

Uwaga! SMOG!

Stand-by! Killer FOG!

Barbara Łabij-Reduta, Jacek Borawski, Beata Naumnik

I Klinika Nefrologii i Transplantologii z Ośrodkiem Dializ, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

Streszczenie

Zanieczyszczenia powietrza, z których najniebezpieczniejsze są pyły zawieszane o średnicy mniejszej niż 2,5 µm oraz ozon, mogą się przyczyniać do powstawania całego spektrum uszkodzeń organizmów żywych, schorzeń układu sercowo-naczyniowego, immunologicznego, rozrodczego, dróg oddechowych, nerek, jak również związanych ze sferą emocjonalno-psychiczną. Ponieważ na całym świecie smog powoduje zgony 3,5 mln osób rocznie, kładzie się coraz większy nacisk na jego eliminację. Kluczowe znaczenie wydaje się mieć zrozumienie mechanizmu jego powstawania oraz szkodliwości, a przede wszystkim możliwości skutecznego podejścia do problemu.

Słowa kluczowe: smog, zanieczyszczenie powietrza, choroby nerek

Przedrukowano za zgodą z: Forum Nefrologiczne 2018; 11 (4): 231–240

Wstęp

W ciągu ostatnich lat w Polsce nastąpił zauważalny wzrost zainteresowania smogiem. Informacje na jego temat coraz częściej pojawiają się w mediach i debacie publicznej. Smog zmienił nie tylko modę uliczną, ale też opanował billboardy i spoty reklamowe.

Dlaczego wszyscy o nim mówią? Co wyjątkowego zrobił? I czym w ogóle jest sprawca całego zamieszania?

Nie legendy, lecz fakty o smogu wawelskim

Etymologia określenia „smog” ma swoje korzenie w dwóch angielskich słowach: smoke (dym) oraz fog (mgła). Po raz pierwszy użył go w 1911 roku lekarz Harold Des Voeux.

Termin ten odnosi się do nienaturalnego zjawiska atmosferycznego, powstającego wskutek kombinacji dwóch czynników: oddziaływania wytwarzanych przez ludzi substancji zatrujących powietrze oraz specyficznych warunków atmosferycznych – znacznego zamglenia i wyżowej, bezwietrznej pogody. W okresach ciszy, przy małej prędkości wiatru, dymy oraz pyły nie ulatują do góry, ale zostają przy

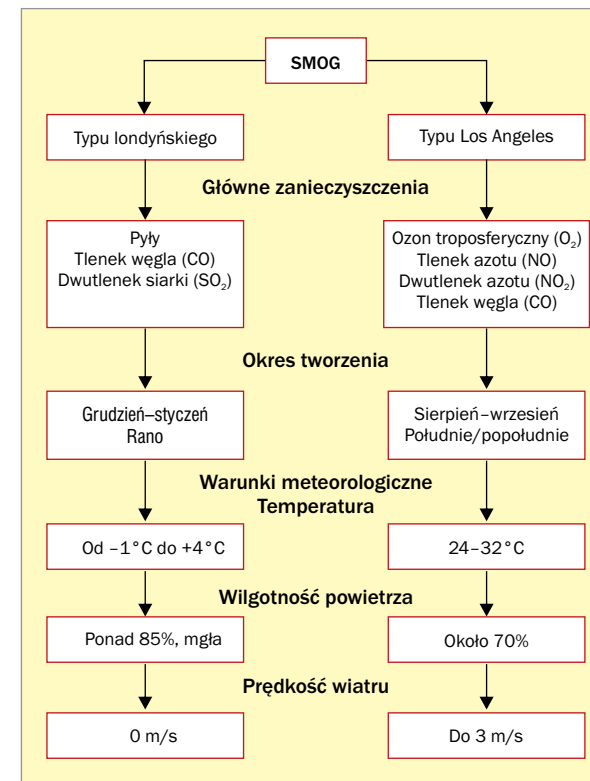
powierzchni ziemi, rozprzestrzeniając się poziomo i w dół na znacznych przestrzeniach. W normalnych warunkach temperatura troposfery obniża się w miarę wznoszącej wysokości, lecz przy niekorzystnych warunkach pogodowych warstwa zimnego powietrza jest nakryta lżejszym, cieplejszym powietrzem, co utrudnia unoszenie się warstwy chłodniejszej z powierzchni ziemi. W następstwie tego zakłócenia, a także znacznej emisji szkodliwych substancji dochodzi do powstania skłębionej, szkodliwej zawiesiny, która trafia do naszych płuc.

Tak więc smog rodzi się w korzystnych dla siebie warunkach:

- terenowych (np. w dolinie otoczonej wzgórzami);
- pogodowych (brak wiatru, duża wilgoć);
- atmosferycznych (zjawisko inwersji powietrza – ciepłe powietrze unosi się nad zimnym).

Ze względu na miejsce i warunki powstawania oraz skład chemiczny wyróżnia się dwa rodzaje smogu (ryc. 1).

- 1) Smog typu londyńskiego, spowodowany głównie zanieczyszczeniem powietrza wskutek spalania węgla i emisji dwutlenku siarki; w jego skład wchodzi również: tlenki azotu, sadza oraz trudno opadające pyły. Takie zanieczyszczenie w połączeniu z mgłą powoduje powstawanie



Rycina 1. Podział smogu

zawieszonych w powietrzu kropelek kwasu siarkowego (H₂SO₄). Gdy w 1952 roku w Londynie w czasie trwania smogu stężenie dwutlenku siarki przekroczyło 3,5 mg/m³ powietrza, doprowadziło to do masowych zgonów. Smog londyński obserwowano po raz pierwszy w połowie XIX wieku, dziś występuje raczej rzadko, głównie w okresie od listopada do stycznia podczas inwersji temperatur w umiarkowanej strefie klimatycznej.

