

STĘŻENIA OZONU A PRZEDWCZESNA UMIERALNOŚĆ W POLSCE

OZONE CONCENTRATION ATTRIBUTABLE PREMATURE DEATH IN POLAND

Krzysztof Skotak

*Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny
Zakład Higieny Komunalnej (kierownik dr Bożena Krogulska)*

Streszczenie

Publikowane w kraju i za granicą rezultaty przeprowadzonych ocen i analiz jakości powietrza atmosferycznego wskazują, że stężenia ozonu, obok drobnego pyłu zawieszonego, stanowią obecnie główny i kluczowy problemem jeśli chodzi o zanieczyszczenie powietrza. W przeciwieństwie do pozostałych zanieczyszczeń powietrza, ozon nie jest emitowany do atmosfery. Powstaje w niższych warstwach atmosfery przy sprzyjających warunkach atmosferycznych (wysoka temperatura i usłonecznienie) w wyniku reakcji fotochemicznych w obecności tzw. prekursorów ozonu (głównie tlenków azotu i lotnych związków organicznych). Obserwowane wysokie stężenia ozonu są często efektem napływu zanieczyszczonych mas powietrza z innych obszarów. Pomimo tworzenia się ozonu głównie na obszarach pozamiejskich, relatywnie wysoki gradient stężeń obserwowany jest również na terenach zurbanizowanych.

Ze względu na wysoce reaktywne chemiczne własności, ozon ma negatywny wpływ na zdrowie ludzi, jest również szkodliwy zarówno dla ekosystemów (w tym rozwoju roślin) jak i materiałów (szczególnie dla zabytków). Narażenie ludności na ozon powoduje szereg niekorzystnych skutków zdrowotnych wyrażających się między innymi wzrostem umieralności i zachorowalności z powodu cho-

rób układu oddechowego i krążenia, nasileniem się objawów astmy, czy skróceniem długości życia.

W artykule przedstawiono wyniki szacowania wybranych skutków zdrowotnych (zgonów ogółem, z powodu chorób układu krążenia i układu oddechowego) będących efektem krótkookresowego narażenia mieszkańców Polski na stężenia ozonu troposferycznego. Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem metody szacowania opracowanej przez WHO, z uwzględnieniem podziału Polski na strefy, w których dokonuje się oceny jakości powietrza. W celu określenia narażenia, w pracy wykorzystano wyniki pomiarów stężeń ozonu pochodzących z automatycznych stacji monitoringu jakości powietrza funkcjonujących w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Liczbę ludności zamieszkującą daną strefę oraz wskaźniki umieralności obliczono na podstawie danych publikowanych w rocznikach Głównego Urzędu Statystycznego. Prezentowana w artykule analiza liczby przedwczesnych zgonów w wyniku narażenia ludności na ozon troposferyczny w Polsce wskazuje, że problem dotyczy całego kraju, szczególnie w okresie letnim, gdy występują epizody podwyższonych stężeń.

Słowa kluczowe: *jakość powietrza, stężenia ozonu, przedwczesna umieralność, narażenie mieszkańców, skutki zdrowotne*

Nadesłano: 21.10.2009

Zatwierdzono do druku: 14.04.2010

Summary

Ozone in the lower part of the atmosphere (troposphere), strong photochemical oxidant, is not directly emitted to the atmosphere but formed through a series of complex reactions. Ozone concentrations depends on ozone precursors air contamination (mainly nitrogen dioxide and non-methane volatile organic compounds) and meteorological conditions (temperature and solar radiation). The main sectors emitted ozone precursors are road transport, power and heat generation plants, household (heating), industry, and petrol storage and distribution. Ozone and some of its precursors are also transported long distances in the atmosphere and are therefore considered a transboundary problem. As a result, the ozone concentrations are often low in busy urban areas and higher in suburban and rural areas. Nowadays, instead of particulate matter, ozone is one of the most widespread global air pollution problems. In and around urban areas, relatively large gradients of ozone can be observed. Because of its high reactivity in elevated concentrations ozone causes serious health problems and damage to ecosystems, agricultural crops and materials.

Wstęp

Wyniki wielu publikowanych prac dotyczących ocen i analiz jakości powietrza atmosferycznego wskazują, że stężenia ozonu stanowią obecnie, obok pyłu zawieszonego PM10 (pyłu o średnicy aerodynamicznej poniżej 10 µm), główny i kluczowy problemem jeśli chodzi o stopień i skalę zanieczyszczenia powietrza. [1, 2, 4, 8]. Potwierdzają to wykonywane corocznie urzędowe oceny jakości powietrza w Polsce oraz w innych krajach Unii Europejskiej [3, 5, 6, 7]. W przeciwieństwie do pozostałych normowanych zanieczyszczeń powietrza (takich jak pył zawieszony, tlenek węgla, tlenki siarki i azotu, czy metale ciężkie), ozon nie jest emitowany do atmosfery. Jest zanieczyszczeniem wtórnym, powstającym w atmosferze w większych stężeniach przy sprzyjających warunkach meteorologicznych w obecności tzw. prekursorów ozonu, głównie tlenków azotu i lotnych związków organicznych. Wysokość stężeń ozonu na danym obszarze w danym okresie zależy często nie tylko od warunków lokalnych czy ukształtowania terenu, ale również od stopnia zanieczyszczenia ozonem i jego prekursorami powietrza napływającego nad dany obszar. Ze względu na wysoce reaktywne właściwości chemiczne, ozon jest szkodliwy zarówno dla ekosystemów (w tym rozwoju roślin), ma negatywny wpływ na zdrowie ludzi jak i materiały. Zgodnie z najnowszymi Dyrektywami Unii Europejskiej, jako wartości kryterialne dla ozonu ustanowiono krajach UE wartość docelową i cel długoterminowy, których dotrzymanie ma zapewnić skuteczną ochronę przed szkodliwym wpływem tego zanieczyszczenia zarówno na zdro-

Main ill-health endpoints as a results of ozone concentrations can be characterised as a effect of pulmonary and cardiovascular system, time morbidity and mortality series, development of atherosclerosis and asthma and finally reduction in life expectancy. The associations with increased daily mortality due to ozone concentrations are confirmed by many researches and epidemiological studies.

Estimation of the level selected ill-health endpoints (mortality in total and due to cardiovascular and respiratory causes) as a result of the short-term ozone exposure in Poland was the main aim of the project. Final results have been done based on estimation method elaborated by WHO, ozone measurements from National Air Quality Monitoring System and statistical information such as mortality rate and populations. All analysis have been done in ozone air quality zones. The adverse health effect associated with the ozone concentration is observed in every regions in Poland, very often during holiday time when high level episodes are occurred.

Keywords: *air quality, ozone concentrations, premature death, people exposure, human health effects*

wie ludzkie jak i ekosystemy [13]. W celu ochrony osób najbardziej wrażliwych przed krótkotrwałym działaniem ozonu o podwyższonym stężeniu, ustalono dwie dodatkowe wartości: próg ostrzegawczy i informowania. Przy obserwowanych stężeniach ozonu przewyższających wspomniane progi, prawo wymaga natychmiastowego uruchomienia procedur mających na celu informowanie i ostrzeganie ludności o zagrożeniach związanych z potencjalnymi zagrożeniami oraz, w stosownych przypadkach, podjęcia działań krótkoterminowych, których efektem ma być obniżenie poziomu zanieczyszczenia powietrza na zagrożonym obszarze [13, 14].

