorze energii (elektrownie, elektrociepłownie, ciepłownie i kotły ciepłownicze energetyki zawodowej) i o 11,6% w przemyśle i budownictwie. Zużycie gazu ziemnego w stosunku do roku 2013 znacznie wzrosło w sektorze energii (o 253,7%) oraz w transporcie (o 152,5%), dużo mniejszy wzrost zużycia odnotowano w gospodarstwach domowych (o 41,4%), przemysłe

³ Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw (t.j. Dz.U. 2024 poz. 1209).

⁴ Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska w sprawie odstąpienia od stosowania wymagań określonych w przepisach rozporządzenia w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych z dnia 27 czerwca 2022 r. (Dz.U. 2022 poz. 1351), 25 sierpnia 2022 r. (Dz.U. 2022 poz. 1786), 24 października 2022 r. (Dz.U. 2022 poz. 2186), 28 kwietnia 2023 r. (Dz.U. 2023 poz. 835), 1 sierpnia 2023 r. (Dz.U. 2023 poz. 1494).

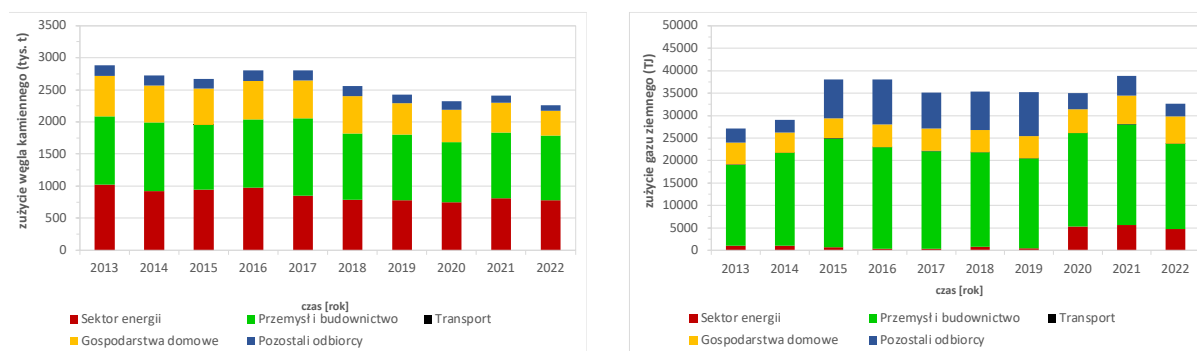
⁵ Ustawa z dnia 29 września 2022 r. o zasadach realizacji programów wsparcia przedsiębiorców w związku z sytuacją na rynku energii w latach 2022–2024 (Dz.U. 2022 poz. 2088)

i budownictwie (26,4%). Zastanawiające są jednak dane na temat transportu, gdzie zużycie gazu w ciągu analizowanych lat wahało się w granicach 29 TJ (w 2013 r.) do 101 TJ (w 2022 r.), natomiast w roku 2018 wyniosło ono ponad 1300 TJ.



Rys. 2.7 Zużycie węgla kamiennego (po lewej) i gazu ziemnego (po prawej) w woj. dolnośląskim (źródło: GUS 2014-2023).

W województwie kujawsko-pomorskim w 2022 r. (rys. 2.8) zużycie węgla kamiennego w stosunku do roku 2013 spadło w gospodarstwach domowych (o 38,3%), w sektorze energii (o 23,7%) i u pozostałych odbiorców (o 48,2%), natomiast w przemyśle i budownictwie spadek ten wyniósł zaledwie 5,5%. Zużycie gazu ziemnego w stosunku do roku 2013 znacznie wzrosło w sektorze energii (o 356%), dużo mniejszy wzrost zużycia odnotowano w gospodarstwach domowych (o 21,4%) oraz przemyśle i budownictwie (5,7%), zaś spadek stwierdzono w transporcie (o 34%) i u pozostałych odbiorców w tym w rolnictwie (o 7,4%).



Rys. 2.8 Zużycie węgla kamiennego (po lewej) i gazu ziemnego (po prawej) w woj. kujawsko-pomorskim (źródło: GUS 2014-2023).

Odnotowany od 2020 r. spadek zużycia węgla kamiennego i wzrost zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych w obu analizowanych województwach (rys. 2.9 i rys. 2.10) może być spowodowany zmianami w strukturze eksploatacji urządzeń grzewczych, na którą wpłynęły m.in.:

- zmiany w przepisach pozwalające wyeliminować z użytku najgorszej jakości paliwa stałe (węgiel brunatny, miał węglowy, muł i flotokoncentrat) i urządzenia (tzw. kopciuchy),

- wzmożone akcje edukacyjne informujące o negatywnym wpływie zanieczyszczeń powietrza na zdrowie,
- programy wsparcia umożliwiające osobom o niższych dochodach wymianę instalacji na niskoemisyjną.

Należy również zwrócić uwagę na wyraźny trend spadkowy sumarycznego zużycia węgla kamiennego i gazu ziemnego w ostatnich kilku latach.

Wg analizowanych danych trend ten związany był nie tylko z coraz łagodniejszymi zimami, ale wpłynęły na niego również inne czynniki. Widać to wyraźnie w danych dla roku 2021 w woj. kujawsko-pomorskim (rys. 2.9), gdy wzrost liczby stopniodni grzania (sugerujący zwiększone zapotrzebowanie na ciepło) nie przełożył się na adekwatny wzrost zużycia węgla i gazu. Można założyć, że w tym sezonie analizowane nośniki energii uzupełnione zostały innymi, alternatywnymi źródłami ciepła. Jakimi – tu niestety brakuje danych.



Rys. 2.9 Zużycie węgla kamiennego i gazu ziemnego w gospodarstwach domowych w woj. kujawsko-pomorskim wyrażone w jednostce energii [TJ] (przy założeniu średniej wartości opalowej węgla na poziomie 25 MJ/kg) na tle rocznej wartości liczby stopniodni grzania (stacja Toruń dla woj. kujawsko-pomorskiego) dla temperatury bazowej $T_b=18^{\circ}\text{C}$ i temperatury granicznej $T_{gr}=15^{\circ}\text{C}$ obliczonej wg EUROSTAT (obliczenia własne na podstawie danych: GUS 2013-2023, IMGW i Dopke J.).

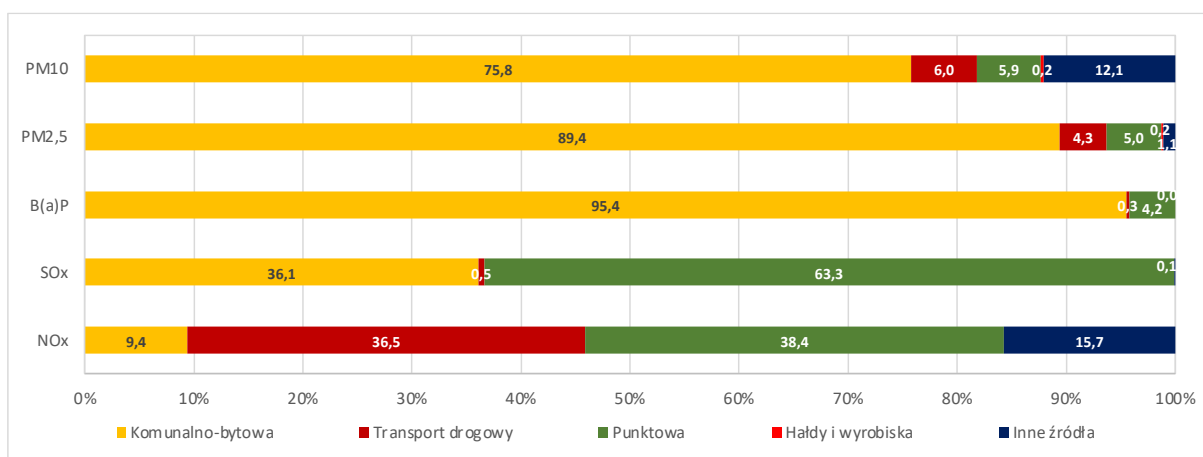
W latach 2020-2021 sumaryczny wzrost zużycia węgla i gazu w gospodarstwach domowych w woj. dolnośląskim (rys. 2.10) pokrywa się ze wzrostem rocznej wartości liczby stopniodni grzania, co oznacza, że część kotłów zasilana węglem, mogła zostać wymieniona na rzecz kotłów gazowych.



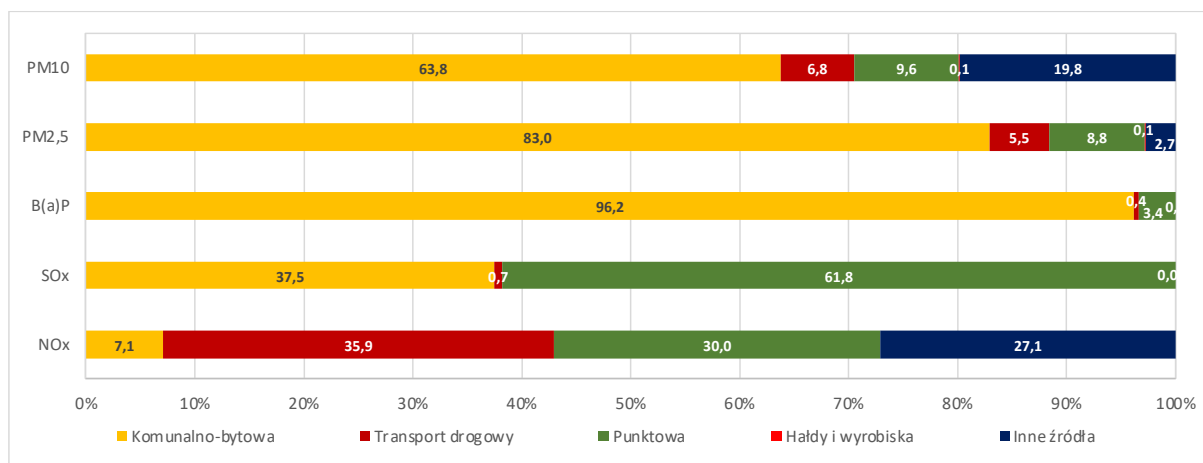
Rys. 2.10 Zużycie węgla kamiennego i gazu ziemnego w gospodarstwach domowych w woj. dolnośląskim wyrażone w jednostce energii [TJ] (przy założeniu średniej wartości opalowej węgla na poziomie 25 MJ/kg) na tle rocznej wartości liczby stopniogrzań (stacja Wrocław dla woj. dolnośląskiego) dla temperatury bazowej $T_b=18^{\circ}\text{C}$ i temperatury granicznej $T_{gr}=15^{\circ}\text{C}$ obliczonej wg EUROSTAT (obliczenia własne na podstawie danych: GUS 2013-2023, IMGW i Dopke J.).

Zmiany w eksploatacji paliw (w tym tendencja spadkowa zużycia węgla kamiennego w obu województwach) w różnych sektorach gospodarki przekładają się na wielkość emisji zanieczyszczeń. Głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza (rys. 2.11 i rys. 2.12) na obszarze analizowanych województw jest emisja antropogeniczna pochodząca z sektora komunalno-bytowego (emisja powierzchniowa), mniejszy udział stanowią emisje z transportu (emisja liniowa) oraz działalności przemysłowej (emisja punktowa) (GIOŚ 2024, 2024a). Istotny udział w stężeniach substancji ma również napływ zanieczyszczeń z pozostałego obszaru Polski oraz z Europy. W bilansach emisji dla pyłów PM_{10} i $\text{PM}_{2.5}$ przedstawiono również emisję z hałd i wyrobisk.

Na obszarze obu analizowanych województw dominującym źródłem zanieczyszczeń powietrza pyłem zawieszonymi PM_{10} i $\text{PM}_{2.5}$ oraz benzo(a)pirenem jest emisja z sektora komunalno-bytowego, czyli emisja zanieczyszczeń z kominów domów ogrzewanych indywidualnie. Głównym źródłem emisji tlenków siarki jest przemysł (emisja punktowa), natomiast transport drogowy w sposób znaczący wpływa na emisję tlenków azotu. Przyczynę zanieczyszczeń komunikacyjnych w postaci pyłów stanowi głównie ścieranie się hamulców, opon i nawierzchni dróg oraz unos zanieczyszczeń z powierzchni dróg.



Rys. 2.11 Udziały źródeł emisji w poszczególnych zanieczyszczeniach powietrza w woj. dolnośląskim w 2023 r. (źródło: GIOŚ 2024).

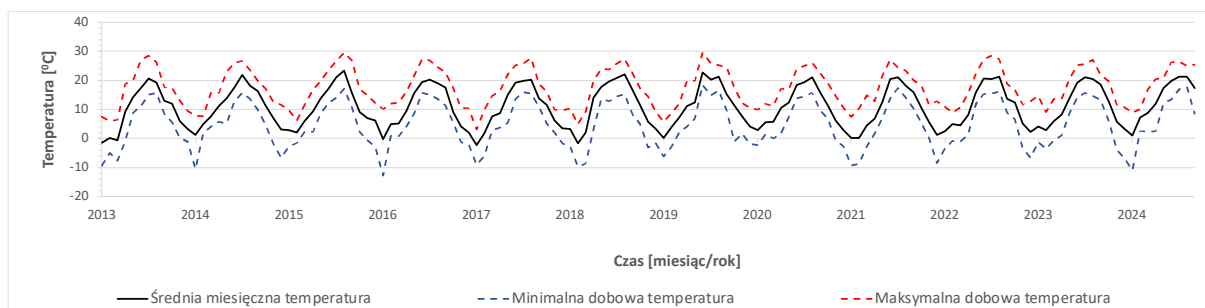


Rys. 2.12 Udziały źródeł emisji w poszczególnych zanieczyszczeniach powietrza w woj. kujawsko-pomorskim w 2023 r. (źródło: GIOŚ 2024a).

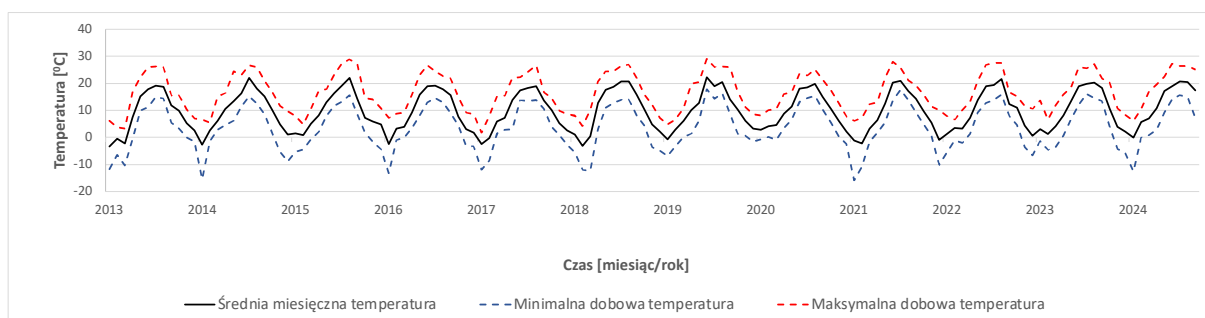
3. Analiza parametrów meteorologicznych dla Wrocławia i Torunia w okresie od I 2013 do IX 2024

Wpływ czynników meteorologicznych na jakość powietrza jest niezwykle istotny. Od nich zależy m.in. stężenie zanieczyszczeń szczególnie na obszarach zurbanizowanych. Do głównych czynników wpływających na zanieczyszczenia wyemitowane do atmosfery oraz ich rozprzestrzenianie i imisję należą: przebieg temperatury powietrza, ilość oraz rozkład opadów atmosferycznych, kierunek i prędkość wiatru.

W analizie wpływu warunków meteorologicznych na rozkład stężeń wybranych zanieczyszczeń pyłowych i gazowych w powietrzu atmosferycznym wykorzystano dane bazy synoptycznej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), mierzone na stacjach naziemnych we Wrocławiu i w Toruniu (miasto położone najbliżej Bydgoszczy). Sezonową zmienność temperatury powietrza (średnie miesięczne oraz maksymalną i minimalną dobową temperaturę) przedstawiono na ryc. 3.1 i 3.2. Średnia roczna temperatura powietrza dla Wrocławia w okresie 11 lat (2013–2023) wyniosła $+10,7^{\circ}\text{C}$, pozostając w przedziale $+9,4^{\circ}\text{C}$ (w roku 2013) do $+11,4^{\circ}\text{C}$ (w roku 2019); w Toruniu – $+9,7^{\circ}\text{C}$, pozostając w przedziale $8,5^{\circ}\text{C}$ (w roku 2013) do $10,5^{\circ}\text{C}$ (w roku 2019). Dużą zmiennością temperatury cechują się miesiące zimowe (XII-II), ze średnią temperaturą miesięczną we Wrocławiu od $+6,1^{\circ}\text{C}$ (XII 2015 r.) do $-2,4^{\circ}\text{C}$ (I 2017 r.), w Toruniu od $+4,7^{\circ}\text{C}$ (XII 2015 r.) do $-3,3^{\circ}\text{C}$ (I 2013 r.). Mniejsza zmienność temperatury występowała w miesiącach letnich (VI-VIII). Najcieplejszy we Wrocławiu był sierpień 2015 r. ($+23,2^{\circ}\text{C}$), zaś najchłodniejszy czerwiec 2015 r. ($+17,1^{\circ}\text{C}$). W Toruniu najcieplejszy był czerwiec 2019 r. ($+22,2^{\circ}\text{C}$), zaś najchłodniejszy czerwiec 2014 r. ($+16,2^{\circ}\text{C}$).

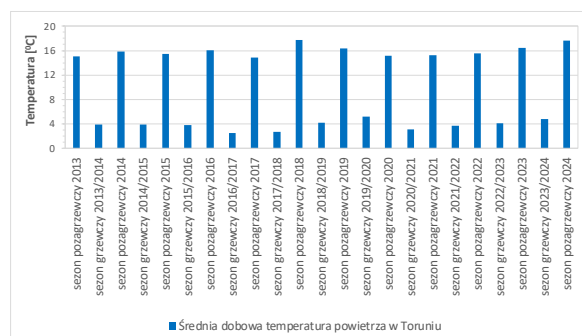
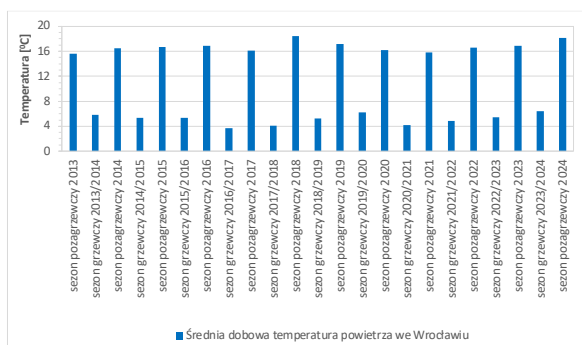


Ryc. 3.1 Przebieg temperatury powietrza we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).



Ryc. 3.2 Przebieg temperatury powietrza w Toruniu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

Na podstawie obserwacji meteorologicznych wykonanych w latach 2013-2024 przeprowadzono również analizę zróżnicowania rozkładu temperatury z wyróżnieniem okresu grzewczego (obejmującego okres od października do marca roku następnego) i pozagrzewczego (od kwietnia do września tego samego roku) (ryc. 3.3). Niska temperatura powietrza i odczucie chłodu w znacznym stopniu wpływa na zapotrzebowanie na ciepło w gospodarstwach domowych. W efekcie w miesiącach jesienno-zimowych odnotowuje się wzrost częstości uruchomienia instalacji grzewczych. Urządzenia zasilane paliwami stałymi w znaczny sposób wpływają na jakość powietrza w okolicy. We Wrocławiu najcieplejszym sezonem grzewczym był 2023/2024 ze średnią dobową temperaturą powietrza dla okresu wynoszącą $+6,4^{\circ}\text{C}$, zaś w Toruniu sezon grzewczy 2019/2020 ze średnią dobową temperaturą powietrza dla okresu wynoszącą $+5,2^{\circ}\text{C}$. Najzimniejszy dla obu miast był sezon 2016/2017 ze średnią dobową temperaturą powietrza dla okresu wynoszącą $+3,7^{\circ}\text{C}$ dla Wrocławia oraz $+2,6^{\circ}\text{C}$ dla Torunia.



Ryc. 3.3 Rozkład temperatury powietrza dla Wrocławia (po lewej) i Torunia (po prawej) z podziałem na sezony (grzewczy i pozagrzewczy) w latach 2013–2024 (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

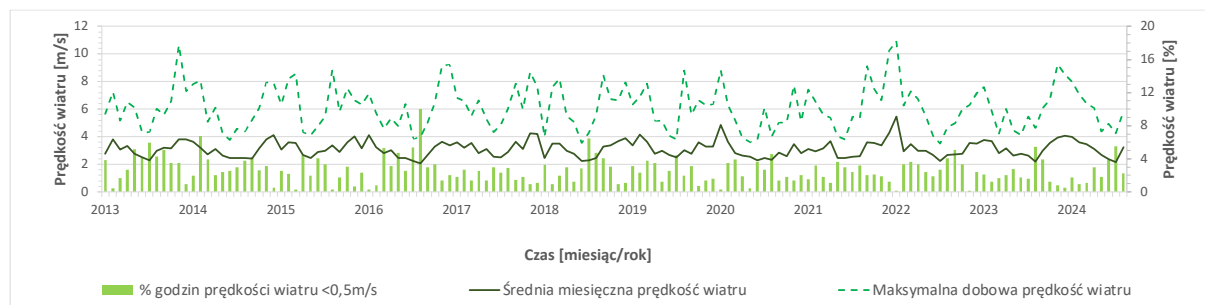
W sezonie grzewczym 2016/2017 wystąpiła również największa liczba dni przymrozkowych (Tabela 3.1) – we Wrocławiu było ich 79, zaś w Toruniu 89 (tyle samo dni przymrozkowych wystąpiło również w sezonie 2021/2022). W obu miastach najwięcej dni bardzo mroźnych (tj. z temperaturą minimalną w ciągu doby poniżej -10°C) wystąpiło w kolejnym sezonie grzewczym (2017/2018). Zarówno we Wrocławiu jak i w Toruniu dni mroźne i bardzo mroźne nie wystąpiły w sezonie z najwyższą średnią temperaturą dobową, tj. 2019/2020. Najwyższa amplituda temperatur we Wrocławiu wystąpiła w sezonie 2023/2024, zaś w Toruniu w sezonie 2020/2021.

Tabela 3.1. Charakterystyka warunków termicznych i wiatrowych we Wrocławiu i w Toruniu w sezonie grzewczym, tj. od października do marca roku następnego (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

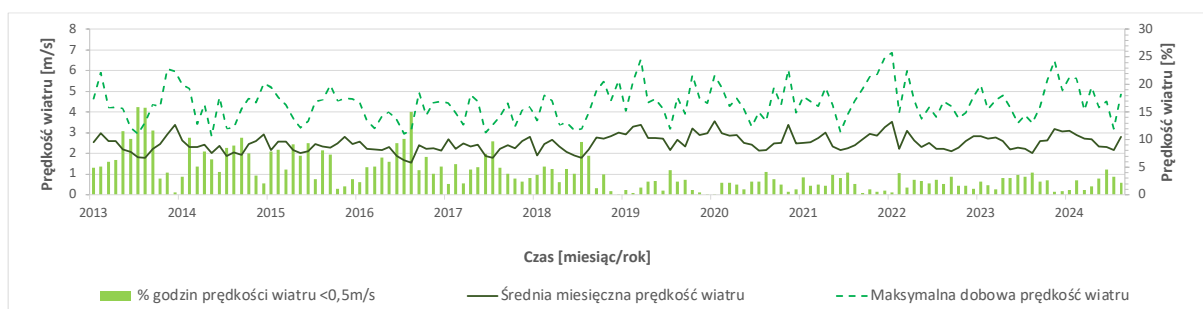
Sezon	T _{sr} [°C]	T _{min} dobowa [°C]	T _{max} dobowa [°C]	Liczba dni			V _{sr} [m/s]	V godzin <0,5m/s [%]
				Bardzo mroźne (T _{min} <-10°C)	Mroźne (T _{max} <0°C)	Przymrozkowe (T _{min} <0°C)		
Wrocław								
2013/2014	5,8	-10,6	17,4	2	9	70	3,5	3,6
2014/2015	5,4	-6,7	17,1	0	10	67	3,4	2,5
2015/2016	5,3	-12,9	16,9	6	12	58	3,5	1,5
2016/2017	3,7	-9,2	17,3	6	16	79	3,3	2,4
2017/2018	4,1	-9,8	16,0	9	13	75	3,5	1,6

Sezon	T _{śr} [°C]	T _{min} dobowy [°C]	T _{max} dobowy [°C]	Liczba dni			V _{śr} [m/s]	V godzin <0,5m/s [%]
				Bardzo mroźne (T _{min} <-10°C)	Mroźne (T _{max} <0°C)	Przymrozkowe (T _{min} <0°C)		
2018/2019	5,3	-6,4	17,1	0	6	64	3,6	2,4
2019/2020	6,2	-2,4	17,5	0	0	58	3,6	1,8
2020/2021	4,2	-9,3	19,1	8	18	75	3,6	1,8
2021/2022	4,8	-8,6	18,2	3	7	78	3,9	1,8
2022/2023	5,4	-6,7	16,7	1	8	63	3,3	2,4
2023/2024	6,4	-10,9	19,6	5	13	47	3,7	1,5
Toruń								
2013/2014	3,9	-15,5	15,6	8	17	80	2,6	5,5
2014/2015	3,9	-9,0	16,8	5	18	77	2,4	6,5
2015/2016	3,8	-13,3	14,5	8	18	72	2,5	3,3
2016/2017	2,6	-12,0	15,3	5	24	89	2,3	4,6
2017/2018	2,7	-12,5	14,4	12	28	87	2,4	3,5
2018/2019	4,2	-7,0	15,9	0	16	78	2,9	1,1
2019/2020	5,2	-1,7	17,0	0	0	64	3,0	1,1
2020/2021	3,1	-16,0	17,4	11	20	87	3,0	1,1
2021/2022	3,7	-10,2	15,8	4	15	89	2,9	1,2
2022/2023	4,1	-6,8	15,3	2	16	79	2,6	1,9
2023/2024	4,8	-12,7	20,3	4	19	63	2,9	1,6

Prędkość wiatru decyduje o tempie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Sezonową zmienność prędkości wiatru (średnie miesięczne, maksymalna prędkość oraz ilość godzin z ciszą atmosferyczną) przedstawiono na ryc. 3.4 i 3.5. Średnia prędkość wiatru w badanym okresie (2013-2023) wynosiła we Wrocławiu 3,1 m/s oraz w Toruniu 2,5 m/s i według klasyfikacji Parczewskiego (Kozłowska-Szczęśna i in. 1997), wiatry te zaliczyć należy do grupy wiatrów słabych. Średnie roczne prędkości wiatru w poszczególnych latach badanego 11-lecia nie odbiegały zbytnio od siebie – we Wrocławiu średnioroczna prędkość wiatru wahała się od 2,9 m/s w 2016 r. do 3,3 m/s w 2015 r., zaś w Toruniu od 2,2 m/s w 2016 r. do 2,8 m/s w 2019 r.



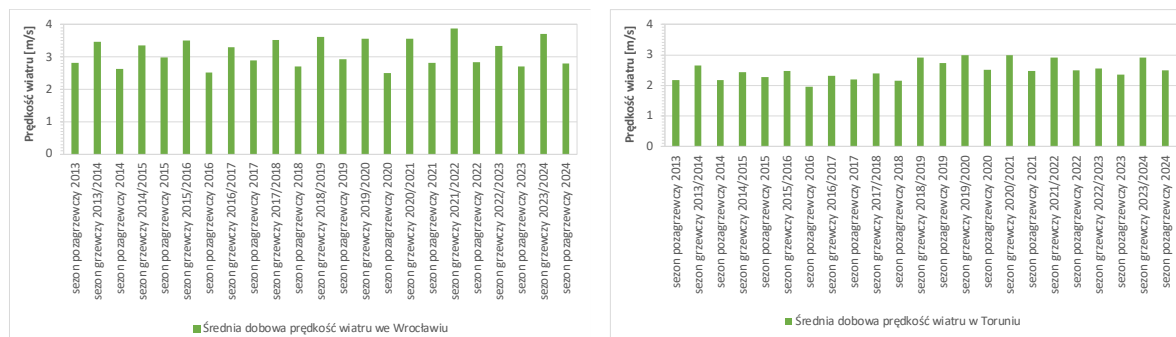
Ryc. 3.4 Przebieg prędkości wiatru we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).



Ryc. 3.5 Przebieg prędkości wiatru w Toruniu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

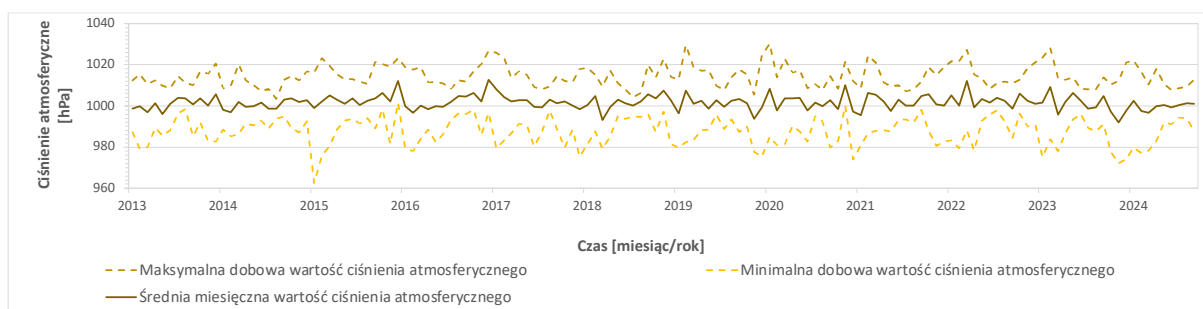
Charakterystycznym parametrem wiatru jest częstość występowania cisz atmosferycznych, które mogą powodować stagnację powietrza i kumulację zawartych w nim zanieczyszczeń. We Wrocławiu najwięcej godzin z ciszą (3,5%) odnotowano w 2016 r., zaś w Toruniu (8,1%) w 2013 r. Natomiast najwięcej godzin z ciszą atmosferyczną w okresie grzewczym wystąpiło w sezonie 2013/2014 (3,6%), zaś w Toruniu w sezonie 2014/2015 (6,5%) (Tabela 3.1).

Średnie prędkości wiatru w sezonie grzewczym również nie odznaczały się wysokimi wartościami (ryc. 3.6) i według klasyfikacji Parczewskiego można je zaliczyć do grupy wiatrów słabych. We Wrocławiu najwyższą średnią wartość odnotowano w sezonie 2021/2022 (3,9 m/s), zaś najniższą w sezonie 2016/2017 i 2022/2023 (3,3 m/s). W Toruniu najwyższą średnią wartość odnotowano w sezonie 2019/2020 i 2020/2021 (3,0 m/s), zaś najniższą w sezonie 2016/2017 (2,3 m/s).

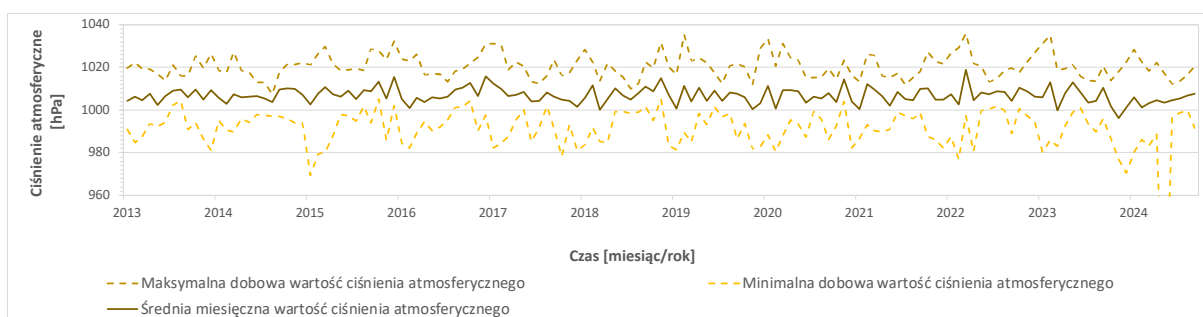


Ryc. 3.6 Rozkład średniej prędkości wiatru dla Wrocławia (po lewej) i Torunia (po prawej) z podziałem na sezony (grzewczy i pozagrzewczy) w latach 2013–2024 (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

Sezonową zmienność wartości ciśnienia atmosferycznego (średnie miesięczne oraz maksymalna i minimalną wartość) przedstawiono na ryc. 3.7 i 3.8. Średnie roczne ciśnienie atmosferyczne we Wrocławiu z wielolecia 2013-2023 wyniosło 1002 hPa. Zakres wahań jego wartości był mały, nie przekraczał 4 hPa i zawierał się w przedziale od 1000,6 hPa w 2014 r. i 2023 r. do 1003,4 hPa w roku 2015. W Toruniu średnia z 11-lecia wyniosła 1007 hPa, a zakres wahań jego wartości również był mały i nie przekraczał 3 hPa – zawierał się w przedziale od 1005,5 hPa w 2023 r. do 1008,5 hPa w roku 2015.

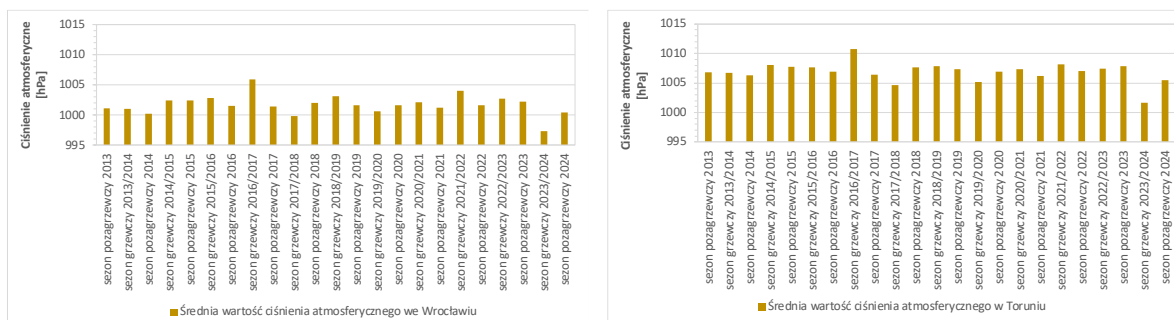


Ryc. 3.7 Przebieg wartości ciśnienia atmosferycznego we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).



