

# Smog w mieście, czyli jakość pyłu zawieszonego w Białymstoku

## Smog in the city – the quality of suspended dust in Białystok

Marlena Chraślowska, Anna Siemieniuk, Ewa Szatyłowicz<sup>\*</sup>

**Słowa kluczowe:** smog, pył zawieszony, miasto, monitoring, zanieczyszczenia powietrza

### Streszczenie

W Polsce oraz innych krajach europejskich obserwujemy występowanie smogu. Jest to nienaturalne zjawisko atmosferyczne, które występuje, gdy w atmosferze znajdują się pyły pochodzenia antropogenicznego, związki chemiczne oraz substancje w nadmiernie zawyżonych ilościach. Główną przyczyną powstawania smogu jest tzw. niska emisja, do której przyczynia się działalność człowieka, w tym spaliny samochodowe, dym z pieców opalanych węglem oraz pył z zakładów przemysłowych. W związku z powyższymi faktami postanowiono przeanalizować zmienność stężenia pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 w mieście Białystok. W tym celu wybrano 10 punktów pomiarowo-kontrolnych, zlokalizowanych na głównych osiedlach miasta. Badania prowadzono od października 2022r. do września 2023 r.. Na podstawie przeprowadzonych badań zaobserwowano epizody smogowe w Białymstoku w okresie grzewczym, oraz w maju, który charakteryzował się niskimi temperaturami jak na ten miesiąc. Ponadto wskazano te obszary miasta, które charakteryzują się podwyższonymi stężeniami pyłu zawieszonego, w stosunku do pozostałych i wskazano przyczyny tej sytuacji.

**Keywords:** smog, particulate matter, city, monitoring, air pollution

### Abstract

In Poland and other European countries, we observe the occurrence of smog, which is an unnatural atmospheric phenomenon that occurs when the atmosphere contains anthropogenic dust, chemical compounds, and substances in excessively high amounts. The main cause of smog formation is the so-called low emission, which is contributed to by human activities, including car exhaust fumes, smoke from coal-fired stoves, and dust from industrial plants. In light of these facts, it was decided to analyze the variability of PM10 and PM2.5 particulate matter concentrations in the city of Białystok. For this purpose, 10 measurement and control points located in the main neighborhoods of the city were selected. The research was conducted from October 2022 to September 2023. Based on the conducted research, smog episodes were observed in the city of Białystok during the heating season, as well as in May, which was characterized by unusually low temperatures for that month. Additionally, areas of the city with elevated concentrations of particulate matter compared to others were identified, and the causes of this situation were indicated.

## Wprowadzenie

Zanieczyszczenie powietrza stanowi jedno z najpoważniejszych wyzwań współczesnych miast. Dynamiczny rozwój przemysłu, budownictwa oraz transportu powoduje wzrost ilości zanieczyszczeń wprowadzanych do atmosfery. Pył zawieszony PM10 i PM2,5 może pozostawać w powietrzu przez długi czas po emisji, niekorzystnie wpływając na zdrowie ludzi.

W Polsce oraz innych krajach europejskich obserwujemy występowanie smogu. Jest to nienaturalne zjawisko atmosferyczne, które występuje, gdy w atmosferze znajdują się pyły pochodzenia antropogenicznego, związki chemiczne oraz substancje w nadmiernie zawyżonych ilościach. Smog powstaje przy sprzyjających warunkach atmosferycznych, takich jak bezwietrzna pogoda, mgła oraz wysoka lub niska temperatura. Główną przyczyną powstawania smogu jest tzw. niska emisja, do której przyczynia się działalność człowieka, w tym spaliny samochodowe, dym z pieców opalanych węglem oraz pył z zakładów przemysłowych.

Zanieczyszczenie powietrza wywiera bardzo negatywny wpływ na zdrowie ludzi oraz stan środowiska. Wzrost stężenia pyłu powoduje zwiększenie liczby zachorowań na choroby dróg oddechowych i układu krążenia, nasilenie objawów alergii oraz astmy. Wdychanie zanieczyszczonego powietrza zwiększa ryzyko powstawania zmian nowotworowych. Częstki pyłu zawieszonego dostają się do organizmu głównie przez układ oddechowy [8]. W zależności od wielkości cząstek, trafiają do różnych odcinków. Częstki o średnicy większej niż 10  $\mu\text{m}$  zatrzymują się w górnych odcinkach dróg oddechowych, cząstki mniejsze przenikają głębiej do płuc. Pył PM2,5 zawierający cząstki o średnicy do 2,5 mikrometra, przenika najgłębiej, powodując poważne ryzyko dla układu oddechowego. Szkodliwość pyłu zależy głównie od trzech czynników: składu chemicznego i mineralnego oraz rozmiarów ziaren. Największym zagrożeniem odznaczają się pyły zawierające metale ciężkie, takie jak: arsen, ołów, rtęć, kadm, które są szczególnie toksyczne dla ludzi. Osoby starsze, cierpiące na astmę oraz dzieci,

<sup>\*</sup> Marlena Chraślowska, studentka kierunku inżynieria środowiska Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, Politechnika Białostocka; Anna Siemieniuk, Katedra Technologii w Inżynierii Środowiska, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, Politechnika Białostocka, a.siemieniuk@pb.edu.pl; Ewa Szatyłowicz, Katedra Technologii w Inżynierii Środowiska, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, Politechnika Białostocka, e.szatyłowicz@pb.edu.pl (<https://orcid.org/0000-0001-6659-4452>)

których układ oddechowy nie jest w pełni ukształtowany, są najbardziej narażone na negatywne skutki zdrowotne spowodowane pyłami [3].

Pyły, będące zanieczyszczeniem powietrza, mogą mieć różne pochodzenie [5]:

- naturalne pierwotne – pył z gleby, wulkaniczny i biologiczny oraz sole morskie,
- naturalne wtórne – siarczany pochodzące z gazów biogenych, siarczany pochodzenia wulkanicznego, organiczne związki lotne i azotany,
- antropogeniczne pierwotne – pył z przemysłu, sadza,
- antropogeniczne wtórne – siarczany, azotany, spalanie biomasy, związki lotne.

