


## URBAN ISSUES

#zanieczyszczenie powietrza,  
#PM10, #mpzp, #Kraków

## Zróżnicowanie przestrzenne zanieczyszczenia powietrza pyłem PM10 w Krakowie w 2017 r. w kontekście uwarunkowań zagospodarowania przestrzennego


**Katarzyna Kudłacz\***

Instytut Rozwoju Miast i Regionów  
e-mail: [kkudlacz@irmir.pl](mailto:kkudlacz@irmir.pl)

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4392-8952>

**Karolina Piech**

Instytut Rozwoju Miast i Regionów

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9826-4455>

### Abstrakt

W literaturze naukowej od wielu lat szeroko omawiana jest tematyka zanieczyszczeń powietrza. W miastach w sytuacji długotrwałego utrzymywania się przekroczeń norm jakości powietrza istotne staje się zagadnienie zrównoważonego rozwoju tkanki urbanistycznej. Celem artykułu jest ocena wpływu uwarunkowań przestrzennych na terenie Krakowa na rejestrowane wysokie wartości stężeń zanieczyszczeń powietrza pyłem PM10 w 2017 r. Analizę przeprowadzono, wykorzystując dane pomiarowe Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Krakowie oraz niezależnej sieci czujników Airly. Na podstawie przetworzonych materiałów scharakteryzowano stan jakości powietrza w mieście. Analiza liczby dni z przekroczeniami 24-godzinnego dopuszczalnego poziomu PM10 pozwoliła wskazać obszary na terenie miasta najbardziej narażone na wysokie wartości stężeń niebezpiecznej substancji. Na podstawie wyników wskazano, że w skali lokalnej występują źródła punktowe, liniowe i powierzchniowe mające wpływ na stan aerosanitarny Krakowa. Przeanalizowano również jedno z narzędzi walki o czyste powietrze w mieście, tj. zapisy obowiązujących w wybranych obszarach miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego. Zestawiając ustalenia aktów prawa miejscowego z wynikami zaprezentowanej liczby dni z przekroczeniami dopuszczalnych dobowych stężeń dla analizowanych obszarów, stwierdzono, iż nie w każdym przypadku ogólne zapisy są w stanie ograniczyć nadmierne zanieczyszczenia.

## Wprowadzenie

W wielu miastach w Polsce w sytuacji długotrwałego utrzymywania się przekroczeń norm jakości powietrza istotne staje się zagadnienie zrównoważonego rozwoju tkanki urbanistycznej. Poważnym problemem miast jest emisja antropogeniczna zanieczyszczeń, wśród których wyróżnia się powszechnie występujący w powietrzu pył zawieszony PM10 (Macias, Bródka 2014). Według badań W. Jędrzychowskiego i in. (2012) pył zawieszony to aerozol o średnicy aerodynamicznej ziaren poniżej 10  $\mu\text{m}$ . Mieszanka cząstek stałych i ciekłych pochodzenia organicznego i nieorganicznego wpływa negatywnie na wszystkie składowe środowiska przyrodniczego, a przede wszystkim na zdrowie ludzi (Dziubanek i in. 2014). Dopuszczalne normy dla tego zanieczyszczenia, zwłaszcza w sezonie zimowym, są na obszarze Krakowa zbyt często przekraczane. Wysokie wartości stężeń pyłu na terenie miasta odnotowywane są szczególnie w centrum. Wpływ na koncentryczny rozkład stężeń zanieczyszczeń pyłem PM10 w mieście ma przede wszystkim emisja powierzchniowa z palenisk domowych, a także zanieczyszczenia pochodzenia komunikacyjnego stanowiące poważne zagrożenie dla mieszkańców obszarów zurbanizowanych (Lewińska 2000). W przypadku Krakowa znaczenie mają także czynniki wtórne, które określić można wspólnym mianownikiem uwarunkowań przestrzennych, są to m.in.: układ urbanistyczny miasta, w tym dominujący wielorodzinny i usługowy charakter zabudowy oraz znaczna jej intensywność i gęstość, niskie wartości wskaźnika powierzchni biologicznie czynnej w obszarach zabudowy czy chociażby sąsiedztwo innych ośrodków administracyjnych stanowiących pierścien źródeł niskiej emisji otaczający miasto. W takiej sytuacji analiza istniejących uwarunkowań zagospodarowania przestrzennego, w tym możliwości dalszego kształtowania struktur przestrzennych, stanowi istotny element w kontekście poprawy lokalnego stanu jakości powietrza w Krakowie.

Celem artykułu jest ocena wpływu uwarunkowań przestrzennych na terenie Krakowa na wysokie wartości stężeń zanieczyszczeń powietrza pyłem PM10 w 2017 r. Analizę przeprowadzono na podstawie danych pochodzących z 8 automatycznych stacji pomiarowych Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ) w Krakowie, których kryteria lokalizacji stanowisk ściśle określono w przepisach zawartych w ówczesnym prawomocnym Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu. Jako analizę uzupełniającą potraktowano dane pochodzące z nowoczesnej sieci sensorów powietrza rozlokowanej na terenie miasta tworzącej bazę danych AIRLY, których

kryteria lokalizacji są również zgodne z wyżej wymienionym rozporządzeniem. Na podstawie przetworzonych materiałów scharakteryzowano stan jakości powietrza w Krakowie. Na zaprezentowanych mapach wskazano wybrane obszary na terenie miasta, których liczby dni z przekroczeniami 24-godzinnego dopuszczalnego poziomu PM10 przyjętego zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomu niektórych substancji w powietrzu była wyższa od 120. Wybrane studia przypadków pozwoliły wskazać uwarunkowania przestrzenne w skali lokalnej wpływające najprawdopodobniej na notowane wysokie wartości stężeń zanieczyszczeń pyłem PM10. Podjęto również próbę analizy zapisów miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego (mpzp) (obowiązujących w obszarach badań) pod kątem ich ustaleń mających wpływ na poprawę jakości powietrza.

## Przegląd literatury

W literaturze naukowej od wielu lat szeroko omawiana jest tematyka zanieczyszczeń powietrza (Hess, Olecki 1990; Niedźwiedź, Olecki 1994; Malec, Borowski 2016). Niekorzystne uwarunkowania aerosanitarne i ich wpływ na zdrowie i samopoczucie człowieka to przedmiot wielu debat medycznych (Dziubanek i in. 2014; Gładka, Zatoński 2016), jak i inicjatyw społeczno-gospodarczych. W kontekście poprawy lokalnych warunków aerosanitarnych, a tym samym komfortu życia mieszkańców obszarów zurbanizowanych, analiza uwarunkowań mających wpływ na wysokie stężenia pyłów zawieszonych w powietrzu stanowi fundament w podejmowaniu działań minimalizujących negatywne konsekwencje. Czołowi badacze (Oke 1978, 1984; Landsberg 1981) już dawno wskazywali na potrzebę uwzględniania wyników analiz klimatycznych w planowaniu przestrzennym miast. W kontekście zrozumienia procesów klimatotwórczych zachodzących w obszarach miejskich szczególnie znaczenie miały eksperymenty badawcze, tj. Metromex, Urbmet, implementowane głównie w USA, prezentujące transport i dyfuzję zanieczyszczeń w obszarach zurbanizowanych (Bornstein, Oke 1979). Również i w Polsce problematyką jakości powietrza w powiązaniu z warunkami meteorologicznymi zajmowało się wielu badaczy, w tym m.in. J. Godłowska i A.M. Tomaszewska (2010); A. Bokwa (2012); J. Czarnecka, J. Nidzgarska-Lencewicz i K. Rawicki (2017). Przykładowo mezoklimatem obszarów zurbanizowanych oraz czynnikami naturalnymi wpływającymi na niego w swych pracach zajmowała się J. Lewińska w zespołach (1982, 1990). Również według A. Bokwy (2016, 2017) klimat miasta znacząco różni się od klimatu terenów sąsiednich. Odmienność tę warunkują czynniki, do których zaliczyć należy: temperatu-