Narażenie ludności na stężenia ozonu troposferycznego powoduje szereg niekorzystnych skutków zdrowotnych wyrażających się między innymi wzrostem umieralności i zachorowalności z powodu chorób układu oddechowego i krążenia [9, 11]. Potwierdza to liczba publikacji, jakie ukazały się w ciągu ostatnich lat, pokazujących ewidentny związek pomiędzy wzrostem stężenia ozonu a liczbą obserwowanych przypadków zgonów czy zachorowań. Najważniejsze z nich przytaczane są w opracowaniach Światowej Organizacji Zdrowia [11]. Ostatnie badania wskazują również, że stężenie ozonu powoduje nasilenie objawów przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP) oraz astmy. Szacuje się, że w krajach Unii Europejskiej w wyniku narażenia ludności na stężenia ozonu przekraczające 70 µg/m³ (obliczone jako maksymalne dobowe średnie stężenie 8-godzinne krocząco) przedwcześnie umiera rocznie ponad 21 tysięcy ludzi, a kolejnych 14 tys. wymaga hospitalizacji z powodu chorób układu oddechowego

go [14]. Wzrost stężenia ozonu, prowadzący do nasilenia objawów wspomnianych chorób, w zasadniczy sposób wpływa na wymierne straty finansowe poprzez wzrost ograniczenia aktywności populacji, które w krajach UE w zależności od obszaru, rodzaju choroby oraz wrażliwości populacji, szacuje się w przedziale od 8 mln do ponad 100 mln osobo-godzin rocznie [4].

Wyniki wielu badań epidemiologicznych przeprowadzonych w różnych krajach pozwoliły na opracowanie modeli kwantyfikujących związek między stężeniem ozonu, a określonymi parametrami opisującymi skutki zdrowotne w monitorowanych populacjach [10, 12]. Celem pracy było oszacowanie liczby przedwczesnych zgonów w wyniku narażenia ludności na ozon troposferyczny w Polsce w 2007 roku. Szacowanie przeprowadzono dla stref, czyli obszarów dla których dokonuje się corocznie oceny jakości powietrza w Polsce. Prezentowana w artykule analiza uzyskanych wyników pokazuje, że problem dotyczy całego kraju, a wysoka liczba zgonów często ma miejsce również na obszarach powszechnie uważanych za stosunkowo mało zanieczyszczone, wschodniej i południowo wschodniej

części kraju. Pomimo obserwowanej w ostatnim czasie znacznej redukcji prekursorów, problem wynikający z narażenia ludności na stężenia ozonu będzie nadal istoty. Wynika to przede wszystkim z charakteru samego zanieczyszczenia, warunków i miejsc jego tworzenia oraz faktu, że wysokie stężenia ozonu notowane są w sezonie wakacyjnym, a więc w okresie dużej aktywności ludzi na wolnym powietrzu z dala od miast i aglomeracji (często w obszarach jego tworzenia).

Materiały i metody

W roku 2008, Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 3 marca w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu [17] wprowadzono do polskiego prawodawstwa dwie wartości kryterialne dla ozonu związane z ochroną zdrowia: poziom docelowy (zastępującemu dotychczas obowiązujący poziom dopuszczalny) oraz poziom celu długoterminowego. Ocenę jakości powietrza za rok 2007 prezentowaną w artykule wykonano z uwzględnieniem wymagań określonych we wspomnianym Rozporządzeniu (tab. I).

Tabela I. Kryteria oceny zanieczyszczenia powietrza ozonem

Table I. Limit values in ambient air for ozone

Parametr odpowiadający wartości normowanej	Nazwa parametru	Okres uśredniania stężeń	Dopuszczalne stężenie O ₃ w powietrzu [μg/m ³]	Dopuszczana liczba dni z przekroczeniami dopuszczalnego stężenia w roku kalendarzowym
S93,2	poziom docelowy	8 godzin ¹	120	25 ²
S8max	cel długoterminowy	8 godzin ¹	120	0
–	poziom alarmowy	1 godzina	180	–

¹ stężenia 8-godz., wartość średnia krocząca

² liczba dni z przekroczeniem stężenia dopuszczalnego w roku kalendarzowym uśredniona w ciągu kolejnych trzech lat

Wszystkie analizy przedstawione w artykule, obejmujące zarówno ocenę stopnia zanieczyszczenia powietrza ozonem jak i szacowanie liczby zgonów, przeprowadzono dla obszaru całego kraju z uwzględnieniem obowiązującego podziału Polski na strefy (28 obszarów). Strefy to obszary, na terenie których zgodnie z *ustawą – Prawo ochrony środowiska* [14], każdego roku dokonuje się oceny poziomów substancji w powietrzu i klasyfikacji według określonych kryteriów [15]. Jednym z głównych celów przeprowadzania tych ocen jest monitorowanie zmian jakości powietrza w kraju oraz postępu wdrażanych programów pozwalających na redukcję wysokości stężeń ozonu przynajmniej do określonego poziomu docelowego na całym terytorium kraju w określonym terminie (i w konsekwencji

braku przekroczeń tej wartości po tym terminie). Podział Polski na strefy uwzględniony w artykule jest zgodny z *Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 6 marca 2008 w sprawie stref, w których dokonuje się oceny jakości powietrza* [16].

Podstawę przeprowadzonej i omówionej w artykule oceny jakości powietrza stanowiły wyniki pomiarów pochodzących z 70 automatycznych stacji monitoringu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego włączonych do Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ), koordynowanego i nadzorowanego na mocy ustawy o Inspekcji Ochrony Środowiska [18] przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. W strefach, na terenie których nie było zlokalizowanych stacji PMŚ, ocenę jakości powietrza przeprowadzono z wykorzystaniem wyni

ków pomiarów pochodzących ze stacji funkcjonujących w innych, sąsiednich strefach, uznanych przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska (WIOŚ) jako reprezentatywne dla tych obszarów. W celu uzyskania jednorodnej rocznej serii pomiarowej charakteryzującej jakość powietrza na terenie danej strefy, jednostkowe wyniki pomiarów ze wszystkich stacji (stężenia 1-godzinne) uśredniono dla każdego terminu pomiarowego oddzielnie. Na podstawie tak przygotowanej serii pomiarowej (stanowiącej podstawę szacowania liczby przedwczesnych zgonów wynikających z narażenia mieszkańców na zanieczyszczenia powietrza ozonem) dokonano kolejnych wymaganych uśrednień i w efekcie końcowym obliczeń niezbędnych parametrów, w tym także liczby dni z przekroczeniami poziomu docelowego w latach 2005–2007.

Szacowanie liczby przedwczesnych zgonów związanych z krótkotrwałym narażeniem mieszkańców

Polski na ozon troposferyczny przeprowadzono dla każdej strefy oddzielnie. Dla tych obszarów, na podstawie danych publikowanych w rocznikach Głównego Urzędu Statystycznego, zestawiono również liczbę mieszkańców oraz wskaźniki umieralności ogółem oraz umieralności z powodu chorób układu krążenia i oddechowego (wymagane do przeprowadzenia obliczeń). W przypadku zgonów ogółem, wskaźnik umieralności w danej strefie obliczono na podstawie łącznej liczby zgonów z wyłączeniem samobójstw i zabójstw oraz zewnętrznych przyczyn zachorowania i zgonu (wypadków i nieszczęśliwych następstw wypadków). Ze względu na bardzo małą liczbę badań epidemiologicznych w Polsce dotyczących wzrostu umieralności w powiązaniu ze stopniem zanieczyszczenia powietrza, jako podstawę analiz wykorzystano współczynniki względnego ryzyka zdrowotnego określone dla ozonu przez WHO dla Europy (tab. II).