Ryc. 3.8 Przebieg wartości ciśnienia atmosferycznego w Toruniu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

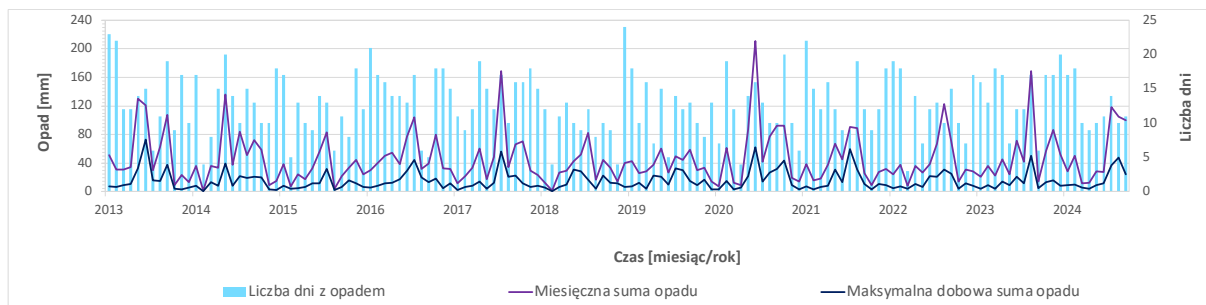
Obszary wysokiego i niskiego ciśnienia wpływają na koncentrację zanieczyszczeń – wyż baryczny to większa stabilność atmosfery, (w zimie często pogoda mroźna), a w efekcie większe zanieczyszczenie jej dolnych warstw, przy niżu natomiast występuje większa turbulencja i lepsze rozproszenie zanieczyszczeń oraz często lepsze oczyszczenie powietrza przez opady.



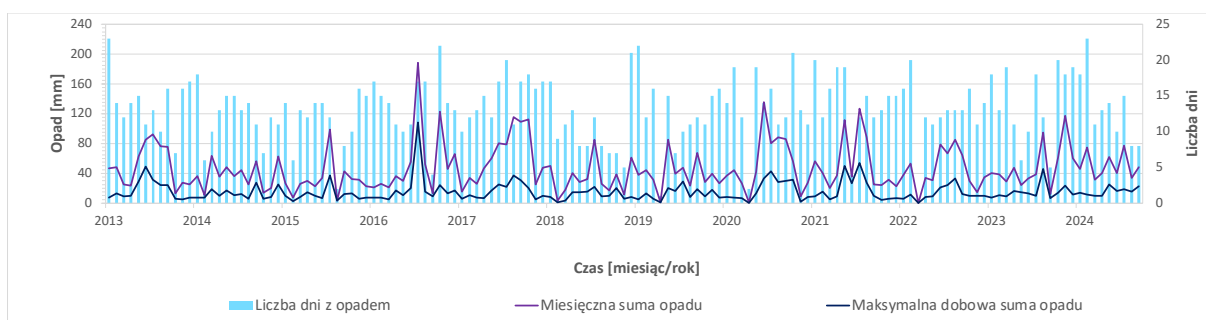
Ryc. 3.9 Rozkład wartości ciśnienia atmosferycznego dla Wrocławia (po lewej) i Torunia (po prawej) z podziałem na sezony (grzewczy i pozagrzewczy) w latach 2013–2024 (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

Sezonową zmienność opadów (liczba dni z opadem, średnie miesięczne oraz maksymalna dobową sumą opadów) przedstawiono na ryc. 3.10 i 3.11. W wieloleciu 2013–2023 opady atmosferyczne we Wrocławiu występowały średnio w ciągu 154 dni w roku, przy czym największa liczba dni wystąpiła w roku 2016 (174 dni), a najmniejsza w roku 2018 (126 dni). W Toruniu opady występowały średnio 157 dni w roku – największa liczba dni wystąpiła w roku 2017 (178 dni), a najmniejsza w roku 2018 (126 dni). Dużą zmiennością charakteryzowały się także odnotowane sumy opadów – we Wrocławiu od 388,9 mm w 2015 r. do 726,5 mm w 2020 r., zaś w Toruniu od 379,4 mm w 2015 r. do 751,1 mm w 2017 r. W badanym 11-leciu średnia suma opadów we Wrocławiu wyniosła 548 mm i była

przekroczona w latach: 2013-2014, 2016-2017, 2020, 2023 zaś w Toruniu – 557 mm, a jej przekroczenie odnotowano w latach: 2013, 2016-2017, 2020-2021, 2023.

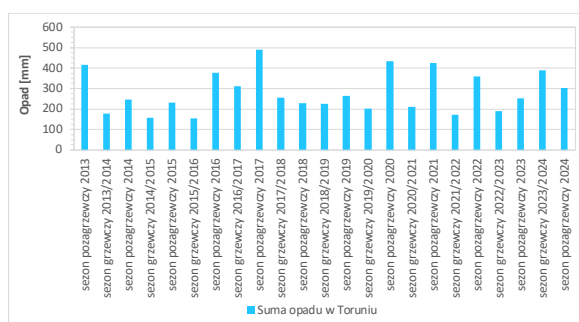
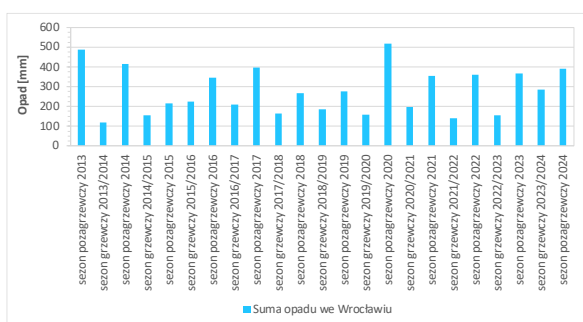


Ryc. 3.10 Przebieg sumy opadów we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).



Ryc. 3.11 Przebieg sumy opadów w Toruniu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

Wyższe sumy opadów w ciągu roku występują w sezonie pozagrzewczym, mniejsze w sezonie grzewczym (ryc. 3.12). Opady atmosferyczne wpływają na przemieszczanie się i zasięg zanieczyszczeń – powodują zmniejszenie stężenia zanieczyszczeń powietrza, w wyniku rozpuszczania ich w wodzie, absorpcji zanieczyszczeń na powierzchni kropel i mechanicznego działania opadów. W sezonie grzewczym 2023/2024 zarówno we Wrocławiu jak i w Toruniu odnotowano najwięcej dni z opadami jak i z największą sumą opadów – we Wrocławiu 99 dni z sumą opadów 286,5 mm, zaś w Toruniu 109 dni z sumą opadów 390,1 mm.



Ryc. 3.12 Rozkład sumy opadów dla Wrocławia (po lewej) i Torunia (po prawej) z podziałem na sezony (grzewczy i pozagrzewczy) w latach 2013–2024 (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

4. Zmienność stężenia pyłu zawieszonego w okresie od I 2013 do IX 2024

Jednym z najważniejszych z punktu widzenia zarówno wpływu na zdrowie ludzi, jak i skutków środowiskowych, jest pył zawieszony (PM). Pył zawieszony to drobne cząsteczki swobodnie unoszące się w powietrzu (stanowiące część tzw. aerozolu atmosferycznego). Może być pochodzenia naturalnego (np. pył mineralny, aerozol morski, popioły wulkaniczne itp.) lub stanowić produkt działalności człowieka. Do tej grupy należą np. drobne cząsteczki sadzy powstające w procesie spalania węgla lub innych paliw, czy też cząsteczki pyłu wtórnego, powstające w wyniku przekształceń innych zanieczyszczeń obecnych w powietrzu, np. tlenków siarki i azotu. W analizach jakości powietrza wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje pyłu zawieszonego: PM₁₀, czyli pył o średnicach cząstek poniżej 10 µm i PM_{2,5}, czyli pył bardzo drobny o średnicach cząstek poniżej 2,5 µm.

Do głównych skutków zdrowotnych ekspozycji na PM należy zaliczyć choroby układu sercowo-naczyniowego, oddechowego, choroby alergiczne, astmę, nowotwory płuc, gardła i krtani oraz zwiększone ryzyko zgonów zwłaszcza w grupie osób wrażliwych (Jędrak i in. 2017). Ekspozycja na wysokie stężenia pyłu może prowadzić do zaburzeń w rozwoju płodu, a także niedorozwoju funkcji kognitywnych. Na powierzchni cząsteczek pyłu osadzają się inne substancje, takie jak metale ciężkie czy węglowodory (np. benzo(a)piren), które dodatkowo wpływają na toksyczność wdychanych cząstek.

4.1. Zmienność stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w wieloleciu 2013-2024

W woj. dolnośląskim i w woj. kujawsko-pomorskim w ostatnich latach występowały przekroczenia dopuszczalnych norm jakości powietrza - w tym dla pyłu zawieszonego PM₁₀. PM₁₀ są emitowane głównie w wyniku spalania paliw stałych celem ogrzewania mieszkań. Ważnymi źródłami są również działalność przemysłowa, rolnictwo i transport drogowy, o czym wspomniano w rozdziale *Struktura źródeł ciepła i emisji*.

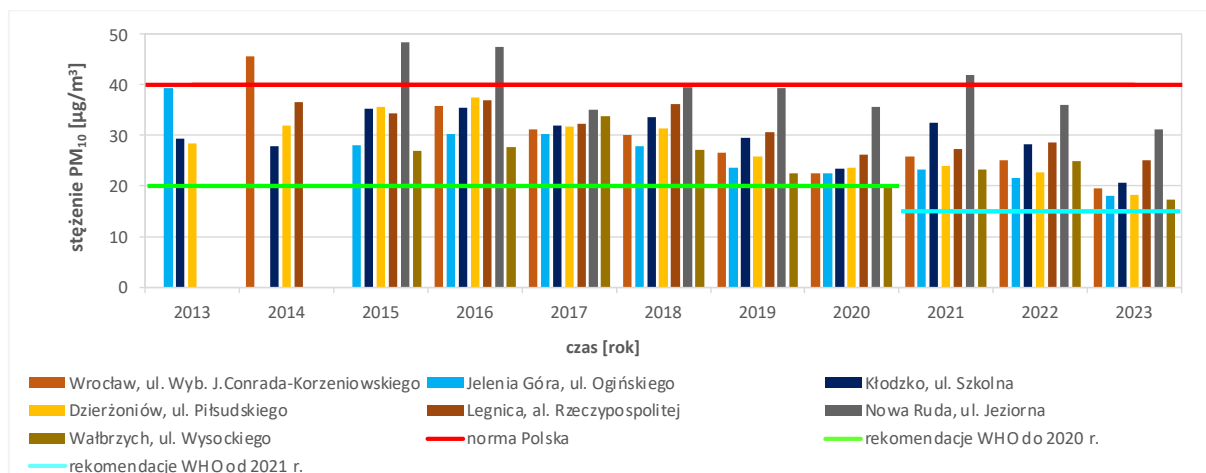
Od roku 2015 roczny poziom dopuszczalny pyłu PM₁₀ (40 µg/m³)⁶ na omawianych stacjach w woj. kujawsko-pomorskim nie był przekraczany, zaś w woj. dolnośląskim przekroczenia wystąpiły tylko w Nowej Rudzie – spowodowane jest to głównie przez usytuowanie miasta (w kotlinie górskiej i w Obniżeniu Noworudzkim), co utrudnia wentylowanie oraz sprzyja występowaniu dolinnych inwersji temperatury, sprzyjających koncentracji zanieczyszczeń (Rys. 4.1.1 i Rys. 4.1.2).

Roczny poziom pyłu PM₁₀ rekomendowany przez Światową Organizację Zdrowia (WHO)⁷ (tj. 20 µg/m³ do roku 2020 i 15 µg/m³ od 2021 r.), poniżej którego ryzyko wystąpienia

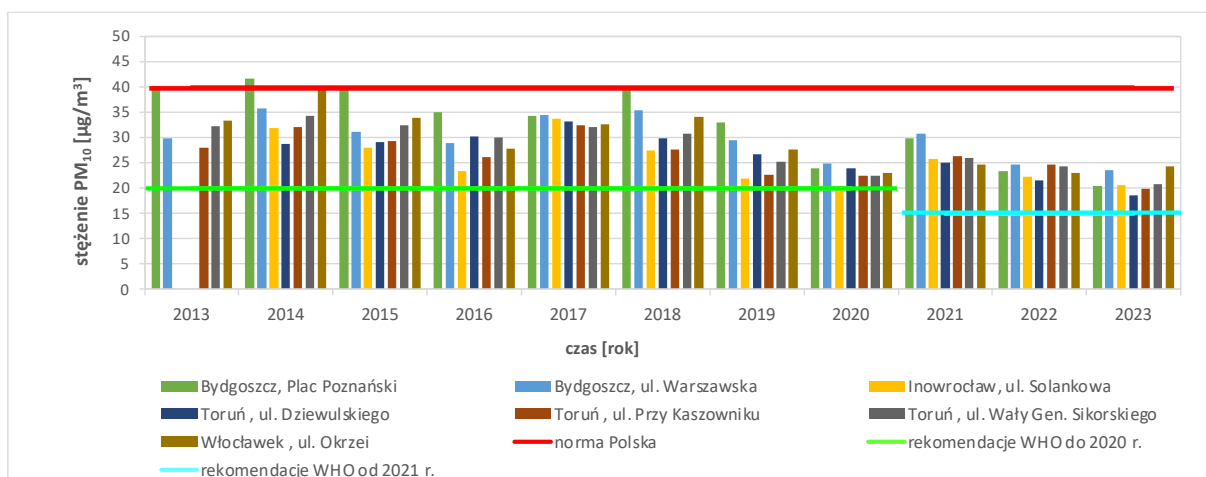
⁶ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (t.j. Dz.U. 2021 poz. 845).

⁷ Światowa Organizacja Zdrowia. 2021. Globalne wytyczne WHO dotyczące jakości powietrza: cząstki stałe (PM_{2,5} i PM₁₀), ozon, dwutlenek azotu, dwutlenek siarki i tlenek węgla. Światowa Organizacja Zdrowia. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. Licencja: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

negatywnych skutków dla zdrowia ludzi jest minimalne, był przekraczany rokrocznie we wszystkich omawianych stacjach pomiarowych w obu województwach w badanym okresie.



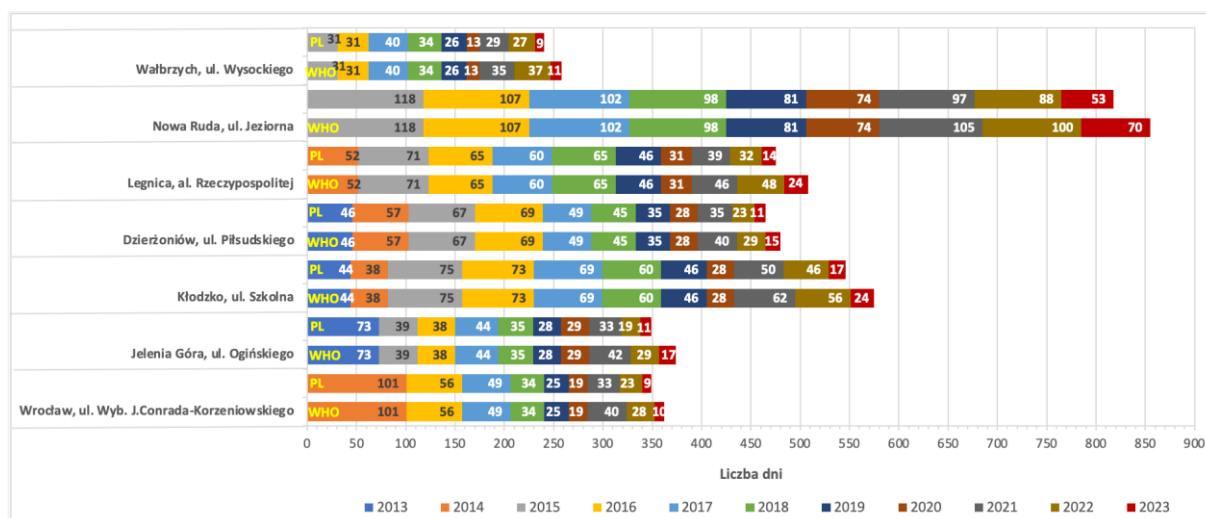
Rys. 4.1.1 Średnioroczne stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀ w latach 2013-2023 w wybranych stacjach PM₅ w woj. dolnośląskim (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).



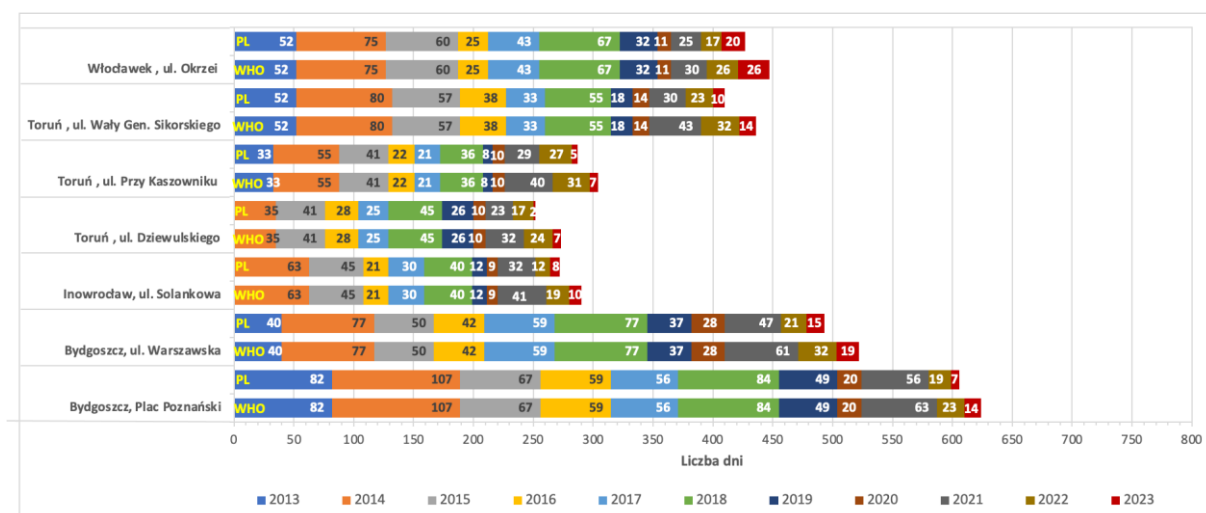
Rys. 4.1.2 Średnioroczne stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀ w latach 2013-2023 w wybranych stacjach PM₅ w woj. kujawsko-pomorskim (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

Wielokrotne przekroczenie poziomu dopuszczalnego w latach 2013-2023 odnotowano również w przypadku stężeń 24-godzinnych (więcej niż 35 dni ze stężeniem średnim dobowym wyższym od 50 µg/m³) (Rys. 4.1.3 i Rys. 4.1.4). W roku 2023 wysokie stężenia dobowe, przekraczające dopuszczalne 35 dni ze złą jakością powietrza, nadal utrzymywały się na obszarze Dolnego Śląska (w Nowej Rudzie), w woj. kujawsko-pomorskim liczba ta drugi rok z rzędu nie została przekroczona. Stanowi to znaczną poprawę w stosunku do początku badanego okresu, gdy tylko w 1 na 7 stanowisk pomiarowych w woj. dolnośląskim (Wałbrzych) i w 2 na 7 stanowisk pomiarowych w woj. kujawsko-pomorskim (Toruń) liczba 35 dni ze stężeniem średnim dobowym wyższym od 50 µg/m³ nie została przekroczona.

Na omawianych stacjach pomiarowych nastąpiło również przekroczenie dopuszczalnego średniego dobowego stężenia PM₁₀ rekomendowanego przez WHO (50 µg/m³ do 2020 r., 45 µg/m³ od 2021 r.) ze względu na zagrożenie zdrowia człowieka.



Rys. 4.1.3. Liczba dni z przekroczeniem normy WHO dla pyłu PM₁₀ (50 µg/m³ do 2020 r., 45 µg/m³ od 2021 r.) oraz polskiej normy PL (50 µg/m³) w wieloleciu 2013-2023 w woj. dolnośląskim (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).



Rys. 4.1.4. Liczba dni z przekroczeniem normy WHO dla pyłu PM₁₀ (50 µg/m³ do 2020 r., 45 µg/m³ od 2021 r.) oraz polskiej normy PL (50 µg/m³) w wieloleciu 2013-2022 w woj. kujawsko-pomorskim (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

Najwyższą liczbę dni z przekroczeniem polskiej normy odnotowano w 2015 r. w Nowej Rudzie w woj. dolnośląskim (118 dni) oraz w 2014 r. w Bydgoszczy przy pl. Poznańskim w woj. kujawsko-pomorskim (107 dni) (Tabela 4.1.1). Minimalną liczbę dni z przekroczeniem polskiej normy w obu województwach na prawie wszystkich analizowanych stacjach pomiarowych odnotowano w 2023 r. Mniej dni z przekroczeniem w stosunku do pozostałych lat analizowanego wielolecia, odnotowano również w latach 2019-2020.

Może to być efektem zarówno wyższych temperatur powietrza wpływających na mniejsze zużycie paliw w sezonie grzewczym, jak i wymianą źródeł ciepła przez mieszkańców w związku z wprowadzeniem ograniczeń wynikających ze spalania złej jakości paliw (uchwała antysmogowa, ustawa o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw).

Pomimo zawieszenia norm jakościowych dla paliw stałych w 2022 r.⁸ i dopuszczenie węgla brunatnego do spalania w gospodarstwach domowych, w 2022 r. liczba dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego PM₁₀ w obu województwach była na ogół niższa niż w roku poprzednim. W badanym okresie najniższą liczbę dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego dla PM₁₀ odnotowano w woj. dolnośląskim w Wałbrzychu w 2023 r. (9 dni) i w woj. kujawsko-pomorskim w Toruniu przy ul. Dziewulskiego w 2023 r. (2 dni).

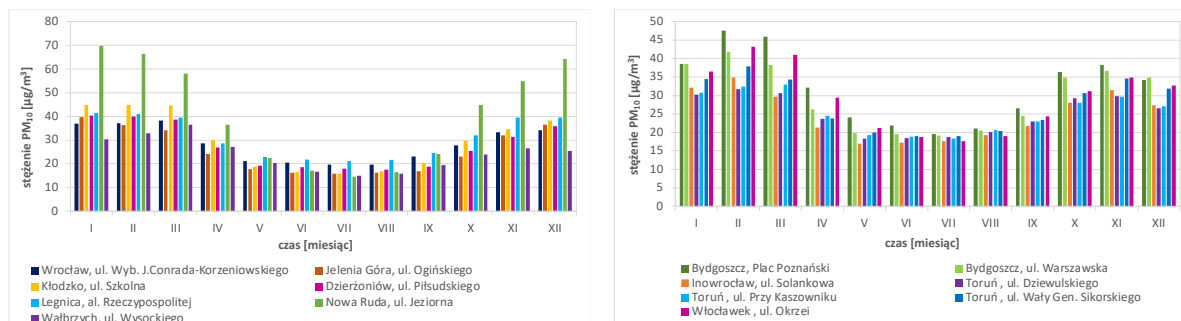
Tabela 4.1.1 Liczba dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego pyłu PM₁₀ (tj. 50 µg/m³) w wieloleciu 2013-2022 – kolorem czerwonym oznaczono najwyższą liczbę dni z przekroczeniem w województwie, zaś kolorem żółtym najniższą (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

Stacja pomiarowa	Liczba dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego pyłu PM ₁₀ (tj. 50 µg/m ³)					
	Średnia		Maksymalna		Minimalna	
	Liczba dni	Czas wystąpienia	Liczba dni	Czas wystąpienia	Liczba dni	Czas wystąpienia
Województwo dolnośląskie						
Wrocław, ul. Wyb. J. Conrada-Korzeniowskiego	39	2014-2023	101	2014 r.	9	2023 r.
Jelenia Góra, ul. Ogińskiego	35	2013-2023	73	2013 r.	11	2023 r.
Kłodzko, ul. Szkolna	50	2013-2023	75	2015 r.	17	2023 r.
Dzierżonów, ul. Piłsudskiego	42	2013-2023	69	2016 r.	11	2023 r.
Legnica, al. Rzeczypospolitej	48	2014-2023	71	2015 r.	14	2023 r.
Nowa Ruda, ul. Jeziorna	91	2015-2023	118	2015 r.	53	2023 r.
Wałbrzych, ul. Wysockiego	27	2015-2023	40	2017 r.	13	2023 r.
Województwo kujawsko-pomorskie						
Bydgoszcz, Plac Poznański	55	2013-2023	107	2014 r.	7	2023 r.
Bydgoszcz, ul. Warszawska	45	2013-2023	77	2014 r. 2018 r.	15	2023 r.
Inowrocław, ul. Solankowa	27	2014-2023	63	2014 r.	8	2023 r.
Toruń, ul. Dziewulskiego	25	2014-2023	45	2018 r.	2	2023 r.
Toruń, ul. Przy Kaszowniku	26	2014-2023	55	2014 r.	5	2023 r.
Toruń, ul. Wały Gen. Sikorskiego	37	2013-2023	80	2014 r.	10	2023 r.
Włocławek, ul. Okrzei	39	2013-2023	75	2014 r.	11	2020 r.

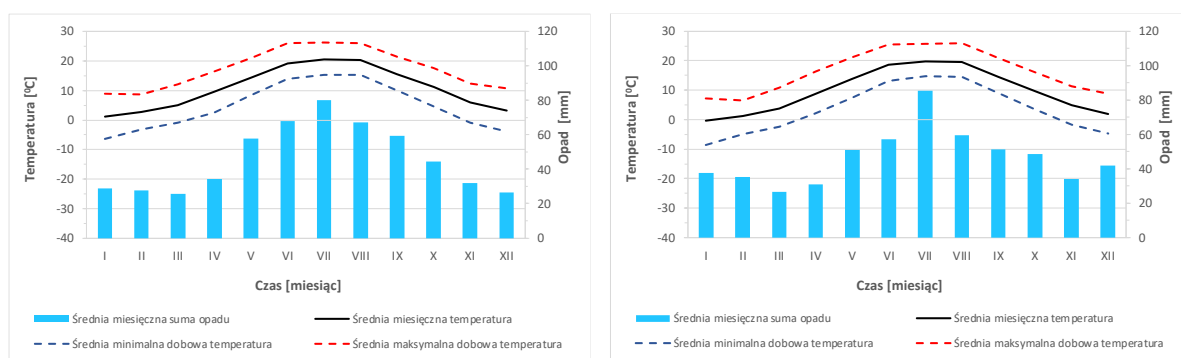
W przypadku pyłu PM₁₀ zauważalny jest charakterystyczny roczny rozkład stężeń tego zanieczyszczenia (Rys. 4.1.5) – ich wzrost w miesiącach zimowych, gdy następuje wzrost zużycia paliw stałych na cele grzewcze oraz spadek w okresie letnim. Występowanie podwyższonych stężeń zależne jest także od warunków meteorologicznych. W przypadku pogody bezwietrznej (lub ze słabym wiatrem), z niską temperaturą powietrza oraz brakiem opadu stężenia zanieczyszczeń wzrastają (Rys. 4.1.6 i 4.1.7). Najwyższe średniomiesięczne

⁸ Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska w sprawie odstąpienia od stosowania wymagań określonych w przepisach rozporządzenia w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych z dnia 28 czerwca 2022 r. (Dz.U. 2022 poz. 1351), 25 sierpnia 2022 r. (Dz.U. 2022 poz. 1786), 24 października 2022 r. (Dz.U. 2022 poz. 2186).

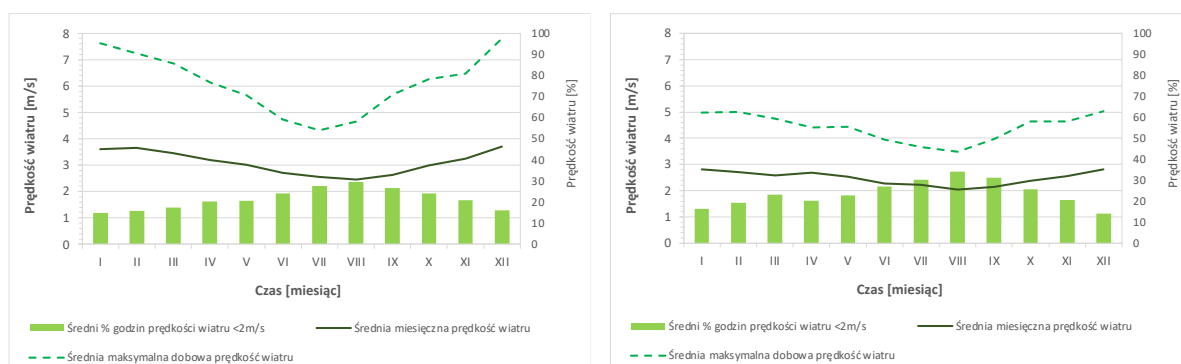
stężenia PM_{10} (zwłaszcza w sezonie zimowym) odnotowywane są w Nowej Rudzie (woj. dolnośląskie) i w Bydgoszczy przy pl. Poznańskim (woj. kujawsko-pomorskie).



Rys. 4.1.5 Stężenia średniomiesięczne pyłu zawieszonego PM_{10} w wieloleciu 2013-2023 w woj. dolnośląskim (po lewej stronie) i w woj. kujawsko-pomorskim (po prawej stronie) (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).



Rys. 4.1.6 Średnie temperatury powietrza oraz opady atmosferyczne we Wrocławiu (po lewej stronie) i w Toruniu (po prawej stronie) w wieloleciu 2013-2023 (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

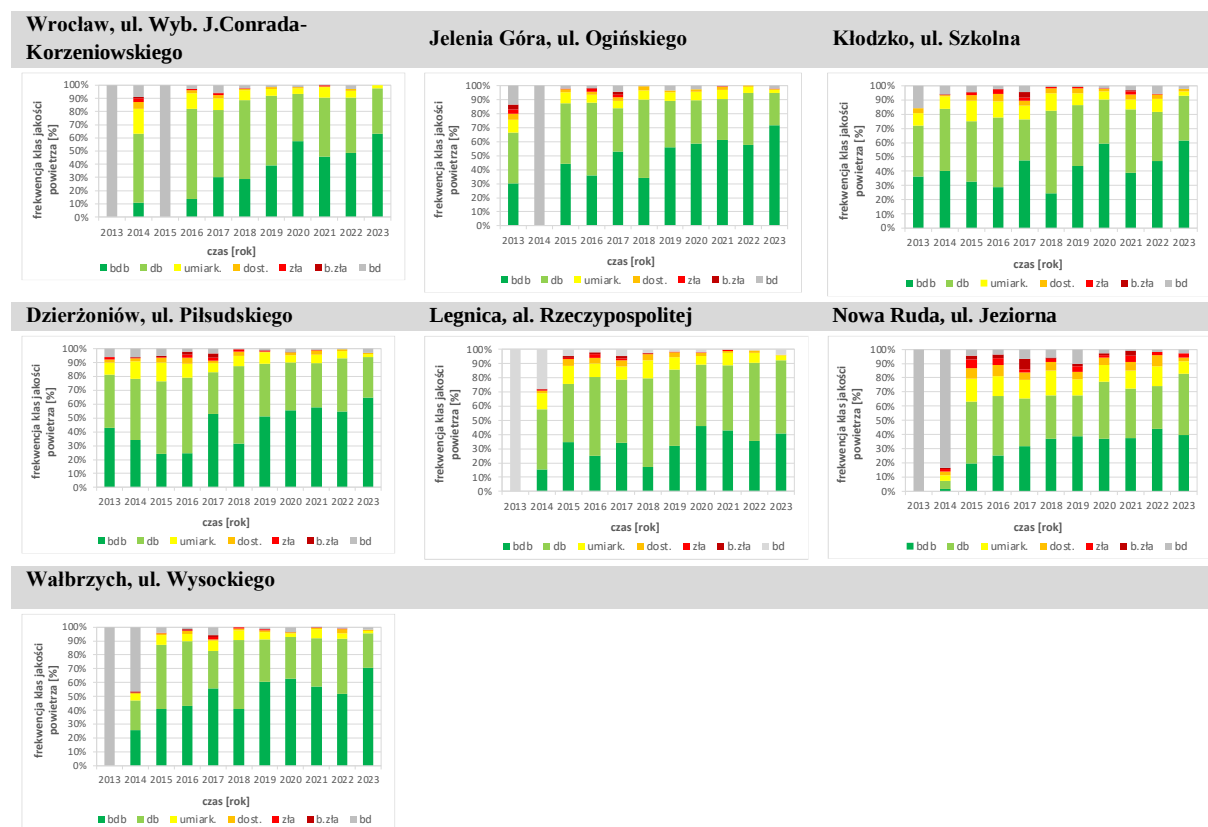


Rys. 4.1.7 Średnie prędkości wiatru we Wrocławiu (po lewej stronie) i w Toruniu (po prawej stronie) w wieloleciu 2013-2023 (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

Przez większość roku w badanym okresie stężenie pyłu zawieszonego PM_{10} mieściło się w klasie bardzo dobrej oraz dobrej wg Polskiego Indeksu Jakości Powietrza (rys. 4.1.8

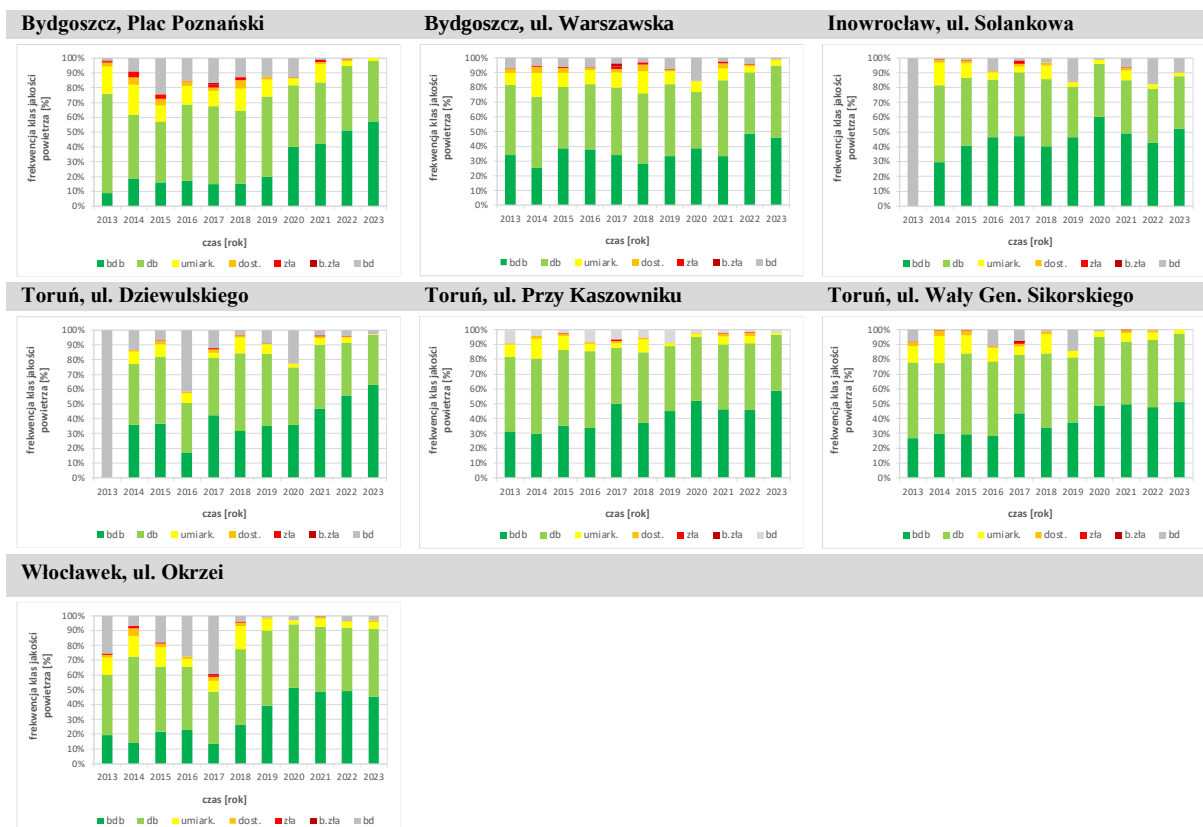
i rys. 4.1.9) – do opracowania danych przyjęto obowiązujące od 2019 r.⁹ bardziej restrykcyjne zakresy stężeń dla wyznaczania klas jakości powietrza.