rę powietrza, pola wiatrów czy opady atmosferyczne. Autorka na przykładzie Krakowa wskazuje również wpływ czynników antropogenicznych, tj. zabudowę, transport, działalność przemysłową na notowane wysokie wartości stężeń w mieście. Wpływem ruchu samochodowego na stężenia pyłu PM10 i PM2,5 na przykładzie al. Mickiewicza w Krakowie zajmuje się M. Gliniak, Z. Zuśka i J. Miczyński (2015). Z publikacji tej wynika, że odsetek zanieczyszczeń w emisji pyłów wynikający z transportu jest znikomy. Autorzy rekomendują również, aby przy analizie zanieczyszczenia wziąć pod uwagę wszystkie źródła emisji oraz sytuację meteorologiczną. O jakości powietrza w Krakowie i jego przestrzennym rozmieszczeniu pisali również T. Gorzelnik i R. Oleniacz (2018) oraz A. Wolak, R. Salerno-Kochan i P. Turek (2016). W swych publikacjach dokonali analizy przestrzennego rozkładu stężeń pyłu PM10 w Krakowie na podstawie danych pochodzących z punktów pomiarowych WIOŚ, w tym oceny stanu powietrza w różnych porach roku. Badania dotyczące Krakowa można również zestawzić z wynikami analiz przeprowadzonych dla innych dużych miast w Polsce. Przykładowo K. Podawca i G. Rutkowska (2013) przebadali przestrzenny rozkład zanieczyszczeń powietrza w układzie dzielnicowym Warszawy. Autorzy w swych badaniach zestawili ze sobą dane dotyczące użytkowania terenu oraz stężeń zanieczyszczeń różnymi związkami w poszczególnych dzielnicach miasta. Z ich analiz wynika, że w każdej dzielnicy, w zależności od zagospodarowania terenu, występują różne główne źródła emitujące niekorzystne związki pyłowe i gazowe. Poza literaturą naukową tematyka zanieczyszczeń powietrza jest również szeroko omawiana w raportach i ekspertyzach publikowanych przez różnego rodzaju instytucje oraz stowarzyszenia.

### Metody i źródła

Miarodajnym źródłem danych dotyczących wielkości imisji zanieczyszczeń powietrza pyłem PM10 w Krakowie jest system monitoringu jakości powietrza w województwie małopolskim prowadzony przez WIOŚ w Krakowie. W niniejszym artykule przeanalizowano dostępne dane pomiarowe za 2017 r. pochodzące z 8 stacji automatycznych rozlokowanych na terenie miasta, tj. al. Krasińskiego, Nowa Huta, os. Kurdwanów, os. Piastów, os. Wadów, ul. Dietla, ul. Złoty Róg, ul. Telimeny. W zależności od typu stacji, położenia i jej najbliższego sąsiedztwa pomiary stężeń znacząco się od siebie różniły. Jako analizę uzupełniającą potraktowano dane dotyczące rozkładu wartości stężeń zanieczyszczeń powietrza pochodzące z sieci 56 czujników jakości powietrza Airly udostępnione na potrzeby artykułu. Ta sieć sensorów jakości powietrza służy do wykonywania

pomiarów zarówno stężeń zanieczyszczeń pyłowych i gazowych, jak również temperatury powietrza, wilgotności i ciśnienia atmosferycznego. Jest to stosunkowo nowa sieć pomiarów, bowiem powstała w 2016 r., lecz swym zasięgiem obejmuje obszar prawie całego miasta.

Pierwszym etapem prac było przetworzenie danych związanych z zanieczyszczeniem powietrza pyłem PM10. Dla każdego punktu pomiarowego wyliczono następujące wskaźniki: średnie roczne stężenie pyłem PM10, minimalne i maksymalne dobowe stężenie oraz liczbę dni z przekroczeniami stężeń powyżej  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  z dodatkowym wyróżnieniem miesięcy zimowych (I-II, XII). Dało to podstawę do oceny zróżnicowania przestrzennego zanieczyszczeń w Krakowie. W dalszych badaniach uwzględniono tylko te punkty pomiarowe, w których liczba dni z przekroczonym 24-godzinny poziomem dopuszczalnym była wyższa od 120. Dla wybranych punktów przeprowadzono analizę użytkowania terenu w najbliższym sąsiedztwie pomiarów, wykorzystując dane BDOT10k, a także ludnościowe dane statystyczne pochodzące z rejestru bazy PESEL za 2016 r. Wskazane miejsca przeanalizowano pod względem: położenia w przestrzeni miejskiej Krakowa, morfologii obszaru, użytkowania terenu, w tym udziału poszczególnych typów i funkcji zabudowy (jednorodzinna, wielorodzinna, przemysłowo-usługowa), udziału powierzchni biologicznie czynnej, liczby ludności oraz obsługi transportowej obszaru.

### Zanieczyszczenia pyłowe PM10 w 2017 r.

W 2017 r. średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM10 na punktach pomiarowych WIOŚ w Krakowie wahało się od  $38 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  na stacjach os. Piastów i ul. Złoty Róg, do  $55 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  na stacji al. Krasińskiego. Minimalne średnie dobowe stężenie tego pyłu wyniosło  $6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  i zostało odnotowane na trzech stacjach: os. Piastów, os. Wadów oraz ul. Złoty Róg. Maksymalne średnie dobowe stężenie wyniosło  $338 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  i zarejestrowane zostało na dwóch stacjach pomiarowych: Kurdwanów, ul. Telimeny (Tab. 1). Zgodnie z danymi przedstawionymi na Rycinie 1, najbardziej niekorzystną sytuacją aerosanitarną cechuje się obszar zlokalizowany w pobliżu stacji pomiarowej przy al. Krasińskiego, na której to podczas 132 dni nastąpiło przekroczenie 24-godzinnego dopuszczalnego poziomu stężenia pyłu zawieszonego PM10 w powietrzu wynoszącego w Polsce  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Warto zaznaczyć, że na wszystkich stacjach WIOŚ większość przypadków przekroczeń poziomu dopuszczalnego odnotowano w okresie styczeń-luty oraz grudzień. Związane jest to przede wszystkim z sezonem grzewczym miesięcy zimowych (Tab. 1).