- 2) Smog typu Los Angeles (smog fotochemiczny, ozon troposferyczny), powstający przede wszystkim w miesiącach letnich, w strefach subtropikalnych; składa się on z tlenków węgla, tlenków azotu i węglowodorów; związki te ulegają późniejszym reakcjom fotochemicznym, w wyniku których powstają azotan nadtlenu acetylu (PAN), aldehydy oraz ozon. Smog fotochemiczny zawiera ozon troposferyczny, formaldehyd, ketony i PAN. Ozon może osiągnąć stężenie nawet 12 ppm (*parts per million*) w stratosferze, podczas gdy przy powierzchni ziemi zwykle nie przekracza ono 0,04 ppm. Ten typ smogu jest obecnie dość częsty latem w dużych miastach. W pewnym sensie zastąpił on smog typu londyńskiego po roku 1960, a w Europie Zachodniej po roku 1980.

Tak więc w zanieczyszczonym powietrzu aż się roi od „piorunujących” składników. Do najgroźniejszych należą: sadza, pyły zawieszane (PM, *particulate matters*; PM_{2,5}, PM₁₀), dwutlenek siarki, tlenek azotu, ołów, rtęć, silnie

zawieszonych w powietrzu kropelek kwasu siarkowego (H₂SO₄). Gdy w 1952 roku w Londynie w czasie trwania smogu stężenie dwutlenku siarki przekroczyło 3,5 mg/m³ powietrza, doprowadziło to do masowych zgonów. Smog londyński obserwowano po raz pierwszy w połowie XIX wieku, dziś występuje raczej rzadko, głównie w okresie od listopada do stycznia podczas inwersji temperatur w umiarkowanej strefie klimatycznej.

Tak więc w zanieczyszczonym powietrzu aż się roi od „piorunujących” składników. Do najgroźniejszych należą: sadza, pyły zawieszane (PM, *particulate matters*; PM_{2,5}, PM₁₀), dwutlenek siarki, tlenek azotu, ołów, rtęć, silnie

rakotwórczy benzo(a)piren (ten sam, który występuje w dymie nikotynowym), dioksyny (tymi substancjami próbowano otruć prezydenta Ukrainy Wiktora Juszczenkę) oraz ozon troposferyczny (tzw. zły ozon, znajdujący się w najniższej warstwie atmosfery).

Dwutlenek siarki i dwutlenek azotu podrażniają drogi oddechowe, spojówki i skórę. Naturalnymi mechanizmami obronnymi są kaszel, nasilone wydzielanie śluzu w drogach oddechowych i łzawienie. Stanowią one jedynie swego rodzaju sygnał alarmowy, ponieważ prawdziwe problemy rodzą się nieco później.

Najniebezpieczniejsze składniki smogu to ozon i PM. Ozon, gaz o silnych właściwościach toksycznych i aseptycznych, w czystej postaci jest wykorzystywany do wyjaławiania wody (np. w basenach) czy sterylizacji pomieszczeń. Naturalnie występuje w wyższych partiach atmosfery, pełniąc funkcję filtra pochłaniającego promieniowanie ultrafioletowe. Jednak gdy pojawia się w nadmiarze we wdychanym przez nas powietrzu, staje się śmiertelnie groźnym zabójcą. Związek ten nasila powstawanie wolnych rodników w nabłonku drzewa oskrzelowego, co może powodować procesy nowotworzenia i choroby serca [1].

Pyły zawieszane składają się z zawieszonych w powietrzu cząstek będących mieszaniną substancji organicznych i nieorganicznych. Pył zawieszony może zawierać substancje toksyczne, takie jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (np. benzo(a)piren), metale ciężkie oraz dioksyny i furany. Pył PM₁₀ zawiera cząstki o średnicy mniejszej niż 10 µm (1/5 średnicy włosa ludzkiego), które mogą docierać do górnych dróg oddechowych i płuc. Poziom dopuszczalny dla stężenia średniodobowego wg norm unijnych wynosi 50 µg/m³ i może być przekraczany nie częściej niż przez 35 dni w ciągu roku. Poziom dopuszczalny dla stężenia średniorocznego wynosi 40 µg/m³, a poziom alarmowy 200 µg/m³. Z bliżej nieznanymi przyczyn wg norm polskich stężenie PM₁₀ na poziomie 100 µg/m³ jest kategorizowane jako stan umiarkowany, jako zły określa się dopiero poziom przekraczający 140 µg/m³ [2].

Pył PM_{2,5} zawiera cząstki o średnicy mniejszej niż 2,5 µm (1/20 średnicy włosa ludzkiego), które nie tylko docierają do płuc, ale mogą również przenikać do krwi. Docelowa wartość średniorocznego stężenia pyłu PM_{2,5} wynosi 25 µg/m³, poziom dopuszczalny 25 µg/m³, a poziom dopuszczalny powiększony o margines tolerancji to 27 µg/m³ [2].

Jak wskazują dane z ostatniego raportu Głównej Inspekcji Ochrony Środowiska (GIOŚ), określone prawem normy dla stężenia PM₁₀ są przekroczone na 90% powierzchni Polski. W przypadku rakotwórczego i mutagennego benzo(a)pirenu sytuacja jest jeszcze gorsza – norma dla stężenia tej substancji została przekroczona we wszystkich strefach monitoringu powietrza w kraju. Niejednokrotnie przekroczenia te sięgają 1000% normy. Tak więc Polacy oddychają niestety najbardziej zanieczyszczonym powietrzem w całej Unii Europejskiej [2].

Tabela 1. Liczba dni z alarmem smogowym od 1 stycznia 2018 roku (stan na dzień 18.09.2018)

Kraków	45
Rybnik	40
Warszawa	28
Zakopane	15
Łódź	13

Źródło: www.polskialarmsmogowy.pl

Polska specjalność — smog krakowski. Kto go zgładzi?

Ze szczególnie trującego powietrza „słynie” Kraków [2]. Dopuszczalne normy dla PM i benzo(a)pirenu są w tym mieście nieustannie przekraczane, i to często kilkunastokrotnie. To tak, jakby każdy krakowianin (nawet dziecko) wypalał dziennie trzy paczki papierosów. Chociaż o tym problemie mówi się głośno od kilku lat, poziom szkodliwych substancji wcale się nie zmniejszył, a wręcz przeciwnie, wciąż bijemy nowe rekordy. Jeden z nich padł w grudniu 2016 roku w podkrakowskiej Skale — ilość zanieczyszczeń w powietrzu była 20-krotnie większa od standardów Światowej Organizacji Zdrowia (WHO, *World Health Organization*). W styczniu

2017 roku odnotowano alert smogowy dla większości miast w Polsce centralnej, południowej i południowo-zachodniej.

