

ZWIĄZKI ODPOWIEDZIALNE ZA ZANIECZYSZCZENIE POWIETRZA

Magdalena Kostrz¹, Paweł Satora¹

¹ Katedra Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Technicznej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 122, 31-120 Kraków, e-mail: m.kostrz@ur.krakow.pl; p.satora@ur.krakow.pl

STRESZCZENIE

Jakość powietrza w Polsce stanowi poważny problem dla społeczeństwa oraz środowiska. Według badań WHO Polska znajduje się na 14. miejscu w Europie jako kraj najbardziej zanieczyszczony pyłem zawieszonym PM10. Równie niebezpieczne dla zdrowia są ozon, WWO, dwutlenek azotu, tlenek siarki, tlenek węgla oraz metale ciężkie. Długotrwałe narażenie na podwyższone stężenia ozonu oraz dwutlenku azotu może doprowadzić do nieodwracalnych, rozległych zmian w płucach, obrzęku płuc, a nawet śmierci. Głównym przedstawicielem WWA jest benzo(a)piren (BaP), który jest kumulowany w organizmie i został określony przez IARC jako główny czynnik nowotworczy. Wysokie stężenie tlenku siarki w powietrzu może doprowadzić do uszkodzenia górnych dróg oddechowych, ponadto tlenki siarki przyczyniają się również do występowania kwaśnych deszczy oraz są składnikami smogu typu londyńskiego. Metale ciężkie będące zanieczyszczeniami powietrza, z uwagi na zdolność kumulowania się w organizmie, są jednym z najcięższych zagrożeń dla zdrowia ludzi.

Słowa kluczowe: jakość powietrza, pył zawieszony, ozon, WWO, dwutlenek azotu, tlenek siarki, tlenek węgla, metale ciężkie

THE COMPOUNDS RESPONSIBLE FOR AIR POLLUTION

ABSTRACT

Air quality in Poland poses a serious threat for both the society and the environment. According to the WHO research Poland is located on the 14th place as a country most contaminated by particulate matter (PM10). Equally health-threatening substances are ozone, PAH, nitrogen dioxide, sulfur oxide, carbon oxide and heavy metals. Long-lasting exposure to high concentrations of ozone and nitrogen dioxide may lead to many irreversible changes in lungs, pulmonary oedema and even death. The main PAH, which cumulates in the organism is benzopyrene. This substance has been described by the IARC as the most cancerogenic factor. High concentration of sulfur oxide in the air may cause severe damage of upper respiratory tract, sulfur oxide contributes greatly also to the appearance of acid rain and is an ingredient of a London type smog. Heavy metals polluting the air are one of the most severe health threat for people, due to the ability to cumulate in the organism.

Keywords: air quality, particulate matter, ozone, PAH, nitrogen dioxide, sulfur oxide, carbon oxide, toxic metals

SKALA ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA W POLSCE

Jakość powietrza w Polsce stanowi poważny problem dla społeczeństwa. Europejska Agencja Środowiska poinformowała, że w 2013 r. ok. 48 270 przedwczesnych zgonów mogło być skutkiem obecności stężeń drobnych cząstek stałych w powietrzu, z czego 1150 zgonów było wynikiem przekroczonych poziomów stężeń ozonu, a ponad 1610 stężeń dwutlenku azotu. Przyczyną takiej sytuacji jest fakt, że Polska przekra-

cza unijne normy jakości powietrza. Spośród 91 krajów poddanych ocenie zanieczyszczenia i ujętych w bazie danych WHO, Polska znajduje się na 56. pozycji najbardziej zanieczyszczonych państw świata pyłem zawieszonym PM10 oraz na 14. miejscu wśród 40 krajów europejskich objętych monitoringiem. Ponadto, spośród 362 miast europejskich ujętych w bazie danych WHO, 15 polskich miast znajduje się w pierwszej setce miast najbardziej zanieczyszczonych pyłem PM10. Największe w Europie stężenie pyłu PM2,5 występowało w Zabrzu i Krakowie.

