

Ewa Niewiadomska^{1*}, Małgorzata Kowalska², Elżbieta Czech¹

THE RISK OF RESPIRATORY INCIDENTS IN RESPONSE TO THE INCREASE OF OZONE CONCENTRATION IN THE AMBIENT AIR, IN THE SILESIAN VOIVODESHIP, IN 2016-2017

RYZYSKO INCYDENTÓW ODDECHOWYCH W ODPOWIEDZI NA WZROST STĘŻENIA OZONU W POWIETRZU ATMOSFERYCZNYM, W WOJEWÓDZTWIE ŚLĄSKIM, W LATACH 2016-2017

¹Department of Epidemiology and Biostatistics, Faculty of Health Sciences in Bytom,
Medical University of Silesia, Katowice, Poland
Zakład Biostatystyki, Katedra Epidemiologii i Biostatystyki, Wydział Nauk o Zdrowiu w Bytomiu,
Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Polska

*corresponding author / autor korespondencyjny

²Department of Epidemiology, Faculty of Medical Sciences in Katowice,
Medical University of Silesia, Katowice, Poland
Katedra Epidemiologii, Wydział Nauk Medycznych w Katowicach,
Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Polska

ABSTRACT

INTRODUCTION. Due to the high level of urbanization and industrialization, Silesian Voivodeship remains a region with the poorest quality ambient air, especially in the winter season in which alarm levels are constantly being exceeded. However, in the summertime, there are observed short-term episodes of high ozone concentrations for which their impact on the population health is poorly documented. The aim of the study was to assess the risk of daily respiratory health problems related to an increased pollutants concentration typical for photochemical smog.

MATERIAL AND METHODS. In the ecological type of study, secondary epidemiological data were used. They were obtained from the National Health Fund (NFZ) in Katowice and included the number of outpatient visits in primary health care and hospitalizations due to respiratory diseases (J00-J99) and selected acute respiratory incidents registered between 01/01/2016 and 31/08/2017 in the Silesian Voivodeship.

RESULTS. In the summertime of both years (2016 and 2017), there were observed short-term episodes of photochemical smog in the study region. Obtained results show a significant increase in the risk of outpatient visits due to total respiratory diseases, and also due to acute pharyngitis, acute laryngotracheitis, bronchitis, and asthma in response to the increase in ozone concentration. Similarly, a significant increase in the risk of hospitalization for all respiratory diseases was found, however, it appeared with a delay of at least two to three weeks. In the case of hospitalization due to bronchitis statistically significant risk was observed 2-4 days after the increase in exposure.

CONCLUSIONS. The occurrence of registered respiratory incidents was confirmed in response to the increase in ozone concentration, characteristic of the summertime in the Silesian Voivodeship.

Keywords: *ozone, photochemical smog, time series analysis, delayed health effect, health risk*

STRESZCZENIE

WSTĘP. Województwo śląskie z uwagi na wysoki poziom urbanizacji i industrializacji jest regionem o złej jakości powietrza atmosferycznego, gdzie stale dochodzi do przekroczeń stanów alarmowych zimą. Latem występują z kolei krótkotrwałe epizody wysokich stężeń ozonu, których wpływ na zdrowie mieszkańców jest słabo

udokumentowany. Celem badania była ocena ryzyka zdrowotnego ze strony układu oddechowego w odpowiedzi na wzrost zagrożeń typowych dla smogu fotochemicznego.

MATERIAŁ I METODY. W modelu epidemiologicznego badania ekologicznego wykorzystano dane Śląskiego Oddziału Wojewódzkiego Narodowego Funduszu Zdrowia w Katowicach. W opracowaniu wzięto pod uwagę liczbę porad udzielanych w podstawowej opiece zdrowotnej, jak i hospitalizacji z przyczyn oddechowych ogółem (J00-J99) oraz wybranych ostrych incydentów oddechowych rejestrowanych w ramach świadczeń Narodowego Funduszu Zdrowia (NFZ) i udzielonych w okresie od 01.01.2016 do 31.08.2017 na terenie województwa śląskiego.

WYNIKI. W okresach letnich 2016 i 2017 roku w województwie śląskim miały miejsce krótkoterminowe epizody o znamionach smogu fotochemicznego. Wyniki badania wskazują na istotny wzrost ryzyka wizyt ambulatoryjnych z powodu chorób układu oddechowego ogółem, ostrego zapalenia gardła i nosa, ostrego zapalenia krtani i tchawicy, zapalenia oskrzeli oraz astmy w odpowiedzi na wzrost stężenia ozonu. Podobnie, stwierdzono istotny wzrost ryzyka hospitalizacji z powodu wszystkich chorób układu oddechowego, ale ujawniał się on z pewnym, co najmniej dwu, trzy tygodniowym opóźnieniem. Najwcześniej, już po 2-4 dniach od wzrostu narażenia zaobserwowano istotny statystycznie wzrost ryzyka hospitalizacji z powodu zapalenia oskrzeli.

WNIOSKI W województwie śląskim potwierdzono występowanie rejestrowanych incydentów oddechowych w odpowiedzi na wzrost stężenia ozonu charakterystyczny dla okresu letniego.

Słowa kluczowe: ozon, smog fotochemiczny, analiza szeregów czasowych, opóźniony efekt zdrowotny, ryzyko zdrowotne

INTRODUCTION

Ground-level ozone is mainly formed in warm seasons which had a high temperature of ambient air and low relative humidity, at simultaneous high concentrations of nitrogen dioxide NO_2 (1). The occurrence of such pollutants is typical for photochemical smog and its negative consequence on health remains a serious risk to inhabitants of large agglomerations located in hot and dry climatic zones. About 80% of inhaled ozone is deposited in the respiratory tract (2). The group of health consequences includes: sore throat, cough, headache, tiredness, and sleepiness, increased blood pressure, pulmonary edema (1).

The moderate climate of Poland, by definition, does not enable forming smog episodes of the Los Angeles type. Occurring problems focus rather on winter smog and ambient air pollution of fine dust PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ (3, 4) and benzo(a)pyrene (4), but in recent years were observed heatwaves, typical for the summertime. Specific meteorological conditions and increasing road traffic in large agglomerations, lead to exceeding ambient air quality standards, including nitrogen dioxide NO_2 and ozone O_3 limit values. Reports of the Polish Smog Alert of 2019 revealed that in Krakow, Katowice, Warsaw, and Wrocław the situation was the worst in Poland, because of traffic density in narrow street canyons. It was shown that in the case of 75% of NO_2 concentration measurement stations, the annual limit values ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) were exceeded (5). Meanwhile, nitrogen oxides are pro-oxidative agents, their inhalation leads to inflammation in the respiratory tract, exacerbation

WSTĘP

Ozon w przyziemnej warstwie atmosfery powstaje głównie w porach roku charakteryzujących się wysoką temperaturą i małą wilgotnością powietrza atmosferycznego, przy wysokich stężeniach dwutlenku azotu NO_2 (1). Obecność tego zanieczyszczenia w powietrzu jest łączona z występowaniem smogu fotochemicznego, a jego negatywny wpływ na zdrowie stanowi poważne zagrożenie dla mieszkańców dużych aglomeracji położonych w gorących i suchych strefach klimatycznych. Około 80% wdychanego ozonu osadza się w drogach oddechowych (2). Wśród konsekwencji zdrowotnych wymieniane są: ból gardła, kaszel, ból głowy, zmęczenie i senność, podwyższone ciśnienie tętnicze, obrzęki płuc (1).

Umiarkowany klimat Polski z założenia nie daje podstaw do kształtowania się epizodów smogowych typu Los Angeles. Raczej występujące problemy koncentrują się wokół smogu zimowego i zanieczyszczenia powietrza drobnym pyłem PM_{10} i $\text{PM}_{2.5}$ (3, 4) oraz benzo(a)pirenem (4), a przecież w ostatnich latach obserwuje się coraz częściej tzw. fale upałów typowe dla okresu letniego. Specyficzne warunki meteorologiczne, przy wzrastającym natężeniu ruchu drogowego w dużych aglomeracjach, prowadzą do częstego naruszania obowiązujących norm jakości powietrza atmosferycznego, w tym dopuszczalnego stężenia dwutlenku azotu NO_2 oraz ozonu O_3 . Opracowanie Polskiego Alarmu Smogowego z 2019 r. ujawniło, iż w Polsce najgorsza sytuacja miała miejsce w Krakowie, Katowicach, Warszawie i Wrocławiu, w wąskich kanionach ulicznych, przy drogach posiadających kilka pasów jazdy w jednym kierunku. Wykazano, że w przypadku 75% punk-

of asthma, nasal and oral cavity ulceration, and conjunctival (1, 6).

The relationship between exposure to ozone and respiratory incidents was revealed with a certain delay, usually 2-3 days; longer delays are less frequently analyzed and it is usually difficult to clearly explain the obtained results (7). Bhaskaran et al., note in their research a seemingly protective effect in case of longer delays (lower, usually negative relative risk), however, this problem is mainly observed in the Poisson models used in the assessment (7, 8). Own results obtained for mentioned above model in the Silesian Voivodeship showed a significantly lower risk of hospitalization due to bronchitis in response to an increase in the 10-day moving average ozone concentration by $IQR=50,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (7). While the nonlinear model (*Distributed Lag Non-Linear Model* – DLNM), used in the same study, confirmed, that the increase in ozone concentration by $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ compared to the limit value ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) had a significant impact on the increased number of hospitalizations due to bronchitis in the first three days after exposure (7).

Thus, the obtained results, their detailed discussion, and the review of the current research methodology in this area revealed the need to verify the investigated cause-effect relationships with the use of non-linear methods of dose-response function modeling, also in our country (7, 9-11).

AIM

The aim of the study was to assess the impact of aerosanitary factors favor the formation of summer smog episodes, on the number of outpatient visits as well as hospitalizations due to total respiratory diseases (J00-J99), and because of selected acute respiratory diseases registered in the National Health Fund (NFZ) database in the period from January 1, 2016, to August 31, 2017, in the Silesian Voivodeship.

