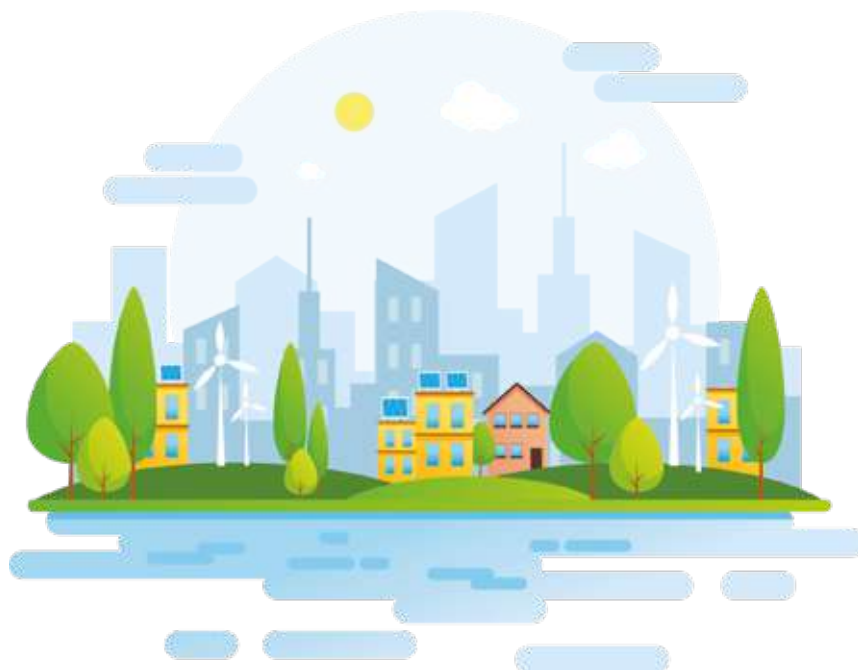




Raport końcowy - jakość powietrza w ramach projektu „Sierpc 2.0 – Rozwiązania EcoSmart z zakresu zarządzania miastem”

Lider projektu

Sierpc 2022

Partnerzy projektu



Politechnika
Warszawska



Fundusze
Europejskie
Pomoc Techniczna



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Fundusz Spójności



Zrealizowane w ramach projektu:

„Sierpc 2.0 – Rozwiązania EcoSmart z zakresu zarządzania miastem” współfinansowanego ze środków Programu Operacyjnego Pomoc Techniczna 2014-2020 oraz budżetu państwa, w ramach konkursu pt. “HUMAN SMART CITIES. Inteligentne miasta współtworzone przez mieszkańców”. Priorytet 3 Potencjał beneficjentów funduszy europejskich, działanie 3.1 Skuteczni beneficjenci. Kategoria interwencji funduszy strukturalnych – 121.

Dotyczy umowy dotacji nr DPT/BDG-II/POPT/173/19 z dnia 23 września 2019 r.

Kwota dotacji: 1 768 190,03 zł

**Redakcja dokumentu:**

Urszula Chmura

Marta Wawrzynowska

Michał Idziak

Skład i opracowanie graficzne:

Dominika Grzesik

Publikacja dystrybuowana bezpłatnie.

Kopiowanie i powielanie w jakiegokolwiek formie wymaga pisemnej zgody Lidera Projektu.

Grafika na stronie tytułowej: Designed by Freepik

Spis treści

1.	SMART CITY JAKOŚĆ POWIETRZA.....	4
2.	MONITORING JAKOŚCI POWIETRZA W SIERPCU.....	4
2.1.	Stacja pomiarowa działająca w ramach PMŚ.....	4
2.2.	Wyniki badania jakości powietrza pozyskane w ramach PMŚ.....	7
2.3.	Modelowanie i czujniki jakości powietrza.....	13
3.	ANALIZA DANYCH POCHODZĄCYCH Z UZUPEŁNIAJĄCYCH SIECI MONITORINGU.....	17
3.1.	Analiza wyników uzyskanych z dynamicznej mapy jakości powietrza.....	18
3.2.	Analiza danych uzyskanych z czujników.....	25
3.3.	Analiza epizodów wysokich stężeń.....	30
3.4.	Integracja danych o jakości powietrza z innymi danymi szansą na rozwój miasta...	31
4.	PODSUMOWANIE.....	34
	SPIS TABEL.....	37
	SPIS RYSUNKÓW.....	38

1. SMART CITY I JAKOŚĆ POWIETRZA

Dobra jakość powietrza to jeden z wielu czynników, które przyczyniają się do zwiększenia komfortu i bezpieczeństwa mieszkańców, czyli głównego celu projektu "Sierpc 2.0 – Rozwiązania EcoSmart z zakresu zarządzania miastem". Stan jakości powietrza kontrolowany w ramach PMŚ (Państwowego Monitoringu Środowiska) zapewnia wiarygodne informacje. Do końca 2020 roku na terenie miasta nie znajdowała się stacja pomiarowa, która mierzyłaby bezpośrednio jakość powietrza, dopiero od stycznia 2021 roku funkcjonuje stacja na ulicy Wiosny Ludów 7, dzięki czemu mieszkańcy miasta mogą na bieżąco monitorować jakim powietrzem oddychają w trakcie roku. Oceny bezpośredniej w zakresie zanieczyszczeń powietrza nie można wykonać bez wykorzystania wyników rocznej oceny jakości powietrza województw mazowieckim. Została ona również przedstawiona w rozdziale 1.1. Wyniki badania jakości powietrza pozyskane w ramach PMŚ przedmiotowego dokumentu. Inteligentne miasta używają systemów cyfrowych do komunikacji z organizacjami i obywatelami, którzy z kolei wykorzystują dane i informacje do planowania i dostarczania usług oraz rozwijają umiejętności cyfrowe wymagane do udziału w życiu społecznym i odnoszeniu sukcesów ekonomicznych.

Cel poprawy jakości powietrza jest ważnym elementem strategii miasta, między innymi ze względu na postawione cele i działania naprawcze w Programie ochrony powietrza dla strefy mazowieckiej. Monitorowanie jakości powietrza jest istotnym aspektem prowadzenia działań, dlatego też zbudowana została sieć monitoringu opartego na czujnikach niskokosztowych, które monitorowały wysokość stężeń pyłu PM₁₀ i PM_{2,5}. Szczegóły w tym zakresie przedstawiono w kolejnych rozdziałach. Montaż dodatkowych czujników jakości powietrza pozwala na uzyskanie dodatkowych danych, a umiejętna ich analiza i wizualizacja pozwalana na przekształcenie tych danych w użyteczną informację przestrzenną, służącą mieszkańcom ale także niezbędną do podejmowania właściwych decyzji.

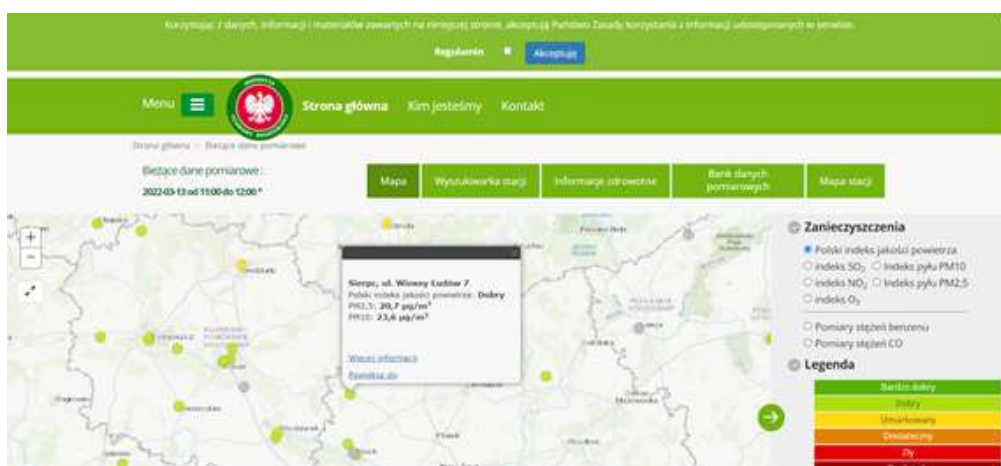
2. MONITORING JAKOŚCI POWIETRZA W SIERPCU

2.1 Stacja pomiarowa działająca w ramach PMŚ

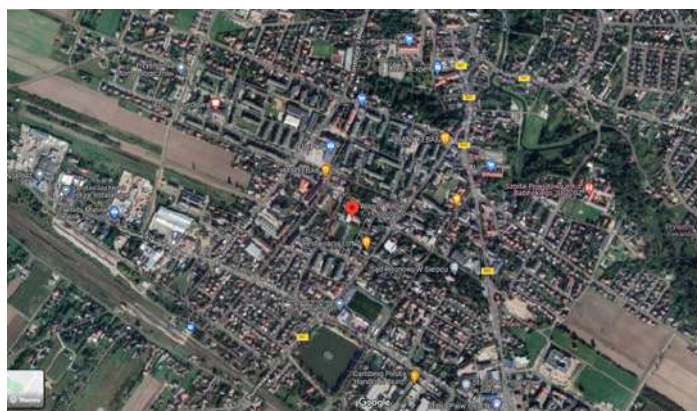
Na terenie miasta Sierpc znajduje się przeniesiona w 2021 roku z Mińska Mazowieckiego, stacja pomiarowa Państwowego Monitoringu Środowiska, na której prowadzone są pomiary stężeń pyłów zawieszonych PM_{2,5} oraz PM₁₀. Stacja zlokalizowana jest przy ul. Wiosny Ludów 7 (Rysunek 1) w otoczeniu zwartej zabudowy mieszkaniowo-usługowej (Rysunek 2).



Rysunek 1. Stacja monitoringu jakości powietrza zlokalizowana przy ul. Wiosny Ludów 7 w Sierpcu¹



https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current/station_details/info/16259



Rysunek 2. Otoczenie i lokalizacja stacji Państwowego Monitoringu Środowiska w Sierpcu²

Tabela 1. Informacje podstawowe i otoczenie stacji³.

Kod krajowy	MzSierWiosnyMOB	Data rozp. pomiarów	9 stycznia 2021 r.
Kod międzynarodowy	PL0785A	Wys. n.p.m	121 m
Strefa	Strefa mazowiecka	Typ stacji	Tłó
Nazwa stacji	Sierpc, ul. Wiosny Ludów	Typ obszaru	Miejski
Adres	Sierpc , ul. Wiosny Ludów 7	Właściciel	Główny Inspektorat Ochrony Środowiska
Wsp. WGS84	X: 52,851783 Y: 19,662061	Lokalne warunki	Wolnostojące budynki lub zwarta zabudowa

Stacja dokonuje pomiaru pyłu zawieszonego PM₁₀ prowadzonego metodą grawimetryczną (manualną lub referencyjną) dlatego wyniki uzyskiwane są w rozdzielczości dobowej (raz na 24 godziny) oraz pomiaru automatycznego stężeń pyłu PM_{2,5} prowadzonego metodą automatyczną (równoważną do metody referencyjnej) o rozdzielczości czasowej równej 1h (Tabela 2).

Tabela 2. Parametry mierzone na stacji monitoringu jakości powietrza w przy ul. Wiosny Ludów 7 w Sierpcu⁴.

Zanieczyszczenie	Czas uśredniania	Typ pomiaru
Pył zawieszony PM _{2,5}	1-godzinny	Automatyczny
Pył zawieszony PM ₁₀	24-godzinny	Manualny

Dostęp do danych pomiarowych

Przeglądanie danych z pomiarów w formie wykresów i formie tabelarycznej jest możliwe na stronie: https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current/station_details/table/16259/3/0 oraz w przypadku danych archiwalnych na stronie: <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives>. Natomiast na stronie <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/content/api> znajduje się Interfejs API portalu „Jakość Powietrza” GIOŚ, który umożliwia dostęp do danych dotyczących jakości powietrza, wytwarzanych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska i gromadzonych w bazie JPOAT2,0. Usługi sieciowe udostępnione są w ramach interfejsu API i zawierają listę stanowisk pomiarowych dostępnych dla danej lokalizacji. Usługa sieciowa typu REST wykorzystuje zapytanie HTTP GET i udostępnia dane w formacie JSON. Na ww. stronie podano również dokumentację zawierającą przykłady zapytań i odpowiedzi.

² <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current> oraz google maps

³ pracowane własne na podstawie danych GIOŚ

⁴ pracowanie własne na podstawie danych GIOŚ

Usługa dotyczy danych pomiarowych i danych o wartości indeksu jakości powietrza. Na stronie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska dostępna jest także aplikacja mobilna na telefony z systemem Android, iOS i Windows „Jakość powietrza w Polsce” umożliwiająca szybki i łatwy dostęp do informacji dotyczących stanu jakości powietrza w Polsce oraz mapy prognoz stężeń zanieczyszczeń. Po wybraniu danej stacji monitoringu, aplikacja umożliwia śledzenie na bieżąco zmian zachodzących w okolicy, a będąc w ruchu i mając włączoną funkcję lokalizacji smartfonu – aplikacja automatycznie wyszukuje i prezentuje dane z najbliższej stacji pomiarowej.

2.2 Wyniki badania jakości powietrza pozyskane w ramach PMŚ

Jakość powietrza na terenie Sierpca oceniana jest w ramach rocznych ocen jakości powietrza wykonywanych przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ).

Ostatnia roczna ocena wykonana przez GIOŚ obejmuje rok 2020 dla strefy mazowieckiej, do której należy miasto Sierpc. Podstawą klasyfikacji stref ze względu na ochronę zdrowia jest poziom stężeń zanieczyszczeń w odniesieniu do poziomów dopuszczalnych lub docelowych określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 8 października 2019 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2019 poz. 1931). W 2020 roku wykorzystano w ocenie jakości powietrza dla strefy mazowieckiej zarówno wyniki pomiarów, jak i wyniki modelowania matematycznego wykonanego na podstawie wykonanej inwentaryzacji źródeł emisji w skali całego kraju, natomiast w przypadku miasta Sierpc, ze względu na brak stacji monitoringu, oceny dokonano na podstawie wyników modelowania matematycznego. W 2020 roku w Sierpcu (strefa mazowiecka) odnotowano niski poziom stężeń większości monitorowanych zanieczyszczeń. W zakresie stężenia m.in. takich substancji jak: O₃, SO₂, NO₂, CO, benzenu, arsenu, niklu, kadmu oraz ołowiu, strefa mazowiecka została zaliczona do klasy A czyli do obszarów, na których nie zostały przekroczone wartości dopuszczalne lub docelowe.

Z kolei w strefie mazowieckiej wystąpił problem szczególnie z wysokością stężeń benzo(a)pirenu, a także pyłu PM₁₀ i od 2020 roku od kiedy obowiązuje bardziej restrykcyjna norma stężenia, z pyłem PM_{2,5}.

Z kolei w strefie mazowieckiej wystąpił problem z wysokością stężeń pyłu PM₁₀ i PM_{2,5}, a w szczególności z benzo(a)pirenem.

