

Joanna Krupowicz

 <https://orcid.org/0000-0002-6843-5081>

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

Wydział Ekonomii i Finansów

Katedra Prognoz i Analiz Gospodarczych

joanna.krupowicz@ue.wroc.pl

ZANIECZYSZCZENIE POWIETRZA PYŁAMI I UMIERALNOŚĆ W WYBRANYCH MIASTACH POLSKI

Abstrakt: Zanieczyszczenia powietrza pochodzą w znaczącej części ze źródeł antropogenicznych (tzw. niska emisja), a ośrodki miejskie są podstawowym źródłem emisji tych zanieczyszczeń. Zanieczyszczenie powietrza ma potwierdzony w badaniach negatywny wpływ na zdrowie i jest powodem kilkudziesięciu tysięcy zgonów rocznie w Polsce. Celem badania jest ocena współwystępowania zanieczyszczenia powietrza pyłami i umieralności w wybranych miastach w Polsce w latach 2010–2022. Szukano odpowiedzi na pytanie badawcze: jaki charakter ma związek zanieczyszczenia pyłami z umieralnością powodowaną chorobami układu krążenia, oddechowego i nowotworami w miastach w Polsce? Przeprowadzono analizę współczynnika korelacji rho Spearmana z uwzględnieniem opóźnień w czasie między zmiennymi charakteryzującymi zanieczyszczenie pyłami (stężenie pyłów $PM_{2.5}$, PM_{10} i liczba dni przekroczenia normy pyłów PM_{10}) a umieralnością (współczynnik zgonów z powodu chorób układu krążenia, oddechowego i nowotworów). Uzyskane wyniki potwierdzają negatywny związek zanieczyszczenia powietrza i zdrowia mieszkańców obszarów miejskich w Polsce.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie powietrza, umieralność, korelacja rho Spearmana, miasta

DUST AIR POLLUTION AND MORTALITY IN SELECTED CITIES IN POLAND

Abstract: Air pollution comes largely from anthropogenic sources (so-called low emissions), and urban centers are the main source of pollutants. Air pollution has a negative impact on health, confirmed by research, and is the cause of tens of thousands of deaths annually in Poland. The aim of the study is to assess the co-occurrence of dust pollution and mortality in selected cities in Poland in 2010–2022. The answer to the research question: what is the nature of the relationship between dust pollution and mortality caused by circulatory and respiratory diseases and cancer in cities in Poland?, was sought. An analysis of Spearman's rho correlation coefficient was carried out, taking into account time delays between variables characterizing dust pollution (concentration of $PM_{2.5}$, PM_{10} and the number of days when the PM_{10} dust standard was exceeded) and mortality (death rate due to circulatory and respiratory system diseases and cancer). The obtained results confirm the negative relationship between air pollution and the health of residents of urban areas in Poland.

Keywords: air pollution, mortality, Spearman's rho correlation, cities

1. WPROWADZENIE

Zapewnienie wszystkim ludziom w każdym wieku zdrowego życia oraz promowanie dobrostanu stanowi podstawę zrównoważonego rozwoju. Jest to jeden z 17 Celów zrównoważonego rozwoju sformułowanych w 2016 r. przez Organizację Narodów Zjednoczonych (Ośrodek Informacji ONZ w Warszawie – UNIC Warsaw, 2016). Z kolei jednym z zadań zmierzających do realizacji Celu 3: *Dobre zdrowie i jakość życia* jest znaczące obniżenie do 2030 r. liczby zgonów i chorób powodowanych przez niebezpieczne substancje chemiczne oraz zanieczyszczenie i skażenie powietrza, wody i gleby. Z badań opinii wynika, że 47%

Europejczyków, w tym 44% Polaków, ma świadomość stale pogarszającego się stanu powietrza w swoim kraju (Adamkiewicz i Matyasik, 2019). Zanieczyszczone powietrze jest dla mieszkańców Polski istotnym problemem środowiskowym (European Commission, 2022). Głównym źródłem emisji pyłów zawieszonych są procesy spalania poza przemysłem (tzw. niska emisja), czyli pochodzące przede wszystkim ze spalania węgla kamiennego i biomasy w gospodarstwach domowych. W 2022 r. odpowiadały one za 85% emisji pyłu $PM_{2.5}$ i 68% emisji pyłu PM_{10} (Bebkiewicz i in., 2024).

Według koncepcji obszarów zdrowia Marca Lalonde'a środowisko człowieka (obejmujące czynniki ekonomiczne, społeczne, kulturowe i fizyczne) jest jednym z czterech obszarów wpływających na kondycję zdrowotną (Wysocki i Miller, 2003). Kwantyfikacja znaczenia obszarów zdrowia przynosi różne oszacowania. Dla Polski autorzy Narodowego Programu Zdrowia określili, że stan zdrowia człowieka zależy w 50–60% od stylu życia, w ok. 20% od czynników środowiskowych, w ok. 20% od czynników genetycznych i w pozostałej części od służby zdrowia (Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej, 1996). Pozytywnym wymiarem kondycji zdrowotnej społeczeństwa jest np. długość życia, długość życia w zdrowiu, natomiast negatywnym zachorowalność i umieralność. Europejska Agencja Środowiskowa podaje, że w Polsce z powodu zanieczyszczeń powietrza pyłem zawieszonym $PM_{2,5}$ w 2018 r. zmarło 46,3 tys. osób (co stanowiło 12% ogółu zgonów), a w 2020 r. 36,5 tys. osób (8% ogółu zgonów) (European Environment Agency, 2023). Szacuje się, że zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym $PM_{2,5}$ pochodzenia antropogenicznego w 2005 r. przyczyniło się do skrócenia życia mieszkańców Polski o prawie 12 miesięcy, a w perspektywie 2030 r. będzie to ponad 6 miesięcy (Amann, 2013). Szkodliwość pyłu dla zdrowia eksponowanych osób jest ściśle związana z wielkością i składem chemicznym ziaren. Najbardziej niebezpieczny jest pył drobny o średnicy poniżej $2,5 \mu m$. Poprzez pęcherzyki płucne dociera do krwioobrotu, dlatego jest szkodliwy zarówno dla układu oddechowego, jak i dla układu krążenia. Narażenie na wysokie stężenia pyłu może nasilać objawy choroby płuc, różnych chorób o podłożu alergicznym i chorób serca, zwiększać podatność na infekcje dróg oddechowych, nie wyklucza się działania nowotworowego (Harmata i Kamionek, 2021; Simkhovich i in., 2008). Szczególnie narażonymi grupami są: osoby starsze, dzieci (także w okresie prenatalnym), osoby z istniejącymi chorobami układu krążenia i układu oddechowego, z cukrzycą, otyłością, a także osoby o niskim statusie socjoekonomicznym (Jędrak i in., 2021).

Skutkami krótko- i długoterminowej ekspozycji na zanieczyszczenia pyłami są m.in.: wzrost hospitalizacji i wizyt u lekarzy, wzrost śmiertelności dziennej, wzrost śmiertelności z powodu chorób kardiologicznych i pulmonologicznych, wzrost zapadalności i chorobowości na astmę, przewlekłą obturacyjną chorobę płuc, nowotwór płuc, przewlekłe choroby układu sercowo-naczyniowego, zaburzenia rozwoju płodu (World Health Organization, 2006).