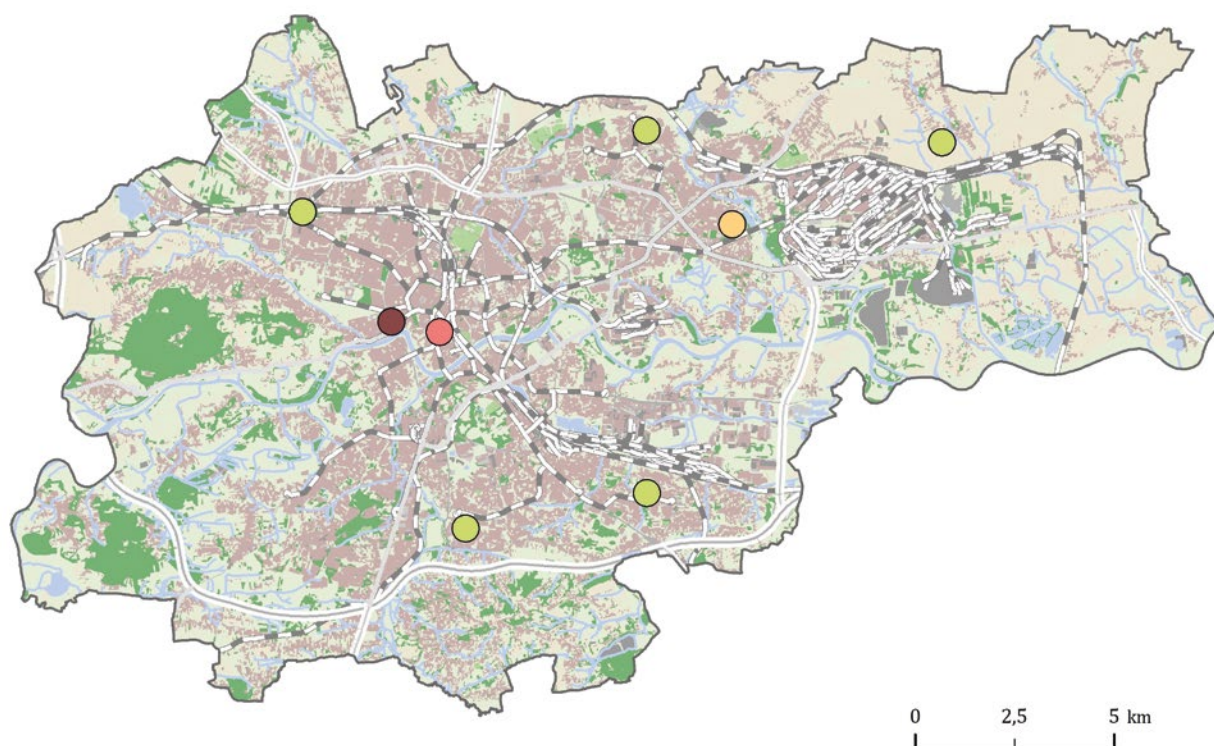
W celu uzupełnienia analizy danych WIOŚ przebadano również rozkład wartości stężeń zanieczysz-

TAB. 1.

Wskaźniki charakteryzujące stan aerosanitarny na stacjach WIOŚ w Krakowie – na podstawie emisji pyłu zawieszonego PM10 w 2017 r.

Stacja	Średnie stężenie roczne ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Maksymalne stężenie dobowe ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Minimalne stężenie dobowe ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Liczba dni z przekroczeniami powyżej $50\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	Liczba dni z przekroczeniami powyżej $50\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (miesiące zimowe I-II, XII)
al. Krasińskiego	55	327	7	132	68
os. Kurdwanów	44	338	9	75	45
Nowa Huta	42	303	7	86	46
os. Piastów	38	319	6	66	43
os. Wadów	40	304	6	71	43
ul. Dietla	48	329	9	103	53
ul. Złoty Róg	38	230	6	75	43
ul. Telimeny	41	338	7	72	45

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych WIOŚ w Krakowie



Liczba dni z przekroczeniami 24-godzinnego poziomu dopuszczalnego pyłu PM10



Ryc. 1.

Liczba dni z przekroczeniami 24-godzinnego poziomu dopuszczalnego stężenia pyłem zawieszonym PM10 na punktach pomiarowych WIOŚ w Krakowie w 2017 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych BDOT10k oraz danych WIOŚ w Krakowie

czeń powietrza pochodzący z sieci 56 czujników jakości powietrza Airly rozlokowanych na terenie miasta. Zgodnie z danymi pomiarowymi średnie roczne stężenie w 2017 r. na punktach pomiarowych wahało się od  $40\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  do  $113\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Najwyższe wartości odnotowano na os. Złota Podkowa (Bronowice), al. Pokoju (okolice Ronda Grzegórzeckiego), ul. Krakusa (Zabłocie).

Minimalne średnie dobowe stężenie wyniosło  $1\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , natomiast maksymalne osiągnęło wartość nawet  $455\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (Tab. 2.). Najbardziej niekorzystną sytuację aerosanitarną wskazywały czujniki zlokalizowane wzdłuż ulic: Szylinga (Borek Fałęcki Wschód), Myśliwskiej (Płaszów), Bema (Os. Oficerskie), Ślusarskiej (Zabłocie) oraz Pachońskiego (Prądnik Biały), gdzie w ponad 120

przypadkach nastąpiło przekroczenie 24-godzinnej normy stężenia pyłu zawieszonego PM10 wynoszącej 50  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (Ryc. 2.). W przypadku analizy danych Airly

również znaczna część liczby dni z przekroczeniami poziomu dopuszczalnego dotyczyła miesięcy zimowych (Tab. 2.).

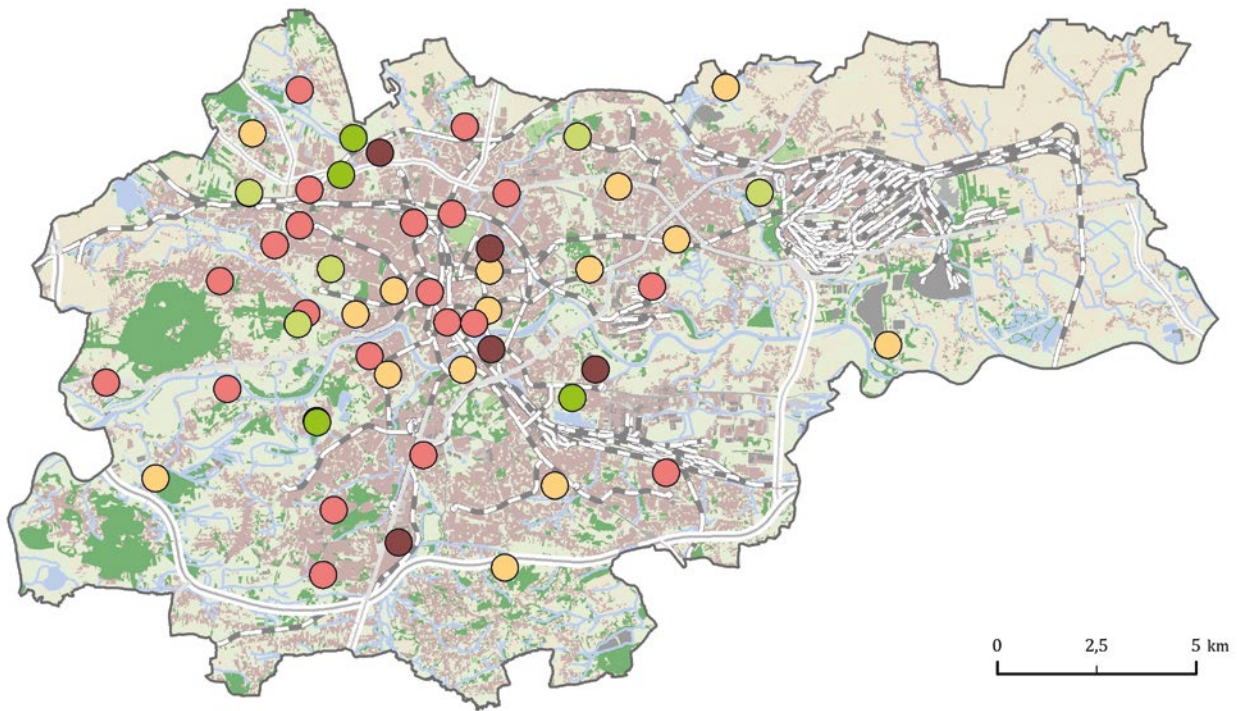
**TAB. 2.**

Wskaźniki charakteryzujące stan aerosanitarny na punktach pomiarowych Airly w Krakowie na podstawie imisji pyłu zawieszonego PM10 w 2017 r.