W przypadku przebiegów dobowych można zauważyć dwa okresy charakteryzujące się wyższymi stężeniami niż podczas całej reszty dnia (rys. 4.1.10). Pierwszym z nich są godziny około poranne, drugim godziny około wieczorne. Na stacjach komunikacyjnych główny wpływ na wzrost stężenia ma szczyt komunikacyjny związany z większym spalaniem paliw płynnych podczas transportu. W przypadku stacji tła miejskiego na wzrost stężenia zanieczyszczeń wpływa zwiększone zapotrzebowanie na ciepło, a tym samym wzrost zużycia paliw stałych w urządzeniach grzewczych. Dotyczy to zwłaszcza szczytu wieczornego, który jest wyraźnie wyższy od porannego. Dzieje się tak m.in. ze względu na dłuższy czas naszej aktywności (i zapotrzebowania na ciepło) podczas popołudniowego i wieczornego przebywania w domu. Różnice te są dość wyraźne w przypadku kilku miejscowości: Nowej Rudy (woj. dolnośląskie) i Inowrocławia (woj. kujawsko-pomorskie).

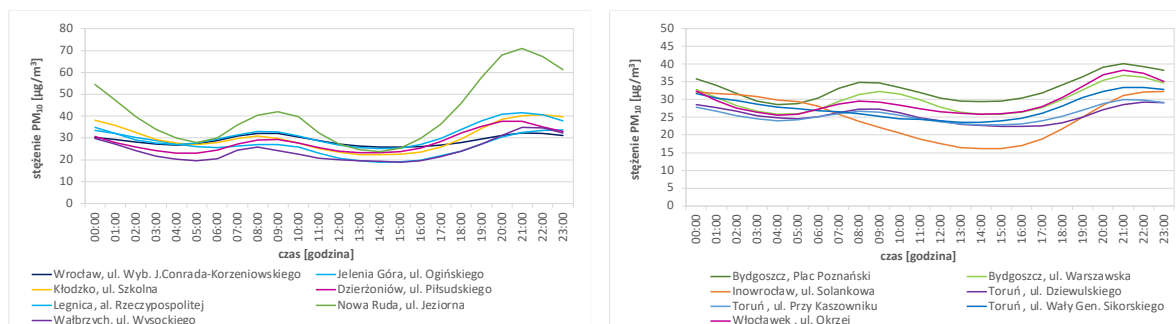


Rys. 4.1.8 Frekwencja występowania dni według najgorszej odnotowanej klasy jakości powietrza zgodnie z Polskim Indekssem Jakości Powietrza dla pyłu PM₁₀ w woj. dolnośląskim wieloletnio 2013-2023 (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

⁹ Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 8 października 2019 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. 2019 poz. 1931).



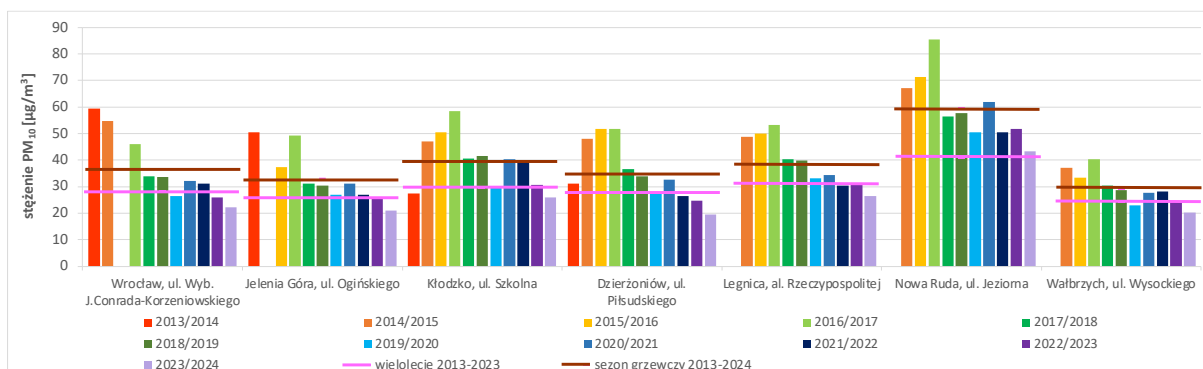
Rys. 4.1.9 Frekwencja występowania dni według najgorszej odnotowanej klasy jakości powietrza zgodnie z Polskim Indekssem Jakości Powietrza dla pyłu PM₁₀ w woj. kujawsko-pomorskim w wieloleciu 2013-2023 (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).



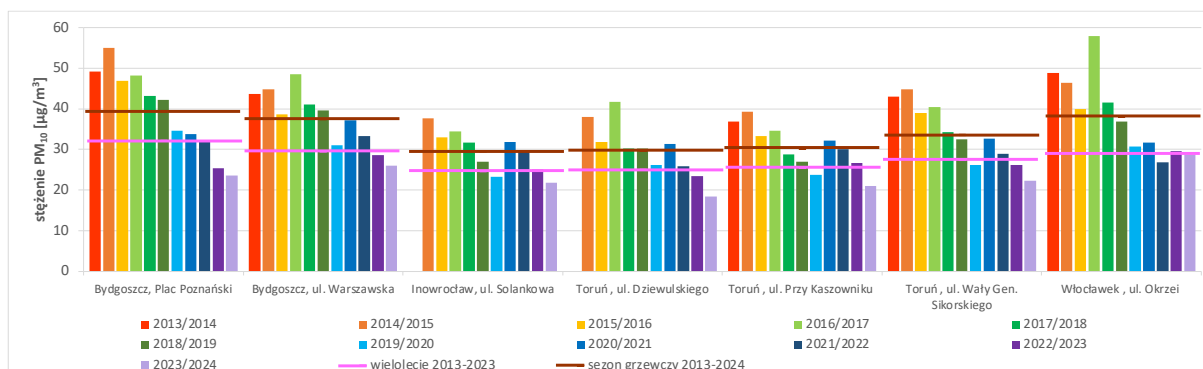
Rys. 4.1.10 Przebiegi dobowe pyłu zawieszonego PM₁₀ w wieloleciu 2013-2023 w woj. dolnośląskim (po lewej stronie) i w woj. kujawsko-pomorskim (po prawej stronie) (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

Podczas analizy uwagę zwraca wyraźna tendencja spadkowa stężeń PM₁₀ w powietrzu, odnotowana we wszystkich stacjach pomiarowych analizowanego obszaru w ostatnim 10-leciu (rys. 4.1.11 i rys. 4.1.12). Oprócz uwarunkowań pogodowych (coraz łagodniejsze zimy) może być to m.in. efektem wprowadzenia uchwałami antysmogowymi ograniczeń związanych ze stosowaniem złej jakości paliw i przestarzałych urządzeń grzewczych. Największy spadek w ostatnim analizowanym sezonie grzewczym w stosunku do pierwszego analizowanego sezonu tj. 2013/2014 odnotowano w woj. dolnośląskim we Wrocławiu przy ul. Korzeniowskiego (o 62,7%) oraz w woj. kujawsko-pomorskim w Bydgoszczy przy pl. Poznańskim (o 52,1%).

Tendencja wskazująca na stopniową poprawę jakości powietrza w analizowanych województwach widoczna jest również w stopniowym wzroście frekwencji przypadków z bardzo dobrą i dobrą jakością powietrza (wg kryteriów Polskiego Indeksu jakości Powietrza; rys. 4.1.8 i 4.1.9), jak również spadek częstości występowania klas dostatecznej, złej i bardzo złej. (rys. 4.1.13). Podobną prawidłowość obserwujemy również w odniesieniu do liczby dni z przekroczeniami poziomu informowania i poziomu alarmowego dla PM_{10} (tab. 4.1.2, 4.1.3).

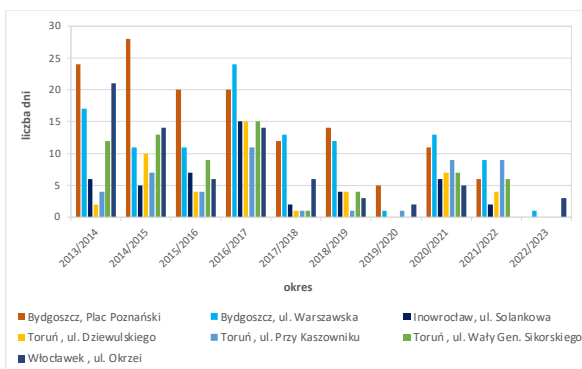
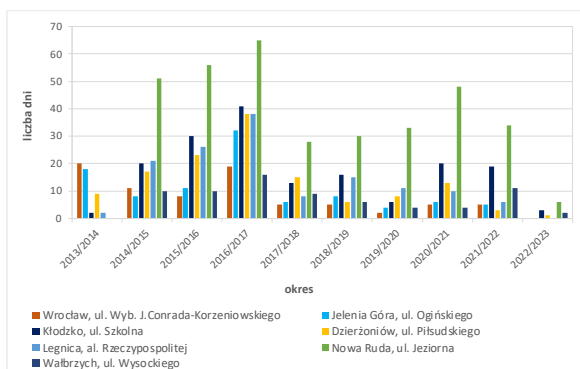


Rys. 4.1.11 Średnie stężenie pyłu zawieszonego PM_{10} w sezonie grzewczym (od października do marca) w wieloletniu 2013-2024 w woj. dolnośląskim źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ.



Rys. 4.1.12 Średnie stężenie pyłu zawieszonego PM_{10} w sezonie grzewczym (od października do marca) w wieloletniu 2013-2024 w woj. kujawsko-pomorskim (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

W obu województwach na uwagę zasługują sezony grzewcze 2016/2017 oraz 2020/2021. Na większości analizowanych stacji pomiarowych charakteryzowały się wyższymi stężeniami pyłu PM_{10} w stosunku do sezonu poprzedniego i następnego. W tym też okresie wystąpiła największa liczba dni z jakością powietrza powyżej klasy umiarkowanej, czyli ze stężeniem PM_{10} powyżej $50 \mu g/m^3$ (rys. 4.1.13), a także odnotowano najwięcej dni z przekroczeniem poziomu informowania ($100 \mu g/m^3$) i poziomu alarmowego ($150 \mu g/m^3$) (tabela 4.1.2 i tabela 4.1.3). Tylko w sezonie 2022/2023 w wybranych stacjach pomiarowych woj. kujawsko-pomorskiego nie odnotowano przekroczenia poziomów alertowych.



Rys. 4.1.13 Liczba dni z jakością powietrza powyżej klasy umiarkowanej w okresie grzewczym (od października do marca) w wieloleciu 2013-2024 w woj. dolnośląskim (po lewej stronie) i w woj. kujawsko-pomorskim (po prawej stronie) (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

Tabela 4.1.2 Liczba dni z przekroczeniem poziomu informowania i poziomu alarmowego PM₁₀ w woj. dolnośląskim w sezonie grzewczym (tj. od października do marca) (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

stacja pomiarowa	Wrocław, ul. Wyb. J. Conrada-Korzeniowskiego		Jelenia Góra, ul. Ogińskiego		Kłodzko, ul. Szkolna		Dzierżonów, ul. Piłsudskiego		Legnica, al. Rzeczypospolitej		Nowa Ruda, ul. Jeziorna		Wałbrzych, ul. Wysockiego	
sezon grzewczy	poziom informowania	poziom alarmowy	poziom informowania	poziom alarmowy	poziom informowania	poziom alarmowy	poziom informowania	poziom alarmowy	poziom informowania	poziom alarmowy	poziom informowania	poziom alarmowy	poziom informowania	poziom alarmowy
2013/2014	10	1	15	7	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0
2014/2015	5	2	1	0	9	1	9	3	8	2	32	6	5	3
2015/2016	6	0	9	0	17	3	14	6	14	9	41	9	4	1
2016/2017	7	2	24	10	30	14	32	14	22	7	47	31	13	6
2017/2018	3	0	3	0	4	0	9	0	4	1	20	4	4	0
2018/2019	1	0	3	0	8	0	3	1	4	0	16	4	4	0
2019/2020	0	0	2	0	3	0	4	1	2	0	19	5	1	0
2020/2021	2	0	2	0	11	2	1	0	4	0	34	10	1	0
2021/2022	1	0	3	0	8	2	0	0	0	0	19	6	3	0
2022/2023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	1	0
2023/2024	2	0	3	0	3	0	1	0	3	0	14	0	4	0

Tabela 4.1.3 Liczba dni z przekroczeniem poziomu informowania i poziomu alarmowego PM₁₀ w woj. kujawsko-pomorskim w sezonie grzewczym (tj. od października do marca) (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

stacja pomiarowa	Bydgoszcz, Plac Poznański		Bydgoszcz, ul. Warszawska		Inowrocław, ul. Solankowa		Toruń, ul. Dzierżonowskiego		Toruń, ul. Przy Kaszowniku		Toruń, ul. Wały Gen. Sikorskiego		Włocławek, ul. Okrzei	
sezon grzewczy	poziom informowania	poziom alarmowy	poziom informowania	poziom alarmowy	poziom informowania	poziom alarmowy	poziom informowania	poziom alarmowy	poziom informowania	poziom alarmowy	poziom informowania	poziom alarmowy	poziom informowania	poziom alarmowy
2013/2014	12	0	3	0	1	0	0	0	0	0	3	0	9	0
2014/2015	19	1	5	0	1	0	3	0	1	0	4	0	6	1
2015/2016	4	0	3	0	2	0	1	0	0	0	3	0	2	0
2016/2017	14	4	19	6	11	1	7	1	6	0	9	2	10	3
2017/2018	12	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
2018/2019	6	1	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2019/2020	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020/2021	6	1	5	1	2	1	2	1	2	0	3	0	2	0
2021/2022	4	0	4	0	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0
2022/2023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023/2024	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

4.2. Zmienność stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5} w wieloleciu 2013-2024

Groźniejszą frakcją pyłu ze względu na zdrowie człowieka jest pył drobny o średnicy mniejszej od 2,5 µm (PM_{2,5}). Tak jak w przypadku PM₁₀, głównym źródłem jego emisji są procesy

spalania poza przemysłem, tj. głównie ogrzewanie w sektorze komunalno-bytowym, o czym wspomniano w rozdziale *Struktura źródeł ciepła i emisji*.

W ostatnich latach w woj. dolnośląskim i kujawsko-pomorskim (rys. 4.2.1) występowały przekroczenia dopuszczalnych norm jakości powietrza dla pyłu zawieszonego $PM_{2.5}$ ¹⁰ wynoszącej:

- $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do roku 2019,
- $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ od roku 2020.

Występowały one przede wszystkim w pierwszym pięcioleciu omawianego okresu, w drugiej jego części, mimo zaostreżenia obowiązujących norm, ich występowanie jest znacznie rzadsze. Ponadto na obszarze województwa dolnośląskiego obserwujemy systematyczny spadek stężenia $PM_{2.5}$, choć trend ten nie jest tak jednoznaczny jak w przypadku stężeń PM_{10} . Podobną sytuację obserwujemy również w województwie kujawsko-pomorskim, gdzie w omawianym 10-leciu średnioroczne stężenia $PM_{2.5}$ spadły w poziomie sięgającego $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, do poziomu mieszczącego się w zakresie $10 - 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (z wyjątkiem stacji we Włocławku, gdzie wielkość spadku była znacznie mniejsza). Można przypuszczać, że trend zmian stężeń $PM_{2.5}$ jest silnie obciążony wpływem warunków meteorologicznych panujących przede wszystkim w półroczu chłodnym. Czynnikiem który również można brać pod uwagę są zachowania mieszkańców. Wskazywać na to może np. wyższe stężenie $PM_{2.5}$ obserwowane z lat 2021 i 2022, w których na wielkość emisji i imisji wpływały lockdown i kryzys na rynku paliw spowodowany wojna w Ukrainie.

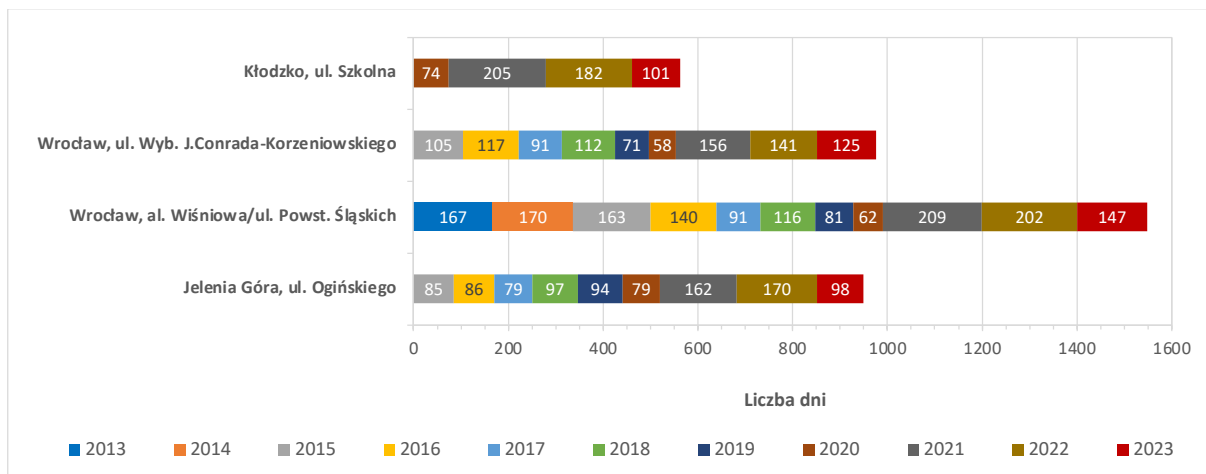


Rys. 4.2.1 Średnioroczne stężenie pyłu zawieszonego $PM_{2.5}$ w latach 2013-2023 w wybranych stacjach PMŚ w woj. dolnośląskim (po lewej stronie) i w woj. kujawsko-pomorskim (po prawej stronie) (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

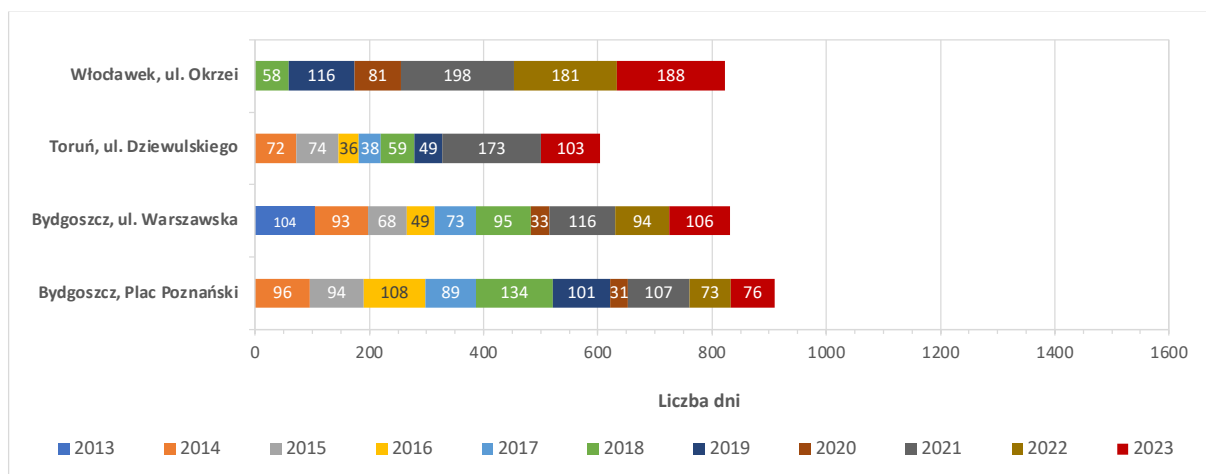
Czynnikiem który również należy wziąć pod uwagę analizując zmienność stężeń $PM_{2.5}$ na obszarze województw dolnośląskiego i kujawsko-pomorskiego jest zakaz użytkowania paliw złej jakości wprowadzony w uchwałach antysmogowych i zakaz sprzedaży detalicznej najgorszych jakościowo paliw (od 2018 r. mułów węglowych, flotokoncentratów i ich mieszanek, zaś od 2020 r. węgla brunatnego i mułów węglowych) wynikającym z zapisów

¹⁰ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (t.j. Dz.U. 2021 poz. 845).

Ustawy o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw¹¹. Cezura ta zaznacza się dość wyraźnie w woj. kujawsko-pomorskim, mniej widoczna jest na Dolnym Śląsku.



Rys. 4.2.2 Liczba dni z przekroczeniem normy WHO dla pyłu PM_{2,5} (25 µg/m³ do 2020 r., 15 µg/m³ od 2021 r.) w wieloleciu 2013-2023 w woj. dolnośląskim (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).



Rys. 4.2.3 Liczba dni z przekroczeniem normy WHO dla pyłu PM_{2,5} (25 µg/m³ do 2020 r., 15 µg/m³ od 2021 r.) w wieloleciu 2013-2023 w woj. kujawsko-pomorskim (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

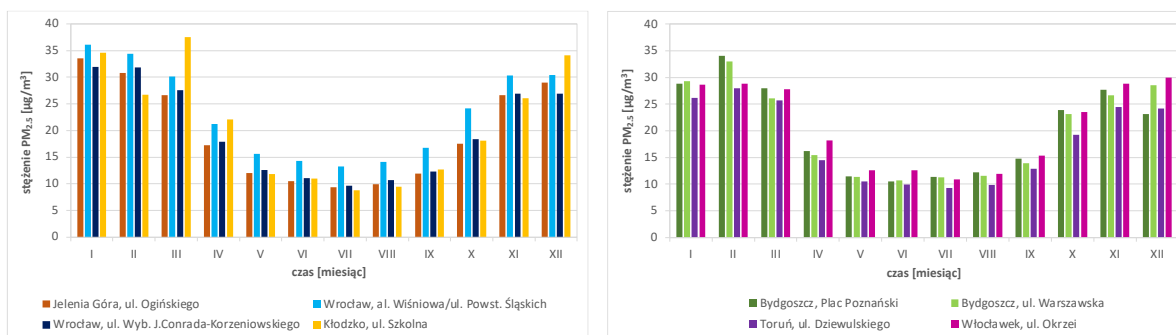
Niestety, pozytywny obraz warunków aerosanitarnych, który obserwujemy porównując stężenia z normami musi zostać zweryfikowany, jeśli porównamy roczny poziom pyłu PM_{2,5} rekomendowany przez Światową Organizację Zdrowia (WHO)¹² (tj. 10 µg/m³ do roku 2020 i 5 µg/m³ od 2021 r.), poniżej którego ryzyko wystąpienia negatywnych skutków dla zdrowia ludzi jest minimalne. W omawianym okresie został on wielokrotnie przekroczony we wszystkich omawianych stacjach pomiarowych w obu województwach w ciągu ostatnich lat (rys. 4.2.1). Zaostrzenie norm w 2021 r. spowodowało znaczny wzrost liczby dni z

¹¹ Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw (Dz.U. 2006 nr 169 poz. 1200 z późniejszymi zmianami)

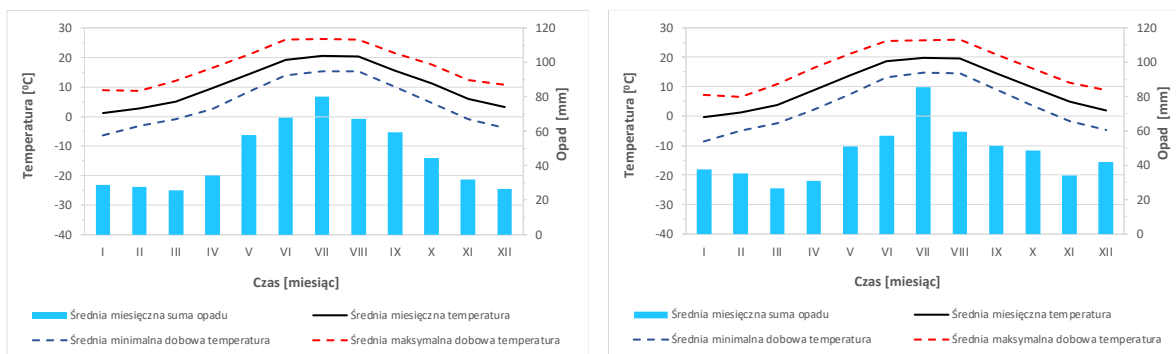
¹² Światowa Organizacja Zdrowia. 2021. Globalne wytyczne WHO dotyczące jakości powietrza: cząstki stałe (PM_{2,5} i PM₁₀), ozon, dwutlenek azotu, dwutlenek siarki i tlenek węgla. Światowa Organizacja Zdrowia. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> . Licencja: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

przekroczeniami w stosunku do lat poprzednich (rys. 4.2.2 i rys. 4.2.3). Największa liczba dni z przekroczeniem normy WHO odnotowana została w 2021 r. na stacjach komunikacyjnych: 209 dni we Wrocławiu przy al. Wiśniowej (woj. dolnośląskie) oraz 198 dni we Włocławku przy ul. Okrzei.

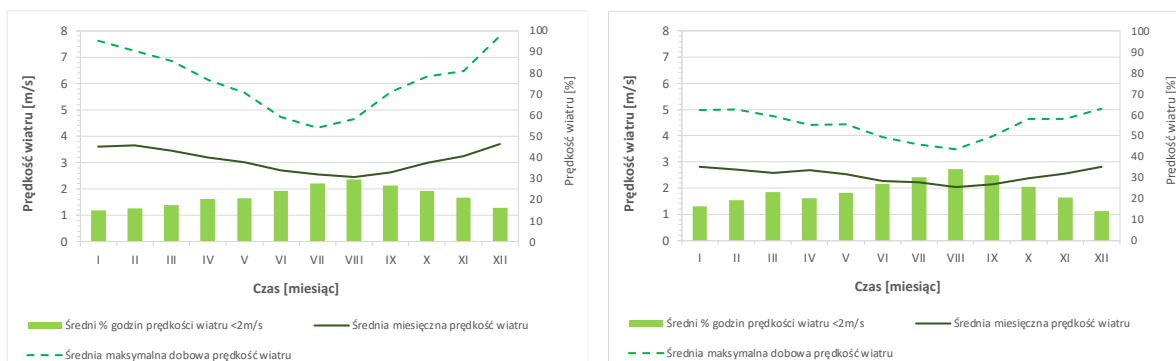
W przypadku pyłu $PM_{2,5}$ (tak jak i PM_{10}) zauważalny jest charakterystyczny roczny rozkład stężeń zanieczyszczeń (rys. 4.2.4) – ich wzrost w miesiącach zimowych, gdy następuje wzrost zużycia paliw stałych na cele grzewcze oraz spadek w okresie letnim.



Rys. 4.2.4 Stężenia średniomiesięczne pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ w wieloleciu 2013-2023 w woj. dolnośląskim (po lewej stronie) i w woj. kujawsko-pomorskim (po prawej stronie) (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).



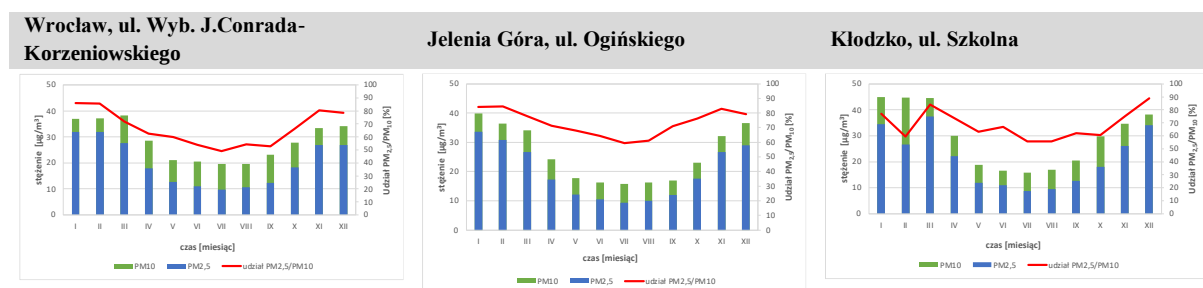
Rys. 4.2.5 Średnie temperatury powietrza oraz opady atmosferyczne we Wrocławiu (po lewej stronie) i w Toruniu (po prawej stronie) w wieloleciu 2013-2023 (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).



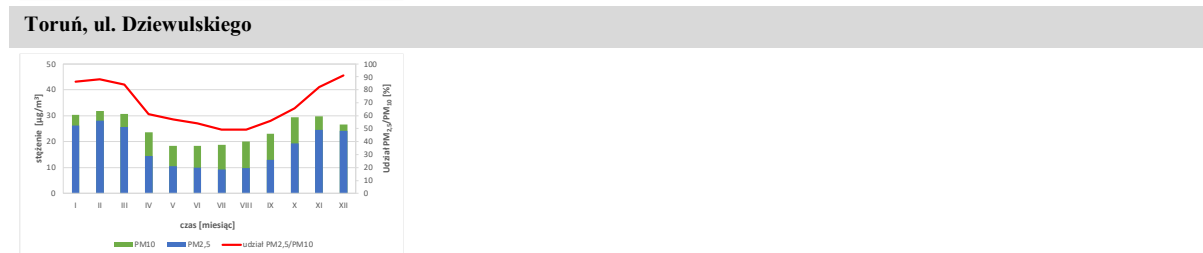
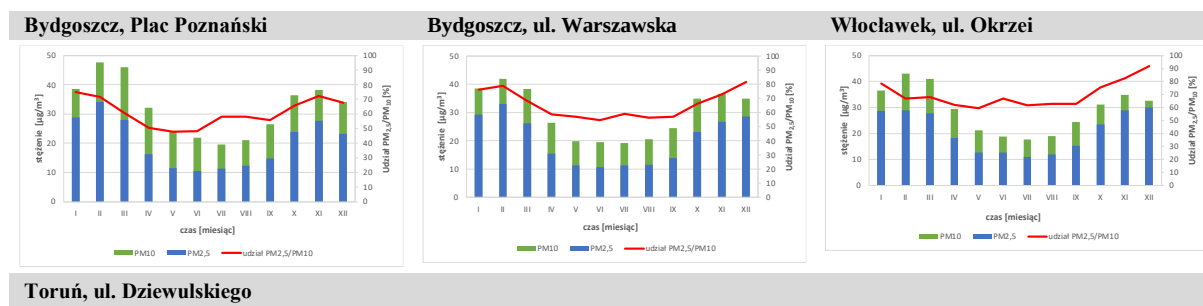
Rys. 4.2.6 Średnie prędkości wiatru we Wrocławiu (po lewej stronie) i w Toruniu (po prawej stronie) w wieloleciu 2013-2023 (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

Występowanie podwyższonych stężeń zależne jest także od warunków meteorologicznych. W przypadku pogody bezwietrznej (lub słabym wiatrem), z niską temperaturą oraz małym (brakiem) opadu stężenia zanieczyszczeń wzrastają (rys. 4.2.5 i rys. 4.2.6). Największe stężenia $PM_{2.5}$ w sezonie zimowym odnotowywane są w Kłodzku (woj. dolnośląskie) i w Toruniu (woj. kujawsko-pomorskie).

Porównując stężenia pyłu $PM_{2.5}$ i pyłu PM_{10} mierzone w tym samym miejscu, możemy stwierdzić, że w różnych miesiącach w ciągu roku ich wzajemny stosunek zmienia się (rys. 4.2.7 i rys. 4.2.8). W miesiącach chłodnych pył $PM_{2.5}$ stanowi nawet 90% pyłu PM_{10} , w miesiącach ciepłych natomiast zawartość $PM_{2.5}$ nie przekracza 70%.



Rys. 4.2.7 Profile średnich miesięcznych stężeń pyłu $PM_{2.5}$ i PM_{10} w woj. dolnośląskim wg danych z lat 2013–2023 (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

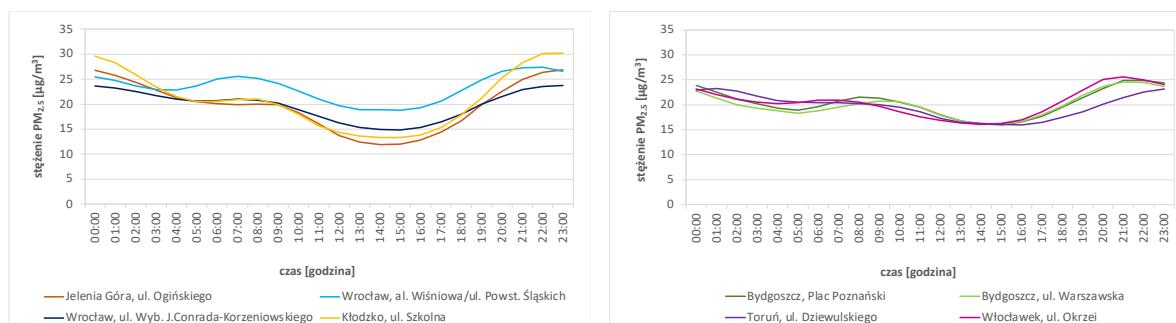


Rys. 4.2.8 Profile średnich miesięcznych stężeń pyłu $PM_{2.5}$ i PM_{10} w woj. kujawsko-pomorskim wg danych z lat 2013–2023 (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

Wysoka zawartość pyłu $PM_{2.5}$ w pyłe PM_{10} obserwowana w trakcie trwania sezonu grzewczego (jesień – zima) wynika z oddziaływania niskiej emisji (spalanie węgla i drewna na cele grzewcze i podwyższona emisja bardzo drobnych cząstek sadzy). Natomiast, poza sezonem grzewczym (wiosna–lato), stężenie drobniejszego pyłu $PM_{2.5}$ utrzymuje się na znacznie niższym poziomie. Wskazuje to na istotny udział grubszych frakcji pyłu PM_{10} , związany z jej wzbogacaniem przez pył mineralny w procesie resuspensji (cyklicznego unoszenia grubych cząstek pyłu z podłoża).

