

*Analiza zanieczyszczenia powietrza
w rejonie Portu Gdańsk oraz jego potencjalnego
wpływu na zdrowie mieszkańców dzielnic
położonych w okolicy działalności portu*

(I Etap)

Gdynia, 30.06.2025

Wydział Oceanografii i Geografii Faculty of Oceanography and Geography	tel. 58 523 68 32 e-mail: anita.lewandowska@ug.edu.pl	al. Marszałka Piłsudskiego 46, 81-378 Gdynia, Poland	
---	---	---	---

Rozdzielnik:

Wykonano 1 egzemplarz: dla Zarządu Morskiego Portu Gdańsk S.A.

UMOWA nr 040/DOŚ/2025

CRU A005/2025

Zadanie: 558-O900-A005-25

Zamawiający:

Zarząd Morskiego Portu Gdańsk Spółka Akcyjna

ul. Zamknięta 18

80-545, Gdańsk

**Analiza zanieczyszczenia powietrza w rejonie Portu Gdańsk
oraz jego potencjalnego wpływu na zdrowie mieszkańców dzielnic
położonych w okolicy działalności portu**

(1 Etap):

Geneza zmienności stężenia pyłów zawieszonych w powietrzu
w 3 klasach wielkości (PM1, PM2,5, PM10) w latach 2021-2024
ze szczególnym uwzględnieniem okresu od momentu zintensyfikowanych
przeładunków węgla w Porcie Gdańsk

Autor: dr hab. Anita Lewandowska, prof. UG

Spis treści

Streszczenie	5
Spis tabel	6
Spis rysunków	7
1. Przedmiot ekspertyzy	9
2. Charakterystyka stacji pomiarowej i metody pobierania próbek	10
3. Geneza zagospodarowania węglem placów składowych na terenie Portu Gdańsk w latach 2021-2024	14
4. Charakterystyka zmienności stężeń pyłów PM ₁ , PM _{2,5} i PM ₁₀ w atmosferze na stacji AM3 w latach 2021-2024	16
4.1 Zmienność roczna stężeń pyłów PM ₁ , PM _{2,5} i PM ₁₀ w atmosferze na stacji AM3 w latach 2021-2024	17
4.2. Charakterystyka epizodów wysokich 24-h stężeń pyłów w atmosferze na stacji AM3 w latach 2021-2024	18
5. Potencjalne źródła występowania wartości ponadnormatywnych stężeń pyłów w atmosferze na stacji AM3 w latach 2021-2024	22
6. Analiza potencjalnego wpływu zanieczyszczenia powietrza pyłami na zdrowie mieszkańców dzielnic położonych w okolicy działalności portu (lata 2021–2024)	30
7. Podsumowanie	36
8. Spis literatury	39

Streszczenie

Celem ekspertyzy było ustalenie zmienności stężeń i potencjalnych obszarów źródłowych pyłów zawieszonych w powietrzu w trzech klasach wielkości (PM₁, PM_{2,5} i PM₁₀) w rejonie Portu Gdańsk. W uzupełnieniu powyższego przeprowadzono ocenę wpływu intensyfikacji przeładunków węgla, rozpoczętej w lipcu 2022 roku, na jakość powietrza i oszacowano związane z tym potencjalne zagrożenie dla zdrowia mieszkańców przyległych dzielnic. Badania prowadzono w latach 2021-2024 na stacji AM3, zlokalizowanej w dzielnicy Nowy Port, przy granicy Portu Gdańsk, w sąsiedztwie dzielnic mieszkaniowych Brzeźno i Letnica. Stacja jest częścią sieci monitoringu ARMAG (Agencja Regionalnego Monitoringu Atmosfery Gdańsk-Gdynia-Sopot) oraz Państwowego Monitoringu Środowiska. Pomiary prowadzono przy użyciu automatycznego analizatora GRIMM EDM180, wykorzystującego metodę optyczną - rozpraszanie światła na pojedynczych cząstkach za pomocą lasera diodowego. Jest to metoda równoważna do grawimetrycznej metody referencyjnej, zgodnej z wymogami Dyrektywy Parlamentu Europejskiego (2008/50/WE) i krajowymi przepisami.

W latach 2021-2024 średnie roczne stężenia PM₁₀ i PM_{2,5} na stacji AM3 zawsze mieściły się w granicach dopuszczalnych wartości (odpowiednio 40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dla PM₁₀ i 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dla PM_{2,5}) opisanych w Dyrektywie 2008/50/WE. Jest to regulacja prawna UE, która została wprowadzona do polskiego porządku prawnego. Zalecenia WHO, które są bardziej rygorystyczne i rekomendują średnie roczne wartości na poziomie 15 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (dla PM₁₀) i 5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (dla PM_{2,5}) były na stacji AM3 przekroczone dla pyłów PM₁₀ i PM_{2,5} (poza rokiem 2023 dla PM₁₀). Należy jednak pamiętać, że są to niewiążące prawnie rekomendacje dotyczące ochrony zdrowia publicznego przed niekorzystnymi skutkami zanieczyszczeń powietrza. W odniesieniu do średniego rocznego stężenia PM₁ nie ma żadnych obowiązujących norm prawnych, ani UE ani WHO.

Zgodnie z zrządzeniem Dyrektywy UE (2008/50/WE) średnie dobowe stężenie PM₁₀ nie powinno być wyższe od 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, przez więcej niż 35 dni kalendarzowych. Na stacji AM3 w latach 2021-2024 wymóg ten został spełniony. W kolejnych latach wystąpiły odpowiednio: 20 (rok 2021), 17 (rok 2022), 2 (rok 2023) i 4 (rok 2024) epizody wysokich stężeń PM₁₀. Poziomy dopuszczalnego średniodobowego stężenia PM_{2,5} nie zostały na chwilę obecną ustanowione przez UE. WHO rekomenduje, aby dobowe stężenie PM_{2,5} nie było wyższe od 15 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ przez 3 do 4 dni w roku. Na stacji AM3 takie przekroczenia stanowiły od około 20% (rok 2023) do blisko 30 % (pozostałe lata) roku kalendarzowego. W odniesieniu do średniodobowego stężenia PM₁ nie ma żadnych obowiązujących norm prawnych.

Na stacji AM3 w latach 2021-2024 stężenia pyłów PM₁, PM_{2,5} i PM₁₀ były zazwyczaj wyższe od października do marca, czyli w okresie grzewczym, co jest typowe dla klimatu umiarkowanego. Analiza parametrów meteorologicznych potwierdziła, że epizody wysokich stężeń pyłów wszystkich rozmiarów związane były z emisją ze źródeł lokalnych, których wpływ nakładał się na siebie. Składowymi emisji pyłów, poza sektorem komunalnym, zlokalizowanym na terenie pobliskich dzielnic, były place składowe węgla na terenie Portu Gdańsk i poza nim oraz emisja z przemysłu stoczniowego i branży logistycznej w rejonie Wyspy Ostrów. Okresowo zaznaczyła się rola Portu Północnego Sp. z o. o., Baltic Hub Container Terminal Sp. z o.o. i Pirsu Węglowego. W roku 2024 dodatkowo ustalono wpływ aktywności turystycznej w rejonie Westerplatte i Twierdzy Wisłoujście. Znaczący wpływ na jakość powietrza miał postępujący w latach 2021-2024 wzrost ruchu samochodowego. Złożył się na to transport ciężarowy, związany z działalnością Portu Gdańsk (wzrost ~32%) i przeładunkiem towarów (wzrost ~30%), a także ruch pojazdów w rozbudowujących się intensywnie dzielnicach około portowych i wzrost turystyki w Trójmieście. Szeroko pojęta emisja z transportu mogła przyczyniać się do wzrostu liczby epizodów wysokich stężeń pyłów w sezonie niegrzewczym.

Podjęto próbę oceny potencjalnych skutków zdrowotnych wysokich stężeń pyłów dla mieszkańców dzielnic sąsiadujących z Portem Gdańsk. Jak wskazują badania naukowe, pyły charakteryzujące się mniejszą średnicą wnikając głębiej do organizmu człowieka mogą stanowić większe zagrożenie dla zdrowia od pyłów PM₁₀. Należy więc zwrócić uwagę na złożoność problemu pod kątem ilości czynników determinujących jakość powietrza w rejonie badań i potrzebę jego dalszego monitorowania. Ważne jest także ustawiczne prowadzenie działań mających na celu ograniczenie emisji pyłów z obszaru portu, zwłaszcza w odniesieniu do transportu i przeładunku.

Spis tabel

Tabela 1. Podstawowe informacje dotyczące stacji pomiarowej AM3

Tabela 2. Charakterystyka stężeń PM₁, PM_{2,5} i PM₁₀ [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] w latach 2021-2024 na stacji AM3

Tabela 3. Charakterystyka dominujących prędkości wiatru podczas występowania epizodów wysokich stężeń pyłów w latach 2021-2024

Spis rysunków

Rys. 1 Lokalizacja stacji AM3 (czerwone kółko) objętej badaniami w ramach niniejszej ekspertyzy, na tle pozostałych stanowisk należących do sieci ARMAG. Materiały pozyskane od ARMAG

Rys. 2 Położenie stacji AM3 (czerwone kółko) względem granic administracyjnych Portu Gdańsk i przyległych dzielnic. Materiały pozyskane od ZMPG S.A.

Rys. 3 Widok na stację pomiarową AM3 po gruntownej modernizacji. Materiały pozyskane od ARMAG

Rys. 4 Lokalizacja stacji AM3 (czerwone kółko) względem placów składowych węgla zlokalizowanych na terenie Portu Gdańsk oraz poza jego rejonem (składowiska obce) w styczniu 2021 roku (początek okresu badawczego). Materiały pozyskane od ZMPG S.A.

Rys. 5 Lokalizacja stacji AM3 (czerwone kółko) względem placów składowych węgla zlokalizowanych na terenie Portu Gdańsk oraz poza jego rejonem (składowiska obce) w grudniu 2024 roku (koniec okresu badawczego). Materiały pozyskane od ZMPG S.A.

Rys. 6 Ilość odnotowanych na stacji AM3 w latach 2021-2024 przekroczeń dopuszczalnego 24-h stężenia PM10 opisanego Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i zaleceniami WHO

Rys. 7 Ilość odnotowanych na stacji AM3 w latach 2021-2024 a) dni z przekroczeniami dopuszczalnego 24-h stężenia PM2,5 zalecanego przez WHO oraz b) dni z wartościami 24-h stężenia PM1 przekraczającego normę dobową rekomendowaną przez WHO dla PM2,5

Rys. 8 Zmienność 24-h stężenia PM1, PM2,5 i PM10 na stacji AM3 w roku a) 2021, b) 2022, c) 2023, d) 2024. Niebieskie pola odpowiadają okresowi grzewczemu (październik-marzec)

Rys. 9 Róża wiatrów dla dni z występowaniem epizodów wysokich stężeń PM10 w roku a) 2021, b) 2022, c) 2023 d) 2024

Rys. 10 Mapa lokalizacji kotłów względem stacji AM3 (czerwone kółko). Materiały pozyskane od ZMPG S.A.

Rys. 11 Róża wiatrów dla dni z występowaniem epizodów przekroczeń dobowej normy zalecanej przez WHO dla pyłu PM2,5 w roku a) 2021, b) 2022, c) 2023, d) 2024

Rys. 12 Róża wiatrów dla dni z występowaniem epizodów wysokich stężeń PM1 (powyżej dobowej normy WHO rekomendowanej dla pyłu PM2,5) w roku a) 2021, b) 2022, c) 2023 d) 2024

Rys. 13 Zestawienie a) ilości składów kolejowych oraz b) ich tonażu [T] w latach 2021-2024 w Porcie Gdańsk. Na podstawie wyników pozyskanych od ZMPG S.A.

Rys. 14 Zestawienie a) ilości samochodów oraz b) tonażu [T] przewożonych przez nie towarów w latach 2021-2024 w Porcie Gdańsk. Na podstawie wyników pozyskanych od ZMPG S.A.

Rys. 15 Analiza porównawcza ilości przekroczeń 24-h dopuszczalnego Dyrektywą UE stężenia PM10 na stacji AM3 (kolor czerwony słupka) względem pozostałych stacji ARMAG zlokalizowanych w Gdańsku (lata 2021-2024)

Rys. 16 Ilość dni w okresie niegrzewczym i grzewczym a) z przekroczeniami dopuszczalnego 24-h stężenia PM_{2,5} zalecanego przez WHO oraz b) z wartościami 24-h stężenia PM₁ przekraczającego normę dobową rekomendowaną przez WHO dla PM_{2,5}

Rys. 17 Udział [%] pyłów a) PM₁ w PM_{2,5} oraz b) PM₁ w PM₁₀ na stacji AM3 w latach 2021-2024. Oznaczenia: pozioma kreska-znacznik średniej

Rys. 18 Udział [%] a) PM₁ w PM_{2,5} oraz b) PM₁ w PM₁₀ z podziałem na okres grzewczy i niegrzewczy na stacji AM3 w latach 2021-2024 podczas występowania epizodów wysokich 24-h stężeń PM₁

1. Przedmiot ekspertyzy

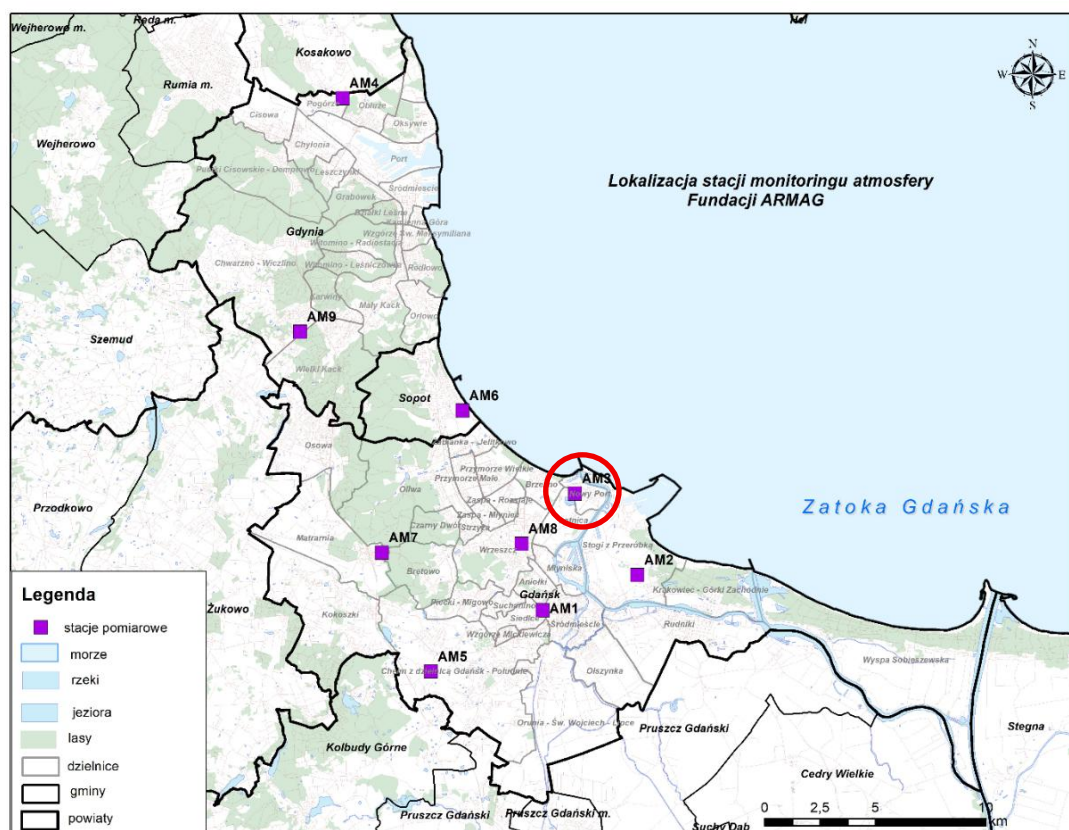
Przedmiotem ekspertyzy było ustalenie, czy w latach 2021-2024, a zwłaszcza od momentu zintensyfikowanych przeładunków węgla w Porcie Gdańsk tj. od 26 lipca 2022 r., nastąpiły wyraźne zmiany w wielkości stężeń pyłów zawieszonych w powietrzu w 3 klasach wielkości (PM1, PM2,5 i PM10) na skutek większej emisji zanieczyszczeń.