Na podstawie informacji zestawionych w bazie danych prowadzonej przez EEA, w pierwszej dziesiątce miast europejskich z największą liczbą dni w roku, w których zaobserwowano przekroczenia dopuszczalnego stężenia 24-godzinnego pyłu PM10 znajduje się aż 6 polskich miast (Kraków, Nowy Sącz, Gliwice, Zabrze, Sosnowiec, Katowice). Zła jakość powietrza w szczególności dotyczy dużych miast i jest spowodowana zwiększoną liczbą źródeł emisji, gęstą zabudową i ruchem pojazdów (tab. 1). Problem zanieczyszczeń znacząco wzrasta w sezonie grzewczym, ze względu na powszechność stosowania w polskich domach indywidualnych kotłów i pieców na paliwa stałe. Dodatkowo wpływ mają również warunki meteorologiczne – szczególnie brak opadów i wiatru zwiększa w powietrzu stężenie szkodliwych związków [WHO Department of Public Health and Environment, 2011; Najwyższa Izba Kontroli, 2014].

Warto monitorować jakość powietrza w Polsce i przeglądać aktualne wyniki pomiarów prowadzone w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ). Polski indeks jakości powietrza wyliczany jest z odpowiedniego algorytmu na podstawie wyników pomiarów z ostatnich godzin, ze stanowisk automatycznych i pozwala na określenie stanu jakości powietrza według 6-stopniowej skali. Zdarza się, że interpretacja wyników pomiarów na podstawie normy sprawa

trudności. Najczęściej przyczyną jest błędne odniesienie stężeń zmierzonych w danej godzinie do normy innej niż godzinowa, czyli dobowej lub rocznej. Aby usprawnić proces prawidłowej interpretacji wyników, udostępniono wygodne i nowoczesne rozwiązanie w postaci Polskiego Indeksu Jakości Powietrza (tab. 2), skierowane do osób nie posiadających wiedzy eksperckiej na temat ochrony i zanieczyszczeń powietrza [Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, 2014].

ZWIĄZKI ODPOWIEDZIALNE ZA ZANIECZYSZCZENIE POWIETRZA

Pyły stanowią różnorodne grupy substancji – mogą to być drobiny kurzu, piasku, kamieni, popiołu, sadzy, pyłki roślin, a nawet elementy pochodzące z eksploatacji pojazdów (starte ogumienie, tarcze i klocki hamulcowe). Na powierzchni tych cząsteczek mogą osiadać inne substancje (m.in. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i metale ciężkie), które w konsekwencji przenikają do organizmu wraz z wdychanym powietrzem. Pyły będące nośnikami wielu niebezpiecznych substancji narażają środowisko na wiele szkód. Oddziałują na elementy biotyczne, tj. rośliny, zwierzęta, człowieka oraz abiotyczne, np. obniżają jakość materiałów budowlanych. Narażenie na kontakt z pyłami, w zależności od

Tabela 1. Szacunkowa wielkość populacji UE zamieszkującej obszary miejskie narażona na oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza, których poziom przekracza wartości określone przez UE i zalecane przez WHO (2012–2014) [Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, 2012; Air quality in Europe report, 2016]

Table 1. Percentage of the urban population in the EU-28 exposed to air pollutant concentrations above certain EU and WHO reference concentrations (2012–2014)

Rodzaj zanieczyszczenia ¹⁾	Dopuszczalny limit w UE ²⁾	Wskaźnik narażenia populacji [%]	Zalecany poziom według WHO ²⁾	Wskaźnik narażenia populacji [%]
Pył zawieszony PM2,5	rocznie (25 µg/m ³)	8–12	rocznie (10 µg/m ³)	85–91
Pył zawieszony PM10	dziennie (50 µg/m ³)	16–21	rocznie (20 µg/m ³)	50–63
Ozon [O ₃]	8 godzin (120 µg/m ³)	8–17	8 godzin (100 µg/m ³)	96–98
Dwutlenek azotu [NO ₂]	rocznie (40 µg/m ³)	7–9	rocznie (40 µg/m ³)	7–9
Benzo(a)piren [B(a)P]	rocznie (1 µg/m ³)	20–24	rocznie (0,12 µg/m ³)	88–91
Dwutlenek siarki [SO ₂]	dziennie (125 µg/m ³)	<1	dziennie (20 µg/m ³)	35–49

Kolory symbolizują odsetek populacji zamieszkującej obszary miejskie narażonej na oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza o stężeniu przekraczającym dopuszczalny poziom

<5%	5–50%	50–75%	>75%
-----	-------	--------	------

¹⁾ Rodzaje zanieczyszczeń wymieniono (od góry) w kolejności wg najbardziej niekorzystnego wpływu na zdrowie ludzkie.