⁵ Format tekstowy, bazujący na podzbiorze języka JavaScript

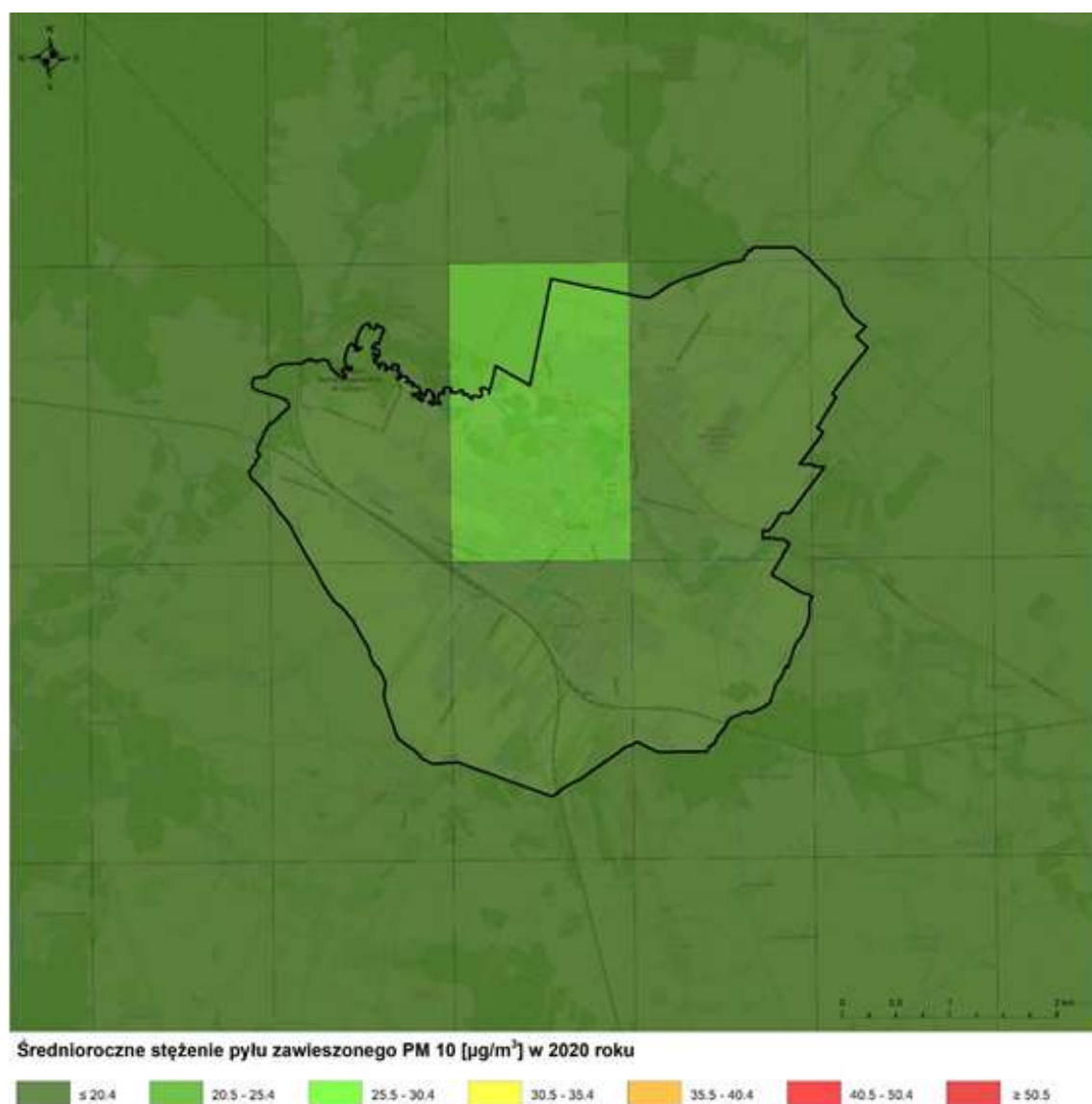
⁶ https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/content/mobile_app

⁷ Zgodnie z przepisami Roczna ocena jakości powietrza publikowana jest do końca kwietnia każdego roku za rok poprzedni

⁸ II faza, w której dopuszczalne stężenie średnioroczne pyłu PM_{2,5} nie powinno przekraczać 20 µg/m³

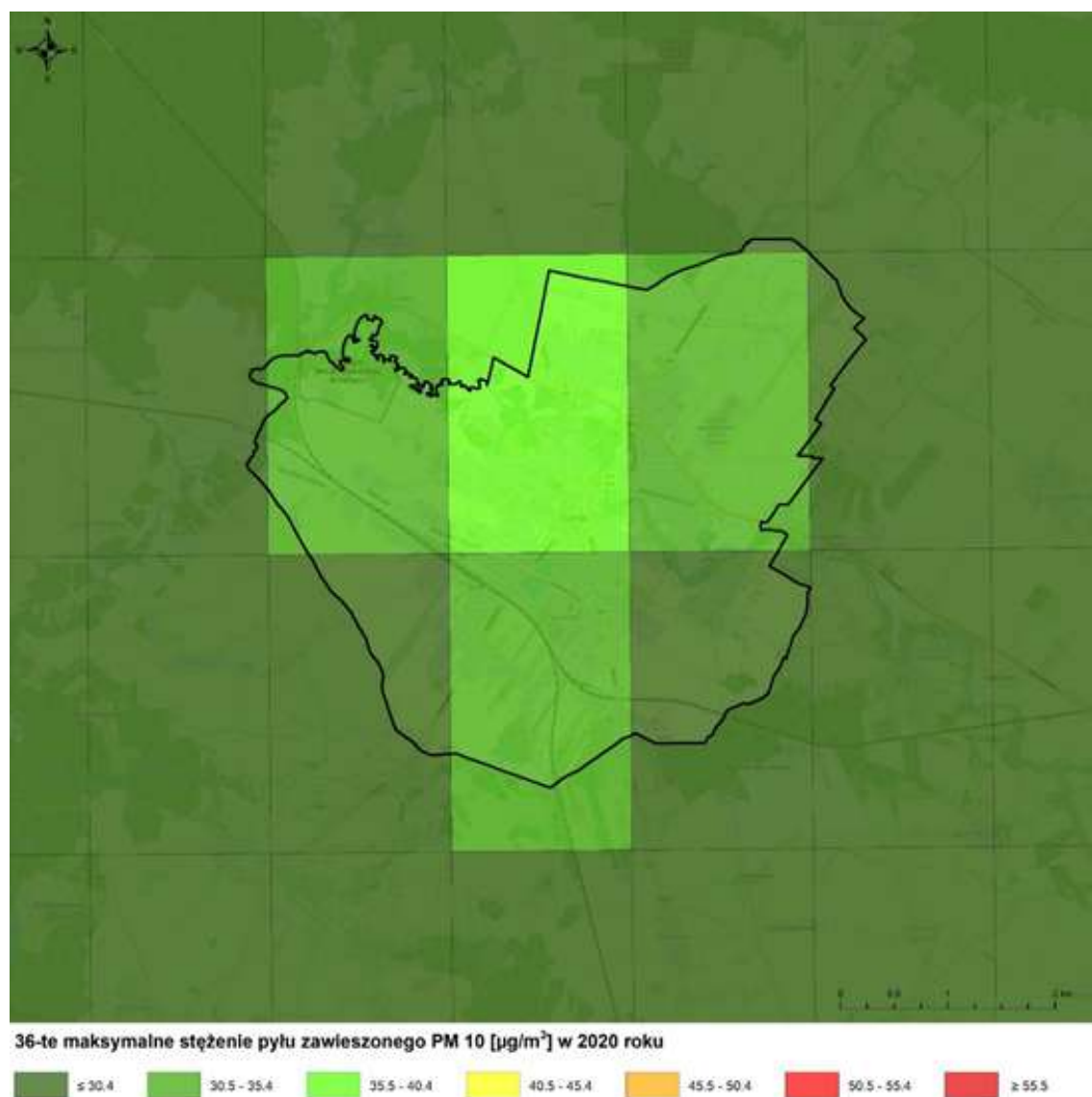
Na podstawie przeprowadzonych analiz wyników modelowania matematycznego, dostępnych w Rocznej ocenie jakości powietrza za rok 2020, można stwierdzić iż na terenie miasta Sierpc występował problem z jakością powietrza w zakresie dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀, oraz średniorocznych stężeń pyłu PM_{2,5} i benzo(a)pirenu. Nie stwierdzono natomiast przekroczenia wartości stężenia średniorocznego pyłu zawieszonego PM₁₀ wynoszącego 40 µg/m³.

Na podstawie przeprowadzonych analiz wyników modelowania matematycznego, dostępnych w Rocznej ocenie jakości powietrza za rok 2020, można stwierdzić, iż na terenie Sierpca nie wystąpił znaczny problem z jakością powietrza. Na obszarze miasta nie stwierdzono występowania obszarów przekroczeń wartości dopuszczalnych stężenia średniorocznego i dobowego pyłu PM₁₀ oraz wartości średniorocznej pyłu PM_{2,5} (II faza). Według wyników modelowania stężenie średnioroczne pyłu PM₁₀ osiągnęło maksymalnie 60% wartości dopuszczalnej.



Rysunek 3. Rozkład przestrzenny średniego rocznego stężenia PM₁₀ [µg/m³]. Mapa wykonana w oparciu o modelowanie matematyczne przygotowane przez Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy oraz metodę obiektywnego szacowania. Opracowana na potrzeby rocznej oceny jakości powietrza za rok 2020.

W odniesieniu do wartości dopuszczalnej odnoszącej się do stężeń dobowych pyłu PM10 można również stwierdzić, że nie wystąpiły przekroczenia, ponieważ w ciągu roku nie wystąpiło ponad 35 dni z przekroczeniem normy dobowej wynoszącej $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

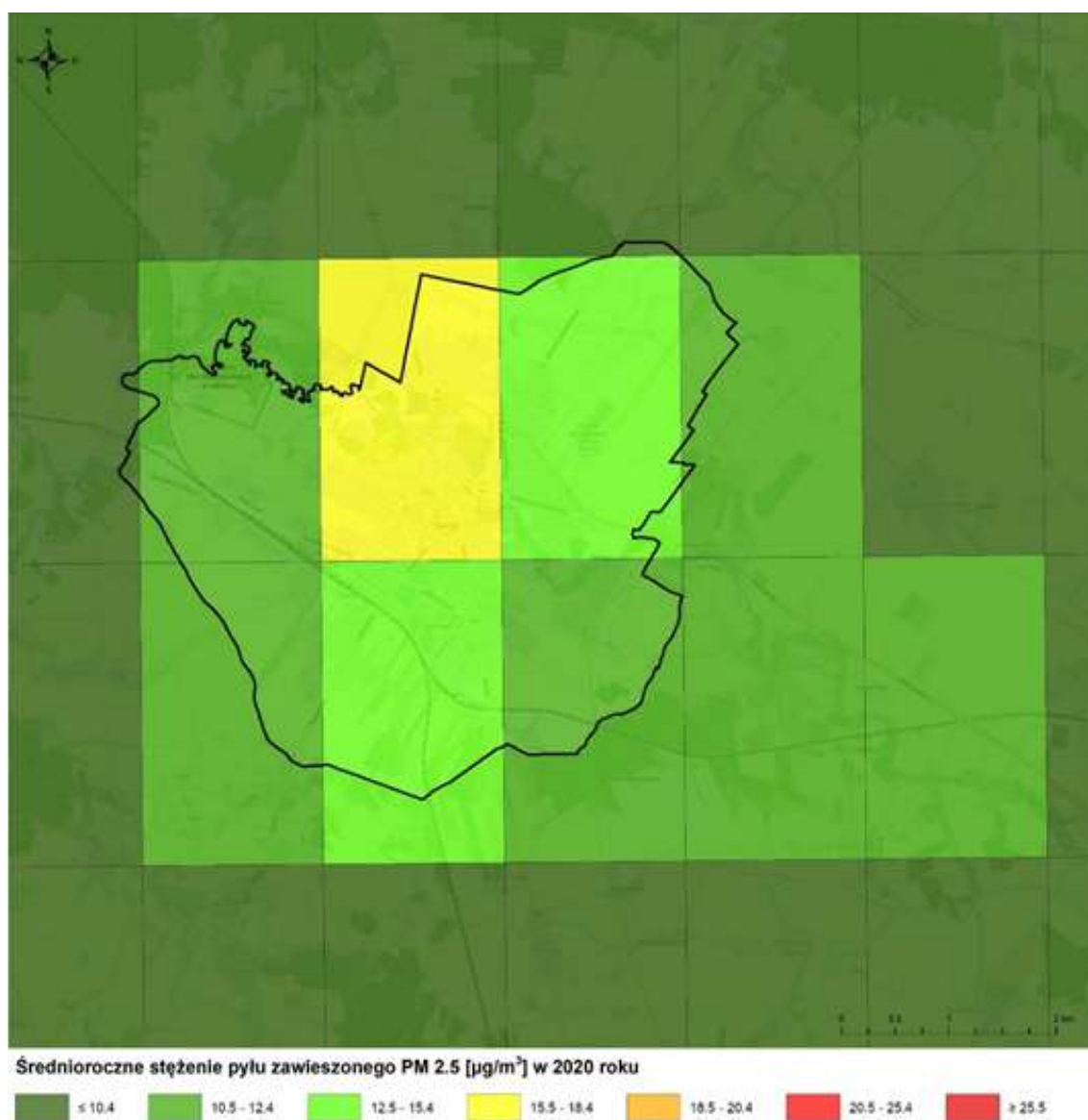


Rysunek 4. Rozkład przestrzenny stężenia PM10, wyrażony jako 36-te maksymalne stężenie średnie dobowe. Mapa wykonana w oparciu o modelowanie matematyczne przygotowane przez Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy oraz metodę obiektywnego szacowania. Opracowano na potrzeby rocznej oceny jakości powietrza za rok 2020.