Sensor	Średnie stężenie roczne ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Maksymalne stężenie dobowe ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Minimalne stężenie dobowe ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Liczba dni z przekroczeniami powyżej 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	Liczba dni z przekroczeniami powyżej 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (miesiące zimowe I-II, XII)
3	113	325	14	40	36
140	42	139	2	83	16
142	102	290	9	68	48
147	59	452	3	122	49
169	42	299	1	87	48
170	47	304	2	103	58
171	49	326	2	117	59
172	50	332	2	114	57
173	46	291	1	102	54
174	50	301	3	98	48
176	53	346	2	125	61
177	54	324	4	121	66
178	57	342	6	38	19
179	45	245	2	106	54
180	46	343	2	96	51
181	49	328	4	111	55
182	51	385	1	114	58
183	44	239	2	99	57
184	49	349	1	103	50
185	51	305	2	112	63
187	77	254	12	66	46
189	45	272	2	99	51
192	51	354	1	114	60
194	46	342	3	98	51
195	41	265	2	82	37
196	44	288	3	95	50
201	51	330	3	115	55
202	57	365	2	134	63
203	48	330	2	79	56
204	48	298	7	107	53
205	51	279	3	58	45
208	52	306	3	118	64
209	48	240	2	105	63
210	48	338	2	104	50
211	110	318	9	45	45
212	41	241	2	80	50
213	59	321	3	61	41
214	52	322	4	124	59
215	40	234	2	75	50
216	67	364	2	89	52
218	48	321	1	104	59
219	43	267	4	84	45
220	51	322	3	116	59

Sensor	Średnie stężenie roczne ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Maksymalne stężenie dobowe ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Minimalne stężenie dobowe ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Liczba dni z przekroczeniami powyżej $50 \mu\text{g m}^{-3}$	Liczba dni z przekroczeniami powyżej $50 \mu\text{g m}^{-3}$ (miesiące zimowe I-II, XII)
221	45	295	2	99	54
222	52	416	2	106	63
223	51	353	2	116	58
225	49	455	1	91	57
226	48	303	1	107	55
227	49	279	4	51	30
228	50	335	3	110	55
263	42	279	2	89	50
622	46	161	8	81	17
713	40	156	4	34	4
808	48	167	10	17	17
857	65	206	2	60	19
895	41	145	2	67	18

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Airly



**Liczba dni z przekroczeniami 24-godzinnego poziomu dopuszczalnego pyłu PM10**



**Ryc. 2.**

Liczba dni z przekroczeniami 24-godzinnego poziomu dopuszczalnego stężenia pyłem zawieszonym PM10 na punktach pomiarowych sieci czujników Airly w 2017 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych BDOT10k oraz danych Airly

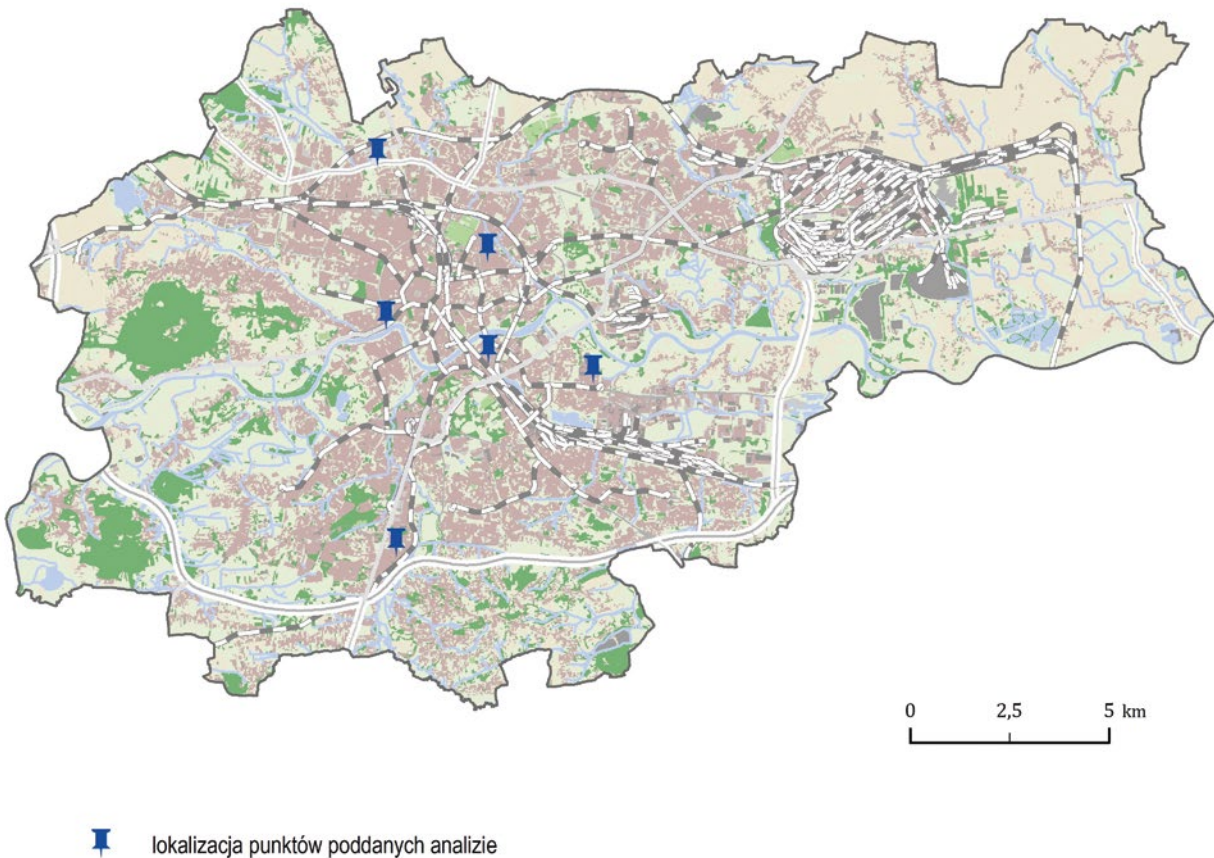
### Zagospodarowanie przestrzeni w wybranych obszarach pomiarowych

Dalszej analizie poddane zostały punkty pomiarowe, w których liczba dni z przekroczeniami 24-godzinnej normy stężeń pyłu PM10 była wyższa niż 120. W roku 2017 na terenie Krakowa zidentyfikowano 6 takich miejsc. W celu wskazania uwarunkowań przestrzennych wpływających na notowane wysokie wartości stężeń pyłu PM10 we wskazanych obszarach, przeprowadzono analizę zagospodarowania przestrzeni w najbliższym sąsiedztwie punktu pomiarowego.