MATERIAL AND METHODS

Secondary epidemiological data for the period 01/01/2016-31/08/2017 was obtained from the National Health Fund, Branch in Katowice. In the model of ecological study, was estimated the delayed respiratory health risk of exposure to sanitary and meteorological conditions characteristic of photochemical smog. The analysis was based on the daily register of outpatient visits and hospitalization among the Silesian Voivodeship inhabitants and was related to the following reasons (codes according to ICD-10): J00-J99 – total respiratory diseases, J00 – acute pharyngitis and rhinitis (colds), J04 – acute laryngotracheitis, J10-J11 – influenza, J12-J18

tów pomiarowych stężenia NO_2 przekroczone poziom dopuszczalny stężenia średniorocznego, który wynosi $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (5). Tymczasem tlenki azotu wykazują działanie prooksydacyjne, ich wdychanie wraz z powietrzem atmosferycznym może wywołać stany zapalne w obrębie dróg oddechowych, zaostrzyć objawy astmy, powodować owrzodzenia w obrębie jamy nosowej i ustnej oraz podrażnienie spojówek (1, 6).

Związek pomiędzy narażeniem na ozon a incydentami oddechowymi ujawnia się z pewnym opóźnieniem, które wynosi zazwyczaj 2-3 dni; dłuższe opóźnienia są rzadziej analizowane i zwykle trudno jest jednoznacznie wytłumaczyć uzyskane wyniki (7). Bhaskaran i wsp., w swoich badaniach, zwracają uwagę na pozornie ochronny efekt przy dłuższych opóźnieniach (niższy, często ujemny, poziom ryzyka względnego), jednak problem ten obserwowany jest głównie w badaniach z wykorzystaniem modelu Poissona (7, 8). Wyniki analiz prowadzonych z udziałem tej metody w woj. śląskim wykazały istotnie niższe ryzyko hospitalizacji z powodu zapalenia oskrzeli w odpowiedzi na wzrost 10-dniowej średniej kroczącej stężenia ozonu o wartość $IQR=50,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (7). Podczas gdy zastosowanie modelu nieliniowego (ang. *Distributed Lag Non-Linear Model* – DLNM) w tej samej pracy potwierdziło, że wzrost stężenia ozonu o $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w stosunku do wartości granicznej ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ma istotny wpływ na zwiększoną liczbę hospitalizacji z powodu zapalenia oskrzeli już w trakcie pierwszych trzech dni po narażeniu (7).

Tym samym uzyskane wyniki, ich szczegółowa dyskusja oraz przegląd aktualnej metodologii badawczej w tym zakresie uświadomiły konieczność weryfikacji badanych zależności przyczynowo-skutkowych z wykorzystaniem innych niż liniowe, metod modelowania funkcji dawka-odpowiedź, także w naszym kraju (7, 9-11).

CEL PRACY

Celem pracy była ocena wpływu czynników aerosanitarnych odpowiedzialnych za kształtowanie się letnich epizodów smogowych na liczbę porad udzielanych w podstawowej opiece zdrowotnej, jak i hospitalizacji z przyczyn oddechowych ogółem (J00-J99) oraz z powodu wybranych ostrych incydentów oddechowych rejestrowanych w ramach świadczeń Narodowego Funduszu Zdrowia (NFZ) i udzielonych w okresie od 1 stycznia 2016 r. do 31 sierpnia 2017 r. na terenie województwa śląskiego.

MATERIAŁ I METODY

Praca miała charakter epidemiologicznego badania ekologicznego z wykorzystaniem danych udostępnionych przez Śląski Oddział Wojewódzki Narodowego

– pneumonia, J20-J21 – acute bronchitis and/or bronchioles, J45-J46 – exacerbation of asthma or an asthmatic condition. The study group was included only those living in the central area of the Silesian agglomeration (COA), a region with 14 cities (3,337 km²) and 1,871,460 population in 2016 (12). The study was not a medical experiment, the obtained data were depersonalized, the presented project had the consent of the Bioethics Committee of the Medical University of Silesia in Katowice (KNW / 0022 / KB / 231/17), and the consent of the Silesian National Health Fund in Katowice (12-13386/IP-WPRS-1/WOKS/201).

The meteorological and ambient air quality data were gathered from the database of the Provincial Inspectorate for Environmental Protection in Katowice (13). Daily average (24-hour) O₃ ozone concentrations [μg/m³] and 8-hour averaged O₃(8h) levels were taken into account. Mentioned above data were available only in 2 automatic stations located in the COA area: Katowice (Kossutha Street) and Zabrze (Curie-Skłodowska Street). Due to the high correlation of ozone concentrations in both measuring stations, the levels from Katowice were adopted as the value of the average area for the entire COA region (13). Meteorological data including ambient air temperature, relative humidity, and wind speed, which favor the formation of photochemical smog were analyzed. In analyses, we used averaged unit measurements performed each 1 hour.

Distributed Lag Non-Linear Model (DLNM) available in the R v. 4.1.1 package (The R Foundation for Statistical Computing) was used to assess the relationship between exposure and health effect (14). The model included the expected number of health services μ_t at moment t , exposure to O₃(8h) at the $t-l$ moment preceding the health services, seasonality related to the climatic season of the year (12 interpolation nodes resulting from climatic variability of 7 seasons in the analyzed period of 1.6 years (6)), day of the week variation (*DOW*), and meteorological conditions such as ambient air temperature (*temp*), relative humidity (*humid*) and wind speed (*ws*). The maximum 21-day delay of the health effect was taken into account ($l=1, \dots, 21$). The model used B-splines (bs) and natural splines (ns) based on 3 interpolation nodes defined by the 10th, 50th, and 90th percentiles, or the 10th, 75th, and 90th percentiles. The choice of the function was dependent on the quasi-AIC criterion. The final model is as follows:

$$\ln(\mu_t) = \varepsilon + bs(temp_{t-1}, 3) + bs(humid_{t-1}, 3) + bs(ws_{t-1}, 3) + ns(O_2(8h)_{t-1}, 3) + DOW + ns(TIME, 12)$$

The criterion of statistical significance was $p < 0.05$.

Funduszu Zdrowia w Katowicach dla okresu 01.01.2016-31.08.2017. Podjęto próbę oszacowania opóźnionego ryzyka zdrowotnego z uwzględnieniem ekspozycji na warunki sanitarno-meteorologiczne charakterystyczne dla smogu fotochemicznego. Analizę przeprowadzono w oparciu o dzienny rejestr świadczeń medycznych (wizyt ambulatoryjnych i hospitalizacji) udzielonych mieszkańcom województwa śląskiego i dotyczących następujących przyczyn (kody wg. ICD-10): J00-J99 – choroby układu oddechowego ogółem, J00 – ostre zapalenia gardła i nosa (przeziębienie), J04 – ostre zapalenie krtani i tchawicy, J10-J11 – grypa, J12-J18 – zapalenie płuc, J20-J21 – ostre zapalenie oskrzeli i/lub oskrzelików, J45-J46 – zaostrzenie astmy lub stanu astmatycznego. Spośród beneficjentów świadczeń, mieszkańców województwa śląskiego, wybrano jedynie zamieszkujących centralny obszar aglomeracji śląskiej (COA), w skład którego wchodzi 14 miast (3 337 km²), o łącznej liczbie mieszkańców $N=1\ 871\ 460$ (2016 wg (12)).

Praca nie miała charakteru eksperymentu medycznego, pozyskane dane były odpersonalizowane, a na ich pozyskanie i przetwarzanie uzyskano zgodę ze Śląskiego Oddziału NFZ w Katowicach (12-13386/IP-WPRS-1/WOKS/201) oraz zgodę Komisji Bioetycznej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach (KNW/0022/KB/231/17).

Dane meteorologiczne oraz dotyczące stanu jakości powietrza atmosferycznego w badanym okresie zostały pobrane z bazy danych Wojewódzkiego Inspektora Ochrony Środowiska w Katowicach (13). Wzięto pod uwagę uśrednione całodobowo stężenia ozonu O₃ [μg/m³] oraz uśrednione wartości 8-godzinne O₃(8h). Dane te były dostępne jedynie w 2 automatycznych stacjach na terenie COA: w Katowicach na ul. Kossutha oraz w Zabrzu na ul. Curie-Skłodowskiej. Z uwagi na wysoką korelację pomiarów w obydwu stacjach pomiarowych wzięto pod uwagę jedynie wartości pozyskane ze stacji w Katowicach uznając je za wartości średnio-obszarowe dla całego regionu COA (13). Spośród danych meteorologicznych analizowano temperaturę i wilgotność powietrza oraz siłę wiatru, które są odpowiedzialne za warunki sprzyjające powstawaniu smogu fotochemicznego. Do analiz wzięto pod uwagę uśrednione całodobowo pomiary jednostkowe wykonywane co 1 godzinę.

W modelowaniu wykorzystano metodę DLNM dostępną w pakiecie R v.4.1.1 (The R Foundation for Statistical Computing) (14). W modelu quasi-Poisson'a dla oczekiwanej liczby zdarzeń zdrowotnych μ_t w momencie t oprócz ekspozycji na O₃(8h) w momencie $t-l$ poprzedzającym zdarzenie zdrowotne, wzięto również pod uwagę sezonowość związaną z klimatyczną porą roku (12 węzłów interpolacyjnych wynikających ze zmienności klimatycznej 7 pór w ciągu roku w badanym okresie 1,6(6) roku), zmienność wynikającą z dnia tygodnia (*DOW*), oraz warunki meteorologiczne, w tym

RESULTS

The obtained results indicated that in the years 2016-2017 in the Silesian Voivodeship there were short (2-4 day) smog episodes of photochemical type, and always occurred during summer seasons. The data presented in Table I show that the limit value of $O_3(8h)$ ($120 \mu g/m^3$) concentration was exceeded 44 times, in the studied period, therein 26 times in the summer of 2017. With the increase in ozone concentration during the summer, high ambient air temperatures were recorded with simultaneously low relative humidity and wind speed. High positive correlations were confirmed for the relationship

pomiary temperatury (*temp*), wilgotności powietrza (*humid*) i prędkości wiatru (*ws*). Przyjęto maksymalne 21-dniowe opóźnienie efektu zdrowotnego ($l=1, \dots, 21$). W modelu zastosowano B-splajny (*bs*) i splajny naturalne (*ns*), bazując na 3 węzłach interpolacyjnych określonych przez 10, 50 i 90 percentyl lub 10, 75 i 90 percentyl. Wybór funkcji uzależniono od kryterium quasi-AIC. Ostateczny model przyjął postać:

$$\ln(\mu_l) = \varepsilon + bs(temp_{t-1,3}) + bs(humid_{t-1,3}) + bs(ws_{t-1,3}) + ns(O_2(8h)_{t-1,3}) + DOW + ns(TIME,12)$$

Za kryterium istotności statystycznej przyjęto wartość $p < 0,05$.