Ciągły wzrost zanieczyszczenia powietrza przyczynił się do utworzenia przez Unię Europejską norm prawnych, które, jeżeli są wdrażane, mają na celu ograniczyć stężenia tych zanieczyszczeń. Monitorowanie stanu jakości powietrza oraz jego poprawa, są sprawami priorytetowymi, aby zapewnić dobrą jakość powietrza. Poprzez przestrzeganie norm, odnawialne źródła energii oraz edukację społeczną, można skutecznie ograniczyć zanieczyszczenie powietrza. W 2021 r. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) zaktualizowała swoje wytyczne zdrowotne, dotyczące jakości powietrza, zaleciła maksymalny poziom 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  drobnych cząstek stałych w przypadku długotrwałego narażenia w celu ochrony zdrowia. W 2008 r. Unia Europejska (UE) ustaliła roczną wartość dopuszczalną dla drobnych cząstek stałych na 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , w ramach polityki mającej na celu zapewnienie czystego powietrza w Europie. Dyrektywa 2008/50/WE, w sprawie jakości powietrza atmosferycznego, jest obecnie poddawana przeglądowi, m. in. w celu lepszego dostosowania norm UE do zaleceń WHO.

Dodatkowo inne źródła emisji pyłów do atmosfery obejmują: transport drogowy, działalność rolniczą, elektrownie oraz elektrociepłownie, a także procesy przemysłowe. Jednak jednym z głównych źródeł emisji pyłów są procesy spalania paliw stałych, a zwłaszcza węgla [9]. Cząsteczki pyłów mogą łączyć się z różnorodnymi związkami chemicznymi, takimi jak siarka, węglowodory aromatyczne, metale ciężkie, dioksyny, alergen. Ze względu na bardzo małą masę pył może unosić się w powietrzu i łatwo przedostawać się do pęcherzyków płucnych, a nawet przenikać do krwiobiegu [5].

Termin smog jest połączeniem dwóch angielskich słów: „smoke” (dym) i „fog” (mgła). Odnosi się do silnego zanieczyszczenia powietrza w najniższym poziomie atmosfery, które wynika z dużej koncentracji zanieczyszczeń, takich jak tlenki siarki, azotu i pyłu. Poziomy stężenie cząstek smogu ulegają zmianom w ciągu doby. Ich maksymalne wartości występują najczęściej w okresie wzmożonego ruchu drogowego oraz spalania w kotłach domowych [9]. Najczęściej wymienia się dwa rodzaje smogu. Jednym z nich jest smog kwaśny (londyński), powstaje w wyniku emisji toksycznych składników przemysłowych, głównie w okresie zimowym, gdy trwa sezon grzewczy i temperatura wynosi 0-7°C. Zjawisko to występuje przy bezwietrznej pogodzie lub przy niewielkiej prędkości wiatru. Ciepłe i wilgotne powietrze zatrzymuje zanieczyszczenia blisko ziemi. Mgła powstająca w tych warunkach miesza się z sadzą i kwaśnymi gazami, pochodzącymi z procesów spalania. Smog londyński jest również obserwowany w polskich miastach np. w Krakowie, czy Warszawie [3,9]. Drugim rodzajem smogu jest smog fotochemiczny (kalifornijski, typu Los Angeles), który występuje latem w strefach subtropikalnych. Jak w przypadku smogu londyńskiego charakteryzuje się inwersją temperatury i bezwietrzną pogodą. Jego główne źródła to spaliny samochodowe, a w skład smogu wchodzi głównie gazy, w tym tlenki, węglowodory i aldehydy. Ten rodzaj smogu występuje głównie w dużych metropoliach, na jego występowanie nie wpływa dym ani mgła, ale ogranicza on widoczność do 0,8-1,6 km [3,9].

W Polsce coraz częściej stosuje się określenie „polski smog”, w celu odróżnienia go od dwóch głównych typów smogu londyńskiego i kalifornijskiego. Charakteryzuje się on obecnością pyłu PM10, PM2,5 oraz PM1,0, a także wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Smog ten powstaje głównie w wyniku spalania paliw w piecach domowych oraz emisji z pojazdów bez katalizatorów. W przeciwieństwie do smogu londyńskiego, rzadko notuje się przekroczenia dopuszczalnych stężeń  $\text{SO}_2$  i  $\text{CO}_2$  [1,4].

W Polsce wiele miast przez większość roku zmagają się ze smogiem. Ten problem składa się z wielu czynników, w tym dominacja węgla w gospodarce energetycznej. Wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii lub przejście na energię atomową pozwoliłoby na znaczną redukcję zanieczyszczenia powietrza. Stare kotły, nie spełniające współczesnych norm emisji niebezpiecznych substancji, są nadal używane w wielu gospodarstwach domowych. Wzrost liczby samochodów prowadzi do zwiększonej emisji spalin, negatywnie wpływając na jakość powietrza.

Źródła zanieczyszczeń powietrza ulegają zmianie. Początkowo największy wpływ na emisję zanieczyszczeń miał sektor energetyczny. Obecnie coraz większym problemem staje się jednak niska emisja. Poprzez wprowadzenie licznych ograniczeń prawnych dla sektora przemysłowego, emisje sukcesywnie maleją. Poważnym problemem pozostaje emisja pyłów i szkodliwych związków z sektora bytowo-gospodarczego, związanego z ogrzewaniem pojedynczych domostw. W sezonie zimowym wysokie stężenia pyłów i benzo(a)pirenu dotyczą zarówno dużych aglomeracji i małych miast.

Według WHO Polska znajduje się w czołówce europejskich krajów, pod względem zanieczyszczenia powietrza pyłami PM10 i PM2,5. Każdego roku, z powodu chorób związanych z złym stanem powietrza, umiera około 50 tysięcy osób [2].

W związku z powyższymi faktami postanowiono przeanalizować zmienność stężenia pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 w Białymstoku. W tym celu wybrano 10 punktów pomiarowo-kontrolnych, zlokalizowanych na głównych osiedlach miasta. Badania prowadzono od października 2022 r. do września 2023 r.

