

## **Analiza czynników wpływających na jakość powietrza w wybranych regionach Polski**

### **Analysis of factors influencing air quality in chosen regions of Poland**

Maria Parlińska, Piotr Pomichowski

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Nauk Ekonomicznych

**Streszczenie.** W pracy dokonano analizy czynników wpływających na jakość powietrza na podstawie danych o stężeniu pyłów PM10 i warunkach pogodowych. Wykonano także krótki przegląd literatury, w którym poruszono kwestie stanu jakości powietrza w wybranych regionach Polski oraz jego przyczyny. Analiza dotyczyła następujących miast Polski dla lat: 2010–2015: Warszawa, Kraków i Gdańsk, w sąsiedztwie których leżące obszary wiejskie odczuwają także problem zanieczyszczenia powietrza. Sformułowano trzy hipotezy: sezon grzewczy ma wpływ na zanieczyszczenie powietrza, określone warunki pogodowe sprzyjają pogorszeniu się jakości powietrza i jakość powietrza uległa pogorszeniu od 2010 r. Do tego celu stworzono model liniowy i oszacowano go za pomocą metody największej wiarygodności. Wyniki potwierdziły słuszność pierwszych dwóch hipotez. Trzecia została zaprzeczona, co oznacza, że stan powietrza w kolejnych latach był lepszy w porównaniu z rokiem 2010.

**Słowa kluczowe:** zanieczyszczenie powietrza • pyły PM10 • metoda największej wiarygodności

**Abstract.** In the article has been done analysis of factors influencing for quality of air on based particulates PM10 concentration data and weather conditional. Done also, short review bibliography, which show different issues quality air conditional in selected regions of Poland and its causes. Analysis covered selected Polish cities for years 2010–2015: Warsaw, Cracow and Gdansk, in the neighborhood rural areas are caused also by the problem of air pollution. Formulated three hypothesis: the heating season has an impact on air pollution, a specific weather conditions are conductive deterioration of air quality and air quality have deteriorated since 2010. For this purpose a linear model was

---

Adres do korespondencji – Corresponding authors: Dr hab. Maria Parlińska, Katedra Ekonomiki Rolnictwa i Międzynarodowych Stosunków Gospodarczych, Wydział Nauk Ekonomicznych, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 166, blok 5, pok. 25, 02-787 Warszawa; e-mail: [maria\\_parlińska@sggw.pl](mailto:maria_parlińska@sggw.pl); mgr Piotr Pomichowski, Katedra Ekonomiki Rolnictwa i Międzynarodowych Stosunków Gospodarczych, Wydział Nauk Ekonomicznych, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 166, blok 5, pok. 25, 02-787 Warszawa; e-mail: [piotr\\_pomichowski@sggw.pl](mailto:piotr_pomichowski@sggw.pl)

developed and estimated using MLE method. The results confirm the validity of the first two hypotheses. The third has been denied, which means that the air condition in the following years was better compared to 2010.

**Keywords:** air pollution • particulates PM10 • method maximum likelihood

## Wprowadzenie

Powietrze jest jednym z żywiołów, który nieustannie towarzyszy naszej egzystencji. W przyrodzie to dzięki niemu zachodzi wiele procesów biologicznych, chemicznych oraz zjawisk fizycznych. Jest ono niezbędne do życia dla wielu organizmów żywych, w tym również dla człowieka. Jakość powietrza ma bardzo duży wpływ na wiele sfer naszego życia, począwszy od stanu zdrowia, samopoczucia, po jakość spożywanych pokarmów. Odgrywa również ważną rolę w obserwowanych zmianach klimatycznych, które towarzyszą naszej planecie.