²⁾ Okres uśrednienia wyników pomiarów.

Tabela 2. Polski Indeks Jakości Powietrza [<http://www.wios.lublin.pl/2017/01/17/informacja-o-jakosci-powietrza/>]

Table 2. Polish Air Quality Index

Kategoria	Oznaczenie	Informacja
Bardzo dobry	Kolor ciemnozielony	Jakość powietrza jest zadowalająca, zanieczyszczenie powietrza nie stanowi zagrożenia, warunki są idealne do aktywności na zewnątrz
Dobry	Kolor zielony	Jakość powietrza jest w dalszym ciągu zadowalająca, zanieczyszczenie powietrza stanowi minimalne zagrożenie dla osób narażonych na ryzyko*, warunki są bardzo dobre do aktywności na zewnątrz
Umiarkowany	Kolor żółty	Jakość powietrza jest akceptowalna, zanieczyszczenie powietrza może stanowić zagrożenie dla osób narażonych na ryzyko*, warunki są dobre do aktywności na zewnątrz
Dostateczny	Kolor pomarańczowy	Jakość powietrza jest średnia, zanieczyszczenie powietrza stanowi zagrożenie dla osób narażonych na ryzyko*, osoby te mogą odczuwać skutki zdrowotne, a pozostała populacja powinna ograniczyć spędzanie czasu na zewnątrz zwłaszcza wtedy, gdy doświadczą takich symptomów jak kaszel lub podrażnienie gardła
Zły	Kolor czerwony	Jakość powietrza jest zła, osoby narażone na ryzyko* nie powinny wychodzić na zewnątrz, pozostała populacja powinna je ograniczyć, nie zalecane są aktywności na zewnątrz
Bardzo zły	Kolor brązowy	Jakość powietrza jest niebezpiecznie zła, osoby narażone na ryzyko* powinny bezwzględnie unikać wychodzenia na zewnątrz, pozostała populacja powinna ograniczyć wyjścia do minimum, wszelkie aktywności na zewnątrz nie są polecane

* Osoby starsze i dzieci, osoby z chorobami serca oraz dróg oddechowych, astmatycy i inne grupy szczególnie podatne na negatywne skutki zanieczyszczenia powietrza.

czasu i skali narażenia może mieć ostry, chroniczny i utajony charakter [Kozłowska-Szczęśna i in., 2004; Badyda i in., 2013; Rogula-Kozłowska i in., 2015; Ćwiek i Majewski, 2015]. Ze względu na rozmiar cząsteczek, pyły zasadniczo dzielimy na kilka rodzajów. Całkowity pył zawieszony (TSP, ang. *Total Suspended Particles*) jest to całkowity pył zawieszony w powietrzu; pył PM10 – to frakcja pyłu zawieszonego o średnicach zastępczych cząstek poniżej 10 μm ; pył PM2,5–10 w literaturze określany również jako Pmc (ang. *coarse*), to frakcja pyłu zawieszonego o średnicach zastępczych cząstek pomiędzy 2,5 μm i 10 μm ; pył drobny PM2,5 to frakcja pyłu zawieszonego o średnicach zastępczych cząstek poniżej 2,5 μm ; pył submikronowy PM1- frakcja pyłu zawieszonego o średnicach zastępczych cząstek poniżej 1,0 μm oraz pył ultradrobny PM0,1 – frakcja pyłu zawieszonego o średnicach zastępczych cząstek poniżej 0,1 μm . Kumulacja zanieczyszczeń w warstwie przyziemnej jest jednym z bardziej uciążliwych przejawów zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Najczęściej jest ona powiązana z obecnością smogu, a w naszym kraju związana głównie z koncentracją ozonu w ciepłej porze roku (kwiecień – wrzesień) i pyłu zawieszonego w porze chłodnej (październik – marzec). Zaistnieniu takich sytuacji sprzyjają niekorzystne warunki meteorologiczne [Reizer, 2016].