## Materiały i metody

Obszarem badań było miasto Białystok, gdzie prowadzono pomiary stężenia pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5. Stolica województwa podlaskiego znajduje się w północno – wschodniej Polsce i jest nazywana „Zielonymi Płucami Polski”, z uwagi na liczne obszary zieleni oraz dobrą jakość powietrza. Miasto zajmuje powierzchnię 102,12  $\text{km}^2$ , posiada również urozmaiconą rzeźbę terenu wysokość waha się od 120 do 170 m n.p.m.

Pod względem liczby ludności i powierzchni stolica Podlasia zajmuje dziesiąte miejsce w kraju. Od lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku liczba mieszkańców dynamicznie rosła i w 2023 roku osiągnęła 291,7 tys. (GUS 2024).

Białystok charakteryzuje się klimatem umiarkowanym przejściowym, największy wpływ ma powietrze kontynentalne. To przynosi długie i mroźnie zimy, krótkie przedwiośnie oraz gorące lata. Najzimniejszym miesiącem jest styczeń, a najcieplejszym lipiec [6].

Badania stężenia pyłu PM10 i PM2,5 rozpoczęto w październiku 2022 r. i zakończono we wrześniu 2023 r. Pomiary przeprowadzano raz w miesiącu w 10 punktach kontrolnych na terenie Białegostoku (rys. 1.), przy użyciu miernika DT-96. Punkty kontrolne różniły się od siebie pod względem odległości od centrum miasta, typu budynków mieszkalnych, obecności terenów zielonych, występowania tras szybkiego ruchu oraz odległości od źródeł punktowych emisji zanieczyszczeń. Wybrane miejsca pomiarowo-kontrolne:



Rys. 1. Mapa Białegostoku z punktami pomiarowo – kontrolnymi

Fig. 1. Map of Białystok with measurement and control points  
Źródło: [11]

1 – zlokalizowany jest na osiedlu Bacieczki, położonym na obrzeżach miasta. Otoczenie charakteryzuje się głównie budynkami jednorodinnymi oraz obecnością terenów zielonych. W okolicy przebiega droga krajowa numer 8, gdzie często występuje znaczny ruch samochodowych, co może negatywnie wpływać na jakość powietrza. W dzielnicy znajduje się dworzec kolejowy, szkoły podstawowe, obiekty kultu religijnego oraz rzeka Biała.

2 – znajduje się na osiedlu Dziesięciny II, położonym w północno-zachodniej części Białegostoku, znacznie oddalonym od centrum miasta. W pobliżu występują głównie budynki wielorodzinne, brak zabudowy jednorodzinnej z indywidualnym systemem ogrzewania korzystnie wpływa na jakość powietrza. Na tym osiedlu znajdują się szkoły oraz niewielkie obiekty handlowe. Ruch uliczny jest intensywny w godzinach szczytu, ze względu na sąsiedztwo obwodnicy północnej miasta.

3 – położony jest na osiedlu Dziesięciny I zlokalizowanym w północno-zachodniej części miasta. Na tym obszarze występuje zabudowa jednorodzinna i wielorodzinna oraz obiekty usługowe. Intensywny ruch komunikacyjny na tym obszarze jest spowodowany dość dużym zaludnieniem oraz obecnością drogi krajowej numer 65.

4 – to osiedle Antoniuk położone we wschodniej części miasta. Charakteryzuje się przewagą domów wielorodzinnych, licznych sklepów oraz budynków pełniących funkcje edukacyjne. Na tym terenie znajduje się również Park Antoniuk.

5 – zlokalizowany jest na osiedlu Białostoczek, które charakteryzuje się zabudową zarówno jedno – jak i wielorodzinną oraz mniejszymi budynkami handlowymi. W pobliżu dzielnicy przebiegają trasy kolejowe. Na tym terenie znajdują się kościoły, szkoły oraz kompleks fitness. Kluczowym punktem osiedla jest Elektrociepłownia Białystok, dostarczająca energię elektryczną oraz ciepłą wodę użytkową dla całego miasta.

6 – usytuowany jest na osiedlu Centrum. Teren ten charakteryzuje się budynkami wielorodzinnymi oraz obiektami usługowymi i biurowymi, zabudowa jednorodzinna jest rzadkością. W okolicy znajdują się liczne parki, a największy z nich to Park Centralny. Na terenie centrum znajduje się Rynek Kościuszki oraz ulica Lipowa, gdzie często organizowane są duże imprezy miejskie.

7 – znajduje się na osiedlu Piaski, jest to nieduże osiedle położone blisko centrum. Charakteryzuje się zabudową wielorodzinną oraz punktami usługowymi. Na tej dzielnicy znajduje się Poli-

technika Białostocka oraz Szpital Kliniczny i Dziecięcy Szpital Kliniczny.

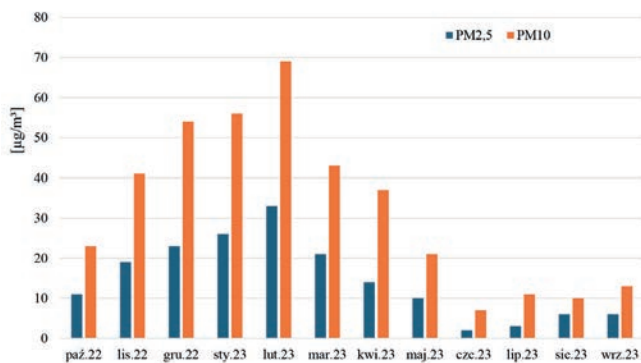
8 – to osiedle Mickiewicza, obejmuje ono znaczny obszar miasta, który zawiera galerie handlowe, kościoły, siedzibę Radia Białystok, Pierwszy Urząd Skarbowy w Białymstoku oraz Rezerwat Las Zwierzyniecki. Dzielnica ta jest położona blisko centrum i sąsiaduje z Parkiem Konstytucji 3 Maja. Dominuje tu zabudowa wielorodzinna oraz duże obiekty handlowe takie jak Galeria Alfa czy Atrium Biała. Wąskie ulice oraz intensywny ruch drogowy często prowadzi do korków. Ponadto osiedle to charakteryzuje się rozproszoną zabudową domów jednorodzinnych z lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego stulecia.