W odniesieniu do stężeń rocznych pyłu zawieszonego PM2,5 na terenie Sierpca wystąpiły stężenia w granicach od 10 do $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, co świadczy o braku przekroczenia normy rocznej wynoszącej od 2020 roku $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

⁹ GIOŚ <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/maps/modeling>

¹⁰ GIOŚ <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/maps/modeling>

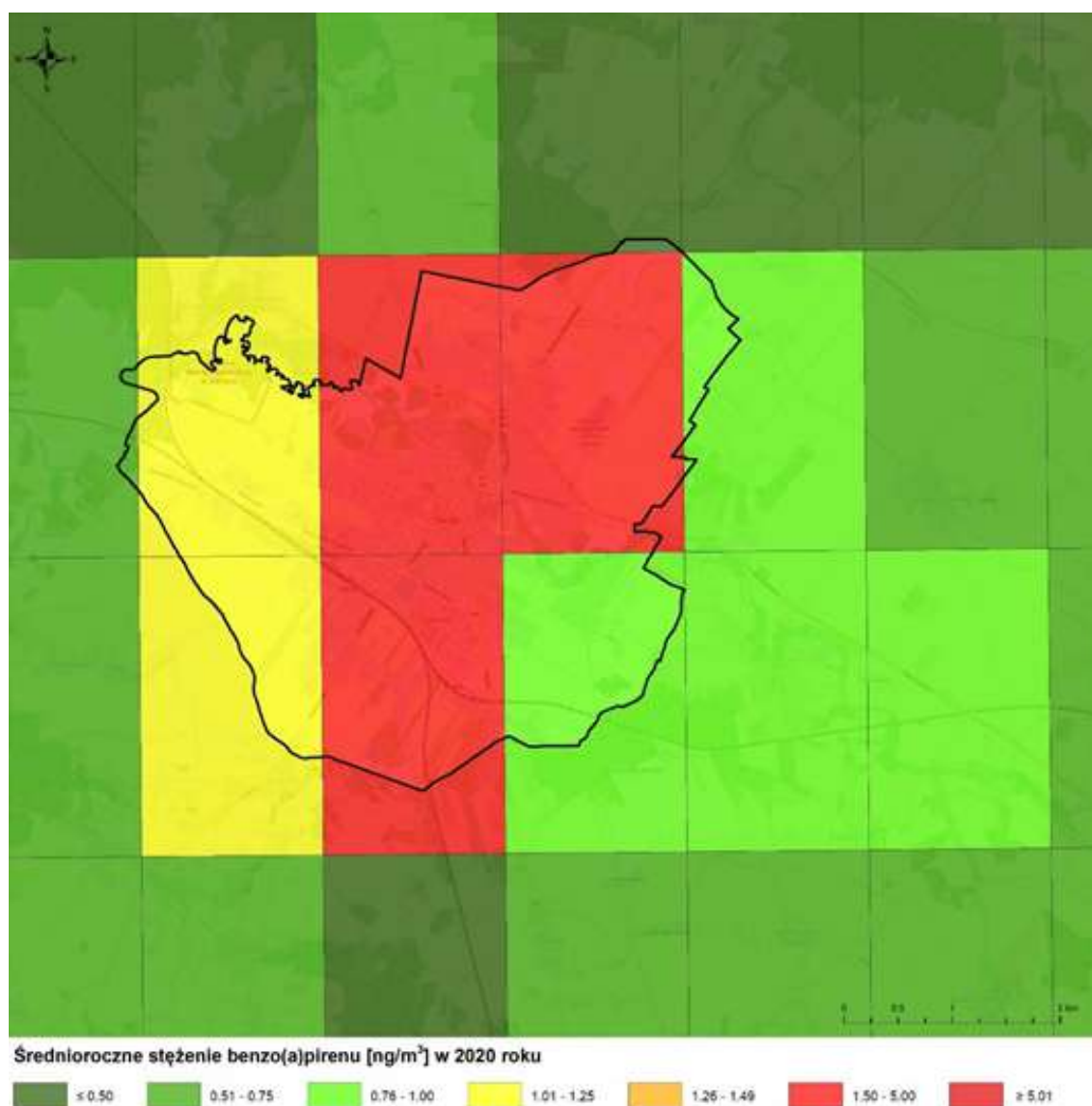


Rysunek 5. Rozkład przestrzenny średniego rocznego stężenia $\text{PM}_{2.5}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Mapa wykonana w oparciu o modelowanie matematyczne przygotowane przez Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy oraz metodę obiektywnego szacowania. Opracowana na potrzeby rocznej oceny jakości powietrza za 2020 rok.

Benzo(a)piren jest wielopierścieniowym węglowodorem aromatycznym, który powstaje głównie podczas spalania paliw kopalnych. Stężenia średnioroczne benzo(a)pirenu przekraczały poziom docelowy wynoszący $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ na terenie miasta Sierpc w 2020 roku. Wartość stężeń na dominującym obszarze zawierała się w przedziale 1,5 do $5 \text{ ng}/\text{m}^3$, co mogło oznaczać kilkukrotne przekroczenie normy.

Z emisją benzo(a)pirenu związane są przede wszystkim źródła z sektora komunalno-bytowego, znajdujące się na terenie miasta. Spalanie paliw w nisko sprawnych urządzeniach powoduje emisję zarówno pyłów zawieszonych jak i benzo(a)pirenu.

¹¹ GIOŚ <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/maps/modeling>



Rysunek 6. Rozkład przestrzenny średniego rocznego stężenia benzo(a)pirenu [ng/m³]. Mapa wykonana w oparciu o modelowanie matematyczne przygotowane przez Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy oraz metodę obiektywnego szacowania. Opracowano na potrzeby rocznej oceny jakości powietrza za rok 2020.

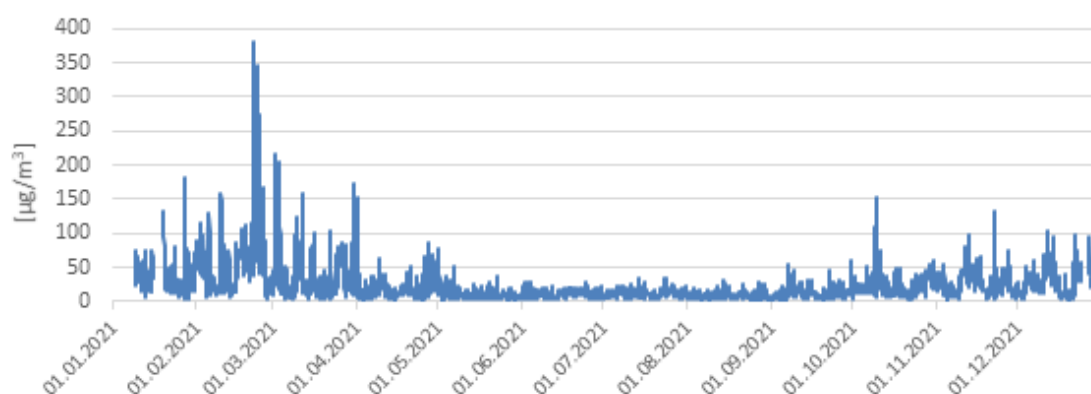
Wielkość stężeń substancji pyłowych (PM_{2,5} i PM₁₀) jak i benzo(a)pirenu w znacznej mierze należy wiązać z warunkami meteorologicznymi. Rok 2020 należał bowiem do wyjątkowo ciepłych i wietrznych co korzystnie wpływało na możliwość rozprzestrzeniania zanieczyszczeń w powietrzu powodując przewietrzanie obszarów miasta. Ponadto ciepły okres jesienno-zimowy powoduje niższą emisję zanieczyszczeń pochodzących ze spalania paliw na cele grzewcze, co bezpośrednio przekłada się na niższe poziomy stężeń substancji w powietrzu.

¹² GIOŚ <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/maps/modeling>

Ocena jakości powietrza od 2021

W związku z uruchomieniem stacji Państwowego Monitoringu Środowiska w Sierpcu, od 2021 roku na obszarze miasta możliwa będzie ocena stanu jakości powietrza w zakresie stężeń pyłowych (PM_{2,5} i PM₁₀) również w oparciu o te wyniki. Analizując dostępne, wstępnie zweryfikowane przez GIOŚ, wyniki ze stacji monitoringu można stwierdzić, że na terenie Sierpca w 2021 roku doszło do przekroczenia wartości dopuszczalnej stężenia średniorocznego pyłu.

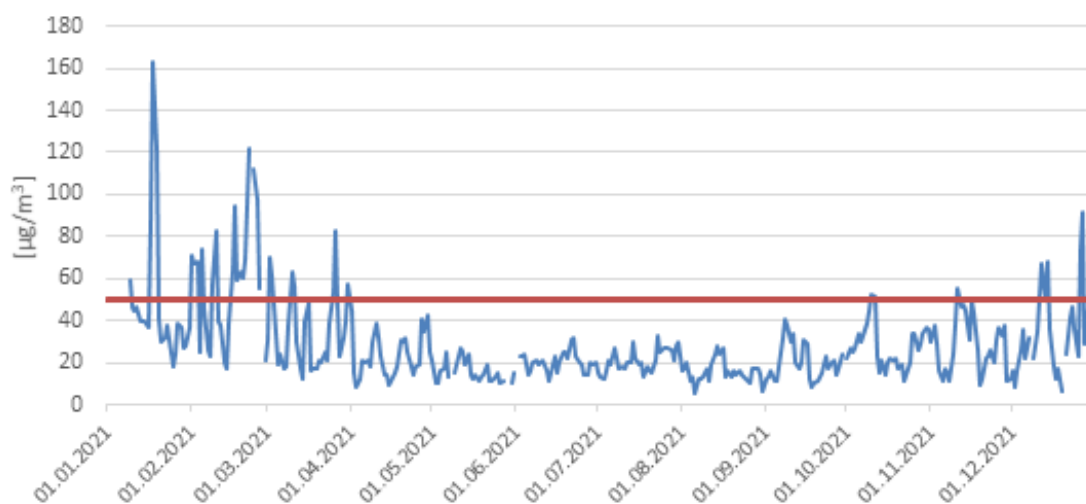
PM_{2,5} wynoszącej 20 µg/m³ (faza II). Zmierzona wartość tego parametru wyniosła 21,9 µg/m³. Najwyższe wartości stężeń zostały zarejestrowane w okresie styczeń-marzec i październik-grudzień czyli w okresie wzmożonej eksploatacji indywidualnych urządzeń grzewczych (Rysunek 7).



Rysunek 7. Przebieg zmienności średnich 1-godzinowych stężeń pyłu PM_{2,5} na stacji w Sierpcu przy ul. Wiosny Ludów 7 w 2021 roku ¹³.

Nie odnotowano natomiast średniorocznego przekroczenia dopuszczalnego stężenia pyłu PM₁₀ wynoszącego 40 µg/m³. Zmierzona wartość tego parametru wyniosła 27,4 µg/m³ co stanowiło 71% dopuszczalnej normy rocznej. Ponadto nie odnotowano przekroczenia dopuszczalnej liczby przekroczeń normy średniodobowej dla pyłu zawieszonego PM₁₀. Średniodobowe stężenie powyżej 50 µg/m³ zanotowane zostało przez 35 dni co równe było wartości dopuszczalnego limitu. Dni, w których zarejestrowano przekroczenie wartości dopuszczalnej występowały w miesiącach chłodnych pokrywających się z okresem grzewczym (Rysunek 8). Wówczas zarejestrowano też 3 dni z przekroczeniem poziomu informowania (100 µg/m³) oraz jeden dzień z przekroczeniem poziomu alarmowego (150 µg/m³). Zmierzona wartość tego parametru została zarejestrowana 18 stycznia i wynosiła 163 µg/m³.

¹³ Opracowanie własne na podstawie wstępnie zweryfikowanych danych udostępnionych przez GIOŚ



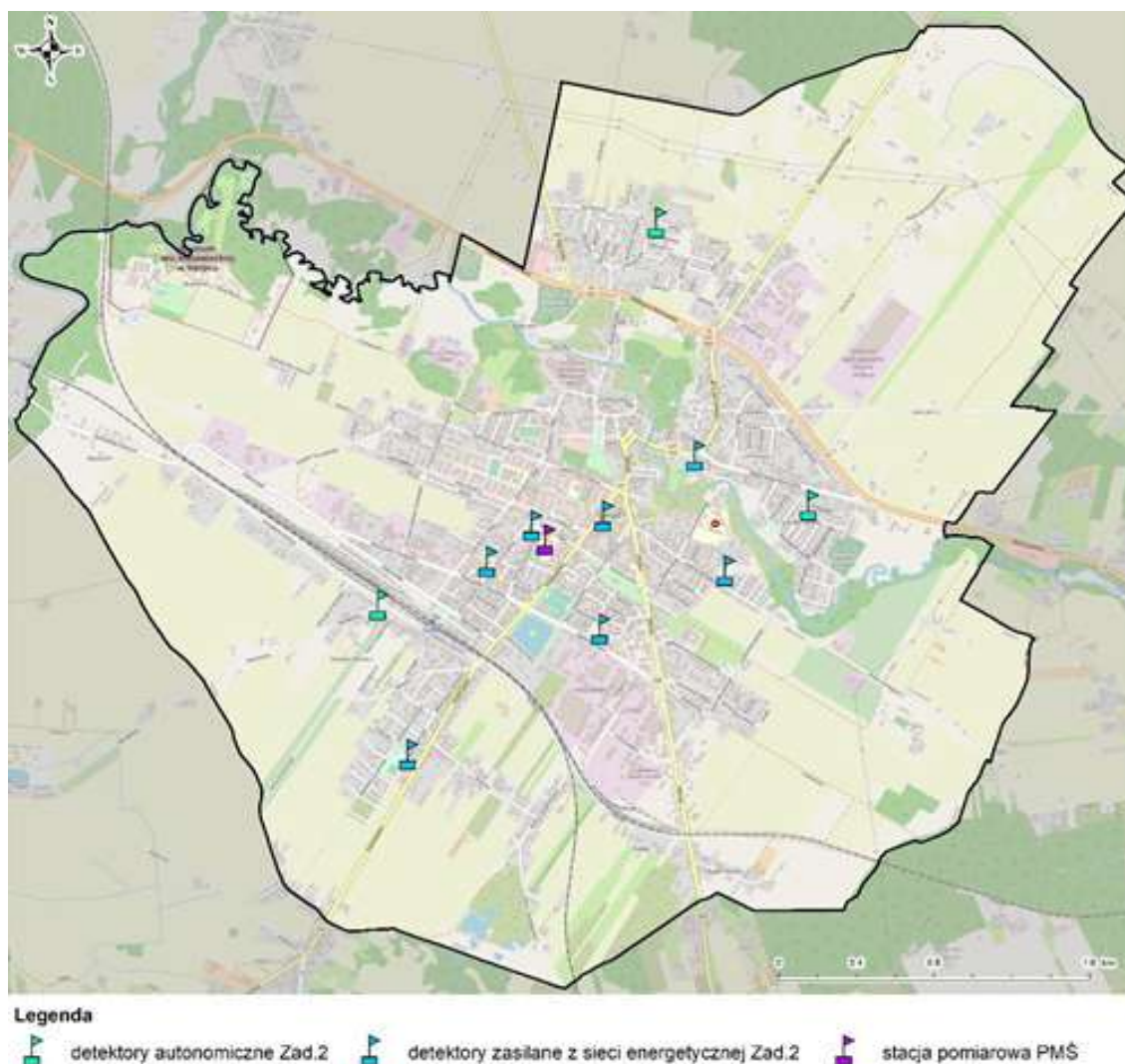
Rysunek 8. Przebieg zmienności średnich 24-godzinnych stężeń pyłu PM10 na stacji w Sierpcu przy ul. Wiosny Ludów 7 na tle poziomu dopuszczalnego w 2021 roku ¹⁴.

Przedstawione dane za rok 2021 będą podlegały weryfikacji przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, ostateczne wartości poszczególnych parametrów statystycznych zostaną opublikowane w dokumencie Rocznej oceny jakości powietrza w województwie mazowieckim, który ma się ukazać do końca kwietnia 2022 roku.