Table I. Aerosanitary condition in ambient air in the Silesian Voivodeship, in the whole period 01.01.2016-31.08.2017, and separately in the winter and summertime

Tabela I. Stan aerosanitarny powietrza w COA województwa śląskiego, w okresie 01.01.2016-31.08.2017 z wyodrębnieniem okresów zimowych i letnich

Factors/Parametry	Period/Okres 01.01.2016-31.08.2017	Winter/Zima	Summer/Lato
Wind speed (m/s) / Prędkość wiatru (m/s) X±S / M (Q1-Q3) / Min÷Max	0,8±0,5 0,8 (0,4-1,2) 0÷2,6	1±0,6 1 (0,6-1,2) 0÷2,6	0,5±0,4 0,5 (0,2-0,8) 0÷1,8
Air temperature (°C) / Temperatura powietrza (°C) X±S / M (Q1-Q3) / Min÷Max	9,3±8,6 9,2 (2,6-16,5) -18,4÷26,8	0±5,3 1,4 (-3,1-3,6) -18,4÷11,2	18,6±3,2 18,4 (16,4-20,4) 9,6÷26,8
Relative humidity (%) / Wilgotność względna (%) X±S / M (Q1-Q3) / Min÷Max	80,3±11,5 81,5 (71,7-90,3) 48÷99	85,7±9,5 87,8 (80,4-93) 50,8÷99	76,1±9,6 74,3 (68,7-83,3) 58÷97
Daily ozone concentration O_3 ($\mu g/m^3$) / Średniodobowe stężenie ozonu O_3 ($\mu g/m^3$) X±S / M (Q1-Q3) / Min÷Max	45,7±21,5 47 (28-61,3) 3,7÷99,3	31,1±16,4 28,5 (18,8-41,8) 5÷78,7	58±16,2 56,7 (47-68,7) 19,7÷99,3
8h Ozone concentration / Stężenie ozonu $O_3(8h)$ ($\mu g/m^3$) X±S / M (Q1-Q3) / Min÷Max	70,7±32,6 71,3 (44,3-94,7) 4,5÷150,3	45±19,4 44 (30,4-61,3) 7÷87,3	95,3±25,3 94,7 (77-115,3) 29÷149
Number of days with $O_3(8h) \geq 120 \mu g/m^3$ / Liczba dni z $O_3(8h) \geq 120 \mu g/m^3$ n (%)	44 (100)	0 (0)	31 (70,5)
R'Spearman correlation coefficient in relationship between 8h ozone concentration and nitrogen oxides or meteorological factors (p-value) / Współczynnik korelacji R' Spearmana dla zależności pomiędzy stężeniem O_3 8h ($\mu g/m^3$) a stężeniami tlenków azotu i czynnikami meteorologicznymi (wartość istotności statystycznej p)	NO_2 ($\mu g/m^3$)	$R^2 = -0,56$ ($p < 0,0001$)	$R^2 = 0,45$ ($p < 0,0001$)
	NO ($\mu g/m^3$)	$R^2 = -0,57$ ($p < 0,0001$)	$R^2 = 0,35$ ($p < 0,0001$)
	NO_x ($\mu g/m^3$)	$R^2 = -0,57$ ($p < 0,0001$)	$R^2 = 0,22$ ($p < 0,01$)
	Prędkość wiatru (m/s) / Wind speed (m/s)	$R^2 = 0,45$ ($p < 0,0001$)	$R^2 = -0,29$ ($p = 0,0001$)
	Air temperature (°C) / Temperatura powietrza (°C)	$R^2 = 0,47$ ($p < 0,0001$)	$R^2 = 0,83$ ($p < 0,0001$)
Relative humidity (%) / Wilgotność względna (%)	$R^2 = -0,62$ ($p < 0,0001$)	$R^2 = -0,67$ ($p < 0,0001$)	

Period/Okres: 01.01.2016-31.08.2017

Winter/Zima: 01.01.2016-19.03.2016; 21.12.2016-19.03.2017

Summer/Lato: 21.06.2016-21.09.2016; 21.06.2017-31.08.2017

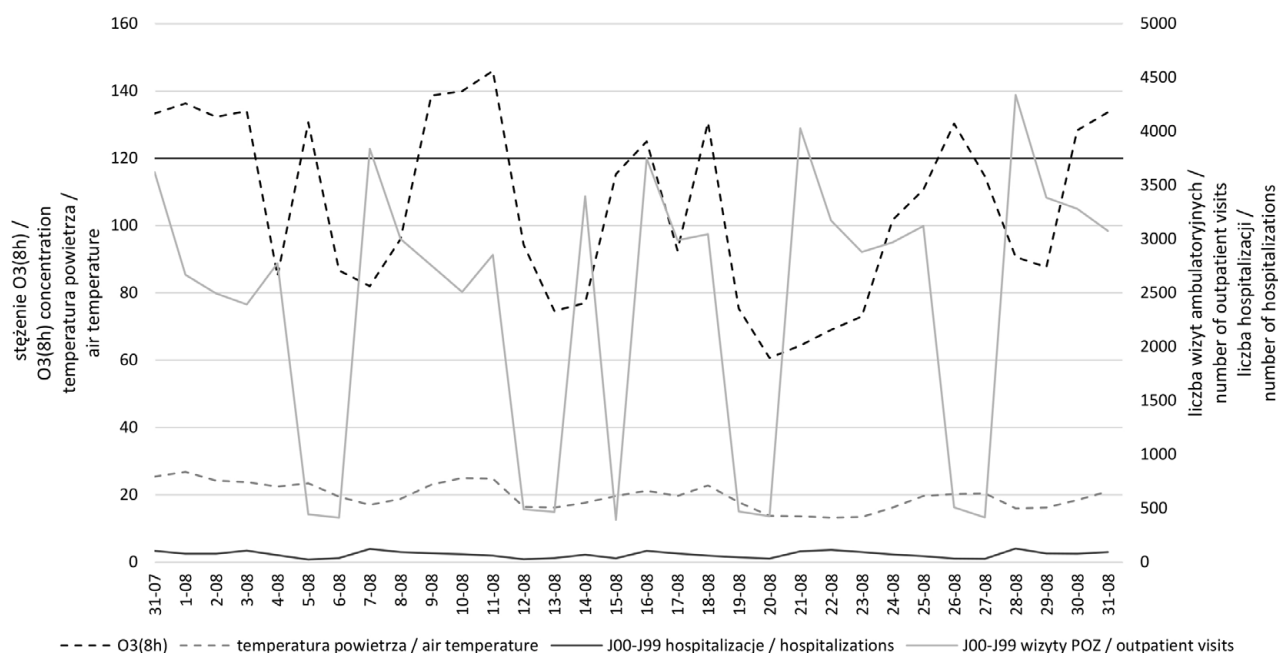


Figure 1. Number of outpatient visits and hospitalizations due to respiratory diseases (J00-J99 according to ICD-10) related to ozone O₃(8h) concentration (including a limit value of 120 µg/m³) and ambient air temperature, in COA of the Silesian Voivodeship, in August 2017

Rycyna 1. Liczba wizyt ambulatoryjnych i hospitalizacji z powodu chorób układu oddechowego J00-J99 wg ICD-10 w odniesieniu do stężenia ozonu O₃(8h) (z wyodrębnionym poziomem granicznym 120 µg/m³) oraz temperatury powietrza, w COA województwa śląskiego, w sierpniu 2017 roku

between nitrogen oxides (NO, NO₂, NO_x) and ozone O₃(8h) concentrations. At the same time, were obtained strong negative and statistically significant Spearman correlation coefficients for the relationship between ozone O₃(8h) and other pollutants concentrations ($R'=-0.42$; $p<0.0001$ PM₁₀), ($R'=-0.59$; $p<0.0001$ PM_{2,5}), ($R'=-0.57$; $p<0.0001$ CO), and ($R'=-0.61$; $p<0.0001$ SO₂) respectively.

Figure 1 shows the daily number of outpatient visits and hospitalizations due to respiratory diseases in August 2017, which were observed in 13 days with concentrations of ozone exceeding the limit value O₃(8h) ≥ 120 µg/m³. We noted some delays effects in the increase of outpatient visits related to an increase in ozone O₃(8h) concentrations.

The number of outpatient visits and hospitalizations due to total respiratory diseases (J00-J99 according to ICD-10) in the summertime of 2016-2017 accounted for 10.8% and 18% of all registered medical services, respectively (Table II presents the detailed results). During the study period, there was no influenza epidemic, moreover, the number of new influenza cases was low in the summer periods contrary to other seasons of the year.

Figure 2 shows the relative risk of daily outpatient visits due to all respiratory diseases (J00-J99), obtained results suggest that the risk was higher directly during days with high ozone

WYNIKI

Uzyskane wyniki wskazały, że w województwie śląskim w latach 2016-2017 miały miejsce krótkie (2-4 dniowe) epizody smogowe typu fotochemicznego, które zawsze dotyczyły sezonu letniego. Przedstawione w Tabeli I dane wskazały, iż w badanym okresie graniczne stężenie ozonu O₃(8h) (120 µg/m³) zostało przekroczone aż 44-krotnie, w tym 26-krotnie w okresie lata 2017 roku. W trakcie miesięcy letnich wraz z podwyższonymi wartościami stężenia ozonu rejestrowano wysokie temperatury powietrza przy jednocześnie niskich wartościach wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru. Potwierdzono również wysokie pozytywne korelacje pomiędzy stężeniami tlenków azotu (NO, NO₂, NO_x) a stężeniami ozonu O₃(8h). Jednocześnie wykazano ujemne i istotne statystycznie korelacje pomiędzy stężeniami ozonu O₃(8h) a innymi zanieczyszczeniami powietrza atmosferycznego: PM₁₀ ($R'=-0,42$; $p<0,0001$), PM_{2,5} ($R'=-0,59$; $p<0,0001$), CO ($R'=-0,57$; $p<0,0001$), SO₂ ($R'=-0,61$; $p<0,0001$).