9 – osiedle Bojary. Teren ten charakteryzuje się przeważnie zabudową wielorodzinną. Na tym obszarze znajduje się wiele szkół, muzeum historyczne, urząd miejski oraz Wojewódzki Szpital Zespólny. Osiedle znajduje się w znacznej odległości od głównych tras komunikacyjnych, jednak z racji bliskiego położenia względem centrum miasta, ruch drogowy jest dość intensywny.

10 – zlokalizowany jest na osiedlu Wygoda, położonym w północno-wschodniej części miasta, przy niewielkiej rzece Dolistówka, która jest dopływem rzeki Biała. Teren osiedla znajduje się przy ruchliwej drodze krajowej numer 19 i jest znacząco oddalony od centrum miasta. Dzielnica charakteryzuje się zabudową jednorodzinną, bloki praktycznie nie występują. Na tym obszarze znajdują się budynki handlowe, szkoły, obiekty kultu religijnego, cmentarze oraz park miejski ze stawem.

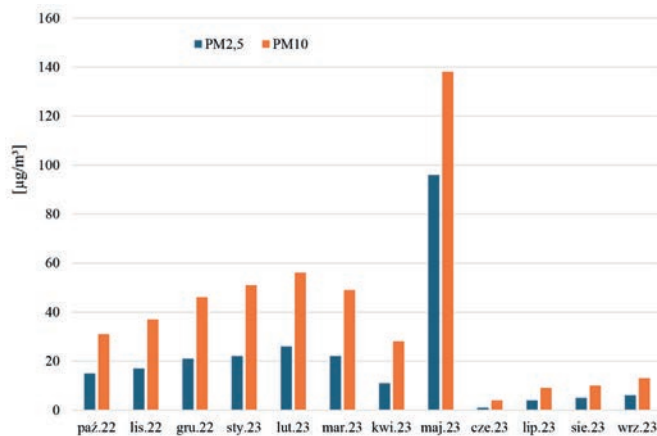
Na rys. 2-11 przedstawiono stężenie pyłu PM<sub>2,5</sub> oraz PM<sub>10</sub> w poszczególnych punktach pomiarowo-kontrolnych Białegostoku.

W pierwszym punkcie pomiarowo-kontrolnym (rys. 2.) znajdującym się na osiedlu Bacieczki, najwyższe stężenie pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub>, jak również pyłu PM<sub>10</sub> zanotowano w lutym 2023 r., osiągnęte wartości to odpowiednio 33 µg/m<sup>3</sup> i 69 µg/m<sup>3</sup>. Zwiększone stężenia pyłów w tym okresie są związane z charakterem zabudowy tego osiedla, w którym dominują domy jednorodzinne, a to wiąże się z indywidualnym systemem ogrzewania. Przebiegająca droga krajowa numer 8, gdzie ruch samochodowy jest intensywny, również może przyczyniać się do wyższych stężeń badanych pyłów. Najniższe stężenia pyłów odnotowano w czerwcu 2023 r. wynosiły one 2 µg/m<sup>3</sup> i 7 µg/m<sup>3</sup>, co prawdopodobnie wynika z wysokich temperatur powietrza i braku potrzeby intensywnego ogrzewania budynków w tym okresie.



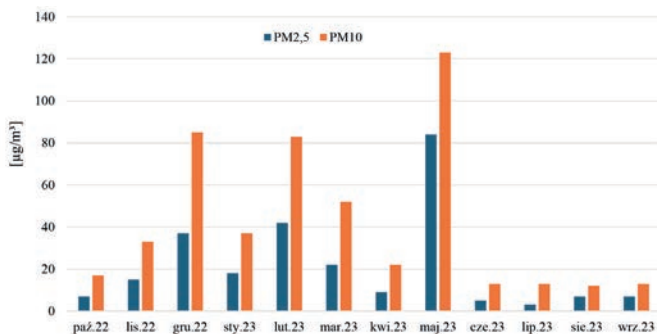
Rys. 2. Wyniki badań pyłu PM2,5 i PM10 w punkcie 1 (osiedle Bacieczki)  
 Fig. 2. Results of PM2.5 and PM10 dust measurements at point 1 (Bacieczki district)  
 Źródło: Opracowanie własne

W drugim punkcie pomiarowo-kontrolnym (rys. 3.) zlokalizowanym na osiedlu Dziesięciny II, najwyższe stężenia PM2,5 i PM10 zaobserwowano w maju 2023 r. PM2,5 wyniosło 96 µg/m³, a PM10 138 µg/m³. Powodem wysokich stężeń pyłów może być intensywny ruch samochodowy w godzinach szczytu. Najniższe stężenia zarówno PM2,5 jak i PM10 zanotowano w czerwcu, wynoszące odpowiednio 1 µg/m³ oraz 4 µg/m³. Osiedle jest znacznie oddalone od centrum miasta, a dominująca zabudowa wielorodzinna korzystnie wpływa na jakość powietrza.



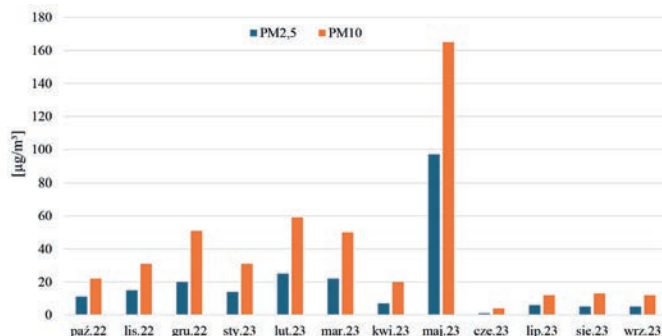
Rys. 3. Wyniki badań pyłu PM2,5 i PM10 w punkcie 2 (osiedle Dziesięciny II)  
 Fig. 3. Results of PM2.5 and PM10 dust measurements at point 2 (Dziesięciny II district)  
 Źródło: Opracowanie własne

W trzecim punkcie pomiarowo-kontrolnym (rys. 4.) znajdującym się na osiedlu Dziesięciny I, najwyższe stężenie pyłu PM2,5 wynoszące 84 µg/m³ oraz PM10 123 µg/m³ zaobserwowano w maju 2023 r. Obecność drogi krajowej numer 65 oraz intensywny ruch komunikacyjny mogą przyczyniać się do wysokiego stężenia pyłów. Najniższe stężenie pyłu PM2,5 zanotowano w lipcu 2023 r., wyniosło 3 µg/m³, natomiast stężenie pyłu PM10 było najniższe w sierpniu 2023 r. osiągając wartość 12 µg/m³.