Zgony spowodowane zanieczyszczeniem powietrza w Polsce generują koszty w wysokości 101 826 mln dolarów, co stanowi aż 12,9% produktu krajowego brutto (PKB). W przeliczeniu na jednego mieszkańca Polski jest to ponad 800 złotych miesięcznie. Europejskie gospodarki każdego roku ponoszą koszt ok. 1,6 bln dolarów z tytułu chorób i przedwczesnych zgonów obywateli, spowodowanych złą jakością powietrza.

W Polsce, która ma najbardziej zanieczyszczone powietrze w całej Europie, coraz częściej pojawiają się inicjatywy obywatelskie dążące do zmian i polepszenia jakości powietrza. Polski Alarm Smogowy przygotował petycję w tej sprawie do Prezydenta Andrzeja Dudy, którą może podpisać każdy obywatel!

Smog ma na swoim koncie 3,5 mln ofiar rocznie w skali światowej — to więcej niż HIV, malaria i konflikty zbrojne razem wzięte. Stanowi 11. przyczynę wszystkich zgonów na świecie. Tylko w Polsce z powodu chorób związanych z zanieczyszczeniem powietrza umiera co roku około 43 tys. osób. Dla porównania — każdego roku w Polsce w wypadkach ginie ok. 3500 osób [2]. Warto też podkreślić, że zanieczyszczenie powietrza PM pochodzenia antropoge-

nicznego skraca życie mieszkańców Polski o co najmniej 6–12 miesięcy.

Smog — masowy zabójca

Jak możemy się bronić przed zanieczyszczonym powietrzem?

Oczywiście najlepszą metodą walki ze smogiem byłoby zminimalizowanie poziomu zanieczyszczeń w miastach. Brytyjczycy, nauczeni tragicznymi doświadczeniami z grudnia 1952 roku (w wyniku londyńskiego smogu w ciągu 5 dni zmarło 4 tys. osób, a 150 tys. zostało hospitalizowanych), radykalnie zmienili swoje podejście do ochrony środowiska, co pozwoliło im wyeliminować problem smogu [2]. Niestety, nad Wisłą nie będzie to takie proste. Mimo licznych inicjatyw społecznych i medialnych Polacy nie potrafią się wyżyć wieloletnich przyzwyczajęń. Nawet unijne dofinansowanie wymiany niskiej jakości kotłów grzewczych na nowoczesne nie przyniosło oczekiwanych efektów.

I Ty możesz zostać szewczykiem Skubą w kilku prostych krokach!

Nie pozostaje nam nic innego, jak samodzielnie bronić się przed szkodliwym powietrzem. Jest kilka metod, które powinny stanowić dekalog dla każdego z nas — wymieniono je poniżej.

- 1) Korzystaj z aplikacji smogowej (na telefon lub umożliwiającej sprawdzanie jakości powietrza na internetowych portalach informacyjnych) i w przypadku złego stanu powietrza zastosuj się do następujących wytycznych:
 - a) w okresie maksymalnego stężenia substancji trujących najlepiej pozostawać w pomieszczeniach przy zamkniętych oknach;
 - b) w przypadku konieczności wyjścia na zewnątrz stosuj specjalną maskę ochronną na górne drogi oddechowe (odpowiedni rozmiar, cztery warstwy zabezpieczające: filtr wstępny zatrzymujący kurz i pyłki > 10 µm, warstwa anty-PM10, warstwa anty-PM2,5, warstwa z węglem aktywnym plus zawór odprowadzający dwutlenek węgla, parę wodną i ciepło);
 - c) unikaj wysiłku fizycznego, ponieważ im szybciej oddychamy, tym więcej pyłu dostaje się do naszych płuc; wg modelu komputerowego stworzonego przez Amerykanów optymalne tempo marszu w zanieczyszczonym powietrzu wynosi 4 km na godzinę.
- 2) Ogranicz jazdę samochodem, dbaj o jego stan techniczny i stan filtrów, nie usuwaj filtrów cząstek stałych z nowych pojazdów z silnikiem Diesla, zmień środek transportu na publiczny, w okresie maksymalnego stężenia substancji trujących nie przesiadaj się na rower!
- 3) Dbaj o zieleni i sadź rośliny na zewnątrz, w domu hoduj rośliny pochłaniające pyły (bluszcz, difenbachia, skrzyd-

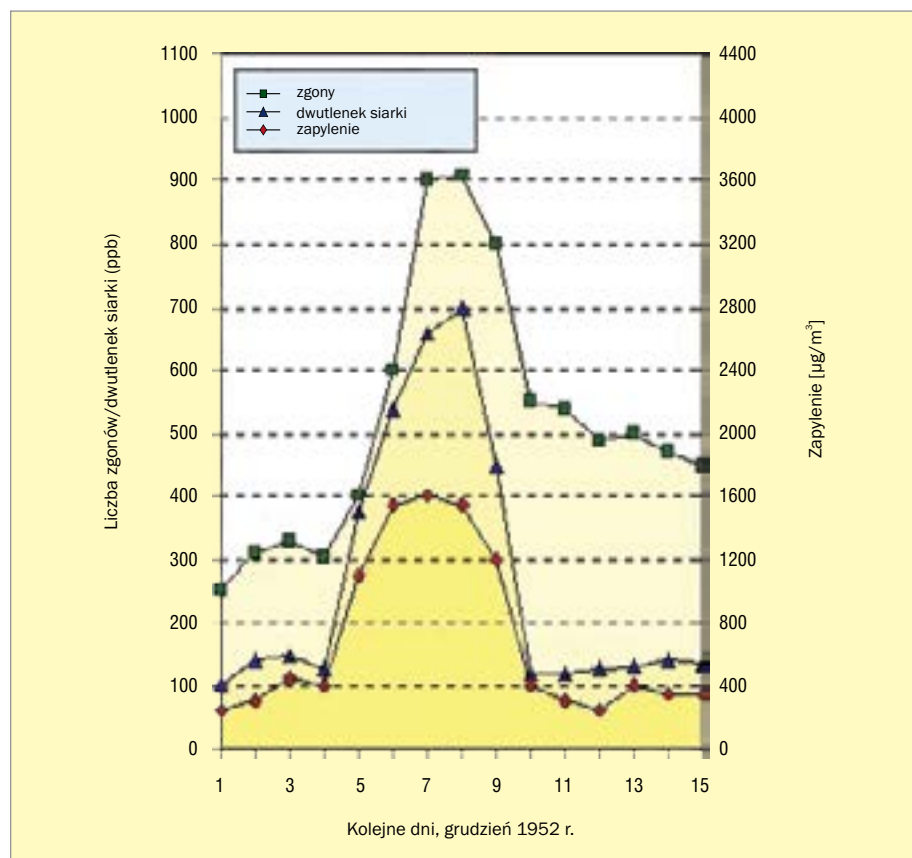
łokwiat, sansewieria, daktylowiec niski, filodendron, paprotka).