W przypadku przebiegów dobowych, podobnie jak w przypadku PM_{10} , można zauważyć dwa okresy charakteryzujące się wyższymi stężeniami niż podczas całej reszty dnia (rys. 4.2.9). Pierwszym z nich są godziny około poranne, drugim godziny około wieczorne. Na stacjach komunikacyjnych główny wpływ na wzrost stężenia ma szczyt komunikacyjny związany z większym spalaniem paliw płynnych podczas transportu.

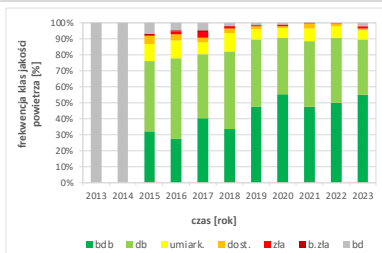
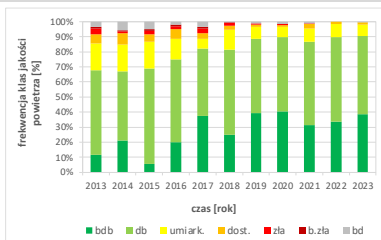
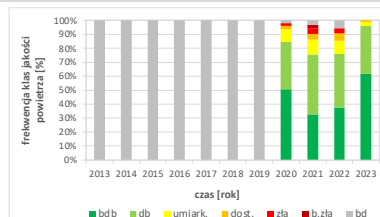
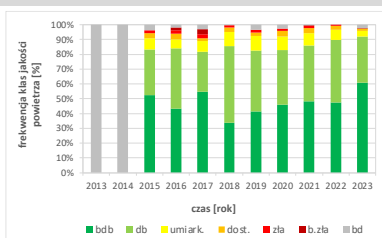
W przypadku stacji tła miejskiego na wzrost stężenia zanieczyszczeń wpływa zwiększone zapotrzebowanie na ciepło, a tym samym wzrost zużycia paliw stałych w urządzeniach grzewczych. Dotyczy to zwłaszcza szczytu wieczornego, który jest wyraźnie wyższy od porannego. Dzieje się tak m.in. ze względu na dłuższy czas naszej aktywności (i zapotrzebowania na ciepło) podczas popołudniowego i wieczornego przebywania w domu. Różnice te są dość wyraźne w Kłodzku (woj. dolnośląskie).



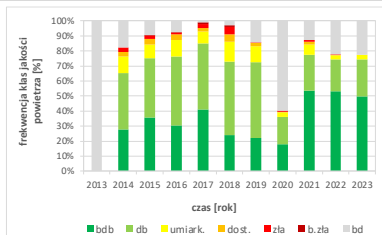
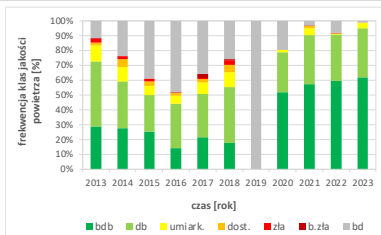
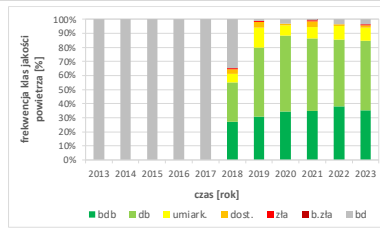
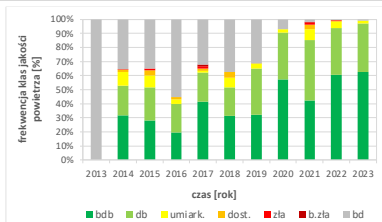
Rys. 4.2.9 Przebiegi dobowe pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ w wieloleciu 2013-2023 w woj. dolnośląskim (po lewej stronie) i w woj. kujawsko-pomorskim (po prawej stronie) (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

Analizując liczbę dni z wystąpieniem poszczególnych klas Polskiego Indeksu Jakości Powietrza obserwujemy podobny trend zmian, jak w przypadku średnich rocznych. W początkowym okresie omawianego wielolecia, na większości stacji liczba dni z wystąpieniami klasy dostatecznej, złej i bardzo złej (warunki mogące zagrozić naszemu zdrowiu) sięgała około 10% w skali roku, co równa się ponad 30 dniom w czasie których mieszkańcy choć przez chwilę mogli być narażeni na niekorzystne warunki aerosanitarne. Obecnie liczba takich przypadków nie przekracza na ogół 5%, przy czym dominują wśród nich warunki dostateczne, a warunki złe i bardzo złe zdarzają się sporadycznie. Należy też zaznaczyć, że przez większość roku w badanym okresie stężenie pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ mieściło się w klasie bardzo dobrej oraz dobrej wg Polskiego Indeksu Jakości Powietrza, klasa umiarkowana wynosiła około 10 – 15% przypadków (rys. 4.2.10 i rys. 4.2.11).

Również analiza porównawcza sezonów grzewczych w ostatnich latach wskazuje na ogólny spadek stężenia $PM_{2,5}$ w powietrzu na badanym obszarze, co może być efektem m.in. wprowadzenia uchwałami antysmogowymi ograniczeń związanych ze stosowaniem złej jakości paliw (rys. 4.2.12 i rys. 4.2.13). Największy spadek w ostatnim analizowanym sezonie grzewczym 2023/2024 w stosunku do sezonu 2014/2015 odnotowano w woj. dolnośląskim we Wrocławiu przy ul. Wiśniowej (o 49,1%) oraz w stosunku do sezonu 2013/2014 w woj. kujawsko-pomorskim w Toruniu przy ul. Dziewulskiego (o 61,8%).

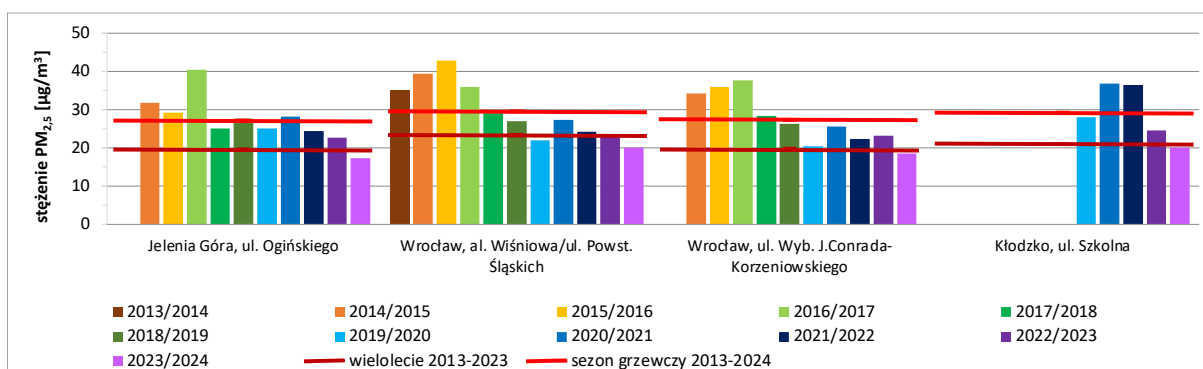
Wrocław, ul. Wyb. J.Conrada-Korzeniowskiego**Wrocław, al. Wiśniowa/ul. Powst. Śląskich****Kłodzko, ul. Szkolna****Jelenia Góra, ul. Ogińskiego**

Rys. 4.2.10 Frekwencja występowania dni według najgorszej odnotowanej klasy jakości powietrza zgodnie z Polskim Indekssem Jakości Powietrza dla pyłu PM_{2,5} w woj. dolnośląskim wieloleciu 2013-2023 (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

Bydgoszcz, Plac Poznański**Bydgoszcz, ul. Warszawska****Włocławek, ul. Okrzei****Toruń, ul. Dziewulskiego**

Rys. 4.2.11 Frekwencja występowania dni według najgorszej odnotowanej klasy jakości powietrza zgodnie z Polskim Indekssem Jakości Powietrza dla pyłu PM_{2,5} w woj. kujawsko-pomorskim w wieloleciu 2013-2023 (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

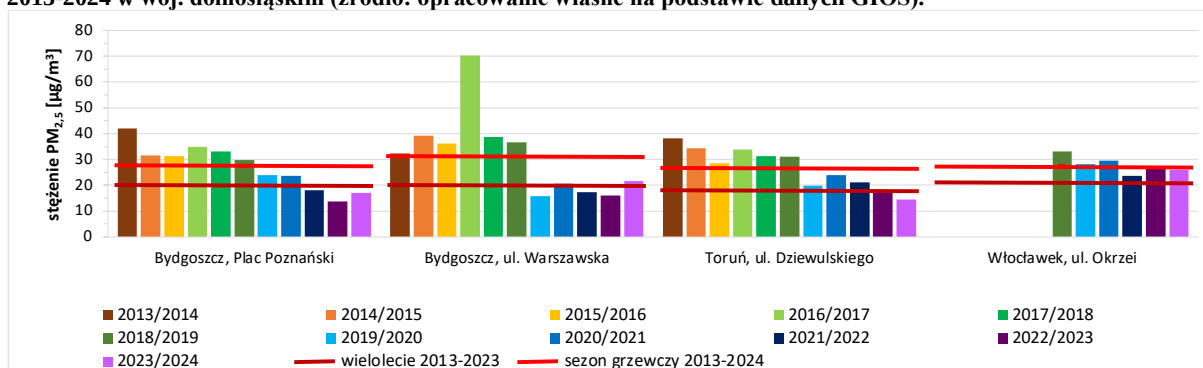
W ostatnim sezonie grzewczym 2023/2024 średnia stężenia pyłu PM_{2,5} z wielolecia 2013-2022 w woj. kujawsko-pomorskim została przekroczona na dwóch analizowanych stacjach pomiarowych (przekroczenie wahało się od 1,6 µg/m³ przy ul. Warszawskiej w Bydgoszczy do 5,1 µg/m³ we Włocławku), natomiast w woj. dolnośląskim przekroczenie nie wystąpiło. W obu województwach średnia z sezonu grzewczego z wielolecia nie została przekroczona na żadnej stacji pomiarowej.



*sezon 2014/2015 dla stacji: w Jeleniej Górze i we Wrocławiu przy ul. Korzeniowskiego uwzględnia dane pomiarowe tylko z okresu 01-03.2015

*sezon 2019/2020 dla stacji: w Kłodzku uwzględnia dane pomiarowe tylko z okresu 01-03.2020

Rys. 4.2.12 Średnie stężenie pyłu zawieszonego PM_{2,5} w sezonie grzewczym (od października do marca) w wieloleciu 2013-2024 w woj. dolnośląskim (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).



*sezon 2013/2014 dla stacji: w Bydgoszczy przy pl. Poznańskim i w Toruniu uwzględnia dane pomiarowe tylko z okresu 01-03.2014

*sezon 2016/2017 dla stacji: w Bydgoszczy przy ul. Warszawskiej uwzględnia dane pomiarowe tylko z okresu 01-03.2017

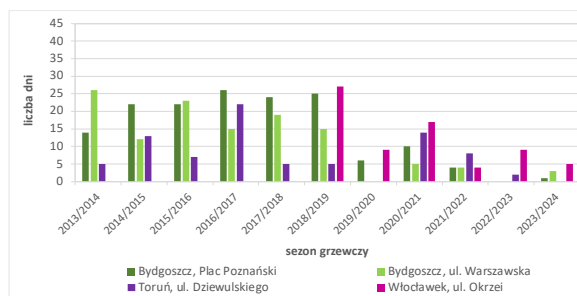
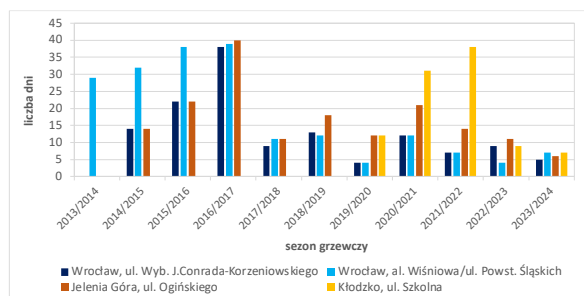
*sezon 2019/2020 dla stacji: w Bydgoszczy przy ul. Warszawskiej uwzględnia dane pomiarowe tylko z okresu 01-03.2020

*sezon 2020/2021 dla stacji: w Toruniu uwzględnia dane pomiarowe tylko z okresu 01-03.2021

Rys. 4.2.13 Średnie stężenie pyłu zawieszonego PM_{2,5} w sezonie grzewczym (od października do marca) w wieloleciu 2013-2024 w woj. kujawsko-pomorskim (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

Powyższe ustalenia, związane ze stopniową poprawą warunków aerosanitarnych potwierdza również analiza liczby dni z jakością powietrza powyżej klasy umiarkowanej (czyli ze stężeniem PM_{2,5} powyżej 35 µg/m³) w okresie grzewczym w wieloleciu 2013-2024 (rys. 4.2.14). Co prawda obraz ten zaburza nieco sezon 2016/2017 gdzie odnotowywane były najwyższe stężenia PM_{2,5}, należy wziąć jednak pod uwagę, że sezon ten był wyjątkowo chłodny, w porównaniu z wcześniejszymi, a zwłaszcza z późniejszymi.

Niepokojący jest wzrost stężenia pyłu w miejscowościach podgórskich (w Kłodzku i Jeleniej Górze) zwłaszcza w sezonie 2020/2021 oraz 2021/2022 oraz w woj. kujawsko-pomorskim w sezonie 2020/2021, na co wpływ mogą mieć nie tylko warunki meteorologiczne i położenie geograficzne, ale również częstsze stosowanie paliw stałych przy ogrzewaniu gospodarstw domowych w związku z ograniczeniami w przemieszczaniu się wprowadzonymi podczas pandemii COVID-19.



Rys. 4.2.14 Liczba dni z jakością powietrza powyżej klasy umiarkowanej w okresie grzewczym (od października do marca) w wieloleciu 2013-2024 w woj. dolnośląskim (po lewej stronie) i w woj. kujawsko-pomorskim (po prawej stronie) (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

5. Charakterystyka sezonów grzewczych 2016/2017 i 2019/2020

We wcześniejszych częściach niniejszego opracowania zwracaliśmy uwagę na wpływ warunków pogodowych na panujące warunki aerosanitarnie. Bardzo wyraźnym przykładem tego wpływu są dwa sezony grzewcze obejmujące okres analizy – sezon 2016/2017 (mroźny) i sezon 2019/2020 (wyjątkowo ciepły). Przedstawiona poniżej analiza ilustruje wpływ, jaki panujące warunki meteorologiczne, związane z temperaturą powietrza, prędkością wiatru, opadami – a szerzej – typem pogody, wywarły na stężenia pyłu zawieszonego w obszarze województw dolnośląskiego i kujawsko-pomorskiego.

W sezonie grzewczym warunki do pogarszania się jakości powietrza wynikają przede wszystkim ze spadków temperatury (powodujących zwiększone zapotrzebowanie na ciepło, a tym samym zwiększoną emisję zanieczyszczeń z kominów gospodarstw domowych) i występowania okresów z niewielką prędkością wiatru. Aby opisać takie sytuacje związane z warunkami termicznymi w analizowanym okresie, wydziela się tak zwane dni charakterystyczne:

- przymrozkowe, w których temperatura choć na chwilę spada poniżej 0 °C,
- mroźne, w których temperatura maksymalna nie przekracza 0 °C,
- bardzo mroźne, w których temperatura minimalna jest poniżej -10 °C.

Liczba dni charakterystycznych w poszczególnych klasach pozwala określić w jakim stopniu dany miesiąc sprzyjał pogarszaniu się jakości powietrza.

W odniesieniu do wiatru charakterystyką obrazującą warunki sprzyjające pogarszaniu jakości powietrza jest częstość występowania ciszy (czyli sytuacji, w których prędkość wiatru jest poniżej 0,5 m/s), czy sytuacji ze słabym wiatrem o prędkości poniżej 1 m/s.

Można również zastosować kryterium synoptyczne, czyli występowanie pogody wyżowej lub niżowej. Zimą w warunkach pogody niżowej (cyklonalnej) spodziewać się można opadów, wysokich prędkości wiatru, ociepleń i intensywnej wymiany mas powietrza, co sprzyja usuwaniu oraz rozpraszaniu zanieczyszczeń i poprawie warunków aerosanitarnych. W pogodzie wyżowej (antycyklonalnej) należy natomiast spodziewać się pogody bezchmurnej (radiacyjnej), sprzyjającej jesienią nocnym przymrozkom, a zimą występowaniu mrozów. Towarzyszy jej również tworzenie się nocnych inwersji termicznych, związanych ze swobodnym wypromieniowaniem energii przy bezchmurnym niebie, a w konsekwencji wychłodzeniu podłoża i powietrza przy gruncie, ograniczającym pionową wymianę mas powietrza i powodującą zatrzymanie i kumulację zanieczyszczeń w warstwie powietrza obejmującej kilka-kilkadziesiąt metrów przy powierzchni ziemi. Cechą charakterystyczną takiej pogody jest również niewielka prędkość wiatru, związana z małym zróżnicowaniem ciśnienia atmosferycznego w układach wyżowych. Można, więc uogólnić, że pogoda antycyklonalna sprzyja pogarszaniu się jakości powietrza.

Do szczegółowej analizy wpływu warunków meteorologicznych na rozkład stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu wybrano dwa sezony grzewcze (2016/2017 i 2019/2020)

charakteryzujące się odpowiednio najwyższymi i najniższymi stężeniami PM w ostatnim dziesięcioleciu oraz zróżnicowaniem warunków meteorologicznych.

5.1. Charakterystyka warunków meteorologicznych i aerosanitarnych w sezonie grzewczym 2016/2017 w województwie dolnośląskim

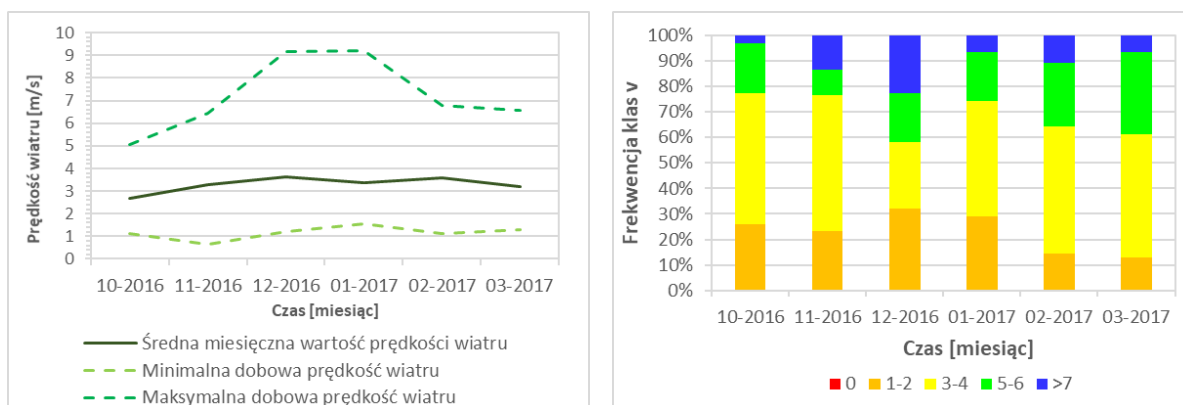
W 2016 i 2017 r. największym problemem w skali województwa dolnośląskiego pozostawał wysoki poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym. W kształtowaniu jakości powietrza główny udział miał sektor komunalno-bytowy, czyli ogrzewanie budynków (głównie mieszkalnych) oraz utrudnione warunki rozprzestrzeniania zanieczyszczeń (szczególnie w kotlinach) (WIOŚ 2017, 2018). Dlatego najwyższe stężenia pyłu zawieszonego pojawiają się właśnie w sezonie grzewczym, kiedy odnotowuje się najwięcej dni chłodnych i mroźnych.

Sezon grzewczy 2016/2017 (tj. okres od października 2016 do marca 2017) we Wrocławiu był chłodniejszy pod względem temperatury z przeciętnymi warunkami panującymi w wieloleciu 2013-2022. Średnia dobową temperatura powietrza wynosiła w tym okresie w stolicy Dolnego Śląska 3,7°C, analogiczna średnia dla wielolecia to 4,8°C. Był to również najzimniejszy sezon w ostatnim 10-leciu. Najchłodniejszym miesiącem był styczeń ze średnią temperaturą -2,4°C. Wtedy też odnotowano najwięcej dni mroźnych i bardzo mroźnych (tabela 5.1.1).

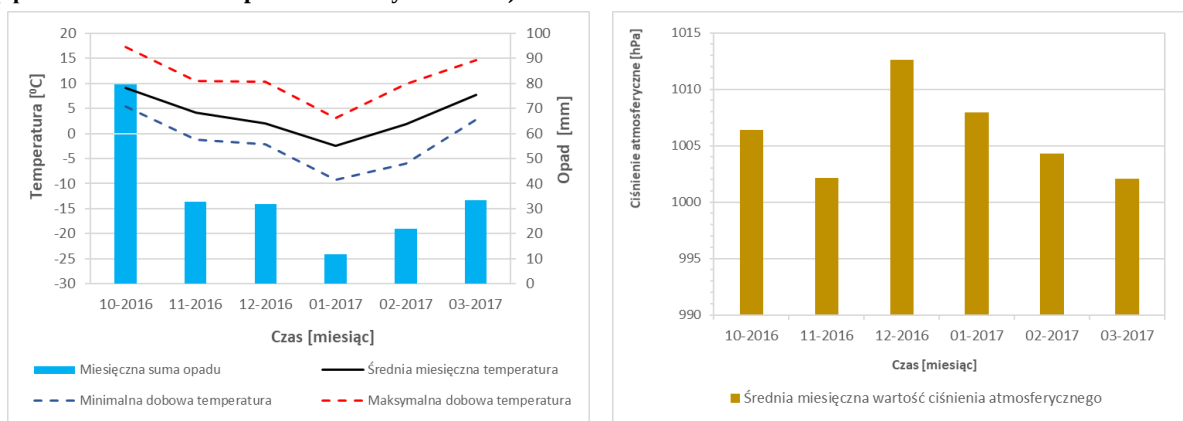
Tabela 5.1.1 Charakterystyka warunków termicznych i wiatrowych we Wrocławiu w sezonie grzewczym 2016/2017 (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

Sezon	Miesiąc	T _{sr} [°C]	T _{max} dobowa [°C]	T _{min} dobowa [°C]	Liczba dni			V _{sr} [m/s]	V godzin <0,5m/s [%]
					Bardzo mroźne (T _{min} <-10°C)	Mroźne (T _{max} <0°C)	Przymrozkowe (T _{min} <0°C)		
2016/2017	2016-10	9,1	17,3	5,5	0	0	0	2,7	3,0
	2016-11	4,2	10,5	-1,2	0	1	12	3,3	3,3
	2016-12	2,0	10,4	-2,1	0	1	19	3,6	1,3
	2017-01	-2,4	3,1	-9,2	6	9	27	3,4	2,0
	2017-02	1,8	9,9	-6,0	0	5	16	3,6	1,8
	2017-03	7,6	14,6	2,7	0	0	5	3,2	2,7
	Sezon	3,7	17,3	-9,2	6	16	79	3,3	2,4

Średnia prędkość wiatru dla sezonu 2016/2017 wyniosła 3,3 m/s. Najniższa średnia prędkość wiatru odnotowana została w październiku (2,7 m/s), najwyższa – w grudniu i w styczniu (3,6 m/s). Najwięcej godzin z ciszą odnotowano w listopadzie. Najczęściej średnie prędkości wiatru (3-4 m/s) odnotowywano w listopadzie, zaś wiatr silny (>7 m/s) w grudniu (ry. 5.1.1). Największy opad wystąpił w październiku (najcieplejszym miesiącu), zaś najmniejszy w styczniu (najzimniejszym miesiącu). Sezon charakteryzował się wysokimi średnimi wartościami ciśnienia atmosferycznego (rys. 5.1.2).

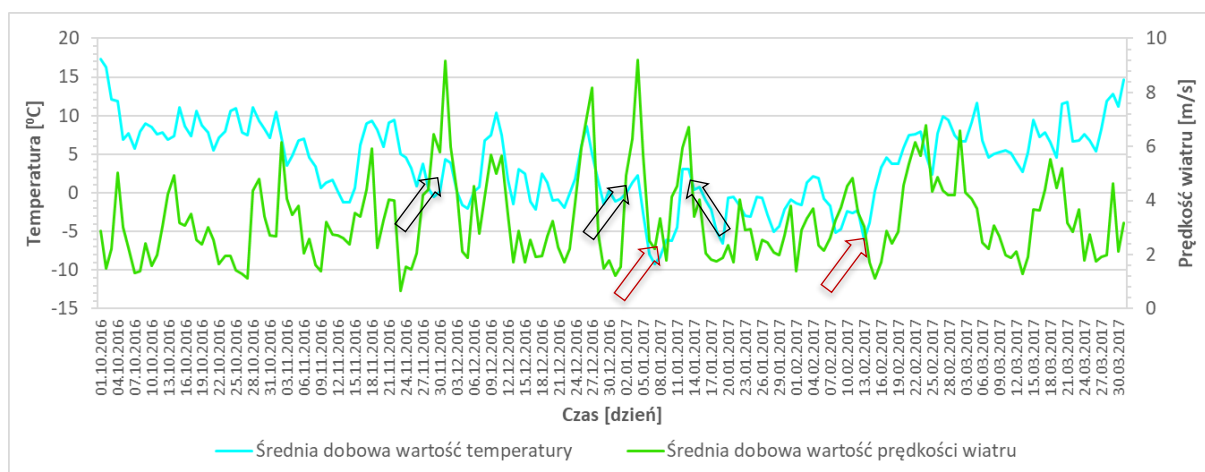


Rys. 5.1.1 Charakterystyka warunków meteorologicznych we Wrocławiu w sezonie grzewczym 2016/2017: średniej miesięcznej wartości prędkości wiatru (po lewej stronie) oraz frekwencji prędkości wiatru w klasach (po prawej stronie) (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

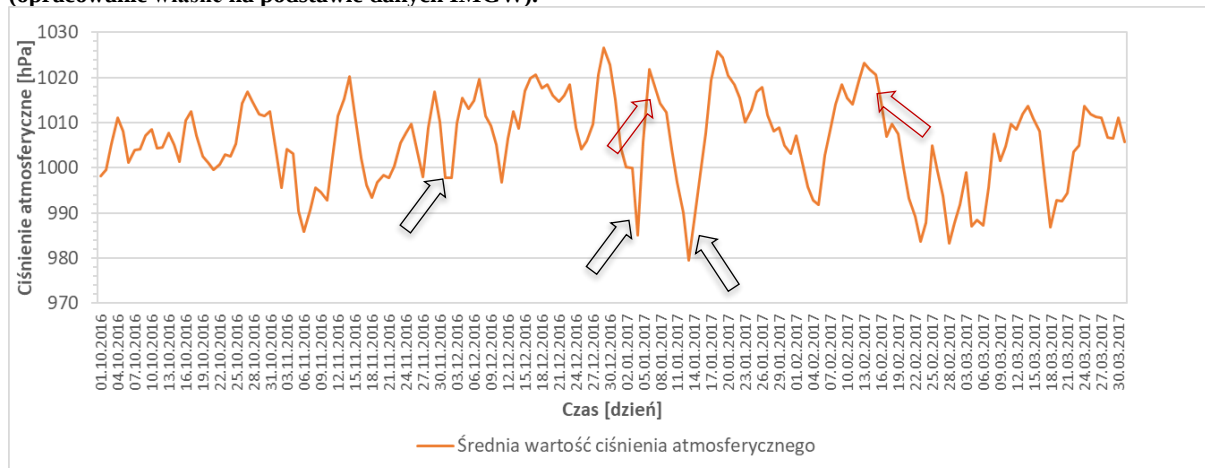


Rys. 5.1.2 Charakterystyka warunków meteorologicznych we Wrocławiu w sezonie grzewczym 2016/2017: temperatury powietrza oraz opadów (po lewej stronie) oraz średniej wartości ciśnienia atmosferycznego (po prawej stronie) (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

W badanym okresie wzrost prędkości wiatru w większości przypadków skorelowany był z wystąpieniem ociepleń, zwłaszcza na przełomie listopada i grudnia oraz grudnia i stycznia (rys. 5.1.3) – przykłady na wykresie oznaczono czarną strzałką. Takim sytuacjom towarzyszył spadek ciśnienia atmosferycznego (rys. 5.1.4). W styczniu i lutym spadki temperatury poniżej 0°C występowały wraz ze spadkiem prędkości wiatru i wzrostem ciśnienia atmosferycznego – przykłady na wykresie oznaczono czerwoną strzałką. Zmienność ta związana jest z uwarunkowaniami synoptycznymi – naprzemiennym występowaniem pogody cyklonalnej, z intensywnym napływem relatywnie ciepłych mas powietrza oraz pogody antycyklonalnej, o znacznie mniejszej dynamice, sprzyjającej przymrozkom i mrozom.

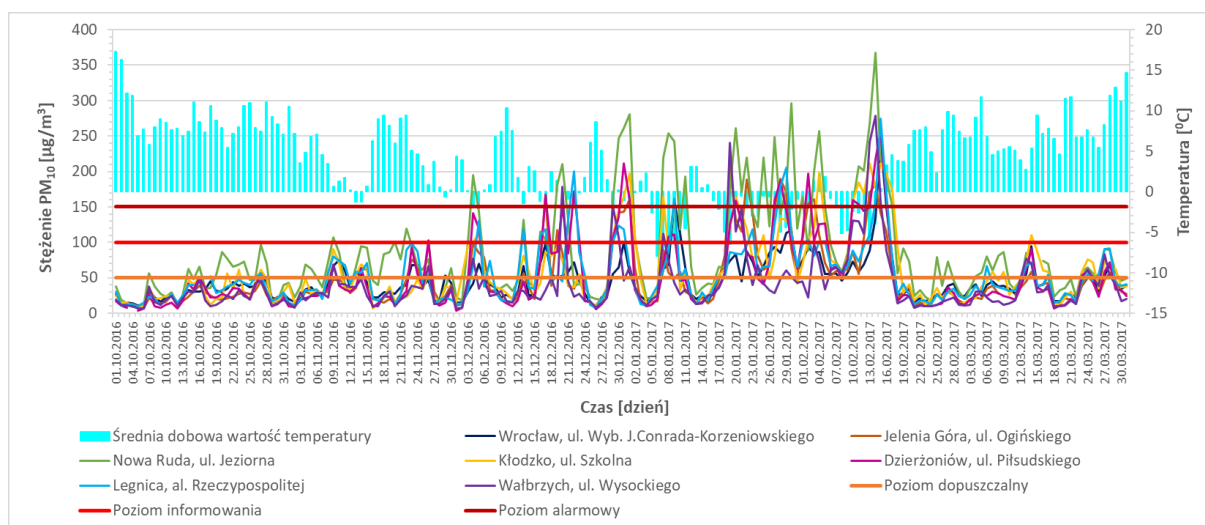


Rys. 5.1.3 Przebieg temperatury powietrza oraz prędkości wiatru w sezonie grzewczym 2016/2017 we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

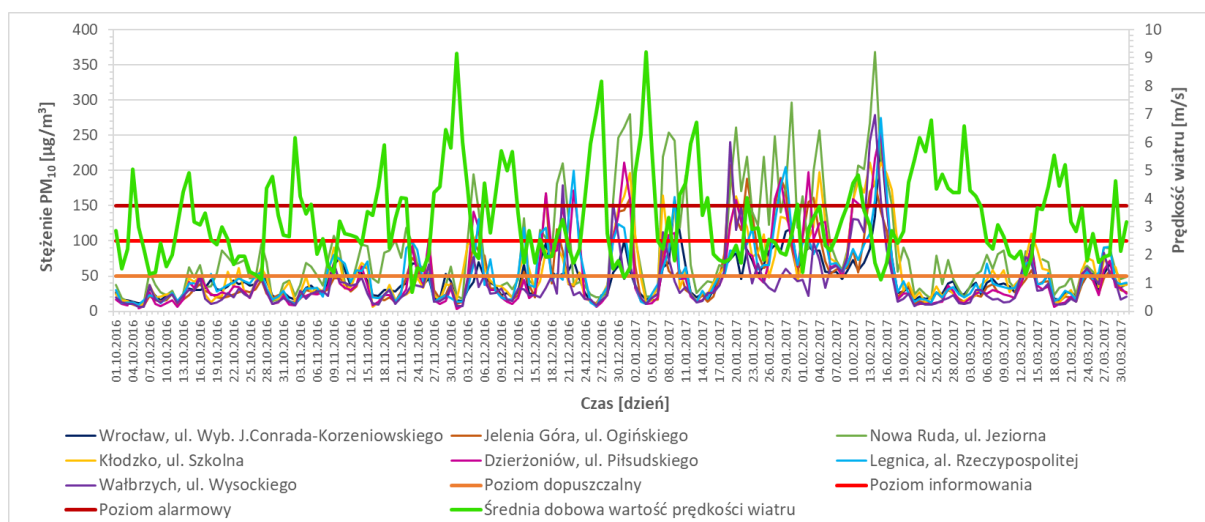


Rys. 5.1.4 Przebieg wartości ciśnienia atmosferycznego w sezonie grzewczym 2016/2017 we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

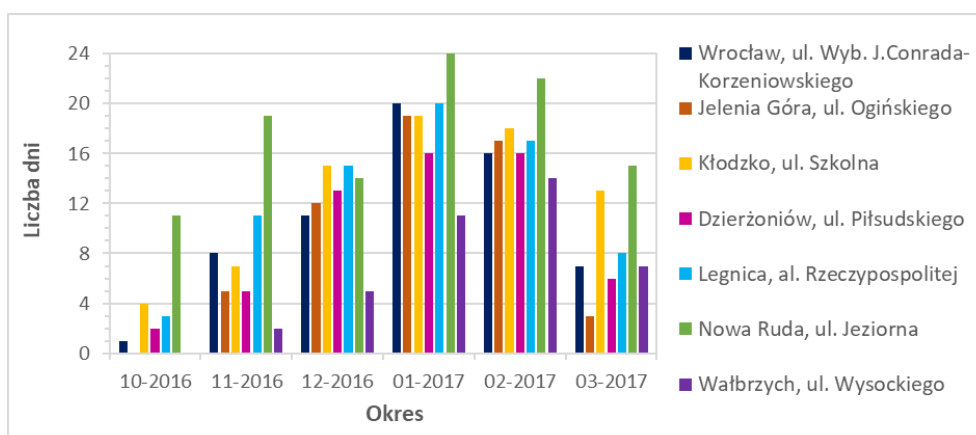
Sezon grzewczy 2016/2017 był bardzo niekorzystny pod względem warunków aerosanitarnych. Już w drugiej dekadzie października stężenia pyłu zawieszonego PM_{10} przekraczały poziom dopuszczalny pomimo dodatnich temperatur powietrza (temperatura minimalna $5,5^{\circ}C$) (rys. 5.1.5). Spadek stężenia rejestrowany był głównie w przypadkach podwyższonych prędkości wiatru (rys. 5.1.6). Najwyższe stężenia PM_{10} odnotowywane były od grudnia do połowy lutego, wówczas na wszystkich analizowanych stacjach stwierdzono przekroczenie poziomu alarmowego. W styczniu przez ponad połowę miesiąca wystąpiły dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego, która wahała się od 16 dni w Dzierżoniowie do 24 dni w Nowej Rudzie, w Wałbrzychu tych dni było 11 (rys. 5.1.7) Niestety marzec nie przyniósł poprawy jakości powietrza – stężenia pyłu nadal przekraczały średniodobowy poziom dopuszczalny stanowiący zagrożenie dla zdrowia mieszkańców.