Poprawa jakości powietrza jest jednym z głównych aspektów ochrony środowiska. Wiele organizacji, w tym UE, prowadzi kampanie na rzecz zmniejszenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery<sup>1</sup>. Ustanowiono wiele regulacji na rzecz poprawy stanu powietrza oraz przy wsparciu funduszami unijnymi zobowiązano wiele państw do ich przestrzegania. Najbardziej znana jest dyrektywa CAFE<sup>2</sup>, która porusza kwestie związane z jakością powietrza i została przyjęta przez wiele państw. Jednym z nich jest Polska, która na skutek transformacji gospodarczej w latach 90. XX w. oraz wejścia do UE znacznie ograniczyła emisję zanieczyszczeń do atmosfery, zmierzając do realizacji stawianych celów przez UE. Mimo znacznej poprawy jakości powietrza na przestrzeni lat, wciąż w wielu miejscach w Polsce zanieczyszczenie, a w szczególności stężenie pyłu PM10, przekracza dopuszczalne normy. Stało się to bezpośrednią przyczyną złożenia skargi przez Komisję Europejską do Trybunału Sprawiedliwości UE w grudniu 2015 r. Jednym ze zjawisk powszechnym w ostatnich latach w miastach, a także na obszarach wiejskich Polski i współwystępującym z zanieczyszczeniem powietrza jest smog. Uznaje się, że ma on głównie związek z działalnością człowieka oraz określonymi warunkami atmosferycznymi. Na obrzeżach miast oraz na obszarach wiejskich, gdzie zabudowę stanowią domy jednorodzinne ogrzewane węglem i drewnem problem zanieczyszczenia jest również istotny. W trosce o zdrowie ludzkie rozgorzała dyskusja nad jakością powietrza w niektórych regionach Polski oraz nad tym, jakie czynniki mają na to wpływ. Aby odpowiedzieć na te pytania, przeprowadzono analizę oraz poddano weryfikacji kilka hipotez:

- sezon grzewczy ma istotny wpływ na stężenie pyłów PM10 w powietrzu,
- określone warunki atmosferyczne sprzyjają pogarszaniu się jakości powietrza,
- stan jakości powietrza pogorszał się od 2010 r.

<sup>1</sup> Jednym z głównych traktatów dotyczących zmian klimatu związanych z zanieczyszczeniami powietrza był protokół z Kioto. Wynegocjowany został w 1997 r., a w życie wszedł 16 lutego 2005 r.

<sup>2</sup> Dyrektywa CAFE – skrót od angielskich słów Clean Air For Europe.

O panującej na obszarach wiejskich sytuacji zwykle mówi się mniej niż o zanieczyszczeniu powietrza w miastach. Opracowania w mniejszym stopniu poruszają problem jakości powietrza w małych miejscowościach z powodu braku lub małej ilości dostępnych stacji pomiarowych. Z tego względu analiza statystyczna została przeprowadzona na dostępnych danych liczbowych pochodzących z wybranych miast.

## Przegląd literatury

Wiele przeprowadzonych badań wykazało, że jakość powietrza ma ogromny wpływ na zdrowie człowieka, a co za tym idzie także oczekiwaną długość życia. Kwestia ta została między innymi poruszona w pracy Gładysz i współautorów (2010). Autorzy dokonali przeglądu i analizy licznych publikacji, na podstawie których stwierdzili, że zanieczyszczenie powietrza stwarza ogromne zagrożenie dla życia ludzkiego. Przyczynia się do rozwoju wielu chorób, poczynając od infekcji dróg oddechowych, chorób układu krążenia, a kończąc na chorobach nowotworowych. W artykule opracowanym przez prof. Daniela Krewskiego, który analizując związek stanu jakości powietrza a oczekiwaną długością życia na podstawie wielu prac z różnych krajów, wykazał, że wzrost zanieczyszczeń powietrza pyłami o średnicy 10 mikrometrów skraca życie o 0,8–1,37 lat.