- 4) Zakup do domu przynajmniej 4-warstwowy filtr HEPA (zawierający warstwy podobne jak w przypadku maski ochronnej na twarz).
- 5) Stosuj dietę antysmogową — bogatą w witaminę E i inne antyoksydanty (kapusta, brokuły, szpinak, czosnek, awokado, orzechy, wysokiej jakości oleje roślinne, zielona herbata, kakao, gorzka czekolada).
- 6) Ogrzewaj mądrze, zainwestuj w nowoczesny piec i wysokiej jakości opał lub podłącz się do sieci ciepłowniczej.
- 7) Edukuj innych i dziel się swoją wiedzą, kształtuj pozytywne nawyki wśród najbliższych i najmłodszych, starszym pomóż zmienić złe nawyki.
- 8) Inicjuj i angażuj się w działania ekologiczne.
- 9) Reaguj natychmiast, jeżeli widzisz coś niepokojącego (obojętność = przyzwolenie).
- 10) Przede wszystkim — ZMIEN SWOJE MYŚLENIE!

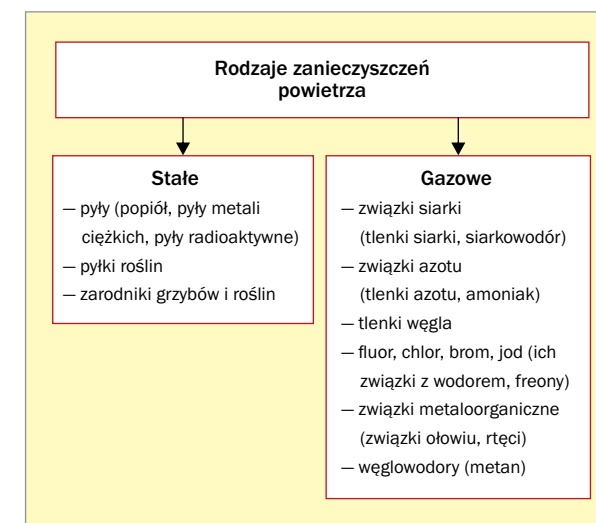
Masowi mordercy zwykle dokonują zbrodni w miejscach publicznych, popełniając przestępstwo o zasięgu lokalnym. Częściej pojawiają się w wielkich miastach — czy oby na pewno dotyczy to naszego sprawcy?

Światowa Organizacja Zdrowia uznała niedawno Polskę i Bułgarię za najbardziej zanieczyszczone kraje w Unii Europejskiej [3]. Z szacunków WHO wynika, że z powodu zanieczyszczenia powietrza w ciągu roku na świecie umiera przedwcześnie blisko 7 mln ludzi. Liczba ta stanowi aż jedną ósmą wszystkich zgonów. Oszacowano, że tylko w 2010 roku w Polsce i w Bułgarii zanieczyszczone powietrze spowodowało 600 000 przedwczesnych zgonów.

Raport WHO pokazuje również zatrważającą prawdę o skutkach zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w Polsce, które w roku 2010 przyczyniły się do przedwczesnej śmierci 48 544 Polaków.



Rycina 2. Stosunek liczby zgonów do zapalenia i stężenia dwutlenku siarki (ppb, parts per billion). Źródło: Manchester Metropolitan University. Veronica Eyring. Industry emissions mash global warming



Rycina 3. Rodzaje zanieczyszczeń powietrza [1]

Za największą emisję pyłów odpowiada spalanie węgla w starych i często źle wyregulowanych kotłach i piecach domowych (kominkach!) oraz – w dużych miastach – komunikacja (spaliny + pył oponowy). Palenie byle czym (węglem marnej jakości, plastikiem czy odpadami) w byle jakich piecach nadal jest w Polsce uważane za przejaw oszczędności i praktyczności. W zasadzie bezkarny jest także proceder wycinania przez właścicieli samochodów filtrów z silników Diesla. Emisję pyłów powoduje również przemysł, szczególnie energetyczny, chemiczny, wydobywczy i metalurgiczny, ale ze względu na wysokość emitorów oraz obowiązujące przepisy prawne regulujące dopuszczalne wartości emisji źródła te mają zwykle dużo mniejszy wpływ na jakość powietrza.