Rycyna 1 odzwierciedliła dzienną liczbę porad i hospitalizacji z przyczyn oddechowych w sierpniu 2017 roku, kiedy notowano aż 13 dni z O₃(8h) ≥ 120 µg/m³. Widoczne były pewne opóźnienia wzrostu liczby porad ambulatoryjnych z przyczyn oddechowych w stosunku do obserwowanych wzrostów stężenia ozonu O₃(8h).

Table II. Number of outpatient visits and hospitalizations due to respiratory diseases in COA of the Silesian Voivodeship, in the whole period, and separate in the summertime

Tabela II. Liczba wizyt ambulatoryjnych i hospitalizacji z powodu chorób układu oddechowego w COA województwa śląskiego, w całym badanym okresie z wyodrębnieniem okresów letnich

Diseases of respiratory system acc. to ICD-10 / Choroby układu oddechowego wg ICD-10	Period/Okres 01.01.2016-31.08.2017		Period/Okres 21.06.2016-31.08.2016		Period/Okres 21.06.2017-31.08.2017	
	Visits/ Wizyty n (100%)	Hospitalizations/ Hospitalizacje n (100%)	Visits/ Wizyty n (%)	Hospitalizations/ Hospitalizacje n (%)	Visits/ Wizyty n (%)	Hospitalizations/ Hospitalizacje n (%)
Total/Ogółem J00-J99	3550901	60346	196613 (5,5)	5532 (9,2)	188648 (5,3)	5322 (8,8)
Acute nasopharyngitis / Ostre zapalenie nosa i gardła J00	855494	1375	38793 (4,5)	74 (5,4)	35794 (4,2)	75 (5,5)
Acute laryngitis and tracheitis / Ostre zapalenie krtani i tchawicy J04	192098	1310	8755 (4,6)	55 (4,2)	8240 (4,3)	37 (2,8)
Influenza / Grypa J10-J11	27355	182	317 (1,2)	1 (0,6)	318 (1,2)	0 (0,0)
Pneumonia / Zapalenie płuc J12-J18	54018	9142	2846 (5,3)	565 (6,2)	2722 (5,0)	591 (6,5)
Bronchitis / Zapalenie oskrzeli J20-J21	336106	4674	12994 (3,9)	170 (3,6)	11957 (3,6)	168 (3,6)
Asthma / Astma J45-J46	156836	3815	14847 (9,5)	384 (10,1)	13835 (8,8)	371 (9,7)
Number of days with $O_3(8h) \geq 120$ $\mu g/m^3$ / Liczba dni z $O_3(8h) \geq 120$ $\mu g/m^3$ n (%)	44		13 (29,5)		18 (40,9)	

Visits/Wizyty – Number of outpatient visits / Liczba wizyt ambulatoryjnych.

Hospitalizations/Hospitalizacje – Number of hospitalizations / Liczba hospitalizacji

$O_3(8h)$ concentrations but a statistically significant relationship was documented only for a longer time of exposure (9-day delay in response to a higher level of ozone). The highest and statistically significant risk of outpatient visits related to exceeding the limit value of $O_3(8h)$, was registered with a 2-week delay. The risk of outpatient visits has been increased by 7.5% (95% CI: 1.8%-13.6%), with the increase in the ozone $O_3(8h)$ concentration by $10 \mu g/m^3$ compared to the limit value of $120 \mu g/m^3$. In the case of acute pharyngitis and rhinitis (J00) a significant delayed health effect was recorded on the 8th day after exposure, RR=1.06 (95%CI: 1.01-1.12), while the highest risk of outpatient visits occurred on the 12th day. On the other hand, a significant risk of acute laryngotracheitis (J04) increased by 6.7% (95%CI: 0.07%-13.7%) in response to the increase in $O_3(8h)$ concentration two weeks before. For pneumonia (J12-J18) no statistically significant impact of ozone concentration on the risk of outpatient visits was found. A significant increase in the risk of outpatient visits due to bronchitis (J20-J21) appeared 2-3 weeks after exposure, with the highest value on the 13th day

Liczba wizyt ambulatoryjnych i hospitalizacji w wyniku zachorowań z powodu chorób układu oddechowego (J00-J99 wg ICD-10) w okresach letnich 2016-2017 stanowiła odpowiednio 10,8% oraz 18% wszystkich zarejestrowanych świadczeń zdrowotnych w badanym okresie. Szczegółowy zakres świadczeń zdrowotnych przedstawiono w Tabeli II. W okresie badawczym nie stwierdzono epidemii grypy, a liczba zachorowań na grypę w okresach letnich kształtowała się na niskim poziomie w stosunku do pozostałych pór roku.

Wyniki przedstawione na Rycinie 2 wskazały, że ryzyko dziennych wizyt ambulatoryjnych z powodu ogółu chorób układu oddechowego (J00-J99) było wyższe bezpośrednio w trakcie dni z wysokimi stężeniami ozonu $O_3(8h)$, ale istotnie statystyczny wzrost ryzyka ujawniał się dopiero z opóźnieniem 9-dniowym w odpowiedzi na podwyższone wartości stężenia ozonu. Największe i istotne statystycznie ryzyko wizyt ambulatoryjnych, w związku z przekroczonym poziomem dopuszczalnym $O_3(8h)$, odnotowano z 2-tygodniowym opóźnieniem. Ryzyko wizyt ambulatoryjnych wzrastało wtedy o 7,5% (95% PU: 1,8%-13,6%), przy wzroście stężenia ozonu $O_3(8h)$ o $10 \mu g/m^3$ względem wartości granicznej

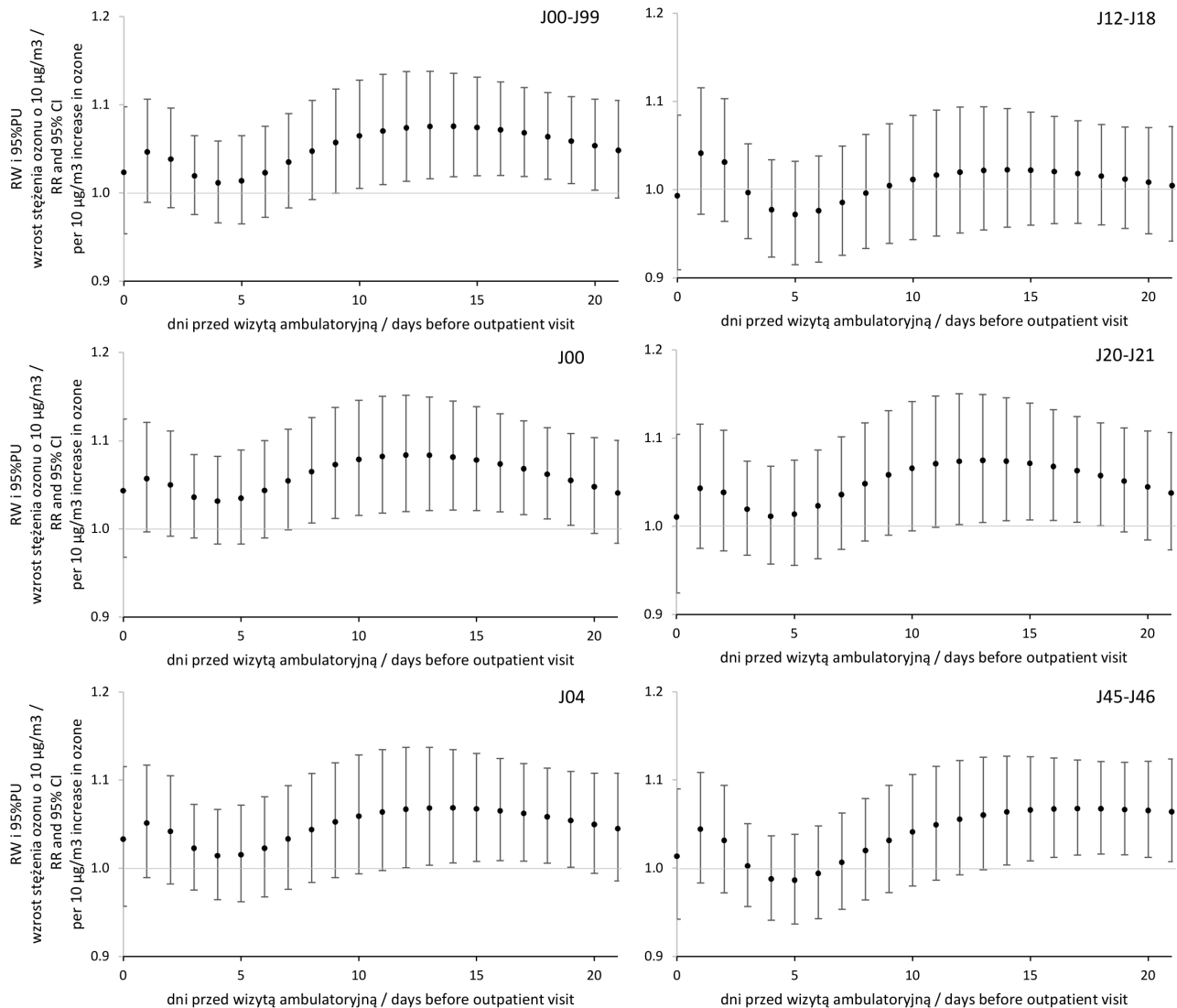


Figure 2. Relative risk (RR) of outpatient visits due to respiratory diseases related to the increase of ozone O₃(8h) concentration by 10 µg/m³ relative to the limit value of 120 µg/m³

Rycina 2. Ryzyko względne (RW) zgłoszeń do POZ z powodu chorób układu oddechowego związane ze wzrostem stężenia ozonu O₃(8h) o 10 µg/m³ względem wartości granicznej 120 µg/m³

(RR=1.07; 95%CI: 1.004-1.15). Outpatient visits for asthma were significantly more often registered with a delay of at least 2 weeks. Figure 2 presents detailed results included in Appendix 1.