Pierwszy z punktów pomiarowych Airly położony jest w pobliżu północnej granicy Krakowa, w dzielnicy Prądnik Biały, na skrzyżowaniu ul. H. Pachońskiego oraz ul. S. Grochowiaka. Punkt drugi zlokalizowany jest w centrum miasta w niedalekim sąsiedztwie Ronda Mogińskiego, w pobliżu drogi klasy dojazdowej, dzielnica Grzegórzki. Kolejny obszar pomiarów, usytuowany

w kwartale zabudowy pomiędzy ul. B. Limanowskiego oraz ul. Krakusa, zaliczany jest do dzielnicy miejskiej Podgórze. Również i czwarty punkt pomiarowy położony jest w tej samej dzielnicy, jednakże w sąsiedztwie ul. Lipskiej. Ostatni z punktów pomiarowych Airly, zlokalizowany w dzielnicy Swoszowice, położony jest w sąsiedztwie drogi klasy zbiorczej – ul. Zakopiańska. Stacja pomiarowa WIOŚ, al. Krasińskiego, uwzględniona w analizach szczegółowych, usytuowana jest w ścisłym centrum miasta w pasie zieleni między liniami ruchu komunikacyjnego (Ryc. 3).

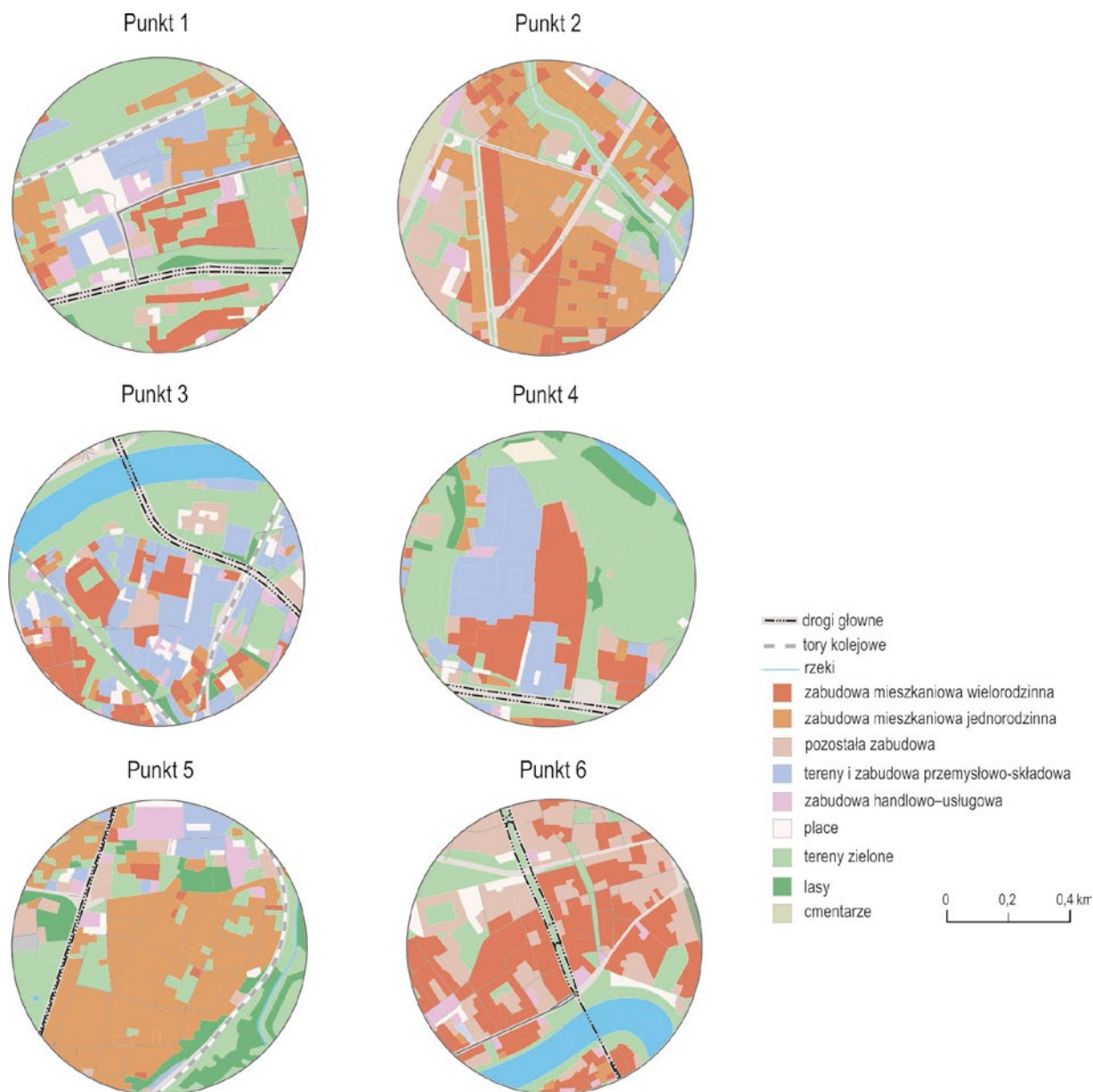
Wskazane miejsca przeanalizowano pod względem: położenia w przestrzeni miejskiej Krakowa, morfologii obszaru, użytkowania terenu (w tym udziału poszczególnych typów zabudowy), udziału powierzchni biologicznie czynnej, liczby ludności oraz obsługi transportowej obszaru (klasyfikacja dróg, linie tramwajowe, linie kolejowe) (Ryc. 4).



**Ryc. 3.**

Lokalizacja punktów pomiarowych poddanych analizie przestrzennej

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych WIOŚ Kraków, danych Airly



**Ryc. 4.** Użytkowanie i funkcje terenów w badanych obszarach  
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych BDOT10k

Każdy z analizowanych punktów charakteryzował się odrębną specyfiką użytkowania terenu (Ryc. 4.), dlatego też na tej podstawie nie można jednoznacznie wskazać konkretnej determinanty wpływającej na odnotowane wysokie wartości stężeń zanieczyszczeń pyłem PM10. Wszystkie z analizowanych obszarów posiadały zbliżone uwarunkowania morfologiczne – tereny płaskie z niewielkimi deniwelacjami (Tab. 3.). W kontekście badania jakości powietrza najbardziej istotne staje się położenie niektórych z obszarów analizy w bliskim sąsiedztwie koryt rzecznych (Wisły, Sudółu), co generować mogło częste występowanie inwersji temperatury, a w konsekwencji znacznej liczby dni z przekroczeniami norm jakości powietrza (Błażejczyk 2013). Wszystkie z obszarów analizy cechowały się dość intensywnym zagospodarowaniem przestrzeni, a tym samym wyso-

kim wskaźnikiem szorstkości podłoża (Bajorek-Zydroń, Wężyk 2016). Wpływać to mogło na obniżanie prędkości rejestrowanego wiatru, tym samym niedostateczne przewietrzanie, a w konsekwencji kumulację zanieczyszczeń. W obszarach intensywnej zabudowy prędkość wiatru może być niższa nawet o 30% w stosunku do terenów pozamiejskich (Klemm 2011). W takich obszarach również stosunkowo często obserwuje się zjawisko ciszy atmosferycznej, niesprzyjające dyspersji zanieczyszczeń powietrza. Zgodnie z Tabelą 3 wysoki udział powierzchni zabudowy można powiązać z liczbą ludności zamieszkującą dany obszar. Najczęściej wysoki odsetek zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej był proporcjonalny do liczby ludności. W takich przypadkach czynnikiem generującym wysokie wartości stężeń mogło być nadmierne użytkowanie terenów przez mieszkańców