Pył zawieszony PM2,5

PM2,5 (PM – ang. *particulate matter*) to pył, którego cząsteczki mają średnicę aerodynamiczną mniejszą od 2,5 mikrometra, mogą przenikać do górnych dróg oddechowych i płuc oraz przez ściany naczyń krwionośnych. Skład pyłu PM2,5 stanowią w znacznej mierze substancje toksyczne – m.in. związki metali ciężkich i lotne związki organiczne. Ze względu na rozmiar cząsteczek, pył PM2,5 jest bardziej niebezpieczny dla zdrowia niż PM10. Sedymentacja i opady usuwają pyły PM10 z atmosfery w ciągu kilku godzin, natomiast pył drobny PM2,5 może pozostawać w niej przez dni lub nawet tygodnie. Jak wynika z raportów WHO, długotrwałe narażenie na działanie pyłu zawieszonego PM2,5 skutkuje skróceniem średniej długości życia. Krótkotrwała ekspozycja na wysokie stężenia pyłu PM2,5 jest również niebezpieczna, powodując wzrost liczby zgonów związanych z chorobami układu oddechowego i krążenia oraz wzrost ryzyka nagłych przypadków wymagających hospitalizacji. W wyniku badań przeprowadzonych w ramach projektu Globalna Analiza Obciążenia Chorobami GBoD (ang. *Global Burden of Disease*) stwierdzono, że w Europie liczba przedwczesnych zgonów powodowanych zanieczyszczeniem powietrza pyłem PM2,5 w poszczególnych regionach i krajach jest bardzo zróżnicowana. W Europie Centralnej

przypadki zgonów są o 40% częstsze, niż średnia dla całego kontynentu (wynosząca 0,05% populacji). Najmniej osób umiera przedwcześnie z powodu złej jakości powietrza w Europie Zachodniej, najwięcej natomiast w Macedonii i Rumunii. Polska wraz z Czarnogorą, Czechami i Grecją należy do krajów, w których wspomniany udział jest znaczący (ponad 30% wyższy niż średnia dla kontynentu). Na skutek narażenia na obecność pyłu PM_{2,5} statystyczna długość życia mieszkańców Europy zmniejsza się prawie o 9 miesięcy, a w najbardziej zanieczyszczonych miastach –nawet o 20 miesięcy [Medina, 2012; WHO, 2013a; Skotak, 2016].

Pył zawieszony PM₁₀

Nazwą PM₁₀ określamy pył, którego cząsteczki mają średnicę 10 mikrometrów lub mniejszą. Pył o takiej wielkości cząstek z łatwością przenika do górnych dróg oddechowych i płuc, wywołując kaszel, duszności i zaostrzenie objawów alergicznych. Skutki zdrowotne mogą być poważniejsze, jeżeli na powierzchni zostaną zaabsorbowane inne, toksyczne substancje. Średnie stężenia roczne pyłu PM₁₀, Sa(PM₁₀), monitorowane na stanowiskach miejskich i podmiejskich w 2014 r., wynosiły od 18 do 64 µg/m³, a również w latach ubiegłych, w wielu miastach w Polsce występowały wysokie stężenia pyłu, często przekraczające wartości dopuszczalne. Podsumowując, w wyniku rocznej oceny jakości powietrza w roku 2014 dotyczącej pyłu PM₁₀, w 42 strefach w kraju (ok. 91% wszystkich) stwierdzono przekroczenie wartości normatywnej określonej dla S₂₄(PM₁₀) [Degórska, 2016].

Ozon

Ozon (O₃) to wysokoenergetyczna, alotropowa forma tlenu, której specyficzny, silny zapach jest wyczuwalny nawet przy rozcieńczeniu 1:600. Ozon występuje we wszystkich warstwach atmosfery, gromadząc się głównie w stratosferze i troposferze. Zgromadzony w stratosferze chroni Ziemię i organizmy żywe przed szkodliwym działaniem promieniowania ultrafioletowego, a ten znajdujący się w troposferze, tzw. „zły ozon”, jest toksyczny dla organizmów żywych. Problem podwyższonego stężenia ozonu dotyczy głównie dużych aglomeracji. Na skutek spalania paliw w silnikach samochodowych wzrasta stężenie prekursorów ozonu: węglowodorów

i tlenków azotu. Podwyższonemu stężeniu ozonu sprzyjają również wyższa temperatura powietrza oraz nasłonecznienie- maksymalne stężenia ozonu występują przeważnie w godzinach popołudniowych. Ozon, powstały w ośrodkach miejsko – przemysłowych może być przenoszony razem z powietrzem na dalsze odległości. Zły ozon zaburza procesy fotosyntezy i inne procesy biochemiczne w roślinach, a u ludzi powoduje choroby układu oddechowego. Krótkotrwałe narażenie na ozon przejawia się podrażnieniem gardła, kaszlem oraz podrażnieniem spojówek oka. Długotrwałe narażenie na emisję ozonu może doprowadzić do nieodwracalnych, rozległych zmian w płucach, obrzęku płuc, a nawet śmierci [Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, 2016].