W Polsce od początku monitoringu jakości powietrza wysokie poziomy zanieczyszczeń pyłami zawieszonymi utrzymują się zwłaszcza w miastach. Jednocześnie niemal we wszystkich ośrodkach miejskich w Polsce w ostatnich kilkunastu latach rosła umieralność z powodu chorób układu krążenia, oddechowego oraz

nowotworów. Nieliczne miasta doświadczyły względnego ustabilizowania się lub zmniejszenia umieralności z tych przyczyn.

Jakość powietrza charakteryzowana jest poprzez stężenia zanieczyszczeń różnego rodzaju, w tym pyłami zawieszonymi. Jest monitorowana głównie w obszarach miejskich, przyjmując, że powietrze jest najbardziej zanieczyszczone w dużych ośrodkach. W obszarach sąsiadujących lub znajdujących się blisko takich miast powietrze również będzie gorszej jakości niż w odległych rejonach. Ponieważ zanieczyszczenia powietrza pochodzą w znaczącej części ze źródeł antropogenicznych (niska emisja), ośrodki miejskie stanowią podstawowe źródło emisji zanieczyszczeń, tak w skali globalnej, krajowej, regionalnej, jak i lokalnej.

Celem badania jest ocena współwystępowania zanieczyszczenia powietrza pyłami i umieralności w wybranych miastach w Polsce w latach 2010–2022. Postawiono pytanie badawcze: jaki charakter ma związek zanieczyszczenia pyłami z umieralnością powodowaną chorobami układu krążenia, oddechowego i nowotworami w miastach w Polsce.

2. PROBLEMATYKA BADAWCZA W LITERATURZE PRZEDMIOTU

Przegląd literatury i dotychczasowych badań pozwala zauważyć, że eksploracja krótko- i długoterminowego wpływu zanieczyszczenia powietrza na kondycję zdrowotną mieszkańców dotyczyła krajów, regionów, miast, uwzględniała różne pyły i związki chemiczne znajdujące się w powietrzu. Głównym źródłem informacji na temat wpływu ekspozycji na zanieczyszczenia powietrza na umieralność są badania kohortowe realizowane przez specjalistów nauk o zdrowiu.

Według badań prowadzonych w latach 1970–1990 w Stanach Zjednoczonych, Wielkiej Brytanii, Niemczech, Brazylii oraz w Hiszpanii wzrost stężenia pyłu zawieszonego pociągał za sobą opóźnione o 1–2 dni zwiększenie (o nawet 4%) liczby wizyt w szpitalu, a nieco mniejsze zwiększenie (o prawie 1,5%) liczby zgonów. W miastach o wysokiej emisji zanieczyszczeń powietrza ryzyko śmierci było niemal o 1/4 wyższe niż w miastach o małej emisji zanieczyszczeń, a wzrost stężenia pyłu o $10 \mu g/m^3$ powodował co najmniej 3-procentowy wzrost umieralności ogólnej (Kuchcik i Milewski, 2018). Na podstawie danych dla Francji (24 obszary w 7 miastach) zgromadzonych w Air Pollution and Chronic Respiratory Diseases (PAARC) Filleul i in. (2005) dowiedli, że zwiększenie stężenia pyłów o $10 \mu g/m^3$ powodowało 5–14-procentowy wzrost umieralności nieprzypadkowej. Zanieczyszczenie powietrza miejskiego oceniane w latach 1974–1976 wiązało się we Francji ze zwiększoną umieralnością w ciągu 25 lat.

W programie Agency for Public Health Education Accreditation (APHEA) w latach 1992–1995 badano krótkoterminowy wpływ pyłu zawieszonego, dwutlenku siarki oraz dwutlenku azotu na zgony. W latach 1990–1996 ujęto miasta: Kraków, Łódź, Wrocław i Poznań. Analiza wykazała istotny statystycznie krótkookresowy wpływ powyższych zanieczyszczeń powietrza na umieralność, zarówno ogółem, jak i z powodu poszczególnych przyczyn (Rabczenko i in., 2005). Badania w ramach projektu APHEA 2 (29 miast Europy, lata 1998–2001) dostarczyły dowodów, że w miastach z ogólnie wysoką emisją pyłów zawieszonych wzrost stężenia PM_{10} o $10 \mu g/m^3$ prowadził do średniego wzrostu umieralności ogółem o prawie 1% oraz do wzrostu częstości hospitalizacji o co najmniej 1% w przypadku dzieci z astmą, dorosłych z astmą i osób z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc (Samoli i in., 2003).

Krótkotrwała ekspozycja na drobny pył $PM_{2.5}$ powoduje wzrost umieralności z przyczyn sercowo-naczyniowych. W badaniu przeprowadzonym na podstawie danych Myocardial Ischaemia National Audit Project (MINAMP) analizie poddano 2 mln nagłych przyjęć i 600 tys. zgonów z powodów sercowo-naczyniowych zarejestrowanych w latach 2003–2009 w Anglii i Walii. Każde zdarzenie zestawiano ze średniodobowym stężeniem $PM_{2.5}$ mierzonym w stacji pomiarowej, która była najbliższą miejscą zamieszkania pacjenta. Wykazano, że wzrost stężenia pyłu $PM_{2.5}$ w zakresie 10–90 centyla był odpowiedzialny za 21-procentowy wzrost umieralności związanej z arytmia oraz podobnie za 21-procentowy wzrost związany z migotaniem przedsionków (Milojevic i in., 2014).

Kowalska i Kocot (2016) zauważają, że aktualne badania prowadzono w wielu krajach o zróżnicowanym poziomie rejestrów medycznych, w warunkach zróżnicowanej jakości powietrza w zakresie stężeń pyłu $PM_{2.5}$ i PM_{10} , a dodatkowo stosowano różne modele badań i sposoby szacowania zależności dawka–skutek zdrowotny. Co więcej, potwierdzono występowanie istotnych zależności między pogorszeniem stanu aerosanitarne a arytmia serca lub udarami, również w sytuacjach gdy mierzone stężenia pyłu były wielokrotnie mniejsze od notowanych w Polsce. Sugeruje to, że w przypadku pyłu drobnego nie ma poziomu bezpiecznego, poniżej którego nie obserwuje się negatywnego wpływu na zdrowie (Kowalska i Kocot, 2016).

Badania przekrojowe dotyczące województw Polski realizowano na podstawie wyników syntetycznego wskaźnika emisji zanieczyszczeń powietrza i umieralności. Wykazały one statystycznie istotne zależności pomiędzy wielkością wskaźnika krajowej emisji zanieczyszczeń do atmosfery (obliczonego względem województwa o najmniejszej emisji) a wartościami standaryzowanych współczynników stanu zdrowia mieszkańców poszczególnych województw (Dziubanek i in., 2014). Sumaryczny wskaźnik emisji uwzględnił

krotność uwolnień do atmosfery sześciu związków: dwutlenku siarki, tlenków azotu, pyłu, kadmu, ołowiu i rtęci w latach 2002–2005 względem województwa o najmniejszych wartościach uwolnień. Standaryzowane współczynniki dotyczyły zgonów ogółem w 2011 r., zgonów wywołanych chorobami układu sercowo-naczyniowego oraz zgonów wywołanych chorobami nowotworowymi (uśrednione z lat 2005–2010) w poszczególnych województwach. Zależności określano metodą analizy regresji liniowej.