W pracy Malec i Borowskiego (2016) zanieczyszczenie powietrza jest związane z występowaniem w ilościach szkodliwych substancji w różnych stanach skupienia, które mogą utrzymywać się w atmosferze przez dłuższy czas. Substancje te określane są mianem pyłów. Norma PN-64/Z-01001 definiuje pył jako „faza stała układu dwufazowego ciała stałe-gaz lub gaz-ciało stałe, jeżeli stopień rozdrobnienia fazy stałej jest tak duży, że w nieruchomym powietrzu o ciśnieniu 1013,25 hPa i temperaturze 20 C ziarna ciała stałego, na które działa tylko siła ciężenia, po bardzo krótkim okresie przyspieszenia, wskutek oporu przepływu ośrodka, będą opadały ze stałą prędkością mniejszą niż 500 cm/s lub będą wykonywały ruchy Browna”. W literaturze wyróżnia się wiele kryteriów podziału, chociażby podział ze względu na rozmiar, sposób oddziaływania oraz źródło pochodzenia. Ze względu na wielkość cząstek szkodliwych zawartych w powietrzu, w pracy Malec i Borowskiego (2016) wyróżniono następujące kategorie:

- TSP (ang. *total suspended particulates*) – całkowity pył zawieszony,
- PM10 (ang. *particular matter*) – drobny pył, których średnica cząstek jest mniejsza lub równa 10  $\mu\text{m}$  i mogą być złożone m.in. z metali ciężkich, siarki, węglowodorów wielopierścieniowych,
- PM2,5 – pył bardzo drobny, którego średnica cząstek jest mniejsza lub równa 2,5  $\mu\text{m}$ . W skład ich mogą wchodzić, tak jak w przypadku PM10, m.in. siarka, metale ciężkie i węglowodory wielopierścieniowe.

W dodatku stwierdzono, że groźny dla zdrowia i życia ludzkiego jest m.in. pył PM10, którego wyższe stężenie w różnych miejscach w Polsce ma wpływ na zmniejszenie się oczekiwanej długości życia. Światowa Organizacja Zdrowie (Dyrektiva Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE) zaleca średnie dobowe i roczne stężenie pyłów na poziomie odpowiednio 50  $\mu\text{g m}^{-3}$  i 40  $\mu\text{g m}^{-3}$  w przypadku PM10 a 25  $\mu\text{g m}^{-3}$  stężenie roczne w przypadku PM2,5. W Polsce wedle obowiązującego Rozporządzenia Ministra

Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r., poz. 1032) za poziom dopuszczalny (dobowy) uważa się  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ , za poziom informowania (dobowy)  $200 \mu\text{g m}^{-3}$ , a poziom alarmowy (dobowy)  $300 \mu\text{g m}^{-3}$ . W pracy Malec i Borowskiego dokonano także analizy, na podstawie których za główną przyczynę podwyższonego stężenia PM10 w 2014 r. odpowiedzialna była emisja sektora komunalnego (proces spalania poza przemysłem), która stanowiła 50% emisji. Transport drogowy stanowił tylko 9%, sektor produkcji energii 10%, a przemysł (procesy spalania) i procesy produkcyjne odpowiednio 8% i 7%. Reasumując, główną przyczyną podwyższonego stężenia PM10 są procesy spalania w przemyśle oraz nisko sprawnych kotłach grzewczych i transport drogowy.

Kontrolę stanu jakości powietrza w Polsce przeprowadziła w roku 2014 Najwyższa Izba Kontroli (NIK). Wyniki i szczegóły tej kontroli zostały opisane w raporcie *Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami*. Podkreślono w nim również istotny wpływ jakości powietrza na zdrowie i życie obywateli oraz uwzględniono to, że skutki oddziaływania jego złego stanu mogą być odłożone w czasie. Dlatego ważne jest wdrażanie długofalowych programów mających na celu redukcję emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Kontrolę przeprowadzono na obszarze pięciu województw (opolskie, małopolskie, pomorskie, mazowieckie i śląskie) o dużym stopniu zanieczyszczenia powietrza w okresie od 1 stycznia 2008 r. do 30 czerwca 2014 r. Kontrola wykazała, że w okresie objętym badaniem normy jakości powietrza były nagminnie przekraczane, szczególnie dotyczyło to stężenie pyłu PM10 oraz benzo(a)pirenu. Wykazano, że w ponad 75% wszystkich obszarów, w których dokonuje się pomiarów stanu zanieczyszczeń powietrza, przekroczono poziom normatywny PM10, a odpowiedzialna za to jest tzw. niska emisja. Podkreślono, że regionami o najgorszej jakości powietrza były województwa śląskie i małopolskie. Zachęcono również do wdrożenia rozwiązań oraz regulacji mających na celu ograniczenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