Ekspertyza zawiera analizę historycznych wyników stężeń pyłów w 3 klasach wielkości, uzyskanych w latach 2021-2024 na stacji AM3, należącej do Fundacji Agencja Regionalnego Monitoringu Atmosfery Gdańsk-Gdynia-Sopot (ARMAG), zlokalizowanej w bezpośrednim sąsiedztwie Portu Gdańsk oraz dzielnic mieszkaniowych, nad które potencjalnie mogą być наносzone zanieczyszczenia pyłowe emitowane podczas aktywności realizowanej w porcie. Zalicza się do niej, między innymi, składowanie i przeładunek węgla. W ramach I etapu sprawozdawczego przeprowadzono:

- ogólną charakterystykę zmienności stężenia 3 frakcji pyłów (PM1, PM2,5 i PM10) w omawianych latach pomiarowych z wytypowaniem epizodów wysokich stężeń,
- analizę wpływu parametrów meteorologicznych, a zwłaszcza prędkości i kierunku wiatru, na występowanie epizodów wysokich stężeń 3 frakcji pyłów PM1, PM2,5 i PM10, ze szczególnym uwzględnieniem sytuacji, gdy wiatr napływał od strony Portu Gdańsk nad rejon stacji AM3 i potencjalnie nad strefę zamieszkałą przez ludzi,
- próbę oszacowania (na podstawie pozyskanych informacji i wiedzy naukowej) ewentualnego wpływu zmian działalności przeładunkowej na terenie Portu Gdańsk na zdrowie mieszkańców dzielnic położonych w okolicy portu.

2. Charakterystyka stacji pomiarowej i metody pobierania próbek

Stacja AM3, z której pozyskano wyniki do niniejszej ekspertyzy, działa w ramach sieci monitoringu ARMAG od 1997 roku. Zlokalizowana jest przy ulicy Wyzwolenia w Gdańsku Nowym Porcie (Rys. 1).



Rys. 1 Lokalizacja stacji AM3 (czerwone koło) objętej badaniami w ramach niniejszej ekspertyzy, na tle pozostałych stanowisk należących do sieci ARMAG.

Materiały pozyskane od ARMAG

Stacja AM3 usytuowana jest bezpośrednio poza granicami Portu Gdańsk (Rys. 2). Leży ona w dzielnicy mieszkaniowej Nowy Port oraz graniczy z dzielnicami mieszkaniowymi Brzeźno (NE względem stacji) i Letnica (SE względem stacji). Ze względu na swoje położenie w sąsiedztwie obszaru przemysłowego, stacja AM3 stanowi ważne ogniwo krajowego systemu monitoringu jakości powietrza. Z tego względu jest ona włączona do sieci Państwowego Monitoringu Środowiska. Położenie stacji AM3 stanowiło także ważny element przy jej doborze do opracowania niniejszej ekspertyzy. Jakość powietrza na stacji może być bowiem traktowana jako reprezentatywna dla oceny wpływu Portu Gdańsk na jakość życia mieszkańców przyległych dzielnic. Charakterystykę stacji zaprezentowano w Tabeli 1.



Rys. 2 Położenie stacji AM3 (czerwone kółko) względem granic administracyjnych Portu Gdańsk i przyległych dzielnic. Materiały pozyskane od ZMPG S.A.

Tabela 1.
Podstawowe informacje dotyczące stacji pomiarowej AM3

Nazwa zgodna z oznaczeniem w sieci ARMAG	Lokalizacja	Współrzędne geograficzne	Wysokość n.p.m.	Typ
Nowy Port (AM3)	Gdańsk, ul. Wyzwolenia	54°24'03" N 18°39'27" E	3 m	Stacja tła miejskiego

W grudniu 2024 stacja AM3 w Gdańsku Nowym Porcie przeszła gruntowną modernizację. Zyskała nowy kontener pomiarowy i system klimatyzacji. Wybudowano ponadto instalację fotowoltaiczną o mocy 7,5 kWp oraz zakupiono nowy analizator do pomiaru tlenku węgla w miejsce już wyeksploatowanego (Rys. 3). Projekt został dofinansowany ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsk (WFOŚiGW) oraz Miasta Gdańsk.



Rys. 3 Widok na stację pomiarową AM3 po gruntownej modernizacji.
Materiały pozyskane od ARMAG

Pomiary jakości powietrza pod względem jego zanieczyszczenia pyłami oraz zapewnienie jakości tych pomiarów były zgodne z Dyrektywą 2008/50/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie jakości powietrza i czystego powietrza dla Europy (Dyrektywa CAFE), a także z Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie oceny poziomów substancji w powietrzu (<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj/eng>, 16.06.2025). Do pomiaru stężenia pyłów zawieszonych PM1, PM2,5 i PM10 na stacji AM3 został zastosowany analizator GRIMM, model EDM180, który pracuje w oparciu o optyczną metodę automatyczną (rozpraszanie światła na pojedynczych cząstkach za pomocą lasera diodowego). Jest to analizator z wykazaną równoważnością do metody referencyjnej, czyli metody

grawimetrycznej, uznanej na świecie jako najbardziej precyzyjna metoda pomiaru stężenia pyłów zawieszonych w powietrzu (PN-EN 12431:2014-07).

Na potrzeby niniejszej ekspertyzy Fundacja ARMAG przekazała bazę danych 1-h wartości stężeń pyłów PM₁, PM_{2,5} oraz PM₁₀ pomierzonych na stacji AM3 w latach 2021-2024. W każdym roku wyniki 1-h zostały uśrednione do wartości 24-h, następnie do wartości średnio rocznych oraz z podziałem na okres grzewczy (październik-marzec) i niegrzewczy (kwiecień- wrzesień).

Stacja AM3 w leżąca w dzielnicy Nowy Port jest dodatkowo wyposażona w następujące urządzenia pomiarowe:

- analizator SO₂, firmy THERMO ENVIRONMENTAL INC, model 43C, metoda pomiarowa: fluorescencja w nadfiolecie,
- analizator NO-NO₂-NO_x, firmy THERMO ENVIRONMENTAL INC, model 42C, metoda pomiarowa: chemiluminescencja,
- analizator CO, firmy HORIBA, model APMA 370 (od grudnia 2024), metoda pomiarowa: spektroskopia w podczerwieni. Wcześniej wykorzystywano analizator CO firmy THERMO ENVIRONMENTAL INC, model 48C, metoda pomiarowa: spektroskopia w podczerwieni.

Fundacja ARMAG posiada ponadto certyfikat akredytacji Laboratorium Badawczego Nr AB 1057 na pomiary zanieczyszczeń gazowych. Certyfikat ten obejmuje również pomiary prowadzone na stacji AM3 w Gdańsku Nowym Porcie.

Dodatkowo, równocześnie z automatyczną analizą pyłów zapisywane były parametry meteorologiczne, co pozwoliło zrozumieć ich wpływ na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w obrębie rejonu badań.

3. Geneza zagospodarowania węglem placów składowych na terenie Portu Gdańsk w latach 2021-2024

Na Rys. 4 i Rys. 5 zobrazowano lokalizację placów składowych węgla, odpowiednio: w styczniu 2021 roku (początek pomiarów) oraz w grudniu 2024 roku (koniec pomiarów). Zgodnie z informacją pozyskaną od Zarządu Morskiego Portu Gdańsk S.A. należy przyjąć, że od lipca 2022 roku rozpoczął się wzrost ilości przeładowywanego węgla, a tym samym wzrosła ilość miejsc jego składowania względem przedstawionej na Rys. 4. Czynności związane z przeładunkiem węgla w Porcie Gdańsk mają charakter ciągły, ale różnią się intensywnością i relokacją, które determinowane są potrzebami i możliwościami techniczno-operacyjnymi. W związku z tym, określenie bardziej szczegółowej genezy zmienności lokalizacji składowisk węgla uznano za niezasadne.



Rys. 4 Lokalizacja stacji AM3 (czerwone koło) względem placów składowych węgla zlokalizowanych na terenie Portu Gdańsk oraz poza jego rejonem (składowiska obce) w styczniu 2021 roku (początek okresu badawczego). Materiały pozyskane od ZMPG S.A.



Rys. 5 Lokalizacja stacji AM3 (czerwone koło) względem placów składowych węgla zlokalizowanych na terenie Portu Gdańsk oraz poza jego rejonem (składowiska obce) w grudniu 2024 roku (koniec okresu badawczego). Materiały pozyskane od ZMPG S.A.

Wstępna analiza lokalizacji placów składowych węgla wskazała nie tylko wzrost ich ilości, ale także znaczne rozszerzenie ich zasięgu na terenie Portu Gdańsk. Na początku okresu badawczego (rok 2021, Rys. 4) składowiska mieściły się w węższym sektorze względem stacji AM3 (od ESE do SSE). W kolejnych latach zasięg obejmował już sektor E-SSW (Rys. 5).

W roku 2021 odnotowano 2 obce składowiska węgla, zlokalizowane: jedno w kierunku SSW od stacji AM3, a jedno w kierunku SSE od tej stacji (Rys. 4). W kolejnych latach ilość składowisk obcych uległa podwojeniu (Rys. 5). Doszło jedno składowisko zlokalizowane w sektorze SSW oraz jedno w sektorze SSE - S. Dodatkowo, swój obszar zwiększyło istniejące już wcześniej składowisko zlokalizowane w kierunku SSE od stacji AM3 (Rys. 4 i 5).

4. Charakterystyka zmienności stężeń pyłów PM₁, PM_{2,5} i PM₁₀ w atmosferze na stacji AM3 w latach 2021-2024

Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami stanowi istotny element Europejskiej polityki ochrony środowiska, co znalazło odzwierciedlenie w regulacjach prawnych UE. Regulacje te zostały również wprowadzone do polskiego porządku prawnego. Z tego względu, analizując wyniki stężeń średniorocznych oraz 24-godzinnych pyłów na stacji AM3 w latach 2021-2024, odniesiono się przede wszystkim do kryteriów określonych w:

- ✓ Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 roku w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (Dz. Urz. UE L 152 z 11.06.2008) - *Clean Air for Europe*
(<https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/publications/card/3077>, data dostępu 15.06.2025).

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE jest wymaganą prawem restrykcją, która jest wiążąca dla państw Unii Europejskiej, jeśli chodzi o spełnienie norm jakości powietrza.

Dodatkowo w niniejszej ekspertyzie odwołano się do:

- ✓ zaleceń Światowej Organizacji Zdrowia (*World Health Organization* - WHO)
(<https://www.who.int/>, data dostępu 15.06.2025).

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) od 1987 roku publikuje wytyczne jakości powietrza. Są to zalecenia, a nie prawnie obligatoryjne restrykcje. Wytyczne WHO mają zachęcać rządy do zwiększania wysiłków na rzecz kontroli jakości powietrza oraz do badania narażenia i ograniczania negatywnych skutków dla zdrowia ludzi, wynikających z zanieczyszczenia powietrza. Wytyczne WHO dotyczące jakości powietrza, mimo że oparte na dowodach naukowych, stanowią niewiążące wskazówki dotyczące ochrony zdrowia publicznego przed niekorzystnym wpływem zanieczyszczenia powietrza (www.nik.gov.pl, data dostępu 16.07.2025).

Według obowiązujących obecnie w Polsce kryteriów określonych w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE, pod kątem ochrony zdrowia, ocenie podlega pył PM₁₀ (cząstki o średnicy do 10 µm) oraz pył PM_{2,5} (cząstki o średnicy do 2,5 µm). Dla każdej z wymienionych wielkości pyłów istnieją określone wartości stężeń zanieczyszczenia w powietrzu, które nie powinny być przekraczane, celem zapewniania odpowiedniej jakości powietrza atmosferycznego. Średnie roczne stężenie PM₁₀ nie powinno

być wyższe od $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a średnie roczne stężenie $\text{PM}_{2,5}$ od $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (<https://powietrze.gios.gov.pl/>, data dostępu 17.06.2025). Zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) są zdecydowanie bardziej restrykcyjne i rekomendują dla PM_{10} średnią roczną wartość stężenia na poziomie $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a dla $\text{PM}_{2,5}$ na poziomie $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (<https://www.who.int/>, data dostępu 17.06.2025).

Średnie 24-h stężenie pyłu PM_{10} , zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady (2008/50/WE), nie powinno przekraczać $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Dodatkowo, w roku kalendarzowym dopuszcza się wystąpienie takiej sytuacji maksymalnie 35 razy (<https://powietrze.gios.gov.pl/>, data dostępu 17.06.2025). WHO rekomenduje z kolei, aby średniodobowe stężenie PM_{10} nie było wyższe od $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a ilość takich dni w roku maksymalnie wyniosła od 3 do 4. Poziom dopuszczalnego średniodobowego stężenia $\text{PM}_{2,5}$ nie został na chwilę obecną ustanowiony przez UE. Wejdzie on w życie dopiero w roku 2030 i będzie wynosić $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2024/2881 z dnia 23 października 2024 roku w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy-Dyrektywa AAQD). Dopuszczalne dobowe stężenie $\text{PM}_{2,5}$ rekomendowane przez WHO wynosi $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (https://www.who.int, data dostępu 17.06.2025), a ilość dni z przekroczeniami nie powinna być wyższa od 3 do 4 w roku kalendarzowym.

Dla pyłów PM_1 (cząstki o średnicy do $1 \mu\text{m}$) nie zdefiniowano norm jakości powietrza, ani w zaleceniach WHO, ani w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady. Mimo to, w kolejnych rozdziałach zostaną one omówione, zważywszy ich negatywny wpływ na zdrowie ludzkie (Johnston i in., 2021; Manojkumar i Srimuruganandam, 2022; Si i in., 2023).