Z kolei Badyda i in. (2016) szacowali ryzyko przedwczesnych zgonów z powodu wybranych chorób, przypisywane zanieczyszczeniu powietrza pyłem $PM_{2.5}$. Badanie dotyczyło populacji w 11 aglomeracjach miejskich Polski w latach 2006–2011. Przeprowadzone analizy wykazały, iż zanieczyszczeniu powietrza pyłem $PM_{2.5}$ można przypisywać średnio 6044 przypadki zgonów z powodu chorób układu krążenia lub oddychania (w tym 3057 przypadków choroby niedokrwiennej serca), a także 1104 przypadki nowotworu płuc. Najczęstsze przypadki zgonów przypisywanych narażeniu na pył $PM_{2.5}$ dotyczyły aglomeracji cechujących się największymi stężeniami tego zanieczyszczenia (Kraków i Katowice). Zdecydowanie najmniejsza częstość zgonów w przeliczeniu na 100 tys. mieszkańców charakteryzowała Białystok.

Badano zależności między długotrwałym narażeniem mieszkańców Śląska na pył (PM_{10}), kadm i ołów a takimi miernikami zdrowia, jak: umieralność ogółem, umieralność z powodu chorób układu krążenia, umieralność z powodu nowotworów i długość życia (kobiet i mężczyzn) (Marchwińska-Wyrwał i in., 2020). Dane o stanie zdrowia (lata 2009–2011) mieszkańców 18 miast województwa śląskiego zestawiano ze średnimi wartościami zanieczyszczeń powietrza w tych miastach w okresie 13 lat (1999–2011). Wykazano, że istnieje silna korelacja pomiędzy: stężeniem ołowiu w pyłe zawieszonym PM_{10} a każdym z mierników zdrowia, stężeniem kadmu w pyłe zawieszonym PM_{10} a umieralnością ogółem, umieralnością z powodu nowotworów u kobiet oraz oczekiwaną długością życia u mężczyzn i kobiet, oraz stężeniem pyłu zawieszonego PM_{10} a oczekiwaną długością życia u kobiet.

Należy zauważyć, że badania związku zanieczyszczenia powietrza i umieralności były prowadzone również dla wybranych miast, m.in.: Bielska-Białej (Góra, 2019), Katowic (Kowalska i Kowalski, 2014), Sosnowca (Cembrzyńska i in., 2012), Warszawy (Karaczun i Michalak, 2019), i regionów, np. województwa śląskiego (Góra, 2020).

Zarówno badania kohortowe (krótko- i długoterminowe), jak i badania przekrojowe realizowane w różnych obiektach wskazują na istnienie związku między zanieczyszczeniem powietrza pyłami zawieszonymi a zachorowalnością i umieralnością, zwłaszcza związaną z chorobami układu krążeniowo-oddechowego, chorobami niedokrwinnymi serca oraz nowotworami płuc.

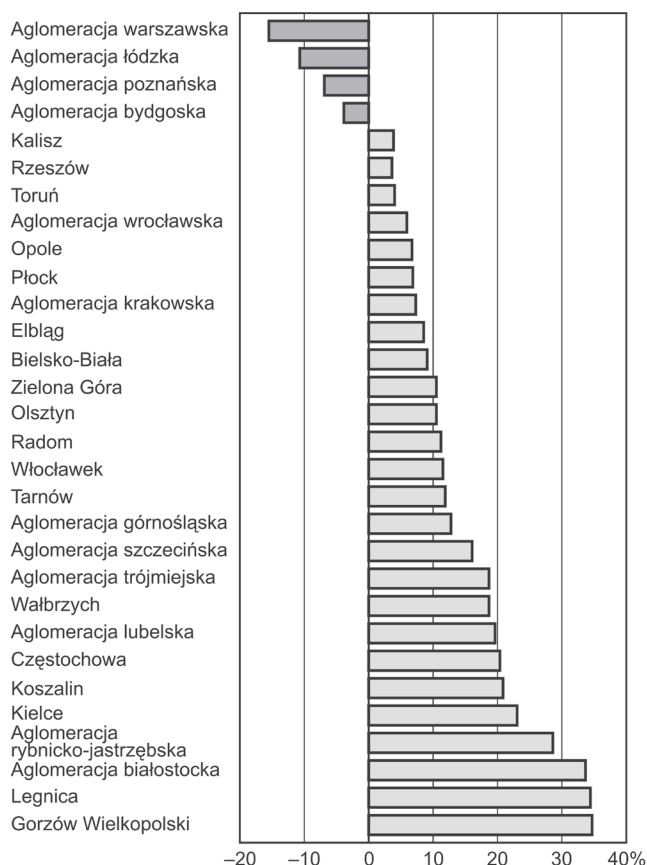
3. DANE

Do badania współwystępowania zanieczyszczenia powietrza i umieralności wykorzystano informacje liczbowe z dwóch baz danych. Informacje o jakości powietrza pochodziły z bazy Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (Główny Inspektorat Ochrony Środowiska [GIOŚ], 2024). Spośród 46 stref oceny jakości powietrza wybrano 30 stref będących miastami (18) i aglomeracjami (12, w tym 3 aglomeracje o co najmniej 2 miastach). Spośród 12 substancji podlegających monitoringowi pod względem ochrony zdrowia ludności wybrano zanieczyszczenia powietrza pyłami drobnymi: PM_{10} (o średnicy do 10 μm) i $PM_{2,5}$ (o średnicy do 2,5 μm). Uwzględniono maksymalne wyniki pomiaru dobowego (24h) stężenia pyłów ($\mu g/m^3$). Przyjęte w badaniu wartości maksymalne wystrzają obraz oceny jakości powietrza. Zanieczyszczenie powietrza charakteryzowały trzy zmienne: emisja, czyli stężenie pyłów $PM_{2,5}$, stężenie pyłów PM_{10} i liczba dni przekroczenia normy stężenia pyłów PM_{10} .

Z kolei informacje o umieralności pochodziły z Banku Danych Lokalnych (Główny Urząd Statystyczny [GUS], 2024). Uwzględniono miasta na prawach powiatu odpowiadające 30 strefom oceny jakości powietrza z bazy GIOŚ. Według nomenklatury GIOŚ strefą jest m.in. aglomeracja (będąca miastem lub kilkoma miastami o liczbie mieszkańców przekraczającej 250 tys.) i miasto (o liczbie ludności powyżej 100 tys.). Na podstawie danych o liczbie zgonów według trzech przyczyn (choroby układu krążenia, choroby układu oddechowego i nowotwory) oraz liczby ludności obliczono surowe współczynniki zgonów. W przypadku aglomeracji składających się z co najmniej dwóch miast dokonano agregacji danych, a następnie wyznaczono współczynniki zgonów. Na przyjętym poziomie podziału terytorialnego nie jest możliwe uzyskanie z baz GUS danych o zgonach według przyczyn i według wieku, zatem nie było możliwe wyznaczenie standaryzowanych współczynników zgonów. Nie jest również możliwa bardziej szczegółowa analiza umieralności niż według głównych przyczyn zgonów. Umieralność charakteryzował współczynnik zgonów spowodowanych łącznie trzema przyczynami: chorobami układu krążenia, chorobami układu oddechowego i nowotworami (na 100 tys. ludności). Okres analizy obejmował lata 2010–2022. W opisie obiektów badania posłużono się nazewnictwem stosowanym przez GIOŚ.