2.3 Modelowanie i czujniki jakości powietrza

Wychodząc naprzeciw realizacji postawionych w obowiązującym Programie ochrony powietrza, celów w kierunku poprawy jakości powietrza, w mieście zbudowana została sieć monitoringu opartego na czujnikach niskokosztowych, które monitorowały wysokość stężeń pyłu PM10 i PM2,5. Pierwsze czujniki jakości powietrza tworzące sieć monitoringu zakupiono w październiku 2018 roku, w latach kolejnych sieć była rozbudowywana natomiast na terenie miasta nie funkcjonował system pozwalający na gromadzenie i analizę danych historycznych z czujników co uniemożliwiało śledzenie trendów zachodzących zmian i wykonywanie analiz czy monitorowanie postępów realizacji działań naprawczych. W ramach zadania 2 w ramach utrzymania portalu informacyjno-edukacyjnego projektu „Sierpc 2.0 – Rozwiązania EcoSmart z zakresu zarządzania miastem” zamontowanych zostało w Sierpcu 10 dodatkowych niskokosztowych czujników jakości powietrza (Rysunek 9).

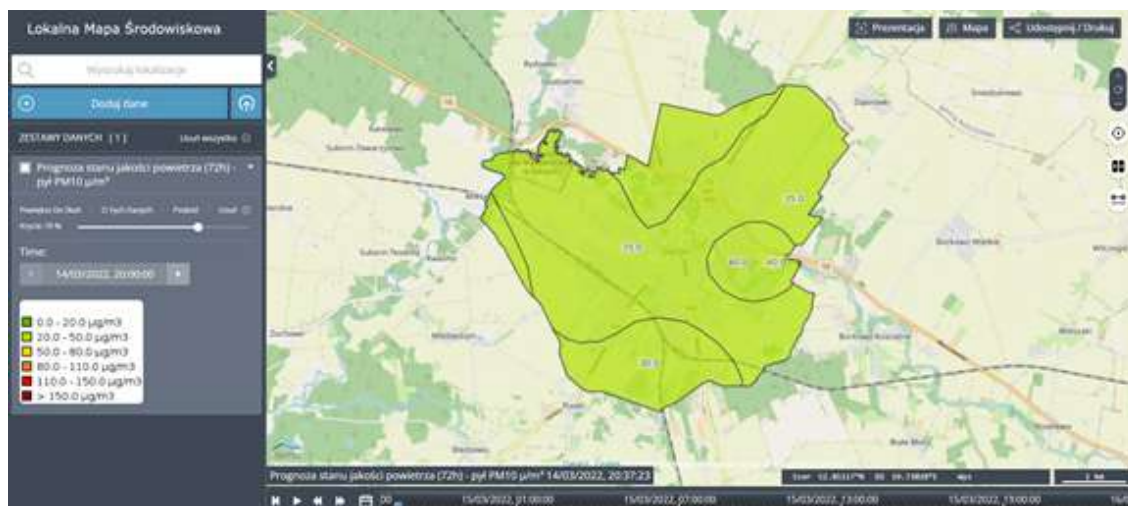
¹⁴ Opracowanie własne na podstawie wstępnie zweryfikowanych danych udostępnionych przez GIOŚ



Rysunek 9. Lokalizacja dodatkowych 10 niskokosztowych czujników jakości powietrza na terenie miasta Sierpc (Zad.2).

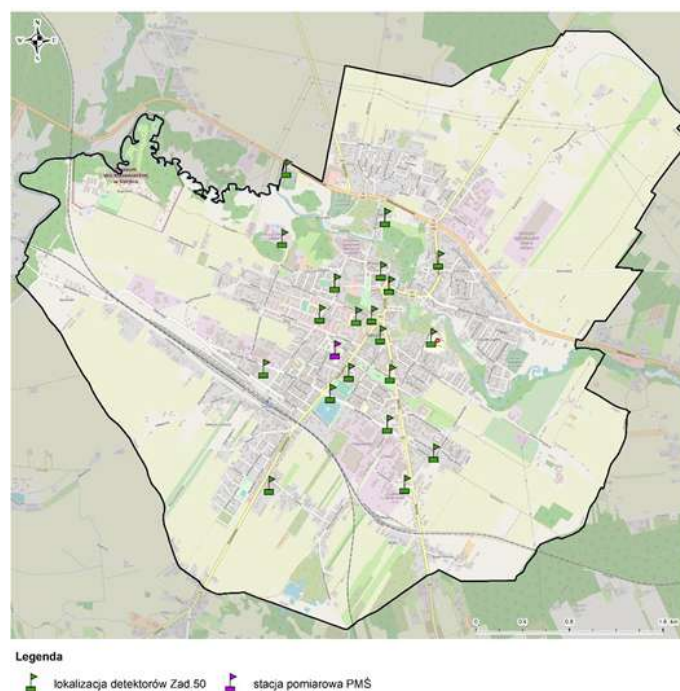
W kwietniu 2020 roku uruchomiono mapę jakości powietrza opartą o modelowanie danych uzyskanych z 10 detektorów mierzących stężenia pyłów PM₁₀ i PM_{2,5}. Asymilacja danych pomiarowych i modelowania matematycznego jest rozwiązaniem innowacyjnym, wzmacniającym jakość danych otrzymywanych z czujników. Spośród 10 zamontowanych urządzeń, 3 posiadają innowacyjny system autonomicznego elektrycznie zasilania (ogniwo fotowoltaiczne). Uniezależnienie od zasilania elektrycznego daje możliwość montażu detektorów w lokalizacjach odpowiadających wymogom określonym w przepisach prawnych dla stałych punktów pomiarowych prowadzonych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska tj. np. w odległości od ścian budynków.

Dostęp do danych uzyskanych z detektorów odbywa się w formie e-usługi, poprzez stronę internetową projektu: <https://smartcity.sierpc.pl/>. Na mapie (Rysunek 11) prezentowany jest aktualny, historyczny i prognozowany poziom stężeń pyłów PM₁₀ i PM_{2,5} na terenie miasta. Mapa przedstawia stężenia godzinowe w dziesięciu punktach pomiarowych oraz po kliknięciu, wartości stężeń w dowolnym punkcie miasta. System umożliwia gromadzenie uzyskiwanych danych historycznych oraz tworzenie na tej podstawie analiz i raportów okresowych.



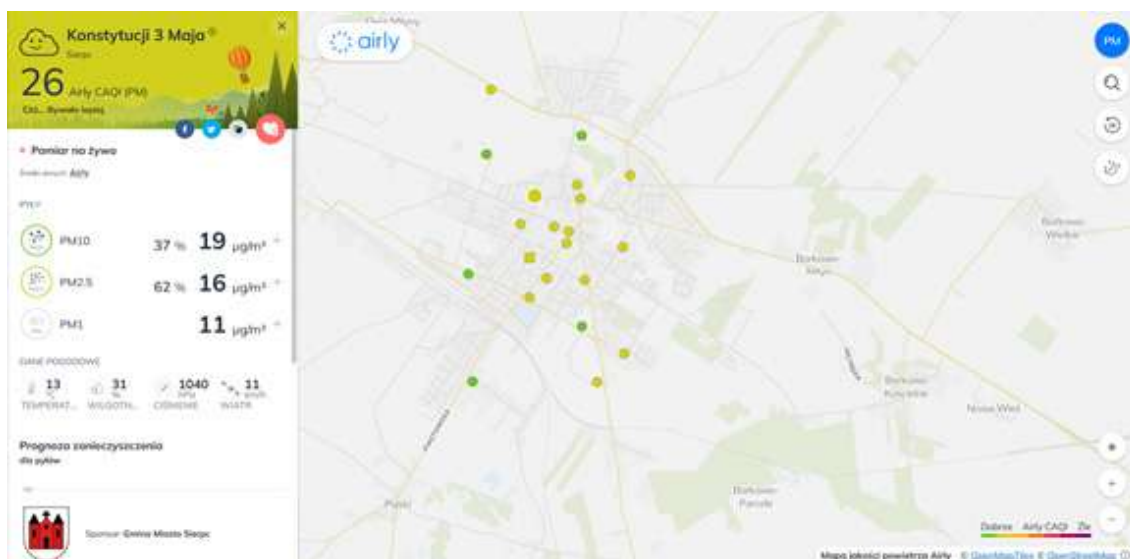
Rysunek 10. Mapa prezentująca dane o stężeniach pyłów PM10 i PM2,5 w Sierpcu uzyskane na podstawie danych z 10 detektorów i modelowania matematycznego, udostępniona na portalu <https://smartcity.sierpc.pl/>

W ramach zadania 50 Projektu „Sierpc 2.0 – Rozwiązania EcoSmart z zakresu zarządzania miastem” we wrześniu 2020 roku powstał również inteligentny system monitoringu jakości powietrza oparty o uzyskiwane z 20 czujników niskokosztowych, wartości stężeń pyłu PM10 i PM2,5.



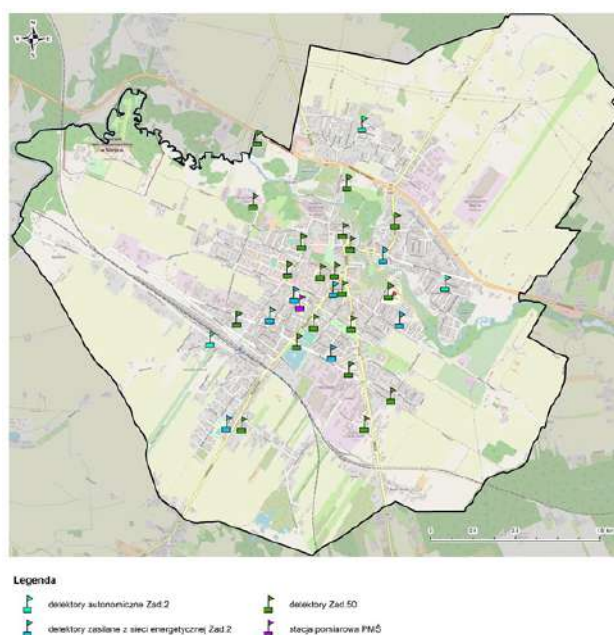
Rysunek 11. Lokalizacja dodatkowych 20 niskokosztowych czujników jakości powietrza na terenie miasta Sierpc (Zad. 50).

Na mapie (Rysunek 12) pod adresem <https://airly.org/map/pl/#52.856721,19.669069,18763> prezentowany jest stan aktualny, historyczny (do 24 godzin przed stanem aktualnym) oraz prognozowany (do 24 godzin w przód od stanu obecnego).



Rysunek 12. Mapa prezentująca dane o stężeniach pyłów PM10 i PM2,5 w Sierpcu uzyskane na podstawie danych z 50 detektorów udostępniona na stronie <https://airly.org/map/pl/#52.856721,19.669069,i18763>

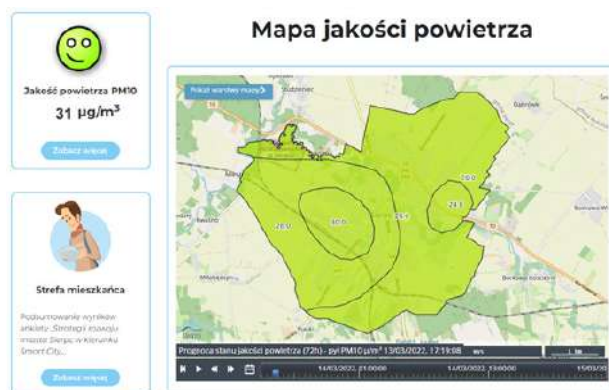
Niskokosztowe czujniki (Rysunek 13) jakości powietrza pozwalają na określenie przybliżonej jakości powietrza oraz obserwację trendów zmian wielkości stężeń na przestrzeni danego czasu i różnych punktach miasta, nie są jednak metodą referencyjną pomiarów dlatego nie mogą stanowić podstawy do oceny jakości powietrza w mieście.



Rysunek 13. Lokalizacja dodatkowych 30 niskokosztowych czujników jakości powietrza na terenie miasta Sierpc (Zad. 2 i 50).

3. ANALIZA DANYCH POCHODZĄCYCH Z UZUPEŁNIAJĄCYCH SIECI MONITORINGU

Na terenie miasta Sierpc w ramach realizacji projektu od kwietnia 2020 r. uruchomiono mapę jakości powietrza, która prezentowała mieszkańcom stan jakości powietrza na portalu informacyjno-edukacyjnym Sierpc 2.0 (Rysunek 14).



Rysunek 14. Mapa jakości powietrza na portalu informacyjno-edukacyjnym Sierpc 2.0.

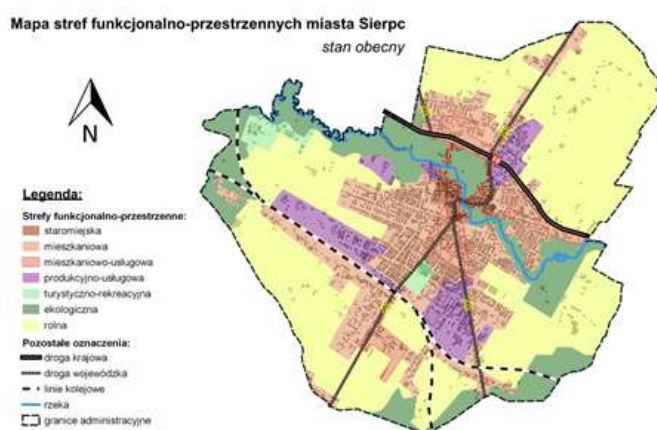
Dzięki mapie jakości powietrza mieszkańcy mogli sprawdzić stan jakości powietrza w dowolnie wybranym miejscu na mapie, dowiedzieć się czy w danej chwili mogą bezpiecznie korzystać z aktywności na zewnątrz a dzięki prognozie jakości powietrza zaplanować aktywność w najbliższych godzinach. Na portalu w materiałach video udostępniono również dla mieszkańców film, pokazujący jak korzystać z mapy jakości powietrza (Rysunek 15).



Rysunek 15. Zdjęcia z filmu o mapie jakości powietrza na terenie miasta Sierpc.

3.1 Analiza wyników uzyskanych z dynamicznej mapy jakości powietrza

Mapa jakości powietrza na terenie miasta Sierpca została uruchomiona w kwietniu 2020 r. Na potrzeby przedmiotowego raportu z uwagi na czas jego przygotowania do analizy uwzględniono dane do końca stycznia 2022 r. Analizując jakość powietrza na terenie miasta należy brać pod uwagę m.in. warunki emisyjne, które często związane są z zabudową i układem komunikacyjnym miasta (źródła niskiej emisji) oraz warunki meteorologiczne. W mieście Sierpc dominuje zabudowa średniej wysokości do 5-6 kondygnacji. Miasto posiada koncentryczny układ miejski wyraźnie przedzielony doliną rzeki Sierpianicy, a także drogą krajową nr 10 i szlakiem kolejowym. Stanowią one linie dzielące miasto na dzielnice i ograniczają swobodną komunikację w mieście (Rysunek 16).



Rysunek 16. Mapa stref funkcjonalno-przestrzennych miasta Sierpc

W centrum miasta poniżej rzeki Sierpianicy, połączone zostały zarówno funkcje usługowe, mieszkaniowe jak i publiczne. Natomiast w ramach tej zabudowy znajdują się również parki, zieleńce i inne obszary zielone jak np.: Staw miejski Jeziórka czy park im. Solidarności. Na wschód od ulicy Płockiej zabudowa mieszkaniowa poprzecinana jest polami uprawnymi co jednak nie powoduje, że zabudowa jest rozproszona, a w dalszym ciągu stanowi jednolite kwartały zabudowy.