4.1 Zmienność roczna stężeń pyłów PM_1 , $\text{PM}_{2,5}$ i PM_{10} w atmosferze na stacji AM3 w latach 2021-2024

W analizowanym okresie badawczym stwierdzono typowy wzrost średniego rocznego stężenia pyłów wraz ze wzrostem ich średnicy (Tab. 2). Najwyższe średnie roczne wartości stężenia PM_1 , $\text{PM}_{2,5}$ oraz PM_{10} odnotowano w roku 2021 ($13,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $15,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i $19,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, odpowiednio). W latach 2021-2023 stwierdzono tendencję malejącą średniej wartości stężenia pyłów wszystkich rozmiarów. Z kolei w roku 2024 odnotowano wzrost wartości średniego stężenia dla pyłów wszystkich rozmiarów. Uzyskane na stacji AM3 w latach 2021-2024 średnie roczne stężenia pyłów PM_{10} zawsze były niższe od $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a średnie roczne stężenia pyłów $\text{PM}_{2,5}$ od $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. W związku z powyższym spełniły one kryteria określone w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE.

Tabela 2.

Charakterystyka stężeń PM1, PM2,5 i PM10 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] w latach 2021-2024 na stacji AM3

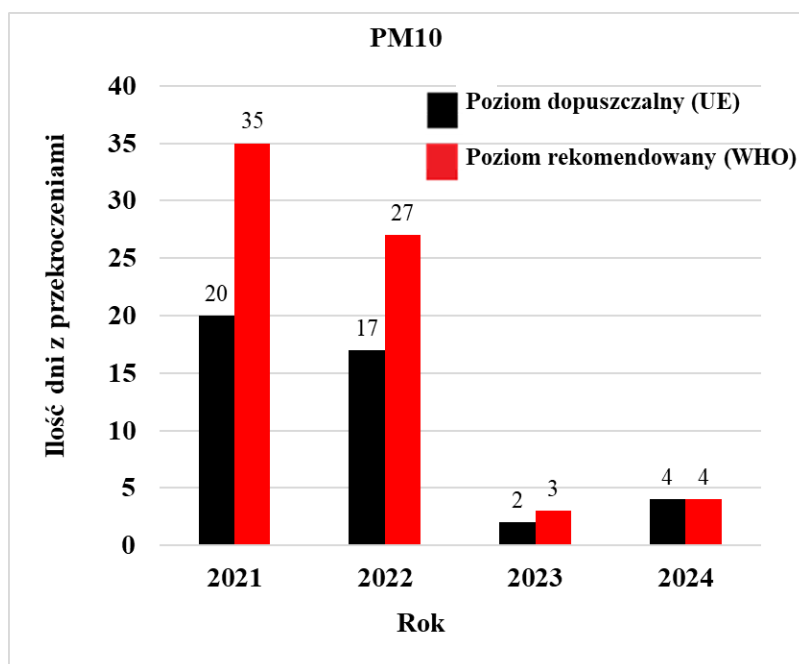
Rok	Estymator	PM1 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	PM2,5 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	PM10 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]
2021	$\bar{x}$	13,3	15,0	19,8
	Max: okres grzewczy	87,3	93,5	116,5
	Max: okres niegrzewczy	25,6	33,2	71,2
2022	$\bar{x}$	11,4	12,9	17,4
	Max: okres grzewczy	54,4	67,3	136,0
	Max: okres niegrzewczy	32,7	40,3	78,3
2023	$\bar{x}$	9,4	10,6	13,3
	Max: okres grzewczy	33,6	40,6	56,2
	Max: okres niegrzewczy	23,1	26,4	46,8
2024	$\bar{x}$	10,9	12,1	15,3
	Max: okres grzewczy	37,7	39,8	58,5
	Max: okres niegrzewczy	29,7	38,9	64,4

Symbole: $\bar{x}$ - średnia roczna wartość stężenia pyłów, Max - wartość maksymalna 24-h średniego stężenia pyłów, Min - wartość minimalna 24-h średniego stężenia pyłów. Wszystkie stężenia 24-h otrzymano z uśrednienia wartości stężeń 1-h. Okres grzewczy: październik-marzec, okres nie grzewczy: kwiecień- wrzesień..

Wartość dopuszczalna stężenia PM10, rekomendowana przez WHO ($15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), była przekroczona w trzech, spośród czterech lat pomiarowych, odpowiednio o 32% (rok 2021), 16% (rok 2022) i 2% (rok 2024). Wyjątek stanowił rok 2023, gdy średnie roczne stężenie PM10 wyniosło $13,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tym samym będąc poniżej dopuszczalnej wartości rekomendowanej przez WHO (Tab. 2). W każdym z analizowanych lat miało miejsce przekroczenie dopuszczalnej średniej rocznej wartości stężenia PM2,5 zalecanej przez WHO ($5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). W roku 2021 średnie roczne stężenie było trzykrotnie wyższe od rekomendowanej przez WHO normy. W kolejnych latach wartości zostały przekroczone od ~2 do 2,5 razy.

4.2. Charakterystyka epizodów wysokich 24-h stężeń pyłów w atmosferze na stacji AM3 w latach 2021-2024

Na stacji AM3 w latach 2021-2024 został spełniony wymóg Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (2008/50/WE) odnośnie ilości przekroczeń średniego dobowego stężenia PM10. W każdym roku takich dni było mniej niż 35 (Rys. 6). Jakkolwiek, epizody wysokich wartości 24-h stężeń PM10 na stacji AM3 zostały odnotowane. Najwięcej dni z przekroczeniami miało miejsce w pierwszych dwóch latach (rok 2021: 20 dni; rok 2022: 17 dni). W roku 2023 przekroczenia wystąpiły 2 razy. W roku 2024 odnotowano je 4 razy (Rys. 6).

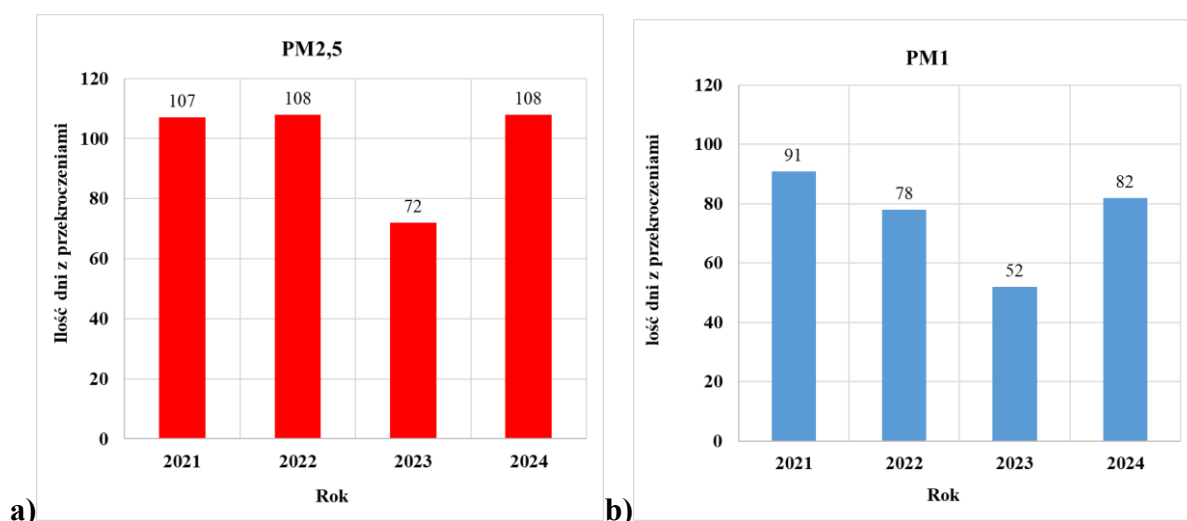


Rys. 6 Ilość odnotowanych na stacji AM3 w latach 2021-2024 przekroczeń dopuszczalnego 24-h stężenia PM10 opisanego Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i zaleceniami WHO

WHO rekomenduje, ażeby średniodobowe stężenie PM10 nie przekraczało wartości $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ przez 3-4 dni w roku. Na stacji AM3 przez pierwsze dwa lata zalecania te nie zostały spełnione. W roku 2021 odnotowano 35 dni, a w roku 2022 27 dni z przekroczeniami 24-h zalecanej wartości normatywnej WHO (Rys. 6). W kolejnych latach wytyczne Światowej Organizacji Zdrowia zostały spełnione, a ilość przekroczeń w roku kalendarzowym nie była wyższa od 4 (rok 2024).

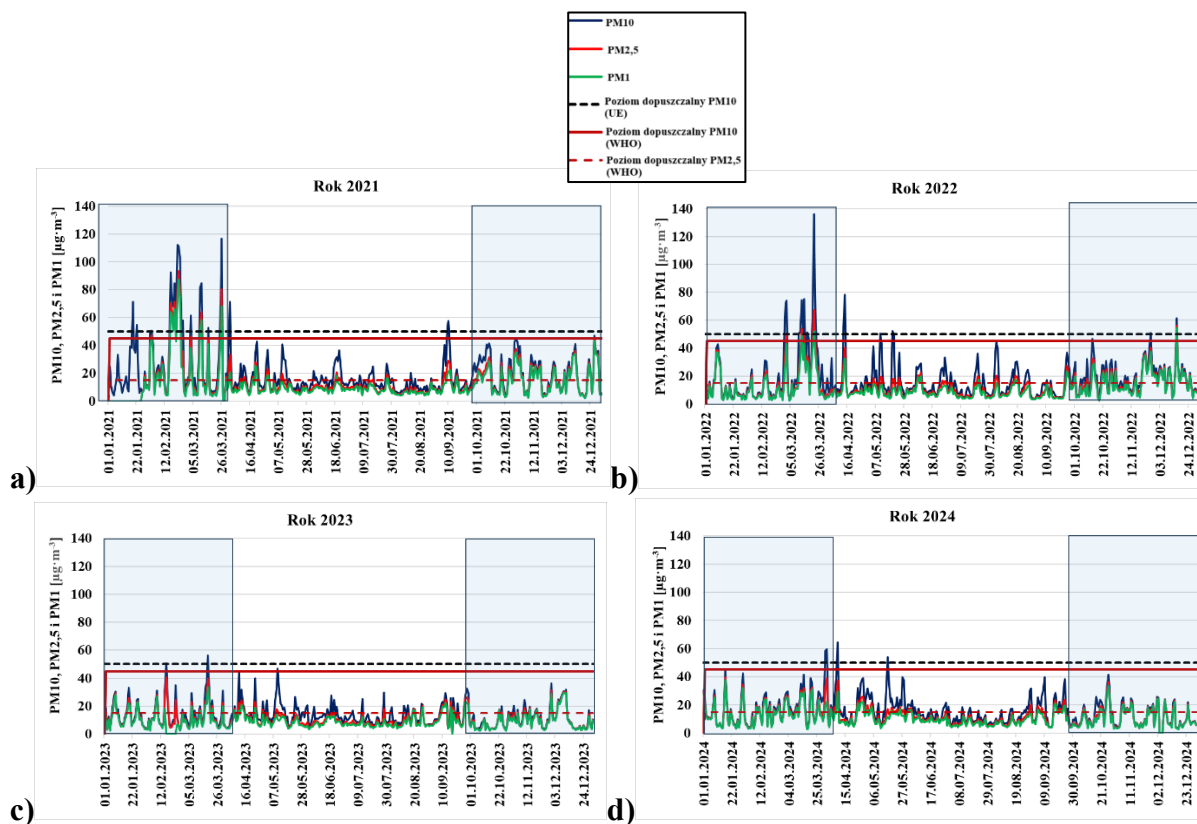
WHO rekomenduje, żeby średnie dobowe stężenie PM2,5 nie było wyższe niż $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ przez 3-4 dni w roku (<https://www.who.int>, data dostępu 17.06.2025). Na stacji AM 3 w każdym omawianym roku zalecenia te nie zostały spełnione (Rys. 7a). Najmniejszą ilość przekroczeń (72 dni) odnotowano w roku 2023 (<20% czasu całego roku kalendarzowego). W pozostałych latach odnotowano od 107 do 108 dni z przekroczeniami (~30% czasu całego roku kalendarzowego).

W związku z tym, iż zarówno Dyrektywa Parlamentu, jak i zalecenia WHO nie definiują normatywnej wartości dopuszczalnego 24-h stężenia PM1, w niniejszej ekspertyzie przyjęto pewne uproszczenie. 24-h stężenia pyłów o średnicy PM1 odniesiono do wartości normatywnej zalecanej przez WHO dla pyłów PM2,5. Na tej podstawie ustalono, że najwięcej przekroczeń wystąpiło w roku 2021 (91 dni w roku kalendarzowym), a najmniej w roku 2023 (52 dni w roku kalendarzowym) (Rys. 7b).



Rys. 7 Ilość odnotowanych na stacji AM3 w latach 2021-2024 a) dni z przekroczeniami dopuszczalnego 24-h stężenia PM2,5 zalecanego przez WHO oraz b) dni z wartościami 24-h stężenia PM1 przekraczającego normę dobową rekomendowaną przez WHO dla PM2,5

Na stacji AM3 w każdym roku wartości 24-h stężeń wszystkich analizowanych pyłów (PM1, PM2,5, PM10) były zazwyczaj wyższe w okresie grzewczym, niż w niegrzewczym (Rys. 8a-d).



Rys. 8 Zmienność 24-h stężenia PM1, PM2,5 i PM10 na stacji AM3 w roku a) 2021, b) 2022, c) 2023, d) 2024. Niebieskie pola odpowiadają okresowi grzewczemu (październik-marzec)

Jak zasygnalizowano wcześniej, dla PM10 najczęściej dni z przekroczeniami wartości normatywnej Dyrektywy UE odnotowano w pierwszych dwóch latach (rok 2021: 20 dni w roku kalendarzowym; rok 2022: 17 dni w roku kalendarzowym), z czego na okres grzewczy przypadło odpowiednio 90% i 71% przypadków. W roku 2023 ustalono dwie wartości ponadnormatywnego stężenia PM10 i obydwie wystąpiły w okresie grzewczym. Z kolei w roku 2024, spośród 4 dni z przekroczeniami normy jakości powietrza UE, dwa miały miejsce w okresie grzewczym. Taka dominacja epizodów wysokich stężeń w okresie grzewczym jest typowa w umiarkowanych szerokościach geograficznych. Wynika ona ze wzmożonej emisji pyłów podczas procesów spalania na cele grzewcze w sektorze komunalno-bytowym (Lewandowska i in., 2013; Witkowska i in., 2016a; Lewandowska i in., 2018; Rogula-Kozłowska i in. 2019; Wiśniewska i in., 2019; Górka i in., 2020; Górka i in., 2023, Casotto i in., 2023).