W roku 2022 w porównaniu z 2010 r. pogorszyła się kondycja zdrowotna mieszkańców większości miast i aglomeracji (rysunek 1). Umieralność powodowana trzema głównymi przyczynami zgonów, tj. chorobami układu krążenia, układu oddechowego i nowotworami, zwiększyła się w 26 miastach i aglomeracjach. Największe wzrosty surowego współczynnika zgonów dotyczyły Gorzowa Wielkopolskiego (o 35%), Legnicy (o 34%)

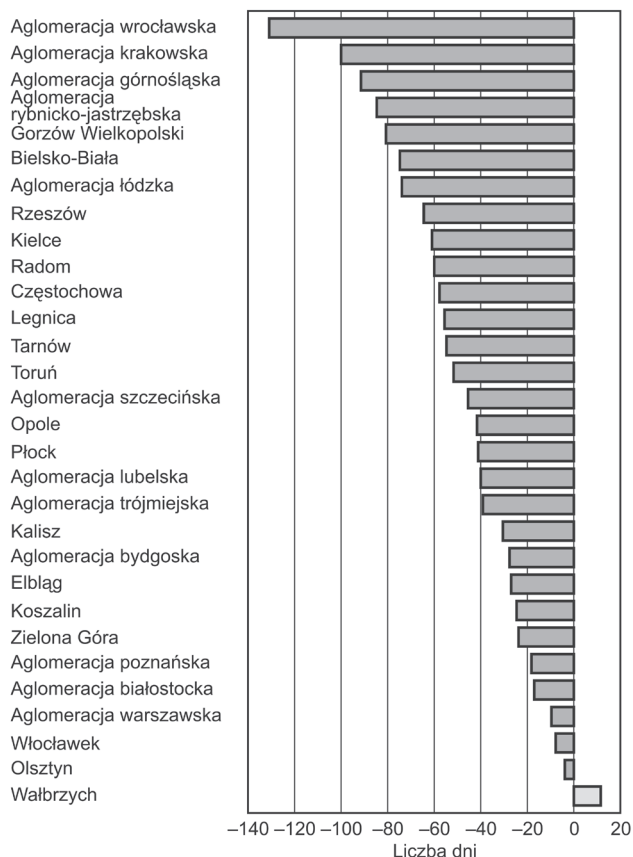
i aglomeracji białostockiej (o 34%). Poprawę sytuacji w zakresie umieralności zaobserwowano w czterech aglomeracjach: warszawskiej, łódzkiej, poznańskiej i bydgoskiej, w tym największy spadek współczynnika zgonów odnotowano w aglomeracji warszawskiej (o 16%). Obserwowany wzrost umieralności powodowanej trzema przyczynami zgonów jest efektem starzenia się populacji miast, aglomeracji, zwłaszcza tych mniejszych, pod względem liczby mieszkańców.



Rysunek 1. Względna zmiana surowego współczynnika zgonów w miastach i aglomeracjach w Polsce w 2022 r. w porównaniu z 2010 r.

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych (GUS, 2024)

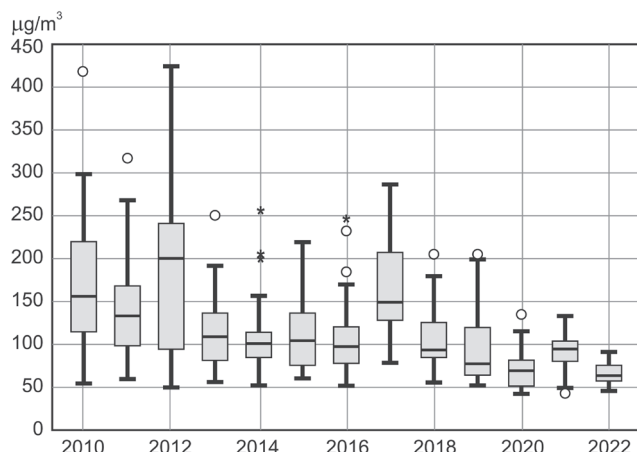
Podjęmowane przez samorządy lokalne działania zmierzające do poprawy jakości powietrza sprawiły, że w 2022 r. w porównaniu z rokiem 2010 niemal we wszystkich miastach i aglomeracjach zmniejszyła się liczba dni przekroczenia normy stężenia PM_{10} (rysunek 2). Standardy oceny jakości powietrza wskazują, że w ciągu roku takich dni nie powinno być więcej niż 35. Spektakularna zmiana nastąpiła w aglomeracji wrocławskiej, gdzie liczba dni z przekroczeniem stężenia PM_{10} zmniejszyła się ze 183 dni w 2010 r. do 21 dni w 2022 r. W aglomeracji krakowskiej liczba dni z przekroczeniem normy zmniejszyła się ze 148 do 48, a w aglomeracji górnośląskiej – ze 129 dni do 37 dni. Jedynie w Wałbrzychu odnotowano wzrost liczby dni z przekroczeniem normy.



Rysunek 2. Zmiana liczby dni przekroczenia normy stężenia pyłami PM_{10} w miastach i aglomeracjach w Polsce w 2022 r. w porównaniu z 2010 r.

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych (GIOŚ, 2024)

Na rysunkach 3–5 przedstawiono wartości stężenia pyłów $PM_{2.5}$ i PM_{10} , liczby dni przekroczenia normy stężenia pyłami PM_{10} , a na rysunku 6 – surowy współczynnik zgonów powodowanych chorobami układu krążenia, oddechowego i nowotworami w miastach i aglomeracjach w Polsce w latach 2010–2022. Podstawowe charakterystyki opisowe zmiennych dla lat 2010 i 2022 zestawiono w tabeli 1.



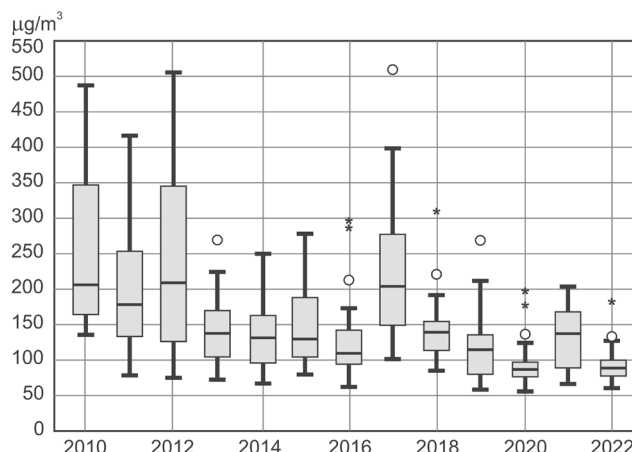
Rysunek 3. Stężenie pyłów $PM_{2.5}$ w miastach i aglomeracjach w Polsce w latach 2010–2022

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych (GIOŚ, 2024)

W analizowanym przedziale lat 2010–2022 obserwuje się spadek stężenia pyłów drobnych PM_{10} i $PM_{2.5}$ w powietrzu. Z upływem lat malały także wartości przeciętne, tj. średnie arytmetyczne i mediany. Jednak w latach 2012, 2017 i 2021 emisja zanieczyszczenia pyłami jest większa niż w sąsiadujących okresach. W przypadku stężenia pyłów $PM_{2.5}$ znajdujące się powyżej górnego zakresu wartości obserwacje odstające pojawiają się liczniej niż obserwacje ekstremalne, natomiast w przypadku stężenia pyłów PM_{10} obserwacji odstających jest prawie tyle samo jak ekstremalnych, ale jest ich mniej niż dla emisji najdrobniejszych pyłów (rysunek 3 i 4). Zidentyfikowane obserwacje nietypowe dotyczą: aglomeracji górnośląskiej (PM_{10} lata: 2016–2018, 2020), aglomeracji krakowskiej ($PM_{2.5}$ lata: 2011, 2014, 2016; PM_{10} lata: 2016 i 2020), aglomeracji rybnicko-jastrzębskiej ($PM_{2.5}$ lata: 2016 i 2018; PM_{10} lata: 2013, 2016, 2018–2020), aglomeracji łódzkiej i warszawskiej (PM_{10} w roku 2022), a także Bielska-Białej ($PM_{2.5}$ lata: 2010, 2013–2014, 2016, 2019–2020) i Wałbrzycha ($PM_{2.5}$ rok 2014). Z kolei obserwacja odstająca znajdująca się poniżej dolnego zakresu wartości odnosiła się do Koszalina ($PM_{2.5}$ w roku 2021). Spadkowi przeciętnych wartości stężenia pyłów $PM_{2.5}$ i PM_{10} towarzyszyło zmniejszanie się zróżnicowania wartości emisji pyłów drobnych (tabela 1, s. 58), co świadczy o poprawie sytuacji w zakresie zanieczyszczenia powietrza.