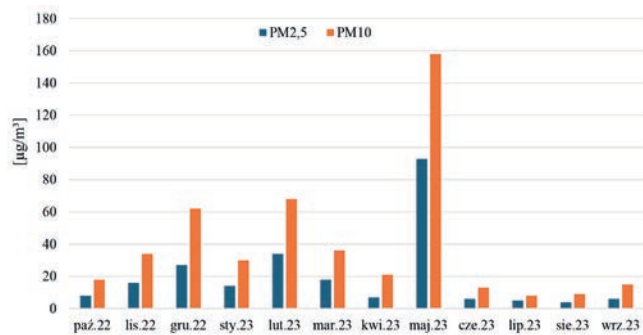
Rys. 4. Wyniki badań pyłu PM2,5 i PM10 w punkcie 3 (osiedle Dziesięciny I)  
 Fig. 4. Results of PM2.5 and PM10 dust measurements at point 3 (Dziesięciny I district)  
 Źródło: Opracowanie własne

Czwarty punkt pomiarowo-kontrolny (rys. 5.) znajdował się na osiedlu Antoniuk. Najwyższe stężenia pyłów zawieszonych PM2,5 oraz PM10 zaobserwowano w maju 2023 r. wynoszące odpowiednio 97 µg/m³ i 165 µg/m³. Wartości te znacznie przekraczają wartości graniczne z obowiązujących w Polsce norm. Najniższe stężenia zarówno PM2,5 jak i PM10 zaobserwowano w czerwcu 2023 r., wyniosły one 1 µg/m³ i 4 µg/m³. Pozytywny wpływ na jakość powietrza w tej okolicy ma niewątpliwie Park Antoniuk.



Rys. 5. Wyniki badań pyłu PM2,5 i PM10 w punkcie 4 (osiedle Antoniuk)  
 Fig. 5. Results of PM2.5 and PM10 dust measurements at point 4 (Antoniuk district)  
 Źródło: Opracowanie własne

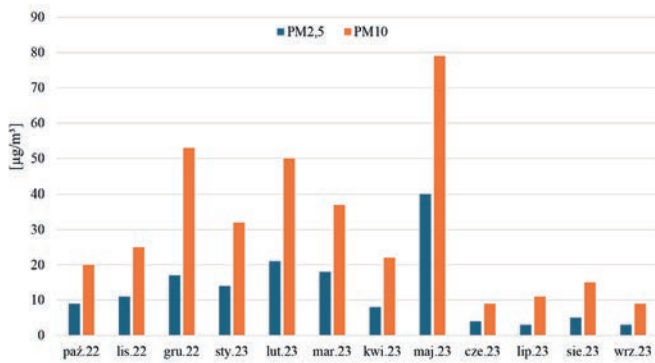
W piątym punkcie pomiarowo-kontrolnym (rys. 6.) znajdującym się na osiedlu Białostoczek, największe stężenie pyłu PM2,5 oraz PM10 zaobserwowano w maju 2023 r. Stężenie PM2,5 osiągnęło wtedy poziom 93 µg/m³, a PM10 wyniosło 158 µg/m³. Przyczyną tak wysokich wartości stężenia pyłów może być obecność elektrociepłowni oraz budynków jednorodzinnych z indywidualnymi systemami ogrzewania. Najniższe stężenie pyłów PM2,5 zarejestrowano w sierpniu 2023 r. i wyniosło 4 µg/m³, natomiast najniższe stężenie PM10 odnotowano w lipcu 2023 r. wynoszące 5 µg/m³.



Rys. 6. Wyniki badań pyłu PM2,5 i PM10 w punkcie 5 (osiedle Białostoczek)  
 Fig. 6. Results of PM2.5 and PM10 dust measurements at point 5 (Białostoczek district)  
 Źródło: Opracowanie własne

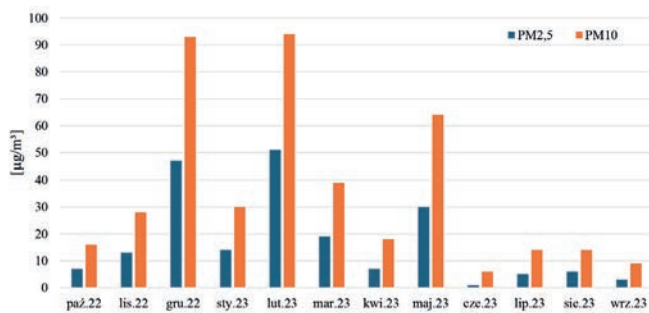
W szóstym punkcie pomiarowo-kontrolnym (rys. 7.) zlokalizowanym w Centrum, najwyższe stężenie pyłów PM2,5 i PM10 odnotowano w maju 2023 r., wynoszące odpowiednio 40 µg/m³ i 79 µg/m³. Wysokie stężenia pyłów zawieszonych mogą być spowodowane wzmożonym ruchem ulicznym przez cały dzień. Najniższe stężenie pyłów PM2,5 zaobserwowano w lipcu i wrześniu 2023 r., wyniosło ono 3 µg/m³. Najniższe stężenie PM10 odnotowano w czerwcu i wrześniu 2023 r., wynoszące 9 µg/m³.