W okresie grzewczym ustalono ponadto analogiczną tendencję wyższych maksymalnych wartości dobowych stężeń dla pyłów pozostałych wielkości (Tab. 2). Największą różnicę uzyskano w roku 2021 dla cząstek drobnych - PM2,5 (3,4 razy wyższe stężenie w okresie grzewczym niż niegrzewczym) oraz ultra drobnych - PM1 (2,8 razy wyższe stężenie w okresie grzewczym niż niegrzewczym). Najmniejszą różnicę między maksymalnym stężeniem zmierzonym w okresie grzewczym i niegrzewczym ustalono w roku 2024 dla PM2,5 ($39,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i $38,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, odpowiednio). Ponadto, w tym samym roku zarejestrowano wyższe maksymalne dobowe stężenie PM10 w okresie niegrzewczym niż grzewczym ($64,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ oraz $58,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) (Tab.2). Powyższe stanowi anomalię względem zaobserwowanej tendencji na tle pozostałym zebranych danych pomiarowych, co zostanie omówione w kolejnym rozdziale niniejszej ekspertyzy.

5. Potencjalne źródła występowania wartości ponadnormatywnych stężeń pyłów w atmosferze na stacji AM3 w latach 2021-2024

Rozpoznanie źródeł pochodzenia pyłów jest niezwykle trudne, ale też bardzo istotne dla określenia ich właściwości i przemian, jakim ulegają w atmosferze, a przede wszystkim ze względu na możliwość ich negatywnego oddziaływania na zdrowie człowieka (<https://www.who.int>, data dostępu 17.06.2025). Wielkość stężenia pyłów oraz ich skład chemiczny w danej lokalizacji, zależą nie tylko od źródła pochodzenia, ale także od panujących warunków meteorologicznych (Gelenceser i in., 2007). Istotnym parametrem, decydującymi o przenoszeniu pyłów znad miejsca ich emisji, jest wiatr. Znajomość kierunku i prędkości wiatru umożliwia określenie potencjalnego źródła pochodzenia pyłów w rejonie badań (Juda-Rezler i in., 2020; Buch i in., 2021). Na terenach zurbanizowanych i uprzemysłowionych dystrybucja pyłów ma często charakter lokalny do regionalnego, najbardziej odczuwalny w pobliżu źródła emisji. Im mniejsza jest siła wiatru, tym krótszy jest dystans, na jaki zostają przeniesione zanieczyszczenia w atmosferze, w tym pyły. Analiza kierunku wiatru pozwala z kolei oszacować potencjalne źródło, znad którego napłynęły zanieczyszczone masy powietrza w rejon stacji monitoringu powietrza. Takie badania były prowadzone na przykład na stacji badawczej w Gdyni przez Lewandowską i Falkowską (2013) oraz przez Lewandowską i in. (2018). Należy jednak pamiętać, że specyfikacja zależności czynników meteorologicznych z zanieczyszczeniem pyłowym jest skomplikowana, a dynamika atmosfery bardzo duża. Dlatego niezwykle trudno jest jednoznacznie wskazać na oddziaływanie poszczególnych parametrów meteorologicznych na stężenie pyłów w powietrzu (Juda-Rezler i in., 2020).

Na stacji AM3 prędkość wiatru odnotowana w latach 2021-2024 podczas występowania epizodów wysokich wartości średniego 24-h stężenia pyłów utrzymywała się na poziomie nie przekraczającym średnio 3 m/s (Tab. 3).

Tabela 3.

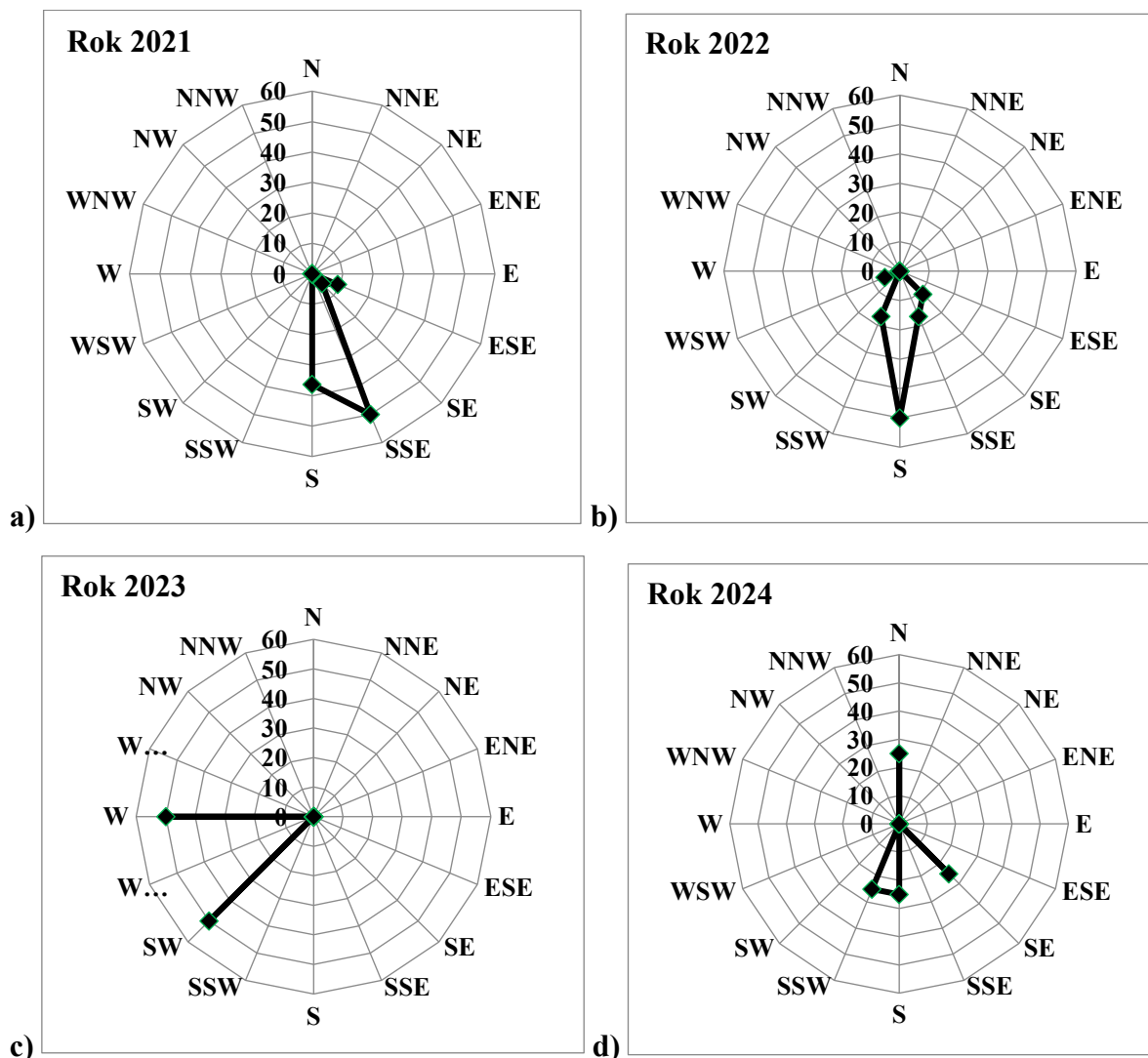
Charakterystyka dominujących prędkości wiatru podczas występowania epizodów wysokich stężeń pyłów w latach 2021-2024

Charakterystyka wiatru	Zakres prędkości [m/s]	Rok badawczy			
		2021	2022	2023	2024
cisza	≤0,99	4,5	16,7	0,0	25,0
bardzo słaby	1-2,99	91,0	83,3	100,0	75,0
słaby	3-5,99	4,5	0,0	0,0	0,0
umiarkowany	6-10,99	0,0	0,0	0,0	0,0
silny	11-14,99	0,0	0,0	0,0	0,0
bardzo silny	≥15,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Może to wskazywać na ich lokalne źródło pochodzenia w atmosferze (Pateraki i in., 2020). W roku 2021, przez 4,5% czasu występowania epizodów wysokich stężeń średnia siła wiatru wynosiła od 3 do 6 m/s. Wówczas dla gorszej jakości powietrza znaczenie mogły mieć także źródła oddalone od rejonu badań (skala regionu).

Na rysunkach 9 oraz 11 i 12 zaprezentowano w postaci róż wiatrów dominujące kierunki dla dni, w których odnotowano ponadnormatywne stężenia pyłów. Na ich podstawie ustalono potencjalne źródło pochodzenia pyłów w każdym roku, z podziałem na frakcję PM₁₀ (Rys. 9), PM_{2,5} (Rys. 11) i PM₁ (Rys. 12).

Kierunek wiatru ustalony w dni z epizodami przekroczeń 24-h stężeń pyłów PM₁₀ zaprezentowano na Rys. 9 a-d.



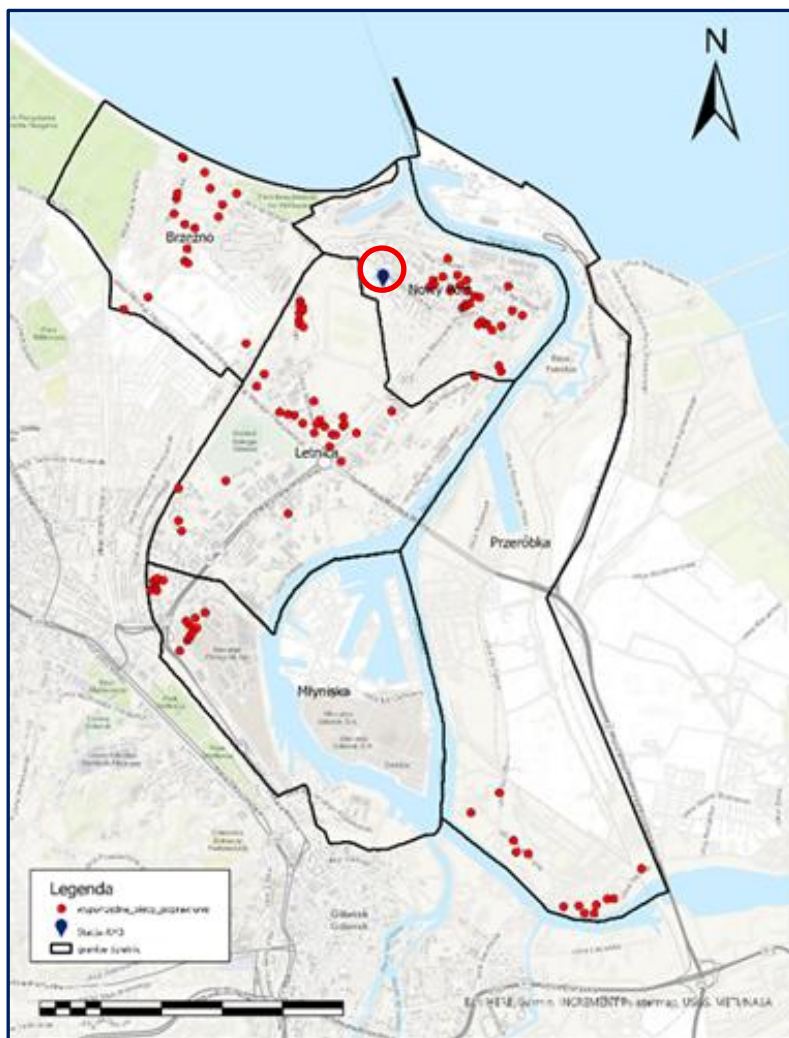
Rys. 9 Róża wiatrów dla dni z występowaniem epizodów wysokich stężeń PM₁₀ w roku a) 2021, b) 2022, c) 2023 d) 2024

W roku 2021 pyły PM10 charakteryzowały się najwyższym średnim stężeniem rocznym (Tab. 2). Najwyższa była wówczas także ilość przekroczeń dopuszczalnej wartości 24-h stężenia opisanego Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady (20 dni w roku kalendarzowym; Rys. 6). Ustalono, że przez 50% czasu występowania epizodów wysokich stężeń dominowały wiatry z kierunku SSE (Rys. 9a), które były odpowiedzialne za nanoszenie nad stację AM3 oraz pobliskie dzielnice mieszkaniowe (Nowy Port i Letnica) pyłów z głównych składowisk węgla (Rys. 4). Drugie dominujące w 2021 roku źródło PM10 zlokalizowane było na południe od stacji (37% czasu występowania epizodów wysokich stężeń) i mogło być związane z przemysłem stocznioowym i remontowym oraz logistycznym na Wyspie Ostrów i w jej rejonie (źródło: google maps, data dostępu 27.06.2025).

W roku 2022, gdy dominował południowy kierunek wiatru (50% czasu występowania epizodów wysokich stężeń) obszarem źródłowym pyłów PM10 także była Wyspa Ostrów (Rys. 9b) i znajdujące się na niej emitery. W nich należy dopatrywać się potencjalnej przyczyny występowania epizodów wysokich stężeń PM10 (17 dni w roku kalendarzowym) w atmosferze nad stacją AM3 i przyległymi do niej dzielnicami mieszkaniowymi (Rys. 2). Zdecydowanie odmienne kierunki wiatru w dni z występowaniem epizodów wysokich stężeń PM10 odnotowano w roku 2023 (Rys. 9c). Podczas występowania epizodów wysokich stężeń przez 50% czasu nad stację i okoliczne dzielnice pyły były наносzone z kierunku zachodniego (W) i południowo-zachodniego (SW). Biorąc pod uwagę kierunek wiatru źródło pyłów zlokalizowane było na terenie pobliskich dzielnic Letnica i Brzeźno (Rys. 2). W tym roku odnotowano tylko 2 epizody wysokich, ponadnormatywnych stężeń PM10 (Rys. 6). Obydwa wystąpiły w okresie grzewczym (Rys. 8c). Prawdopodobną przyczyną ich występowania była emisja z sektora komunalno-bytowego, związana z produkcją ciepła na cele grzewcze, zważywszy, że w rejonach tych występują licznie kotły (Rys. 10).