Z powyższych prac i opracowań za główne źródło zanieczyszczeń uznaje się niską emisję, której przyczyną są procesy spalania w gospodarstwach domowych. Za taki stan rzeczy odpowiada niska jakość paliw, najczęściej odpadów (węgiel brunatny, miął) oraz systemów grzewczych wykorzystywanych do ogrzewania budynków. Dodatkowo sprzyja temu proceder spalania odpadów komunalnych (tworzywa pochodzenia sztucznego) oraz to, że większość budynków posiada niską efektywność energetyczną (brak dociepleń budynków), która zwiększa zużycie paliw. Ten problem dotyczy przed wszystkim otoczenia miast i obszarów wiejskich, których mieszkańcy opalają swoje domostwa z wykorzystaniem tradycyjnych, niejednokrotnie przestarzałych kotłów grzewczych. Według Sobolewskiej (2008), niestety często też mieszkańcy wsi, nie przestrzegając norm jakości wykorzystywanych paliw, palą odpadami, np. płytami paździerzowymi, tworzywami sztucznymi i innymi odpadami, które nie są odbierane przez firmy świadczące usługi ich utylizacji. Produkty tego spalania w postaci pyłów osiadają na powierzchni ziemi, co powoduje skażenie roślinności i żywności<sup>3</sup>. Innym czynnikiem sprzyjającym pogarszaniu się jakości powietrza są warunki atmosferyczne.

---

<sup>3</sup> Dowodem tego są przeprowadzone przez Laboratorium Analiz Śladowych Politechniki Krakowskiej (na zlecenie Polskiego Alarmu Smogowego) badania jaj pochodzących z wolno wybiegowych hodowli kur w południowej Polsce, w których odkryto przekroczone normy dioksyn (<http://www.polskialarmsmogowy.pl/files/artykuly/325.pdf>).

Czynniki atmosferyczne mające wpływ na stężenie pyłu PM10 zostały poruszone m.in. w pracy Drzenieckiej-Osiadacz i Netzel (2010). Wykorzystano do tego dane od czerwca 2008 r. do maja 2009 r. o częstotliwości 1 min, co umożliwiło dokładne przeanalizowanie wpływu poszczególnych czynników meteorologicznych. Parametry meteorologiczne uwzględnione w analizie to: temperatura, prędkość i kierunek wiatru, wilgotność powietrza, opady deszczu i natężenie promieniowania słonecznego. Autorzy uznali, że nie wzrost emisji jest przyczyną pogorszenia się stanu jakości powietrza, ale brak lub „pogorszenie się warunków sprzyjających rozpraszaniu zanieczyszczeń”. Wykorzystując regresję, pokazali istotną zależność między temperaturą i prędkością wiatru a wartością PM10. Udowodnili też, że opad deszczu znacząco sprzyja „oczyszczeniu atmosfery”. W podsumowaniu podkreślają, iż przekroczenie norm PM10 dotyczy okresów, w których dominuje niska temperatura, a przekroczenie ich w porze letniej ma charakter pylenia wtórnego<sup>4</sup>.