Siódмым punktem kontrolno-pomiarowym (rys. 8.) było osiedle Piaski. Największe stężenie pyłów zaobserwowano w lutym 2023 r., gdzie stężenie PM2,5 wyniosło 51 µg/m³, a PM10 wyniosło 94 µg/m³.



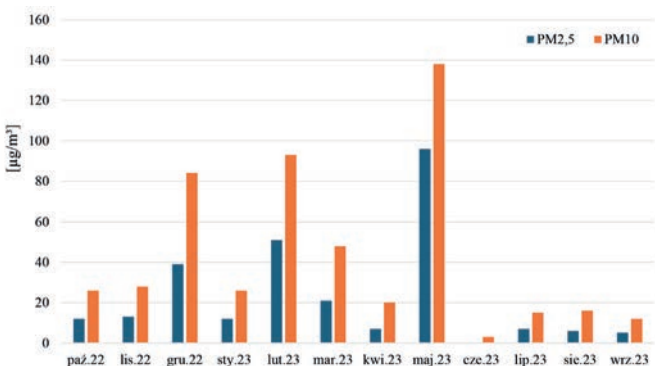
Rys. 7. Wyniki badań pyłu PM2,5 i PM10 w punkcie 6 (Centrum)  
 Fig. 7. Results of PM2.5 and PM10 dust measurements at point 6 (Centrum)  
 Źródło: Opracowanie własne

Wysokie stężenia pyłów zawieszonych mogą być spowodowane bliskością osiedla do centrum miasta. Najniższe stężenia pyłów PM2,5 i PM10 odnotowano w czerwcu 2023 r. wyniosły one odpowiednio 1 µg/m³ i 6 µg/m³.



Rys. 8. Wyniki badań pyłu PM2,5 i PM10 w punkcie 7 (osiedle Piaski)  
 Fig. 8. Results of PM2.5 and PM10 dust measurements at point 7 (Piaski district)  
 Źródło: Opracowanie własne

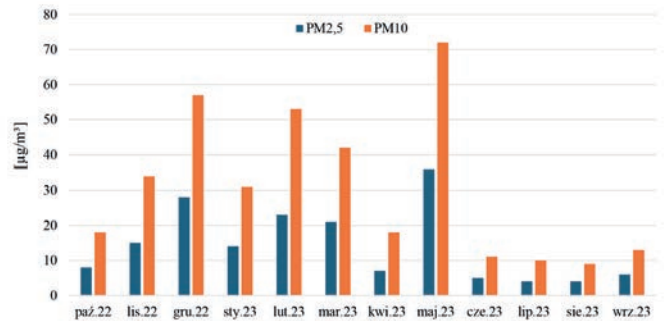
W ósmym punkcie kontrolno-pomiarowym (rys. 9), który znajdował się na osiedlu Mickiewicza najwyższe stężenie pyłu PM2,5 zaobserwowano w maju 2023 r. wyniosło ono 96 µg/m³. W tym samym miesiącu zarejestrowano także najwyższe stężenie pyłu PM10, które wyniosło 138 µg/m³. Intensywny ruch drogowy na tej dzielnicy może powodować wyższe stężenia pyłów. Najniższe stężenia pyłów odnotowano w czerwcu 2023 r. PM2,5 wyniosło 0 µg/m³, a PM10 3 µg/m³.



Rys. 9. Wyniki badań pyłu PM2,5 i PM10 w punkcie 8 (osiedle Mickiewicza)  
 Fig. 9. Results of PM2.5 and PM10 dust measurements at point 8 (Mickiewicza district)  
 Źródło: Opracowanie własne

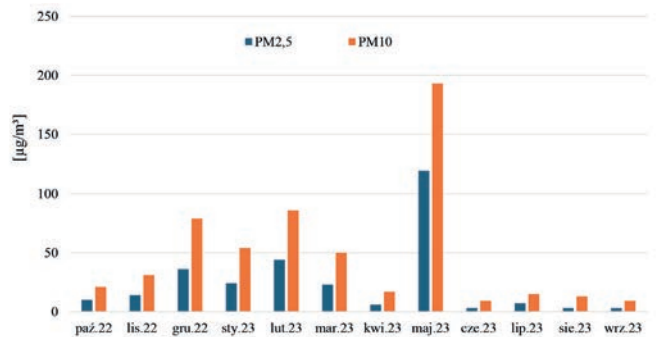
Dziewiątym punktem kontrolno-pomiarowym (Rys. 10) było osiedle Bojary. Najwyższe stężenie pyłów PM2,5 i PM10 zanotowano w maju 2023 r. wyniosły one odpowiednio 36 µg/m³ i 72 µg/m³.

Dzielnica ta, choć położona w znacznej odległości od tras komunikacyjnych, znajduje się blisko centrum miasta, co może przyczyniać się do wyższych stężeń pyłów zawieszonych. Najniższe stężenia pyłów PM2,5 zarejestrowano w lipcu i sierpniu 2023 r. wyniosły one 4 µg/m³, również w sierpniu 2023 r. zanotowano najniższe stężenie PM10 które wyniosło 9 µg/m³.



Rys. 10. Wyniki badań pyłu PM2,5 i PM10 w punkcie 9 (osiedle Bojary)  
 Fig. 10. Results of PM2.5 and PM10 dust measurements at point 9 (Bojary district)  
 Źródło: Opracowanie własne

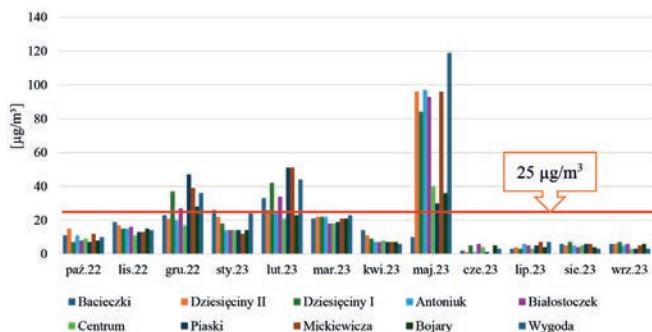
Ostatni dziesiąty punkt pomiarowo-kontrolny (rys. 11) został usytuowany na osiedlu Wygoda, najwyższe stężenie pyłu PM2,5 i PM10 zaobserwowano w maju 2023 r. Dla pyłu PM2,5 wyniosło ono 119 µg/m³, natomiast dla PM10 193 µg/m³. Dzielnica ta, choć znacznie oddalona od centrum miasta, znajduje się w pobliżu ruchliwej drogi krajowej numer 19, co może wpływać na wyższe stężenia pyłów zawieszonych. Najniższe stężenia pyłów PM2,5 i PM10 zanotowano w czerwcu i wrześniu 2023 r. wyniosły one odpowiednio 3 µg/m³ i 9 µg/m³.