Miasta o najwyższym stężeniu rakotwórczego benzo(a)pirenu

- 1) Nowa Ruda – 17 ng/m³
- 2) Opoczno – 15 ng/m³
- 3) Nowy Targ – 15 ng/m³
- 4) Rybnik – 12 ng/m³
- 5) Sucha Beskidzka – 11 ng/m³
- 6) Proszowice – 10,0 ng/m³
- 7) Nowy Sącz – 10,0 ng/m³
- 8) Tomaszów Mazowiecki – 9,8 ng/m³
- 9) Godów – 9,6 ng/m³

- 10) Zakopane – 9,1 ng/m³
- 11) Brzeziny – 9,1 ng/m³
- 12) Miechów – 9,0 ng/m³
- 13) Zabrze – 8,7 ng/m³
- 14) Rabka-Zdrój – 8,1 ng/m³
- 15) Otwock – 8,0 ng/m³

Miasta o najczystszej powietrzu

Według danych Państwowego Monitoringu Środowiska jedynym miastem spełniającym normy jakości powietrza jest Słupsk (0,99 ng/m³). Najlepsze pod względem czystości powietrza są miasta w województwie podlaskim (średnia 1,94 ng/m³). Nieco gorzej jest w województwach pomorskim (średnia 2,44 ng/m³) i warmińsko-mazurskim (średnia 2,68 ng/m³). Warto zwrócić uwagę, że powietrze w województwach uchodzących za najczystsze w Polsce ponad 2-krotnie przekracza europejskie normy czystości.

- 1) Słupsk – 0,99 ng/m³
- 2) Działoszyn – 1,0 ng/m³
- 3) Liniewko Kościerskie – 1,3 ng/m³
- 4) Gdynia – 1,4 ng/m³
- 5) Władysławowo – 1,6 ng/m³
- 6) Kwidzyn – 1,7 ng/m³
- 7) Koszalin – 1,7 ng/m³
- 8) Zamość – 1,8 ng/m³
- 9) Suwałki – 1,8 ng/m³

- 10) Gdańsk – 1,8 ng/m³
- 11) Szczecin – 1,9 ng/m³
- 12) Olsztyn – 2,0 ng/m³
- 13) Leszno – 2,0 ng/m³
- 14) Lublin – 2,1 ng/m³
- 15) Białystok – 2,1 ng/m³

Stężenia wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), w tym wyjątkowo niebezpiecznego, rakotwórczego i mutagennego benzo(a)pirenu, przekraczają dopuszczalny poziom (norma to średnie stężenie roczne równe 1 ng/m³) praktycznie na terenie całego kraju i są wielokrotnie wyższe niż stężenia tej substancji, z jakimi mają do czynienia mieszkańcy państw zachodniej Europy.

Najwyższe stężenia PM i WWA występują w Polsce w miejscowościach należących do aglomeracji górnośląskiej i aglomeracji krakowskiej, ale też w miejscowościach położonych w kotlinach górskich, zarówno w Karpatach, jak i w Sudetach, gdzie stężenia zanieczyszczeń są często wyższe niż w dużych miastach.

Wpływ zanieczyszczeń powietrza na organizm człowieka

Szczególnie narażonymi grupami są dzieci (dotyczy to również okresu prenatalnego) i ludzie starsi, osoby z istniejącymi wcześniej chorobami układu sercowo-naczyniowego czy oddechowego, chorzy na cukrzycę, z otyłością, a także osoby o niskim statusie socjoekonomicznym. Ekspozycja na zanieczyszczenia powietrza wiąże się ze zwiększoną umieralnością oraz skróceniem oczekiwanej długości życia.

Do czołówki szkodliwych substancji należy zawieszony w powietrzu pył, którego cząstki mają średnicę aerodynamiczną poniżej 2,5 µm, ze składem chemicznym zależnym od źródła. Ponadto pyły o średnicy poniżej 10 µm są absorbowane w górnych drogach oddechowych i oskrzelach. Inhalowane do płuc, mogą powodować różne reakcje ze strony organizmu, np. kaszel, trudności z oddychaniem i zadyszkę, zwłaszcza w czasie wysiłku fizycznego. Przyczyniają się do zwiększenia ryzyka infekcji układu oddechowego oraz zaostrzeń objawów chorób alergicznych, np. astmy, kataru siennego i zapalenia spojówek. Nasilenie symptomów zależy też od stężenia pyłu w powietrzu, czasu ekspozycji, dodatkowego narażenia na czynniki pochodzenia środowiskowego oraz zwiększonej podatności osobniczej (najbardziej podatne są dzieci!). Drobne frakcje pyłów mogą przenikać do krwiobiegu, a dłuższe narażenie na wysokie stężenia pyłu może mieć istotny wpływ na przebieg chorób serca (nadciśnienie tętnicze, zawał serca) lub nawet zwiększać ryzyko rozwoju chorób nowotworowych, szczególnie płuc.

Nowe dane świadczą o negatywnym wpływie inhalowanego pyłu na zdrowie kobiet w ciąży oraz rozwijającego się płodu (niska urodzeniowa masa ciała, wady wrodzone, powikłania przebiegu ciąży). Oddychanie przez kobietę

w ciąży powietrzem zanieczyszczonym PM_{2,5} koreluje także z występowaniem autyzmu czy zespołu nadpobudliwości psychoruchowej z deficytem uwagi (ADHD, *attention-deficit hyperactivity disorder*) u potomstwa [4]. W 2013 roku WHO zaliczyła PM do kancerogenów, uznając, że wykazują one zauważalny i dobrze udowodniony wpływ na zwiększenie zachorowalności na raka płuc. Według szacunków WHO w objętym badaniem 2010 roku z powodu raka płuc spowodowanego zanieczyszczeniem powietrza zmarło na świecie 230 tys. osób [5].

Wpływ zanieczyszczeń powietrza na umieralność

Analizując dane z kilku amerykańskich miast, wykazano, że wzrost dobowych stężeń PM o 100 µg/m³ zwiększa o kilka procent umieralność kolejnego dnia. Współczynnik ryzyka dla zgonu związanego z krótkoterminową ekspozycją na PM wahał się w zakresie 1,04–1,07 na każde 100 µg/m³ [6]. Podobne wartości współczynnika ryzyka wykazali również badacze niemieccy oraz analiza danych z Londynu z lat 1958–1972. Badania te zostały uzupełnione o wyniki dwóch dużych badań kohortowych, w których przeprowadzono analizę długoterminową. Udowodniono, że umieralność w najbardziej zanieczyszczonym spośród sześciu badanych miast (Steubenville) była aż o 26% (!) wyższa niż w miejscowości najczystszej pod względem zanieczyszczeń pyłowych. Uwagę zwraca również to, że roczne stężenie PM_{2,5} utrzymywało się poniżej 30 µg/m³, czyli było niższe niż obecnie w wielu polskich miejscowościach.