Rys. 5.1.5 Przebieg dobowego stężenia PM_{10} w woj. dolnośląskim w sezonie grzewczym 2016/2017 na tle średniej dobowej temperatury powietrza we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).



Rys. 5.1.6 Przebieg dobowego stężenia PM_{10} w woj. dolnośląskim sezonie grzewczym 2016/2017 na tle średniej dobowej wartości prędkości wiatru we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).

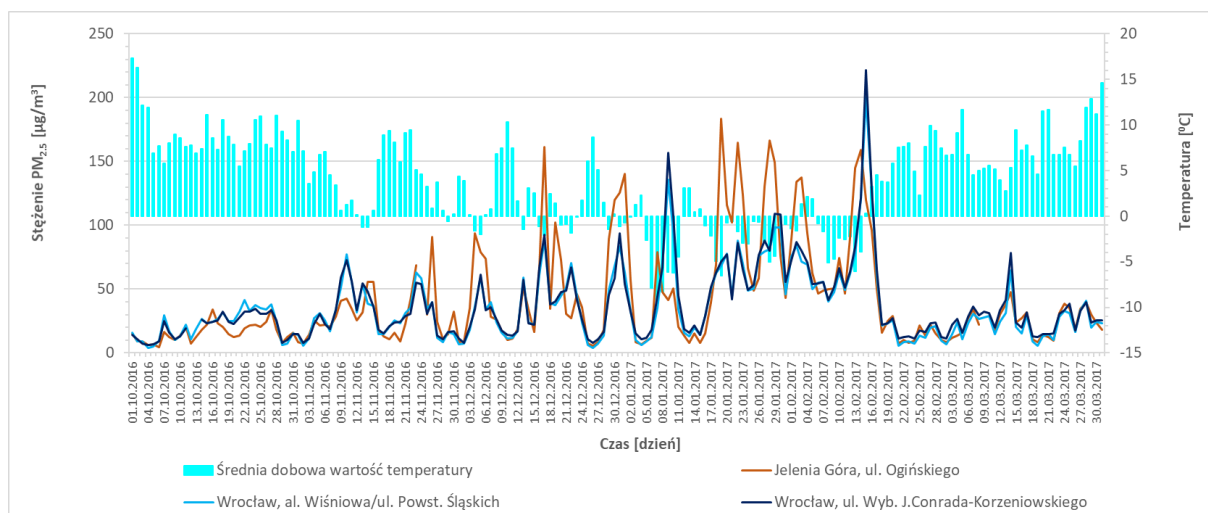


Rys. 5.1.7 Liczba dni z przekroczeniem poziomu dopuszczanego pyłu PM_{10} (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

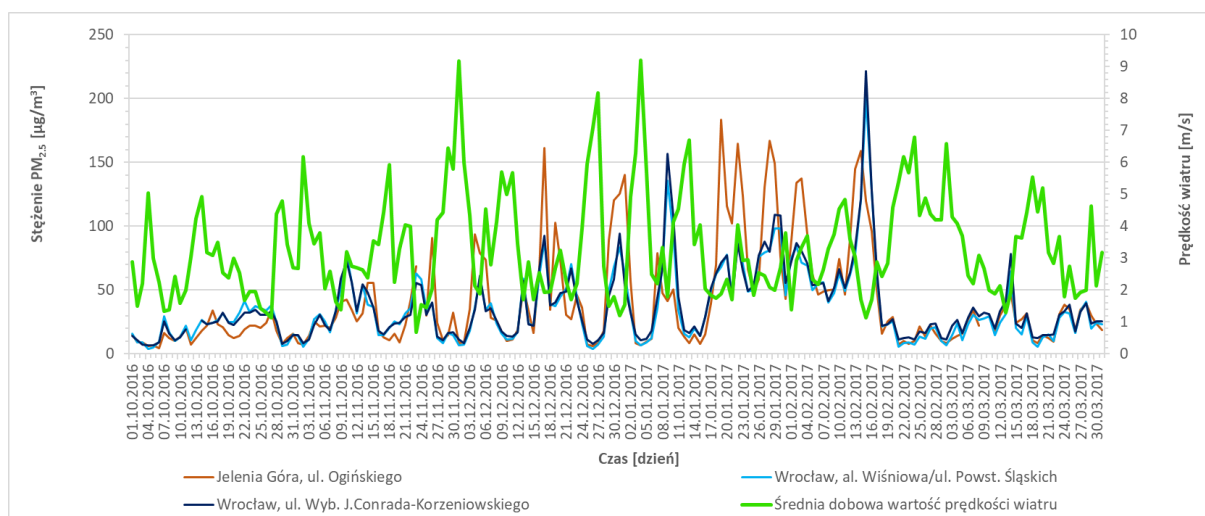
W Nowej Rudzie łącznie przez ponad 3 miesiące (105 dni) średniodobowe stężenie pyłu PM_{10} przekraczało poziom $50 \mu g/m^3$, a przez 31 dni stężenie pyłu przekraczało poziom alarmowy tj. $150 \mu g/m^3$ (tabela 5.1.2). Najwyższe średniodobowe stężenie ($367,9 \mu g/m^3$) zarejestrowano w dniu 14.02.2017 r., zaś godzinowe ($664,6 \mu g/m^3$) w dniu 11.01.2017 r. We Wrocławiu natomiast poziom dopuszczalny przekroczony został 63 razy, zaś poziom alarmowy 2 razy. Maksymalne średniodobowe stężenie ($243,2 \mu g/m^3$) zarejestrowano w dniu 15.02.2017 r., a maksimum godzinowe ($383,2 \mu g/m^3$) w dniu 29.11.2016 r.

Tabela 5.1.2 Stężenie pyłu PM_x od października 2016 do marca 2017 w woj. dolnośląskim (źródło: GIOŚ).

Stężenie [µg/m³]	Wrocław, Al. Wiśniowa	Wrocław, ul. Wyb. J. Conrada- Korzeniowskiego		Jelenia Góra, ul. Ogińskiego		Kłodzko, ul. Szkolna	Dzierżonów, ul. Piłsudskiego	Legnica, al. Rzeczypospolitej	Nowa Ruda, ul. Jeziora	Wałbrzych, ul. Wysockiego
	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀
średnia sezonowa	35,8	45,9	37,7	49,1	40,4	57,8	51,5	53,2	85,3	39,9
max dobowe	200,2	243,2	221,6	208,3	183,3	211,6	256,3	274,7	367,9	279,1
min dobowe	3,7	10,2	6,5	7,0	4,7	6,7	3,6	7,9	9,3	6,6
max 1h	285,0	383,2	352,6	407,7	371,6	368,9	549,8	420,3	664,6	676,1
liczba dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego 24h PM ₁₀ (>50 µg/m³)	-	63	-	56	-	76	58	74	105	39
liczba dni z przekroczeniem poziomu informowania 24h PM ₁₀ (>100 µg/m³)	-	7	-	24	-	30	32	22	47	13
liczba dni z przekroczeniem poziomu alarmowego 24h PM ₁₀ (>150 µg/m³)	-	2	-	10	-	14	14	7	31	6



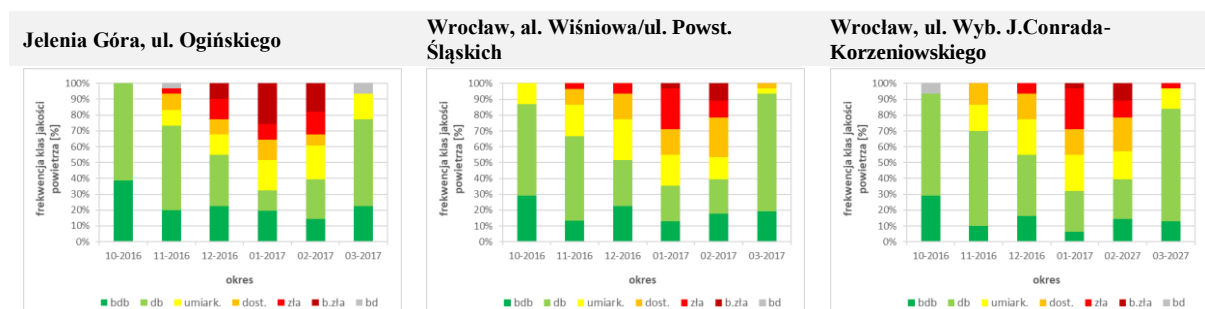
Rys. 5.1.8 Przebieg dobowego stężenia $PM_{2,5}$ w woj. dolnośląskim w sezonie grzewczym 2016/2017 na tle średniej dobowej temperatury powietrza we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).



Rys. 5.1.9 Przebieg dobowego stężenia $PM_{2,5}$ w woj. dolnośląskim w sezonie grzewczym 2016/2017 na tle średniej dobowej wartości prędkości wiatru we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).

W oparciu o dane dla sezonu 2016/2017 można stwierdzić, że wzrosty stężenia pyłu, zwłaszcza drobnego $PM_{2,5}$ występowały już w sytuacjach, kiedy średnia dobowa temperatura powietrza była poniżej $5^{\circ}C$ (rys. 5.1.8) oraz prędkość wiatru nie przekraczała 2 m/s (rys. 5.1.9). W takich samych warunkach pogodowych na stacji typu komunikacyjnego (Wrocław, al. Wiśniowa) odnotowywane stężenia były niższe niż na stacjach tła miejskiego, co najbardziej widoczne jest w Jeleniej Górze. Na taki wzrost stężenia może mieć wpływ sektor komunalno-bytowy, który w latach 2016 i 2017 odpowiadał za największy udział w kształtowaniu jakości powietrza w woj. dolnośląskim (GIOŚ 2017, 2018).

Z punktu widzenia oddziaływania wpływu jakości powietrza na zdrowie najwygodniej ocenić ją według indeksu jakości powietrza. Przez ponad połowę dni na wszystkich analizowanych stacjach w styczniu i lutym 2017 r. stężenia $PM_{2,5}$ utrzymywały się na umiarkowanym lub wyższym poziomie (rys. 5.1.10). Złym i bardzo złym klasom jakości powietrza (tj. ze stężeniem średniodobowym $PM_{2,5}$ powyżej $75 \mu g/m^3$) zazwyczaj towarzyszyły niskie temperatury, brak opadów i niewielka prędkość wiatru (rys. 5.1.8 i rys. 5.1.9). Warunki takie występują podczas pogody wyżowej, a jej oddziaływanie zaznaczało się zwłaszcza w okresie od grudnia 2016 r. do lutego 2017 r.



Rys. 5.1.10 Frekwencja klas Polskiego Indeksu Jakości Powietrza dla pyłu $PM_{2,5}$ w woj. dolnośląskim w sezonie grzewczym 2016/2017 (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ)

5.2. Charakterystyka warunków meteorologicznych i aerosanitarnych w sezonie grzewczym 2019/2020 w województwie dolnośląskim

W 2019 i 2020 r. największym problemem w skali województwa dolnośląskiego pozostawał wysoki poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym. W kształtowaniu jakości powietrza główny udział miał sektor komunalno-bytowy, czyli ogrzewanie budynków (głównie mieszkalnych) oraz utrudnione warunki rozprzestrzeniania zanieczyszczeń (szczególnie w kotlinach). Udział tego sektora w emisji $PM_{2,5}$ w roku 2020 znacznie wzrósł w stosunku do roku 2019. W woj. dolnośląskim wzrost ten wyniósł 6,7 % i stanowi 90,8% całkowitej emisji (GIOŚ 2021, 2022).

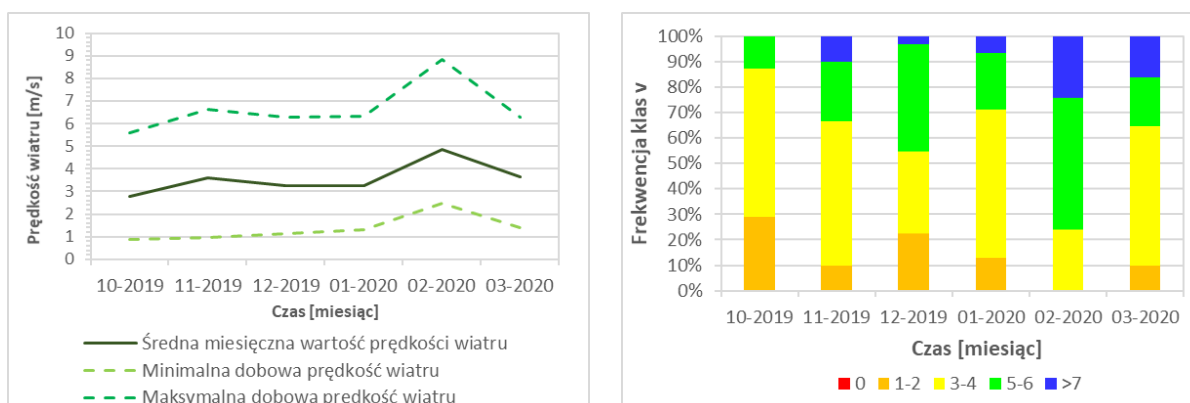
Główne źródło emisji pyłu zawieszonego PM_{10} w 2020 r. stanowiła również emisja komunalno-bytowa i we Wrocławiu odpowiadała za 82,3% całkowitej emisji, zaś w Wałbrzychu za 75,2% (GIOŚ 2022).

Sezon grzewczy 2019/2020 (tj. okres od października 2019 do marca 2020) charakteryzował się znacznie wyższymi temperaturami powietrza niż średnia w wieloleciu 2013-2022. Średnia dobową temperatura powietrza wynosiła w tym okresie w stolicy Dolnego Śląska 6,2°C, analogiczna średnia dla wielolecia to 4,8°C. Był to również najcieplejszy sezon w ostatnim 10-leciu. Najchłodniejszym miesiącem był styczeń ze średnią temperaturą 2,8°C (ponad 5 stopni więcej niż w sezonie 2016/2017), wtedy też wystąpiło najwięcej dni przymrozkowych (19). W całym analizowanym okresie nie odnotowano zarówno dni mroźnych jak i bardzo mroźnych (tabela 5.2.1), co oznacza, że w każdym dniu temperatura powietrza choć przez chwilę była wyższa od 0°C.

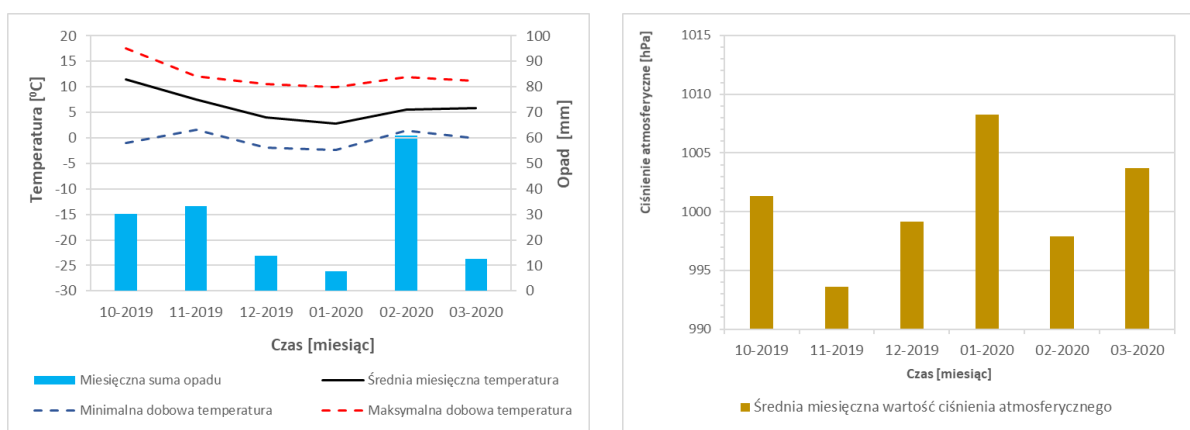
Tabela 5.2.1 Charakterystyka warunków termicznych i wiatrowych we Wrocławiu w sezonie grzewczym 2019/2020 (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

Sezon	Miesiąc	T_{sr} [°C]	T_{max} dobowa [°C]	T_{min} dobowa [°C]	Liczba dni			V_{sr} [m/s]	V godzin <0,5m/s [%]
					Bardzo mroźne ($T_{min} < -10^{\circ}C$)	Mroźne ($T_{max} < 0^{\circ}C$)	Przymrozkowe ($T_{min} < 0^{\circ}C$)		
2019/2020	2019-10	11,4	17,5	-1,1	0	0	4	2,8	3,1
	2019-11	7,6	12,1	1,6	0	0	2	3,6	0,7
	2019-12	4,0	10,5	-1,9	0	0	12	3,3	1,3
	2020-01	2,8	9,9	-2,4	0	0	19	3,3	1,6
	2020-02	5,6	12,0	1,5	0	0	4	4,8	0,3
	2020-03	5,8	11,2	-0,2	0	0	14	3,6	3,5
	Sezon	6,2	17,5	-2,4	0	0	55	3,6	1,8

Średnia prędkość wiatru dla sezonu 2019/2020 wyniosła 3,6 m/s. Najniższa średnia prędkość wiatru odnotowana została w październiku (2,8 m/s), najwyższa – w lutym (4,8 m/s). Najwięcej godzin z ciszą odnotowano w marcu. Najczęściej średnie prędkości wiatru (3-4 m/s) odnotowywano w październiku i w styczniu (58% dni), zaś wiatr silny (>7 m/s) w lutym (rys. 5.2.1). Największy opad wystąpił w lutym, zaś najmniejszy w styczniu (najzimniejszym miesiącu). Ciśnienie atmosferyczne w sezonie najwyższe było w lutym (rys. 5.2.2).

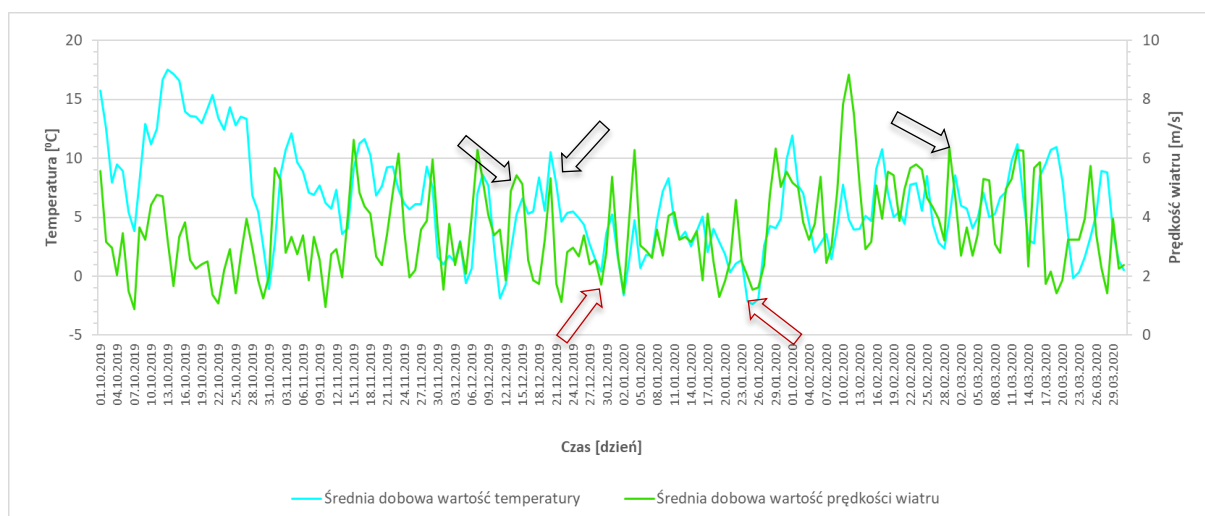


Rys. 5.2.1 Charakterystyka warunków meteorologicznych we Wrocławiu w sezonie grzewczym 2016/2017: średniej miesięcznej prędkości wiatru (po lewej stronie) oraz frekwencji prędkości wiatru w klasach (po prawej stronie) (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).



Rys. 5.2.2 Charakterystyka warunków meteorologicznych we Wrocławiu w sezonie grzewczym 2016/2017: temperatury powietrza oraz opadów (po lewej stronie) oraz ciśnienia atmosferycznego (po prawej stronie) (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

W badanym okresie wzrost prędkości wiatru w większości przypadków skorelowany był z wystąpieniem ociepleń, z wyjątkiem października (rys. 5.2.3) – przykłady na wykresie oznaczono czarną strzałką. Takim sytuacjom towarzyszył spadek ciśnienia atmosferycznego (rys. 5.2.4). W grudniu i w styczniu spadki temperatury poniżej 0°C występowały wraz ze spadkiem prędkości wiatru i wzrostem ciśnienia atmosferycznego – na wykresie oznaczono czerwoną strzałką. Zmienność ta związana jest z uwarunkowaniami synoptycznymi – naprzemiennym występowaniem pogody cyklonalnej, z intensywnym napływem relatywnie ciepłych mas powietrza oraz pogody antycyklonalnej, o znacznie mniejszej dynamice, sprzyjającej przymrozkom i mrozom.

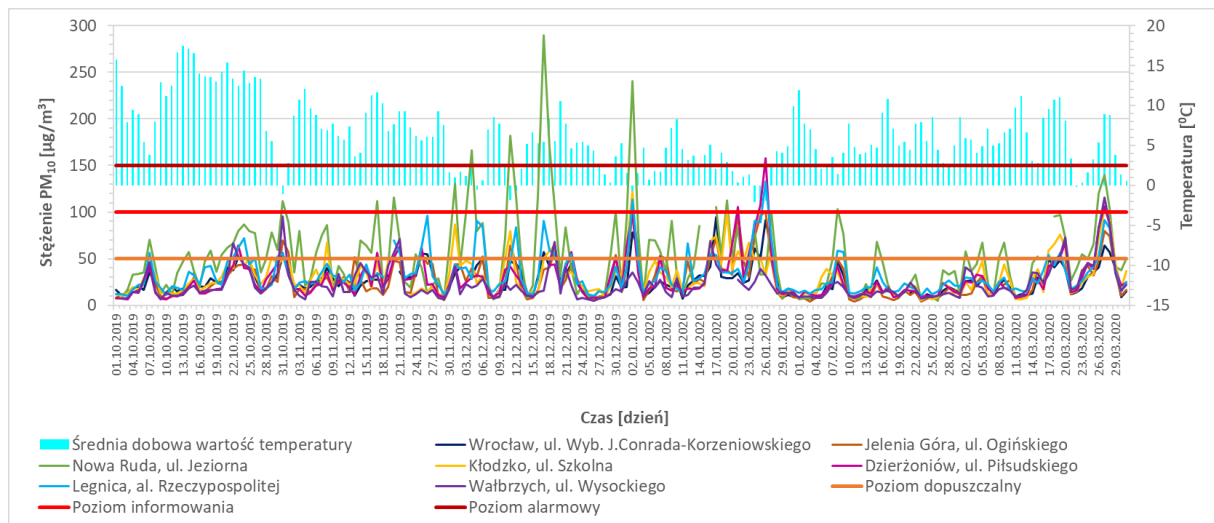


Rys. 5.2.3 Przebieg temperatury powietrza oraz prędkości wiatru w sezonie grzewczym 2016/2017 we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

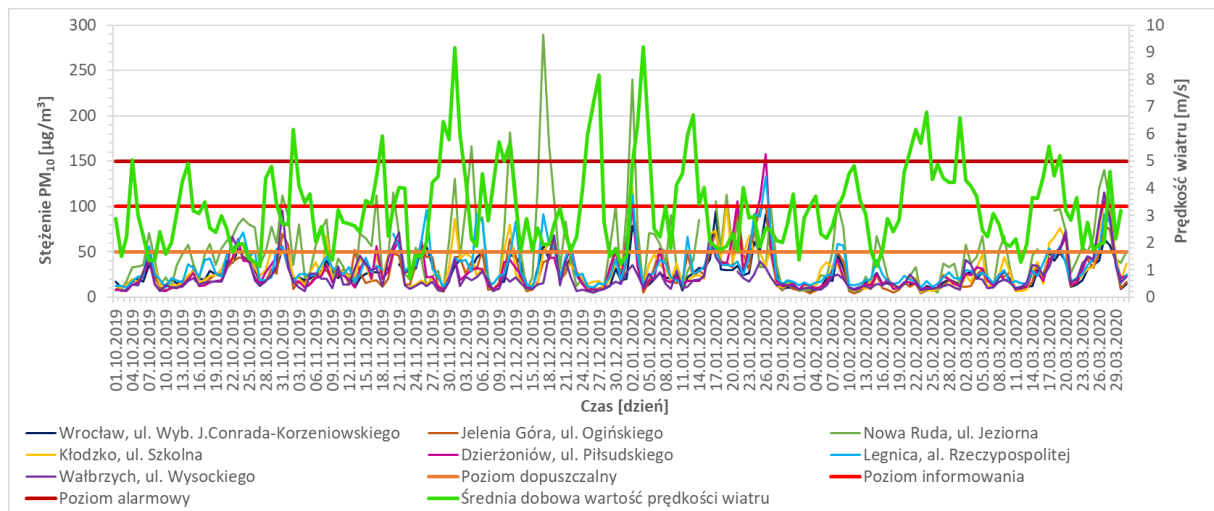


Rys. 5.2.4 Przebieg wartości ciśnienia atmosferycznego w sezonie grzewczym 2016/2017 we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

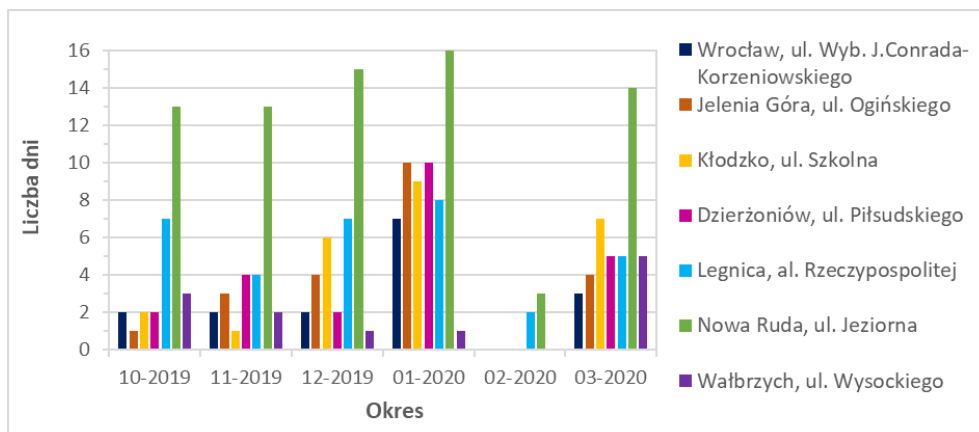
Sezon grzewczy 2019/2020 był bardzo zróżnicowany pod względem warunków aerosanitarnych. Przez większą jego część stężenia pyłu zawieszonego były na poziomie nie stanowiącym zagrożenia dla mieszkańców, jednakże odnotowano kilka epizodów, kiedy dobowe stężenie pyłu zawieszonego przekroczyło poziom dopuszczalny. Wzrost stężenia PM_{10} powyżej $50 \mu g/m^3$ rejestrowany był już w październiku przy dodatnich temperaturach powietrza sięgających powyżej $10^{\circ}C$ i słabym wietrze (rys. 5.2.5). Spadek stężenia rejestrowany był głównie w przypadkach podwyższonych prędkości wiatru (rys. 5.2.6). Najwyższe stężenia PM_{10} odnotowywane były od grudnia do stycznia, wówczas stwierdzono przekroczenie poziomu alarmowego w Nowej Rudzie (przez 5 dni) i Dzierżoniowie (przez 1 dzień). W styczniu wystąpiło również najwięcej dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego, która wahała się od 1 dnia w Wałbrzychu do 16 dni w Nowej Rudzie (rys. 5.2.7). Niestety początek wiosny nie przyniósł poprawy jakości powietrza – na wszystkich analizowanych stacjach pomiarowych w marcu stężenia pyłu nadal przekraczały średniodobowy poziom dopuszczalny stanowiący zagrożenie dla zdrowia mieszkańców.



Rys. 5.2.5 Przebieg dobowego stężenia PM₁₀ w woj. dolnośląskim w sezonie grzewczym 2019/2020 na tle średniej dobowej temperatury powietrza we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).



Rys. 5.2.6 Przebieg dobowego stężenia PM₁₀ w woj. dolnośląskim w sezonie grzewczym 2019/2020 na tle średniej dobowej wartości prędkości wiatru we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).

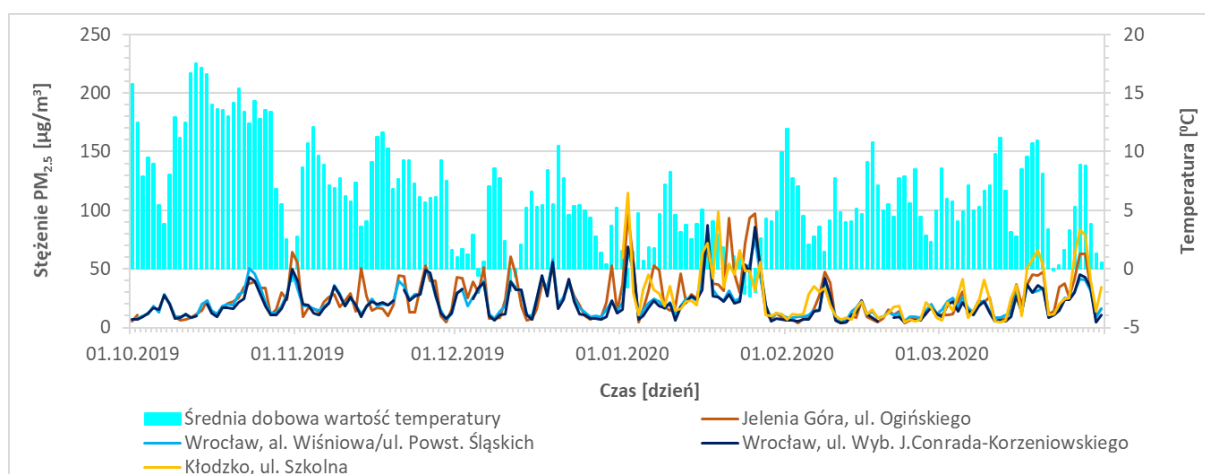


Rys. 5.2.7 Liczba dni z przekroczeniem poziomu dopuszczanego pyłu PM₁₀ (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

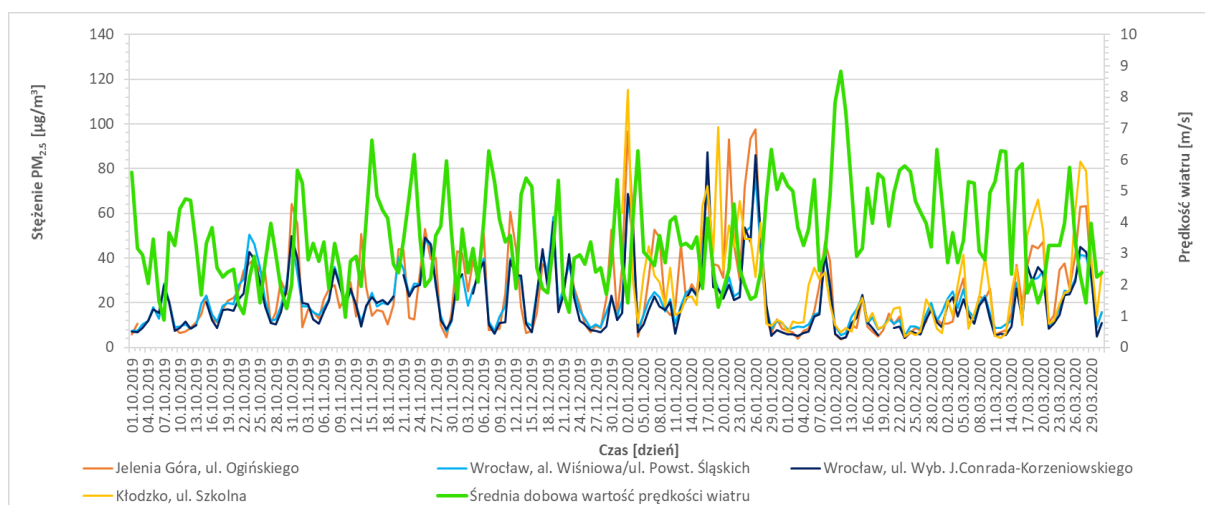
W Nowej Rudzie łącznie przez ponad 2 miesiące (74 dni) średniodobowe stężenie pyłu PM_{10} przekraczało poziom $50 \mu g/m^3$, a przez 5 dni stężenie pyłu przekraczało poziom alarmowy tj. $150 \mu g/m^3$ (tabela 5.2.2). Najwyższe średniodobowe stężenie ($289,3 \mu g/m^3$) i maksimum godzinowe ($610,9 \mu g/m^3$) zarejestrowano w dniu 17.12.2019 r. We Wrocławiu natomiast poziom dopuszczalny przekroczony został 16 razy, nie wystąpiło przekroczenie poziomu alarmowego. Maksymalne średniodobowe stężenie ($94,7 \mu g/m^3$) i maksimum godzinowe ($152,1 \mu g/m^3$) zarejestrowano w dniu 17.01.2020 r.

Tabela 5.2.2 Stężenie pyłu PM_{10} od października 2019 do marca 2020 w woj. dolnośląskim (źródło: GIOŚ).