Rys. 11. Wyniki badań pyłu PM2,5 i PM10 w punkcie 10 (osiedle Wygoda)  
 Fig. 11. Results of PM2.5 and PM10 dust measurements at point 10 (Wygoda district)  
 Źródło: Opracowanie własne

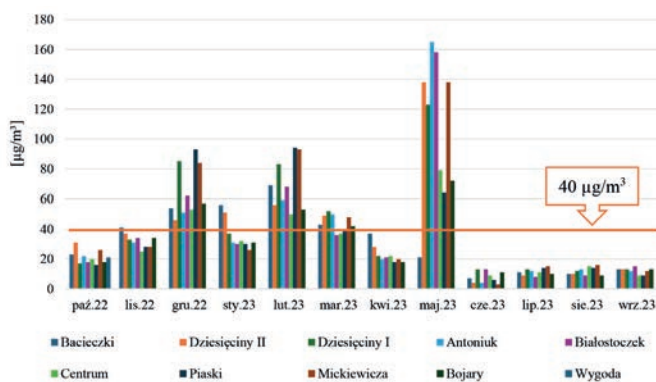
Na rys. 12 i 13 przedstawiono wartości stężeń pyłu zawieszonego PM2,5 i PM10 w poszczególnych punktach pomiarowo – kontrolnych w całym okresie badawczym. Wartość graniczna ustalona ze względu na ochronę zdrowia ludzkiego dla PM2,5 25 µg/m³, natomiast dla PM10 wynosi 40 µg/m³.

Wzrost stężeń pyłów PM2,5, powyżej normy dobowej 25 µg/m³, w Białymstoku miał miejsce w grudniu 2022 r., lutym 2023 r. oraz maju 2023 roku. Badania przeprowadzone w maju 2023 r. wykazały bardzo duże przekroczenia normy, praktycznie we wszystkich punktach pomiarowo – kontrolnych, oprócz pierwszego, który był zlokalizowany w dzielnicy Bacieczki. Wskazuje to na wzmożoną emisję tych zanieczyszczeń w analizowanych terminach badawczych. W zdecydowanej większości przypadków, czyli pozostałych dniach i miesiącach pomiarowych, jakość powietrza była umiarkowana. Uzyskane wysokie wartości stężeń pyłu zawieszonego w sezonie zimowym związane są przede wszystkim z niską emisją z sektora komunalno-bytowego. W przypadku spadku temperatury powietrza



Rys. 12. Wyniki stężenia pyłu PM<sub>2,5</sub> w poszczególnych punktach pomiarowo-kontrolnych  
 Fig. 12. Results of PM<sub>2,5</sub> dust concentration at individual measurement-control points  
 Źródło: Opracowanie własne

stosuje się spalanie paliw w kotłowniach domowych o wysokim wskaźniku emisji. Pasela i inni (2017) donoszą, iż przyczyną zmian stężeń pyłów w powietrzu jest przede wszystkim spalanie różnego typu jakości paliw, używanych do produkcji energii elektrycznej i ciepła w systemach indywidualnego ogrzewania, a także emisja ze źródeł komunikacyjnych (transport samochodowy) oraz działalność przemysłowa.



Rys. 13. Wyniki stężenia pyłu PM<sub>10</sub> w poszczególnych punktach pomiarowo-kontrolnych  
 Fig. 13. Results of PM<sub>10</sub> dust concentration at individual measurement-control points  
 Źródło: Opracowanie własne

Wzrost stężenia pyłów PM<sub>10</sub>, w stosunku do ustalonych norm dobowych dla tego zanieczyszczenia (50 µg/m<sup>3</sup> na 24-godzinny okres), w Białymstoku, identycznie jak w przypadku pyłów PM<sub>2,5</sub>, miał miejsce w grudniu 2022 r., lutym 2023 r. oraz maju 2023 r. W maju 2023 r. ilość pyłów PM<sub>10</sub> była przekroczona kilkakrotnie w stosunku do obowiązujących norm. W pozostałych dniach i miesiącach pomiarowych jakość powietrza, wyrażona w ilości zanieczyszczenia pyłem PM<sub>10</sub>, była na dobrym poziomie. Pyły, które występują w miastach pochodzą głównie ze spalania węgla do celów energetycznych, służących do wytwarzania energii oraz ciepła dla potrzeb technologicznych i komunalnych [10].

Przekroczenia stężenia pyłów względem norm będą jeszcze większe, ponieważ już zostały określone bardziej rygorystyczne limity i wartości docelowe w porównaniu z obecnymi przepisami dla kilku substancji zanieczyszczających, w tym cząstek stałych (PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub>). Dla dwóch substancji zanieczyszczających o największym udokumentowanym wpływie na zdrowie człowieka, czyli PM<sub>2,5</sub> i NO<sub>2</sub>, roczne wartości dopuszczalne mają zostać zmniejszone o ponad połowę. W kwietniu 2024 roku Parlament Europejski zaktualizował dyrektywę w sprawie jakości powietrza, którą w 2022 roku zaproponowała Komisja Europejska. Kraje powinny wdrożyć nowe normy do 2030 roku z możliwością przedłużenia tego terminu do 2035, a nawet 2040 r. Obecnie obowiązujące przepisy w Polsce

są na razie łagodniejsze, niż te rekomendowane przez WHO i UE (Parlament Europejski 2023) [12].