Podobne zróżnicowanie użytkowania terenu w Sierpcu znajduje się na południe od linii kolejowej, która dzieli miasto z zachodu na wschód oraz na północ od drogi krajowej nr 10. Obie linie komunikacyjne mocno dzielą miasto na dzielnice, jednocześnie ograniczając funkcje tych terenów. W części południowej występuje zabudowa jednorodzinna ale o większym stopniu rozproszenia, mocno podzielona obszarami pól uprawnych.

¹⁵ Opracowanie własne

W północnej części miasta powyżej drogi krajowej zabudowa jest zwarta głównie pomiędzy ulicami Rypińską i Kosynierów, natomiast im dalej w stronę północnej granicy miasta tym zabudowa jest bardzo rozproszona.

Charakter zabudowy i rodzaj ogrzewania budynków, a bezpośrednio występowanie indywidualnych nieekologicznych źródeł ciepła przyczynia się pogorszenia jakości powietrza w szczególności w okresach grzewczych.

Dzięki mapie jakości powietrza mieszkańcy mogli śledzić stan jakości powietrza godzina po godzinie. Dla analizy trendów zmian dane godzinowe zostały zagregowane do danych dobowych a następnie miesięcznych (Tabela 3).

Tabela 3. Średnie miesięczne stężenia pyłu zawieszonego PM10

Rok	Średnie miesięczne stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]																							
	2020												2021											
Miesiące	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	Śr.	max
Centrum	23	17	15	15	17	23	30	40	44	41	49	32	26	23	23	23	23	25	31	31	32	34	28	49
Południe	23	16	15	15	17	23	29	38	45	39	47	30	25	21	22	22	22	24	29	31	32	30	27	47
Północ	22	16	15	15	16	21	29	39	40	39	45	30	24	22	21	21	22	23	30	29	31	34	27	45

W analizowanym okresie od kwietnia 2020 r. do stycznia 2022 r. pogorszenie jakości powietrza wystąpiło w sezonach grzewczych co jest zgodne z ogólnie panującą tendencją w tym zakresie. W miesiącach od kwietnia do września obserwujemy znaczną poprawę jakości powietrza.

Porównując dzielnice miasta najmniej korzystne pod względem jakości powietrza jest centrum miasta, w następnej kolejności południe i północ miasta. W centrum średnie stężenie pyłu PM10 w analizowanym okresie wyniosło $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a pyłu PM2,5 $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maksymalne średnie miesięczne stężenie pyłu PM10 wystąpiło w lutym 2021 i wyniosło $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Również w centrum notowano najwyższe stężenia godzinowe stężeń pyłu PM10. Maksymalne dobowe stężenie pyłu zanotowano w Centrum w lutym 2021 r. oraz w styczniu 2022 r. i wyniosło ono $266 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W analogicznym czasie, tj. w lutym 2021 r. na Południu zanotowano $186 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a na Północy $195 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W styczniu 2022 r. na Południu zanotowano $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a na Północy $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabela 4).

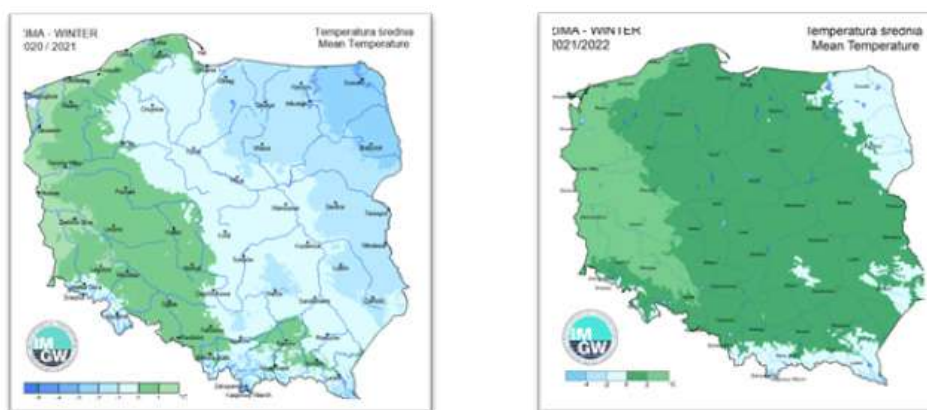
Tabela 4. Maksymalne stężenia godzinowe pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Maksymalne stężenia godzinowe pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]				
Rok	Miesiąc	Centrum	Południe	Północ
2020	IV	214	137	139
	V	102	91	86
	VI	65	46	44
	VII	53	43	43
	VIII	77	54	53
	IX	101	64	57
	X	231	147	137
	XI	260	182	95
	XII	196	145	135
2021	I	174	227	118
	II	266	186	195
	III	212	126	103
	IV	148	76	75
	V	187	77	81
	VI	59	52	33
	VII	89	51	39
	VIII	90	49	45
	IX	234	54	151
	X	229	95	158
	XI	164	106	68
	XII	200	118	134
2022	I	266	86	180

Na stężenia obserwowane na terenie miasta Sierpc miały wpływ warunki meteorologiczne. Zima 2021/2022 była łagodniejsza w porównaniu z zimą 2019/2020 (Rysunek 17).

Średnia obszarowa temperatura powietrza w zimie 2020/2021 roku (XII 2020 – II 2021) wyniosła $-0,2^{\circ}\text{C}$ i była o $0,2^{\circ}\text{C}$ wyższa od średniej wieloletniej dla tego sezonu (klimatologiczny okres normalny 1991-2020). Średnia obszarowa temperatura powietrza zimą 2021/2022 wyniosła $1,2^{\circ}\text{C}$ i była o $1,6^{\circ}\text{C}$ wyższa od średniej wieloletniej wartości temperatury dla tego sezonu (klimatologiczny okres normalny 1991-2020). Minioną zimę należy zaliczyć do sezonów bardzo ciepłych. Występujący od szeregu lat silny wzrostowy trend temperatury powietrza na obszarze Polski był w okresie zimy kontynuowany. Również występujący od szeregu lat lekki wzrostowy trend wysokości opadów na obszarze Polski był w okresie zimy 2021/2022 kontynuowany. Od 1951 r. wzrost wysokości opadów w sezonie zimowym szacowany jest na 8,5 proc .

Średnie roczne temperatury w sezonach zimowych 2020/2021, 2021/2022 jakie panowały w całym kraju przedstawiono na poniższych mapach.



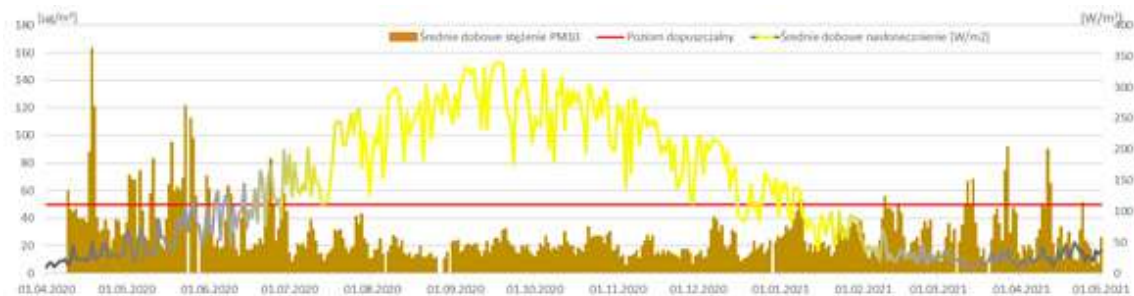
Rysunek 17. Porównanie średniej temperatury w sezonach zimowych sezonach zimowych 2020/2021, 2021/2022 [źródło: dane IMGW].

Korelację warunków termicznych oraz stężeń pyłu PM10 obserwowano w całym okresie badawczym. Im wyższa temperatura tym stężenia pyłów były mniejsze. Dzięki zastosowaniu modelowania uzyskano informację o wielkości stężeń na terenie miasta ale również o warunkach meteorologicznych w tym m.in. temperaturze (Rysunek 18), nasłonecznieniu (Rysunek 19), wysokości warstwy mieszkania (Rysunek 20) oraz średniej prędkości wiatru (Rysunek 21).



Rysunek 18. Przebieg dobowych stężeń pyłu PM10 w zestawieniu z temperaturą.

Okres zimowy w porównaniu z okresem letnim charakteryzuje się mniejszym nasłonecznieniem.

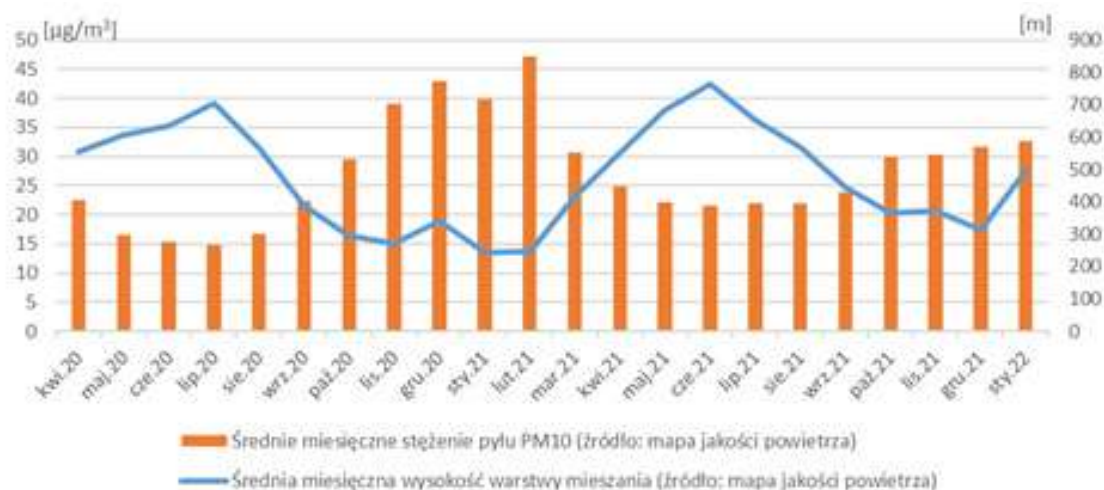


Rysunek 19. Przebieg dobowych stężeń pyłu PM10 w zestawieniu z nasłonecznieniem.

Wysokość warstwy mieszania to pionowy zasięg skutecznego rozpraszania w powietrzu zanieczyszczeń. Wysokość ta zmienia się w ciągu doby i waha od kilkudziesięciu metrów nocą do kilkuset, a w sprzyjających warunkach, kilku tysięcy metrów w porze dziennej. W nocy jest niższa, ponieważ mamy do czynienia z tzw. przygruntową inwersją temperatury, tłumiącą pionowe ruchy powietrza. Duże wartości wysokości warstwy mieszania w dzień są związane z konwekcją, sprzyjającą tym ruchom.

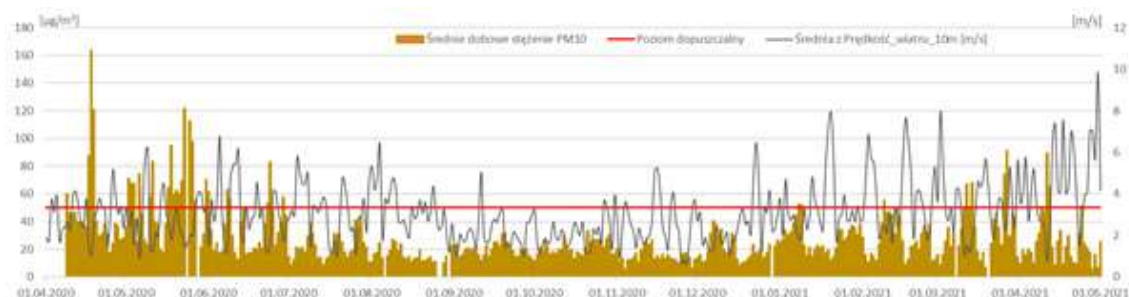
Zauważono, iż istnieje silna korelacja między wysokością warstwy mieszania, a stanem jakości powietrza. Przy takiej samej emisji zanieczyszczeń dla dużych wartości wysokości warstwy mieszania stężenia zanieczyszczeń będą niższe, niż w sytuacji, kiedy wartości wysokości warstwy mieszania są niskie (np. inwersja temperatury).

W badanym okresie wartości średnie dobowe wysokości warstwy mieszania wahały się od 58 m do 1376 m, wartości średnie miesięczne wyniosły od 243 m do 764 m (Rysunek 20).



Rysunek 20. Przebieg stężeń średnich miesięcznych pyłu PM10 w zestawieniu z wysokością warstwy mieszaną.

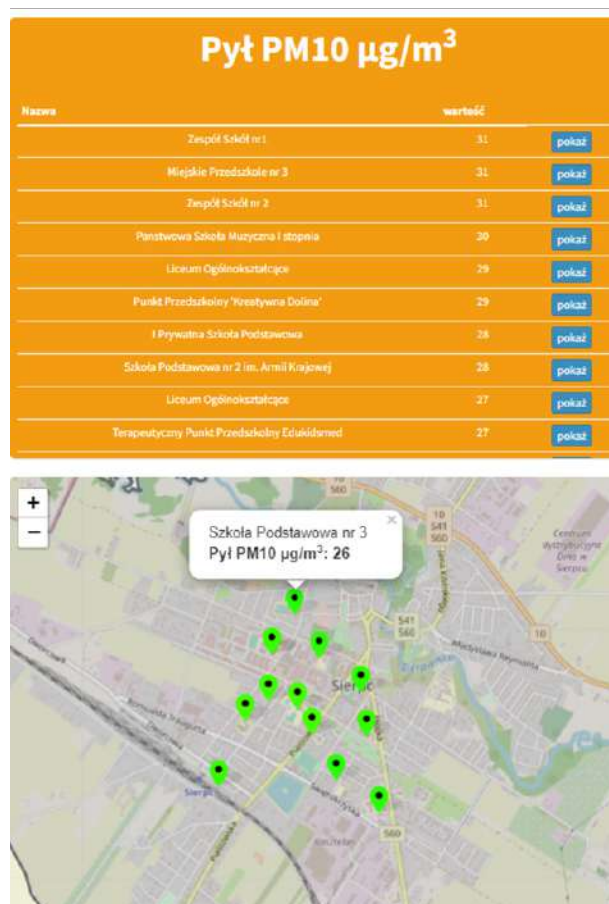
Wartości stężeń zanieczyszczeń korelują istotnie z prędkością wiatru. Im większa prędkość wiatru, tym lepsza jakość powietrza (Rysunek 21).



Rysunek 21. Przebieg dobowych stężeń pyłu PM10 w zestawieniu z prędkością wiatru.

W Sierpcu obiekty edukacyjne i opieki nad dziećmi zlokalizowane są głównie w centralnej części miasta. Przedszkola skupione są w obrębie około 1 km, przez co część dzielnic mieszkaniowych jest wykluczona z tej formy opieki nad dziećmi (np. osiedla pomiędzy ulicami Płocką i Józefa Bema, a także powyżej drogi krajowej nr 10). Powoduje to konieczność dowożenia dzieci do centrum miasta, powodując wzmożony ruch samochodowy, większą emisję i pogorszenie jakości powietrza. Podobnie wygląda kwestia dostępu do szkół, które również są w zdecydowanej większości zlokalizowane w centralnej części miasta. Dzielnice po wschodniej i północnej stronie od rzeki Sierpicy nie mają zapewnionych obiektów szkolnych, zatem również wymusza to przemieszczanie się mieszkańców do centrum miasta.