W roku 2024 na stacji AM3 odnotowano 4 dni z przekroczeniem normatywnego stężenia PM10 (Rys. 6). Ich przyczyny należy upatrywać w emisji ze źródeł lokalnych, gdyż przez 100% czasu występowania epizodów wysokich stężeń prędkość wiatru nie przekraczała 3 m/s. Dominowały wówczas cztery kierunki wiatru: S, N, SN i SSW (po 25% czasu występowania epizodów wysokich stężeń). Ponownie zaznaczył się wpływ emitorów zlokalizowanych na południe od stacji, na Wyspie Ostrów (Rys. 9d). Kolejne potencjalne źródła, zlokalizowane tym razem na północ od stacji AM3, to trasa napływu statków do Portu Gdańsk oraz aktywność turystyczna w rejonie Westerplatte (Rys. 2). Pozostałe ważne obszary źródłowe rozpoznane w roku 2024 to: zlokalizowane w kierunku SE składowiska węgla

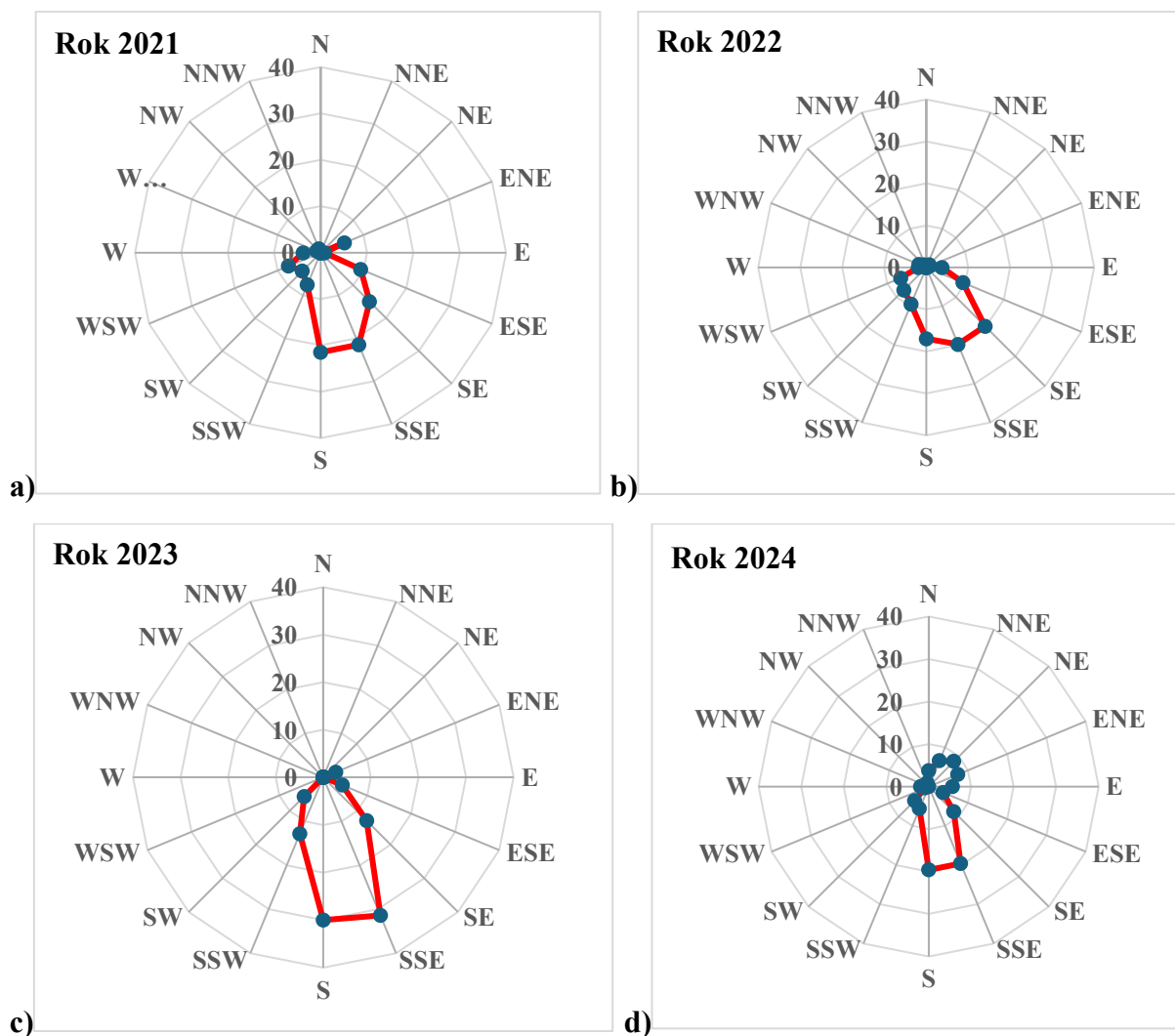
na terenach administrowanych przez ZMPG S.A., w tym Port Północny Sp. z o.o., jak również położone w kierunku SSW od stacji AM3 dwa obce składowiska węgla (znajdujące się poza obszarem będącym w jurysdykcji Zarządu Morskiego Portu Gdańsk S.A.) i sektor komunalno-bytowy w dzielnicy Letnica.



Rys. 10 Mapa lokalizacji kotłów względem stacji AM3 (czerwone kółko).
Materiały pozyskane od ZMPG S.A.

W odniesieniu do drobnych pyłów PM_{2,5} w całym okresie badawczym (lata 2021-2024) w dni z przekroczeniami 24-h średniej wartości stężenia rekomendowanego przez WHO dominowały wiatry z sektora SSE i S (Rys. 11). Prędkość wiatru, jaka wówczas została odnotowana, ponownie wskazała na lokalne źródło pochodzenia zanieczyszczeń w atmosferze w rejonie badań, niezależnie od roku (Tab. 3). Wiatry z kierunku SSE były odpowiedzialne za nanoszenie nad stację AM3 oraz pobliskie dzielnice mieszkaniowe (Nowy Port, Brzeźno, Letnica) pyłów znad głównych składowisk węgla, podczas gdy wiatry wiejące z południa znad

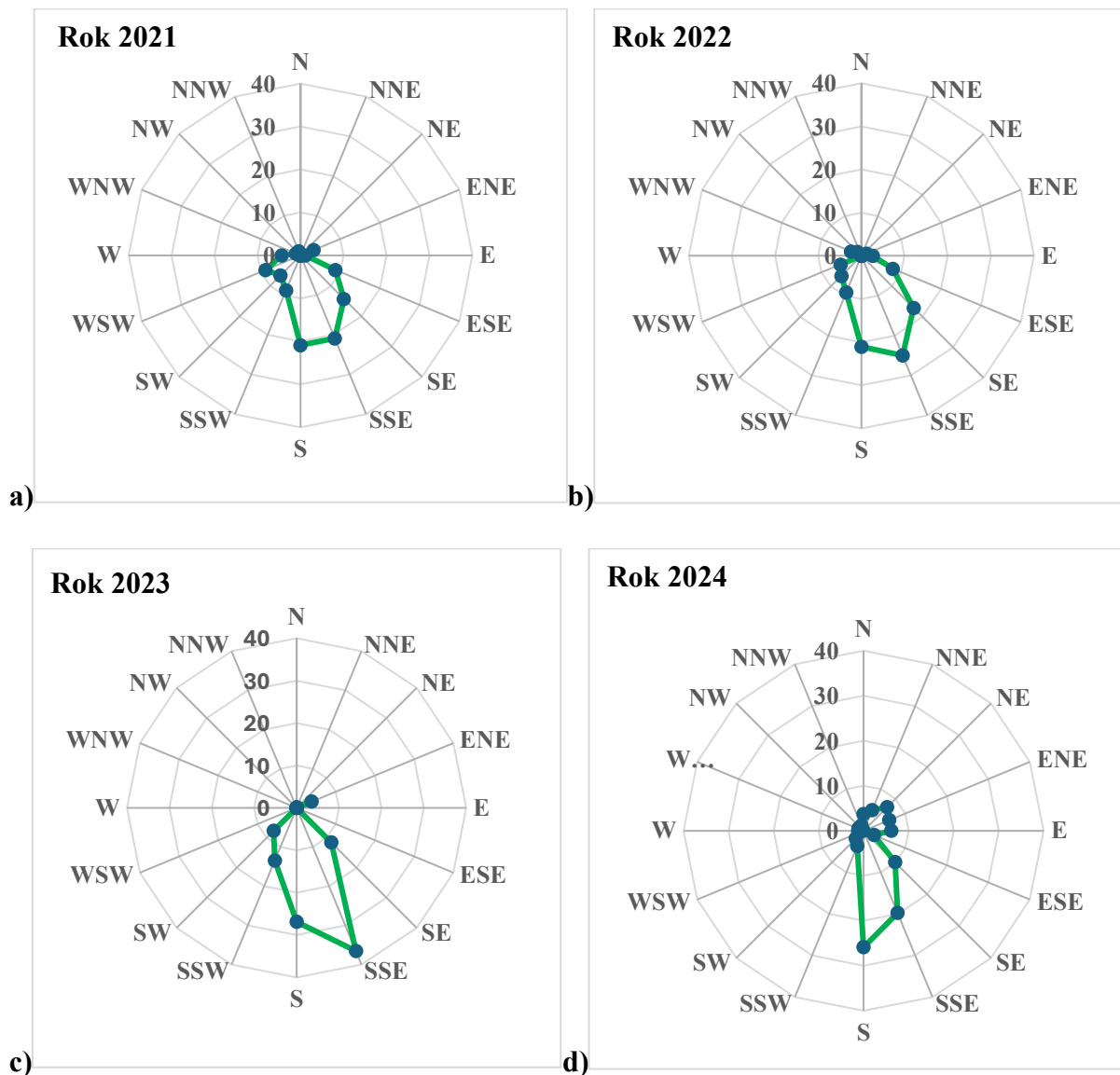
rejonu Wyspy Ostrów (Rys. 4). W latach 2021-2023 pyły PM_{2,5} nanoszone były także znad Portu Północnego Sp. z o.o. oraz znad Baltic Hub Container Terminal Sp. z o.o., za co odpowiedzialny był południowo-wschodni kierunek wiatru (Rys. 11 a-c). Z kolei w 2024 roku, przy wietrze z sektora północno-wschodniego, pyły nanoszone były prawdopodobnie znad Pirsu Węglowego (E), ale także znad atrakcyjnych turystycznie Westerplatte (NNE-ENE) i Twierdzy Wisłoujście (ESE) (Rys. 11 d).



Rys. 11 Róża wiatrów dla dni z występowaniem epizodów przekroczeń dobowej normy zalecanej przez WHO dla pyłu PM_{2,5} w roku a) 2021, b) 2022, c) 2023, d) 2024

Na Rys. 12 zaprezentowano dominujące kierunki wiatru w dni, gdy stężenie PM₁ było wyższe od dopuszczalnej wartości normatywnej zalecanej przez WHO dla PM_{2,5}. Na ich podstawie stwierdzono, że tak jak w przypadku pyłów o większych średnicach, również dla PM₁ w rejonie stacji AM3 i przyległych dzielnic, obszarem źródłowym mogły być główne składowiska węgla, zlokalizowane na terenach administrowanych przez ZMPG S.A (kierunek

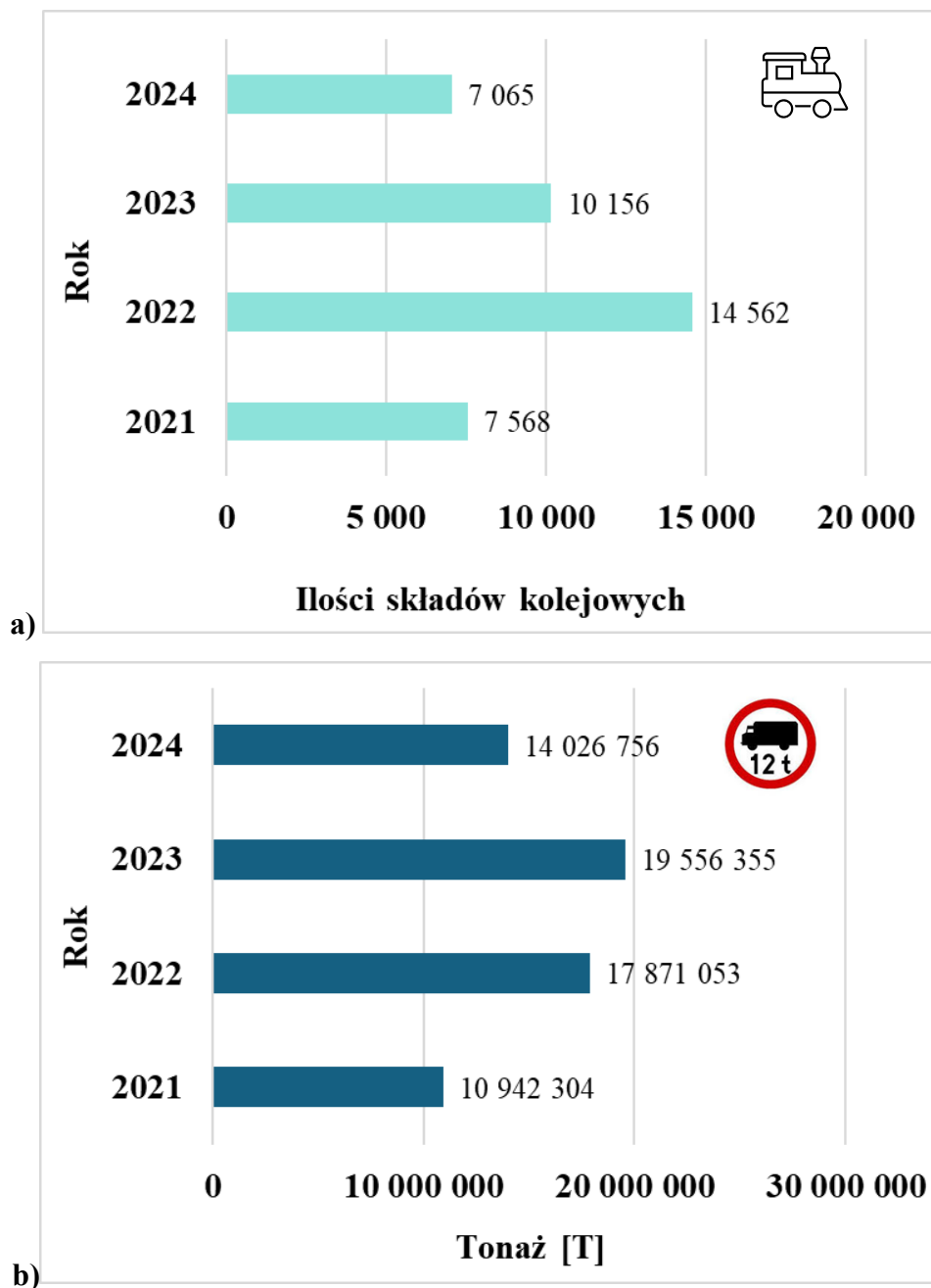
SSE względem stacji AM3) oraz emitory na położonej na południe od stacji Wyspie Ostrów i w jej rejonie (Rys. 4). W latach 2021-2023 przy wiatrach z południowego-wschodu zaznaczył się ponownie wpływ Portu Północnego Sp. z o.o. i Baltic Hub Container Terminal Sp. z o.o. (Rys. 12 a-c). W roku 2024 nie bez znaczenia, jako rejon źródłowe, były ponownie Westerplatte (NNE-ENE) i Pirs Węglowy (E) (Rys. 12 d).