Zgodnie z nowymi wytycznymi:

- **maksymalne stężenie średnioroczne PM<sub>2,5</sub> nie powinno przekraczać 5 µg/m<sup>3</sup>** (wcześniej było to 10 µg/m<sup>3</sup>),
- **stężenie dobowe nie powinno zaś przekraczać 15 µg/m<sup>3</sup>** (wcześniej było to 25 µg/m<sup>3</sup>),
- **maksymalne stężenie średnioroczne PM<sub>10</sub> nie powinno przekraczać 15 µg/m<sup>3</sup>** (wcześniej było to 20 µg/m<sup>3</sup>),
- **stężenie dobowe nie powinno zaś przekraczać 45 µg/m<sup>3</sup>** (wcześniej było to 50 µg/m<sup>3</sup>).

## Podsumowanie

Zanieczyszczenie powietrza w Białymstoku jest istotnym problemem zdrowotnym i ekologicznym, głównie z powodu emisji pyłów zawieszonych PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub>, generowanych głównie przez transport oraz spalanie paliw stałych w gospodarstwach domowych. Spalanie paliw stałych, szczególnie węgla o różnej jakości, zwiększa emisję składników do atmosfery, takich jak tlenek węgla, dwutlenek azotu, siarka oraz pyły PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub>, szczególnie w sezonie grzewczym przy niekorzystnych warunkach atmosferycznych.

Analiza wyników pomiarów pyłu PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub> przeprowadzonych w dziesięciu punktach pomiarowo-kontrolnych w różnych częściach Białegostoku wykazała, że najwyższe stężenia pyłów występowały głównie w maju. Największe stężenie PM<sub>2,5</sub> wystąpiło na osiedlu Wygoda, natomiast PM<sub>10</sub> na osiedlu Antoniuk. Wysokie stężenia pyłów obserwowano od października 2022 r. do maja 2023 r., podczas gdy od czerwca do września stężenia pyłów zawieszonych były znacznie niższe, co związane jest z okresem grzewczym. Lokalizacja punktów pomiarowych miała znaczący wpływ na uzyskane wyniki, ze względu na rodzaj budynków mieszkalnych, gęstość zabudowy, odległość od centrum jak również występowania w pobliżu dróg krajowych.

Największym problemem aglomeracji jest niska emisja, czyli emisja z indywidualnych źródeł ciepła oraz spaliny pochodzące z samochodów z silnikami wysokoprężnymi. Emisja pyłów z lokalnych kotłowni, które ogrzewają domy mieszkalne, stanowi główne zagrożenie dla czystości powietrza nad miastem, w połączeniu z niekorzystnymi warunkami meteorologicznymi.

## Wnioski:

1. Na podstawie przeprowadzonych badań zaobserwowano epizody smogowe w Białymstoku w okresie grzewczym, oraz w maju, który charakteryzował się niskimi temperaturami jak na ten miesiąc.
2. Niska emisja z indywidualnych źródeł ciepła była jednym ze źródeł zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym w Białymstoku, potwierdzają to podwyższone stężenia PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub> na osiedlach charakteryzujących się zabudową jednorodzinna z własnymi instalacjami CO i CWU (o. Wygoda i o. Mickiewicza).
3. Transport drogowy stanowi drugie w kolejności źródło zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym na wybranym obszarze badawczym, potwierdzają to podwyższone stężenia PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub> na osiedlach Dziesięciny I i Dziesięciny II, które usytuowane są w sąsiedztwie obwodnicy północnej miasta Białystok.
4. Najniższe stężenia pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub> odnotowano w centrum miasta. W centrum Białegostoku nie ma zabudowy jednorodzinnej z indywidualnymi źródłami ciepła oraz część tego obszaru miasta jest wyłączona z ruchu drogowego.
5. Lokalizacja punktu pomiarowego jak i panujące warunki pogodowe mają znaczący wpływ na uzyskane stężenia pyłu zawieszonego.

## LITERATURA:

- [1] Czarnecka M., Koźmiński Cz. 2006. „Meteorologia a zanieczyszczenie atmosfery”. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Szczecinie, Szczecin.
- [2] Florek-Klęsk D. 2017. „Zanieczyszczenie powietrza – Zagrożenie XXI wieku,” Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Informatyki, Zarządzania i Administracji w Warszawie, vol. 15, nr 3 (40):7-25.
- [3] Juda-Rezler K. 2006. Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [4] Krystek J. 2018. Ochrona środowiska dla inżynierów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [5] Malec A., Borowski G. 2016. „Zagrożenia pyłowe oraz monitoring powietrza atmosferycznego”, *Inżynieria Ekologiczna*, vol. 50, s. 161–170.
- [6] Sokolowski Aleksander W. 2006. Przyroda województwa Podlaskiego i jej ochrona. Łomżyńskie Towarzystwo Naukowe, Łomża.
- [7] Pasela R., Milik J., Budzińska K., Szejniuk B. 2017. „Analiza wyników pomiarów stężeń zanieczyszczenia powietrza pyłem PM10 i PM2,5 na stacji pomiarowej plac poznański w Bydgoszczy”. *Inżynieria Ekologiczna Ecological Engineering* Vol. 18, Iss. 1:240–246.
- [8] Sówka I., Pachurka L., Przepiórka M., Zwoździak A., Rogula-Kozłowska W. 2016. „Ocena krótkoterminowego wpływu stężeń pyłu zawieszzonego na zdrowie mieszkańców Wrocławia” *Rocznik Ochrona Środowiska*, Tom 18, cz. 2, 603-615.
- [9] Wielgościński G., Zarzycki R. 2018. „Technologie i procesy ochrony powietrza”, PWN, Warszawa.
- [10] Widawski A. 2015. „The influence of atmospheric circulation on the air pollution concentration and temperature inversion in Sosnowiec”. Cause study. *Environmental & Socio-Economic Studies*, 3, 30–40.
- [11] <https://streetmap.pl/bialystok/>
- [12] [https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2023/9/press\\_release/20230911IPR04915/20230911IPR04915\\_pl.pdf](https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2023/9/press_release/20230911IPR04915/20230911IPR04915_pl.pdf)