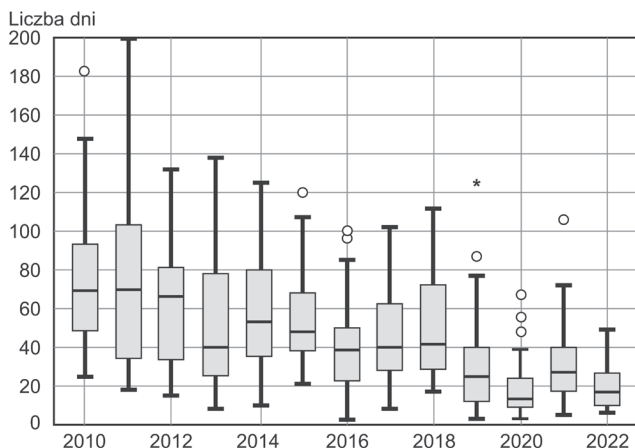
W okresie analizy liczba dni przekroczenia normy stężenia pyłów PM_{10} zmniejszała się, malały również wartości średnich i mediany tej zmiennej. Widoczne na rysunku 5 (s. 58) obserwacje odstające i obserwacja ekstremalna dotyczą aglomeracji krakowskiej (lata: 2015 i 2019–2021), aglomeracji górnośląskiej i rybnicko-jastrzębskiej (2016 i 2020) oraz aglomeracji wrocławskiej (2010). Zróżnicowanie wartości liczby dni przekroczenia normy zmniejszało się w badanym okresie (tabela 1), wskazując na poprawę sytuacji zanieczyszczenia powietrza pyłami zawieszonymi.

W latach 2010–2022 umieralność z powodu chorób układu krążenia, oddechowego i nowotworów mierzona surowym współczynnikiem zgonów wykazywała



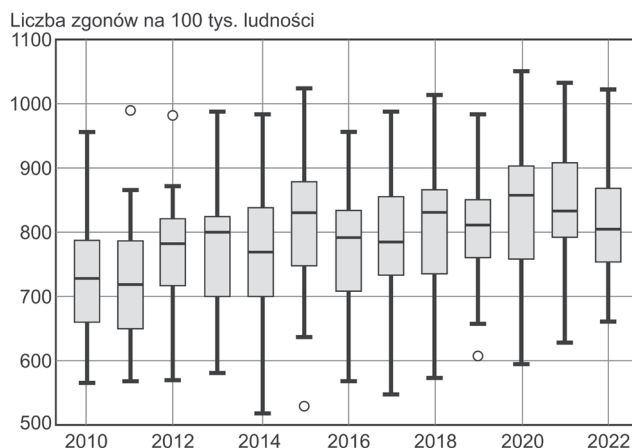
Rysunek 4. Stężenie pyłów PM_{10} w miastach i aglomeracjach w Polsce w latach 2010–2022

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych (GIOŚ, 2024)



Rysunek 5. Liczba dni przekroczenia normy pyłów PM_{10} w miastach i aglomeracjach w Polsce w latach 2010–2022

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych (GIOŚ, 2024)



Rysunek 6. Surowy współczynnik zgonów powodowanych chorobami układu krążenia, oddechowego i nowotworami w miastach i aglomeracjach w Polsce w latach 2010–2022

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych (GUS, 2024)

Tabela 1. Statystyki opisowe zmiennych dla lat 2010 i 2022

Zmienna / Rok		Średnia	Mediana	Kwartył dolny	Kwartył górny	Odchylenie standardowe	Rozstęp	Minimum	Maksimum
Stężenie $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	2010	173,929	163	116	222	77,078	363	55	418
	2022	69,133	68	59	79	14,938	62	47	109
Stężenie PM_{10} ($\mu g/m^3$)	2010	242,500	212	163	352	112,706	414	80	494
	2022	96,552	93	81	107	24,812	122	63	185
Liczba dni przekroczenia normy	2010	74,231	67	45	95	41,280	170	13	183
	2022	22,276	21	11	31	13,355	43	6	49
Surowy współczynnik zgonów (na 100 tys. ludności)	2010	727,759	727	659	786	91,246	392	565	957
	2022	831,000	816	754	880	118,576	566	661	1227

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych (GIOŚ, 2024; GUS, 2024).

trend rosnący, zwiększały się średnie i mediany wartości natężenia zgonów (rysunek 6). Zidentyfikowane obserwacje odstające znajdujące się poza górnym zakresem wartości cechowały aglomerację łódzką (lata 2011–2012), a obserwacje odstające znajdujące się poniżej dolnego zakresu wartości dotyczyły Gorzowa Wielkopolskiego (2015) oraz Rzeszowa (2019). Zróżnicowanie wartości surowego współczynnika zgonów zwiększało się (tabela 1), co przy utrzymywaniu się trendu rosnącego natężenia zgonów świadczy o pogarszaniu się kondycji zdrowotnej mieszkańców miast i aglomeracji.

Zanieczyszczenie powietrza w powiązaniu z niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi wywołuje smog. W Polsce zazwyczaj występuje on cyklicznie, pojawia się głównie w okresie zimowym, kiedy przy niskich temperaturach zapotrzebowanie na energię do ogrzewania pomieszczeń i tym samym emisja zanieczyszczeń wzrasta. Do powstania smogu głównie przyczyniają się warunki meteorologiczne, zwłaszcza bezwietrzna i wyżowa pogoda (Adamkiewicz i Matyasik,

2019). W historii pomiarów szczególnie zapisał się rok 2017 z jednymi z najwyższych wskazań zanieczyszczenia pyłami drobnymi. Innym warunkiem sprzyjającym powstawaniu smogu jest ukształtowanie terenu, a także nieoptymalne zaplanowanie przestrzeni miejskiej bez korytarzy powietrznych, co w efekcie zmniejsza cyrkulację powietrza. Wysokich zanieczyszczeń powietrza pyłami drobnymi doświadczają miasta i aglomeracje znajdujące się w kotlinach m.in. na Dolnym Śląsku i w Małopolsce, ale też otoczone suburbiami. Na wystąpienie smogu wpływ mają również zanieczyszczenia pochodzące z transportu drogowego.

4. METODY

Do badania współwystępowania zanieczyszczenia powietrza i umieralności zastosowano współczynnik korelacji rang (ρ) Spearmana, określony wzorem:

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^N d_i^2}{N \cdot (N^2 - 1)} \quad (1)$$

gdzie: $d_i = \text{ranga}(y_i) - \text{ranga}(x_i)$ – różnica rang zmiennych dla i -tego obiektu; $i = 1, 2, \dots, N$; N – liczba obiektów.