Tabela II. Współczynniki względnego ryzyka

Table II. Relative risk

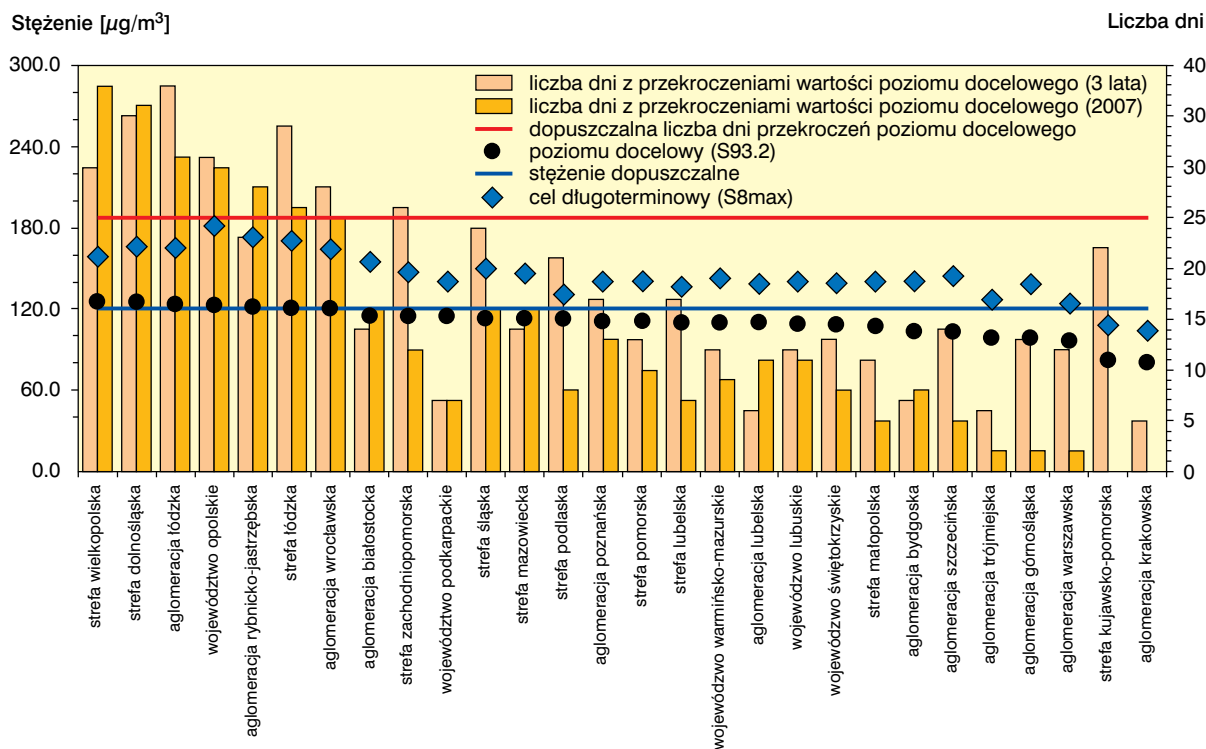
Skutek zdrowotny	Współczynnik względnego ryzyka	95% przedział ufności
Umieralność ogółem	1.00510	1.00023–1.00780
Umieralność w wyniku chorób układu krążenia	1.00400	1.00000–1.00600
Umieralność w wyniku chorób układu oddechowego	1.01250	1.00460–1.02080

Wyniki

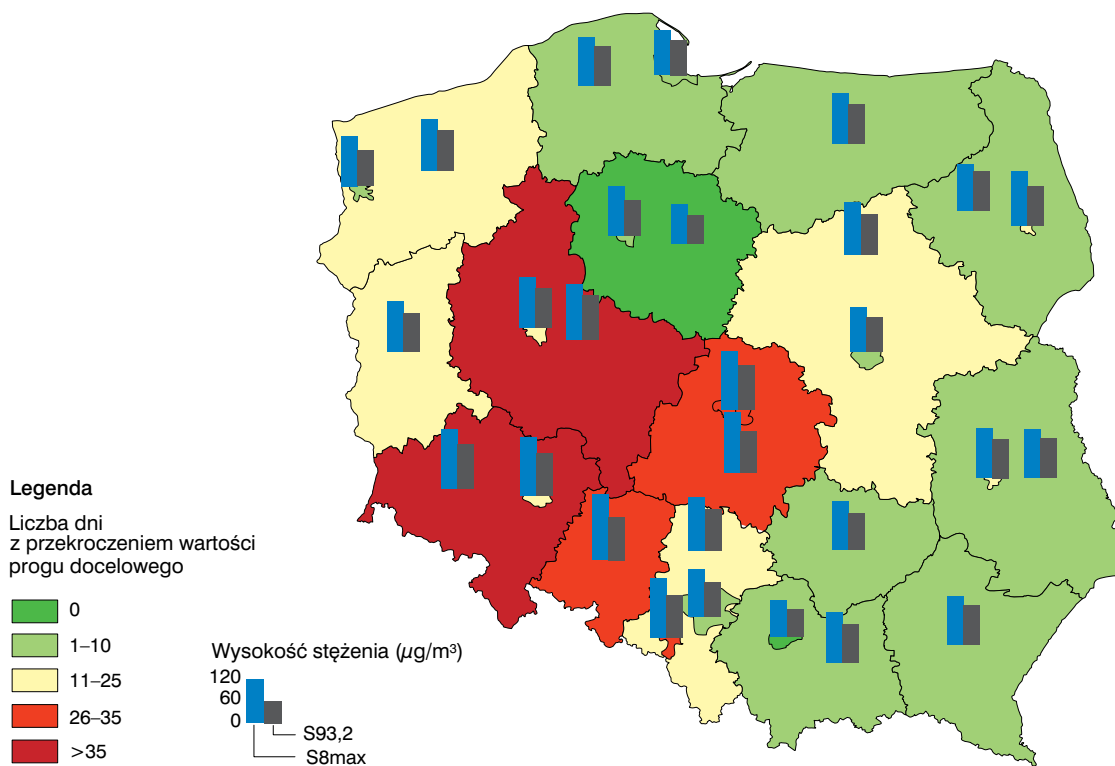
Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza ozonem w strefach w Polsce (wykonana na podstawie jednorodnej serii pomiarowej przygotowanej dla danego obszaru będącej podstawą szacowania liczby przedwczesnych zgonów) pokazuje, że w 2007 poziom maksymalnego dziennego stężenia średniej 8-godzinnej kroczącej ozonu (poziom celu długoterminowego) nie przekroczył normowanych $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jedynie w strefie kujawsko-pomorskiej i aglomeracji krakowskiej. Przekroczenia poziomu docelowego podanego jako wartość Percentyla S93,2 (parametr odpowiadający wartości normatywnej) wystąpiły na obszarze 7 spośród 28 stref (w strefie dolnośląskiej, łódzkiej i wielkopolskiej, województwie opolskim oraz aglomeracjach wrocławskiej, łódzkiej i rybnicko-jastrzębskiej). Normowanym wskaźnikiem przekroczenia poziomu docelowego w danym roku jest uśredniona z ostatnich 3 lat liczba dni, w których maksymalne dzienne stężenie 8-godzinne kroczące przekracza wartość $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Analiza tak liczonej liczby dni pokazuje, że zgodnie z obowiązującym prawem, parametr ten przekroczony był w strefie dolnośląskiej, łódzkiej, wielkopolskiej i zachodniopomorskiej, województwie opolskim

oraz aglomeracjach wrocławskiej i łódzkiej (ryc. 1). Przekroczenie wartości poziomu informowania społeczeństwa (wyrażone jako stężenie 1-godzinne przekraczające $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zanotowano na obszarze 9 stref (tab. III). Przekroczenia te jednak występowały sporadycznie i trwały zazwyczaj bardzo krótko.