**TAB. 3.**  
Analiza użytkowania terenu wybranych obszarów pomiarowych

Punkt pomiarowy	Położenie w przestrzeni miejskiej Krakowa	Morfologia terenu	Udział zabudowy wielorodzinnej [%]	Udział zabudowy jednorodzinnej [%]	Udział pozostałych obszarów zurbanizowanych [%]	Udział powierzchni biologicznie czynnej [%]	Liczba ludności	Obsługa transportowa obszaru
Sensor 1	Dzielnica Prądnik Biały	teren płaski, niewielkie deniwelacje, powierzchnia nachylona w kierunku koryta rzeki Sudół	23,7	11,9	20,3	44,2	6650	KDGP, KDL, KDD linia kolejowa
Sensor 2	Dzielnica Grzegórzki	teren płaski, niewielkie deniwelacje	22,9	34,9	24,1	16,0	5857	KDZ, KDL, KDD linia tramwajowa
Sensor 3	Dzielnica Podgórze	teren płaski, niewielkie deniwelacje, powierzchnia nachylona w kierunku koryta Wisły	35,8	3,4	19,6	41,2	2144	KDGP, KDL, KDD linia tramwajowa, linia kolejowa
Sensor 4	Dzielnica Podgórze	teren płaski, niewielkie deniwelacje, powierzchnia nachylona w kierunku koryta Wisły	30,4	2,3	50,7	16,5	4397	KDGP, KDD, linia tramwajowa
Sensor 5	Dzielnica Swoszowice	teren płaski, niewielkie deniwelacje	9,1	45,1	31,9	13,9	1809	KDGP, KDL, KDD
Stacja WIOŚ	Dzielnica I Stare Miasto	teren płaski, niewielkie deniwelacje	36,7	0,3	35,3	27,3	7226	KDGP

Objaśnienia:

KDGP – drogi główne ruchu przyspieszonego,

KDZ – drogi klasy zbiorczej,

KDL – drogi klasy lokalnej,

KDD – drogi klasy dojazdowej

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych BDOT10k, danych statystycznych pochodzących z rejestru danych PESEL (2016) oraz obowiązujących mpzp

w wyniku m.in. intensywnej obsługi transportowej obszaru. Spalanie paliw w pojazdach oraz unoszenie pyłów z dróg wpływać mogło na odnotowane niekorzystne warunki arosanitarne (Podawca, Rutkowska 2013). W prawie wszystkich przypadkach tereny zdominowane przez zabudowę mieszkaniową wielorodzinną położone były w sąsiedztwie dróg głównych ruchu przyspieszonego klasy zbiorczej czy lokalnej, co również generować mogło kumulację zanieczyszczeń z uwagi na wzmożony ruch samochodowy. W przypadku terenów z dominującym typem zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej główne źródła stężeń pyłu PM10 mogły pochodzić z zanieczyszczeń komunalno-bytowych. Niekontrolowane spalanie w niedostosowanych kotłach przydomowych często słabej jakości paliw znacząco wpływa na lokalną jakość powietrza. Potwierdzeniem tej tezy jest fakt, iż znaczną liczbę dni z przekroczeniem dopuszczalnego poziomu w wybranych punktach pomiarowych odnotowano w okresie styczeń–luty oraz grudzień, czyli w mie-

siącach zimowych. Rozkład przestrzenny zarejestrowanej liczby źródeł palenisk dla wybranych obszarów analizy prezentują dane pochodzące z obserwatorium portalu Miejskiego Systemu Informacji Przestrzennej Urzędu Miasta Krakowa. Z bazy tej wynika, że wraz ze wzrostem udziału zabudowy jednorodzinnej zwiększa się również liczba źródeł ogrzewania na paliwa stałe. Warto zaznaczyć, że dopiero od połowy 2017 r. w Krakowie obowiązuje tzw. uchwała antysmogowa podejmowana na podstawie Ustawy z dnia 27 kwietnia 2010 r. Prawo ochrony środowiska przez sejmik województwa. Jednakże efektów wdrożonych restrykcji dotyczących chociażby wymiany pieców indywidualnych na bardziej proekologiczne czy poprawy jakości stosowanych paliw stałych do ogrzania obiektów spodziewać będzie się można dopiero w latach późniejszych. Oprócz zabudowy wielorodzinnnej i jednorodzinnej tereny nadmiernie użytkowane cechowały się również znacznym odsetkiem pozostałych obszarów zurbanizowanych. Obiekty pełniące funkcje przemysło-

we czy handlowo-usługowe stanowić mogły źródła emisji punktowej w badanych obszarach. W analizach uwarunkowań przestrzennych ważnym wskaźnikiem jest również udział powierzchni biologicznie czynnej. Zgodnie z badaniami M. Czerwieńca i J. Lewińskiej (2000) roślinność odgrywa znaczącą rolę filtrującą w stosunku do zanieczyszczeń powietrza, obniżając zawartości substancji gazowych i pyłowych w powietrzu. Przykładowo pokrycie w 65% powierzchni niską zielenią miejską wpływa na osadzenie się w warstwie przyziemnej nawet 95% pyłu zawieszonego. Większość terenów objętych analizą cechuje się niskim odsetkiem powierzchni biologicznie czynnej. Ciekawymi przypadkami są dwa obszary, w których udział zieleni i wód powierzchniowych przekracza 40% analizowanych terenów. Zgodnie z oczekiwaniami, takie obszary nie powinny cechować się wysokimi stężeniami zanieczyszczeń. Najprawdopodobniej w lokalizacjach tych inne czynniki (w tym: sąsiedztwo dróg lokalnych i zbiorczych, intensywna i gęsta zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna i wielorodzinna) w istotny sposób miały wpływ na jakość powietrza w analizowanym punkcie. Na tej podstawie można wnioskować, że niezależnie od udziału powierzchni biologicznie czynnej stężenie zanieczyszczeń może być wysokie.

### Zapisy obowiązujących aktów prawa miejscowego

Szczególną formą ochrony i kształtowania przestrzeni w obrębie miasta są miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego. Racjonalna polityka gospodarowania przestrzenią powinna uwzględniać aspekty ochrony jakości powietrza. Dla analizowanych obszarów działania ochronne prowadzące do poprawy jakości powietrza odnieść można do zapisów obowiązujących na tych terenach aktów prawa miejscowego. Najistotniejsze ustalenia obowiązujących mpzp dla obszarów analizy dotyczą: zakazu lokalizacji przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko, zakazu lokalizacji obiektów handlowych o powierzchni sprzedaży 2000 m<sup>2</sup>, zakazu wykonywania instalacji na paliwa stałe w obiektach budowlanych, uspokojenia ruchu poprzez budowę nowych wewnętrznych ciągów komunikacyjnych, nakazu realizacji alei drzew oraz szpalerów drzew wzdłuż głównych ciągów komunikacyjnych pełniących funkcję izolacyjną czy wyznaczania stref zieleni osiedlowej w obszarach zabudowy wielorodzinnej, a także ochrony istniejących struktur zieleni.