Figure 3 reveals that a significant increase in the risk of hospitalization due to total respiratory diseases (J00-J99) appeared with a much higher delay than outpatient visits. The highest and statistically significant risk of hospitalization was recorded with a 3-week delay. The risk of hospitalization increased by 4.7% (95%CI: 0.9%-8.6%), with the increase in the ozone O₃(8h) concentration by 10 µg/m³ compared to the limit value of 120 µg/m³. For acute pharyngitis (J00), acute laryngotracheitis (J04), pneumonia (J12-J18), and asthma (J45-J46) no significant effect of O₃(8h) ozone concentration was found. On the other hand, a significant risk of hospitalization due

nej 120 µg/m³. W przypadku ostrego zapalenia gardła i nosa (J00) istotny opóźniony efekt zdrowotny rejestrowano 8 dnia od narażenia RW=1,06 (95%PU: 1,01-1,12), podczas gdy najwyższe ryzyko wizyt ambulatoryjnych dotyczyło 12 dnia. Z kolei istotne ryzyko zgłoszeń ostrego zapalenia krtani i tchawicy (J04) wzrastało o 6,7% (95%PU: 0,07%-13,7%) w odpowiedzi na wzrost stężenia O₃(8h) sprzed dwóch tygodni. W przypadku zapalenia płuc (J12-J18) nie stwierdzono znamiennego statystycznie wpływu stężenia ozonu na wzrost ryzyka przyjęć w poradniach. Istotny wzrost ryzyka zgłoszenia pacjenta z zapaleniem oskrzeli (J20-J21) ujawniał się po 2-3 tygodniach od narażenia, przyjmując najwyższą wartość 13 dnia RW=1,07 (95%PU: 1,004-1,15). Wizyty ambulatoryjne z powodu astmy znamienne częściej rejestrowano z opóźnieniem co najmniej 2-tygodniowym.

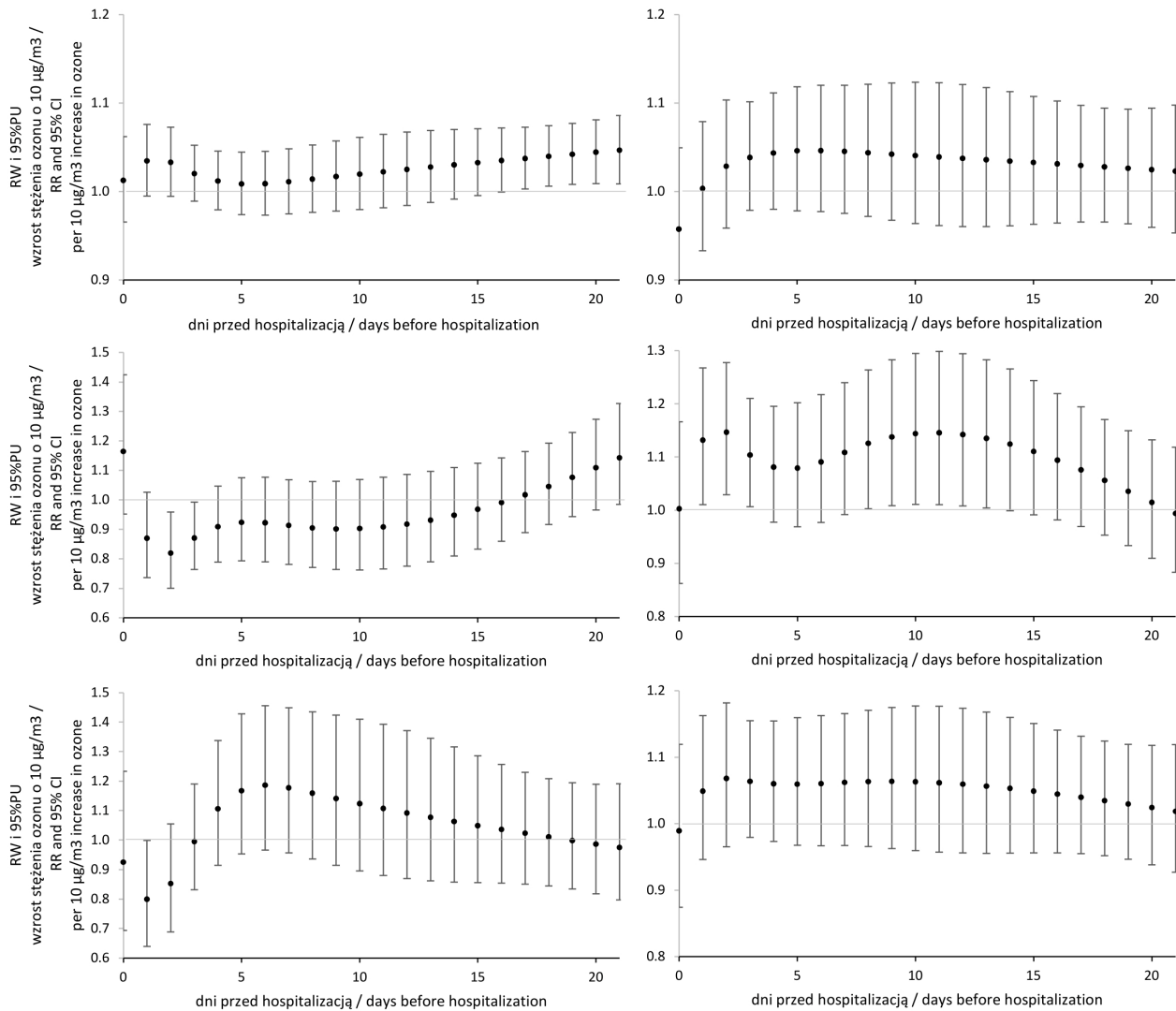


Figure 3. Relative risk (RR) of hospitalizations due to respiratory diseases related to the increase of ozone O₃(8h) concentration by 10 µg/m³ relative to the limit value of 120 µg/m³

Rycina 3. Ryzyko względne (RW) hospitalizacji z powodu chorób układu oddechowego związane ze wzrostem stężenia ozonu O₃(8h) o 10 µg/m³ względem wartości granicznej 120 µg/m³

to bronchitis (J20-J21) was revealed 2-4 days after exposure, with the largest value on the second day, RR=1.15 (95%CI: 1.03-1.28). Detailed relative risk values were presented in Appendix 2.

DISCUSSION

Presented results of the ecological study allowed for establishing the cause-effect relationship between unit increase in ozone O₃(8h) concentration and the response of the respiratory system in the exposed population of the central area of the Silesian agglomeration (COA). The mentioned response was measured by the relative risk of daily outpatient visits or hospitalizations due to total respiratory causes, and separately for acute pharyngitis (J00), acute laryngotracheitis (J04), influenza (J10-J11),

Dane zamieszczone na Rycinie 2 przedstawiono w postaci tabelarycznej w Załączniku 1.

Wyniki przedstawione na Rycinie 3 wskazały, iż istotny wzrost ryzyka hospitalizacji z powodu ogółu chorób układu oddechowego (J00-J99) pojawiał się ze znacznie większym opóźnieniem niż miało to miejsce w przypadku wizyt ambulatoryjnych. Największe i istotne statystycznie ryzyko hospitalizacji odnotowano z 3-tygodniowym opóźnieniem. Ryzyko hospitalizacji wzrastało o 4,7% (95% PU: 0,9%-8,6%), przy wzroście stężenia ozonu O₃(8h) o 10 µg/m³ względem wartości granicznej 120 µg/m³. W przypadku ostrego zapalenia gardła i nosa (J00), ostrego zapalenia krtań i tchawicy (J04), zapalenia płuc (J12-J18) i astmy (J45-J46) nie stwierdzono znamiennej zmiany stężenia ozonu O₃(8h). Z kolei istotne ryzyko hospitalizacji z powodu zapalenia oskrzeli (J20-J21) ujawniało się już

pneumonia (J12-J18), acute bronchitis and/or bronchiolitis (J20-J21) and exacerbations of asthma or an asthmatic state (J45-J46). In the justification of aimed goal, it was worth explaining that the frequency of exceeding the ozone limit value grow up three times in 2017 compared to the previous year (2016). The acceptable number of days exceeding the $O_3(8h)$ concentration declared by the relevant Regulation of the Minister of the Environment of 2012 (Journal of Laws of 2012, item 1031) is 25 (15).

According to WHO (World Health Organization, 2008) annually 14,000 hospitalizations due to respiratory diseases in Europe were related to exceeding the limits value of ozone concentration $O_3(8h)$ (16). Moreover, current data (2019) suggest that almost everyone in European Union cities (99%) was exposed to ozone concentrations exceeding the limit value, recommended by the WHO ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), and every third inhabitant (34%) was exposed to levels higher than those recommended by the EU ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (17,18). Simultaneously, the results of the multi-center project APHENA (*The 'Air Pollution and Health: A Combined European and North American Approach'*), revealed a small but statistically significant increase in the number of deaths from natural causes associated with the increase in $O_3(8h)$ concentration by $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the summer period; increase by 0.29% (95%CI: 0.19-0.39%) with a 1-day delay (10). The serious problem concern inhabitants of southern and central Europe countries, it was documented that even short-term exposure to excess ozone concentration may impair lung function and weaken the antioxidant defense of the respiratory tract, especially in children, the elderly, and patients with asthma, chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and allergic rhinitis (16). There is evidence that lung hyperresponsiveness occurs after a 7-hour exposure to the ozone O_3 concentration within $20-70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ while acute respiratory symptoms appear exposition to concentrations ranging from $50-150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (19). Symptoms may occur after 24 hours from the exposure, and observed respiratory health effects include shortness of breath and chest pain, wheezing and coughing, inflammation of the interstitial lung tissue, increased risk of asthma attacks, the need for treatment, and hospitalization of people with chronic lung diseases, and even death (2, 19).

Obtained results confirmed the existence of a relationship between exposure to ambient ozone and the number of outpatient visits and hospitalizations of the Silesian Voivodeship inhabitants. There was noted a significant increase in the relative risk of outpatient visits due to total respiratory diseases, acute pharyngitis and rhinitis, acute laryngotracheitis,

po 2-4 dniach od narażenia, przyjmując najwyższą wartość drugiego dnia $RW=1,15$ (95%PU: 1,03-1,28). Dane zamieszczone na Rycinie 3 przedstawiono w postaci tabelarycznej w Załączniku 2.