## Dane i metodyka badań

Na podstawie powyższego przeglądu literatury do przeprowadzenia analizy i zweryfikowania hipotez wspomnianych na wstępie wybrano trzy miasta Polski: Warszawa, Kraków oraz Gdańsk. Wybór trzech odrębnych, zlokalizowanych odpowiednio w południowej, środkowej i północnej Polsce obszarów badań pozwoli porównać wpływ różnych czynników na jakość powietrza w różnych rejonach Polski. Dodatkowo miasta, takie jak Gdańsk i Kraków są największymi miastami województw, w których według kontroli NIK-u odnotowano najgorszy stan powietrza. Analizą objęto lata od 2010 do końca 2015 r. i postanowiono zbudować model liniowy oraz oszacować jego parametry. Model ten został zapisany w formie jednorodnaniowej (1).

$$\begin{aligned} \log(\text{PM10}) = & \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(\text{Temp}) + \beta_2 \cdot \text{Wiatr} + \beta_3 \cdot \text{Wilgot\_wzgl} + \beta_4 \cdot \log(\text{Cisnienie}) + \\ & \beta_5 \cdot \text{CzyWeekend} + \beta_6 \cdot \text{CzySwieto} + \beta_7 \cdot \text{CzyGrzewczy} + \beta_8 \cdot \text{Czy2011} + \beta_9 \cdot \text{Czy2012} + \\ & + \beta_{10} \cdot \text{Czy2013} + \beta_{11} \cdot \text{Czy2014} + \beta_{12} \cdot \text{Czy2015} \end{aligned} \quad (1)$$

Zmienną endogeniczną (objaśnianą) ustanowiono stężenie pyłu PM10 zawartego w powietrzu, natomiast zmiennymi objaśniającymi były dwie grupy zmiennych: zmienne ciągłe oraz dyskretne (zerojedynkowe). Zmienne ciągłe określają charakterystykę warunków pogodowych występujących w wybranych miejscach pomiaru stężenia PM10, takie jak: temperatura wyrażona w kelwinach, prędkość wiatru (w km/h), wilgotność względna (zawartość w procentach), ciśnienie (w mb-milibarach). Dane te zostały pobrane z dwóch źródeł. Pomiary stężenia pyłów PM10 zostały pozyskane ze strony Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ), a pomiary dotyczące parametrów pogody ze strony „<http://freemeteo.pl>”. Dane były o częstotliwości godzinnej, ale w toku prac zostały zagregowane, uśrednione do danych dobowych.

<sup>4</sup> Unoszenie pyłów zgromadzonych na powierzchni ziemi pod wpływem działania czynników zewnętrznych.

Warto też podkreślić, iż stacje pomiarowe warunków atmosferycznych i jakości powietrza były zlokalizowane w różnych miejscach danego miasta. Dysponując lokalizacją stacji dokonujących pomiar charakterystyk panującej pogody, starano się dobrać o jak najbliższym sąsiedztwie stację pomiarową pyłu PM10 w powietrzu<sup>5</sup>. W przypadku drugiej grupy zmiennych objaśniających zostały one stworzone z myślą ułatwienia weryfikacji hipotez oraz polepszenia dopasowania modelu. Na podstawie przeglądu literatury stwierdzono, iż sezon grzewczy ma duży wpływ na pogorszenie się jakości powietrza. Więc, aby to uchwycić w modelu, dodano zmienną zerojedynkową o nazwie „CzyGrzewczy”, która przyjmowała wartość 1 dla okresu obejmującego sezon grzewczy. Za sezon grzewczy przyjęto okres od 1 października danego roku do 30 kwietnia roku następnego<sup>6</sup>. Starano się oszacować również wpływ transportu drogowego na stężenie PM10 w powietrzu, ale brak dostępności odpowiednich danych zainspirowało do stworzenia zmiennej, która mogłaby pośrednio odzwierciedlać ten czynnik. Tak więc stworzono dwie zmienne o nazwie „CzyWeekend” oraz „CzySwieto”, które przyjmowały wartość 1 odpowiednio dla dnia, w którym był dzień tygodnia sobota lub niedziela i jeśli dzień ten był dniem wolnym od pracy. Mając na uwadze zastosowane uproszczenie, w tym podejściu interpretacja tego parametru będzie traktowana ostrożnie i z dystansem. Należy zwrócić uwagę, iż zmienne te mogą odzwierciedlać również wpływ procesów przemysłowych na stan powietrza, ponieważ w dniach wolnych od pracy spada wielkość/intensywność produkcji. Ostatnimi zmiennymi utworzonymi na potrzeby pracy były zmienne zerojedynkowe: „Czy2011”, „Czy2012”, „Czy2013”, „Czy2014” i „Czy2015”, które przyjmowały odpowiednio wartość 1, gdy obserwacja dotyczyła danego roku. Jako że za rok bazowy ustalono rok 2010, to jedną zmienną wykluczono, aby zapobiec współliniowości. Zmienne odzwierciedlające rok obserwacji mają pomóc w odpowiedzi na pytanie dotyczące jakości powietrza w poszczególnych latach. Należy także zauważyć, iż dla zmiennych o dużej dyspersji oraz dużych wartościach do modelu wzięto zmienne zlogarytmowane. Zmiennymi, które zostały poddane tej procedurze, to są: stężenie PM10, temperatura i wartość ciśnienia.