Współczynnik przyjmuje wartości z przedziału $[-1; 1]$. Dodatnia wartość oznacza zgodność uporządkowań obiektów (miast i aglomeracji) pod względem analizowanych zmiennych, czyli świadczy o współwystępowaniu zmiennych. Natomiast ujemna wartość wskazuje na niezgodność uporządkowań obiektów. Im bliższa 1 jest wartość bezwzględna współczynnika rho Spearmana, tym silniejsze współwystępowanie zjawisk. W analizie korelacyjnej uwzględniono uporządkowania obiektów pod względem wartości umieralności i zanieczyszczenia powietrza w tym samym okresie ($p = 0$), a także wzięto pod uwagę opóźnienie czasowe ($p = 1, 2, \dots, 5$) w umieralności względem emisji pyłów.

Statystyczną istotność potwierdzano testem współczynnika korelacji rang Spearmana. Sformułowano hipotezę zerową: zgodność uporządkowań zmiennych nie występuje ($\rho_s = 0$) wobec hipotezy alternatywnej o istniejącej zgodności ($\rho_s > 0$). W przypadku próby liczącej co najmniej 30 obserwacji skorzystano z granicznego rozkładu współczynnika rho Spearmana, który jest rozkładem normalnym ze średnią $E(r_s) = \rho_s$ i odchyleniem standardowym $D(r_s) = \frac{1}{\sqrt{N-1}}$. Do weryfikacji posłużyła statystyka empiryczna postaci:

$$U = r_s \sqrt{N-1} \quad (2)$$

gdzie: r_s – współczynnik korelacji rang Spearmana; N – liczba obiektów.

Obliczenia wykonano w programie IBM SPSS Statistics 29.0.

5. REZULTATY

Na podstawie wartości zmiennych charakteryzujących zanieczyszczenie powietrza pyłami drobnymi i umieralności z powodu chorób układu krążenia, oddechowego i nowotworów w miastach i aglomeracjach w Polsce obliczono współczynniki korelacji rang Spearmana. Uwzględniono równoczesne oddziaływanie zanieczyszczenia powietrza na umieralność (opóźnienie $p = 0$), a także opóźnienie czasowe umieralności względem zanieczyszczenia powietrza ($p = 1, 2, \dots, 5$). Opóźnienie $p = 1$ oznaczało, że porównywano umieralność w danym roku z emisją pyłów z roku wcześniejszego, a $p = 5$ oznaczało, że umieralność w danym roku zestawiano z emisją pyłów sprzed pięciu lat. Wyniki wraz z oceną statystycznej istotności zamieszczono w tabelach 2–4.

Istnieje dodatnia słaba (współczynniki rho Spearmana nieprzekraczające wartości 0,4) lub co najwyżej umiarkowana (wartości co najmniej 0,4, co najwyżej 0,7) zależność zanieczyszczenia pyłami i umieralności powodowanej łącznie trzema przyczynami: chorobami układu krążenia,

Tabela 2. Korelacja rho Spearmana: stężenie pyłów $PM_{2.5}$ vs. umieralność z uwzględnieniem opóźnień w miastach i aglomeracjach w latach 2010–2022

Lata	Opóźnienie					
	$p = 0$	$p = 1$	$p = 2$	$p = 3$	$p = 4$	$p = 5$
2010	0,017	.	.	.	.	.
2011	0,263	0,063	.	.	.	.
2012	0,032	0,098	−0,048	.	.	.
2013	0,157	0,072	0,139	0,056	.	.
2014	0,467*	0,203	0,153	0,224	0,096	.
2015	0,133	0,413*	0,153	0,146	0,192	0,100
2016	0,300	0,030	0,344	0,043	0,022	0,101
2017	0,298	0,418*	0,117	0,425*	0,167	0,098
2018	0,278	0,297	0,423*	0,102	0,395*	0,172
2019	0,172	0,339	0,360	0,437*	0,155	0,402*
2020	0,360	0,149	0,230	0,288	0,367*	0,124
2021	−0,201	0,070	−0,001	0,087	0,133	0,221
2022	0,033	0,067	0,287	0,085	0,228	0,303

Objaśnienia: . – brak możliwości wyznaczenia; * – korelacja istotna statystycznie na poziomie $p \leq 0,05$.

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych (GIOŚ, 2024; GUS, 2024).

Tabela 3. Korelacja rho Spearmana: stężenie pyłów PM_{10} vs. umieralność z uwzględnieniem opóźnień w miastach i aglomeracjach w latach 2010–2022

Lata	Opóźnienie					
	$p = 0$	$p = 1$	$p = 2$	$p = 3$	$p = 4$	$p = 5$
2010	−0,140	.	.	.	.	.
2011	0,263	−0,019	.	.	.	.
2012	0,144	0,246	−0,037	.	.	.
2013	0,278	0,077	0,230	−0,002	.	.
2014	0,498*	0,291	0,175	0,258	0,090	.
2015	0,322	0,417*	0,291	0,129	0,188	−0,010
2016	0,434*	0,216	0,284	0,162	0,023	0,161
2017	0,434*	0,519*	0,256	0,423*	0,290	0,121
2018	0,465*	0,462*	0,535*	0,290	0,491*	0,296
2019	0,272	0,477*	0,500*	0,472*	0,296	0,398*
2020	0,346	0,203	0,379*	0,375*	0,357	0,191
2021	0,069	0,113	0,132	0,273	0,358	0,404*
2022	0,036	0,170	0,320	0,129	0,427*	0,441*

Objaśnienia: . – brak możliwości wyznaczenia; * – korelacja istotna statystycznie na poziomie $p \leq 0,05$.

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych (GIOŚ, 2024; GUS, 2024).

Tabela 4. Korelacja rho Spearmana: liczba dni przekroczenia normy stężenia PM_{10} vs. umieralność z uwzględnieniem opóźnień w miastach i aglomeracjach w latach 2010–2022

Lata	Opóźnienie					
	$p = 0$	$p = 1$	$p = 2$	$p = 3$	$p = 4$	$p = 5$
2010	0,166	.	.	.	.	.
2011	0,269	0,223	.	.	.	.
2012	0,332	0,334	0,248	.	.	.
2013	0,397*	0,232	0,311	0,261	.	.
2014	0,434*	0,451*	0,289	0,327	0,282	.
2015	0,369*	0,431*	0,488*	0,282	0,326	0,256
2016	0,167	0,207	0,315	0,339	0,178	0,210
2017	0,295	0,192	0,232	0,348*	0,431*	0,262
2018	0,287	0,291	0,237	0,300	0,423*	0,446*
2019	0,249	0,225	0,247	0,185	0,288	0,408*
2020	0,170	0,176	0,115	0,187	0,045	0,150
2021	0,198	0,187	0,161	0,054	0,262	0,211
2022	0,236	0,295	0,210	0,204	0,147	0,262

Objaśnienia: . – brak możliwości wyznaczenia; * – korelacja istotna statystycznie na poziomie $p \leq 0,05$.