W tym miejscu należy zaznaczyć, że analiza oceny jakości powietrza dla ozonu prezentowana powyżej może się różnić od oficjalnie podawanej w raportach i opracowaniach Inspekcji Ochrony Środowiska (scharakteryzowana również krótko w części „Dyskusja”). Wynika to z różnic w sposobie dokonywania samej oceny jakości powietrza pod kątem klasyfikacji stref oraz przeprowadzonej oceny wykonanej na potrzeby szacowania skutków zdrowotnych na danym obszarze. W urzędowych ocenach jakości powietrza, poza wykorzystaniem wyników pomiarów, stosuje się również inne metody, takie jak modelowanie matematyczne czy obiektywne metody szacowania (ze względu na brak szczegółowych informacji odnośnie tych metod nie uwzględniono ich w szacunkach skutków zdrowotnych). Co więcej, o rezultacie oceny, której celem jest określenie stanu jakości powietrza na danym obszarze zgodnie odpowiednimi zapisami prawnymi, często



Rycina 1. Wybrane parametry jakości powietrza dla ozonu w roku 2007 w strefach
Figure 1. Ozone air quality in Polish zones in 2007 (selected parameters)



Rycina 2. Rozkład parametrów jakości powietrza dla ozonu (S8max, S93,2) na tle liczby dni z przekroczeniami progu docelowego w strefach w Polsce w roku 2007 (na podstawie serii uśrednionej na danym obszarze)

Figure 2. Ozone air quality parameters (S8max, S93,2 and number of days exceeded target value) in Polish zones in 2007 (base on ozone average data series in chosen area)

Tabela III. Wybrane parametry jakości powietrza dla ozonu w strefach w Polsce w 2007
Table III. Ozone air quality in Polish zones in 2007 (selected parameters)

Kod strefy	Nazwa strefy	Liczba stacji	Stężenie maksymalne 8-godz.	Percentyl S93,2	Liczba dni z przekroczeniami wartości docelowego ¹	Stężenie maksymalne 1-godz	Liczba dni przekraczająca poziom alarmowy
PL.02.00.b.28	strefa dolnośląska	7	165,9	125,0	35 (36)	177,2	6
PL.02.01.a.01	aglomeracja wrocławska	2	164,5	120,1	28 (25)	179,0	0
PL.04.00.b.22	strefa kujawsko-pomorska	4	108,1	81,9	22 (0)	131,5	0
PL.04.01.a.01	aglomeracja bydgoska	2	140,6	103,2	7 (8)	155,4	0
PL.06.00.b.23	strefa lubelska	3	136,4	110,3	17 (7)	142,3	0
PL.06.01.a.01	aglomeracja lubelska	2	138,3	109,3	6 (11)	154,6	0
PL.08.00.c.14	województwo lubuskie	4	140,7	108,6	12 (11)	150,8	1
PL.10.00.b.23	strefa łódzka	3	171,4	120,6	34 (26)	179,4	2
PL.10.01.a.03	aglomeracja łódzka	1	164,9	123,2	38 (31)	173,2	0
PL.12.00.b.21	strefa małopolska	1	140,3	107,1	11 (5)	167,0	0
PL.12.01.a.01	aglomeracja krakowska	1	104,4	79,8	5 (0)	114,0	0
PL.14.00.b.41	strefa mazowiecka	5	146,0	112,7	14 (16)	154,5	0
PL.14.01.a.01	aglomeracja warszawska	4	124,2	96,3	12 (2)	135,3	0
PL.16.00.c.12	województwo opolskie	1	182,0	122,5	31 (30)	209,0	1
PL.18.00.c.25	województwo podkarpackie ²	2	140,3	114,8	7 (7)	151,0	0
PL.20.00.b.16	strefa podlaska	1	130,6	112,5	21 (8)	150,0	0
PL.20.01.a.01	aglomeracja białostocka	1	154,5	115,1	14 (16)	165,0	0
PL.22.00.b.17	strefa pomorska	2	140,1	110,6	13 (10)	152,5	0
PL.22.01.a.03	aglomeracja trójmiejska	4	126,9	98,3	6 (2)	134,1	0
PL.24.00.b.19	strefa śląska	5	149,7	113,0	24 (16)	155,4	1
PL.24.01.a.14	aglomeracja górnośląska	4	138,1	98,3	13 (2)	148,3	2
PL.24.02.a.03	aglomeracja rybnicko-jastrzebska ³	3	172,6	120,9	23 (28)	196,0	1
PL.26.00.c.14	województwo świętokrzyskie ⁴	5	138,3	107,9	13 (8)	138,3	1
PL.28.00.c.21	województwo warmińsko-mazurskie	6	142,8	110,3	12 (9)	149,1	0
PL.30.00.b.34	strefa wielkopolska	2	159,0	125,6	30 (38)	184,3	3
PL.30.01.a.01	aglomeracja poznańska	1	140,8	110,8	17 (13)	151,0	0
PL.32.00.b.20	strefa zachodniopomorska	1	147,2	114,9	26 (12)	157,0	0
PL.32.01.a.01	aglomeracja szczecińska	1	144,4	102,8	14 (5)	161,0	0

¹ liczba dni z przekroczeniem stężenia dopuszczalnego w roku kalendarzowym uśredniona w ciągu kolejnych trzech lat (w nawiasie dla roku 2007)

² ocenę dla strefy przeprowadzono uwzględniając również wyniki pomiarów prowadzone na jednej stacji w aglomeracji krakowskiej

³ ocenę dla strefy przeprowadzono uwzględniając również wyniki pomiarów prowadzone na wybranych stacjach zlokalizowanych w strefie śląskiej

⁴ ocenę dla strefy przeprowadzono uwzględniając wyniki pomiarów prowadzone na wybranych stacjach zlokalizowanych w strefie łódzkiej, śląskiej oraz aglomeracjach górnośląskiej i krakowskiej

decydują wyniki pomiarów notowane na pojedynczych stacjach monitoringu zanieczyszczenia powietrza. Oznacza to, że obserwowane podwyższone stężenia ozonu na jednej stacji (nawet o relatywnie niewielkiej reprezentatywności przestrzennej i ludnościowej) mogą decydować o ocenie i klasyfikacji całego obszaru (nawet w przypadku, gdy podobne wysokości stężeń nie były notowane na innych, sąsiednich stacjach). W celu uniknięcia zawyżenia wyników końcowych i przypisania najmniej korzystnych informacji o jakości powietrza do całego analizowanego terenu, metody umożliwiające szacowanie skutków zdrowotnych, zwykle stosując zasadę uśrednienia stężeń w obrębie analizowanego obszaru, dla którego dokonuje się oceny wpływu danego zanieczyszczenia na zdrowie. Innymi istotnymi powodami konieczności uśredniania wyników na badanym obszarze jest często jego wielkość, problem w określeniu obszaru reprezentatywności obszarowej i ludnościowej danej stacji pomiarowej, jak i zgromadzenie niezbędnych informacji odnośnie wielkości narażonej populacji oraz wskaźników śmiertelności w danym miejscu.