DYSKUSJA

Analiza wtórnych danych epidemiologicznych dostarczyła argumentów niezbędnych do ustalenia związku przyczynowo-skutkowego pomiędzy wzrostem stężenia ozonu $O_3(8h)$, a odpowiedzią układu oddechowego narażonej populacji centralnego obszaru aglomeracji śląskiej (COA). Odpowiedź tę mierzono poprzez ryzyko dziennych wizyt w poradniach oraz dobowych hospitalizacji z przyczyn oddechowych ogółem, a także odrębnie dla ostrego zapalenia gardła i nosa (J00), ostrego zapalenia krtani i tchawicy (J04), grypy (J10-J11), zapalenia płuc (J12-J18), ostrego zapalenia oskrzeli i/lub oskrzelików (J20-J21) i zaostrzenia astmy lub stanu astmatycznego (J45-J46). W uzasadnieniu podjętego tematu warto było wskazać, że o ile w roku 2016 dopuszczalny poziom ozonu (pomiar uśredniony do 8-godzinnego) został przekroczony 13 razy to już w roku 2017 miało to miejsce 31-krotnie. Zatwierdzona stosownym Rozporządzeniem Ministra Środowiska z 2012r. (Dz.U. 2012 poz. 1031) dopuszczalna liczba dni z przekroczeniem stężenia $O_3(8h)$ wynosi 25 (15). Według danych WHO (World Health Organization) z 2008 r. szacowano, iż w Europie rocznie 14 000 hospitalizacji z powodu chorób układu oddechowego miało związek z przekroczeniami norm stężenia ozonu $O_3(8h)$ (16). Z kolei nowsze dane (2019) wskazały, iż prawie wszyscy mieszkańcy miast Unii Europejskiej (99%) byli narażeni na przekroczenia dopuszczalnego stężenia ozonu, rekomendowanego przez WHO ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a co trzeci mieszkaniec (34%) był narażony na stężenia wyższe niż te rekomendowane przez UE ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (17, 18). Jednocześnie, wcześniejsze wyniki wielośrodowego projektu APHENA (*The "Air Pollution and Health: A Combined European and North American Approach"*), ujawniły niewielki, ale istotny statystycznie wzrost liczby zgonów z przyczyn naturalnych związany ze wzrostem stężenia $O_3(8h)$ o $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w okresie letnim (wzrost o 0,29% (95%PU: 0,19-0,39%) z 1-dniowym opóźnieniem) (10). Największy problem dotyczył mieszkańców krajów Europy południowej i centralnej, a jednocześnie udokumentowano, iż nawet krótkotrwała ekspozycja na ponadnormatywne stężenie ozonu może upośledzać czynności płuc i osłabiać antyoksydacyjną obronę dróg oddechowych, zwłaszcza u dzieci, osób starszych i chorych na astmę, przewlekłą obturacyjną chorobą płuc (POChP) i z alergicznym nieżytem nosa (16). Istnieją dowody, iż nadreaktywność płuc występuje już po 7-godzinnej ekspozycji na ozon O_3 w zakresie stężenia $20-70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast ostre objawy ze strony układu

bronchitis, and asthma in response to the growth of ozone $O_3(8h)$ concentration by $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ above the limit value of $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The risk was higher even 1-2 days after exposure, although it was not significant, statistically significant risk was related to a delayed 10-day exposure. In the case of relative risk of hospitalization due to total respiratory diseases (J00-J99), a statistically significant relationship was related to the higher delayed exposure of 17 days. An earlier and statistically significant effect was documented only in the case of bronchitis (J20-J21), a higher relative risk of hospitalization occurred 2-4 days after exposure. Finally, we concluded, that future studies rather have to focus on the results indicating lung hyperresponsiveness within the first few days of exposure.

As we mentioned in the introduction section the values of the relative risk of outpatient visits most likely depend on the chosen method of exposure modeling (7). The most frequently used model was the Poisson model, however, the alternative and promising method in the analysis of time series is DLNM (9). This method was used in a Taiwan study conducted from 2000 to 2009 (20), a significant increase in the relative risk of outpatient visits due to respiratory diseases was documented 5 days after exposure, $RR=1.03$ (95%CI: 1.02-1.04). Similarly, the results of the Vietnam study (2010-2014) indicated a significant increase in the relative risk of hospitalization due to respiratory diseases by 0.7% (95%CI: 0.1%-1.3%) in response to the increase of O_3 concentration by $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 5 days after exposure (21). In addition, DLNM time-series analysis of registry data from 184 Chinese cities in 2014-2017 showed a serious increase in daily hospital admissions of pneumonia in warm seasons. Each increase in ozone concentration by $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ was related to the increase in the number of hospitalizations by 0.30% (95%CI: 0.17%-0.43%) on the same day and by 0.22% (95%CI: 0.05%-0.34%) with a 1-day delay (22). The results of the recent meta-analysis confirmed a statistically significant positive relationship between ozone $O_3(8h)$ concentration increase by $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and asthma exacerbation with a 1-day delay. The value of the total calculated relative risk based on 24 publications was 1.008 (95%CI: 1.005-1.011) (23).

It cannot be excluded that observed small differences in the delays of respiratory health effects were an effect of differentiation of exposure, but also spatial variability of access to medical services, which was observed within the whole country (24). It is difficult also to compare results obtained in different climatic zones, moreover, it should be noted that mentioned analyses in Poland are not systematically conducted. We decided that the obtained results

oddechowego pojawiają się przy narażeniu na stężenia w zakresie $50\text{-}150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (19). Symptomy mogą pojawiać się już po 24 godzinach od ekspozycji, a wśród skutków zdrowotnych w obrębie układu oddechowego wymieniane są głównie: duszności i bóle w klatce piersiowej, świszczący oddech i kaszel, zapalenie tkanki śródmiąższowej płuc, zwiększone ryzyko ataków astmy, konieczność leczenia i hospitalizacji osób z przewlekłymi chorobami płuc, a nawet zgon (2, 19).

Wyniki badania własnego ujawniły istnienie związku pomiędzy narażeniem na ozon a liczbą wizyt w poradniach i hospitalizacji u mieszkańców województwa śląskiego. W odpowiedzi na wzrost stężenia $O_3(8h)$ o $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ względem wartości granicznej $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ następował istotny wzrost ryzyka wizyt ambulatoryjnych z powodu chorób układu oddechowego ogółem, ostrego zapalenia gardła i nosa, ostrego zapalenia krtań i tchawicy, zapalenia oskrzeli oraz astmy. Ryzyko to było większe, choć nieistotne statystycznie, w przypadku 1-2 dni po narażeniu, a następnie jest istotnie większe dla 10-dniowego opóźnienia. W przypadku ryzyka hospitalizacji z powodu ogółu chorób układu oddechowego (J00-J99) istotny wzrost pojawiał się z jeszcze większym opóźnieniem sięgającym 17 dni. Jedynie w odniesieniu do zapalenia oskrzeli (J20-J21) istotnie większe ryzyko hospitalizacji pojawiało się już po 2-4 dniach od narażenia. Odwołując się jednak do omawianych powyżej konsekwencji zdrowotnych w wyniku ekspozycji na ozon, należałoby skupić się głównie na wynikach wskazujących na nadreaktywność płuc występującą w trakcie kilku pierwszych dni od narażenia.

Wartości oszacowanego ryzyka dla wizyt ambulatoryjnych najpewniej zależą od wybranej metody modelowania narażenia (7). Najczęściej stosowanym do tej pory modelem był model Poissona. Należy jednak zauważyć, iż z uwagi na jego niedoskonałości coraz częściej w analizie szeregów czasowych wykorzystywana jest metoda DLNM (9).

Ten sposób oszacowania ryzyka wykorzystano w badaniu przeprowadzonym w Tajwanie w latach 2000-2009 (20). Udokumentowano istotny wzrost ryzyka wizyt ambulatoryjnych z powodu chorób układu oddechowego po 5 dniach od narażenia, $RW=1,03$ (95%PU: 1,02-1,04). Również wyniki analiz przeprowadzonych w Wietnamie w okresie 2010-2014 wskazały na istotny wzrost ryzyka hospitalizacji z powodu chorób układu oddechowego o 0,7% (95%PU: 0,1%-1,3%) w odpowiedzi na wzrost stężenia O_3 o $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ po 5 dniach od narażenia (21). Dodatkowo analiza czasowa DLNM danych rejestrowych 184 największych chińskich miast w latach 2014-2017 wykazała wzrost dziennych zgłoszeń szpitalnych z powodu zapalenia płuc w cieplej porze roku. W związku ze wzrostem ekspozycji na ozon o $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ odnotowano wzrost liczby hospitalizacji o 0,30% (95% PU: 0,17%–0,43%) w dniu eks-

revealed the necessity of future studies undertaking time-series analysis important to recognize the real respiratory health risk of occurring climate change.

The strongness of our study is used methodology, but we have not ignored some weaknesses of the presented study in the discussion. Firstly, the research was an ecological type of study referring to the National Health Found registry. The reliability of secondary epidemiological data has been frequently discussed however, the official medical registries remain an important source of information in public health. Another important issue is the mode of exposure presentation, existing in the study area monitoring system of ambient air quality is not perfect, the available and complete data on ozone $O_3(8h)$ concentrations were available only in Katowice station and they were used to exposure presentation in the whole region. Secondly, there was no data on individual exposure to ozone including place of residence and type of activity spent outdoors, which would help better describe the potential health risk. Also used model did not include concentrations of other ambient air pollutants, such a decision was the result of the observation that their levels were not exceeded in the summer. Finally, it should be noticed that the observation period was relatively short which makes it difficult to reliably assess the impact of confounding factors on the relationship between ozone concentration and the number of respiratory health services.

The obtained results justified that the corrective actions in Poland to improve ambient air quality and reduce environmental health risks are insufficient. We observe a significant burden on the health care system, not only during episodes of winter smog, we documented some problems apply to the summer season in which ozone concentrations increased. This creates challenges for the implemented environmental policy, and education in the field of environmental health, but also for communicating health risks. It seems that risk management will not be effective without all these elements. The obtained results indicate the need to continue corrective actions and inform society about potential health risks.