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych (GIOŚ, 2024; GUS, 2024).

układu oddechowego i nowotworami. Oznacza to zgodność uporządkowań obiektów (miast, aglomeracji) pod względem analizowanych zmiennych. Miasta i aglomeracje o wysokim stężeniu pyłami cechuje również wysoka umieralność, a miasta i aglomeracje o niskim stężeniu pyłów charakteryzuje niska umieralność. Jednakże statystycznie istotne są zwłaszcza zależności o umiarkowanej sile. Przykładowo w 2014 r. niską umieralnością i niskim zanieczyszczeniem pyłami $PM_{2,5}$, a także pyłami PM_{10} cechowały się: aglomeracja białostocka, Gorzów Wielkopolski, Olsztyn i Zielona Góra. A w tym samym roku wysoką umieralność i wysokie zanieczyszczenie pyłami obserwowano w: Wałbrzychu, aglomeracji łódzkiej i Bielsku-Białej. W 2017 r. niska umieralność przy niskim stężeniu pyłów $PM_{2,5}$ oraz PM_{10} z roku wcześniejszego dotyczyła: aglomeracji białostockiej, Rzeszowa, Gorzowa Wielkopolskiego, Torunia i Olsztyna, a wysoka umieralność z występującym w 2016 r. wysokim stężeniem pyłami drobnymi miała miejsce w: Bielsku-Białej, Częstochowie, Wałbrzychu i aglomeracji krakowskiej.

Porównując siłę zależności, można zauważyć, że częściej większa jest zależność umieralności i zanieczyszczenia pyłami PM_{10} niż zależność umieralności i zanieczyszczenia pyłami $PM_{2,5}$. Na przykład w 2014 r. współczynniki korelacji rang Spearmana wynosiły odpowiednio 0,498 i 0,467, a w 2017 r. (przy opóźnieniu $p=1$): 0,519 i 0,418. Mimo zaobserwowanych różnic w wartościach współczynników wskazują one na co najwyżej umiarkowane siły zależności. To dość zaskakujące wobec badań wskazujących, że zanieczyszczenia pyłami

najdrobniejszymi niosą daleko idące negatywne konsekwencje dla funkcjonowania i zdrowia organizmów w porównaniu z zanieczyszczeniami drugim rodzajem pyłów. Także częściej pierwsza z wymienionych para zmiennych wykazuje korelację statystycznie istotną.

Analizując wartości współczynników rho Spearmana w kolejnych latach, obserwuje się, że z upływem czasu maleje zależność umieralności i zanieczyszczenia pyłami wyrażonymi jako liczba dni przekroczenia normy stężenia pyłami PM_{10} . Sytuacja ta jest identyfikowana zarówno przy braku przesunięcia w czasie między umieralnością a liczbą dni przekroczenia normy ($p=0$), jak i przy opóźnieniach $p=1, 2, \dots, 5$. Jednocześnie z upływem czasu rośnie siła współwystępowania umieralności i zanieczyszczenia pyłami mierzonymi stężeniem PM_{10} i $PM_{2,5}$. Jednakże obserwacja ta dotyczy wyłącznie opóźnień od 2 do 5 lat. Może to świadczyć o utrwalaniu się niekorzystnego związku kondycji zdrowotnej i zanieczyszczenia powietrza.

Nie obserwuje się wyraźnej prawidłowości badanych zależności uwzględniających opóźnienia czasowe. Ale częściej statystycznie istotne współczynniki korelacji są dla opóźnień $p=1, 2, 3$ niż dla pozostałych.

6. PODSUMOWANIE

Badania kohortowe i przekrojowe wskazują, że zanieczyszczenie powietrza ma potwierdzony negatywny wpływ na zdrowie (Gładka i Zatoński, 2016). Zanieczyszczenie jest powodem kilkudziesięciu tysięcy zgonów rocznie w Polsce, choć ta liczba zmniejsza się w czasie, to postuluje się, by włączyć problemy związane z zanieczyszczeniem powietrza do debaty na temat bezpieczeństwa zdrowotnego ludności (Stryjek, 2021). Obecność pyłu zawieszonego w powietrzu determinuje stan zdrowia tylko w pewnym stopniu. Najważniejszym czynnikiem jest styl życia, a zaraz za nim wszystkie inne czynniki środowiskowe, w tym zanieczyszczenia powietrza (Krzeszowiak i Pawlas, 2018).

Przeprowadzona analiza zależności potwierdza pozytywny związek zanieczyszczenia powietrza i umieralności mieszkańców obszarów miejskich w Polsce. Miasta i aglomeracje o wysokim stężeniu pyłami zawieszonymi w powietrzu cechuje wysoka umieralność powodowana chorobami układu krążenia, oddechowego i nowotworami, a miasta i aglomeracje o niskim stężeniu pyłów charakteryzuje niska umieralność. Chociaż w uwzględnionych w badaniu ośrodkach miejskich zaobserwowano poprawę sytuacji pod względem zanieczyszczenia powietrza, to rosnące natężenie zgonów wskazywało na niekorzystną sytuację zdrowotną. Jest to wynikiem starzenia się populacji miast i aglomeracji. Wskazane jest dalsze monitorowanie związku zanieczyszczenia powietrza i umieralności z uwzględnieniem efektu starzenia się ludności.

Badanie zrealizowano, przyjmując uproszczenia i ograniczenia wpływające na końcowy wynik. Za kluczowe można uznać założenie o takim samym narażeniu na stężenie pyłu drobnego wszystkich mieszkańców danego ośrodka miejskiego. Uproszczenie to przyjęto z powodu niewielkiej liczby stacji monitoringu jakości powietrza w poszczególnych miastach i aglomeracjach (w większości działają pojedyncze stacje pomiarowe) oraz braku możliwości odniesienia konkretnego stężenia zanieczyszczenia w różnych strefach pomiaru w ośrodku miejskim do populacji zamieszkujących poszczególne strefy. Drugie uproszczenie dotyczyło określenia natężenia zgonów powodowanych trzema przyczynami zgonów (chorobami układu krążenia, oddechowego i nowotworami) poprzez surowy współczynnik zgonów zamiast standaryzowanego współczynnika. Wynikało to z niedostępności dla miast danych o przyczynach zgonów według wieku, a także o bardziej szczegółowych przyczynach zgonów niż w głównych grupach zgodnie z Międzynarodową Klasyfikacją Chorób ICD-10.