Uzyskane w wyniku szacowania średnie wartości zgonów ogółem (wartość odniesiona do 100 tys. mieszkańców), związane z narażeniem mieszkańców na ozon troposferyczny kształtują się w zależności od obszaru od 15 do 38 osób (ryc. 3). Średnia liczba zgonów w Polsce oszacowana została na 750 osób na każde 100 tys. mieszkańców. Tak liczony wskaźnik dla zgonów w wyniku chorób układu krążenia wynosi 283 osoby, a w wyniku chorób układu oddechowego – 99 (tab. IV). Analiza uzyskanych wartości nie odniesionych do gęstości zaludnienia pokazuje, że szacowana łączna liczba przedwczesnych zgonów w Polsce w roku 2007 (podana jako wartość średnia) w wyniku krótkotrwałego narażenia ludności na ozon to ponad 10 tysięcy osób dla zgonów ogółem, blisko 4 tysiące osób dla zgonów w wyniku chorób układu krążenia i niespełna 1,5 tysiąca jeśli chodzi o choroby układu oddechowego. W zależności od stopnia „wrażliwości populacji” (zależnej od wielu czynników, w tym od wieku populacji, stylu życia, poziomu stresu, diety, itd.) rzeczywista liczba zgonów wahać się może od kilkuset nawet do kilkunastu tysięcy osób rocznie.

Dyskusja

Charakterystyka zanieczyszczenia powietrza ozonem w Polsce

Wyniki rządowej rocznej oceny jakości powietrza za rok 2007 wykonanej przez WIOŚ pokazują, że przekroczenia poziomu docelowego zanotowano w strefach położonych w południowo-zachodniej

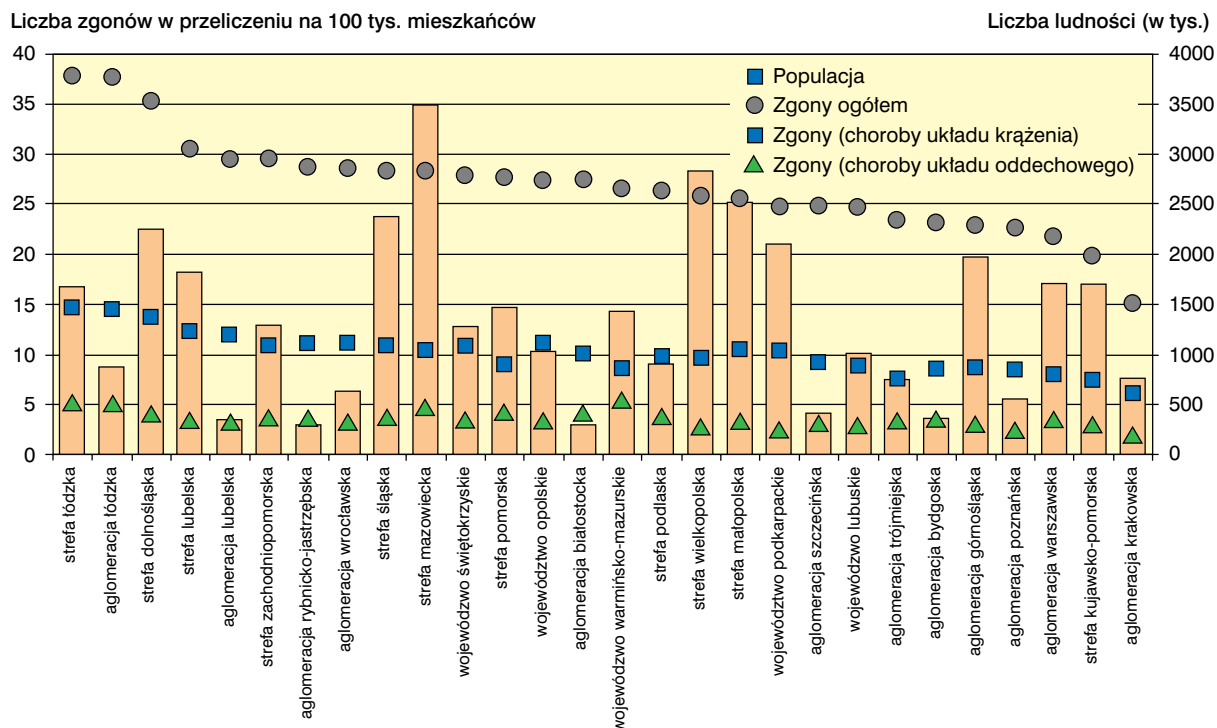
i centralnej Polsce, obejmującej województwa: lubuskie, dolnośląskie (wraz z aglomeracją wrocławską), opolskie, śląskie (wraz z aglomeracją górnośląską i rybnicko-jastrzębską), łódzkie (wraz z aglomeracją łódzką), a także dwie strefy: wielkopolską i mazowiecką (obejmujące obszar województwa z wyłączeniem aglomeracji).

Poziom celu długoterminowego przekroczony był na obszarze wszystkich stref z wyjątkiem aglomeracji krakowskiej. Najczęściej, jako przyczynę występowania wysokich stężeń ozonu podawano oddziaływanie naturalnych źródeł emisji lub zjawisk naturalnych nie związanych z działalnością człowieka, niekorzystne warunki meteorologiczne, przemiany fizyko-chemiczne zanieczyszczeń w atmosferze związane z działalnością człowieka oraz napływ zanieczyszczeń z innych obszarów, w tym spoza granic kraju.

W 2007 roku najwyższe stężenia ozonu notowane były na większości stacji w okresie od końca kwietnia do końca lipca. W okresie letnim, podobnie jak w latach poprzednich, występowały kilkudniowe okresy charakteryzujące się z wysokimi stężeniami ozonu (tzw. epizody). Najwyższe stężenia notowano w lipcu, gdy duża część kontynentu znajdowała się w obszarze wysokiego ciśnienia, a temperatury maksymalne przekraczały 30 stopni Celsjusza. Takie warunki sprzyjały powstawaniu w atmosferze i utrzymywaniu się wysokich stężeń ozonu. W tym okresie zanotowano również krótkotrwałe przekroczenie progu informowania (180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla stężeń 1-godz.). Co więcej, w tych okresach podwyższone stężenia ozonu obserwowano jednocześnie na znacznym obszarze Polski i Europy.