Zapisy te wydają się słuszne w kontekście poprawy jakości powietrza. Jednakże zestawiając to z wynikami zaprezentowanej liczby dni z przekroczeniami stężeń dla analizowanych obszarów można wysunąć wnioski, iż nie w każdym przypadku ogólne ustalenia są w stanie ograniczyć nadmierne zanieczyszczenia. Najczęściej

plany miejscowe mają jedynie charakter porządkujący dany obszar bez możliwości zmiany istniejących struktur urbanistycznych. Dlatego też, w sytuacji braku ingerencji w istniejącą strukturę, warto zastanowić się nad próbą wkomponowania nowoczesnych rozwiązań przestrzennych minimalizujących wysokie stężenia, tj. zielono-błękitna infrastruktura (wertikalne ogrody, zielone ściany, parki kieszonkowe, systemy retencyjne itp.), nowe nasadzenia zieleni pełniące funkcję filtrującą (wskazanie konkretnych gatunków roślinności w zapisach planu) czy zaprojektowanie dogodnych rozwiązań pieszo-rowerowych oraz transportu zbiorowego zachęcających mieszkańców do korzystania ze wskazanej w planie infrastruktury (ograniczenia nadmiernego, indywidualnego ruchu kołowego). W przypadku terenów niezainwestowanych, przeznaczonych dopiero do zabudowy, istotne jest racjonalne gospodarowanie przestrzenią. Wyznaczając przebieg nowych dróg, wskazując miejsca lokalizacji nowych budynków, plan powinien uwzględniać m.in. przeważające kierunki wiatru, a tym samym chronić obszary wymiany i regeneracji powietrza w skali lokalnej (Błażejczyk 2013). Dodatkowo dla nowo wydzielonych działek można wskazać wysoki udział powierzchni biologicznie czynnej.

Wskazane kierunki działań w planach zagospodarowania przestrzennego powinny stanowić przyczynek do pogłębienia analiz i próby wysunięcia bardziej szczegółowych propozycji regulujących zapisy w kontekście poprawy jakości powietrza. Realizacja ustaleń z zakresu gospodarowania przestrzenią powinna stanowić proces złożony, wymagający zaangażowania wielu podmiotów i instytucji na każdym poziomie kształtowania tkanki urbanistycznej. Przedstawiciele samorządów lokalnych, urbaniści, architekci, działacze społeczni czy mieszkańcy danego obszaru powinny wspólnie wypracować lokalny system poprawy jakości powietrza w swoim obszarze.

### Podsumowanie

Wysokie stężenia pyłu zawieszonego PM10 na obszarze Krakowa uzależnione są zarówno od czynników pierwotnych, tj. położenie topograficzne czy warunki meteorologiczne (Szponar 2003), oraz czynników wtórnych, tj. układ urbanistyczny tkanki miejskiej. W kontekście poprawy lokalnego stanu jakości powietrza istotne staje się zrównoważone kształtowanie przestrzeni urbanistycznej miasta. Najważniejsze jest wypracowanie lokalnych rozwiązań przestrzennych wpływających na obniżanie stężeń zanieczyszczeń powietrza. Każdy z analizowanych obszarów cechował się podobnymi determinantami generującymi wysokie stężenia. Z jednej strony intensywna zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna oraz znaczne natężenie ruchu kołowego wzdłuż głównych dróg wpływały na wysokie

wartości zanieczyszczeń pochodzenia komunikacyjnego, z drugiej znaczny udział zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej generował zanieczyszczenia pochodzenia komunalnego. Warto zaznaczyć, iż nie w każdym z analizowanych przypadków zieleni miejska wpływała na redukcję zanieczyszczeń. Obszary badań znajdowały się w obrębie obowiązujących lub sporządzanych miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, jednakże zapisy tych planów dotyczące m.in. ochrony istniejących struktur urbanistycznych, zieleni miejskiej czy ograniczenia ruchu kołowego często są zbyt ogólne, aby móc ograniczyć nadmierne zanieczyszczenia. Planowanie przestrzenne na poziomie lokalnym po-

winno być komplementarne w wielu dziedzinach, tj. monitoringowych, edukacyjnych, technicznych czy organizacyjnych. Równie istotne jest integrowanie działań przestrzennych i środowiskowych szczebla lokalnego z założeniami na poziomie krajowym i regionalnym, a w przypadku Krakowa przede wszystkim semiregionalnym. W tym celu samorządy lokalne powinny w zakresie gospodarowania przestrzenią uwzględnić szereg uwarunkowań klimatycznych i przestrzennych swojego miasta, jak i gmin je otaczających. Tylko ponadlokalna zintegrowana wizja walki o czyste powietrze w mieście zapewni komfort życia mieszkańcom i wpłynie na minimalizowanie niekorzystnych cech klimatu miasta.