CONCLUSIONS

1. It was confirmed the relationship between respiratory health effects and an increase in $O_3(8h)$ concentration by $10 \mu g/m^3$ in the Silesian Voivodeship, in the period 2016-2017.
2. It was confirmed a significant increase in the risk of outpatient visits due to total respiratory system diseases, acute pharyngitis, rhinitis, acute

pozycji oraz o 0,22% (95% PU:0,05%-0,34%) z 1-dniowym opóźnieniem (22). Opublikowane w 2021 r. wyniki metaanalizy potwierdziły istotny pozytywny związek pomiędzy wzrostem stężenia $O_3(8h)$ o $10 \mu g/m^3$, a wystąpieniem zaostrzenia astmy już po 1 dniu. Obliczone łączne ryzyko względne na podstawie 24 publikacji wyniosło 1,008 (95%PU: 1,005-1,011) (23).

Nie można wykluczyć, iż występujące niewielkie różnice w opóźnieniach obserwowanych efektów zdrowotnych mają związek ze zróżnicowaniem rejestrowanego narażenia, ale także z terytorialnym zróżnicowaniem dostępu do usług medycznych, co ma także miejsce w obrębie jednego kraju np. w Polsce (24). Trudno również porównywać wyniki analiz dotyczące sytuacji zdrowotnej w różnych strefach klimatycznych, a należy w tym miejscu zaznaczyć, iż w Polsce badania dotyczące ryzyka zdrowotnego w związku z ekspozycją na ozon nie są systematycznie prowadzone. Uzналиśmy, że uzyskane wyniki badania własnego wskazały konieczność podejmowania tego typu badań z uwagi na występujące zagrożenie w związku z dokonującymi się zmianami klimatycznymi.

Mocną stroną badania była zastosowana aktualna metodyka, jednak nie sposób pominąć w dyskusji pewnych mankamentów prezentowanej pracy. Po pierwsze badanie miało charakter badania ekologicznego odwołującego się do oficjalnego rejestru danych o świadczeniach medycznych. Wielokrotnie podejmowano temat wiarygodności wtórnych danych epidemiologicznych w badaniach, jednakże oficjalne rejestry pozostają ważnym źródłem informacji w zdrowiu publicznym. Kolejną kwestią to prezentacja narażenia, z uwagi na istniejący w regionie system monitoringu jakości powietrza atmosferycznego dostępne i pełne dane o stężeniach ozonu $O_3(8h)$ dotyczyły jedynie stacji w Katowicach i one stały się podstawą prezentacji środowiskowego zagrożenia. Po drugie brak danych o indywidualnym narażeniu na ozon, które uwzględniałyby dokładną lokalizację miejsca zamieszkania lub informacje na temat czasu i formy aktywności spędzanej przez ludzi na świeżym powietrzu. W zastosowanym do oceny ryzyka modelu nie brano również pod uwagę stężeń innych zanieczyszczeń powietrza z uwagi na brak przekroczeń ich poziomów w sezonie letnim. Wreszcie należy zauważyć, że stosunkowo krótki był okres obserwacji co mogło utrudniać rzetelną ocenę wpływu czynników zakłócających na związek pomiędzy stężeniem ozonu a liczbą świadczeń udzielanych pacjentom z przyczyn oddechowych.

Uzyskane wyniki uzasadniają stwierdzenie, że wszelkie działania naprawcze, które podejmowane są w naszym kraju dla poprawy jakości powietrza i zmniejszenia środowiskowego ryzyka zdrowotnego są niewystarczające. Obserwujemy bowiem znaczące obciążenie systemu opieki zdrowotnej nie tylko w okre-

laryngotracheitis, bronchitis, and asthma, with a delay of several days.

- In the case of hospitalization due to respiratory diseases (J00-J99) statistically significant risk appeared with a higher delay (more than two weeks). The earliest health answer applied to bronchitis (J20-J21) and concerned the second-fourth day after exposure.

REFERENCES

- Gładka A, Zatoński T. Wpływ zanieczyszczenia powietrza na choroby układu oddechowego. *Kosmos – problemy nauk biologicznych* 2016;65(4):573-582.
- Bromberg PA. Mechanisms of the acute effects of inhaled ozone in humans. *Biochim Biophys Acta* 2016;1860(12):2771-81. doi: 10.1016/j.bbagen.2016.07.015.
- Kowalska M, Skrzypek M, Kowalski M, et al. The Relationship between Daily Concentration of Fine Particulate Matter in Ambient Air and Exacerbation of Respiratory Diseases in Silesian Agglomeration, Poland. *Int J Environ Res Public Health* 2019;16:1131. doi:10.3390/ijerph16071131.
- Wiech A, Marciniwicz-Mykieta M, Toczko B. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Stan Środowiska w Polsce. Raport 2018. Bibliotek Monitoringu Środowiska, 2018. Available from: https://www.gios.gov.pl/images/dokumenty/pms/raporty/Stan_srodowiska_w_Polsce-Raport_2018.pdf.
- Polski Alarm Smogowy. Krakowski Alarm Smogowy. Warszawa bez Smogu. Pomiary stężeń dwutlenku azotu za pomocą próbników pasywnych na terenie Krakowa i Warszawy. Available from: <https://polskialarmsmogowy.pl/files/artykuly/2288.pdf>.
- Krzeszowiak J, Michalak A, Pawlas K. Zanieczyszczenie powietrza we Wrocławiu i potencjalne zagrożenie zdrowia. *Environ Med* 2015;8(2):66-73.
- Niewiadomska E, Kowalska M, Niewiadomski A, et al. Assessment of risk hospitalization due to acute respiratory incidents related to ozone exposure in Silesian voivodeship (Poland). *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:3591. doi:10.3390/ijerph17103591.
- Bhaskaran K, Gasparrini A, Hajat S, et al. Time series regression studies in environmental epidemiology. *Int J Epidemiol* 2013;42(4):1187-95. doi:10.1093/ije/dyt092.
- Niewiadomska E, Kowalska M. Overview of statistical methods for estimating the relative risk of delayed respiratory effect related to ambient air pollution exposure. *Przeegl Epidemiol* 2020;74(4): 695-706. doi.org/10.32394/pe.74.61.

sach występowania zimowych epizodów smogowych, pewne problemy dotyczą także cieplejszej pory roku, dla której typowe są zwiększone stężenia ozonu. Stwarza to wyzwania dla realizowanej polityki ekologicznej, dla edukacji w zakresie zdrowia środowiskowego, ale także w zakresie komunikowania ryzyka zdrowotnego. Wydaje się, że bez tych wszystkich elementów zarządzanie ryzykiem nie będzie efektywne. Wyniki uzyskane w trakcie realizacji badań własnych wskazują na konieczność kontynuowania działań naprawczych i informowania o potencjalnym zagrożeniu zdrowotnym.

WNIOSKI

- W województwie śląskim w okresie 2016-2017 potwierdzono występowanie odpowiedzi zdrowotnej populacji w związku ze wzrostem stężenia O₃(8h) o 10 µg/m³.
 - Potwierdzono istotny wzrost ryzyka wizyt ambulatoryjnych z powodu chorób układu oddechowego ogółem, ostrego zapalenia gardła i nosa, ostrego zapalenia krtani i tchawicy, zapalenia oskrzeli oraz astmy, który ujawniał się z kilkudniowym opóźnieniem.
 - Istotny wzrost ryzyka hospitalizacji z powodu ogółu chorób układu oddechowego (J00-J99) pojawiał się z większym opóźnieniem (ponad dwutygodniowym). Najwcześniej ujawniało się ryzyko hospitalizacji z powodu zapalenia oskrzeli (J20-J21), dotyczyło już drugiej-czwartej doby po narażeniu i było ono istotne statystycznie.
-
- Peng RD, Samoli E, Pham L, et al. Acute effects of ambient ozone on mortality in Europe and North America: results from the APHENA study. *Air Qual Atmos Health* 2013;6(2):445-453. doi: 10.1007/s11869-012-0180-9.
 - Gasparrini A. Modelling Lagged Associations in Environmental Time Series Data. A Simulation Study. *Epidemiology* 2016;6(27):835-842. doi: 10.1097/EDE.0000000000000533.
 - Central Statistical Office. Local Data Bank. Available from: <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/dane/podgrup/tablica>.
 - Air Quality Monitoring System. State Inspectorate of Environmental Protection in Katowice. 2017. Available from: <http://powietrze.katowice.wios.gov.pl/dane-pomiarowe/automatyczne>.
 - The Comprehensive R Archive Network. dLagM package. Available from: <https://cran.rproject.org/web/packages/dLagM/dLagM.pdf>.
 - Regulation of the Minister of the Environment of 24 August 2012 on the levels of certain substances in the air. OJ 2012 item 1031. Available from:

- <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20120001031>.
16. World Health Organization. Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution. ISBN 978 92 890 42895. WHO 2008 . Available from: <https://www.euro.who.int/document/e91843.pdf>.
 17. World Health Organization. Europe's air quality status 2021-update. Available from: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/air-quality-status-briefing-2021>.
 18. World Health Organization. Ambient (outdoor) air pollution. Available from: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
 19. Filippidou EC, Koukoulia A. Ozone effects on the respiratory system. *Prog Health Sci* 2011;1(2):144-155.
 20. Yu-Kai L, Shuenn-Chin Ch, ChitSan L, et al. Comparing ozone metrics on associations with outpatient visits for respiratory diseases in Taipei Metropolitan area. *Environ Pollut* 2013;177:177e184. doi:10.1016/j.envpol.2012.12.010.
 21. Luong LMT, Phung D, Dang TN, et al. Seasonal association between ambient ozone and hospital admission for respiratory diseases in Hanoi, Vietnam. *PLoS ONE* 2018;13(9):e0203751. doi:10.1371/journal.pone.0203751.
 22. Tian Y, Wu Y, Liu H, et al. The impact of ambient ozone pollution on pneumonia: A nationwide time-series analysis. *Environ Int* 2020;136:105498. doi: 10.1016/j.envint.2020.105498.
 23. Zheng X, Orellano P, Lin H, et al. Short-term exposure to ozone, nitrogen dioxide, and sulphur dioxide and emergency department visits and hospital admissions due to asthma: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int* 2021;150: 106435. doi: 10.1016/j.envint.2021.106435.
 24. Hnatyszyn-Dzikowska A. Terytorialne zróżnicowanie dostępu do usług zdrowotnych w Polsce jako wymiar spójności społeczno-ekonomicznej kraju. *Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy* 2011;18:313-322.

Received: 25.11.2021

Accepted for publication: 07.04.2022

Otrzymano: 25.11.2021 r.