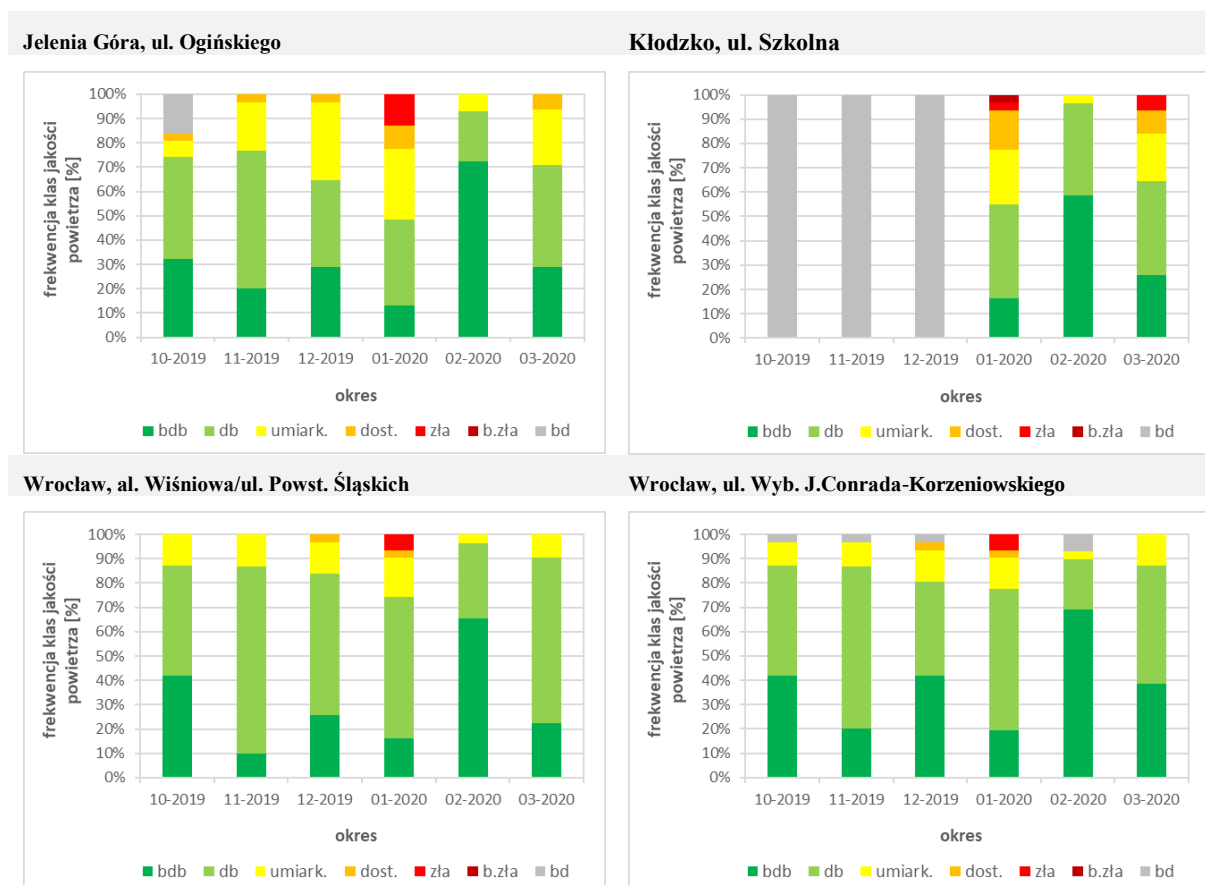
Stężenie [µg/m³]	Wrocław, Al. Wiśniowa	Wrocław, ul. Wyb. J. Conrada- Korzeniowskiego		Jelenia Góra, ul. Ogińskiego		Kłodzko, ul. Szkolna		Dzierżoniów, ul. Piłsudskiego	Legnica, al. Rzeczpospolitej	Nowa Ruda, ul. Jeziora	Wałbrzych, ul. Wysockiego
	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀
średnia sezonowa	21,9	26,4	20,4	26,9	25,0	30,1	28,0	27,9	33,2	50,6	22,9
max dobowe	80,0	94,7	87,3	100,8	97,5	121,6	115,1	157,9	132,8	289,3	115,7
min dobowe	5,1	5,7	4,0	4,1	3,7	6,0	4,3	6,5	10,2	5,2	5,1
max 1h	133,0	152,1	142,4	193,3	186,3	308,5	296,3	335,3	294,4	610,9	263,0
liczba dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego 24h PM ₁₀ (>50 µg/m³)	-	16	-	22	-	25	-	23	33	74	12
liczba dni z przekroczeniem poziomu informowania 24h PM ₁₀ (>100 µg/m³)	-	0	-	2	-	3	-	4	2	19	1
liczba dni z przekroczeniem poziomu alarmowego 24h PM ₁₀ (>150 µg/m³)	-	0	-	0	-	0	-	1	0	5	0



Rys. 5.2.8 Przebieg dobowego stężenia $PM_{2,5}$ w woj. dolnośląskim w sezonie grzewczym 2019/2020 na tle średniej dobowej temperatury powietrza we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).



Rys. 5.2.9 Przebieg dobowego stężenia $PM_{2,5}$ w woj. dolnośląskim w sezonie grzewczym 2019/2020 na tle średniej dobowej wartości prędkości wiatru we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).



Rys. 5.2.10 Frekwencja klas Polskiego Indeksu Jakości Powietrza dla pyłu $PM_{2,5}$ w woj. dolnośląskim w sezonie grzewczym 2019/2020 (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

W oparciu o dane dla sezonu 2019/2020 można stwierdzić, że wzrosty stężenia pyłu, zwłaszcza drobnego $PM_{2,5}$ występowały już w sytuacjach, kiedy średnia dobowa temperatura powietrza była poniżej $5^{\circ}C$ (rys. 5.2.8) oraz prędkość wiatru nie przekraczała 2 m/s (rys. 5.2.9). W takich samych warunkach pogodowych na stacji typu komunikacyjnego (Wrocław, al. Wiśniowa) odnotowywane stężenia były niższe niż na stacjach tła miejskiego, co najbardziej widoczne jest

w Kłodzku i w Jeleniej Górze. Na taki wzrost stężenia może mieć wpływ sektor komunalno-bytowy, który w latach 2019 i 2020 odpowiadał za największy udział w kształtowaniu jakości powietrza w woj. dolnośląskim (GIOŚ 2020, 2021).

Z punktu widzenia oddziaływania wpływu jakości powietrza na zdrowie najwygodniej ocenić ją według indeksu jakości powietrza. Na wszystkich analizowanych stacjach (rys. 5.2.10) przez co najmniej połowę dni w miesiącu stężenia $PM_{2,5}$ kształtowały się na bardzo dobrym i dobrym poziomie (we Wrocławiu tych dni było ponad 70%). Stężenia średniodobowe powyżej $75 \mu g/m^3$ (klasa zła) zarejestrowano na wszystkich stacjach w styczniu oraz w marcu na stacji pomiarowej w Kłodzku. W Kłodzku stężenie powyżej $110 \mu g/m^3$ (klasa bardzo zła) odnotowano tylko w ciągu jednego dnia w styczniu. Złym i bardzo złym klasom jakości powietrza (tj. ze stężeniem średniodobowym $PM_{2,5}$ powyżej $75 \mu g/m^3$) zazwyczaj towarzyszyły niskie temperatury, brak opadów i niewielka prędkość wiatru (rys. 5.2.8 i rys. 5.2.9). Warunki takie występują podczas pogody wyżowej, a jej oddziaływanie zaznaczało się zwłaszcza w styczniu 2020 r.

5.3. Charakterystyka warunków meteorologicznych i aerosanitarnych w sezonie grzewczym 2016/2017 w województwie kujawsko-pomorskim

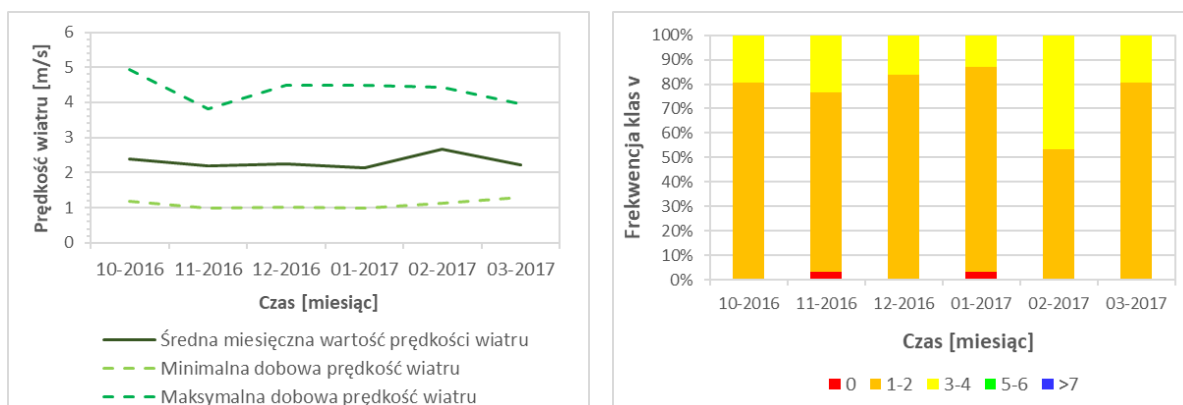
Największym problemem w skali województwa kujawsko-pomorskiego w latach 2016 i 2017 pozostawał wysoki poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym. W kształtowaniu jakości powietrza główny udział miał sektor komunalno-bytowy, czyli indywidualne ogrzewanie budynków (głównie mieszkalnych). Do pozostałych przyczyn wzrostu stężenia pyłu zaliczono wpływ naturalnych źródeł emisji lub zjawisk nie związanych z działalnością człowieka; oddziaływanie emisji z zakładów przemysłowych, ciepłowni, elektrowni zlokalizowanych w pobliżu, a także oddziaływanie emisji związanej z ruchem pojazdów na głównej drodze leżącej w pobliżu stacji pomiarowej (WIOŚ 2017a, 2018a). Dlatego najwyższe stężenia pyłu zawieszonego pojawiają się właśnie w sezonie grzewczym, kiedy odnotowuje się najwięcej dni chłodnych i mroźnych.

Tabela 5.3.1 Charakterystyka warunków termicznych i wiatrowych w Toruniu w sezonie grzewczym 2016/2017 (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

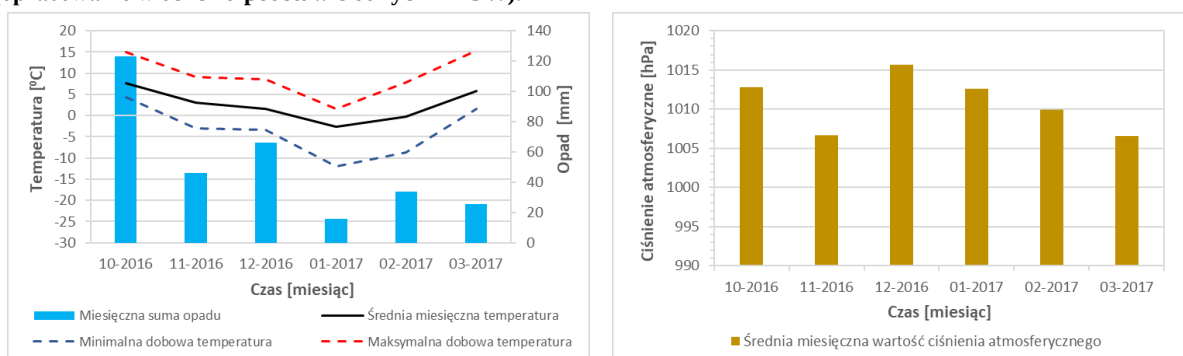
Sezon	Miesiąc	T_{sr} [°C]	T_{max} dobowa [°C]	T_{min} dobowa [°C]	Liczba dni			V_{sr} [m/s]	V godzin <0,5m/s [%]
					Bardzo mroźne ($T_{min} < -10^{\circ}C$)	Mroźne ($T_{max} < 0^{\circ}C$)	Przymrozkowe ($T_{min} < 0^{\circ}C$)		
2016/2017	2016-10	7,6	15,0	4,4	0	0	1	2,4	4,4
	2016-11	3,0	9,2	-3,1	0	0	17	2,2	6,8
	2016-12	1,6	8,7	-3,4	0	1	17	2,3	3,8
	2017-01	-2,6	1,7	-12,0	5	12	29	2,1	5,1
	2017-02	-0,2	7,8	-8,6	0	11	19	2,7	1,9
	2017-03	5,9	15,3	1,5	0	0	6	2,2	5,5
	Sezon	2,6	15,3	-12,0	5	24	89	2,3	4,6

Sezon grzewczy 2016/2017 (tj. okres od października 2016 do marca 2017) w Toruniu był chłodniejszy pod względem temperatury z przeciętnymi warunkami panującymi w wieloleciu 2013-2022. Średnia dobową temperatura powietrza wynosiła w tym okresie 2,6°C, analogiczna średnia dla wielolecia to 3,5°C. Był to również najzimniejszy sezon w ostatnim 10-leciu. Najchłodniejszym miesiącem był styczeń ze średnią temperaturą -2,6°C. Wtedy też odnotowano najwięcej dni przymrozkowych, mroźnych i bardzo mroźnych (tabela 5.3.1).

Średnia prędkość wiatru dla sezonu 2016/2017 wyniosła 2,3 m/s. Najniższa średnia prędkość wiatru odnotowana została w styczniu (2,1 m/s), najwyższa – w lutym (2,7 m/s). Najwięcej godzin z ciszą odnotowano w listopadzie. Najczęściej średnie dobowe prędkości wiatru (3-4 m/s) odnotowywano w lutym, brak wiatru >5 m/s (rys. 5.3.1). Największy opad wystąpił w październiku (najcieplejszym miesiącu), zaś najmniejszy w styczniu (najzimniejszym miesiącu). Sezon charakteryzował się wysokimi średnimi wartościami ciśnienia atmosferycznego (rys. 5.3.2).



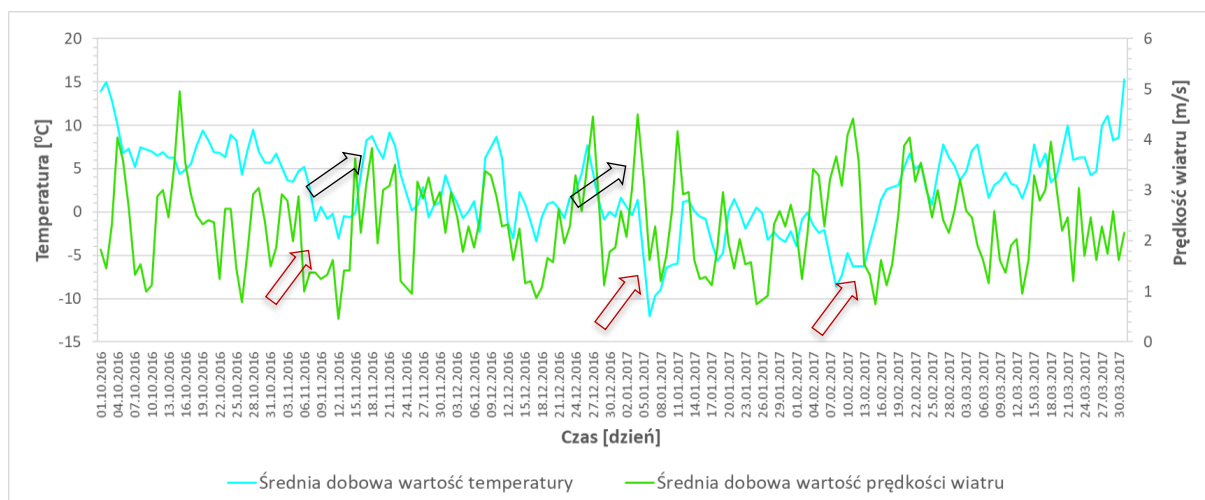
Rys. 5.3.1 Charakterystyka warunków meteorologicznych w Toruniu w sezonie grzewczym 2016/2017: średniej miesięcznej wartości prędkości wiatru (po lewej stronie) oraz frekwencji prędkości wiatru w klasach (po prawej stronie) (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).



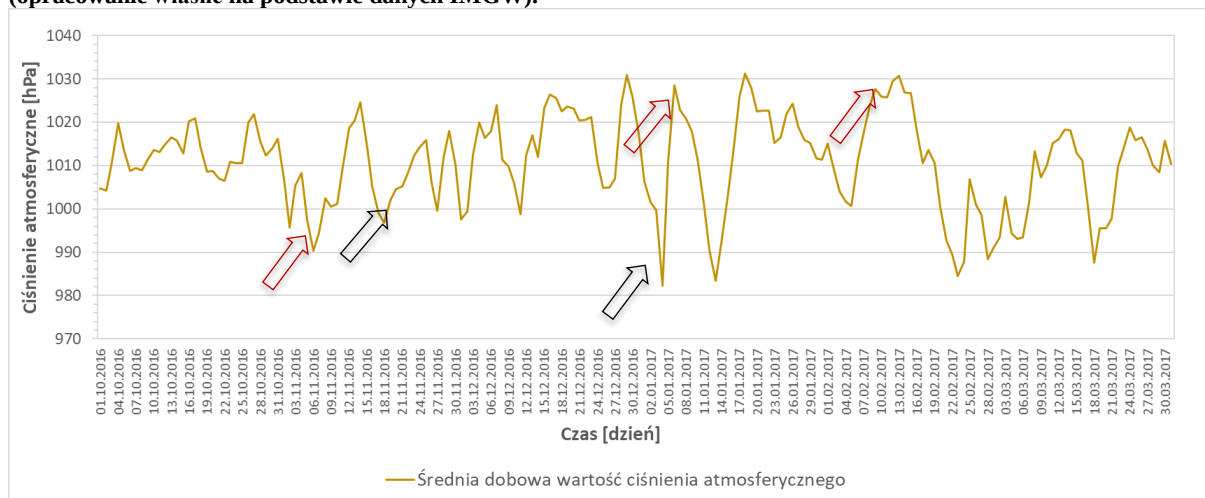
Rys. 5.3.2 Charakterystyka warunków meteorologicznych w Toruniu w sezonie grzewczym 2016/2017: temperatury powietrza oraz opadów (po lewej stronie) oraz średniej wartości ciśnienia atmosferycznego (po prawej stronie) (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

W badanym okresie wzrost prędkości wiatru często skorelowany był z wystąpieniem ociepleń, zwłaszcza na przełomie listopada i grudnia (rys. 5.3.3) – przykłady na wykresie oznaczono czarną strzałką. Takim sytuacjom towarzyszył spadek ciśnienia atmosferycznego (rys. 5.3.4). W styczniu i lutym spadki temperatury poniżej 0°C występowały wraz ze spadkiem prędkości

wiatru i wzrostem ciśnienia atmosferycznego – przykłady na wykresie oznaczono czerwoną strzałką. Zmienność ta związana jest z uwarunkowaniami synoptycznymi – naprzemiennym występowaniem pogody cyklonalnej, z intensywnym napływem relatywnie ciepłych mas powietrza oraz pogody antycyklonalnej, o znacznie mniejszej dynamice, sprzyjającej przymrozkom i mrozom.



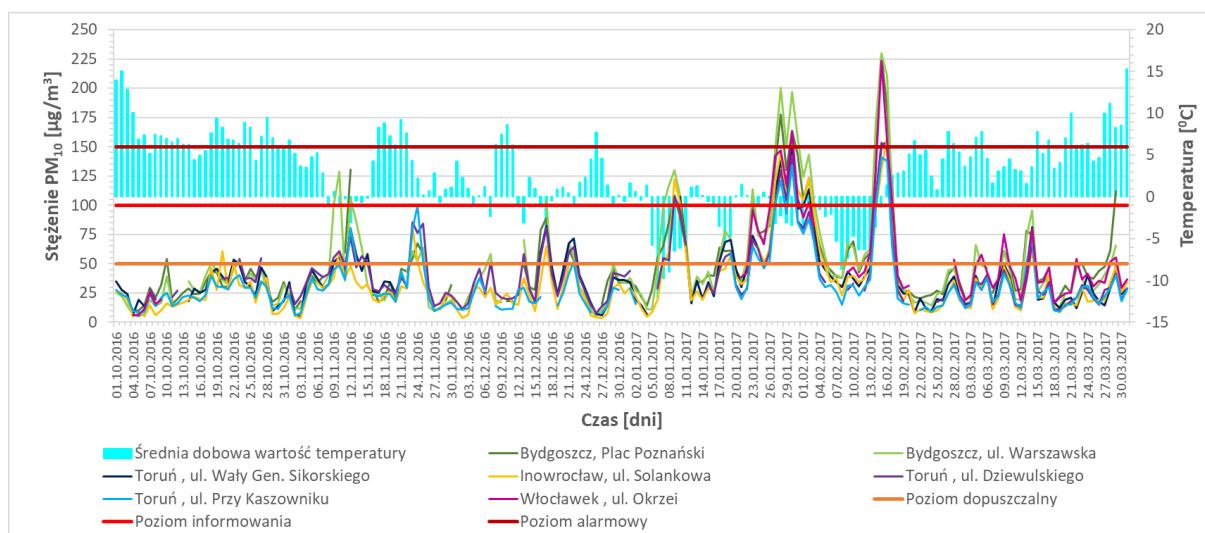
Rys. 5.3.3 Przebieg temperatury powietrza oraz prędkości wiatru w sezonie grzewczym 2016/2017 we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).



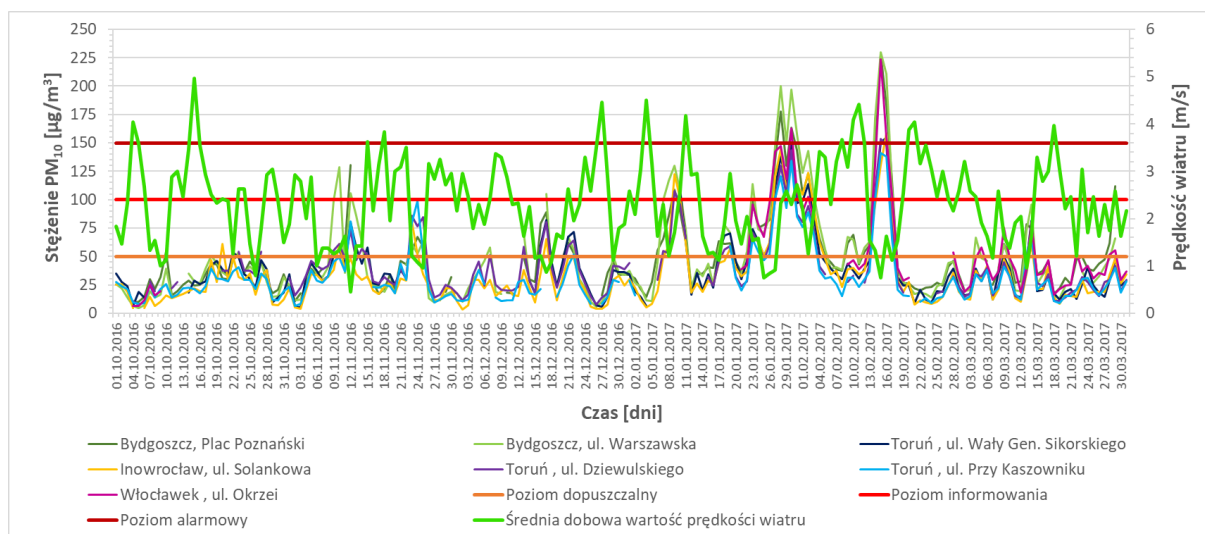
Rys. 5.3.4 Przebieg wartości ciśnienia atmosferycznego w sezonie grzewczym 2016/2017 w Toruniu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

Sezon grzewczy 2016/2017 był bardzo niekorzystny pod względem warunków aerosanitarnych. Pomimo dodatnich temperatur powietrza (temperatura minimalna $4,4^{\circ}\text{C}$) już w październiku stężenia pyłu zawieszonego PM_{10} przekraczały poziom dopuszczalny, a w listopadzie wraz ze spadkiem temperatury poniżej 0°C stężenia PM przekroczyły poziom informowania (rys. 5.3.5). Spadek stężenia rejestrowany był głównie w przypadkach podwyższonych prędkości wiatru (rys. 5.3.6). Najwyższe stężenia PM_{10} odnotowywane były od stycznia do połowy lutego, wówczas na wszystkich analizowanych stacjach (z wyjątkiem stacji zlokalizowanej w Toruniu przy ul. Przy Kaszowniku) stwierdzono przekroczenie poziomu alarmowego. Najwięcej dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego

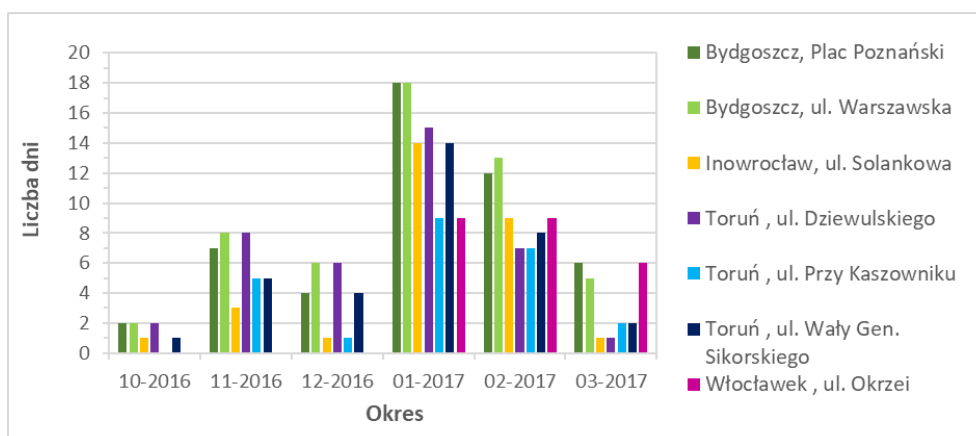
zarejestrowano w styczniu, ich liczba wahała się od 9 dni w Toruniu przy ul. Przy Kaszowniku i we Wrocławsku do 18 dni na obu stacjach w Bydgoszczy (rys. 5.3.7) Niestety marzec nie przyniósł poprawy jakości powietrza – stężenia pyłu nadal przekraczały średniodobowy poziom dopuszczalny stanowiący zagrożenie dla zdrowia mieszkańców.



Rys. 5.3.5 Przebieg dobowego stężenia PM_{10} w woj. kujawsko-pomorskim w sezonie grzewczym 2016/2017 na tle średniej dobowej temperatury powietrza we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).



Rys. 5.3.6 Przebieg dobowego stężenia PM_{10} w woj. kujawsko-pomorskim sezonie grzewczym 2016/2017 na tle średniej dobowej wartości prędkości wiatru we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).



Rys. 5.3.7 Liczba dni z przekroczeniem poziomu dopuszczanego pyłu PM₁₀ (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

Najwięcej dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego pyłu PM₁₀ odnotowano w Bydgoszczy (tabela 5.3.2). Przy ul. Warszawskiej przez 52 dni średniodobowe stężenie pyłu PM₁₀ przekraczało poziom 50 µg/m³, a przez 6 dni stężenie pyłu przekraczało poziom alarmowy tj. 150 µg/m³. Przy pl. Poznańskim poziom dopuszczalny został przekroczony 49 razy, a poziom alarmowy 4 razy. Przy ul. Warszawskiej w Bydgoszczy w dniu 15.02.2017 r. zarejestrowano najwyższe średniodobowe stężenie (229,8 µg/m³), zaś w dniu 09.11.2016 r. maximum godzinowe (408,2 µg/m³).

Według danych przedstawionych przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Bydgoszczy (WIOŚ 2018b), w 2017 r. (od stycznia do marca) odznaczył się udział wpływu posypywania dróg piaskiem i solą w pobliżu komunikacyjnych stacji pomiarowych na wzrost stężenia PM₁₀. Na stanowisku pomiarów automatycznych wpływ ten udokumentowano:

- w Bydgoszczy przy pl. Poznańskim w ciągu 12 dni – w tym w ciągu 2 dni (10 lutego i 28 marca) odnotowano stężenia 24h wyższe niż 50 µg/m³),
- w Toruniu przy ul. Przy Kaszowniku w ciągu 1 dnia,
- we Włocławku przy ul. Okrzei w ciągu 6 dni – w tym w ciągu 1 dnia (25 stycznia) odnotowano stężenia 24h wyższe niż 50 µg/m³).

Tabela 5.3.2 Stężenie pyłu PM_x od października 2016 do marca 2017 w woj. kujawsko-pomorskim (źródło: GIOŚ).

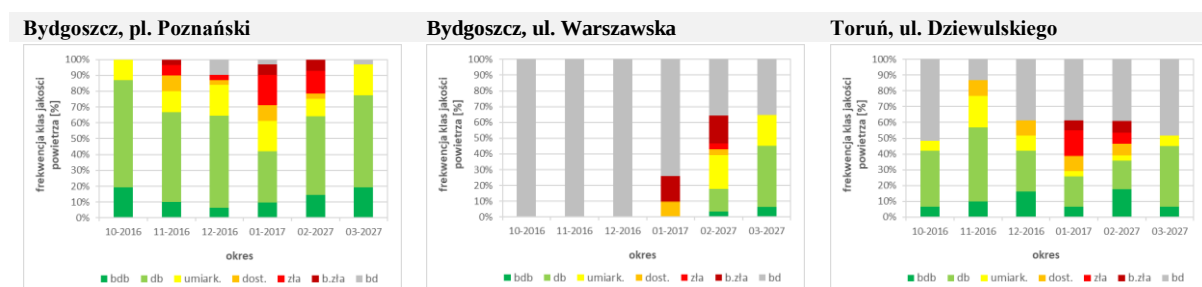
Stężenie [µg/m ³]	Bydgoszcz, Plac Poznański		Bydgoszcz, ul. Warszawska		Toruń, ul. Dziewulskiego		Włocławek, ul. Okrzei	Toruń, ul. Przy Kaszowniku	Toruń, ul. Wały Gen. Sikorskiego	Inowrocław, ul. Solankowa
	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀
średnia sezonowa	48,3	34,8	48,5	70,4	41,7	33,8	57,9	34,7	40,4	34,4
max dobowe	228,4	176,4	229,8	173,0	153,3	128,3	223,5	140,7	154,5	158,2
min dobowe	9,4	4,9	4,8	7,7	7,5	6,9	6,1	6,1	5,1	3,3
max 1h	399,3	330,4	408,2	306,0	220,0	205,4	360,4	245,6	275,3	228,8
liczba dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego 24h PM ₁₀ (>50 µg/m ³)	49	-	52	-	39	-	24	24	34	29

Stężenie [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Bydgoszcz, Plac Poznański		Bydgoszcz, ul. Warszawska		Toruń, ul. Dziewulskiego		Włocławek, ul. Okrzei	Toruń, ul. Przy Kaszowniku	Toruń, ul. Wały Gen. Sikorskiego	Inowrocław, ul. Solankowa
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀
liczba dni z przekroczeniem poziomu informowania 24h PM ₁₀ (>100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14	-	19	-	7	-	10	6	9	11
liczba dni z przekroczeniem poziomu alarmowego 24h PM ₁₀ (>150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4	-	6	-	1	-	3	0	2	1

Według danych przedstawionych przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Bydgoszczy (WIOŚ 2018b), w 2017 r. (od stycznia do marca) odznaczył się udział wpływu posypywania dróg piaskiem i solą w pobliżu komunikacyjnych stacji pomiarowych na wzrost stężenia PM₁₀. Na stanowisku pomiarów automatycznych wpływ ten udokumentowano:

- w Bydgoszczy przy pl. Poznańskim w ciągu 12 dni – w tym w ciągu 2 dni (10 lutego i 28 marca) odnotowano stężenia 24h wyższe niż 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
- w Toruniu przy ul. Przy Kaszowniku w ciągu 1 dnia,
- we Włocławku przy ul. Okrzei w ciągu 6 dni – w tym w ciągu 1 dnia (25 stycznia) odnotowano stężenia 24h wyższe niż 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Z punktu widzenia oddziaływania wpływu jakości powietrza na zdrowie najwygodniej ocenić ją według indeksu jakości powietrza. Niestety duży brak danych godzinnych dla pyłu PM_{2.5} nie pozwala w pełni ocenić jakości powietrza na stacji tła miejskiego w Bydgoszczy i w Toruniu (rys. 5.3.8). W Bydgoszczy przy pl. Poznańskim najwięcej dni ze stężeniami PM_{2.5} utrzymującymi się umiarkowanym lub wyższym poziomie odnotowano w styczniu (17 dni) oraz w listopadzie i w lutym (10 dni). Z dostępnych danych, w styczniu i w lutym w Bydgoszczy przy ul. Warszawskiej odnotowano aż 11 dni ze złą i bardzo złą jakością powietrza na 26 dni pomiarowych, zaś w Toruniu 11 takich dni na 36 dni pomiarowych.