Dzięki mapie jakości powietrza na portalu informacyjno-edukacyjnym <https://smartcity.sierpc.pl/raporty/> można było sprawdzić jakość powietrza w otoczeniu jednostek oświatowych (Rysunek 22).



Rysunek 22. Jednostki oświatowe na portalu informacyjno-edukacyjnym <https://smartcity.sierpc.pl/>

Obiekty oświatowe, które w największym stopniu były narażone na złą jakość powietrza w badanym okresie to:

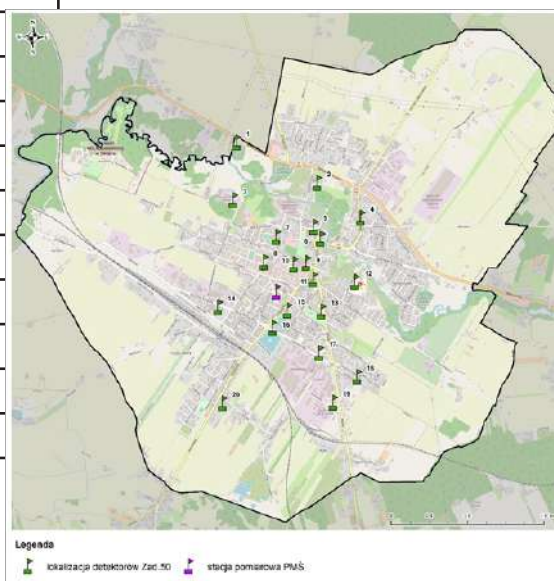
- Państwowa Szkoła Muzyczna I stopnia: od 04-12.2020 liczba dni ze stężeniem dobowym powyżej 50 wyniosła 52 dni, od 01-12.2021 było to 81 dni),
- Miejskie Przedszkole nr 3: od 04-12.2020 liczba dni ze stężeniem dobowym powyżej 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wyniosła 29 dni, od 01-12.2021 było to 41 dni), $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Zespół Szkół Nr 1: od 04-12.2020 liczba dni ze stężeniem dobowym powyżej 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wyniosła 22 dni, od 01-12.2021 było to 40 dni).

W ww. placówkach zaleca się prowadzenie działań edukacyjnych oraz korzystanie z mapy jakości powietrza na której można sprawdzić prognozę jakości powietrza na kolejne godziny i zaplanować aktywność na zewnątrz lub ją ograniczyć zmniejszając tym samym ekspozycję na zanieczyszczenia. W pozostałych placówkach w badanym okresie każdego roku nie stwierdzono przekroczeń dopuszczalnej liczby dni (35 dni) ze stężeniem dobowym pyłu PM10 powyżej 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.2 Analiza danych uzyskanych z czujników

Na terenie miasta Sierpc dodatkowo, w ramach realizacji projektu „Sierpc 2.0 – Rozwiązania EcoSmart z zakresu zarządzania miastem”, od 23 września 2020 r. działało 20 niskokosztowych czujników jakości powietrza (Rysunek 23).

LP.	Lokalizacja
1	Tadeusza Kościuszki
2	Wojska Polskiego
3	Bojanowska
4	Jana Kilińskiego
5	Biskupa Floriana
6	Plac Stefana Wyszyńskiego
7	Konstytucji 3 Maja
8	Majora Henryka Sucharskiego
9	Piastowska
10	Gabriela Narutowicza
11	Ul. Piastowska
12	Juliusza Słowackiego
13	Wiosny Ludów
14	Romualda Traugutta
15	Piastowska
16	Piastowska
17	Świętokrzyska
18	Wincentego Witosa
19	Przemysłowa
20	Targowa



Rysunek 23. Mapa lokalizacji 20 czujników jakości powietrza na terenie miasta Sierpc.

Na potrzeby przedmiotowego raportu z uwagi na czas jego przygotowania do analizy uwzględniono dane do końca stycznia 2022 r. W tabeli 5 przedstawiono średnią miesięczną jakość powietrza w postaci stężeń pyłu PM10 dla każdego z 20 detektorów w okresie badania, tj. od 23 września 2020 do 31 stycznia 2022 r.

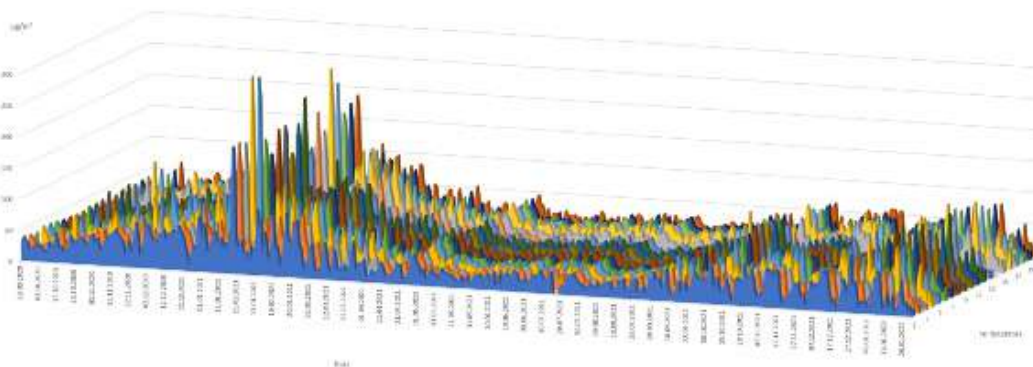
Tabela 5. Średnie miesięczne stężenia pyłu PM10 dla każdego z 20 detektorów w okresie badania, tj. od 23 września 2020 do 31 stycznia 2022 r. raporty/

Data /Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Średnie miesięczne stężenia pyłu PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] dla każdego z 20 detektorów																				
IX 2020	26	24	22	25	24	26	23	24	23	23	22	24	22	22	23	27	24	24	24	24
X	29	31	25	33	31	32	28	30	28	28	27	31	27	34	29	35	29	27	27	30
XI	40	41	36	47	45	42	39	39	40	37	36	42	36	37	42	50	41	37	37	44
XII	52	47	47	58	70	57	47	48	53	45	45	48	45	45	45	57	49	46	46	52
I 2021	56	57	48	73	68	62	53	55	56	54	49	61	49	52	56	75	62	55	53	59
II	55	54	45	68	64	63	53	58	56	52	52	59	49	50	53	73	59	54	52	57
III	28	31	24	36	33	33	29	28	27	26	26	30	25	26	30	38	29	27	26	29
IV	21	23	18	25	23	25	24	23	20	20	20	23	20	19	24	29	22	22	21	22
V	17	18	14	19	18	17	16	17	14	15	15	17	14	*	16	21	16	16	15	16
VI	21	20	18	19	20	19	17	20	17	19	18	18	18	*	18	23	18	20	19	18
VII	24	23	20	21	22	21	20	22	19	22	20	20	20	*	20	27	21	22	22	20
VIII	19	18	15	17	17	17	15	18	15	16	15	16	15	*	16	23	17	17	18	16
IX	25	23	21	24	26	25	24	25	22	23	22	24	21	*	23	30	23	23	24	22
X	36	34	31	39	43	38	33	37	36	34	33	36	32	*	34	42	35	34	34	36
XI	35	33	31	39	40	35	33	33	33	32	31	33	30	*	32	41	34	32	33	36
XII	36	34	30	42	43	37	32	34	33	34	31	36	30	*	32	43	35	33	33	34
I 2022	23	23	19	30	26	25	24	24	23	23	21	26	20	*	24	33	26	24	23	24

* Z uwagi na braki oraz bardzo niskie stężenia notowane na czujniku nr 14 od maja 2021, danych tych nie uwzględniono w analizie.

W analizowanym okresie najmniej korzystna sytuacja pod względem jakości powietrza występowała od listopada 2020 r. do lutego 2021 r.

Przebiegi stężeń dobowych pyłu PM10 dla 20 lokalizacji czujników w raportowanym okresie od 23 września 2020 r. do 31 stycznia 2022 r. przedstawiono na Rysunku 24.



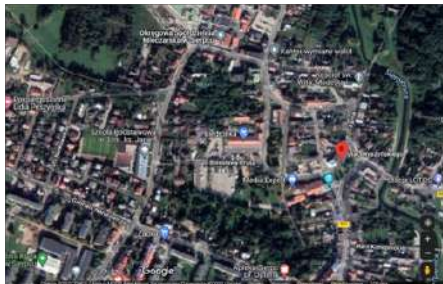
Rysunek 24. Przebieg stężeń 24-godzinnych pyłu zawieszonego PM10 uzyskanych od 23 września 2020 r. do 31 stycznia 2022 r. na 20 detektorach zamontowanych w Sierpcu.

Przebiegi stężeń dobowych pyłu PM10 z 20 detektorów wykazały występowanie podwyższonych stężeń pyłu PM10 w miesiącach zimowych: od października do kwietnia. W miesiącach letnich obserwujemy znaczną poprawę jakości powietrza. Powyższe zestawienie wyników pomiarów z czujników pokazuje ogólny trend spadku stężeń w okresie pozagrzewczym. Okres zimowy 2020/2021 był dużo bardziej niekorzystny niż 2021/2022. Największy epizod podwyższonych stężeń miał miejsce w dniach 17-19 stycznia 2021 r. Na stacji PMŚ zanotowano stężenie dobowe pyłu PM10 na poziomie 163 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a czujniki notowały wartości nawet ok. 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

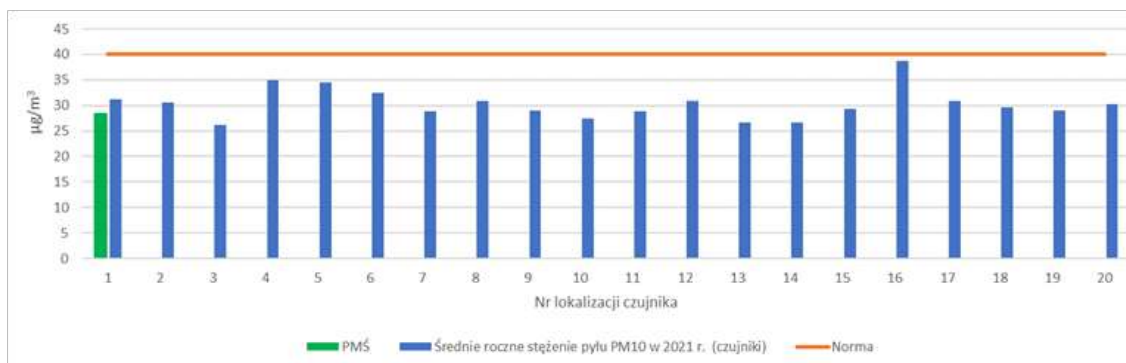
W analizowanym okresie najmniej korzystna sytuacja pod względem jakości powietrza występowała od listopada 2020 r. do lutego 2021 r. Szczególnie złą jakość powietrza zanotowały detektory w następujących lokalizacjach: Jana Kolińskiego (czujnik nr 4), Biskupa Floriana (czujnik nr 5), Plac Stefana Wyszyńskiego (czujnik nr 6) oraz Piastowska (czujnik nr 16). Lokalizacje te można określić jako tzw. hot spoty, czyli „gorące punkty”, które wymagają dokładniejszej analizy i uwagi, ponieważ właśnie w tych lokalizacjach mieszkańcy byli narażeni na złą jakość powietrza. Lokalizację czujników, na których średnie stężenie pyłu PM10 było największe w badanym okresie zaprezentowano w tabeli 6.

Tabela 6. Lokalizacja czujników, na których średnie stężenie pyłu PM10 było największe w badanym okresie (23.09.2020-31.01.2022).

Lokalizacja czujnika	Otoczenie czujników, w których notowano najgorszą jakość powietrza	Opis
Jana Kolińskiego (czujnik nr 4)		Średnie stężenie pyłu PM10 w 2021 r. wyniosło 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (norma 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Liczba dni z przekroczeniem dobowego poziomu dopuszczalnego wyniosła 76 (norma 35 dni)

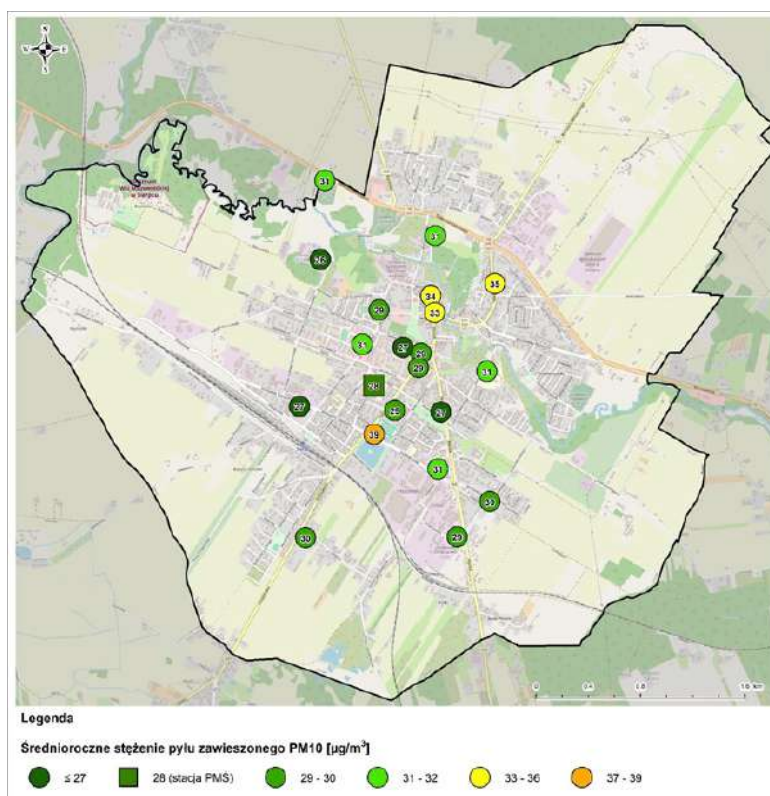
Lokalizacja czujnika	Otoczenie czujników, w których notowano najgorszą jakość powietrza	Opis
Biskupa Floriana (czujnik nr 5)		Średnie stężenie pyłu PM10 w 2021 r. wyniosło 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (norma 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Liczba dni z przekroczeniem dobowego poziomu dopuszczalnego wyniosła 76 (norma 35 dni)
Plac Stefana Wyszyńskiego		Średnie stężenie pyłu PM10 w 2021 r. wyniosło 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (norma 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Liczba dni z przekroczeniem dobowego poziomu dopuszczalnego wyniosła 62 (norma 35 dni)
Piastowska (czujnik nr 16).		Średnie stężenie pyłu PM10 w 2021 r. wyniosło 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (norma 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Liczba dni z przekroczeniem dobowego poziomu dopuszczalnego wyniosła 77 (norma 35 dni)

Na żadnym z czujników nie zanotowano w 2021 r. (pełny rok badania jakości powietrza) stężenia średniorocznego przekraczającego normę tj. 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rysunek 25).