#### LITERATURA

- Bajorek-Zydroń K., Wężyk P. (red.), 2016, *Atlas pokrycia terenu i przewietrzania Krakowa*, Urząd Miasta Krakowa, Kraków.
- Błażejczyk K., 2013, *Systemy wymiany i regeneracji powietrza jako czynniki poprawy warunków aerasanitarnych i bioklimatycznych w mieście*, [w:] M. Baścik, B. Degórska (red.), *Środowisko przyrodnicze Krakowa. Zasoby-Ochrona-Kształtowanie*, Instytut Gospodarki i Geografii UJ, Urząd Miasta Kraków, KGPiNoSP, Kraków.
- Bokwa A., 2012, *Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym PM10 a sytuacje synoptyczne i warunki termiczne w Krakowie*, [w:] Z. Bielec-Bąkowska, E. Łupikaszka, A. Widacki (red.), *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*, Katedra Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, 275–286.
- Bokwa A., 2016, *Klimat miasta a zanieczyszczenia powietrza*, *Aura*, 9, 8–13.
- Bokwa A., 2017, *Smog jako element mezoklimatu Krakowa*, [w:] M. Drewnik, M. Mika (red.), *Człowiek i jego działania. Spojrzenie geografę. Prace dedykowane Profesorowi Włodzimierzowi Kurkowi IGiGP UJ*, Kraków, 61–68.
- Bornstein R.D., Oke T.R., 1979, *Influence of pollution and urbanization on urban climates*, *Advances in Environmental Science and Engineering*, 2.
- Czarnecka J., Nidzgorska-Lencewicz J., Rawicki K., 2017, *Warunki termiczne a zanieczyszczenie powietrza w wybranych miastach Polski w sezonie zimowym 2016/2017*, *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 26(4), 437–446.
- Czerwieniec M., Lewińska J., 2000, *Zieleń w mieście*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej Oddział w Krakowie, Kraków.
- Dziubanek G., Marchwińska-Wyrwał E., Piekut A., Rusin M., Hajok I., 2014, *Zanieczyszczenie powietrza jako istotny modyfikowalny czynnik ryzyka zdrowotnego*, *Hygeia Public Health*, 49(1), 75–80.
- Gliniak M., Zuśka Z., Miczyński J., 2015, *Ocena poziomu pyłowego zanieczyszczenia powietrza w aglomeracji krakowskiej na przykładzie al. A. Mickiewicza*, *Logistyka* 4(1), 8876–8881.
- Gładka A., Zatoński T., 2016, *Wpływ zanieczyszczenia powietrza na choroby układu oddechowego*, *Kosmos*, 313, 573–582.
- Godłowska J., Tomaszewska A.M., 2010, *Relations between circulation and winter air pollution in Polish urban areas*, *Archives of Environmental Protection*, 36(4), 55–66.
- Gorzelnik T., Oleniacz R., 2018, *Analiza zróżnicowania stężeń pyłu zawieszzonego PM10 w świetle wyników pomiarów rozbudowanego systemu monitoringu jakości powietrza w Krakowie*, [w:] J. Kuroпка, K. Gaj, I. Sówka (red.), *Aktualne problemy w inżynierii i ochronie atmosfery*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Hess M., Olecki Z., 1990, *Wpływ zanieczyszczenia powietrza na stosunki radiacyjne w Krakowie*, *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 77, 29–43.
- Jędrychowski W., Majewska R., Mróz E., Flak E., Kiełtyka A., 2012, *Oddziaływania zanieczyszczeń powietrza drobnym pyłem zawieszonym wielkopięściowymi węglowodorami aromatycznymi w okresie prenatalnym na zdrowie dziecka. Badania w Krakowie*, UJ CM oraz Fundacja Zdrowie i Środowisko, Kraków. Dostępne na: [https://powietrze.malopolska.pl/wpcontent/uploads/2018/03/Zanieczyszczenia\\_powietrza\\_w\\_Krakowie\\_a\\_zdrowie\\_dzieci.pdf](https://powietrze.malopolska.pl/wpcontent/uploads/2018/03/Zanieczyszczenia_powietrza_w_Krakowie_a_zdrowie_dzieci.pdf) [data dostępu: 01.12.2018].
- Klemm K., 2011, *Wpływ zmian w układzie zabudowy na przepływ powietrza*, *Fizyka budowli w teorii i praktyce*, 6(2), 54–58.
- Landsberg H.E., 1981, *The urban climate*, Academic Press, Nowy Jork.
- Lewińska J., Bartosik J., Baścik J., Czerwieniec M., Zgud K., 1982, *Wpływ miasta na klimat lokalny (na przykładzie aglomeracji krakowskiej)*, Instytut Kształtowania Środowiska, Warszawa.
- Lewińska J., Zgud K., Baścik J., Wiatrak W., 1990, *Klimat obszarów zurbanizowanych*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Warszawa.
- Lewińska J., 2000, *Klimat miasta. Zasoby. Zagrożenia. Kształtowanie*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej Oddział w Krakowie, Kraków.
- Macias A., Bródka S., 2014, *Przyrodnicze podstawy gospodarowania przestrzenią*, PWN, Warszawa.
- Malec A., Borowski G., 2016, *Niebezpieczeństwo zanieczyszczenia i monitorowania powietrza atmosferycznego*, *Inżynieria Ekologiczna*, 50, 161–170.
- Niedźwiedz T., Olecki Z., 1994, *Wpływ sytuacji synoptycznych na zanieczyszczenie powietrza w Krakowie*, *Prace Geograficzne UJ*, 96, 55–68.
- Oke T.R., 1978, *Boundary layer climates*, Nowy Jork, Londyn.
- Oke T.R., 1984, *Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning*, *Energy a Buildings*, 7(1).
- Podawca K., Rutkowska G., 2013, *Analiza przestrzennego rozkładu typów zanieczyszczeń powietrza w układzie dzielnic m.st. Warszawy*, *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, 2090–2107.
- Szponar A., 2003, *Fizjografia urbanistyczna*, PWN, Warszawa.
- Wolak A., Salerno-Kochan R., Turek P., 2016, *Jakość powietrza w Krakowie w latach 2010–2015 w aspekcie dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń*, VIII Międzynarodowa Naukowa Konferencja z cyklu „Rola Towaroznawstwa w zarządzaniu jakością w warunkach gospodarki opartej na wiedzy” – Interdyscyplinarność oraz Innowacyjność Towaroznawstwa, 21–22 czerwca 2016, Radom.

**AKTY PRAWNE I ORZECZNICTWA**

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomu niektórych substancji w powietrzu, DzU 2012 poz. 1031.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu, DzU 2012 poz. 1032.

Uchwała nr CXIII/1156/06 Rady Miasta Krakowa z dnia 28 czerwca 2006 r. w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego obszaru ZABŁOCIE, Dziennik Urzędowy Województwa Małopolskiego poz. 3534.

Uchwała nr LXII/888/12 Rady Miasta Krakowa z dnia 5 grudnia 2012 r. w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego obszaru OSIEDLE OFICERSKIE, Dziennik Urzędowy Województwa Małopolskiego poz. 7281.

Uchwała nr XVI/312/19 Rady Miasta Krakowa z dnia 22 maja 2019 r. w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego obszaru REJON ULIC PACHOŃSKIEGO, WYKI, ŁOKIETKA, Dziennik Urzędowy Województwa Małopolskiego poz. 4269.

Uchwała nr XXXII/812/19 Rady Miasta Krakowa z dnia 18 grudnia 2019 r. w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania

przestrzennego obszaru BAGRY, Dziennik Urzędowy Województwa Małopolskiego poz. 9942.

Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, DzU 2001 nr 62 poz. 627.

**ŹRÓDŁA INTERNETOWE I BAZY DANYCH**

AIRLY – sieć sensorów powietrza w Krakowie, <https://airly.eu/pl/> [korzystano wielokrotnie].

GUGiK – baza danych obiektów topograficznych BDOT10k, <http://www.gugik.gov.pl/> [korzystano wielokrotnie].

Ministerstwo Cyfryzacji – dane statystyczne pochodzące z rejestru bazy PESEL (2016), <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja>, [korzystano wielokrotnie].

Urząd Miasta Krakowa – Miejski system informacji przestrzennej, <http://obserwatorium.um.krakow.pl/obserwatorium/>, [korzystano wielokrotnie].

Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Krakowie – System monitoringu jakości powietrza, <http://monitoring.krakow.pios.gov.pl/>, [korzystano wielokrotnie].

## Spatial diversity of air pollution of the particulate matter PM10 in Kraków in 2017 in the context of spatial development

#air pollution, #PM10, #local spatial development plan, #Kraków

**Abstract**

The subject of air pollution has been widely discussed in the scientific literature for many years. In cities, in the situation of long-term persistence of exceedances of air quality standards, the issue of sustainable development of urban surface becomes important. The purpose of the article is to assess the impact of spatial conditions in Kraków on the recorded high values of PM10 air pollution concentrations in 2017. The analysis was carried out using the measurement data of the Regional Inspectorate for Environmental Protection in Kraków and an independent sensor network Airly. Based on processed materials, the state of air quality in the city was characterized. The analysis of the number of days with exceedances of the 24-hour PM10 allowable level allowed to indicate areas in the city most exposed to high concentrations of hazardous substances. Based on the results, it was indicated that point, line and surface sources on the local scale have an impact on the air sanitary status of Kraków. One of the tools for the fight for clean air in the city, i.e. records of local spatial development plans in selected areas, was also analyzed. By comparing the findings of local legal acts with the results of the presented number of days with exceedances of permissible daily concentrations for the analyzed areas, it was found that general provisions are not always able to reduce excessive pollution.