Dwutlenek azotu

Tlenki azotu znacząco wpływają na jakość powietrza atmosferycznego, występują jako zanieczyszczenia pierwotne oraz stanowią czynnik powodujący powstawanie zanieczyszczeń wtórnych, m.in. ozonu troposferycznego (O₃), azotanu nadtlenu acetylu (PAN), kwasu azotowego (HNO₃), które są bardziej szkodliwe dla zdrowia ludzi i środowiska niż zanieczyszczenia pierwotne. Dwutlenek azotu (NO₂) powszechnie występuje w środowisku pracy i środowisku komunalnym, powstając w wyniku spalania substancji organicznych zawierających azot, detonacji materiałów wybuchowych, obróbki elektrochemicznej metali oraz pracy silników dieslowych. Ostre zatrucie dwutlenkiem azotu powoduje obrzęk płuc, które może doprowadzić do śmierci. Ponadto związek ten może działać klastogennie (powodując załamania chromosomów i ich następstwa w postaci pozyskania, utraty lub przemieszczenia części chromosomów) oraz może przyczyniać się do rozwoju nowotworów [Starek 2005; Rozbicka, 2007]

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne

Wielopierścieniowe (policykliczne) węglowodory aromatyczne (WWA, PWA) – w literaturze angielskiej określane jako *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH), *polynuclear aromatics* (PNAs) lub *polycyclic organic matter* (POM) – tworzą liczną grupę związków organicznych (ok. 10 000), powszechnie występujących w środowisku. Na skutek rozwoju cywilizacyjnego

i technologicznego nastąpił znaczny wzrost narażenia na te związki, co w konsekwencji niesie za sobą negatywny wpływ na środowisko, zdrowie ludzi oraz żywność. WWA wykazują silne właściwości genotoksyczne, mutagenne oraz kancerogenne. WWA powstają głównie w wyniku niecałkowitego spalania związków organicznych, np. drewna, śmieci czy paliw samochodowych, a także tworzyw sztucznych. Głównym przedstawicielem WWA jest benzo(a)piren (BaP), który jest kumulowany w organizmie i został określony przez IARC jako główny czynnik kancerogeny. Dlatego też BaP jest powszechnie oznaczany w analizach środowiskowych jako marker całkowitej zawartości WWA. Według danych przedstawionych przez Stowarzyszenie Krakowski Alarm Smogowy, każdy z mieszkańców Krakowa w 2011 r. przyjął porcję benzo(a)pirenu odpowiadającą wypaleniu około 2500 sztuk papierosów [Pankowska, Gorczyca, 2015]

Tlenki siarki

W wyniku procesu spalania węgla kamiennego organiczne i nieorganiczne związki siarki rozkładają się i przechodzą do spalin. Aż 70 do 90% siarki paliwowej przedostaje się do gazów spalinowych w postaci tlenków siarki, głównie dwutlenku siarki (SO_2). Dwutlenek siarki może już w palenisku przechodzić w SO_3 – trójtlenek siarki (1–3%). Dwutlenek siarki należy do jednego z najbardziej niebezpiecznych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego. Jest bezbarwnym, silnie toksycznym gazem o duszącym zapachu. Wysokie stężenie SO_2 w powietrzu może doprowadzić do uszkodzenia dróg oddechowych, natomiast u roślin powoduje obumieranie liści. SO_3 reagując z parą wodną lub kroplami wody w chmurach tworzy kwas siarkowy, natomiast z pyłami tworzy siarczany. Adsorbowanie się kwasu siarkowego na powierzchniach metalu prowadzi do jego korozji. Tlenki siarki przyczyniają się również do występowania kwaśnych deszczy. Związki siarki oraz CO_2 i NO_x są głównymi składnikami smogu typu londyńskiego. Smog typu londyńskiego (smog zimowy, kwaśny) powstaje na skutek braku ruchu mas powietrza oraz dużej wilgotności przy jednoczesnym wysokim stężeniu dwutlenku siarki, dwutlenku węgla oraz pyłów. Z występowaniem smogu londyńskiego są związane liczne choroby nowotworowe i nienowotworowe płuc, choroby układu krążenia oraz alergii [Piotrow-

ski, 2006; Najjar, 2011; Kowalik M., Zajemska M., 2013, Magiera, Balcerzak, 2015].