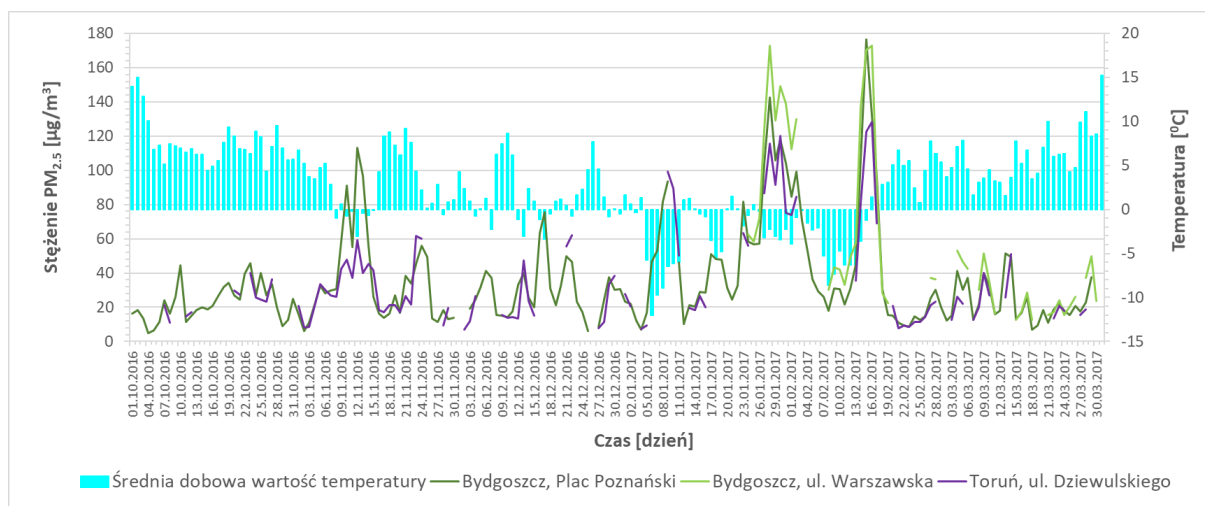


Rys. 5.3.8 Frekwencja klas Polskiego Indeksu Jakości Powietrza dla pyłu PM_{2.5} w woj. kujawsko-pomorskim w sezonie grzewczym 2016/2017 (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

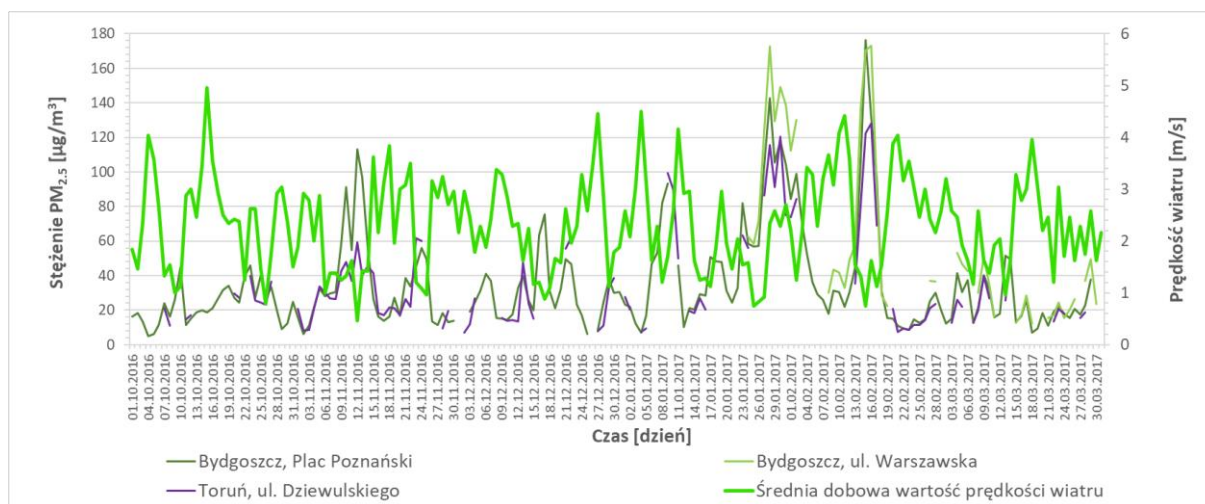
Złym i bardzo złym klasom jakości powietrza (tj. ze stężeniem średniodobowym PM_{2.5} powyżej 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) zazwyczaj towarzyszyły niskie temperatury, brak opadów i niewielka prędkość wiatru (rys. 5.3.9 i rys. 5.3.10). Warunki takie występują podczas pogody wyżowej, a jej

oddziaływanie zaznaczało się zwłaszcza w okresie od grudnia 2016 r. do lutego 2017 r. w odniesieniu do frekwencji Polskiego Indeksu Jakości Powietrza.

W oparciu o dane dla sezonu 2016/2017 można stwierdzić, że złym i bardzo złym klasom jakości powietrza zazwyczaj towarzyszyły niskie temperatury, brak opadów i niewielka prędkość wiatru. Warunki takie występują podczas pogody wyżowej, a jej oddziaływanie zaznaczało się zwłaszcza w styczniu i lutym 2017 r. (rys. 5.3.9 i rys. 5.3.10).



Rys. 5.3.9 Przebieg dobowego stężenia $PM_{2,5}$ w woj. kujawsko-pomorskim w sezonie grzewczym 2016/2017 na tle średniej dobowej temperatury powietrza we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).



Rys. 5.3.10 Przebieg dobowego stężenia $PM_{2,5}$ w woj. kujawsko-pomorskim w sezonie grzewczym 2016/2017 na tle średniej dobowej wartości prędkości wiatru we Wrocławiu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).

5.4. Charakterystyka warunków meteorologicznych i aerosanitarnych w sezonie grzewczym 2019/2020 w województwie kujawsko-pomorskim

W 2019 i 2020 r. największym problemem w skali województwa kujawsko-pomorskiego pozostawał wysoki poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym. W kształtowaniu jakości powietrza główny udział miał sektor komunalno-bytowy, czyli ogrzewanie budynków (głównie mieszkalnych) oraz utrudnione warunki rozprzestrzeniania zanieczyszczeń. Udział tego sektora w emisji $PM_{2,5}$ w roku 2020 znacznie wzrósł w stosunku do roku 2019. W woj. kujawsko-pomorskim wzrost ten wyniósł 5,7% i stanowi 84,1% całkowitej emisji (GIOŚ 2021b, 2022b).

Główne źródło emisji pyłu zawieszonego PM_{10} w 2020 r. stanowiła emisja komunalno – bytowa i w Bydgoszczy, największym mieście w województwie, odpowiadała za 79,7% całkowitej emisji, zaś w Toruniu, drugim co do wielkości mieście województwa, 79,3%. We Włocławku głównym źródłem PM_{10} była emisja punktowa (71%), zaś sektor komunalno-bytowy odpowiadał za 24,6% emisji (GIOŚ 2022b).

Dlatego też najwyższe stężenia pyłu zawieszonego pojawiają się właśnie w sezonie grzewczym, kiedy odnotowuje się najwięcej dni chłodnych i mroźnych.

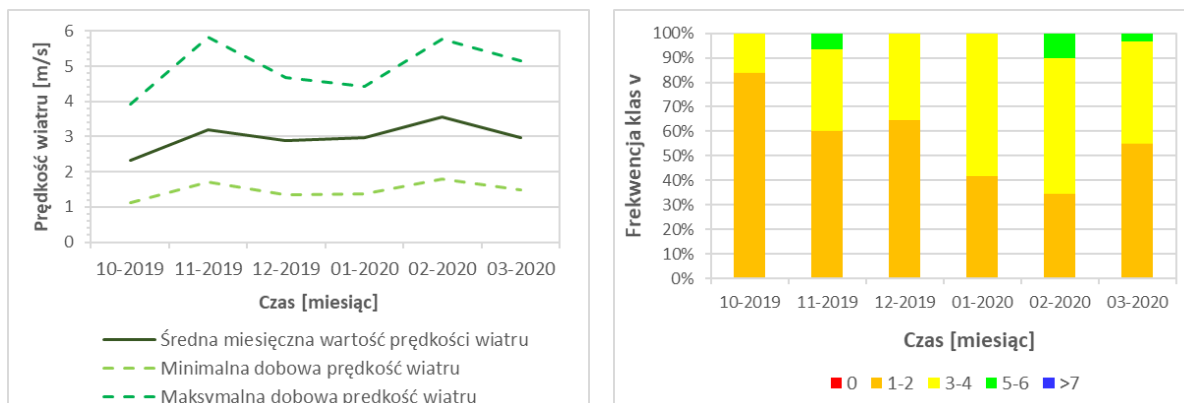
Sezon grzewczy 2019/2020 (tj. okres od października 2019 do marca 2020) charakteryzował się znacznie wyższymi temperaturami powietrza niż średnia w wieloleciu 2013-2022. Średnia dobową temperatura powietrza wynosiła w tym okresie w Toruniu 5,2°C, analogiczna średnia dla wielolecia to 3,5°C. Był to również najcieplejszy sezon w ostatnim 10-leciu. Najchłodniejszym miesiącem był grudzień ze średnią temperaturą -1,7°C, jednakże najwięcej dni przymrozkowych wystąpiło w styczniu. W całym analizowanym okresie nie odnotowano zarówno dni mroźnych jak i bardzo mroźnych (tabela 5.4.1).

Tabela 5.4.1 Charakterystyka warunków termicznych i wiatrowych w Toruniu w sezonie grzewczym 2016/2017 (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

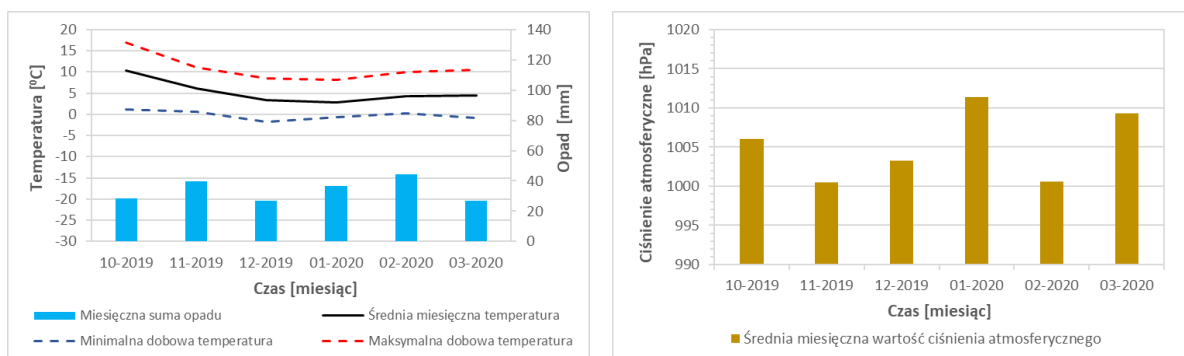
Sezon	Miesiąc	T_{sr} [°C]	T_{max} dobowa [°C]	T_{min} dobowa [°C]	Liczba dni			V_{sr} [m/s]	V godzin <0,5m/s [%]
					Bardzo mroźne ($T_{min} < -10^{\circ}C$)	Mroźne ($T_{max} < 0^{\circ}C$)	Przymrozkowe ($T_{min} < 0^{\circ}C$)		
2019/2020	2019-10	10,4	17,0	1,2	0	0	4	2,3	3
	2019-11	6,0	11,1	0,7	0	0	3	3,2	1
	2019-12	3,3	8,6	-1,7	0	0	9	2,9	0
	2020-01	2,8	8,2	-0,7	0	0	11	3,0	0
	2020-02	4,2	10,0	0,2	0	0	9	3,5	0
	2020-03	4,5	10,6	-0,9	0	0	15	3,0	2
	Sezon	5,2	17,0	-1,7	0	0	51	3,0	1,1

Średnia prędkość wiatru dla sezonu 2019/2020 wyniosła 3,0 m/s. Najniższa średnia prędkość wiatru odnotowana została w październiku (2,3 m/s), najwyższa – w lutym (3,5 m/s). Najwięcej godzin z ciszą odnotowano w marcu. Najczęściej średnie prędkości wiatru (3-4 m/s)

odnotowywano w styczniu (58% dni), wiatru silnego (>7 m/s) nie odnotowano (rys. 5.4.1). Największy opad wystąpił w lutym, zaś najmniejszy w grudniu i w marcu. Ciśnienie atmosferyczne w sezonie najwyższe było w styczniu (rys. 5.4.2).

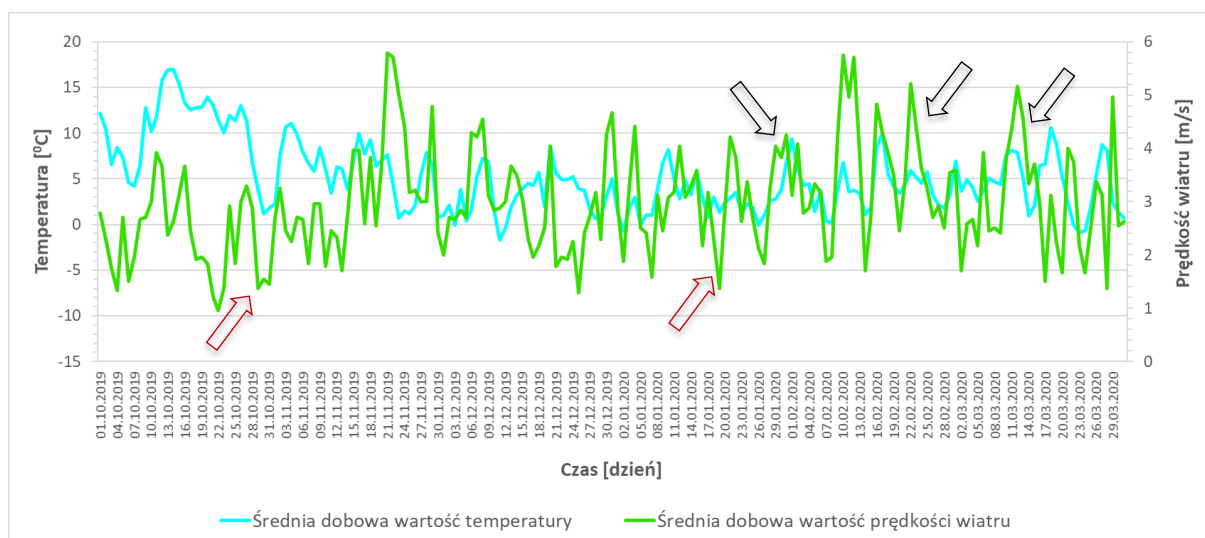


Rys. 5.4.1 Charakterystyka warunków meteorologicznych w Toruniu w sezonie grzewczym 2019/2020: średniej miesięcznej prędkości wiatru (po lewej stronie) oraz frekwencji prędkości wiatru w klasach (po prawej stronie) (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

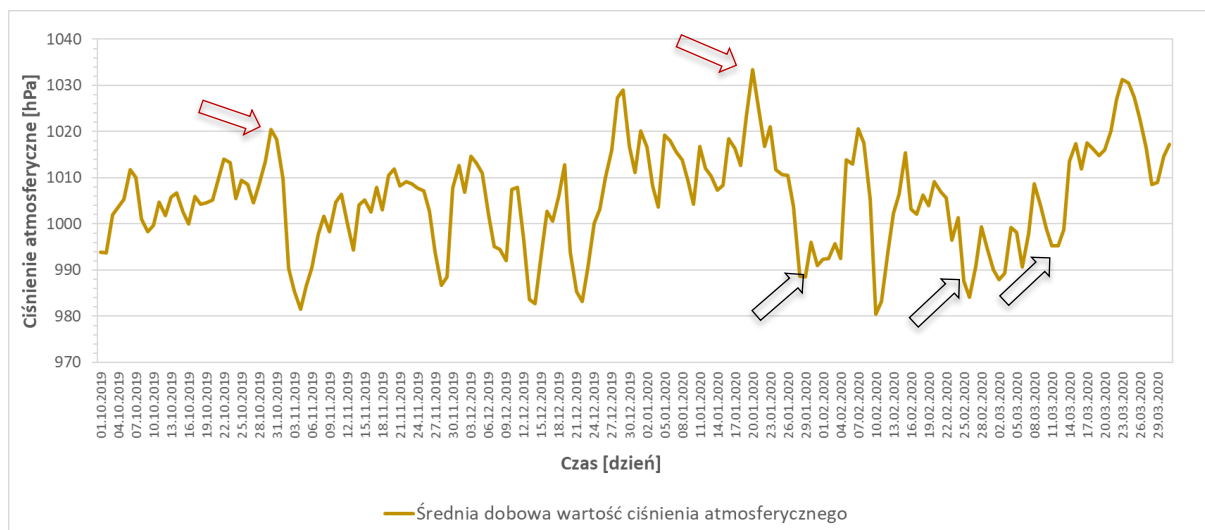


Rys. 5.4.2 Charakterystyka warunków meteorologicznych w Toruniu w sezonie grzewczym 2019/2020: temperatury powietrza oraz opadów (po lewej stronie) oraz ciśnienia atmosferycznego (po prawej stronie) (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

W badanym okresie wzrost prędkości wiatru w wielu przypadkach skorelowany był z wystąpieniem ociepleń – przykłady na wykresie oznaczono czarną strzałką (rys. 5.4.3). Takim sytuacjom towarzyszył spadek ciśnienia atmosferycznego (rys. 5.4.4). W grudniu, w styczniu i w marcu spadki temperatury poniżej 0°C występowały wraz ze spadkiem prędkości wiatru i wzrostem ciśnienia atmosferycznego – na wykresie oznaczono czerwoną strzałką. Zmienność ta związana jest z uwarunkowaniami synoptycznymi – naprzemiennym występowaniem pogody cyklonalnej, z intensywnym napływem relatywnie ciepłych mas powietrza oraz pogody antycyklonalnej, o znacznie mniejszej dynamice, sprzyjającej przymrozkom i mrozom.

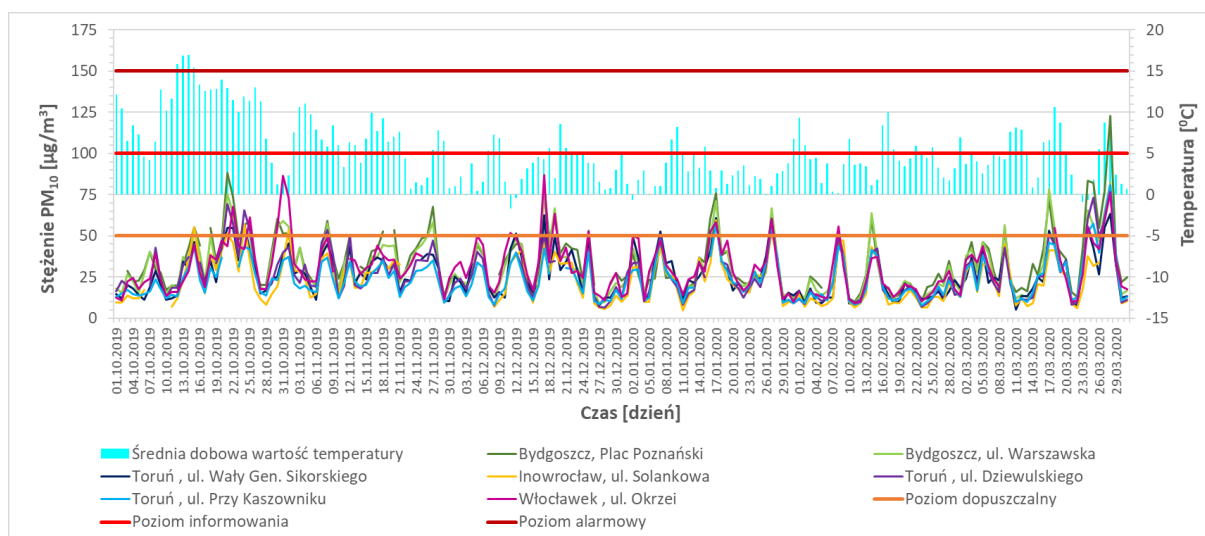


Rys. 5.4.3 Przebieg temperatury powietrza oraz prędkości wiatru w sezonie grzewczym 2019/2020 w Toruniu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

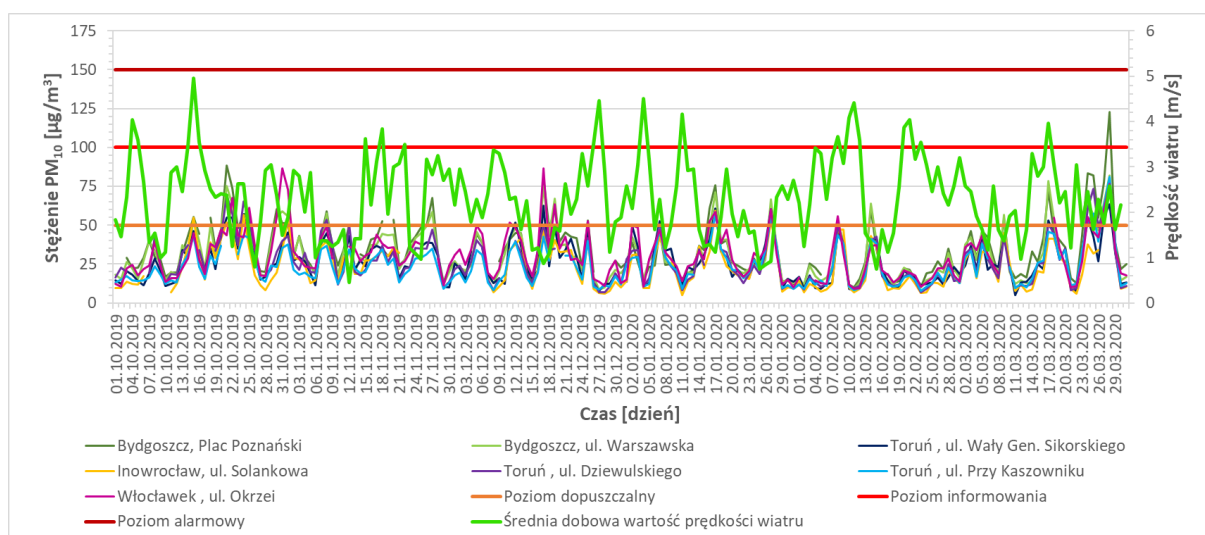


Rys. 5.4.4 Przebieg wartości ciśnienia atmosferycznego w sezonie grzewczym 2019/2020 w Toruniu (opracowanie własne na podstawie danych IMGW).

Sezon grzewczy 2019/2020 był bardzo zróżnicowany pod względem warunków aerosanitarnych. Przez większą jego część stężenia pyłu zawieszonego były na poziomie nie stanowiącym zagrożenia dla mieszkańców, jednakże odnotowano kilka epizodów, kiedy dobowe stężenie pyłu zawieszonego przekroczyło poziom dopuszczalny. Wzrost stężenia PM_{10} powyżej $50 \mu g/m^3$ rejestrowany był już w październiku przy dodatnich temperaturach powietrza sięgających powyżej 10^0C i słabym wietrze (rys. 5.4.5). Spadek stężenia rejestrowany był głównie w przypadkach podwyższonych prędkości wiatru (rys. 5.4.6).

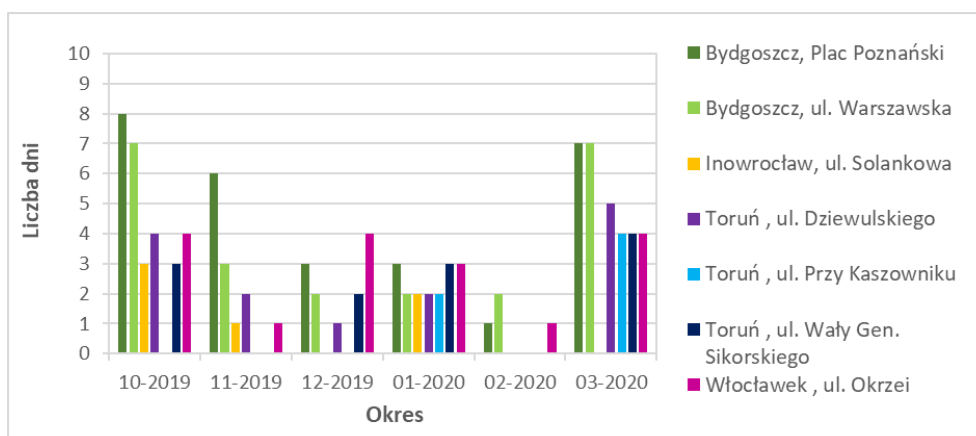


Rys. 5.4.5 Przebieg dobowego stężenia PM_{10} w woj. kujawsko-pomorskim w sezonie grzewczym 2019/2020 na tle średniej dobowej temperatury powietrza w Toruniu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).



Rys. 5.4.6 Przebieg dobowego stężenia PM_{10} w woj. kujawsko-pomorskim w sezonie grzewczym 2019/2020 na tle średniej dobowej wartości prędkości wiatru w Toruniu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).

Łącznie we wszystkich analizowanych lokalizacjach najwięcej dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego odnotowano w marcu (31 dni), czyli na koniec sezonu grzewczego i w październiku (29 dni) wraz z rozpoczęciem sezonu (rys. 5.4.7). Na poszczególnych stacjach poziom $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ był przekraczany od 6 dni (w Inowrocławiu i w Toruniu przy ul. Przy Kaszowniku) do 28 dni (w Bydgoszczy przy pl. Poznańskim) (tabela 5.4.2). W ciągu całego okresu poziom informowania dla PM_{10} został przekroczony jeden raz na stacji pomiarowej przy pl. Poznańskim w Bydgoszczy w dniu 28.03.2020 r., wtedy też zarejestrowano najwyższe średniodobowe stężenie na badanym obszarze ($122,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i maksimum godzinowe ($341,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

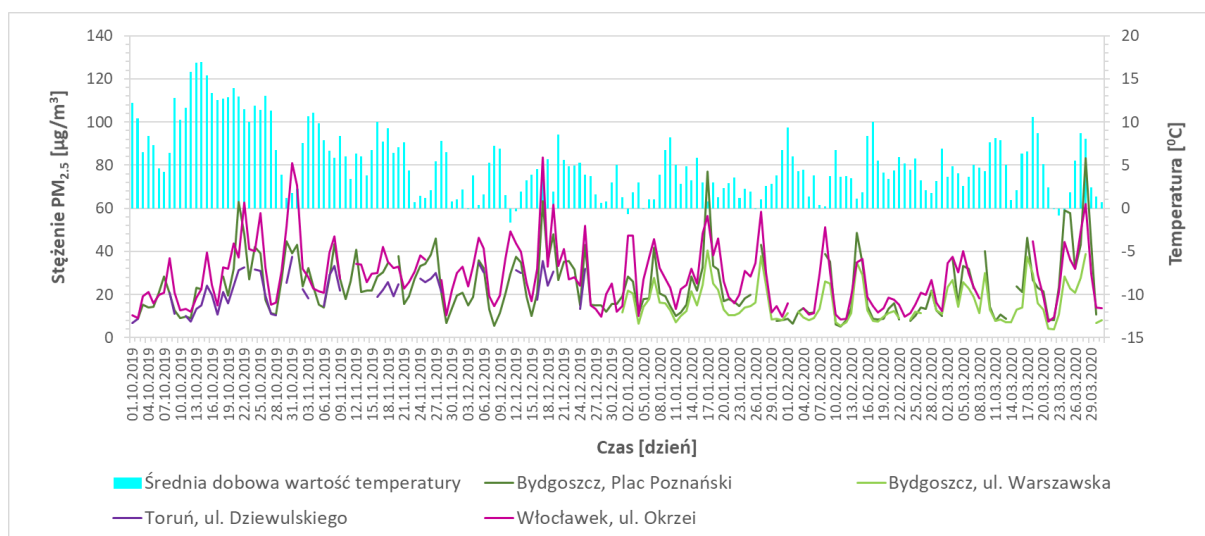


Rys. 5.4.7 Liczba dni z przekroczeniem poziomu dopuszczanego pyłu PM₁₀ (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ).

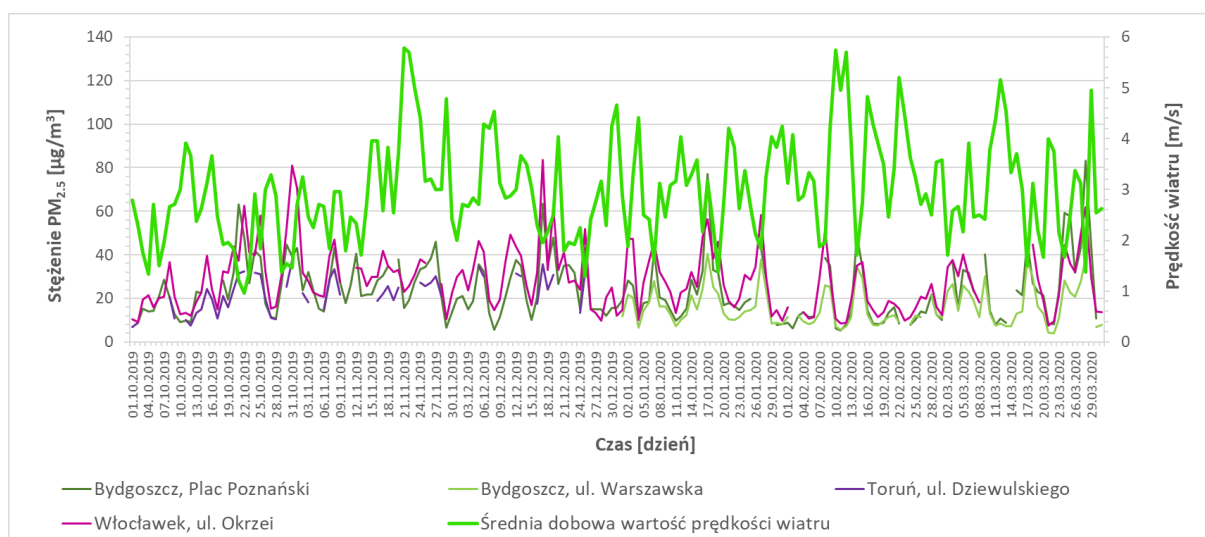
Tabela 5.4.2 Stężenie pyłu PM_x od października 2019 do marca 2020 w woj. kujawsko-pomorskim (źródło: GIOŚ).

Stężenie [µg/m ³]	Bydgoszcz, Plac Poznański		Bydgoszcz, ul. Warszawska		Włocławek, ul. Okrzei		Toruń, ul. Dziewulskiego		Toruń, ul. Przy Kaszowniku	Toruń, ul. Wały Gen. Sikorskiego	Inowrocław, ul. Solankowa
	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀
średnia sezonowa	34,5	23,8	31,0	15,9	30,8	28,4	26,2	23,1	23,7	26,1	23,3
max dobowe	122,7	83,1	82,1	40,5	86,8	83,5	76,5	37,7	81,1	5,3	59,4
min dobowe	10,0	5,3	8,6	3,9	9,0	7,5	6,7	7,0	7,7	63,4	4,9
max 1h	341,0	305,3	209,4	125,7	238,7	228,1	207,1	116,7	178,3	195,1	174,0
liczba dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego 24h PM ₁₀ (>50 µg/m ³)	28	-	23	-	17	-	14	-	6	12	6
liczba dni z przekroczeniem poziomu informowania 24h PM ₁₀ (>100 µg/m ³)	1	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0
liczba dni z przekroczeniem poziomu alarmowego 24h PM ₁₀ (>150 µg/m ³)	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0

W oparciu o dane dla sezonu 2019/2020 można stwierdzić, że wzrosty stężenia pyłu, zwłaszcza drobnego PM_{2,5} występowały już w sytuacjach, kiedy średnia dobową temperatura powietrza była poniżej 5°C (rys. 5.4.8) oraz prędkość wiatru nie przekraczała 2 m/s (rys. 5.4.9).



Rys. 5.4.8 Przebieg dobowego stężenia $PM_{2,5}$ w woj. kujawsko-pomorskim w sezonie grzewczym 2019/2020 na tle średniej dobowej temperatury powietrza w Toruniu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).

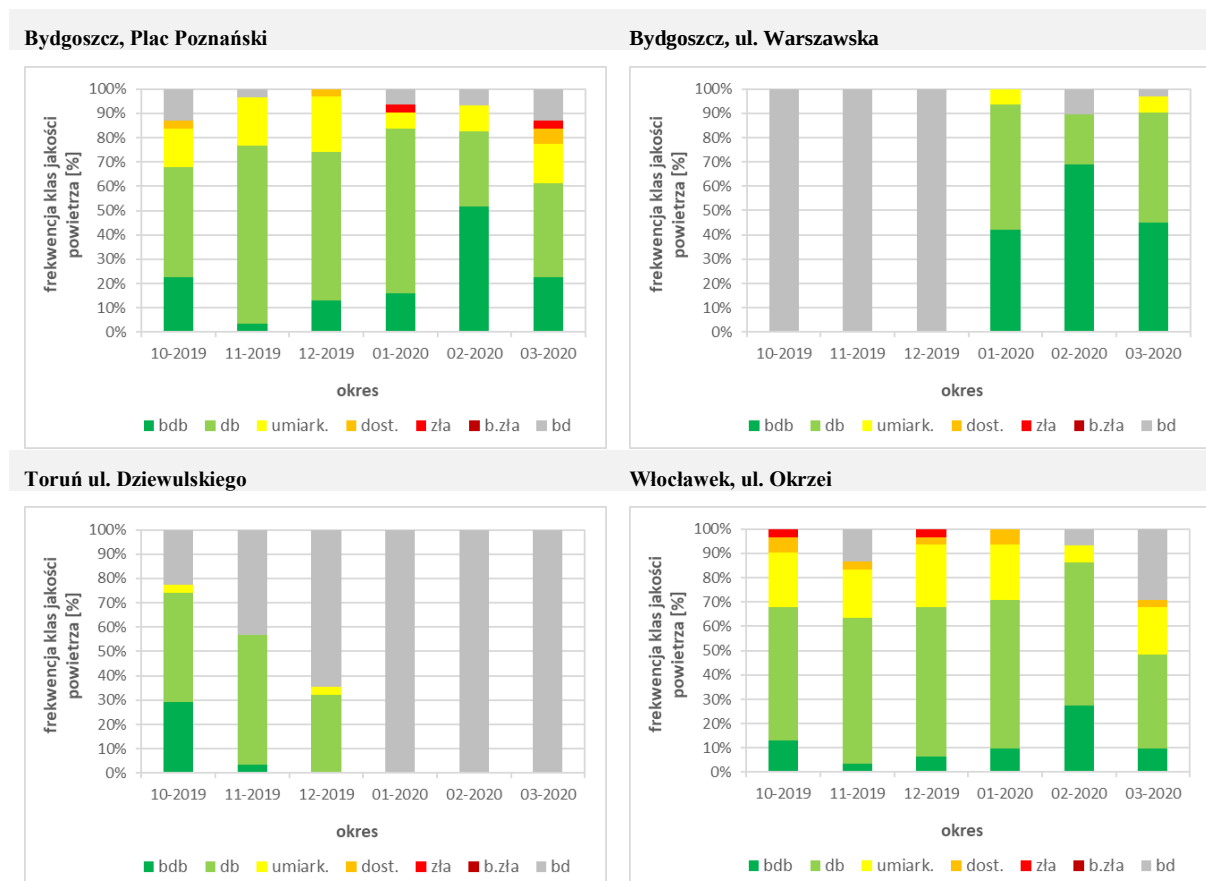


Rys. 5.4.9 Przebieg dobowego stężenia $PM_{2,5}$ w woj. kujawsko-pomorskim w sezonie grzewczym 2019/2020 na tle średniej dobowej wartości prędkości wiatru w Toruniu (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ i IMGW).

W takich samych warunkach pogodowych na stacji typu komunikacyjnego (we Włocławku i w Bydgoszczy przy pl. Poznańskim) odnotowywane stężenia były wyższe niż na stacjach tła miejskiego. Na taki wzrost stężenia, oprócz emisji z sektora komunalno-bytowego, może mieć wpływ wzmożony ruch pojazdów, który w latach 2019 i 2020 odpowiadał za ok. 6% emisji pyłu $PM_{2,5}$ w woj. kujawsko-pomorskim (GIOŚ 2020a, 2021a).

Z uwagi na oddziaływanie wpływu jakości powietrza na zdrowie najwygodniej ocenić ją według indeksu jakości powietrza. Niestety duży brak danych godzinnych dla pyłu $PM_{2,5}$ nie pozwala w pełni ocenić jakości powietrza na stacji tła miejskiego w Bydgoszczy i w Toruniu (rys. 5.4.10). Na żadnej omawianej stacji pomiarowej nie odnotowano średniodobowego stężenia $PM_{2,5}$ powyżej $100 \mu g/m^3$, a złą jakość powietrza (tj. ze stężeniem średniodobowym $PM_{2,5}$ powyżej $75 \mu g/m^3$) odnotowano po jednym dniu w październiku i w grudniu zarówno w Bydgoszczy przy pl. Poznańskim jak i we Włocławku.