Zaakceptowano do publikacji: 07.04.2022 r.

Address for correspondence:

Adres do korespondencyjny:

Dr hab. n. o zdr. Ewa Niewiadomska
Wydział Nauk o Zdrowiu w Bytomiu,
Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach
Ul. Piekarska 18,
41-902 Bytom
e-mail: eniewiadomska@sum.edu.pl

Appendix 1. Relative risk (RR) of outpatient visits due to respiratory diseases related to an increase of ozone O₃(8h) concentration by 10 µg/m³ in relation to the limit value of 120 µg/m³

Załącznik 1. Ryzyko względne (RW) zgłoszeń do POZ z powodu chorób układu oddechowego związane ze wzrostem stężenia ozonu O₃(8h) o 10 µg/m³ względem wartości granicznej 120 µg/m³

L	J00-J99		J00		J04		J12-J18		J20-J21		J45-J46	
	RW / RR	95%PU / 95%CI	RW / RR	95%PU / 95%CI	RW / RR	95%PU / 95%CI	RW / RR	95%PU / 95%CI	RW / RR	95%PU / 95%CI	RW / RR	95%PU / 95%CI
0	1.023	0.954-1.098	1.043	0.968-1.124	1.033	0.957-1.115	0.993	0.909-1.085	1.01	0.925-1.104	1.013	0.942-1.09
1	1.046	0.989-1.106	1.057	0.997-1.121	1.051	0.989-1.117	1.041	0.972-1.115	1.043	0.975-1.116	1.044	0.983-1.109
2	1.038	0.983-1.096	1.05	0.992-1.111	1.042	0.982-1.105	1.031	0.964-1.103	1.038	0.972-1.109	1.031	0.972-1.094
3	1.019	0.976-1.065	1.036	0.99-1.084	1.023	0.975-1.073	0.997	0.944-1.052	1.019	0.967-1.074	1.002	0.956-1.05
4	1.011	0.966-1.059	1.031	0.983-1.082	1.014	0.965-1.067	0.977	0.923-1.034	1.011	0.957-1.068	0.988	0.941-1.037
5	1.014	0.965-1.065	1.035	0.983-1.089	1.015	0.962-1.072	0.972	0.915-1.032	1.014	0.956-1.075	0.986	0.937-1.038
6	1.023	0.972-1.076	1.043	0.99-1.1	1.023	0.967-1.081	0.976	0.918-1.038	1.023	0.963-1.087	0.994	0.943-1.048
7	1.035	0.983-1.09	1.054	0.999-1.113	1.033	0.976-1.094	0.985	0.926-1.049	1.036	0.974-1.101	1.006	0.953-1.062
8	1.047	0.993-1.105	1.065	1.007-1.126	1.044	0.984-1.108	0.996	0.933-1.063	1.048	0.983-1.117	1.02	0.964-1.079
9	1.057	1-1.118	1.073	1.012-1.138	1.052	0.989-1.12	1.004	0.939-1.075	1.058	0.99-1.131	1.031	0.972-1.094
10	1.065	1.005-1.128	1.079	1.015-1.146	1.059	0.994-1.129	1.011	0.943-1.084	1.066	0.995-1.141	1.041	0.98-1.106
11	1.07	1.01-1.134	1.082	1.018-1.15	1.064	0.997-1.135	1.016	0.947-1.09	1.071	0.999-1.148	1.049	0.986-1.115
12	1.074	1.013-1.138	1.084	1.02-1.152	1.067	1.001-1.137	1.02	0.951-1.094	1.074	1.002-1.15	1.055	0.992-1.122
13	1.075	1.016-1.138	1.083	1.021-1.15	1.068	1.004-1.137	1.022	0.954-1.094	1.074	1.004-1.149	1.06	0.998-1.126
14	1.075	1.018-1.136	1.081	1.021-1.145	1.068	1.006-1.135	1.022	0.957-1.092	1.074	1.006-1.146	1.063	1.004-1.127
15	1.074	1.02-1.131	1.078	1.021-1.138	1.067	1.008-1.13	1.022	0.96-1.088	1.071	1.007-1.139	1.066	1.008-1.126
16	1.072	1.02-1.126	1.073	1.019-1.131	1.065	1.009-1.125	1.02	0.961-1.083	1.068	1.007-1.132	1.067	1.012-1.125
17	1.068	1.019-1.12	1.068	1.016-1.122	1.062	1.008-1.119	1.018	0.962-1.078	1.063	1.005-1.124	1.067	1.015-1.123
18	1.064	1.016-1.114	1.062	1.011-1.115	1.058	1.006-1.114	1.015	0.96-1.074	1.057	1-1.117	1.067	1.016-1.121
19	1.059	1.011-1.109	1.055	1.004-1.108	1.054	1.001-1.11	1.012	0.956-1.071	1.051	0.994-1.112	1.066	1.015-1.12
20	1.053	1.003-1.106	1.048	0.995-1.103	1.05	0.994-1.108	1.008	0.95-1.07	1.044	0.984-1.108	1.065	1.012-1.121
21	1.048	0.994-1.105	1.04	0.984-1.1	1.045	0.986-1.108	1.004	0.941-1.071	1.038	0.973-1.106	1.064	1.007-1.124

L – days before outpatient visit / dni przed wizytą

RR / RW – relative risk / ryzyko względne

95%CI / 95% PU – 95% confidence interval / 95% przedział ufności

Appendix 2. Relative risk (RR) of hospitalizations due to respiratory diseases related to an increase of ozone O₃(8h) concentration by 10 µg/m³ in relation to the limit value of 120 µg/m³

Załącznik 2. Ryzyko względne (RW) hospitalizacji z powodu chorób układu oddechowego związane ze wzrostem stężenia ozonu O₃(8h) o 10 µg/m³ względem wartości granicznej 120 µg/m³

L	J00-J99		J00		J04		J12-J18		J20-J21		J45-J46	
	RW / RR	95%PU / 95%CI	RW / RR	95%PU / 95%CI	RW / RR	95%PU / 95%CI	RW / RR	95%PU / 95%CI	RW / RR	95%PU / 95%CI	RW / RR	95%PU / 95%CI
0	1.012	0.965-1.062	1.164	0.952-1.424	0.925	0.694-1.233	0.957	0.873-1.049	1.003	0.862-1.166	0.989	0.874-1.119
1	1.035	0.995-1.076	0.87	0.737-1.026	0.799	0.639-0.999	1.003	0.933-1.079	1.132	1.011-1.268	1.049	0.946-1.163
2	1.033	0.994-1.073	0.819	0.7-0.959	0.852	0.688-1.055	1.028	0.958-1.104	1.147	1.029-1.278	1.068	0.965-1.182
3	1.02	0.989-1.052	0.871	0.764-0.992	0.995	0.832-1.19	1.038	0.979-1.102	1.104	1.006-1.21	1.064	0.979-1.155
4	1.012	0.979-1.046	0.909	0.789-1.046	1.106	0.914-1.337	1.043	0.98-1.111	1.081	0.978-1.195	1.06	0.973-1.155
5	1.009	0.974-1.045	0.923	0.793-1.075	1.167	0.953-1.428	1.046	0.978-1.118	1.079	0.969-1.202	1.059	0.968-1.16
6	1.009	0.973-1.045	0.922	0.79-1.077	1.186	0.966-1.456	1.046	0.977-1.12	1.091	0.977-1.218	1.06	0.967-1.163
7	1.011	0.975-1.048	0.914	0.781-1.068	1.177	0.957-1.449	1.045	0.975-1.12	1.109	0.992-1.24	1.062	0.967-1.166
8	1.014	0.976-1.053	0.905	0.771-1.063	1.159	0.936-1.435	1.044	0.972-1.121	1.126	1.003-1.264	1.063	0.966-1.171
9	1.017	0.978-1.057	0.901	0.764-1.064	1.141	0.914-1.423	1.042	0.967-1.123	1.138	1.009-1.283	1.063	0.963-1.175
10	1.019	0.979-1.061	0.903	0.762-1.069	1.124	0.895-1.41	1.041	0.964-1.123	1.144	1.011-1.295	1.063	0.96-1.177
11	1.022	0.982-1.065	0.908	0.766-1.077	1.107	0.88-1.393	1.039	0.961-1.123	1.146	1.01-1.299	1.061	0.957-1.177
12	1.025	0.984-1.067	0.918	0.775-1.086	1.092	0.869-1.371	1.037	0.96-1.121	1.142	1.008-1.295	1.059	0.956-1.174
13	1.027	0.988-1.069	0.931	0.79-1.097	1.077	0.862-1.345	1.036	0.96-1.117	1.135	1.004-1.283	1.056	0.955-1.168
14	1.03	0.991-1.07	0.948	0.809-1.11	1.062	0.858-1.316	1.034	0.961-1.113	1.124	0.999-1.266	1.053	0.956-1.16
15	1.032	0.995-1.071	0.968	0.833-1.124	1.049	0.855-1.286	1.033	0.963-1.108	1.11	0.991-1.244	1.049	0.956-1.151
16	1.035	0.999-1.072	0.991	0.86-1.142	1.035	0.854-1.256	1.031	0.964-1.102	1.094	0.982-1.219	1.044	0.956-1.141
17	1.037	1.003-1.073	1.017	0.889-1.164	1.023	0.851-1.23	1.029	0.965-1.097	1.076	0.969-1.194	1.04	0.955-1.132
18	1.04	1.006-1.074	1.046	0.917-1.192	1.01	0.845-1.208	1.028	0.965-1.094	1.056	0.953-1.171	1.035	0.952-1.124
19	1.042	1.008-1.077	1.076	0.943-1.228	0.998	0.834-1.194	1.026	0.963-1.093	1.036	0.933-1.15	1.029	0.946-1.12
20	1.044	1.009-1.081	1.109	0.966-1.273	0.986	0.818-1.189	1.024	0.959-1.094	1.015	0.91-1.132	1.024	0.938-1.118
21	1.047	1.009-1.086	1.143	0.985-1.327	0.974	0.797-1.191	1.023	0.953-1.098	0.994	0.883-1.119	1.019	0.927-1.119

L – days before outpatient visit / dni przed wizytą

RR / RW – relative risk / ryzyko względne

95%CI / 95%PU – 95% confidence interval / 95% przedział ufności