Rys. 12 Róża wiatrów dla dni z występowaniem epizodów wysokich stężeń PM₁ (powyżej dobowej normy WHO rekomendowanej dla pyłu PM_{2,5}) w roku a) 2021, b) 2022, c) 2023, d) 2024

Celem określenia roli transportu w kształtowaniu wielkości stężenia pyłów w rejonie badań w latach 2021–2024 przeprowadzono analizę zmienności ilości składów kolejowych i ich tonażu (Rys. 13) oraz ilości samochodów ciężarowych i tonażu towarów przewożonych nimi do portu (Rys. 14). W przypadku kolei nie stwierdzono jednoznacznej tendencji. Ustalono

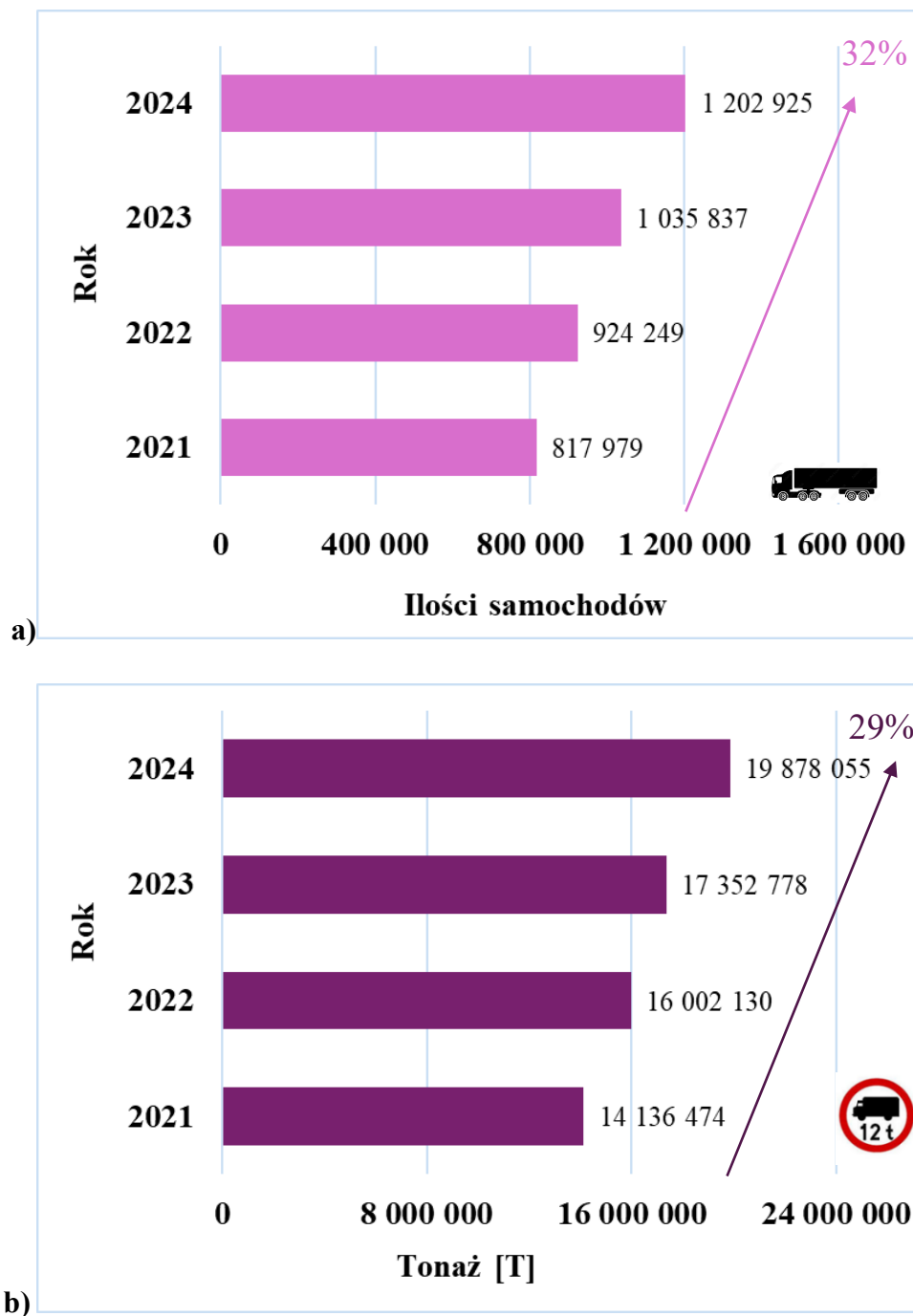
tylko, że rok 2022 charakteryzował się największą ilością składów kolejowych (Rys. 13a), podczas gdy rok 2023 charakteryzował się największym tonażem towarów transportowanych do portu drogą kolejową (Rys. 13b).



Rys. 13 Zestawienie a) ilości składów kolejowych oraz b) ich tonażu [T] w latach 2021-2024 w Porcie Gdańsk. Na podstawie wyników pozyskanych od ZMPG S.A.

Stwierdzono natomiast, że w Porcie Gdańsk w latach 2021-2024 wzrosła o 32% ilość samochodów ciężarowych (Rys. 14). Wzrósł także o blisko 30% tonaż przewożonych przez nie towarów, z czego tylko między rokiem 2023 i 2024 przyrost ten oszacowano na średnio 13% (Rys. 14b). W związku z powyższym można by wyciągnąć wniosek, że w ostatnich latach

wzrost aktywności transportowej i przeładunkowej w porcie mógł przyczynić się do wzrostu stężeń pyłów, zwłaszcza PM_{2,5} i PM₁, których pochodzenia upatruje się często w tych źródłach (Cai i in., 2017).



Rys. 14 Zestawienie a) ilości samochodów oraz b) tonażu [T] przewożonych przez nie towarów w latach 2021-2024 w Porcie Gdańsk. Na podstawie wyników pozyskanych od ZMPG S.A.

6. Analiza potencjalnego wpływu zanieczyszczenia powietrza pyłami na zdrowie mieszkańców dzielnic położonych w okolicy działalności portu (lata 2021–2024)

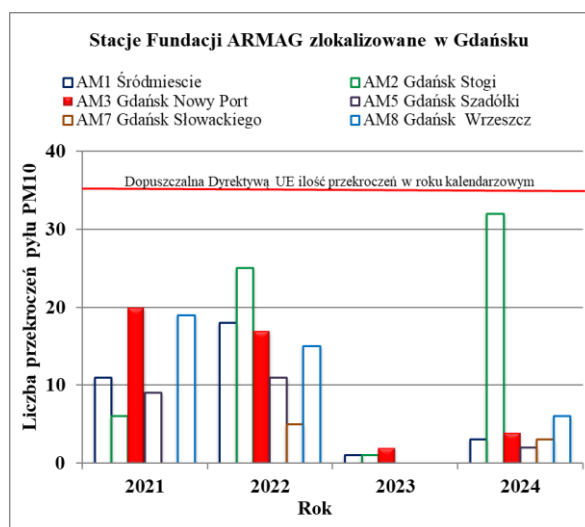
Niezwykle trudno jest oszacować precyzyjnie zakres szkód, jakie wynikają z zanieczyszczenia powietrza. Jednak w 2024 roku Światowa Organizacja Zdrowia uznała, że jest to największe środowiskowe ryzyko dla zdrowia ludzkiego i oszacowała, że odpowiadało ono za średnio 7 milionów zgonów na całym świecie (www.who.int, data dostępu 14.06.2025).

Dla kształtowania jakości powietrza i zdrowia ludzi istotne znaczenie mają pyły zawieszone (Hys i in., 2018; Si i in., 2023). Jest to mieszanina cząstek stałych i ciekłych zawieszonych w powietrzu (WHO, 2021). Pyły różnią się wielkością i składem, w zależności od źródeł emisji, warunków pogodowych i przemian, jakim podlegają w powietrzu badanego obszaru (Gelenceser i in., 2007). Największe zanieczyszczenie powietrza pyłami odnotowywane jest zazwyczaj na obszarach zurbanizowanych i uprzemysłowionych, ze względu na dużą gęstość zaludnienia i obecność wielu źródeł emisji. W Polsce głównymi źródłami zanieczyszczeń powietrza jest emisja z sektora komunalno-bytowego i z transportu. Na obszarze północnej części województwa pomorskiego w emisji pyłów ma również udział przemysł energetyczny i petrochemiczny, a w takich rejonach jak Trójmiasto dodatkowo mogą być to porty i stocznie (<https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/rwms/publications/card/2138>, data dostępu 28.06.2025; Rogula-Kozłowska i in., 2019; Wiśniewska i in., 2019; Górka i in., 2020; Juda-Rezler i in., 2020; Buch i in., 2021; Górka i in., 2025).

Dla zdrowia ludzkiego, poza wielkością emisji, ważne jest, w jakich rozmiarach występują/dominują pyły w otaczającym powietrzu. Im mniejsza jest ich średnica, tym głębiej mogą przenikać one do organizmu człowieka. Pyły PM₁₀ zwykle odkładają się w górnej części układu oddechowego. Ich wysokie stężenia mogą powodować ataki kaszlu, świszczący oddech oraz prowadzić do pogorszenia stanu zdrowia osób cierpiących na astmę, czy zapalenie oskrzeli. Wykazano, iż w sposób pośredni PM₁₀ może wpływać negatywnie także na układ naczyniowo-sercowy, zwiększając ryzyko zawału serca, a nawet wystąpienia udaru mózgu (Barzeghar i in., 2020).

W latach 2021-2024, będących przedmiotem niniejszej ekspertyzy, średnie roczne stężenie PM₁₀ nie przekroczyło wartości 40 µg·m⁻³, ustalonej w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 roku w sprawie jakości powietrza

i czystsze powietrze dla Europy pod kątem ochrony zdrowia (<https://powietrze.gios.gov.pl/>, data dostępu 17.06.2025) (Tab. 2). W żadnym roku kalendarzowym objętym badaniami, nie stwierdzono także sumarycznie większej ilości dni niż 35, w których przekroczona była dopuszczalna średniodobowa wartość stężenia PM10 ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) wymagana Dyrektywą UE (2008/50/WE). Dodatkowo, w ostatnich dwóch latach (2023-2024) zmalała kilkukrotnie ilość przekroczeń dopuszczalnego 24-h stężenia PM10. Może to wskazywać na poprawę jakości powietrza w rejonie badań (Rys. 6). Typowo dla epizodów wysokich stężeń PM10 dominowały one w okresie grzewczym (Witkowska i in., 2016b; Witkowska i Lewandowska, 2016). Wyjątek stanowił rok 2024, gdy z 4 odnotowanych epizodów wysokich stężeń PM10 po połowie przypadło na okres niegrzewczy i grzewczy. Jednocześnie stwierdzono, że poza rokiem 2023, w żadnym z lat badawczych nie były spełnione zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) odnośnie średniej rocznej wartości stężenia PM10 poniżej $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (<https://www.who.int>, data dostępu 17.06.2025) (Tab.2). Mimo to, biorąc pod uwagę rekomendowaną przez WHO dopuszczalną wartość 24-h stężenia PM10 ($45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) w ostatnich dwóch latach odnotowano znaczącą poprawę jakości powietrza. Wynika to z faktu, że zdecydowanie zmalała ilość przekroczeń, która nie była wyższa od 4 (jest to ilość dni rekomendowana przez WHO jako maksymalna z przekroczeniami 24-h stężenia PM10 w roku kalendarzowym) (Rys. 6). Dodatkowo, stacja AM3 zlokalizowana w Nowym Porcie, na której prowadzono pomiary poza rokiem 2021, nie wyróżniała się negatywnie pod względem ilości przekroczeń wartości normatywnych 24-h stężenia PM10 na tle innych gdańskich stacji włączonych w sieć monitoringu regionalnego Fundacji ARMAG (Rys. 15).

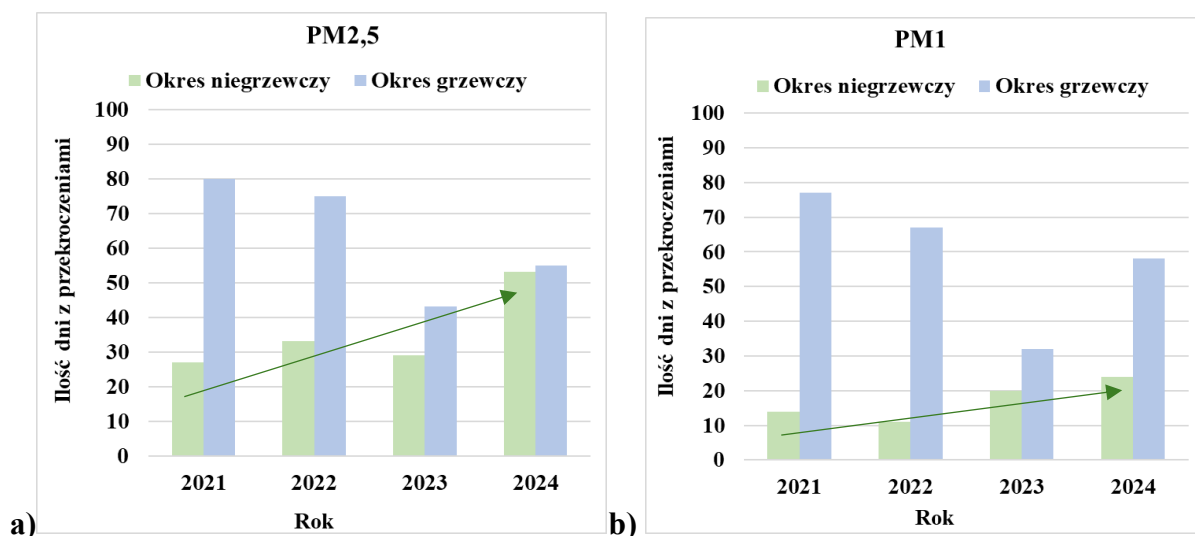


Rys. 15 Analiza porównawcza ilości przekroczeń 24-h dopuszczalnego Dyrektywą UE stężenia PM10 na stacji AM3 (kolor czerwony słupka) względem pozostałych stacji ARMAG zlokalizowanych w Gdańsku (lata 2021-2024)

Zdecydowanie bardziej niebezpieczne dla zdrowia ludzkiego od PM₁₀ są cząstki o średnicy mniejszej niż 2,5 µm (PM_{2,5}). Mogą się one przedostać do dolnej części układu oddechowego, w tym do płuc człowieka. Długotrwałe narażenie na ich działanie skutkuje skróceniem średniej długości życia, a krótkotrwała ekspozycja na wysokie stężenia PM_{2,5} powoduje wzrost liczby zgonów. W 2022 roku aż 96% populacji miejskiej w Europie było narażone na stężenia tych drobnych pyłów powyżej poziomu wytyczeń zdrowotnych rekomendowanych przez Światową Organizację Zdrowia (www.statista.com/, data dostępu 17.06.2025; Górka i in., 2025). Ustalono, że w 27 państwach członkowskich Unii Europejskiej wysokie stężenie PM_{2,5} mogło być wówczas odpowiedzialne średnio za około 270 000 przedwczesnych zgonów. Z kolei w Polsce, w roku 2021 liczba przedwczesnych zgonów spowodowanych ponadnormatywnie wysokim stężeniem PM_{2,5} wynosiła rocznie średnio 47 300 (www.statista.com/, data dostępu 17.06.2025). Główną przyczyną zgonów przypisywanych narażeniu na wysokie stężenia PM_{2,5} jest choroba niedokrwienna serca, udar, cukrzyca i przewlekła obturacyjna choroba płuc. Na stacji AM3 w latach 2021-2024, omawianych w niniejszej ekspertyzie, średnie roczne stężenie PM_{2,5} nie przekroczyło wartości 20 µg·m⁻³, wymaganej w Dyrektywie UE w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy pod kątem ochrony zdrowia (2008/50/WE) (<https://powietrze.gios.gov.pl/>, data dostępu 17.06.2025). Od 2 do 3 razy była natomiast w każdym z analizowanych lat przekroczona średnia roczna wartość stężenia PM_{2,5} zalecana przez WHO (5 µg·m⁻³).