Rysunek 25. Średnie roczne stężenie pyłu PM10 na 20 czujnikach jakości w 2021 r. w Sierpcu

W większości lokalizacji czujników średnia roczna jakość powietrza pod kątem stężeń pyłu PM10 w 2021 r. była gorsza niż na stacji PMŚ. Jedynie wartości notowane na czujnikach nr 3 (Bojanowska), 10 (Gabriela Narutowicza), 13 (Wiosny Ludów) i 14 (Romualda Traugutta) były niższe lub zbliżone do wartości notowanych na stacji PMŚ (Rysunek 26).



Rysunek 26. Średnia roczna jakość powietrza pod kątem stężeń pyłu PM10 w 2021 r. notowana na 20 czujnikach.

3.3 Analiza epizodów wysokich stężeń

Podstawą wyboru epizodów wysokich stężeń była analiza średnich dobowych stężeń pyłu PM₁₀ zanotowanych na 20 czujnikach oraz stacji PMŚ. Na potrzeby niniejszego raportu przyjęto następujące definicje:

1. Poziom graniczny epizodu - $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (150% dobowego poziomu dopuszczalnego dla pyłu PM₁₀)
2. Epizod wysokich stężeń pyłu PM₁₀ – okres co najmniej dwóch, trzech kolejnych dni, w których średniodobowe stężenie pyłu PM₁₀ w co najmniej trzech punktach pomiarowych przekracza poziom graniczny epizodu.

W badanym okresie od 23 września 2020 do 31 stycznia 2022 zanotowano 3 epizody wysokich stężeń (Tabela 7). Największy epizod (pod kątem wysokości notowanych stężeń pyłu PM₁₀) miał miejsce od 17 do 19 stycznia 2021 r. Maksymalne dobowe stężenie pyłu PM₁₀ jakie zanotowano na detektorach wyniosło $309 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 7. Epizody wysokich stężeń w okresie od 23 września 2020 do 31 stycznia 2022.

Lp.	Zakres czasowy epizodu wysokich stężeń pyłu PM ₁₀	Czas trwania epizodu (ilość dni)	Maksymalne stężenie dobowe notowane na detektorach
Okres badania: 23 września 2020 – 31 stycznia 2022			
1	30 - 31 grudnia 2020	2	145
2	17 – 19 styczeń 2021	3	309
3	21 – 23 luty 2021	3	121
Razem		7	Nd.

Na tak wysokie stężenia w czasie epizodu 17-19 stycznia wpływ miały bardzo niekorzystane warunki atmosferyczne: cisza wiatrowa (prędkość wiatru od 0,3-0,8 m/s), niskie temperatury powietrza (-6 do -16 °C), wysokość warstwy mieszania (85-149 m), zachmurzenie.

Tabela 8. Warunki meteorologiczne towarzyszące epizodowi wysokich stężeń z okresu od 23 września

Zmienne / data	Średnia prędkość wiatru na wys. 1,5 m [m/s]	Średnia dobową temperatura [°C]	Średnia dobową wysokość warstwy mieszania [m]	Średnie dobowe nasłonecznienie [W/m ²]
17.01.2021	0,4	-16	133	27
18.01.2021	0,3	-16	85	51
19.01.2021	0,8	-6	149	23
MIN w badanym okresie	0,20	-16	58	10
MAX w badanym okresie	3,14	26,29	1 376	339
Średnia badanym okresie	0,95	9,74	477	143

3.4 Integracja danych o jakości powietrza z innymi danymi szansą na rozwój miasta

Obecnie Miasta generują wiele danych związanych nie tylko z tematem jakości powietrza ale również szeroko pojętą ochroną środowiska. Dane te zyskają na wartości wtedy, kiedy będą systematycznie gromadzone i integrowane.

Te miasta osiągną przewagę konkurencyjną, które będą dobrze dobierać dane i będą miały narzędzia (np. platformy integrujące dane) pozwalające przekształcić dane w informacje. „ Dlatego miasto powinno zadbać o integralność danych i zbieranie ich ze wszystkich krytycznych miejsc.

Miasto Sierpc starając się o miano smart powinno dążyć do bardziej złożonych powiązań informacyjnych pomiędzy organami publicznymi, społeczeństwem, a także podmiotami komercyjnymi i organizacjami pozarządowymi (tworzyć platformy do komunikacji np. e-usługa do partycypacji społecznej i wymiany informacji, danych). Im więcej interakcji, tym bardziej istotny stanie się:

- efektywny dostęp do zharmonizowanych zbiorów danych przestrzennych,
- zbieranie i aktualizowanie danych w ramach realizacji zadań wynikających

z procesów zachodzących w mieście np. wymiana starych kotłów na nowe źródła ogrzewania o wyższej sprawności, pomiar jakości powietrza.

Problemem więc nie jest brak danych, ale raczej umiejętność właściwego ich gromadzenia (również przy okazji wykonywania codziennych obowiązków), integracji oraz wdrożenia odpowiedniej infrastruktury (system informacji przestrzennej), która ułatwi zarządzanie tak dużą liczbą danych.

Wdrażając rozwiązania takie jak: platformy integrujące dane oraz e-usługi przenoszące realizację obowiązków urzędu w świat cyfrowy miasto Sierpc zyska szansę na wytworzenie przewagi konkurencyjnej, poprzez:

- bieżące gromadzenie danych koniecznych do weryfikacji postępów realizowanych zadań,
- bieżącego monitorowanie sytuacji na terenie miasta np. monitoring wskaźników zrównoważonego miasta, monitoring aktualnego stanu jakości powietrza,
- coroczne kontrolowanie stopnia realizacji celów zapisanych w dokumentach strategicznych,
- sprawniejsze sporządzanie raportów z przeprowadzonych działań,
- rozwijanie zagadnień zarządzania ochroną środowiska w gminie/mieście,
- skuteczne prowadzenie i intensyfikację działań edukacyjnych oraz informacyjnych.

Miasto Sierpc w ramach projektu „Sierpc 2.0 – Rozwiązania EcoSmart z zakresu zarządzania miastem”, wytworzyło (w ramach zadań informacyjno-edukacyjnych), źródła danych związane z powietrzem, energią, odpadami. Są one prezentowane dla każdego na portalu smartcity.sierpc.pl w postaci liczbowej oraz graficznej. Wdrożenie portalu informacyjno-edukacyjnego smartcity.sierpc.pl, pozwoliło na wykorzystanie Internetu do lepszego kształtowania wizerunku miasta, poprzez użycie innowacyjnych sposobów informowania o stanie środowiska, kształcenia i komunikacji z mieszkańcami.

Poniżej zaprezentowano wybrane usługi, które zostały umieszczone na platformie informacyjno-edukacyjnej:

- Usługa 17 wskaźników zrównoważonego rozwoju miasta zgodne z normą ISO 37120, w tym wskaźniki związane z jakością powietrza,
- Baza wiedzy - materiały edukacyjne nt. powietrza, odpadów, energii: filmy edukacyjne, artykuły, inne...
- Mapa prezentująca i umożliwiającą integrację różnych warstw informacji o środowisku (m.in. stężenie pyłów PM10, PM2.5, lokalizacja źródeł ogrzewania, lokalizacja kontenerów na odpady, efektywność energetyczna budynków użyteczności publicznej, i inne),
- Raporty środowiskowe w postaci wykresów i tabel, np. średniodobowe stężenie pyłów PM10, PM2.5, raporty o jakości powietrza w okolicy placówek oświatowych.
- Usługa umożliwiająca dialog z mieszkańcami i wzmocnienie partycypacji społecznej dzięki czemu mieszkańcy mogą aktywnie uczestniczyć w sprawach dla nich istotnych, dzielić się swoimi doświadczeniami oraz poglądami i wypracować wspólny z miastem plan działania. Wykorzystane w projekcie usługi:
 - ankiety online,
 - konsultacje internetowe

Dane zbierane w ramach projektu HSC, i wykorzystywane w procesie edukowania mieszkańców mogą dać Miastu dodatkowe korzyści. Powstałe usługi mogą stanowić podstawę do rozwoju zintegrowanego miejskiego systemu, który będzie wspomagał pracowników Urzędu w cyfrowej realizacji swoich obowiązków. Pozwoliłoby to na zbudowanie systemu zarządzania miastem w oparciu o aktualne informacje płynące ze zintegrowanych danych.

Rozwój platformy miejskiej, który można wykorzystać do stworzenia zintegrowanego systemu środowiskowej informacji przestrzennej wymaga wsparcia w postaci dofinansowania, np. z kolejnych środków Europejskich.

Poniżej przedstawiono wybrane korzyści, jakie miasto może osiągnąć dzięki rozwojowi systemu integrującego dane (tu w szczególności omówiono dane o jakości powietrza):

- dane o jakości powietrza można zintegrować z danymi o rodzajach placówek oświatowych/dzielnicach, pozwoli to na wyróżnienie tych jednostek (przedszkola, szkoły)/ dzielnic, gdzie dzieci/mieszkańcy są w największym stopniu narażeni na złą jakość powietrza, pozwoli to nakierować edukację właśnie do tych placówek,
- dane o jakości powietrza można ponadto połączyć z ilością pieców i przeanalizować zależności emisji i stężeń na danym obszarze, co może przełożyć się na ukierunkowaną informację mieszkańców i ich decyzyjność w zakresie działań na rzecz poprawy jakości środowiska, np. wymianę nieekologicznych urządzeń grzewczych,
- dane z usługi systemu zarządzania energią: informacja o tym czy budynek jest po termomodernizacji można połączyć z danymi o tym czy w budynku wymieniono kocioł na nowy, w ten sposób można wytypować miejsca gdzie np. kocioł został wymieniony a efektywność energetyczna budynku jest nadal niska. Te budynki w pierwszej kolejności nadają się do termomodernizacji;
- dane o jakości powietrza zintegrowane z danymi o rodzajach terenów pod inwestycje pozwolą ocenić inwestorom ryzyko problemów przy ubieganiu się o stosowne pozwolenia środowiskowe.
- dane o jakości powietrza zintegrowane z terenami rekreacji i uprawiania sportu pozwolą ocenić istniejące tereny i wytypować nowe miejsca najbardziej optymalne do uprawiania sportu czy kreowania nowych terenów zielonych, stref przewietrzania miasta
- dane o jakości powietrza i lokalizacji kontenerów na odpady, pozwolą zaplanować najbardziej optymalne trasy pojazdów odbierających odpady,

Poniżej przedstawiono również rekomendacje i zakres działań, których wdrożenie powinno to w znacznym stopniu przełożyć się na budowanie miasta inteligentnego, w którym aktualne dane wykorzystywane są do świadomego zarządzania i włączania mieszkańców w kreowanie rozwoju miasta:

- powołanie zespołu odpowiedzialnego za proces zarządzania danymi miejskimi i rozwój platformy informacyjno-edukacyjnej W skład zespołu powinny wchodzić osoby, które:

- a. odpowiadają za rozwój strategii opartych na zbieraniu danych i wykorzystywaniu danych,
- b. odpowiadają za infrastrukturę techniczną IT,
- c. zajmują się tematem RODO i innymi kwestiami prawnymi w zakresie bezpieczeństwa i dostępności danych oraz systemów (np. WCAG).

Do zadań zespołu powinno należeć:

- a. przygotowanie, koordynowanie, monitorowanie procesu zarządzania w oparciu o dane;
 - b. wypracowanie standardów zbierania i otwierania danych oraz ich wdrożeniem w urzędzie;
 - c. wypracowanie wspólnych standardów technologicznych, które umożliwi efektywne współużytkowanie danych z jednoczesnym zachowaniem autonomiczności systemów integrowanych. Przykładem takich standardów są obecnie standardy WMS, WFS, WCS;
 - d. inwentaryzacja i analiza posiadanych danych;
 - e. szkolenia pracowników;
 - f. przygotowanie i testowanie środowiska informatycznego, które będzie służyło do zarządzania miastem w oparciu o dane;
 - g. zapewnienie dobrej organizacji, bezpieczeństwa i prywatności danych (m.in. cykliczna analiza potrzeb w zakresie dostępu do danych, metadane, procedury utrzymania, odpowiedzialność za dane, polityka bezpieczeństwa, zabezpieczenia przed nieuprawnionym dostępem).
- przygotowanie i wdrożenie na platformie zintegrowanych e-usług, które poprawią efektywność procesów i pozwolą na rozwijanie współdzielonych baz danych w obszarach: powietrze, energia, woda, gospodarka odpadami, inne .

4. PODSUMOWANIE

1. Dobra jakość powietrza to jeden z wielu czynników, które przyczyniają się do zwiększenia komfortu i bezpieczeństwa mieszkańców, czyli głównego celu projektu "Sierpc 2.0 – Rozwiązania EcoSmart z zakresu zarządzania miastem".
2. Stan jakości powietrza kontrolowany w ramach PMŚ (Państwowego Monitoringu Środowiska) zapewnia wiarygodne informacje. Od stycznia 2021 roku funkcjonuje w Sierpcu stacja na ulicy Wiosny Ludów 7, dzięki czemu mieszkańcy miasta mogą na bieżąco monitorować jakim powietrzem oddychają w trakcie roku. Oceny bezpośredniej w zakresie zanieczyszczeń powietrza nie można wykonać bez wykorzystania wyników rocznej oceny jakości powietrza w województwie mazowieckim.
3. Inteligentne miasta używają systemów cyfrowych do komunikacji z organizacjami i obywatelami, którzy z kolei wykorzystują dane i informacje do planowania i dostarczania usług oraz rozwijają umiejętności cyfrowe wymagane do udziału w życiu społecznym i odnoszeniu sukcesów ekonomicznych. Monitorowanie jakości powietrza jest istotnym aspektem prowadzenia działań, dlatego też zbudowana została w mieście sieć monitoringu opartego na czujnikach niskokosztowych i mapie jakości powietrza.
4. Na podstawie przeprowadzonych analiz wyników modelowania matematycznego, dostępnych w Rocznej ocenie jakości powietrza za rok 2020, można stwierdzić iż na terenie miasta Sierpc występował problem z jakością powietrza w zakresie dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀, oraz średniorocznych stężeń pyłu PM_{2,5} i benzo(a)pirenu. Nie stwierdzono natomiast przekroczenia wartości stężenia średniorocznego pyłu zawieszonego PM₁₀ wynoszącego 40 µg/m³. Stężenia średnioroczne benzo(a)pirenu przekraczały poziom docelowy wynoszący 1 ng/m³ na terenie miasta Sierpc w 2020 roku. Wartość stężeń na dominującym obszarze zawierała się w przedziale 1,5 do 5 ng/m³, co mogło oznaczać kilkukrotne przekroczenie normy.
5. Analizując dostępne, wstępnie zweryfikowane przez GIOŚ, wyniki ze stacji monitoringu można stwierdzić, że na terenie Sierpca w 2021 roku doszło do przekroczenia wartości dopuszczalnej stężenia średniorocznego pyłu PM_{2,5} wynoszącej 20 µg/m³ (faza II). Zmierzona wartość tego parametru wyniosła 21,9 µg/m³. Nie odnotowano natomiast średniorocznego przekroczenia dopuszczalnego stężenia pyłu PM₁₀ wynoszącego 40 µg/m³. Zmierzona wartość tego parametru wyniosła 27,4 µg/m³ co stanowiło 71% dopuszczalnej normy rocznej. Ponadto nie odnotowano przekroczenia dopuszczalnej liczby przekroczeń normy średniodobowej dla pyłu zawieszonego PM₁₀. Średniodobowe stężenie powyżej 50 µg/m³ zanotowane zostało przez 35 dni co równe było wartości dopuszczalnego limitu.
6. Wychodząc naprzeciw realizacji postawionych w obowiązującym Programie ochrony powietrza, celów w kierunku poprawy jakości powietrza, w mieście zbudowana została sieć monitoringu opartego na czujnikach niskokosztowych, które monitorowały wysokość stężeń pyłu PM₁₀ i PM_{2,5}. Pierwsze czujniki jakości powietrza tworzące sieć monitoringu zakupiono w październiku 2018 roku, w latach kolejnych sieć była rozbudowywana.