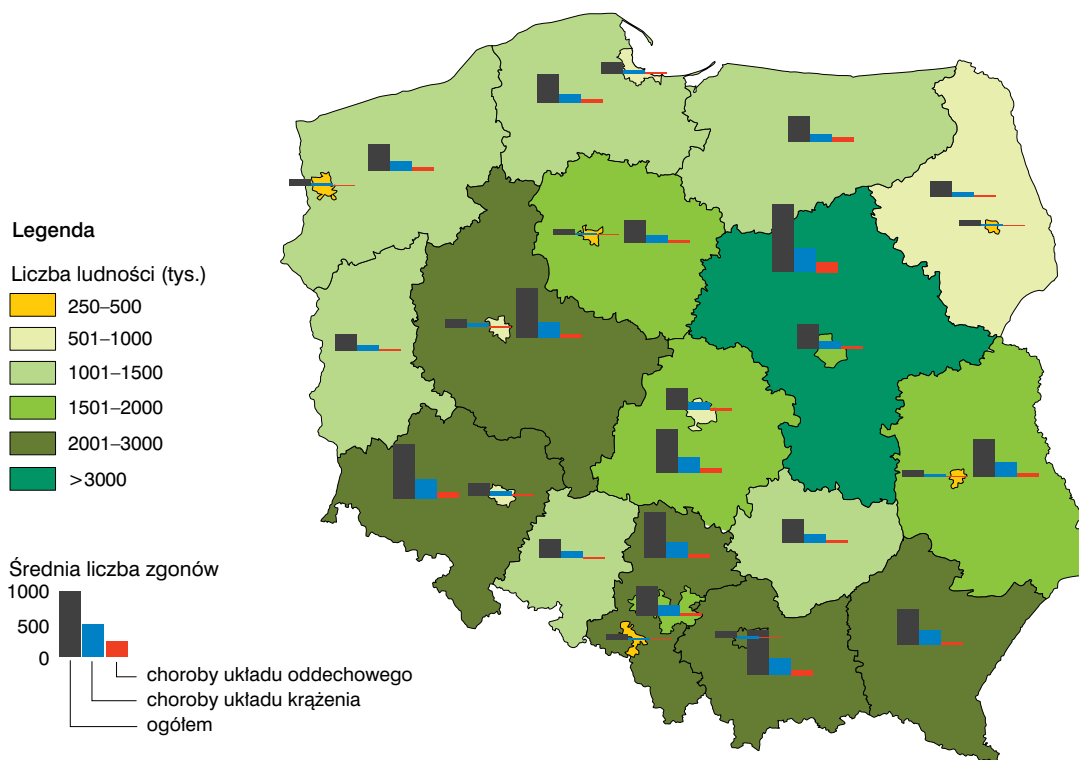
Ocena jakości powietrza w strefach

Uzyskane wyniki charakteryzujące jakość powietrza na obszarze stref w Polsce (obliczone z uwzględnieniem kryteriów przyjętych na potrzeby szacowania przedwczesnych zgonów) wykazują wysoką zbieżność z rezultatami rządowych ocen jakości powietrza. Analizy uzyskanych rezultatów pokazują, że w przypadku określania wpływu zanieczyszczenia powietrza ozonem na zdrowie ludzi w danym roku, stosowana w ocenach rządowych zasada uśredniania liczby dni z przekroczeniami poziomu docelowego w okresie ostatnich 3 lat i odnoszenia jej do danego roku nie odzwierciedla w odpowiedni sposób zagrożenia. Zauważalne spore różnice w liczbie dni pomiędzy liczbą odniesioną do roku, a liczoną jako uśrednienie z ostatnich trzech lat (np. w przypadku strefy kujawsko-pomorskiej czy zachodniopomorskiej) pokazują, że szacowana liczba zgonów może być znacznie zawyżone w przypadku dużych wahań stężeń pomiędzy uwzględnianymi w ocenie latami. Lepszym para



Rycina 3. Średnia liczba przedwczesnych zgonów (ogółem, z powodu chorób układu krążenia i układu oddechowego) na skutek narażenia mieszkańców na zanieczyszczenie powietrza ozonem w strefach w roku 2007 (wartości odniesione do 100 tys. mieszkańców)

Figure 3. Total, cardiovascular and respiratory mortality (average value per 100 thousand inhabitants) as a result of the ozone exposure in Polish zone in 2007



Rycina 4. Średnia liczba przedwczesnych zgonów (ogółem, z powodu chorób układu krążenia i układu oddechowego) na skutek narażenia mieszkańców na zanieczyszczenie powietrza ozonem w strefach w roku 2007

Figure 4. Number of population and total, cardiovascular and respiratory premature mortality as a result of the ozone exposure in Polish zone in 2007

Tabela IV. Szacowana liczba przedwczesnych zgonów w wyniku ekspozycji ludności na ozon w strefach w Polsce w roku 2007
Table IV. Estimated premature death values in total, cardiovascular and respiratory causes due to ozone concentration in Polish zones in 2007