Unia Europejska na chwilę obecną nie zdefiniowała dopuszczalnej wartości 24-h stężenia PM_{2,5} w odniesieniu do jego wpływu na zdrowie ludzkie. Takie zalecenia istnieją jednak w przypadku WHO i zostały ustalone na 15 µg·m⁻³ (WHO, 2021). Podczas 4 letniej kampanii pomiarowej stwierdzono, że dobowe wartości stężenia PM_{2,5} były przekraczane od 72 razy (rok 2023) do 107-108 razy (lata 2021, 2022 i 2024) (Rys. 7). Stwierdzono, że w latach 2021-2024 ilość dni z przekroczeniem dopuszczalnej dobowej wartości stężenia PM_{2,5} wzrastała stopniowo w okresie niegrzewczym. O ile w roku 2021 spośród wszystkich odnotowanych wartości ponadnormatywnych na okres niegrzewczy przypadło 25,2% przypadków (27 dni), o tyle w roku 2024 było to już 49,1% (53 dni) (Rys 16a). Jednocześnie należy zaznaczyć, że sumaryczna ilość dni z przekroczeniami dopuszczalnego 24-h stężenia PM_{2,5} zalecanego przez WHO była porównywalna w roku 2021 (107 dni) i w roku 2024 (108 dni). Zbliżoną tendencję odnotowano dla 24-h stężeń PM₁, których wartości przekraczały normę dobową rekomendowaną przez WHO dla PM_{2,5}. Także w tym przypadku wzrastała

ilość dni z przekroczeniami w okresie niegrzewczym (Rys. 16b). W roku 2021 było ich 14. W roku 2024 odnotowano ich 24.

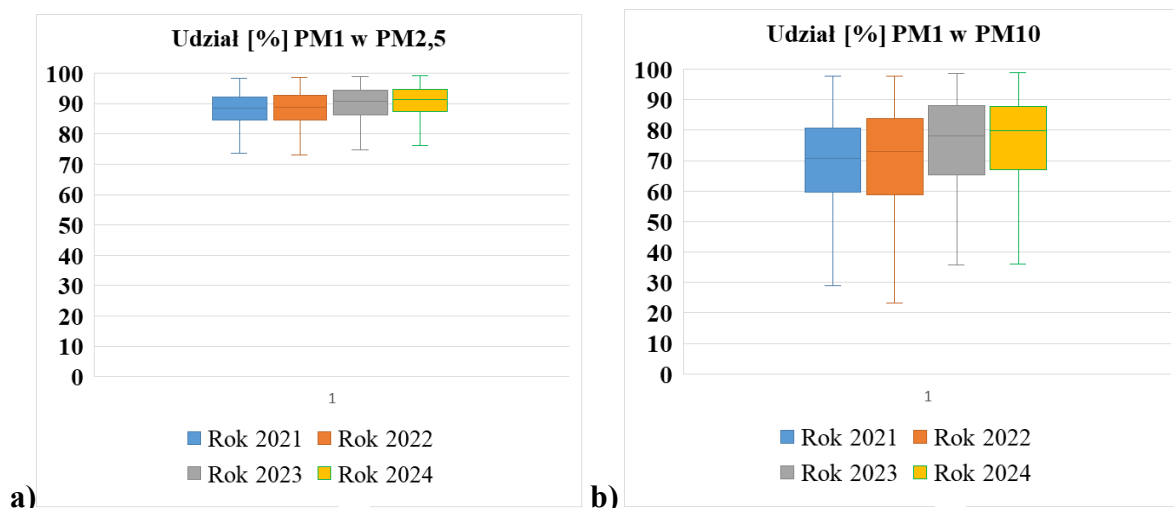


Rys. 16 Ilość dni w okresie niegrzewczym i grzewczym a) z przekroczeniami dopuszczalnego 24-h stężenia PM2,5 zalecanego przez WHO oraz b) z wartościami 24-h stężenia PM1 przekraczającego normę dobową rekomendowaną przez WHO dla PM2,5

W okresie niegrzewczym, emisja zanieczyszczeń w sektorze komunalnym jest ograniczona. Z tego względu w atmosferze rejonu badań odnotowane w latach 2021-2024 epizody wysokich stężeń PM2,5 i PM1 w ciepłych miesiącach roku były spowodowane emisją z innych źródeł. Mógł to być wspomniany wcześniej (Rozdział 5) postępujący od roku 2021 do roku 2024 wzrost transportu ciężarowego (przyrost o ~32%) oraz związanego z tym przeładunku towarów (przyrost o ~30%) w skutek prowadzonej działalności Portu Gdańsk. Jakkolwiek, w kształtowaniu wysokich stężeń pyłów, w tym PM2,5 i PM1, nie można wykluczyć istotnej roli pojazdów ciężarowych wykorzystywanych w prowadzonej intensywnie od lat modernizacji układów drogowych oraz przy rozbudowie infrastruktury publicznej i mieszkaniowej w dzielnicach otaczających Port Gdańsk (Brzeźno, Letnica, Stocznia Cesarska, Przeróbka, Sienna Grobla). W niektórych dzielnicach od roku 2021 do roku 2024 wzrosła także istotnie ilość mieszkańców (np. Letnica odnotowała wzrost o blisko 70%) (www.gdansk.pl, data dostępu 16.07.2025). Rozwój dzielnic był prawdopodobnie związany ze wzrostem ilości samochodów osobowych, a ten ze wzrostem zanieczyszczenia powietrza pyłami mniejszych rozmiarów. Na rolę transportu w kształtowaniu wysokich stężeń, zwłaszcza pyłów PM2,5 i PM1, w rejonie Trójmiasta w okresie niegrzewczym uwagę zwrócono już we wcześniejszych badaniach (Lewandowska i in., 2013; Witkowska i in., 2016a; Lewandowska i in., 2018; Wiśniewska i in., 2019; Górka i in., 2020; Buch i in., 2021; Górka i in., 2023). W tych samych

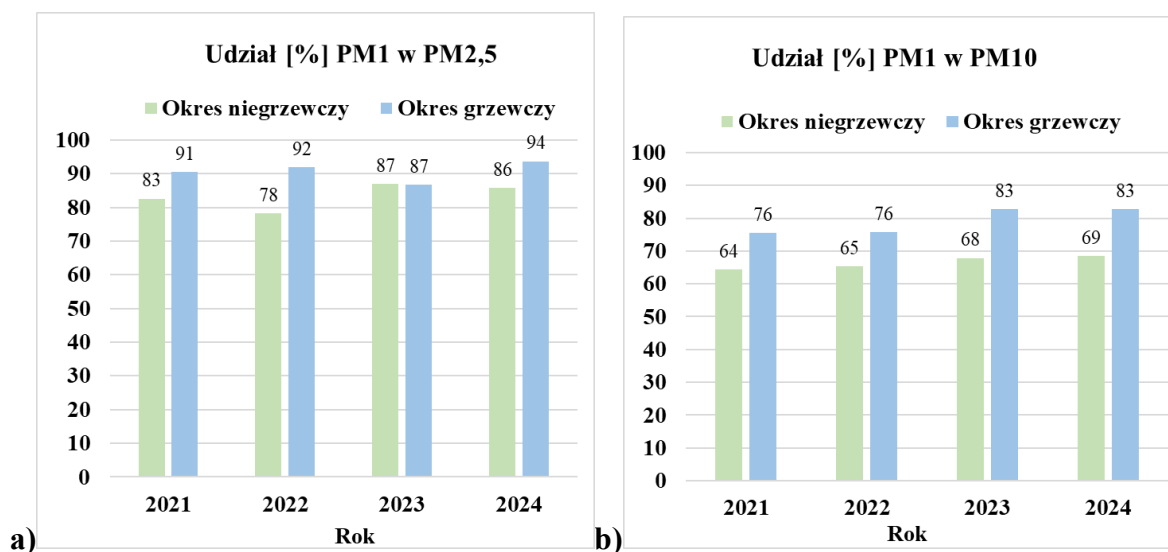
doniesieniach naukowych wskazano, że w okresie niegrzewczym czasowo do wzrostu stężenia pyłów PM1 i PM2,5 dochodzi na skutek codziennej aktywności ludzi (ogniska, grillowanie, wędzenie potraw) oraz imprez plenerowych z pokazami sztucznych ogni. Należy też pamiętać, że lata 2021-2024 były latami „post COVID-owymi”, w których (zwłaszcza na początku) zagraniczny ruch turystyczny został mocno ograniczony. Przełożyło się to na większe zainteresowanie społeczeństwa spędzaniem wakacji w Polsce. Rejon Trójmiasta, z dostępem do morza był wówczas bardzo atrakcyjnym miejscem turystycznym. Także z danych opublikowanych na stronie Miasta Gdańsk wynika, że w ostatnich latach napływ turystów do Gdańska wzrósł znacząco. W roku 2021 było to nieco ponad 3 mln, a w roku 2024 już ponad 4,5 mln osób rocznie. Z tego 60,9% turystów przyjechało do Trójmiasta samochodem (<https://www.gdansk.pl/>, data dostępu 15.07.2025).

Jak pokazują badania, najmniejsze cząstki, o średnicy poniżej 1 μm (PM1) przedostają się najgłębiej do organizmu człowieka, wnikając nawet do krwiobiegu (Franck i in., 2011; Lin i in., 2016a; Yang i in., 2018; Johnston i in., 2021, <https://www.epa.gov>, data dostępu 15.06.2025). Te ultra drobne cząstki mogą stanowić zatem największe zagrożenie dla zdrowia (Johari i in., 2016). Długotrwałe narażenie na wysokie stężenia PM1 może przyczyniać się do śmiertelnych chorób, tj zawał serca lub nowotwór płuc (Si i in., 2023). Do częstych konsekwencji należą ponadto rozedma płuc oraz demencja, które ostatecznie również mogą prowadzić do przedwczesnej śmierci (Caggiano i in., 2019). Wyjątkowo wrażliwe na zanieczyszczenie powietrza PM1 są dzieci, osoby starsze, kobiety w ciąży, osoby z chorobami układu oddechowego i krążenia (Manojkumar i Srimuruganandam, 2022). Dopuszczalny poziom średniodobowego stężenia PM1 nie został dotychczas ustanowiony przez UE. Także WHO nie przedstawiło swoich rekomendacji w tym zakresie. Mimo to, na kanwie doniesień o potencjalnym niebezpieczeństwie dla zdrowia wynikającym z ich obecności w powietrzu, zasadnym wydaje się rozpoznanie zmienności ich stężenia i pochodzenia w atmosferze rejonu badań. W latach 2021-2024 na stacji AM3 średnie roczne stężenie PM1 było najwyższe w pierwszym roku pomiarowym ($13,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i malało stopniowo do roku 2023 ($9,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), aby ponownie wzrosnąć w roku 2024 ($10,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) (Tab.2). Porównując średnie roczne stężenia PM1 i PM2,5 na stacji AM3 stwierdzono, że w latach 2021-2024 ich wartości były zbliżone, co przełożyło się na wysoki udział procentowy PM1 w PM2,5 (Rys. 17a). Udział ten wzrastał stopniowo w masie PM2,5 od 87,6% (w roku 2021) do 90,2% (w roku 2024). Udział PM1 wzrastał też w masie PM10 od 69,6% (w roku 2021) do 76,6% (w roku 2024) (Rys. 17b).



Rys. 17 Udział [%] pyłów a) PM1 w PM2,5 oraz b) PM1 w PM10 na stacji AM3 w latach 2021-2024. Oznaczenia: pozioma kreska-znacznik średniej

Ustalono ponadto, że udział procentowy zarówno PM1 w masie PM2,5 (Rys. 18a), jak i PM1 w masie PM10 w okresie grzewczym wyższy był w porównaniu z okresem niegrzewczym (Rys. 18b). W obydwu przypadkach pod uwagę wzięto tylko 24-h stężenia PM1, których wartości przekraczały dobową normę rekomendowaną przez WHO dla PM2,5.



Rys. 18 Udział [%] a) PM1 w PM2,5 oraz b) PM1 w PM10 z podziałem na okres grzewczy i niegrzewczy na stacji AM3 w latach 2021-2024 podczas występowania epizodów wysokich 24-h stężeń PM1

Mimo braku oficjalnych zaleceń Europejskiej Agencji Środowiska (EEA) i WHO dotyczących PM1, stanowią one wyższy czynnik ryzyka zdrowotnego, zwłaszcza w odniesieniu do chorób sercowo-naczyniowych (Yin i in.,2020). W związku z tym monitorowanie jakości powietrza pod kątem zanieczyszczenia pyłami PM1 wydaje się być kluczowe.

7. Podsumowanie

- ✓ Celem niniejszej ekspertyzy było ustalenie zmienności stężeń pyłów PM₁, PM_{2,5} i PM₁₀ w latach 2021-2024 na stacji AM3 (Gdańsk-Nowy Port) oraz zidentyfikowanie źródła ich pochodzenia, zwłaszcza w kontekście intensyfikacji przeładunku i składowania węgla na terenie Portu Gdańsk od lipca 2022 roku. Równolegle oceniono potencjalne skutki zdrowotne wysokich stężeń pyłów dla mieszkańców dzielnic sąsiadujących z Portem Gdańsk.
- ✓ Poddane analizie wyniki średniorocznych oraz 24-godzinnych stężeń pyłów uzyskane na stacji AM3 w latach 2021-2024 odniesiono w pierwszej kolejności do kryteriów określonych w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 roku w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (Dz. Urz. UE L 152 z 11.06.2008 - Clean Air for Europe). Jest to wymagana prawem restrykcja, wiążąca dla państw Unii Europejskiej, jeśli chodzi o spełnienie norm jakości powietrza. Dodatkowo, w ekspertyzie odwołano się do zaleceń Światowej Organizacji Zdrowia (ang. *World Health Organization*-WHO). Jej wytyczne nie są prawnie obowiązującymi normami. Stanowią oparte na wiedzy naukowej narzędzie, z którego Państwa Członkowskie WHO mogą korzystać w procesach ustawodawczych oraz w realizacji swoich polityk. Celem wytycznych WHO jest wskazanie kierunku zmian w odniesieniu do poprawy jakości powietrza, które są niezbędne, aby zmniejszyć narażenie zdrowia ludzi na negatywne skutki zanieczyszczenia powietrza.
- ✓ Średnie roczne stężenie PM₁₀ (13–20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i PM_{2,5} (10–15 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) nie przekroczyły limitów UE (40 i 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, odpowiednio dla PM₁₀ i PM_{2,5}). W odniesieniu do zaleceń WHO występowały przekroczenia normy dopuszczalnego rocznego stężenia PM₁₀ (15 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) w zakresie 2 do 32% (poza rokiem 2023). W przypadku pyłów PM_{2,5} średnie roczne stężenie w każdym roku było od ~2 do 3 razy wyższe od normy zalecanej przez WHO (5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).
- ✓ Częstość występowania epizodów średniego dobowego stężenia PM₁₀ powyżej wymaganego Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady (50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) w latach 2021-2024 nie przekroczyła dopuszczalnych 35 dni na rok. Najwięcej przekroczeń odnotowano w roku 2021 (20 dni) i 2022 (17 dni). Jednocześnie ilość przekroczeń zmalała istotnie w kolejnych dwóch latach badań (odpowiednio: 2 i 4 dni z przekroczeniami w roku 2023 i 2024). Zalecenia WHO w odniesieniu do średniej dobowej wartości PM₁₀ (45 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) nie zostały spełnione w latach 2021-2022 (odpowiednio: 35 i 27 dni). W kolejnych dwóch latach

(2023-2024) utrzymywały się już w rekomendowanym limicie (do 4 dni na rok). Ilość przekroczeń wartości normatywnych 24-h stężenia PM₁₀ na stacji AM3 zlokalizowanej w Nowym Porcie, poza rokiem 2021, była zbliżona, albo mniejsza niż na innych stacjach monitoringu atmosfery Fundacji ARMAG.