Złym i bardzo złym klasom jakości powietrza zazwyczaj towarzyszyły niskie temperatury, brak opadów i niewielka prędkość wiatru. Warunki takie występowały podczas pogody wyżowej, a jej oddziaływanie zaznaczało się zwłaszcza w styczniu i w marcu 2020 r.



Rys. 5.4.10 Frekwencja klas Polskiego Indeksu Jakości Powietrza dla pyłu $PM_{2,5}$ w woj. kujawsko-pomorskim w sezonie grzewczym 2019/2020 (opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ)

5.5. Porównanie zmienności stężeń pyłu zawieszonego w woj. dolnośląskim i kujawsko-pomorskim

Analiza dostępnych danych pomiarowych za lata 2013–2022 dla stacji pomiarowych zlokalizowanych na obszarze woj. dolnośląskiego i kujawsko-pomorskiego wskazuje na występowanie zanieczyszczeń, których dopuszczalna zawartość w powietrzu jest wielokrotnie przekraczana w ciągu roku, a część przekroczeń stanowi wielokrotność wartości dopuszczalnej. Takie sytuacje wpływają negatywnie na zdrowie ludzi, zwierząt i roślinność. Zanieczyszczeniami, w przypadku których najczęściej dochodzi do przekroczeń wartości dopuszczalnych, są pyły zawieszone PM_{10} oraz $PM_{2,5}$.

Przeważający udział niskiej emisji w emisji pyłu PM_{10} przekłada się na bardzo wysokie stężenia tego zanieczyszczenia w trakcie sezonu grzewczego. Przekroczenia normy dobowej dla pyłu PM_{10} poza sezonem grzewczym obserwuje się sporadycznie, a stężenia wysokie występują wyłącznie jesienią, zimą i wczesną wiosną, a więc wtedy, gdy do ogrzewania domów używa

się paliw stałych takich jak węgiel, drewno czy niedopuszczalne prawem paliwa złej jakości (w tym odpady).

W przypadku pyłów można zauważyć, że zarówno w woj. dolnośląskim jak i kujawsko-pomorskim od sezonu grzewczego 2017/2018 znacząco spadła średnia zawartość pyłu PM_{10} mierzonego w powietrzu, o czym świadczy również zmniejszenie liczby dni z jakością powietrza powyżej klasy umiarkowanej. Dwa sezony grzewcze (2019/2020 oraz 2022/2023) przyniosły korzystny wpływ warunków meteorologicznych na zmniejszoną zawartość pyłów w powietrzu, co bardzo dobrze jest widoczne na stacjach pomiarowych w woj. kujawsko-pomorskim, gdzie nie odnotowano żadnego dnia z przekroczeniem poziomu alarmowego, a poziom informowania został przekroczony tylko raz w dniu 28.03.2020 r. na stacji typu komunikacyjnego w Bydgoszczy przy pl. Poznańskim (stężenie średniodobowe wyniosło wówczas $122,7 \mu g/m^3$). W woj. dolnośląskim poprawa warunków aerosanitarnych jest wyraźnie zauważalna w sezonie 2022/2023, gdzie nie odnotowano żadnego dnia z przekroczeniem poziomu alarmowego, a poziom informowania został przekroczony w Nowej Rudzie (19 dni) i w Wałbrzychu (1 dzień).

Niestety sezon grzewczy 2016/2017 w obu analizowanych województwach przyniósł znaczne pogorszenie jakości powietrza w stosunku do wielolecia, gdzie na wszystkich stacjach pomiarowych został przekroczony poziom informowania dla pyłu PM_{10} , a poziom alarmowy nie został przekroczony tylko na stacji typu komunikacyjnego w Toruniu przy ul. Przy Kaszowniku (woj. kujawsko-pomorskie). Dla woj. dolnośląskiego niekorzystnym sezonem z uwagi na zawartość PM_{10} w powietrzu był również sezon 2020/2021, gdy przekroczenie poziomu informowania odnotowano na wszystkich analizowanych stacjach pomiarowych (od 1 dnia w Wałbrzychu i Dzierżoniowie do 34 dni w Nowej Rudzie), a poziom alarmowy został przekroczony w Kłodzku (2 dni) i Nowej Rudzie (10 dni). Dla porównania w tym samym okresie w woj. kujawsko-pomorskim poziom alarmowy został przekroczony 1 raz na obu stacjach w Bydgoszczy, w Toruniu i Inowrocławiu, a przekroczenie poziomu informowania odnotowano od 2 dni na obu stacjach w Toruniu, Włocławku i Inowrocławiu do 6 dni w Bydgoszczy przy pl. Poznańskim.

Spadek średniorocznego stężenia PM_{10} w woj. kujawsko-pomorskim rejestrowany jest od 2019 r. i utrzymuje się na podobnym poziomie nie przekraczając dopuszczalnej polskiej rocznej normy ($40 \mu g/m^3$). W woj. dolnośląskim średnioroczne stężenia PM_{10} utrzymują się również na podobnym poziomie od 2019 r., jednakże przekroczenie normy polskiej odnotowano w Nowej Rudzie w 2021 r. (o 4,8%).

W przypadku pyłu $PM_{2,5}$ istotny spadek średniorocznego stężenia w obu województwach nastąpił w 2022 r., a najmniej dni z jakością powietrza powyżej klasy umiarkowanej odnotowano w dwóch ostatnich sezonach grzewczych (2021/2022 i 2022/2023). Jednakże tylko na stacjach pomiarowych w woj. kujawsko-pomorskim w ostatnim roku nie została przekroczona dopuszczalna polska roczna norma jakości powietrza dla pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ ($20 \mu g/m^3$), w woj. dolnośląskim przekroczenie wystąpiło tylko w Kłodzku (o 20,6%).

Przebieg miesięczny stężenia pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10} w obu województwach w latach 2013-2022 pozostaje niezmienny – jego wzrost w miesiącach zimowych, gdy następuje wzrost zużycia paliw stałych na cele grzewcze oraz spadek w okresie letnim. W miesiące zimne stężenia te są dwu, trzykrotnie wyższe niż podczas miesięcy ciepłych. Występowanie podwyższonych stężeń zależne jest także od warunków meteorologicznych, co potwierdzają epizody wysokich stężeń na przestrzeni lat. Charakterystyczny jest również przebieg dobowy – wzrost stężenia pyłu w dwóch okresach w ciągu doby: w godzinach porannych i wieczornych. Na stacjach komunikacyjnych główny wpływ na wzrost stężenia ma szczyt komunikacyjny związany z większym spalaniem paliw płynnych podczas transportu. W przypadku stacji tła miejskiego na wzrost stężenia zanieczyszczeń wpływa zwiększone zapotrzebowanie na ciepło, a tym samym wzrost zużycia paliw stałych w urządzeniach grzewczych.

Utrzymująca się w ostatnich latach tendencja spadkowa średniodobowej zawartości pyłu zawieszonego w powietrzu w sezonie grzewczym w woj. dolnośląskim i kujawsko-pomorskim może świadczyć o skutecznej kampanii edukacyjnej skierowanej w stronę mieszkańców oraz realizacji wymiany pieców zasilanych paliwami stałymi, a także ograniczeniem spalania paliw złej jakości. Niestety, bez względu na warunki meteorologiczne, w obszarze podgórskim nadal występują wysokie stężenia pyłu (w Nowej Rudzie oraz w Kłodzku), co może mieć znaczny związek z ukształtowaniem terenu, ale również z ograniczonymi możliwościami przyłączenia do sieci ciepłowniczej lub gazowej. Pomimo zmniejszonej ilości przypadków przekroczenia polskiej normy w zakresie średniorocznego stężenia pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ w ostatnich latach, norma określona przez Światową Organizację Zdrowia jest niezmiennie przekraczana w znacznym stopniu.

Podsumowanie

Niniejszy raport, opracowany w oparciu o dane o stężeniach pyłu zawieszonego, wybranych parametrach tła meteorologicznego i strukturze zużycia paliw oraz wykorzystania urządzeń grzewczych w województwie dolnośląskim i kujawsko-pomorskim prezentuje tendencję i skalę zmian jakie zaszły w latach 2013 – 2024. W opracowaniu poddano również dyskusji przyczyny tych zmian, związane ze zmianami naszych postaw, w tym wprowadzeniu uchwał antysmogowych, zmianami na rynku nośników energii czy zmianami panujących warunków meteorologicznych (zwłaszcza w sezonie zimowym), które można powiązać z globalnymi zmianami klimatu.

Jeśli chodzi o zmiany związane z nośnikami energii i wykorzystaniem urządzeń grzewczych, dostępne dane prezentowane w rozdziale 2. opracowania wskazują na pozytywny trend zmian, związany z odchodzeniem w gospodarstwach domowych od paliw węglowych, na rzecz paliw gazowych oraz (w mniejszym stopniu) alternatywnych źródeł ciepła, takich jak ogrzewanie elektryczne czy pompy ciepła. Trend ten zaznacza się zarówno w odniesieniu do zakupów nowych urządzeń jak i złożonych wniosków o dotacje w ramach krajowych i lokalnych programów wsparcia wymiany źródeł ciepła (program Czyste Powietrze i podobne). Wyraźną cezurą są tu lata 2018 i 2019, od kiedy zaznaczył się wyraźny wzrost liczby zakupów nowych urządzeń, jak również złożonych wniosków na dofinansowanie. Oczywiście wiąże się to z wejściem w życie zarówno uchwał antysmogowych, jak i programów dofinansowań. Analizując przedstawione trendy zmian należy zaznaczyć, że wiodąca rola gazu jako alternatywy dla paliw węglowych nie jest korzystna z punktu widzenia działań na rzecz przeciwdziałania globalnemu ociepleniu. Jednak z punktu widzenia działań doraźnych, zmniejszających bezpośrednio narażenie mieszkańców na zagrożenia związane z ekspozycją na podwyższone stężenia PM może być traktowana jako zjawisko pozytywne.

Oprócz pozytywnych zjawisk opisanych powyżej należy też zwrócić uwagę na zjawiska znacznie mniej korzystne, które powiązać można z sytuacjami kryzysowymi - pandemią COVID-19 i wynikającym z niej kryzysem gospodarczym oraz wojną w Ukrainie i powiązanymi z nią zmianami na rynkach nośników energii (wzrost cen, spadek dostępności niektórych paliw). Skutkowało to między innymi wzrostem poczucia niepewności i obawami przed wykluczeniem energetycznym, w przypadku korzystania z trudno dostępnych bądź kosztownych nośników energii. W opinii autorów niniejszego opracowania tym należy tłumaczyć spadek liczby zakupów kotłów gazowych w latach 2022 i 2023, jak również bardzo istotny wzrost zużycia drewna i pochodnych obserwowany od roku 2020. Warto również mocno podkreślić fakt, że mimo opisanych powyżej zmian w strukturze wykorzystywanych nośników energii i systemów grzewczych dane z Centralnej Ewidencji Emisyjności Budynków pokazują, że w Polsce wciąż około 50% gospodarstw domowych wykorzystuje do celów grzewczych urządzenia na paliwa stałe, z czego połowa to urządzenia pozaklasowe. Jest to szczególnie istotne w świetle faktu, że przewidywany w uchwałach antysmogowych termin zakazu używania takich urządzeń przypadł 1 stycznia 2024 w województwie kujawsko-pomorskim i 1 lipca 2024 w województwie dolnośląskim. Oznacza to, że w obu województwach ten wymóg uchwały nie został dotrzymany.

Pochodną struktury źródeł ciepła i wykorzystywanych nośników energii jest emisja zanieczyszczeń do powietrza, w tym przede wszystkim emisja pyłu zawieszonego. Wraz z panującymi warunkami meteorologicznymi odpowiadają one za stężenia tych substancji w powietrzu. W omawianym wieloleciu zaobserwować można wyraźny trend spadkowy stężeń PM, zaznaczający się zarówno na stacjach województwa dolnośląskiego jak i kujawsko-pomorskiego. Średnie roczne stężenia PM₁₀ na początku omawianego okresu w województwie dolnośląskim sięgały przeciętnie 40 µg/m³, a wartości maksymalne średnich rocznych, notowane na stanowisku Nowa Ruda przekraczały 50 µg/m³. Obecnie wartości średnioroczne utrzymują się na poziomie 20 µg/m³, przy maksymalnych średnich rocznych sięgających w Nowej Rudzie 30 µg/m³. Podobną sytuację obserwujemy w województwie kujawsko-pomorskim, gdzie w pierwszych latach omawianego dziesięciolecia średnie roczne stężenia PM₁₀ wynosiły około 35 µg/m³ a maksymalne średnie roczne (notowane we Włocławku) sięgały 40 µg/m³, natomiast w ostatnich latach wartości przeciętne wynoszą około 21 µg/m³ a maksima (notowane w Bydgoszczy i Włocławku) sięgają 25 µg/m³. Należy tu zaznaczyć, że wyższe stężenia notowane na Dolnym Śląsku wynikają z wzięcia pod uwagę podgórskiej stacji w Nowej Rudzie, od lat mieszczącej się w czołówce kraju i Europy, pod względem notowanych stężeń PM₁₀. Jeśli w analizie nie uwzględnilibyśmy tej stacji, zakres notowanych wartości i ich zmian w obu województwach byłby zbliżony.

Analogiczny trend zmian dotyczy stężeń pyłu PM_{2.5} (choć w tym przypadku dysponujemy znacznie mniejszą pulą danych). Na początku analizowanego dziesięciolecia na stacjach w których prowadzono pomiary stężenia PM_{2.5} przekraczały 25 µg/m³, obecnie sięgają kilkunastu µg/m³, najczęściej poniżej 15 µg/m³.

Podobne wyniki, wskazujące na stopniową poprawę warunków aerosanitarnych w omawianym okresie uzyskano również analizując liczbę dni z przekroczeniami norm jakości powietrza dla pyłu zawieszonego, czy też frekwencję klas jakości powietrza Polskiego Indeksu Jakości Powietrza.

Wykonane analizy wskazują, że głównym źródłem pyłu zawieszonego, zarówno frakcji PM₁₀ jak i PM_{2.5} jest sektor komunalno-bytowy. Świadczą o tym następujące fakty:

- sezonowa zmienność stężeń, z wysokimi wartościami przypadającymi na sezon chłodny, a w odniesieniu do danych szczegółowych - wzrost stężeń PM w okresach ochłodzeń
- dobowy rytm zmian stężeń PM nawiązujący do aktywności ludzi (maksimum poranne i wieczorne związane z ze zwiększonym zapotrzebowaniem na ciepło podczas pobytu w domu)
- relacje ilościowe między PM₁₀ a PM_{2.5}, wskazujące na większy udział cząstek bardzo drobnych (np. sadzy) w PM₁₀ w okresie zimy.

Wnioski te znajdują również potwierdzenie w analizach wykonywanych przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska.

Przyczyn obserwowanego spadku stężeń PM można upatrywać w między innymi w zmieniających się warunkach pogodowych. W ostatnim dziesięcioleciu regularnie notowano łagodne zimy z niewielką liczbą dni sprzyjających pogarszaniu się jakości powietrza (pogoda antycyklonalna – warunki bezwietrzne, zwłaszcza w nocy, możliwość wystąpienia inwersji termicznych, brak opadu, często mrozy bądź przymrozki). W ostatnich latach sytuacje takie występowały sporadycznie (1 – 2 razy w sezonie) i utrzymywały się na ogół przez okres nie przekraczający jednego tygodnia. W omawianym okresie największy udział tego typu pogód odnotowano w sezonie chłodnym 2016/2017.

Dominującym typem pogód w półroczu chłodnym była pogoda cyklonalna, z intensywną wymianą mas powietrza, relatywnie ciepła, często pochmurna i deszczowa. Warunki te sprzyjają przewietrzaniu, rozpraszaniu i usuwaniu zanieczyszczeń pyłowych z powietrza. Taki typ pogód dominował we wszystkich sezonach chłodnych omawianego dziesięciolecia, jednak szczególnym przypadkiem był tu sezon 2019/2020, który wyróżniał się wyjątkowo wysoką temperaturą powietrza i dominacją pogody cyklonalnej, na co wskazują między innymi niskie wartości ciśnienia atmosferycznego. Szczególną cechą tego sezonu był całkowity brak dni mroźnych, czyli takich w których temperatura powietrza w ciągu całej doby utrzymuje się poniżej 0 °C (wg danych ze stacji IMGW we Wrocławiu i w Toruniu).

Mimo niewątpliwego związku obserwowanej poprawy warunków aerosanitarnych z coraz łagodniejszymi zimami należy zauważyć, że czynnik meteorologiczny nie był jedynym, który wpłynął na poprawę jakości powietrza na omawianym obszarze. Wskazuje na to np. porównanie parametrów meteorologicznych w poszczególnych sezonach i notowanych podczas ich trwania stężeń PM – obserwowany trend spadku stężeń nie odzwierciedla jednoznacznie trendów zmian poszczególnych parametrów meteorologicznych. Wskazuje to na dodatkowe czynniki wpływające na jakość powietrza w omawianym okresie.

Zdaniem autorów główne znaczenie ma tutaj spadek zużycia węgla wykorzystywanego do celów grzewczych w gospodarstwach domowych. Spadek ten notowany był zarówno w województwie kujawsko-pomorskim – z poziomu 600 tys. ton/rok w roku 2013 do poziomu około 400 tys. ton/rok w roku 2022 (według dostępnych danych GUS), jak i w województwie dolnośląskim – z poziomu 850 tys. ton/rok w roku 2013 do poziomu około 550 tys. ton/rok w roku 2022. Należy też zauważyć, że najistotniejszy spadek zużycia węgla ma miejsce od roku 2018, czyli od momentu wejścia w życie uchwał antysmogowych i wprowadzenia prawodawstwa wykluczającego z obrotu najgorsze rodzaje paliw węglowych.

O roli tego czynnika w kształtowaniu jakości powietrza świadczy również porównanie wielkości zużycia węgla z liczbą stopniogrzania w poszczególnych latach, a zwłaszcza w końcówce analizowanego okresu, czyli w latach 2021 i 2022. Mimo że wyliczona dla tych lat liczba stopniogrzania jest dość wysoka, porównywalna z latami na początku analizowanego okresu (np. z rokiem 2013 i 2014), wielkość zużycia węgla i stężenia pyłu zawieszonego są w latach 2021 i 2022 znacznie niższe w porównaniu z latami 2013 i 2014.

Opisane powyżej zmiany mogą napawać pewnym optymizmem – wprowadzenie działań na rzecz poprawy jakości powietrza przynosi wymierne skutki, choć dzieje się to znacznie wolniej

niż pierwotnie zakładano, jednak należy mieć na uwadze, że przed nami stoją kolejne ważne wyzwania.

Pierwszym z nich jest dostosowanie jakości powietrza do nowych norm, wprowadzonych w końcu 2024 r. nową dyrektywą Parlamentu Europejskiego. Dostosowują one między innymi poziomy graniczne stężenie PM do znacznie bardziej rygorystycznych wytycznych Światowej Organizacji Zdrowia. Oznacza to, że w świetle nowych przepisów osiągnięty spadek stężeń PM jest niewystraszający, a obecne poziomy, np. średnioroczne dla stężeń PM_{2.5} znacząco przekraczają nową normę, wynoszącą jedynie 5 µg/m³.

Innym wyzwaniem jest bezwzględna konieczność rezygnacji z paliw kopalnych na rzecz odnawialnych źródeł energii. Oznacza to między innymi konieczność ograniczenia uprzywilejowanej pozycji paliw gazowych w strukturze nośników energii wykorzystywanych w gospodarstwach domowych. Paradoksalnie pozytywnym czynnikiem mogącym wspierać tę transformację jest wojna w Ukrainie, która zmusiła zarówno nasze państwo jak i jego obywateli do redefinicji pojęcia bezpieczeństwa energetycznego. Zdaliśmy sobie sprawę, że poleganie na importowanym gazie i węglu nie zapewni nam pełnego bezpieczeństwa. Jako pozytywny efekt tego procesu wskazać można np. wyraźny wzrost liczby użytkowanych pomp ciepła.

Summary

This report, developed based on data on particulate matter concentrations, selected meteorological background parameters, and the structure of fuel consumption and heating device usage in the Lower Silesian and Kuyavian-Pomeranian voivodeships, presents the trends and scale of changes that occurred between 2013 and 2024. The study also discusses the reasons for these changes, including shifts in societal attitudes, the introduction of anti-smog resolutions, changes in the energy carrier market, and variations in meteorological conditions (especially during the winter season), which can be linked to global climate change.

Regarding changes related to energy carriers and the use of heating devices, the available data presented in Chapter 2 of the study indicate a positive trend, with households moving away from coal-based fuels in favour of gas fuels and, to a lesser extent, alternative heat sources such as electric heating and heat pumps. This trend is evident both in the purchase of new devices and in the number of applications for subsidies under national and local programs supporting the replacement of heat sources (e.g., the “Clean Air” program and similar initiatives). The years 2018 and 2019 serve as a clear turning point, marking a significant increase in the number of new device purchases as well as applications for financial support. Naturally, this is associated with the implementation of both anti-smog resolutions and subsidy programs.

When analysing the presented trends, it is important to note that the dominant role of gas as an alternative to coal-based fuels is not beneficial from the perspective of efforts to combat global warming. However, in terms of immediate actions aimed at reducing residents' direct exposure to the hazards associated with elevated PM concentrations, this shift can be considered a positive phenomenon. Apart from the positive processes described above, it is also important to highlight significantly less favourable occurrences linked to crisis situations – namely, the COVID-19 pandemic and the resulting economic crisis, as well as the war in Ukraine and its impact on energy markets (price increases and reduced availability of certain fuels). These factors have contributed, among other things, to a growing sense of uncertainty and concerns about energy exclusion, particularly for those relying on hard-to-access or expensive energy carriers. According to the authors of this study, these circumstances explain the decline in gas boiler purchases in 2022 and 2023, as well as the significant increase in wood and wood-derived fuel consumption observed since 2020. It is also worth emphasizing that despite the aforementioned changes in the structure of energy carriers and heating systems, data from the Central Register of Building Emissions indicate that approximately 50% of households in Poland still use solid fuel heating devices, half of which are non-compliant with emissions standards. This is particularly significant in light of anti-smog resolutions, which set the ban on using such devices for January 1, 2024, in the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship and July 1, 2024, in the Lower Silesian Voivodeship. However, this requirement has not been met in either region.

The structure of heating sources and energy carriers directly affects air pollution emissions, particularly particulate matter emissions. Along with prevailing meteorological conditions, these emissions determine the concentration levels of pollutants in the air. Over the analysed multi-year period, a clear downward trend in PM concentrations has been observed, both in the

Lower Silesian and Kuyavian-Pomeranian Voivodeships. At the beginning of the examined period, the average annual PM_{10} concentration in Lower Silesia was around $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, with maximum annual averages recorded in Nowa Ruda exceeding $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Currently, average annual values remain at approximately $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, with maximum annual averages in Nowa Ruda reaching $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A similar trend is observed in the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship, where, in the early years of the analysed decade, average annual PM_{10} concentrations were around $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, with maximum annual averages (recorded in Włocławek) reaching $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In recent years, however, average concentrations have dropped to approximately $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, with maximum values (recorded in Bydgoszcz and Włocławek) reaching $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. It should be noted that the higher concentrations recorded in Lower Silesia are due to the inclusion of the mountainous station in Nowa Ruda, which has long ranked among the highest in the country and Europe in terms of PM_{10} concentrations. If this station were excluded from the analysis, the range of observed values and trends would be similar in both voivodeships.

A similar trend in changes applies to $PM_{2.5}$ dust concentrations (although in this case, we have a significantly smaller dataset). At the beginning of the analysed decade, at stations where measurements were conducted, $PM_{2.5}$ concentrations exceeded $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Currently, they reach only a dozen or so $\mu\text{g}/\text{m}^3$, most often below $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Similar results, indicating a gradual improvement in air quality conditions over the analysed period, were also obtained by analysing the number of days exceeding air quality standards for suspended particulate matter and the frequency of air quality classes in the Polish Air Quality Index.

The conducted analyses indicate that the main source of suspended particulate matter, both PM_{10} and $PM_{2.5}$ fractions, is the residential and municipal sector. This is evidenced by the following facts:

- Seasonal variability in concentrations, with high values occurring during the cold season, and in more detailed data – an increase in PM concentrations during cooling periods.
- The daily variation in PM concentrations, reflecting human activity (morning and evening peaks associated with increased demand for heat while staying at home).
- Quantitative relationships between PM_{10} and $PM_{2.5}$, indicating a higher proportion of very fine particles (e.g., soot) in PM_{10} during winter.

These conclusions are also confirmed by analyses conducted by the Chief Inspectorate for Environmental Protection.

The observed decline in PM concentrations can be attributed, among other factors, to changing weather conditions. Over the last decade, mild winters have been regularly recorded, with few days conducive to air quality deterioration (anticyclonic weather – calm conditions, especially at night, potential thermal inversions, lack of precipitation, often frost or freezing temperatures). In recent years, such situations have occurred sporadically (1–2 times per season) and generally

lasted no longer than a week. During the analysed period, the highest occurrence of such weather patterns was recorded in the cold season of 2016/2017.

The dominant weather type during the cold half of the year was cyclonic weather, characterized by intense air mass exchange, relatively warm temperatures, and frequent cloudiness and rainfall. These conditions promote ventilation, dispersion, and removal of particulate pollutants from the air. This type of weather prevailed in all cold seasons of the analysed decade, but the 2019/2020 season was a particular case, standing out due to exceptionally high air temperatures and the dominance of cyclonic weather, as indicated by low atmospheric pressure values. A distinctive feature of this season was the complete absence of frost days, meaning days when the air temperature remained below 0°C for the entire 24-hour period (according to data from IMGW stations in Wrocław and Toruń).

Despite the undeniable link between the observed improvement in air quality and increasingly mild winters, it should be noted that meteorological factors were not the only contributors to the improvement in air quality in the analysed area. This is evidenced by a comparison of meteorological parameters in different seasons and the recorded PM concentrations during those periods – the observed downward trend in PM concentrations does not directly reflect trends in changes of individual meteorological parameters. This suggests that additional factors influenced air quality during the studied period.

According to the authors, the primary factor is the decline in coal consumption for heating in households. This decline has been recorded both in the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship, where coal consumption decreased from 600,000 tons per year in 2013 to approximately 400,000 tons per year in 2022 (according to available data from the Central Statistical Office, GUS), and in the Lower Silesian Voivodeship, where consumption dropped from 850,000 tons per year in 2013 to approximately 550,000 tons per year in 2022. It is also worth noting that the most significant reduction in coal consumption has occurred since 2018, coinciding with the implementation of anti-smog regulations and the introduction of legislation banning the sale of the lowest-quality coal fuels.

The role of this factor in shaping air quality is also evidenced by the comparison of coal consumption with the number of heating degree days in individual years, particularly at the end of the analysed period, i.e., in 2021 and 2022. Although the calculated number of heating degree days for these years is quite high, comparable to the early years of the analysed period (e.g., 2013 and 2014), coal consumption and suspended particulate matter concentrations in 2021 and 2022 are significantly lower compared to 2013 and 2014.

The changes described above offer some optimism – the implementation of measures to improve air quality is yielding tangible results, although at a much slower pace than initially expected. However, it is important to recognize that significant challenges still lie ahead.

The first challenge is adapting air quality to the new standards introduced at the end of 2024 by a new directive from the European Parliament. These standards adjust the threshold levels of PM concentrations to significantly stricter guidelines set by the World Health Organization. This means that, in light of the new regulations, the achieved reduction in PM concentrations

is insufficient, and current levels – such as the annual average for PM_{2.5} concentrations – significantly exceed the new limit of just 5 µg/m³.

Another challenge is the absolute necessity of abandoning fossil fuels in favour of renewable energy sources. This includes the need to reduce the privileged position of gas fuels within the energy mix used in households. Paradoxically, a factor that may support this transformation is the war in Ukraine, which has forced both our country and its citizens to redefine the concept of energy security. We have realized that reliance on imported gas and coal does not guarantee full security. A positive outcome of this realization is, for example, the significant increase in the number of heat pumps in use.

Bibliografia

Dopke J., Obliczanie liczby stopniodni grzania według metody Eurostat, Dostęp dnia: 23.11.2024 r.: <https://www.cire.pl/pliki/2/Dopke273blstometoeurostat1963129496.pdf>

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2023a, Roczna ocena jakości powietrza w województwie dolnośląskim. Raport wojewódzki za rok 2022, Regionalny Wydział Monitoringu we Wrocławiu, Wrocław

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2023b, Roczna ocena jakości powietrza w województwie kujawsko-pomorskim. Raport wojewódzki za rok 2022, Regionalny Wydział Monitoringu w Bydgoszczy, Bydgoszcz

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska 2020, Roczna ocena jakości powietrza w województwie dolnośląskim. Raport wojewódzki za rok 2019, Wrocław.

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska 2020a, Roczna ocena jakości powietrza w województwie kujawsko-pomorskim. Raport wojewódzki za rok 2019, Bydgoszcz.

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska 2021, Roczna ocena jakości powietrza w województwie dolnośląskim. Raport wojewódzki za rok 2020, Wrocław.

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska 2021a, Roczna ocena jakości powietrza w województwie kujawsko-pomorskim. Raport wojewódzki za rok 2020, Bydgoszcz.

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska 2022, Roczna ocena jakości powietrza w województwie dolnośląskim. Raport wojewódzki za rok 2021, Wrocław.

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska 2022a, Roczna ocena jakości powietrza w województwie kujawsko-pomorskim. Raport wojewódzki za rok 2021, Bydgoszcz.

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska 2024, Roczna ocena jakości powietrza w województwie dolnośląskim. Raport wojewódzki za rok 2023, Wrocław.

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska 2024a, Roczna ocena jakości powietrza w województwie kujawsko-pomorskim. Raport wojewódzki za rok 2023, Bydgoszcz.

Główny Urząd Nadzoru Budowlanego, Statystyki Centralnej Ewidencji Emisyjności Budynków, Dostęp dnia: 23.03.2023 r.: <https://www.gunb.gov.pl/strona/statystyki>

Główny Urząd Statystyczny, 2013, Zużycie paliw i nośników energii w 2014 r. Warszawa

Główny Urząd Statystyczny, 2014, Zużycie paliw i nośników energii w 2015 r. Warszawa

Główny Urząd Statystyczny, 2015, Zużycie paliw i nośników energii w 2016 r. Warszawa

Główny Urząd Statystyczny, 2015a, Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2013 i 2014

Główny Urząd Statystyczny, 2016, Zużycie paliw i nośników energii w 2017 r. Warszawa

Główny Urząd Statystyczny, 2017, Zużycie paliw i nośników energii w 2018 r. Warszawa

Główny Urząd Statystyczny, 2017a, Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2015 i 2016

Główny Urząd Statystyczny, 2018, Zużycie paliw i nośników energii w 2019 r. Warszawa

Główny Urząd Statystyczny, 2019, Zużycie paliw i nośników energii w 2020 r. Warszawa

Główny Urząd Statystyczny, 2019a, Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2017 i 2018

Główny Urząd Statystyczny, 2020a, Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2018 i 2019

Główny Urząd Statystyczny, 2020, Zużycie paliw i nośników energii w 2021 r. Warszawa

Główny Urząd Statystyczny, 2021, Zużycie paliw i nośników energii w 2022 r. Warszawa

Główny Urząd Statystyczny, 2022a, Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2020 i 2021

Główny Urząd Statystyczny, 2024a, Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2022 i 2023

Jędrak J., Konduracka E., Badyda A.J., Dąbrowiecki P., 2017, Wpływ zanieczyszczeń powietrza na zdrowie. Dostęp dnia 10.04.2023 r.: <https://powietrze.malopolska.pl/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=11317>.

Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997, BIOKLIMATOLOGIA CZŁOWIEKA Metody i ich zastosowanie w badaniach bioklimatu Polski, Polska Akademia Nauk Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Monografie, 1. Dostęp dnia 19.07.2023 r.: https://rcin.org.pl/Content/2617/PDF/WA51_13512_r2002-t1_Monografie.pdf

Stowarzyszenie Producentów i Importerów Urządzeń Grzewczych, 2020, Raport: Rynek urządzeń grzewczych w Polsce w 2019 r. Warszawa. Dostęp dnia: 28.11.2024 r.: <https://spiug.pl/raporty/rynek-uradzen-grzewczych-w-polsce-w-2019-roku/>

Stowarzyszenie Producentów i Importerów Urządzeń Grzewczych, 2021, Raport: Rynek urządzeń grzewczych w Polsce w 2020 r. Warszawa. Dostęp dnia: 28.11.2024 r.: <https://spiug.pl/raporty/rynek-uradzen-grzewczych-w-polsce-w-2020-roku/>

Stowarzyszenie Producentów i Importerów Urządzeń Grzewczych, 2022, Raport: Rynek urządzeń grzewczych w Polsce w 2021 r. Warszawa. Dostęp dnia: 28.11.2024 r.: <https://spiug.pl/app/uploads/2022/04/Raport-Rynek-uradzen-grzewczych-w-Polsce-2021.pdf>

Stowarzyszenie Producentów i Importerów Urządzeń Grzewczych, 2024, Raport: Rynek urządzeń grzewczych w Polsce w 2023 r. Warszawa. Dostęp dnia: 28.11.2024 r.: <https://spiug.pl/app/uploads/2024/07/Raport-Rynek-uradzen-grzewczych-w-Polsce-2023.pdf>

Stowarzyszenie Producentów i Importerów Urządzeń Grzewczych, 2024, Trzeci kwartał 2024 roku w branży instalacyjno-grzewczej w Polsce, Warszawa. Dostęp dnia: 28.11.2024 r.: https://spiug.pl/app/uploads/2024/11/Podsumowanie_ryнку_urządzen_grzewczych_3Q2024.pdf

Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska 2017, Ocena poziomów substancji w powietrzu oraz wyniki klasyfikacji stref województwa dolnośląskiego za 2016 rok, Wrocław.

Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska 2017a, Roczna ocena jakości powietrza atmosferycznego w województwie kujawsko-pomorskim za rok 2016, Bydgoszcz-Toruń-Włocławek.

Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska 2018, Ocena poziomów substancji w powietrzu oraz wyniki klasyfikacji stref województwa dolnośląskiego za 2017 rok, Wrocław.

Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska 2018a, Roczna ocena jakości powietrza atmosferycznego w województwie kujawsko-pomorskim za rok 2016, Bydgoszcz-Toruń-Włocławek.

Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska 2018b, Raport Syntetyczny dokumentujący odliczanie udziału źródeł antropogenicznych w ocenie rocznej jakości powietrza w województwie kujawsko-pomorskim za rok 2017, Toruń.