Do oszacowania parametrów modelu wybrano metodę największej wiarygodności (MLE – *Maximum Likelihood Estimator*). Metoda ta jest dużo skuteczniejsza i odporna w porównaniu z popularną metodą najmniejszych kwadratów (KLMNK – Klasyczna Liniowa Metoda Najmniejszych Kwadratów) na obserwacje odstające, które ze względu na specyfikę badania mogą występować w danych. Stosując metodę MLE, nie trzeba się martwić o postać rozkładu reszt modelu, ponieważ przed oszacowaniem zakładamy, że zmienna logarytm PM10 charakteryzuje się rozkładem normalnym, a w momencie szacowania wykorzystujemy funkcję gęstości tego rozkładu. Procedura ta polega na znalezieniu wektora parametrów, który maksymalizuje funkcję gęstości zapisaną równaniem 2 lub jej logarytm.

<sup>5</sup> W większości miast występuje kilka stacji w różnych lokalizacjach dokonujących pomiarów stanu jakości powietrza, w przeciwieństwie do stacji dokonujących pomiarów warunków pogodowych ze strony <http://freemeteo.pl>.

<sup>6</sup> Sezon grzewczy nie jest uregulowany w sposób ścisły w przepisach prawa. W rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 11 sierpnia 2000 r. (Dz. U. Nr 72, poz. 845) za sezon grzewczy uznano miesiąc między wrześniem a majem.

$$L(Y, X, \beta, \omega) = \prod_1^n \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y_t - \beta_0 - \dots - \beta_j X_j}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Wszystkie obliczenia zostały wykonane z wykorzystaniem języka R. Interpretacja parametrów stojących przy zmiennych objaśniających zlogarytmowanych ma charakter procentowy, to znaczy pokazuje, jaka będzie zmiana procentowa zmiennej objaśnianej, jeśli nastąpi wzrost o jeden procent zmiennej objaśniającej przy *ceteris paribus*. Natomiast pozostałe parametry stojące przy zmiennych pomnożone przez 100 pokazują, o ile procent zmieni się, gdy nastąpi wzrost danej zmiennej o 1 w przypadku zmiennych ciągłych, a w dyskretnych, gdy przyjmie ona poziom 1. Powyższe definicje interpretacji funkcjonują w literaturze pod nazwami: elastyczność i semielastyczność (Mycielski, 2010). Wyrazu wolnego nie interpretuje się.

## Wyniki

Oszacowania parametrów modelu cechowały się tym samym znakiem dla trzech lokalizacji z wyjątkiem parametru  $B_5$ , który dla Gdańska miał znak plus. Oznacza to, że w trakcie weekendu w mieście Gdańsk notowano średnio o 34% większe stężenie PM10 w porównaniu z dniem codziennym. W pozostałych miastach w Warszawie i Krakowie w dniach weekendowych odnotowywano mniejsze stężenie pyłów, o odpowiednio 21% i 11%. Może mieć na to wpływ zmniejszenie emisji zanieczyszczeń powodowane przez sektor przemysłowy, a nawet transport. Może to być skutek zmniejszenia się skali oraz intensywności produkcji w tych dniach.