Zwiększenie długoterminowego narażenia na PM_{2,5} o 10 µg/m³ przekłada się na wzrost umieralności całkowitej, umieralności związanej z chorobami układu sercowo-naczyniowego i związanej z rakiem płuca – odpowiednio o 6%, 9% i 14%. Dla cząstek większych niż 2,5 µm nie stwierdzono takiego związku [7].

Należy też zauważyć, że redukcja stężeń zanieczyszczeń powietrza prowadzi do istotnej redukcji umieralności. W czasie strajku zakładów metalurgicznych w Utah Valley w Stanach Zjednoczonych średnie stężenie PM₁₀ zmniejszyło się o ok. 15 µg/m³, umieralność spadła zaś o 3,2%. W Dublinie po wprowadzeniu ograniczeń handlu paliwami stałymi uzyskano poprawę jakości powietrza i co się z tym wiąże – spadek liczby zgonów o ok. 360/rok.

W związku ze wspomnianym wcześniej udokumentowanym wpływem na zdrowie i życie ludzkie, jaki wywiera także krótkoterminowa ekspozycja na zanieczyszczenia pyłowe, zalecenia WHO odnośnie do maksymalnych stężeń dobowych to 25 µg/m³ dla PM_{2,5} oraz 50 µg/m³ dla PM₁₀. Wartości te nie powinny być przekraczane częściej niż 3 razy w roku. Dla porównania, obecnie obowiązujący w Polsce poziom informowania dla stężeń dobowych pyłu PM₁₀ wynosi 200 µg/m³, poziom alarmowy zaś – aż



Rycina 4. Wpływ zanieczyszczeń powietrza na organizm człowieka. Źródło: Społeczna Inicjatywa na Rzecz Czystego Powietrza, <http://dolnoslaskialarmsmogowy.pl>.

300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, czyli są odpowiednio 4- i 6-krotnie wyższe niż wytyczne WHO. Są to także najwyższe normy informowania i alarmowania w całej Europie.

Nie powinno zatem dziwić, że nawet przy tak wysokich stężeniach pyłu PM₁₀, z jakimi mamy do czynienia w naszym kraju, osiągnięcie dla tej substancji średniej dobowej przekraczającej aktualny poziom alarmowy zdarza się bardzo rzadko. W roku 2015 miało miejsce tylko jedno takie przekroczenie w całej Polsce.

Co więcej, polskie wytyczne informowania powodują, że mieszkańcy dowiadują się o zagrożeniu, kiedy mają już do czynienia z dobowymi stężeniami PM_{2,5} wynoszącymi 120–160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, czyli 6–8-krotnie przewyższającymi zalecenia WHO. Z kolei poziom alarmowy dla PM₁₀ oznacza, że stężenia PM_{2,5} najprawdopodobniej mieszczą się w przedziale 180–240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a więc są już bardzo wysokie. Z punktu widzenia ochrony zdrowia i życia ludzkiego takie normy informowania czy też alarmowania wydają się zupełnie nieadekwatne.

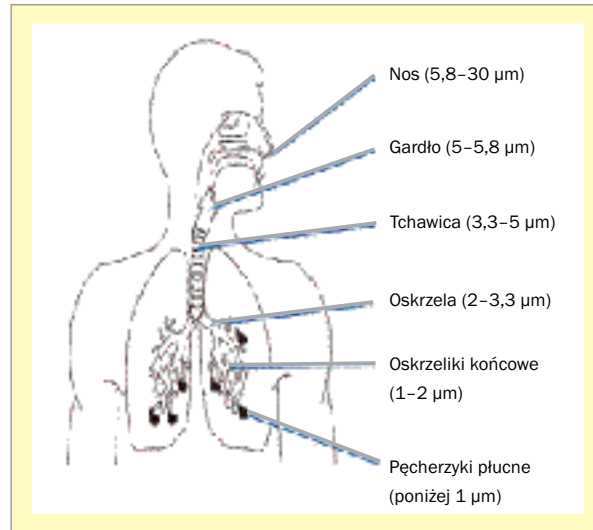
Należy też podkreślić, że w większości miejsc w Polsce liczba dni, w których średnie dobowe stężenie pyłu PM₁₀ przekracza 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, jest znacznie wyższe nie tylko od wartości rekomendowanej przez WHO, ale także od wartości dopuszczanej przez prawo unijne (35 dni w ciągu roku!).

Wpływ zanieczyszczeń powietrza na nerki

Zgodnie z wynikami badań ESCAPE (*The European Study of Cohorts for Air Pollution Effects*) w przypadku drobnych zanieczyszczeń (PM_{2,5}) każdy wzrost gęstości pyłu o 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ powoduje wzrost ryzyka zgonu z przyczyn naturalnych aż o 7% [8].

Po uwzględnieniu wyników badań epidemiologicznych przewlekłą ekspozycję na zanieczyszczenia powietrza uznano za jedną z przyczyn chorób układu sercowo-naczyniowego u ludzi. U zdrowych osób narażonych na zanieczyszczenia powietrza w porównaniu z osobami żyjącymi na terenach mniej zanieczyszczonych obserwowano wyższe stężenia cytokin prozapalnych, takich jak interleukiny IL-6, IL-8 oraz IL-1B [9]. Przyjmuje się, że im mniejsza średnica cząsteczki pyłu, tym jej większa szkodliwość. Negatywne skutki zdrowotne zostają zapoczątkowane przez stan zapalny, stres oksydacyjny, uszkodzenia śródbłonna i wtórną aktywację współczulnego układu nerwowego. Wiąże się to ze wzrostem skurczowego ciśnienia tętniczego średnio o 1,7 mm Hg, rozkurczowego zaś — o 0,8 mm Hg.