Metale ciężkie

Metale ciężkie będące zanieczyszczeniami powietrza są jednym z najcięższych zagrożeń dla zdrowia ludzi. Do organizmu człowieka związki te przenikają przez skórę oraz mogą być wdychane, spożywane z produktami roślinnymi i zwierzęcymi. Niektóre z metali ciężkich (As, Zn, Cd, Cu, Hg) mogą wywołać natychmiastowe ostre zatrucia, pozostałe (As, Zn, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Sn, Co, Ni, Mn, Se, Fe i Ag) powodują stany przewlekłe. Kadm i nikiel mogą być wchłaniane przez płuca, a powstające kompleksy kadmu z białkami są w większości deponowane w nerkach i wątrobie. Kadm powoduje zaburzenie czynności nerek, chorobę nadciśnieniową, zmiany nowotworowe, zaburzenia metabolizmu wapnia oraz funkcji rozrodczych. Nikiel natomiast przyczynia się do uszkodzania błon śluzowych oraz alergii, a długotrwałe narażenie na ten związek prowadzi do zaburzeń metabolizmu białek w osoczu, zmian w chromosomach, szpiku kostnym oraz zmian nowotworowych. Działanie arsenu może powodować zmiany skórne i błon śluzowych, niedokrwistość, zaburzenia układu pokarmowego, uszkodzenie nerwów obwodowych, a długoletnie narażenie na arsen zwiększa ryzyko zachorowań na raka płuc. Za najbardziej toksyczne metale ciężkie uznaje się ołów, rtęć i kadm, które zawarte są m.in. w węglu i uwalniane do atmosfery w wyniku spalania tego paliwa. Na stężenie Cd i Ni w powietrzu w Polsce w największym stopniu wpływają procesy spalania w sektorze komunalnym i mieszkaniowym natomiast na zawartość Hg- procesy spalania w sektorze produkcji i transformacji energii. Na terenie Polski emisja metali ciężkich nie rozkłada się równomiernie, największe natężenie występuje w rejonach lokalizacji emitorów przemysłowych (województwo śląskie – największa emisja: Cd, Cr i Hg; województwo dolnośląskie: As, Cu, Pb i Zn). Jedynie stężenie niklu w powietrzu w województwie mazowieckim jest większe niż w województwie śląskim [Ociepa-Kubicka, Ociepa, 2012; Trojanowska, Świetlik, 2012].

Tlenek węgla

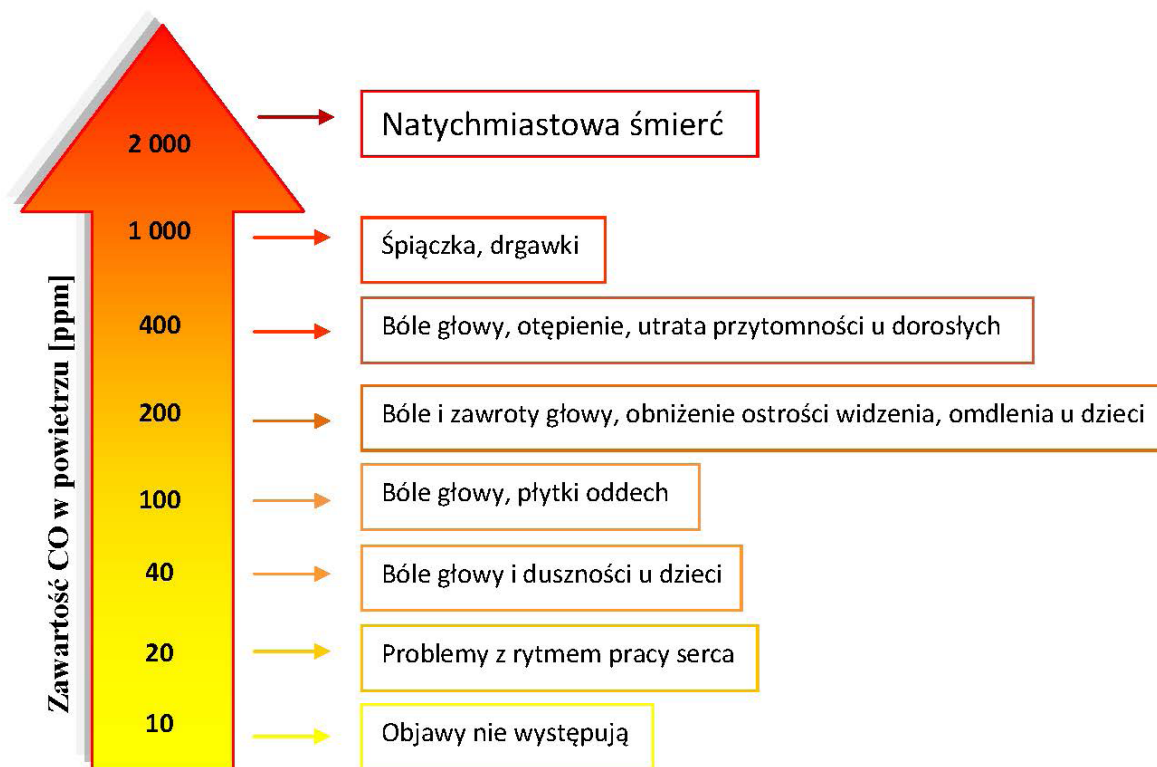
Tlenek węgla (CO) to bezbarwny, bezwonny, niedrażniący i toksyczny gaz, niewykrywalny