Na podstawie zmiennych zerojedynkowych oznaczających rok można wywnioskować, że zanieczyszczenie powietrza pyłem PM10 w kolejnych latach w porównaniu z poziomem z roku 2010 było zmienne. Dla każdego z trzech miast odnotowano inny rok, dla którego zmniejszenie procentowe stężenia pyłu PM10 w powietrzu było największe. Dla Gdańska najczystsze powietrze odnotowano w roku 2012 i było one o około 69% czystsze w porównaniu z rokiem bazowym. Z kolei dla Krakowa był to rok 2013, a dla Warszawy 2015, w których odnotowano czystsze pod tym względem powietrze odpowiednio o 21,9% i 36,9%. Świadczy to o tym, że nie obserwuje się skutecznej poprawy stanu powietrza w wybranych miastach. W trakcie trwania roku duży wpływ na wysokość stężenia pyłu PM10 ma zmienna „CzyGzewczy”. Według analizy regresji sezon grzewczy zwiększa stopień zanieczyszczeń powietrza o około 26,5%, 23,6% i 54,2% w porównaniu z pozostałym okresem odpowiednio dla Warszawy, Gdańska oraz Krakowa. Wyniki również potwierdziły wpływ warunków atmosferycznych na wielkość stężenia pyłu PM10. Z otrzymanych wyników widać, że największy wpływ stężenia powietrza ma zmienna „Wilgot\_wzgl”, z której wynika, że wzrost wilgotności o 100% (wartość względna 0,00–1,00) wpływa na zmniejszenie zanieczyszczenia pyłem o 48,1%, 131,7% i 24,3% dla trzech rozpatrywanych miast. Pozostałe rozpatrywane zmienne charakteryzujące warunki atmosferyczne mają dużo mniejszy wpływ na zanieczyszczenie powietrza pyłem PM10 – w granicach 1–6%.

**Tabela 1.** Wyniki oszacowania parametrów modelu  
**Table 1.** Results of estimating model parameters

	Warszawa	Gdańsk	Kraków
$B_0$ (constant)	-0,062	-0,053	0,285
$B_1$ log(Temp)	-1,221	-1,557	-5,665
$B_2$ Wind	-0,030	-0,034	-0,051
$B_3$ Wilgot_wzgl	-0,481	-1,318	-0,243
$B_4$ log(Pressure)	1,676	1,983	5,206
$B_5$ IsWeekend	-0,206	0,344	-0,113
$B_6$ IsHolidays	-0,285	-0,235	-0,124
$B_7$ IsHeating	0,265	0,236	0,541
$B_8$ Czy2011	-0,225	-0,856	-0,036
$B_9$ Czy2012	-0,321	-0,692	-0,160
$B_{10}$ Czy2013	-0,269	-0,591	-0,219
$B_{11}$ Czy2014	-0,282	-0,651	-0,168
$B_{12}$ Czy2015	-0,369	-0,266	-0,049
mu (average)	-0,062	-0,053	0,285
Sigma	0,331	0,683	0,366
Average log(PM10)	3,685	2,765	4,030

Źródło: Opracowanie własne  
 Source: Author's study

## Podsumowanie

Powyższe wyniki pozwalają stwierdzić słuszność dwóch z trzech postawionych we wstępie hipotez. Jak wynika z analizy w sezonie grzewczym obserwuje się zwiększenie stopnia zanieczyszczeń pyłami PM10 nawet o ponad 50%. Dlatego słusznie uważa się, iż procesy spalania szczególnie za pomocą niskosprawnych kotłów grzewczych w gospodarstwach domowych przyczyniają się w znacznym stopniu do zanieczyszczenia środowiska. Zatem czynnik ten może znacznie oddziaływać na terenach, gdzie zlokalizowane są domy jednorodzinne, w których do ogrzewania wykorzystuje się piece lub kotły grzewcze. Szczególną uwagę należy zwrócić na obrzeża miast oraz obszary wiejskie, gdzie jak już wspomniano w przeglądzie literatury, wykorzystywane są paliwa miernej jakości, a brak stacji pomiarowych uniemożliwia zidentyfikowanie istniejącego problemu. Należy też zauważyć, że wymieniany w literaturze sektor transportowy oraz przemysł także znacząco się przyczyniają do poziomu jakości powietrza w Polsce. Również dzięki tej analizie hipoteza o wpływie warunków atmosferycznych na poziom