BIBLIOGRAFIA

- Adamkiewicz, Ł., Matyasik, N. (2019). *Smog w Polsce i jego konsekwencje*. Polski Instytut Ekonomiczny. https://pie.net.pl/wp-content/uploads/2020/03/PIE-WP_5-2019.pdf
- Amann, M. (red.). (2013, marzec). *Policy scenarios for the revision of the Thematic Strategy on Air Pollution* (TSAP Report #10, wersja 1.2). International Institute for Applied System Analysis IIASA. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/10615/1/XO-13-057.pdf>
- Badyda, A., Grellier, J., Dąbrowiecki, P. (2016). Ocena obciążenia wybranymi chorobami układu oddechowego i układu sercowo-naczyniowego z powodu zanieczyszczeń powietrza w 11 polskich aglomeracjach. *Lekarz Wojskowy*, 94(1), 32–38.
- Bebkiewicz, K., Bzdziuch, P., Chłopek, Z., Grzelak, P., Kamola, E., Kargulewicz, I., Olecka, A., Rutkowski, J., Skośkiewicz, J., Szczepański, K., Walczak, J., Wałęzak, M., Waśniewska, S., Zakrzewska, D., Żaczek, M. (2024). *Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990–2022. Raport syntetyczny*. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. https://www.kobize.pl/uploads/materialy/materialy_do_pobrania/krajowa_inwentaryzacja_emisji/Bilans_emisji_raport_syntetyczny_2022.pdf
- Cembrzyńska, J., Krakowiak, E., Brewczyński, P.Z. (2012). Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym PM₁₀ oraz PM_{2,5} w warunkach silnej antropopresji na przykładzie miasta Sosnowiec. *Medycyna Środowiskowa – Environmental Medicine*, 15(4), 31–38. <https://www.environmed.pl/pdf-114088-43609?filename=Zanieczyszczenie.pdf>
- Dziubanek, G., Marchwińska-Wyrwał, E., Piekut, A., Rusin, M., Hajok, I. (2014). Zanieczyszczenia powietrza jako istotny modyfikowalny czynnik ryzyka zdrowotnego. *Hygeia Public Health*, 49(1), 75–80. <http://www.h-ph.pl/pdf/hyg-2014/hyg-2014-1-075.pdf>
- European Commission. (2022). *Special Eurobarometer 468: Attitudes of European citizens towards the environment*. https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/S2156_88_1_468_ENG
- European Environment Agency. (2023). *Air quality in Europe 2022: Health impacts of air pollution in Europe, 2022*. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution>
- Filleul, L., Rondeau, V., Vandentorren, S., Le Moual, N., Cantagrel, A., Annesi-Maesano, I., Charpin, D., Declercq, C., Neukirch, F., Paris, C., Vervloet, D., Brochard, P., Tessier, J.-F., Kauffmann, F., Baldi, I. (2005). Twenty five year mortality and air pollution: Results from the French PAARC survey. *Occupational and Environmental Medicine*, 62(7), 453–460. <https://doi.org/10.1136/oem.2004.014746>
- Gładka, A., Zatoński, W. (2016). Wpływ zanieczyszczenia powietrza na choroby układu oddechowego. *Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych*, 65(4), 573–582. <https://kosmos.ptpk.org/index.php/Kosmos/article/view/1645/1623>
- Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. (2024). Bank danych pomiarowych. <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives>
- Główny Urząd Statystyczny. (2024). Bank Danych Lokalnych. <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/start>
- Góra, D. (2019). Analiza wybranych zanieczyszczeń powietrza w 2018 r. na terenie Bielska-Białej. *Badania Fizjograficzne. Seria A – Geografia Fizyczna*, 10(A70), 21–37. <https://doi.org/10.14746/bfg.2019.10.2>
- Góra, D. (2020). Stan zanieczyszczenia powietrza w 2017 roku w województwie śląskim oraz jego wpływ na zdrowie człowieka. *Annales Universitatis Paedagogicae. Cracoviensis Studia Geographica*, 15, 150–164. <https://doi.org/10.24917/20845456.15.10>
- Harmata, W., Kamionek, D. (2021). Ochrona dróg oddechowych – nowe wyzwania. *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*, 70(1), 125–147. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.6963>
- Jędrak, J., Konduracka, E., Badyda, A., Dąbrowiecki, P. (2021). *Wpływ zanieczyszczenia powietrza na zdrowie* (wyd. 2). Krakowski Alarm Smogowy.
- Karaczun, Z.M., Michalak, W. (2019). *Wpływ zmiany klimatu i zanieczyszczenia powietrza na zdrowie mieszkańców Warszawy*. Koalicja Klimatyczna.
- Kowalska, M., Kocot, K. (2016). Krótkoterminowe narażenie na drobny pył zawieszony w powietrzu (PM_{2,5} i PM₁₀) a ryzyko zaburzeń rytmu serca i udarów mózgu. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 70, 1017–1025. <https://phmd.hirschfeld.pl/wp-content/uploads/2023/06/1220389.pdf>
- Kowalska, M., Kowalski, M. (2014). *Podręcznik nauczyciel. T. 2: Wpływ zanieczyszczeń powietrza na zdrowie*. Główny Instytut Górnictwa.
- Krzeszowiak, J., Pawlas, K. (2018). Pył zawieszony (PM_{2,5} oraz PM₁₀), właściwości oraz znaczenie epidemiologiczne ekspozycji krótko- i długookresowej dla chorób układu oddechowego oraz krążenia. *Medycyna Środowiskowa – Environmental Medicine*, 21(2), 7–13. https://www.environmed.pl/pdf-112798-42572?filename=Py%20zawieszony%20PM2_5.pdf
- Kuchcik, M., Milewski, P. (2018). Zanieczyszczenie powietrza w Polsce – stan, przyczyny i skutki. *Studia Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN*, 182(2). <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/123414/edition/107643/content>
- Marchwińska-Wyrwał, E., Hajok, I., Rogala, D., Spychała, A., Mucha, N., Jastrzębski, T. (2020). Środowiskowe czynniki ryzyka zdrowotnego istotną przyczyną nierówności w zdrowiu mieszkańców województwa śląskiego. W: E. Marchwińska-Wyrwał i G. Dziubanek (red.), *Środowiskowe czynniki ryzyka zdrowotnego* (s. 9–27). Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach; Polska Platforma Medyczna. <https://ppm.edu.pl/info/article/SUMa888c385f351496c92b08a5fd2d53f2f/>
- Milojevic, A., Wilkinson, P., Armstrong, B., Bhaskaran, K., Smeeth, L., Hajat, S. (2014). Short-term effects of air pollution on a range of cardiovascular events in England and Wales: Case-crossover analysis of the MINAP database, hospital admissions and mortality. *Heart*, 100(14), 1093–1098. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2013-304963>
- Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej. (1996). *Narodowy Program Zdrowia na lata 1996–2005*.
- Ośrodek Informacji ONZ w Warszawie – UNIC Warsaw. (2016). *Cele zrównoważonego rozwoju*. <https://www.un.org/pl/>

- Rabczenko, D., Wojtyniak, B., Wysocki, M., Goryński, P. (2005). Krótkookresowy wpływ zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego dwutlenkiem siarki, pyłami zawieszonymi i dwutlenkiem azotu na umieralność mieszkańców miast w Polsce. *Przegląd Epidemiologiczny*, 59(4), 969–979. <https://www.przegl.epidemiol.pzh.gov.pl/pdf-179360-99953?filename=Krotkookresowy%20wpływ.pdf>
- Samoli, E., Touloumi, G., Zanobetti, A., Le Tertre, A., Schindler, Chr., Atkinson, R., Vonk, J., Rossi, G., Saez, M., Rabczenko, D., Schwartz, J., Katsouyanni, K. (2003). Investigating the dose-response relation between air pollution and total mortality in the APHEA-2 multicity project. *Occupational and Environmental Medicine*, 60(12), 977–982. <https://doi.org/10.1136/oem.60.12.977>
- Simkhovich, B.Z., Kleinman, M.T., Kloner, R.A. (2008). Air pollution and cardiovascular injury: Epidemiology, toxicology, and mechanisms. *Journal of the American College of Cardiology*, 52(9), 719–726. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2008.05.029>
- Stryjek, J. (2021). Zanieczyszczenie powietrza jako zagrożenie bezpieczeństwa zdrowotnego w Polsce – w świetle teorii sekurytyzacji. *Rocznik Instytutu Europy Środkowo-Wschodniej*, 19(1), 159–176. <https://doi.org/10.36874/RIESW.2021.1.9>
- World Health Organization. (2006, 12 sierpnia). *Air quality guidelines global update 2005*. <https://www.who.int/publications/item/WHO-SDE-PHE-OEH-06.02>
- Wysocki, M.J., Miller, M. (2003). Paradygmat Lalonde’a, światowa organizacja zdrowia i nowe zdrowie publiczne. *Przegląd Epidemiologiczny*, 57(3), 505–512. https://www.przegl.epidemiol.pzh.gov.pl/pdf-179116-99718?filename=Lalonde_039_s%20paradigm_.pdf
- Artykuł wpłynął:
20 sierpnia 2024
Zaakceptowano do druku:
24 września 2024