przez narządy zmysłów, zwany cichym zabójcą. Powstaje w wyniku niecałkowitego spalania produktów zawierających węglowodory (np. gazy przemysłowe, węgiel, drewno). Źródłem tlenu węgla jest również chlorek metylu, występujący w rozpuszczalnikach i często wchłaniany przez płuca, który następnie w wątrobie jest metabolizowany i przekształcany do tlenu węgla. Badania wykazały, że zatrucie tlenkiem węgla stanowi jedną z najczęstszych przyczyn zatruć inhalacyjnych na świecie, a największa liczba zatruć obserwowana jest w okresie jesienno-zimowym. Zazwyczaj przyczyną zatruć jest przebywanie w pomieszczeniach ze źle działającą wentylacją oraz pożary. Liczba zatruć tlenkiem węgla w Polsce jest znacznie większa niż w pozostałych krajach Europy, chociaż w ostatnich latach wykazano wyraźny spadek śmiertelności. Toksyczność tlenu węgla związana jest z jego większym o około 200 razy powinowactwem do hemoglobiny, niż do tlenu, wskutek czego wypiera tlen z krwioobiegu. W konsekwencji wiąże się z atomem żelaza w cząsteczce hemu, tworząc związek zwany karboksyhemoglobiną (COHb). Dochodzi do niedotlenienia organizmu, zwolnienia, a na-

stępnie zahamowania procesów metabolicznych, akumulowania kwaśnych metabolitów, przyczyniających się do rozszerzenia tętnic mózgowych a w konsekwencji przekrwienia mózgu (rys. 1) [Sowa, 2015; <http://www.kmpsp.wroclaw.pl/index.php?str=czad>].

PODSUMOWANIE

Z uwagi na fakt, że jakość powietrza istotnie wpływa na zdrowie ludzi, środowisko i klimat Ziemi należy poszukiwać metod prewencyjnych, które ograniczyłyby emisję związków toksycznych. Począwszy od instalacji kotłów węglowych małej mocy wykorzystywanych w gospodarstwach domowych poprzez stały monitoring jakości powietrza, aż po regulacje działań gospodarką odpadów komunalnych. Wiele związków zanieczyszczających powietrze może być przenoszona na tysiące kilometrów od miejsca ich emisji oraz do wyższych warstw atmosfery. Zważywszy na ten fakt, problem związany z jakością powietrza powinien być rozpatrywany i rozwiązywany na forum ogólnościowym.