zanieczyszczeń została potwierdzona. Widać, że poszczególne zmienne charakteryzujące stan pogody, a szczególnie wilgotność względna, mają istotny wpływ na jakość powietrza. W kwestii wpływu warunków atmosferycznych warto odwołać się do przeglądu literatury. Poruszono tam kwestię, że parametry meteorologiczne bezpośrednio wpływają na stopień i zdolność rozproszenia zanieczyszczeń, co skutkuje poprawą lub pogorszeniem jakości powietrza. Ostatnia hipoteza została zaprzeczona, ponieważ z analizy jasno wynika, że stan powietrza ulegał na przemian poprawie lub pogorszeniu w stosunku do roku poprzedniego. Jednakże w każdym roku był on lepszy niż w roku bazowym 2010. Najmniejsze procentowe wartości zmniejszenia stężenia pyłów PM10 w powietrzu otrzymano dla miasta Kraków. Taki wynik potwierdza wnioski zawarte w różnych opracowaniach (Raport NIK), które mówią o złym stanie jakości powietrza od wielu lat w województwie małopolskim (średnie stężenie PM10 najwyższe w Krakowie). Dodatkowo brak monotoniczności parametrów mówiących o zmniejszeniu zanieczyszczeń dla każdego kolejnego roku świadczy o braku spójnej oraz skutecznej polityki w celu poprawy jakości powietrza.

## Bibliografia

- Drzeniecka-Osiadacz, A., Netzel, P. (2010). Wpływ warunków meteorologicznych oraz cyrkulacji atmosferycznej na stężenie PM10 we Wrocławiu. *Proceedings of ECOpole*, 4, 2.
- Gładysz, J., Grzesiak, A., Nieradko-Iwanicka, B., Borzęcki, A. (2010). Wpływ zanieczyszczenia powietrza na stan zdrowia i spodziewaną długość życia ludzi. *Probl. Hig. Epidemiol.*, 91(2), 178–180.
- Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Godzinowe pomiary stężenia pyłu PM10.
- Krewski, D. (2009). Evaluating the effects of ambient air pollution on life expectancy. *New Engl. J. Med.*, 360, 413–415.
- Malec, A., Borowski, G. (grudzień 2016). Zagrożenia pyłowe oraz monitoring powietrza atmosferycznego. *Inżynieria Ekologiczna*, 50, 161–170.
- Mycielski, J. (2010). *Ekonometria*. Warszawa: WNE Uniwersytet Warszawski.
- Najwyższa Izba Kontroli (2014). Ochrona Powietrza przed zanieczyszczeniami, LKR-4101-007-00/2014, Nr ewid. 177/2014/P/14/086/LKR.
- Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu. Dz. U. z 2012 r., poz. 1032.
- Sobolewska, A. (2008). *Gospodarka odpadami komunalnymi na terenach wiejskich*. Warszawa: Katedra Ekonomiki Rolnictwa i Międzynarodowych Stosunków Gospodarczych SGGW.
- Portal internetowy o warunkach atmosferycznych, „<http://freemeteo.pl>”, Godzinowe pomiary warunków atmosferycznych.

---

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 23.07.2018

Do cytowania – For citation:

Parlińska, M., Pomichowski, P. (2018). Analiza czynników wpływających na jakość powietrza w wybranych regionach Polski [Analysis of factors influencing air quality in chosen regions of Poland]. *Problemy Drobnych Gospodarstw Rolnych – Problems of Small Agricultural Holdings*, 2, 83–91. doi: <http://dx.doi.org/10.15576/PDGR/2018.2.83>