Kod strefy	Nazwa strefy	Liczba ludności	Wskaźnik umieralności ¹ (na 100 tys.)	Liczba przedwczesnych zgonów (na 100 tys.) ²		
				ogółem	choroby układu krążenia	choroby układu oddechowego
PL.02.00.b.28	strefa dolnośląska	2 245 480	972 / 481 / 45	1,6 / 35,2 / 53,8	0,0 / 13,7 / 20,5	1,5 / 4,0 / 6,6
PL.02.01.a.01	aglomeracja wrocławska	632 930	972 / 481 / 45	1,3 / 28,5 / 43,6	0,0 / 11,1 / 16,6	1,2 / 3,2 / 5,4
PL.04.00.b.22	strefa kujawsko-pomorska	1 704 914	927 / 435 / 57	0,9 / 19,7 / 30,2	0,0 / 7,3 / 10,9	1,1 / 3,0 / 4,9
PL.04.01.a.01	aglomeracja bydgoska	361 222	927 / 435 / 57	1,1 / 23,1 / 35,4	0,0 / 8,5 / 12,8	1,3 / 3,5 / 5,8
PL.06.00.b.23	strefa lubelska	1 814 407	1028 / 524 / 46	1,4 / 30,4 / 46,5	0,0 / 12,2 / 18,2	1,2 / 3,3 / 5,5
PL.06.01.a.01	aglomeracja lubelska	351 806	1028 / 524 / 46	1,3 / 29,6 / 45,3	0,0 / 11,9 / 17,8	1,2 / 3,2 / 5,4
PL.08.00.c.14	województwo lubuskie	1 008 481	878 / 401 / 41	1,1 / 24,6 / 37,5	0,0 / 8,8 / 13,2	1,0 / 2,8 / 4,6
PL.10.00.b.23	strefa łódzka	1 682 855	1185 / 583 / 66	1,7 / 37,8 / 57,7	0,0 / 14,6 / 21,8	1,9 / 5,1 / 8,5
PL.10.01.a.03	aglomeracja łódzka	873 043	1185 / 583 / 66	1,7 / 37,6 / 57,5	0,0 / 14,5 / 21,8	1,9 / 5,1 / 8,5
PL.12.00.b.21	strefa małopolska	2 522 453	844 / 436 / 45	1,2 / 25,6 / 39,1	0,0 / 10,4 / 15,5	1,2 / 3,3 / 5,5
PL.12.01.a.01	aglomeracja krakowska	756 583	844 / 436 / 45	0,7 / 15,0 / 22,9	0,0 / 6,1 / 9,1	0,7 / 2,0 / 3,2
PL.14.00.b.41	strefa mazowiecka	3 481 864	960 / 451 / 64	1,3 / 28,2 / 43,0	0,0 / 10,4 / 15,6	1,7 / 4,6 / 7,6
PL.14.01.a.01	aglomeracja warszawska	1 706 624	960 / 451 / 64	1,0 / 21,7 / 33,2	0,0 / 8,0 / 12,0	1,3 / 3,5 / 5,9
PL.16.00.c.12	województwo opolskie	1 037 088	872 / 457 / 43	1,2 / 27,3 / 41,8	0,0 / 11,2 / 16,9	1,2 / 3,3 / 5,5
PL.18.00.c.25	województwo podkarpackie	2 097 338	807 / 426 / 32	1,1 / 24,8 / 37,9	0,0 / 10,3 / 15,4	0,9 / 2,4 / 4,0
PL.20.00.b.16	strefa podlaska	898 517	912 / 428 / 56	1,2 / 26,3 / 40,1	0,0 / 9,7 / 14,5	1,5 / 3,9 / 6,5
PL.20.01.a.01	aglomeracja białostocka	294 143	912 / 428 / 56	1,2 / 27,3 / 41,7	0,0 / 10,1 / 15,1	1,5 / 4,1 / 6,8
PL.22.00.b.17	strefa pomorska	1 465 807	827 / 340 / 50	1,2 / 27,6 / 42,1	0,0 / 8,9 / 13,3	1,5 / 4,1 / 6,7
PL.22.01.a.03	aglomeracja trójmiejska	745 113	827 / 340 / 50	1,1 / 23,3 / 35,5	0,0 / 7,5 / 11,3	1,3 / 3,4 / 5,7
PL.24.00.b.19	strefa śląska	2 378 609	971 / 475 / 52	1,3 / 28,3 / 43,2	0,0 / 10,9 / 16,3	1,4 / 3,7 / 6,1
PL.24.01.a.14	aglomeracja górnośląska	1 978 479	971 / 475 / 52	1,0 / 22,8 / 34,8	0,0 / 8,7 / 13,1	1,1 / 3,0 / 4,9
PL.24.02.a.03	aglomeracja rybnicko-jastrzębska	297 027	971 / 475 / 52	1,3 / 28,6 / 43,7	0,0 / 11,0 / 16,5	1,4 / 3,7 / 6,2
PL.26.00.c.14	województwo świętokrzyskie	1 275 550	1030 / 517 / 50	1,2 / 27,7 / 42,2	0,0 / 10,9 / 16,3	1,2 / 3,3 / 5,4
PL.28.00.c.21	województwo warmińsko-mazurskie	1 426 155	853 / 351 / 73	1,2 / 26,5 / 40,4	0,0 / 8,5 / 12,8	2,0 / 5,5 / 9,2
PL.30.00.b.34	strefa wielkopolska	2 825 950	850 / 401 / 38	1,2 / 25,8 / 39,5	0,0 / 9,6 / 14,3	1,0 / 2,8 / 4,7
PL.30.01.a.01	aglomeracja poznańska	560 932	850 / 401 / 38	1,0 / 22,6 / 34,5	0,0 / 8,4 / 12,6	0,9 / 2,5 / 4,1
PL.32.00.b.20	strefa zachodniopomorska	1 284 460	879 / 413 / 45	1,3 / 29,5 / 45,1	0,0 / 10,9 / 16,3	1,4 / 3,7 / 6,1
PL.32.01.a.01	aglomeracja szczecińska	407 811	879 / 413 / 45	1,1 / 24,8 / 37,8	0,0 / 9,1 / 13,7	1,2 / 3,1 / 5,1
Łącznie		38 115 641	933 / 449 / 51	33,9 / 750,2 / 1 146,0	0,0 / 283,2 / 424,2	36,7 / 99,1 / 164,4

¹ zgony: ogółem / w wyniku chorób układu krążenia / w wyniku chorób układu oddechowego; łącznie: wartości średnie

² wartość: minimalna / średnia / maksymalna

metrem w tym wypadku wydaje się percentyl S93,2 liczony z serii w danym roku, odzwierciedlającym rzeczywisty problem jeśli chodzi o przekroczenie wartości normatywnej. Potwierdzają to wyniki uzyskane dla strefy zachodniopomorskiej, gdzie liczba dni przekraczającej poziom docelowy z okresu ostatnich 3 lat wskazuje na to, iż przekroczenie w tej strefie w roku 2007 miało miejsce. Nie potwierdzają tego faktu jednak ani liczba dni z przekroczeniem tej wartości w roku 2007 (liczonej z jednego roku), która jest bardzo niska (połowa wartości normatywnej normy), ani wartość percentyla S93.2 (wartość bliska stężeniu dopuszczalnemu – 95% normy).

Rozkład wybranych parametrów zanieczyszczenia powietrza ozonem w strefach potwierdza tezę, że podwyższone stężenia ozonu często nie mają charakteru lokalnego i obejmują swoim zasięgiem w wielu przypadkach obszar całego kraju. Najwyższe stężenia oraz największa liczba dni przekraczająca poziom docelowy (podany dla 2007 roku, a nie jako uśrednienie z ostatnich 3 lat) obserwowane były w centralnej i zachodniej części naszego kraju (ryc. 2). Przyczyną takiego stanu rzeczy są głównie sprzyjające tworzeniu się ozonu warunki meteorologiczne w tej części kraju oraz napływ zanieczyszczonego powietrza ozonem oraz jego prekursorami spoza granic kraju.

Przedwczesna umieralność w strefach

Najwyższe wartości stężenia ozonu oraz szacowane liczby zgonów (zgonów ogółem, zgonów z powodu chorób układu krążenia i z powodu chorób układu oddechowego) w wyniku zanieczyszczenia powietrza, obserwowano w 2007 roku w rejonach centralnej i zachodniej części Polski, tj. w strefie mazowieckiej, dolnośląskiej i wielkopolskiej (obszar wymienionych stref zamieszkiwało w 2007 roku ponad 22% ludności kraju), zaś najniższe w aglomeracjach białostockiej, bydgoskiej i rybnicko-jastrzębskiej (łącznie ponad 2% populacji Polski) – ryc. 4

Szacowana liczba zgonów na obszarze Polski (zamieszkiwanej przez 28,5 mln ludności), gdzie nie notowane były w 2007 roku przekroczenia poziomu docelowego (wyrażone wartością parametru S93,2 niższą od 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) zawierała się odpowiednio, dla zgonów ogółem: od 330 do 11162 osób (średnio 7309), dla zgonów w wyniku chorób układu krążenia w granicach od 0 do 4115 (średnio 2746), zaś dla zgonów w wyniku chorób układu oddechowego to przedział 371–1668 osób (średnio 1006). Wyniki te pokazują, że zanieczyszczenie powietrza ozonem na obszarach, gdzie nie są obserwowane wartości stężeń przekraczające obowiązujące normy, ma negatywny istotny wpływ na zdrowie, którego nie można pomijać.