Rys. 1. Wpływ stężenia tlenu węgla zawartego w powietrzu na organizm ludzki
[<http://www.kmpsp.wroclaw.pl/index.php?str=czad>]

Fig. 1. Influence of carbon monoxide in the air on the human organism

LITERATURA

- Air quality in Europe 2016 report. European Environment Agency, 2016.
- Badyda, A.J., Dabrowiecki, P., Lubinski, W., Czechowski P.O. i Majewski, G. 2013. Exposure to traffic-related air pollutants as a risk of airway obstruction. *Respiratory Regulation-Clinical Advances*, 35–45. Netherlands: Springer.
- Ćwiek, K., Majewski, G. 2015. Wpływ elementów meteorologicznych na kształtowanie się stężeń zanieczyszczeń powietrza na przykładzie Krakowa. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 67, 54–66.
- Degórska A. 2016. Źródła zanieczyszczenia powietrza pyłem. *Inspekcja Ochrony Środowiska. Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce*.
- Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, 2012.
- <http://www.kmpsp.wroclaw.pl/index.php?str=czad>
- <http://www.wios.lublin.pl/2017/01/17/informacja-o-jakosci-powietrza/>
- Kowalik M., Zajemska M. 2013. Spalanie węgla kamiennego w powietrzu wzbogaconym tlenem a zanieczyszczenia. *Polityka energetyczna*, 16(2).
- Kozłowska-Szczęsna, T., Krawczyk, B. i Kuchcik M. 2004. Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka. Monografie. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego, 4. IGiPZ PAN Warszawa.
- Kubiak M.S. 2013. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) – ich występowanie w środowisku i w żywności. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 94(1), 31–36.
- Magiera A., Balcerzak B. 2015. Różnice w informowaniu o zanieczyszczeniu powietrza w Krakowie w sezonie grzewczym i poza nim przez prasę lokalną wydaną w latach 2009–2013. *Zakład Zdrowia i Środowiska, Instytut Zdrowia Publicznego, Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Jagielloński, Collegium Medicum, Kraków*.
- Medina S. 2012. Summary report of the APHEKOM project 2008–2011. Institut de Veille Sanitaire, Saint-Maurice Cedex.
- Najjar Y.S.H. 2011 – Gaseous pollutants formation and their harmful effects on health and environment. *Innovative Energy Policies*, 1, 1–9.
- Najwyższa Izba Kontroli. 2014. Jakość powietrza w Europie i w Polsce świetle danych i publikacji EEA i WHO. Informacja o wynikach kontroli: Ochrona Powietrza przed zanieczyszczeniami. Nr ewid. 177/2014/P/14/086/LKR, s. 15.
- Ociepa-Kubiicka A., Ociepa E. 2012. Toksyczne oddziaływanie metali ciężkich na rośliny, zwierzęta i ludzi. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 15(2), 169–180.
- Pankowska M., Gorczyca M. 2015. Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami- dlaczego w Polsce nie można odetchnąć pełną piersią? *Kontrola Państwowa*, 3(362), 60–79.
- Piotrowski K. (red.). 2006. Podstawy toksykologii. Kompendium dla studentów szkół wyższych. Wyd. 2. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Reizer, M. 2016. Co to jest pył zawieszony? *Inspekcja Ochrony Środowiska. Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce*, 11–22.
- Rogula-Kozłowska, W., Rogula-Kopiec, P. i Majewski, G. 2014. Udokumentowane skutki oddziaływania aerozolu atmosferycznego na środowisko. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 3(65), 290–303.
- Rozbicka K. 2007. Charakterystyka zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego tlenkami azotu na obszarze aglomeracji warszawskiej ze szczególnym uwzględnieniem Ursynowa, 1(35).
- Skotak K. 2016. Oddziaływanie pyłu zawieszonego na środowisko. *Inspekcja Ochrony Środowiska. Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce*.
- Sowa M., Winnicki A., Wójcik K., Tarkowski M., Gnatowski T. 2015. Zatrucie tlenkiem węgla – drogi narażenia, obraz kliniczny, metody leczenia. *Journal of Education, Health and Sport*, 5(4), 345–354.
- Starek A. 2005. Ditlenek azotu. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy*, 3(45), 49–64.
- Trojanowska M., Świetlik R. 2012. Medycyna Środowiskowa. Inhalacyjne narażenie środowiskowe mieszkańców miast Polski na metale ciężkie kadm i nikiel oraz arsen, 15(2), 33–41.
- WHO Department of Public Health and Environment. 2011. Urban outdoor air pollution database, (http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/OAP_database.xls).
- WHO. 2013a. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP project technical report. World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen.
- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Uwaga OZON! Wrocław 2016.
- Żelazko A., Mirosławski J. 2012. Dolegliwości zdrowotne związane z narażeniem na ozon na podstawie subiektywnych opinii osób obsługujących kserokopiarki. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach*, 1(8), 65–73.