7. W ramach zadania 2 w ramach utrzymania portalu informacyjno-edukacyjnego projektu „Sierpc 2.0 – Rozwiązania EcoSmart z zakresu zarządzania miastem” od kwietnia 2020 r. zamontowanych zostało w Sierpcu 10 dodatkowych niskokosztowych czujników jakości powietrza, następnie od września 2020 r. w ramach zadania 50 Projektu „Sierpc 2.0 – Rozwiązania EcoSmart z zakresu zarządzania miastem” powstał również inteligentny system monitoringu jakości powietrza oparty o uzyskiwane z 20 czujników niskokosztowych. Niskokosztowe czujniki jakości powietrza pozwalają na określenie przybliżonej jakości powietrza oraz obserwację trendów zmian wielkości stężeń na przestrzeni danego czasu i różnych punktach miasta, nie są jednak metodą referencyjną pomiarów dlatego nie mogą stanowić podstawy do oceny jakości powietrza w mieście.

8. Dzięki mapie jakości powietrza na portalu Sierpc 2.0 mieszkańcy mogli sprawdzić stan jakości powietrza w dowolnie wybranym miejscu na mapie, dowiedzieć się czy w danej chwili mogą bezpiecznie korzystać z aktywności na zewnątrz a dzięki prognozie jakości powietrza zaplanować aktywność w najbliższych godzinach.

9. W analizowanym okresie od kwietnia 2020 r. do stycznia 2023 r. pogorszenie jakości powietrza wystąpiło w sezonach grzewczych co jest zgodne z ogólnie panującą tendencją w tym zakresie. Porównując dzielnice miasta najmniej korzystne pod względem jakości powietrza jest centrum miasta, w następnej kolejności południe i północ miasta. W centrum średnie stężenie pyłu PM10 w analizowanym okresie wyniosło $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a pyłu PM2,5 $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maksymalne średnie miesięczne stężenie pyłu PM10 wystąpiło w lutym 2021 i wyniosło $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Również w centrum notowano najwyższe stężenia godzinowe stężeń pyłu PM10. Maksymalne dobowe stężenie pyłu zanotowano w Centrum w lutym 2021 r. oraz w styczniu 2022 r. i wyniosło ono $266 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W analogicznym czasie, tj. w lutym 2021 r. na Południu zanotowano $186 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a na Północy $195 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W styczniu 2022 r. na Południu zanotowano $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a na Północy $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na stężenia obserwowane na terenie miasta Sierpc miały wpływ warunki meteorologiczne. Zima 2021/2022 była łagodniejsza w porównaniu zimą 2020/2021.

10. Obiekty oświatowe, które w największym stopniu były narażone na złą jakość powietrza w badanym okresie to:

- Państwowa Szkoła Muzyczna I stopnia: od 04-12.2020 liczba dni ze stężeniem dobowym powyżej 50 wyniosła 52 dni, od 01-12.2021 było to 81 dni),
- Miejskie Przedszkole nr 3: od 04-12.2020 liczba dni ze stężeniem dobowym powyżej $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wyniosła 29 dni, od 01-12.2021 było to 41 dni), $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Zespół Szkół Nr 1: od 04-12.2020 liczba dni ze stężeniem dobowym powyżej $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wyniosła 22 dni, od 01-12.2021 było to 40 dni).

W ww. placówkach zaleca się prowadzenie działań edukacyjnych oraz korzystanie z mapy jakości powietrza na której można sprawdzić prognozę jakości powietrza na kolejne godziny i zaplanować aktywność na zewnątrz lub ją ograniczyć zmniejszając tym samym ekspozycję na zanieczyszczenia. W pozostałych placówkach w badanym okresie każdego roku nie stwierdzono przekroczeń dopuszczalnej liczby dni (35 dni) ze stężeniem dobowym pyłu PM10 powyżej $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

11. Przebiegi stężeń dobowych pyłu PM10 z 20 detektorów wykazały występowanie podwyższonych stężeń pyłu PM10 w miesiącach zimowych: od października do kwietnia. W miesiącach letnich obserwujemy znaczną poprawę jakości powietrza. Powyższe zestawienie wyników pomiarów z czujników pokazuje ogólny trend spadku stężeń w okresie pozagrzewczym. Okres zimowy 2020/2021 był dużo bardziej niekorzystny niż 2021/2022. Największy epizod podwyższonych stężeń miał miejsce w dniach 17-19 stycznia 2021 r. Na stacji PMŚ zanotowano stężenie dobowe pyłu PM10 na poziomie $163 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a czujniki notowały wartości nawet ok. $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

12. Szczególnie złą jakość powietrza zanotowały detektory w następujących lokalizacjach: Jana Kolińskiego (czujnik nr 4), Biskupa Floriana (czujnik nr 5), Plac Stefana Wyszyńskiego (czujnik nr 6) oraz Piastowska (czujnik nr 16). Lokalizacje te można określić jako tzw. hot spoty, czyli „gorące punkty”, które wymagają dokładniejszej analizy i uwagi, ponieważ właśnie w tych lokalizacjach mieszkańcy byli narażeni na złą jakość powietrza.

13. W większości lokalizacji czujników średnia roczna jakość powietrza pod kątem stężeń pyłu PM10 w 2021 r. była gorsza niż na stacji PMŚ. Jedynie wartości notowane na czujnikach nr 3 (Bojanowska), 10 (Gabriela Narutowicza), 13 (Wiosny Ludów) i 14 (Romualda Traugutta) były niższe lub zbliżone do wartości notowanych na stacji PMŚ (Rysunek 26).

14. W badanym okresie od 23 września 2020 do 31 stycznia 2022 zanotowano 3 epizody wysokich stężeń (Tabela 7). Największy epizod (pod kątem wysokości notowanych stężeń pyłu PM10) miał miejsce od 17 do 19 stycznia 2021 r. Maksymalne dobowe stężenie pyłu PM10 jakie zanotowano na detektorach wyniosło 309 µg/m³. Na tak wysokie stężenia w czasie epizodu 17-19 stycznia wpływ miały bardzo niekorzystane warunki atmosferyczne: cisza wiatrowa (prędkość wiatru od 0,3-0,8 m/s), niskie temperatury powietrza (-6 do -16 °C), wysokość warstwy mieszania (85-149 m), zachmurzenie.

15. Obecnie Miasta generują wiele danych związanych nie tylko z tematem jakości powietrza ale również szeroko pojętą ochroną środowiska. Dane te zyskają na wartości wtedy, kiedy będą systematycznie gromadzone i integrowane. Wdrażając rozwiązania takie jak: platformy integrujące dane oraz e-usługi przenoszące realizację obowiązków urzędu w świat cyfrowy miasto Sierpc zyska szansę na wytworzenie przewagi konkurencyjnej.

16. Dzięki rozwiązaniom innowacyjnym i cyfrowym miasto Sierpc może osiągnąć dodatkowe korzyści, m.in.

- dane o jakości powietrza można zintegrować z danymi o rodzajach placówek oświatowych/dzielnicach, pozwoli to na wyróżnienie tych jednostek (przedszkola, szkoły)/ dzielnic, gdzie dzieci/mieszkańcy są w największym stopniu narażeni na złą jakość powietrza, pozwoli to nakierować edukację właśnie do tych placówek,
- dane o jakości powietrza można ponadto połączyć z ilością pieców i przeanalizować zależności emisji i stężeń na danym obszarze, co może przełożyć się na ukierunkowaną informację mieszkańców i ich decyzyjność w zakresie działań na rzecz poprawy jakości środowiska, np. wymianę nieekologicznych urządzeń grzewczych,
- dane o jakości powietrza zintegrowane z danymi o rodzajach terenów pod inwestycje pozwolą ocenić inwestorom ryzyko problemów przy ubieganiu się o stosowne pozwolenia środowiskowe.
- dane o jakości powietrza zintegrowane z terenami rekreacji i uprawiania sportu pozwolą ocenić istniejące tereny i wytypować nowe miejsca najbardziej optymalne do uprawiania sportu/uczynekowania nowych terenów zielonych, stref przewietrzania miasta
- dane o jakości powietrza i lokalizacji kontenerów na odpady, pozwolą zaplanować najbardziej optymalne trasy pojazdów odbierających odpady.

SPIS TABELI

Tabela 1. Informacje podstawowe i otoczenie stacji.....	6
Tabela 2. Parametry mierzone na stacji monitoringu jakości powietrza w przy ul. Wiosny Ludów 7 w Sierpcu.....	6
Tabela 3. Średnie miesięczne stężenia pyłu zawieszonego PM10.....	19
Tabela 4. Maksymalne stężenia godzinowe pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].....	20
Tabela 5. Średnie miesięczne stężenia pyłu PM10 dla każdego z 20 detektorów w okresie badania, tj. od 23 września 2020 do 31 stycznia 2022 r.....	26
Tabela 6. Lokalizacja czujników, na których średnie stężenie pyłu PM10 było największe w badanym okresie (23.09.2020-31.01.2022).....	27
Tabela 7. Epizody wysokich stężeń w okresie od 23 września 2020 do 31 stycznia 2022....	30
Tabela 8. Warunki meteorologiczne towarzyszące epizodowi wysokich stężeń z okresu od 23 września 2020 do 31 stycznia 2022.....	30

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1. Stacja monitoringu jakości powietrza zlokalizowana przy ul. Wiosny Ludów 7 w Sierpcu.....	5
Rysunek 2. Otoczenie i lokalizacja stacji Państwowego Monitoringu Środowiska w Sierpcu.....	5
Rysunek 3. Rozkład przestrzenny średniego rocznego stężenia PM ₁₀ [µg/m ³]. Mapa wykonana w oparciu o modelowanie matematyczne przygotowane przez Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy oraz metodę obiektywnego szacowania. Opracowana na potrzeby rocznej oceny jakości powietrza za rok 2020.	8
Rysunek 4. Rozkład przestrzenny stężenia PM ₁₀ , wyrażony jako 36-te maksymalne stężenie średnie dobowe. Mapa wykonana w oparciu o modelowanie matematyczne przygotowane przez Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy oraz metodę obiektywnego szacowania. Opracowano na potrzeby rocznej oceny jakości powietrza za rok 2020.....	9
Rysunek 5. Rozkład przestrzenny średniego rocznego stężenia PM _{2,5} [µg/m ³]. Mapa wykonana w oparciu o modelowanie matematyczne przygotowane przez Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy oraz metodę obiektywnego szacowania. Opracowana na potrzeby rocznej oceny jakości powietrza za 2020 rok	10
Rysunek 6. Rozkład przestrzenny średniego rocznego stężenia benzo(a)pirenu [ng/m ³]. Mapa wykonana w oparciu o modelowanie matematyczne przygotowane przez Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy oraz metodę obiektywnego szacowania. Opracowano na potrzeby rocznej oceny jakości powietrza za rok 2020.....	11
Rysunek 7. Przebieg zmienności średnich 1-godzinowych stężenia pyłu PM _{2,5} na stacji w Sierpcu przy ul. Wiosny Ludów 7 w 2021 roku	12
Rysunek 8. Przebieg zmienności średnich 24-godzinnych stężenia pyłu PM ₁₀ na stacji w Sierpcu przy ul. Wiosny Ludów 7 na tle poziomu dopuszczalnego w 2021 roku	13
Rysunek 9. Lokalizacja dodatkowych 10 niskokosztowych czujników jakości powietrza na terenie miasta Sierpc (Zad.2).....	14
Rysunek 10. Mapa prezentująca dane o stężeniach pyłów PM ₁₀ i PM _{2,5} w Sierpcu uzyskane na podstawie danych z 10 detektorów i modelowania matematycznego, udostępniona na portalu https://smartcity.sierpc.pl/	15
Rysunek 11. Lokalizacja dodatkowych 20 niskokosztowych czujników jakości powietrza na terenie miasta Sierpc (Zad. 50).....	15

Rysunek 12. Mapa prezentująca dane o stężeniach pyłów PM10 i PM2,5 w Sierpcu uzyskane na podstawie danych z 50 detektorów udostępniona na stronie https://airly.org/map/pl/#52.856721,19.669069,118763	16
Rysunek 13. Lokalizacja dodatkowych 30 niskokosztowych czujników jakości powietrza na terenie miasta Sierpc (Zad. 2 i 50).....	16
Rysunek 14. Mapa jakości powietrza na portalu informacyjno-edukacyjnym Sierpc 2.0.....	17
Rysunek 15. Zdjęcia z filmu o mapie jakości powietrza na terenie miasta Sierpc.....	17
Rysunek 16. Mapa stref funkcjonalno-przestrzennych miasta Sierpc.....	18
Rysunek 17. Porównanie średniej temperatury w sezonach zimowych sezonach zimowych 2020/2021, 2021/2022 [źródło: dane IMGW].....	21
Rysunek 18. Przebieg dobowych stężeń pyłu PM10 w zestawieniu z temperaturą....	22
Rysunek 19. Przebieg dobowych stężeń pyłu PM10 w zestawieniu z nasłonecznieniem.....	22
Rysunek 20. Przebieg stężeń średnich miesięcznych pyłu PM10 w zestawieniu z wysokością warstwy mieszania.....	23
Rysunek 21. Przebieg dobowych stężeń pyłu PM10 w zestawieniu z prędkością wiatru.....	23
Rysunek 22. Jednostki oświatowe na portalu informacyjno-edukacyjnym https://smartcity.sierpc.pl/raporty/	24
Rysunek 23. Mapa lokalizacji 20 czujników jakości powietrza na terenie miasta Sierpc.....	25
Rysunek 24. Przebieg stężeń 24-godzinnych pyłu zawieszonego PM10 uzyskanych od 23 września 2020 r. do 31 stycznia 2022 r. na 20 detektorach zamontowanych w Sierpcu.....	27
Rysunek 25. Średnie roczne stężenie pyłu PM10 na 20 czujnikach jakości w 2021 r. w Sierpcu.....	29
Rysunek 26. Średnia roczna jakość powietrza pod kątem stężeń pyłu PM10 w 2021 r. notowana na 20 czujnikach.....	29

Dane adresowe:
Urząd Miejski w Sierpcu
ul. Piastowska 11a
09-200 Sierpc

Więcej na stronie:
www.smartcity.sierpc.pl

Telefon: +48 24 275 86 86
Faks: +48 24 275 86 33
E-mail: info@sierpc.pl
www.sierpc.pl

 **Sierpc 2.0**