Nieco inaczej sytuacja wygląda, gdy uzyskane wyniki odniesiemy do liczby ludności na danym obszarze (wskaźniki podane w przeliczeniu na 100 tys. mieszkańców) – ryc. 3. Tak szacowana łączna liczba zgonów ogółem w kraju zawierała się w granicach od 40 do 1146 osób. Najwyższe wartości średnie uzyskano w województwie łódzkim (zamieszkiwanym przez ponad 2,5 mln mieszkańców), gdzie notowane były bardzo wysokie stężenia S8max (powyżej 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), a liczba dni z przekroczeniem poziomu docelowego to w 2007 roku ponad miesiąc (zarówno uśredniona w ciągu ostatnich 3 lat jak i w roku 2007). Warto w tym miejscu zauważyć, że szacowana liczba zgonów ogółem w przypadku niskich stężeń ozonu występujących na tym obszarze to w 2007 roku co najmniej 40 osób, a w przypadku niekorzystnych warunków mogła sięgnąć nawet blisko półtora tysiąca. Najniższe wartości średnie omawianego parametru uzyskano dla aglomeracji krakowskiej i warszawskiej oraz w strefie kujawsko pomorskiej (poniżej 22 przypadki zgonów na każde 100 tys. mieszkańców w danej strefie). Na wymienionych obszarach (zamieszkiwanych przez ponad 4,5 mln mieszkańców), pomimo iż wartości normatywne nie były praktycznie przekraczane, liczbę zgonów w wyniku narażenia mieszkańców na stężenia ozonu szacuje się w granicach 37–1254 przypadków.

Podobna sytuacja miała miejsce w przypadku szacowanych dodatkowych zgonów z powodu chorób układu krążenia, przy czym liczba ta była przeciętnie kilkukrotnie niższa od średniej liczby zgonów ogółem (wartość wskaźnika nie przekroczyła 424 osób na 100 tys. mieszkańców w kraju). Na uwagę zasługuje fakt, że maksymalna szacowana liczba zgonów z powodu chorób układu krążenia jest praktycznie 3-krotnie niższa niż liczba zgonów ogółem.

Szacowana liczba przedwczesnych zgonów z powodu chorób układu oddechowego w przeliczeniu na każde 100 tys. mieszkańców w strefach jest najniższa z omawianych i w całym kraju wynosi od 36 do 164 osób. Najwyższą wartość zanotowano jednak nie w województwie łódzkim, a w warmińsko-mazurskim. Na taki wynik w tym rejonie istotny wpływ miał wskaźnik umieralności, znacznie przewyższający średnią w kraju. Najniższe wartości otrzymano dla obszaru południowo-wschodniej części kraju, tj. w aglomeracji krakowskiej i województwie podkarpackim. Warto tu również zauważyć, że minimalna liczba zgonów w Polsce w wyniku chorób układu oddechowego w powiązaniu ze stężeniami ozonu wynosiła ponad 500 osób i w praktyce pokrywała się z liczbą zgonów ogółem.

Wnioski

1. Wyniki urzędowych ocen jakości powietrza, z wyjątkiem odniesienia do wartości normowanych określonych w celu ochrony zdrowia, nie odzwierciedlają rzeczywistego narażenia mieszkańców na zanieczyszczenia powietrza ozonem.

2. O wynikach jakości powietrza w danej strefie (często obszarowo dużej, obejmującej całe województwa z wyłączeniem obszarów aglomeracji), publikowanych w ocenach urzędowych, często decydują podwyższone stężenia ozonu na jednej stacji, która w efekcie może nie odzwierciedlać stanu zanieczyszczenia na całym ocenianym obszarze. W rezultacie może to powodować, że wyniki urzędowej oceny charakteryzujące jakość powietrza w całej strefie mogą być mniej korzystne, niż by to wynikało z rzeczywistego stopnia zanieczyszczenia.

3. Badania pokazują, że ze względu na wysoce reaktywne chemiczne własności ozonu, jego stężenia stanowią obecnie istotny problem zdrowotny w skali kraju, powodując szereg niekorzystnych skutków, wyrażających się między innymi wzrostem umieralności z powodu chorób układu oddechowego i krążenia.

4. Liczba przedwczesnych zgonów w wyniku krótkotrwałego narażenia ludności na ozon troposferyczny w Polsce wskazuje, że problem dotyczy całego kraju, również na obszarach, gdzie przekroczenia wartości normatywnych nie są notowane.

5. W zależności od stopnia wrażliwości danej populacji na zanieczyszczenie powietrza ozonem, szacowany wzrost liczby zgonów w Polsce wahać się może od kilkuset do kilkunastu tysięcy osób rocznie.

Wykaz piśmiennictwa

1. Assessment of ground-level ozone in EEA member countries, with a focus on long-term trends, EEA Technical report No 7/2009, Copenhagen 2009
2. Spatial assessment of PM10 and ozone concentrations in Europe (2005), EEA Technical report No 1/2009, Copenhagen 2009
3. Air pollution by ozone across Europe during summer 2007. Overview of exceedances of EC ozone threshold values for April–September 2007, EEA Technical report No 5/2008, Copenhagen 2008
4. Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution, Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2008
5. J. Iwanek, D. Kobus, G. Mitosek; „Ocena zanieczyszczenia powietrza w Polsce w roku 2007 w świetle wyników pomiarów prowadzonych w ramach PMS”, praca wykonana na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Instytucie Ochrony Środowiska; Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2008, (<http://www.gios.gov.pl>)

6. D. Kobus, G. Mitosek, J. Iwanek; „Ocena jakości powietrza w strefach w Polsce za rok 2007”. Zbiorczy raport krajowy z rocznej oceny jakości powietrza w strefach wykonywanej przez WIOŚ wg zasad określonych w art. 89 ustawy-Prawo ochrony środowiska”, praca wykonana na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Instytucie Ochrony Środowiska; Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2008, (<http://www.gios.gov.pl>)
7. Czwarty Raport Oceny, European Environment Agency Belgrad, 2007
8. Air pollution in Europe 1990–2004, EEA Technical report No 2/2007, Copenhagen 2007
9. „Air Quality Guidelines. Global update 2005. Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide”, Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2006 (WHO Regional Publications, European Series, No. 91)
10. Prüss-Üstün A, et al. Introduction and methods: assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Geneva, World Health Organization, 2003. (WHO Environmental Burden of Disease Series, No. 1)
11. „Air quality guidelines for Europe, 2nd ed.” Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2000 (WHO Regional Publications).
12. M. Krzyżanowski: Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution; Occupational and Environmental Medicine 1997;54: 145-151

Akty prawne

13. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe (OJ L 152, 11.6.2008, p. 1–44)
14. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2008 Nr 25 poz. 150)
15. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 grudnia 2008 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2009 Nr 5 poz. 31)
16. Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 6 marca 2008 w sprawie stref, w których dokonuje się oceny jakości powietrza (Dz. U. z 2008 Nr 53, poz. 310).
17. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 marca 2008 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2008 Nr 47, poz. 281)
18. Ustawa z dnia 20 lipca 1991 roku o Inspekcji Ochrony Środowiska (Dz. U. z 1991 r. Nr 77, poz. 335 z późn. zm.)

Adres do korespondencji:
mgr inż. Krzysztof Skotak
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego –
Państwowy Zakład Higieny
Zakład Higieny Komunalnej
ul. Chocimska 24, 00-791 Warszawa,
Telefon: (+48 22) 54-21-272
Fax: (+48 22) 54-21-287
e-mail: kskotak@pzh.gov.pl