Analiza badania prowadzonego przez naukowców z Izraela w grupie ponad 70 tys. pacjentów wykazała, że narażenie na PM₁₀ było związane ze wzrostem stężenia glukozy, a także hemoglobiny glikowanej (HbA_{1c}) w surowicy krwi. Przyczyniało się również do wzrostu stężeń lipoproteiny o niskiej gęstości (LDL, *low density lipoprotein*) i triglice-



Rycina 5. Układ oddechowy z zaznaczonymi rozmiarami cząstek pyłu mogących się przedostać do poszczególnych fragmentów układu oddechowego człowieka. Źródło: Utah Department of Health. Particulate Matter. Brittany Guerra

rydów oraz spadku frakcji lipoproteiny o wysokiej gęstości (HDL, *high density lipoprotein*) [9].

Wykazano również, że PM poprzez uwalnianie mediatorów prozapalnych i prozakrzepowych (wzrost stężenia czynnika VII oraz czynnika tkankowego) może sprzyjać powstawaniu zakrzepicy — zarówno żyłnej, jak i tętniczej [9].

Należy wziąć pod uwagę powyższe czynniki oraz ich znaczenie w patogenezie nefropatii nadciśnieniowej czy progresji przewlekłej choroby nerek. Podsumowując, można stwierdzić, że dobra kontrola ciśnienia tętniczego, glikemii, gospodarki lipidowej oraz unikanie bądź usuwanie czynników prowadzących do ich nasilenia należą do głównych działań zapobiegających rozwojowi, jak również powikłaniom ze strony nerek.

Wpływ ekspozycji prenatalnej zwiększa ryzyko niskiej urodzeniowej masy ciała (mniejsza liczba i wielkość nefronów) oraz wcześniactwa. Trzeba zaznaczyć, że oba powyższe czynniki mogą rzutować na rozwój przewlekłej choroby nerek. Ponadto w takich przypadkach stwierdza się większą podatność na infekcje oraz uszkodzenia, które skutkują upośledzeniem funkcjonowania nerek.

Badanie prowadzone przez 11 lat wśród ponad 71 tys. osób z *Southern Medical University* w Kantonie, polegające na analizie biopłatów nerek, wykazało znamienne wyższą częstość występowania nefropatii błoniastej u mieszkańców regionów o dużym zanieczyszczeniu pyłami.

Udowodniono, że długotrwałe narażenie na cząstki stałe o średniej średnicy < 2,5 μm wiąże się ze zwiększonym ryzykiem wystąpienia tej właśnie nefropatii i szybszym upośledzeniem czynności nerek. W badaniach obejmujących populację chińską, prowadzonych w latach 2004–2014,

zaobserwowano także istotny wzrost (z 12,2% do 24,9%) częstości nefropatii błoniastej, która może się stać wiodącą nefropatią w tej populacji, wypierając nefropatię IgA (obecnie 36,3% biopłatów nerek) [10].

Analiza 14 kohort (10 regionów Europy, łącznie 290 tys. osób) z badania ESCAPE (390 tys. uczestników) pod względem wpływu zanieczyszczeń wynikających z ruchu ulicznego (PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, NO₃) wykazała związek pomiędzy stężeniem PM a częstością występowania raka nerki [11]. Model analizy uwzględniał: status socjoekonomiczny regionu, wskaźniki urbanizacji, wiek, płeć, czas kalendarzowy, nikotynizm (status, czas, paczkołata), wskaźnik masy ciała (BMI, *body mass index*), czas zamieszkiwania w regionie, natężenie ruchu ulicznego oraz gęstość ludności na danym terenie. Badania wykonywano 3 razy w tygodniu, podczas największego i stosunkowo najmniejszego natężenia ruchu ulicznego, w najcieplejszej, najzimniejszej i umiarkowanej porze roku. Pojawia się w związku z tym pytanie, jakie składowe mieszaniny PM mogą odgrywać kluczową rolę w patogenezie schorzeń nerek. Udowodniono, że wyjątkowo niebezpieczne są związki Cu, Fe, Zn, Si, a szczególnie V w stężeniu powyżej 100 mg/m^3 [HR 2,17 (95% CI: 1,19–3,97)]. Pochodzą one głównie ze spalin Diesla; Cu, Fe, Zn — z emisji ruchu ulicznego niezwiązanej ze spalaniem paliw, np. hamowanie (tarcie opon); związki S — z transportu dalekobieżnego; Ni, V — ze spalania paliw, przemysł; związki Si — ze spalania biomateriałów.

Badania przeprowadzone w Arabii Saudyjskiej w grupie 60 zdrowych mężczyzn, z których 40 (grupa badana) pochodziło z regionu o wysokim wskaźniku zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi (Cd, Hg, Pb), wykazały zaburzenia ekspresji 425 spośród 2129 genów w grupie badanej (testy mikromacierzy) [12]. Głębsza analiza (IPA®, *Ingenuity® Pathway Analysis*) wykonana w grupie narażonej na zanieczyszczenia wykazała, że największe zaburzenia ekspresji dotyczyły genów uczestniczących w patogenezie chorób nerek i układu moczowego, w szczególności raka pęcherza moczowego, raka nerkowokomórkowego, dysfunkcji mitochondriów i uszkodzeń cewki proksymalnej [12].

Bardzo sugestywne są wyniki badań prowadzonych w Polsce na populacji jelenia szlachetnego (*Cervus elaphus L.*) [13]. Badacze analizowali stężenie metali ciężkich (Cd, Pb, Zn, Cu) oraz ekspresję metalotionein w wątrobie i nerkach byków jelenia szlachetnego zasiedlających okolice Miasteczka Śląskiego (wysokie zanieczyszczenie powietrza, głównie Zn), grupę kontrolną stanowiły zaś jelenie nad jezior mazurskich — z regionu zasadniczo wolnego od zanieczyszczeń. Metalotioneiny (MT) są to niskocząsteczkowe białka zawierające liczne reszty cysteinowe, uczestniczące w detoksykacji organizmów ze szkodliwych jonów metali oraz w reakcji obronnej związanej ze stresem oksydacyjnym. U człowieka odgrywają ważną rolę w metabolizmie Zn. W związku z tą funkcją są powiązane ze starzeniem się, chorobami cywilizacyjnymi i nowotworzeniem. Stężenia

Cd, Pb, Cu w preparatach nerek jeleni ze Śląska były co najmniej 2-krotnie wyższe w porównaniu z grupą kontrolną, podczas gdy ekspresja MT mRNA była porównywalna i korelowała jedynie z wiekiem zwierząt. Stąd wniosek, że zwierzęta pochodzące z siedlisk o wysokim zanieczyszczeniu powietrza metalami ciężkimi cechują się wyższymi ich stężeniami w tkankach przy braku proporcjonalnego wzrostu stężeń białek detoksykacyjnych, co może sprzyjać m.in. uruchomieniu mechanizmów nowotworczych.