- ✓ Dla średniego dobowego stężenia PM_{2,5} nie ma wytycznych UE. Natomiast rekomendacje WHO (15 µg m⁻³) były przekroczone w każdym roku. W latach 2021-2022 oraz w roku 2024 odnotowano od 107 do 108 dni z wartościami PM_{2,5} wyższymi od rekomendowanej normy. W roku 2023 odnotowano 72 takich dni.
- ✓ Średnie dobowe stężenie pyłów PM₁ nie podlega regulacjom UE, ani zaleceniom WHO. Jednakże, podobnie jak PM_{2,5}, charakteryzują się one małą średnicą i zostały uznane za bardziej niebezpieczne dla zdrowia od PM₁₀. W związku z powyższym w ekspertyzie, omawiając PM₁, odniesiono się do zaleceń WHO rekomendowanych dla dopuszczalnego 24-h stężenia PM_{2,5}. Biorąc powyższe pod uwagę ustalono, że było ono najczęściej przekroczone w roku 2021 (91 razy), a najrzadziej w roku 2023 (52 razy).
- ✓ W latach 2021-2024 najwięcej epizodów wysokich stężeń pyłów występowało w sezonie grzewczym (październik-marzec). Wydaje się to typowe dla klimatu umiarkowanego w związku ze wzmożoną w zimnych miesiącach roku emisją zanieczyszczeń z sektora komunalno-bytowego. Wyjątkiem był rok 2024, gdy połowę przekroczeń ponadnormatywnych 24-h stężeń PM₁₀ oraz niemal połowę przekroczeń ponadnormatywnych 24-h stężeń pyłów drobnych i ultra drobnych (PM_{2,5}/PM₁) zarejestrowano w okresie niegrzewczym.
- ✓ Biorąc pod uwagę panujące podczas epizodów wysokich stężeń pyłów warunki meteorologiczne, zwłaszcza kierunek i prędkość wiatru, ustalono że w rejonie Portu Gdańsk i przyległych dzielnic jakość powietrza była determinowana przez lokalne źródła zanieczyszczeń. Stwierdzono ponadto nakładający się efekt wielu źródeł emisji. W każdym sezonie grzewczym zaznaczyła się rola sektora komunalno-bytowego, zlokalizowanego na terenie pobliskich dzielnic Letnica i Brzeźno. Ważnym obszarem źródłowym okazała się Wyspa Ostrów ze zlokalizowanym tam przemysłem stoczniowym i branżą logistyczną. Bez względu na rok badawczy, za występowanie epizodów wysokich stężeń PM₁, PM_{2,5} i PM₁₀ odpowiedzialna mogła być także emisja ze składowisk węgla na terenach administrowanych przez ZMPG S.A. i składowisk obcych, położonych poza ich obszarem. Okresowo, na bilans emisji pyłów wpływ miała działalność Portu Północnego Sp. z o.o. i Baltic Hub Container Terminal Sp. z o.o., a w roku 2024 dodatkowo Pirs Węglowy.

W ostatnim roku badań zaznaczyła się ponadto rola aktywności turystycznej w okolicy Westerplatte i Twierdzy Wisłoujście.

- ✓ Wykazano postępujący w latach 2021-2024 wzrost ruchu transportu ciężarowego związanego z działalnością Portu Gdańsk (~32%), jak również wzrost przeładunku towarów (~30%). Jakkolwiek, w latach 2021-2024 nastąpił także rozwój dzielnic okołoportowych. Związane to było z budową nowych osiedli mieszkalnych, zarówno w rejonach bliskich stacji AM3 (Brzeźno czy Letnica), jak i dalszych (np. Stocznia Cesarska, Przeróbka, Sienna Grobla). Mogło to przyczyniać się do zwiększonego ruchu samochodów ciężarowych i osobowych, a w konsekwencji prowadzić do wzrostu emisji pyłów mniejszych rozmiarów. W analizowanych latach wzrósł także o 33% ruch turystyczny, a ponad 60% turystów przyjechało do Trójmiasta samochodami osobowymi. Nakładający się efekt transportu, turystyki oraz aktywności portowej może tłumaczyć odnotowywany w rejonie badań wzrost epizodów wysokich stężeń PM1 i PM2,5 w okresie niegrzewczym.
- ✓ Według dostępnej literatury przedmiotu największe zagrożenie dla zdrowia ludzi stanowią pyły drobne (PM2,5) oraz ultra drobne (PM1). Wnikając do dolnych dróg oddechowych, a nawet układu krążenia, mogą one zwiększać ryzyko chorób sercowo-naczyniowych i układu oddechowego. W rejonie Portu Gdańsk ich wysokie stężenia w latach 2021-2024 zarejestrowano głównie w sezonie grzewczym, w okresach intensywnej działalności przemysłowej (w tym portowej, stoczniowej i logistycznej) oraz wzmożonego wykorzystania źródeł transportu. Stwierdzono, że średnie roczne stężenia PM1 i PM2,5 na stacji AM3 były na zbliżonym poziomie. Wysoki był ponadto udział procentowy PM1 w masie PM2,5 (od 87,6% do 90,2%), jak i udział PM1 w masie PM10 (od 69,6% do 76,6%). Wskazuje to na potrzebę dalszego monitorowania jakości powietrza, zwłaszcza cząstek pyłów mniejszych rozmiarów oraz dalszego wdrażania działań ograniczających emisję pyłów z obszaru portu, w tym z transportu i przeładunku.

8. Spis literatury

1. Barzeghar V., Sarbakhsh P., Sadegh M., Sasan H., Gholampour F.A. (2020). Long-term trend of ambient air PM₁₀, PM_{2.5}, and O₃ and their health effects in Tabriz city, Iran, during 2006–2017. *Sustainable Cities and Society*, 54. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101988>
2. Buch, J.K., Lewandowska, A.U., Staniszevska, M., Wiśniewska, K.A., Bartkowski, K.V. (2021). The influence of transport on PAHs and other carbonaceous species' (OC, EC) concentration in aerosols in the coastal zone of the gulf of Gdansk (Gdynia). *Atmosphere (Basel)*. 12(8). <https://doi.org/10.3390/atmos12081005>.
3. Caggiano, R., Sabia S., Speranza, A. (2019). Trace elements and human health risks assessment of finer aerosol atmospheric particles (PM₁). *Environmental Science and Pollution Research*. 26(36), 36423–36433. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06756-w>.
4. Cai T., Zhang Y., Fang D., Shang J., Zhang Y., Zhang Y. (2017). Chinese Vehicle Emissions Characteristic Testing with Small Sample Size: Results and Comparison. *Atmos. Pollut. Res.* 2017, 8, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.08.007>
5. Casotto, R., Skiba, A., Rauber, M., Strähl, J., Tobler, A., Bhattu, D., Lamkaddam, H., Manousakas, M.I., Salazar, G., Cui, T., Canonaco, F., Samek, L., Ryś, A., El Haddad, I., Kasper-Giebl, A., Baltensperger, U., Necki, J., Szidat, S., Styszko, K., Slowik, J.G., Prévôt, A.S.H., Daellenbach, K.R. (2023). Organic aerosol sources in Krakow, Poland, before implementation of a solid fuel residential heating ban. *Science of the Total Environment*. 855, 158655. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158655>.
6. Franck, U., Odeh, S., Wiedensohler, A., Wehner, B., Herbarth, O. (2016). The effect of particle size on cardiovascular disorders — The smaller the worse. *Science of the Total Environment*. 409(20), 4217–4221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.049>.
7. Gelencser, A., May, B., Simpson, D., Sánchez-Ochoa, A., Kasper-Giebl, A., Puxbaum, H., Caseiro, A., Pio, C., Legrand, M. (2007). Source apportionment of PM_{2.5} organic aerosol over Europe: Primary/secondary, natural/anthropogenic, and fossil/biogenic origin. *J. Geophys. Res. Atmos.* 112, 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2006JD008094>
8. Górka, M., Jędrysek, M., 2008. D₁₃C of organic atmospheric dust deposited Górka, M., Kosztowniak, E., Lewandowska, A.U., Widory, D. (2020). Carbon isotope compositions and TC/OC/EC levels in atmospheric PM₁₀ from Lower Silesia (SW Poland): Spatial variations, seasonality, sources and implications. *Atmospheric Pollution Research*. 11(7), 1099–1114. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.04.003>.
9. Górka, M., Bezyk, Y., Malinowska, M., Sówka, I., Reizer, M., Lewandowska, A. (2025). Chemical and isotopic genesis of fine and ultra-fine aerosols in the coastal urban atmosphere, *Science of the Total Environment*. 967, 178823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178823>.
10. Górka, M., Trzyna, A., Lewandowska, A., Drzeniecka-Osiadacz, A., Miazga, B., Rybak, J., Widory, D. (2023). The impact of seasonality and meteorological conditions on

- PM2.5 carbonaceous fractions coupled with carbon isotope analysis: Advantages, weaknesses and interpretation pitfalls. *Atmospheric Research* 290, 106800.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106800>.
11. Hys A., Dumańska J., Tworek K. (2018). Stężenie pyłów zawieszonych PM10 w Polsce w 2015 roku – porównanie danych z serwisu CAMS programu Copernicus z danymi Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska. GUM: Warszawa.
 12. Johari S., Goel I., Mandal, A. (2017). Health effects of ultrafine particles (PM1.0): A review. *Mater. Sci*, 3, 1-10.
 13. Juda-Rezler, K., Reizer, M., Maciejewska, K., Błaszczak, B., Klejnowski, K. (2020). Characterization of atmospheric PM2.5 sources at a Central European urban background site. *Sci. Total Environ.* 713
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136729>
 14. Lewandowska, A.U., Falkowska, L.M. (2013). High concentration episodes of PM10 in the air over the urbanized coastal zone of the Baltic Sea (Gdynia - Poland). *Atmospheric Research*. 120-121, 56-67. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.08.002>.
 15. Lewandowska, A.U., Staniszevska, M., Witkowska, A., Machuta, M., Falkowska, L. (2018). Benzo(a)pyrene parallel measurements in PM1 and PM2.5 in the coastal zone of the Gulf of Gdansk (Baltic Sea) in the heating and non-heating seasons. *Environmental Science and Pollution Research*. 25, 19458–19469.
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-2089-9>.
 16. Manojkumar, N., Srimuruganandam, B., (2022). Spatio-temporal health benefits attributable to PM2.5 reduction in an Indian city. *International Journal of Environmental Health Research*. 33(6), 552–562. <https://doi.org/10.1080/09603123.2022.2040959>.
 17. Pateraki S., Asimakopoulos D.N., Maggos T., Assimakopoulos V.D., Bougiatioti A., Bairachtari K., Vasilakos C., Mihalopoulos N. (2020). Chemical characterization, sources and potential health risk of PM2.5 and PM1 pollution across the Greater Athens Area. *Chemosphere* 241. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125026>
 18. Rogula-Kozłowska, W., Majewski, G., Rogula-Kopiec, P., Mathews, B. (2019). Mass concentration and chemical composition of submicron particulate matter (PM1) in the Polish urban areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 214, 012092. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/214/1/012092>.
 19. Si, J., Bai, L., Xu, X., Li, C. (2023). Pollution characteristics and health hazards of PAHs in PM_{1.0} in the cooking environment. *Building and Environment*. 237, 110279. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110279>.
 20. Yang M., Guo Y-M., Blooma M., Dharmagee S. C., Morawska L., Heinrich J., Jalaludin B., Markevychdn I., Knibbsfo L., Lin S., Lan S., Jalava P., Komppular M., Roponens M., Hirvonemq M.R., Guans Q.H., Liangs Z. M., Yua H.J., Hua L.W., Yanga B.Y., Zenga X. Z., Donga G.H. (2020). Is PM1 similar to PM2.5? A new insight into the association of PM1 and PM2.5 with children's lung function. *Environment International* 145, 2020, 106092 .

21. Yin, P., Guo, J., Wang, L., Fan, W., Lu, F., Guo, M., Moreno, S.B.R., Wang, Y., Wang, H., Zhou, M., Dong, Z. (2020). Higher Risk of Cardiovascular Disease Associated with Smaller Size-Fractioned
22. Particulate Matter. Environ. Sci. Technol. Lett. 7, 95–101. World Health Organization (2021). Global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva. 1–360
23. World Health Organization (2024). Sustainable Development Goal indicator 3.9.1: mortality attributed to air pollution. Geneva: Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
24. Wiśniewska, K., Lewandowska, A.U., Staniszevska, M. (2019). Air quality at two stations (Gdynia and Rumia) located in the region of Gulf of Gdansk during periods of intensive smog in Poland. Air Quality, Atmosphere and Health. 12, 879-890. <https://doi.org/10.1007/s11869-019-00708-6>.
25. Witkowska, A., Lewandowska, A.U., Saniewska, D., Falkowska, L.M. (2016a). Effect of agriculture and vegetation on carbonaceous aerosol concentrations (PM_{2.5} and PM₁₀) in Puszcza Borecka National Nature Reserve (Poland). Air Quality, Atmosphere and Health. 9, 761–773. <https://doi.org/10.1007/s11869-015-0378-8>.
26. Witkowska, A., Lewandowska, A., Falkowska, L.M. (2016b). Parallel measurements of organic and elemental carbon dry (PM₁, PM_{2.5}) and wet (rain, snow, mixed) deposition into the Baltic Sea. Mar. Pollut. Bull. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.003>
27. Witkowska, A., Lewandowska, A.U., 2016. Water soluble organic carbon in aerosols (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) and various precipitation forms (rain, snow, mixed) over the southern Baltic Sea station. Sci. Total Environ. 573, 337–346.