Podsumowanie

Smog jest nienaturalnym zjawiskiem atmosferycznym, coraz częstszym na terenie Polski, co zostało potwierdzone przez WHO. W skład smogu wchodzi wiele szkodliwych związków, spośród których szczególnie chorobotwórcze są pyły zawieszone i ozon troposferyczny. Istnieje wiele dowodów naukowych na chorobotwórczy wpływ zanieczyszczeń powietrza na organizm człowieka. Spektrum uszkodzeń obejmuje zarówno nowotwory, choroby układu sercowo-naczyniowego, dróg oddechowych, nerek, układu odpornościowego, rozrodczego, jak i schorzenia związane ze sferą emocjonalno-psychiczną oraz dotyczy wszystkich grup wiekowych. Należy również mieć na uwadze znaczący udział wymienionych czynników w patogenezie różnego rodzaju nefropatii czy progresji przewlekłej choroby nerek. Ponieważ smog powoduje rocznie śmierć 3,5 mln osób, w wielu europejskich krajach kładzie się szczególny nacisk na jego eliminację. Niestety w Polsce nie ma jak na razie właściwego podejścia do tego problemu. Dlatego społecznie kluczowe znaczenie wydają się mieć znajomość mechanizmu powstawania smogu, jak również zrozumienie jego szkodliwości i możliwości indywidualnej ochrony przed nim.

Postowie

Polska zapiera dech w piersiach. Sami sobie zgotowaliśmy ten los. Tak, zgadza się, w kraju, w którym żyjemy, z powodu tej złowrogiej „mgły” umiera rocznie ok. 43 tys. osób, co generuje prawie 13% kosztów PKB. Każdy z nas, prowadząc zły tryb życia, codziennie dokłada do tego zjawiska swoją cegiełkę, przyczyniając się do budowania zatrważających statystyk dotyczących uszkodzeń każdego narządu wewnętrznego organizmu człowieka. Należy na cito skarcić samych siebie za współpracę z masowym zabójcą — smogiem — i czym prędzej jej zaniechać, tak by nasze dzieci nie znalazły się w grupie 3,5 mln osób zabijanych przez niego w ciągu roku — aby nie cechowały się o kilkanaście procent zwiększonym ryzykiem rozwoju przewlekłej choroby nerek czy zgonu z powodu raka.

Przed wszystkim musimy zmienić swoje myślenie, a więc weźmy do ręki telefon, zainstalujmy odpowiednią aplikację i zacznijmy działać tak, abyśmy nigdy nie usłyszeli: „Proszę się skontaktować z lekarzem”!

Abstract

Air pollution, with the most dangerous particulate matter lower than 2.5 µm and ozone, may cause different disturbances in live organisms such as cardio-vascular, immunological, reproductive as well as respiratory systems, kidneys and mental complications. Because of very high annual morbidity connected with smog, its elimination is in the point of interest. It seems that a proper understanding of mechanism of smog developing and harmfulness is a key for its elimination.

Key words: smog, air pollution, kidney diseases

Piśmiennictwo

1. International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group. Outdoor air pollution. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon: IARC Press 2015.
2. <https://www.polskialarmsmogowy.pl/>.
3. WHO. Economic cost of the health impact of air pollution in Europe.
4. Raz R., Roberts A.L., Lyall K. i wsp. Autism spectrum disorder and particulate matter air pollution before, during, and after pregnancy: a nested case-control analysis within the Nurses' Health Study II Cohort. *Environ. Health Perspect.* 2015; 123: 264–270.
5. International Agency of Research on Cancer (IARC). Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths 2013. Press release no. 221.
6. Gresham-Bragg J., Morgenstern H., McClellan W. i wsp. County-level air quality and the prevalence of diagnosed chronic kidney disease in the US Medicare population. *PLOS ONE.* July 2018.
7. Xu X., Nie S., Ding H. i wsp. Environmental pollution and kidney diseases. *Nature Reviews Nephrology* 2018; 14: 313–324.
8. Lipfert F.W. A critical review of the ESCAPE project for estimating long-term health effects of air pollution. *Environ. Int.* 2017; 99: 87–96.
9. Bowe B, Xie Y, Li T i wsp. Particulate matter air pollution and the risk of incident CKD and progression to ESRD. *Clinical epidemiology. J. Am. Soc. Nephrol.* 2018; 29: 218–230.
10. Xu X., Wang G., Chen N. i wsp. Long-term exposure to air pollution and increased risk of membranous nephropathy in China. *J. Am. Soc. Nephrol.* 2016; 27: 3739–3746.
11. Raaschou-Nielsen O., Pedersen M., Stafoggia M. i wsp. Outdoor air pollution and risk for kidney parenchyma cancer in 14 European cohorts. *Int. J. Cancer.* 2017; 140: 1528–1537.
12. Korashy H.M., Attafi I.M., Famulski K.S. i wsp. Gene expression profiling to identify the toxicities and potentially relevant human disease outcomes associated with environmental heavy metal exposure. *Environ. Pollut.* 2017; 221: 64–74.
13. Durkalec M., Kolenda R., Owczarek T. i wsp. Expression of metallothionein in the liver and kidneys of the red deer (*Cervus elaphus L.*) from an industrial metal smelting area of Poland. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2017; 137: 121–129.