

# Źródła zanieczyszczeń powietrza. Najważniejsze szkodliwe substancje spotykane w atmosferze

Artur Badyda

## 1.1. WPROWADZENIE

Wśród kluczowych czynników odpowiedzialnych za degradację środowiska naturalnego należy wymienić różnego rodzaju źródła substancji o zróżnicowanych parametrach fizykochemicznych, które wskutek ich emisji do powietrza przyczyniają się do zmian naturalnego składu atmosfery. Czynniki te ogólnie nazywa się zanieczyszczeniami powietrza. Ich negatywny wpływ na niemal wszystkie komponenty środowiska, w tym także na zdrowie i życie człowieka, objawia się w sposób bezpośredni (np. oddziaływanie na organizmy żywe zwierzęce i roślinne czy materiały budowlane) lub pośredni (np. wymywanie zanieczyszczeń do gleb i ich kumulacja w tkankach roślin).

Do najważniejszych źródeł emisji antropogenicznych, kształtujących jakość powietrza na poziomie zarówno lokalnym, regionalnym, jak i w skali globalnej, należą:

- produkcja i dystrybucja energii,
- procesy produkcyjne i wykorzystanie energii w przemyśle,
- procesy spalania w źródłach komunalno-mieszkaniowych,
- transport, w szczególności drogowy.

W przypadku niektórych rodzajów zanieczyszczeń i niektórych krajów liczącymi się źródłami emisji są również rolnictwo czy sektor zagospodarowania odpadów.

Z wymienionych źródeł emisji do powietrza atmosferycznego trafia wiele substancji zanieczyszczających o zróżnicowanym potencjale wpływu na zdrowie lub środowisko. Wśród najważniejszych, najpowszechniej występujących w powietrzu zanieczyszczeń, należy wymienić: tlenki azotu ( $\text{NO}_x$ , a zwłaszcza tlenek i ditlenek azotu [ $\text{NO}$  i  $\text{NO}_2$ ]), tlenki siarki ( $\text{SO}_x$ , a zwłaszcza ditlenek siarki [ $\text{SO}_2$ ]), tlenek węgla ( $\text{CO}$ ), ozon troposferyczny ( $\text{O}_3$ ), związki organiczne (m.in. lotne związki organiczne [np. benzen], wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne [np. benzo(a)piren – BaP] czy polichlorowane dibenzo-para-dioksyny [np. 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioksyna – TCDD]), jak również cząstki stałe klasyfikowane najczęściej jako  $\text{PM}_{10}$  i  $\text{PM}_{2,5}$  (frakcje pyłu zawieszonego o średnicy aerodynamicznej cząstek nieprzekraczającej odpowiednio 10  $\mu\text{m}$  i 2,5  $\mu\text{m}$ ). Jakość powietrza, którym oddychamy, nie jest tylko uzależniona od skali emisji wynikającej z obecności wspomnianych źródeł. Ich presja na środowisko jest w pewnej mierze korygowana przez lokalne warunki klimatyczne, meteorologiczne czy topograficzne. Od tych uwarunkowań zależy rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w powietrzu i ich przemiany chemiczne, co sprzyja zmianom stężeń. Niemniej emisja pozostaje dominującym czynnikiem, który warunkuje jakość powietrza i rejestrowane stężenia zanieczyszczeń, choć nie wolno pomijać aspektów związanych z procesami zachodzącymi w atmosferze, jak w szczególności: transport, dyfuzja turbulencyjna, sucha i mokra depozycja czy przemiany fizykochemiczne, przyczyniające się m.in. do powstawania zanieczyszczeń wtórnych (np. ozonu troposferycznego). Zatem istotne znaczenie dla kształtowania jakości powietrza będzie miał także stopień rozproszenia źródeł emisji (punktowe, liniowe, powierzchniowe) czy właściwości związane z ukształtowaniem i pokryciem terenu. Przebieg zachodzących procesów będzie uzależniony również od warunków meteorologicznych, w tym takich jak typ cyrkulacji atmosferycznej, stan równowagi atmosfery, prędkość i kierunek wiatru, temperatura powietrza i jej pionowy gradient, wysokość tzw. warstwy mieszania, wielkość i rodzaj opadów atmosferycznych, natężenie promieniowania słonecznego czy wilgotność powietrza.

Rokrocznie Inspekcja Ochrony Środowiska, przez 17 inspektoratów wojewódzkich, dokonuje oceny jakości powietrza w wyznaczonych strefach (wyznaczonych ze względu na ochronę zdrowia człowieka i ochronę roślin) – odrębnie dla każdego z zanieczyszczeń. Opiera się na obowiązujących obecnie przepisach (w szczególności: Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 roku w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu [Dz.U. 2012 poz. 1031], Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 roku w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy [Dz.U. L 152 z dnia 11 czerwca 2008 roku, s. 1–44], zwanej dyrektywą CAFE, oraz Dyrektywie 2004/107/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004 roku w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu [Dz.U. L 23 z dnia 26 stycznia 2005 roku, s. 3–16]), w których określone

są m.in. kryteria i sposoby pomiaru substancji zanieczyszczających powietrze. Monitoruje się łącznie 12 zanieczyszczeń podlegających ocenie:

- substancje gazowe
  - ditlenek siarki ( $\text{SO}_2$ ),
  - ditlenek azotu ( $\text{NO}_2$ ),
  - tlenek węgla ( $\text{CO}$ ),
  - benzen ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ),
  - ozon ( $\text{O}_3$ ),
- zanieczyszczenia pyłowe
  - pył zawieszony  $\text{PM}_{10}$ ,
  - pył zawieszony  $\text{PM}_{2,5}$ ,
- zanieczyszczenia oznaczane w pyłe  $\text{PM}_{10}$ 
  - metale ciężkie:
    - ołów (Pb),
    - kadm (Cd),
    - nikiel (Ni),
    - arsen (As),
  - benzo(a)piren (BaP) – jeden z wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, traktowany jako substancja wskaźnikowa dla zanieczyszczenia powietrza przez WWA.

Od 2010 roku Polska podzielona jest na 46 stref, w których dokonuje się oceny jakości powietrza ze względu na ochronę zdrowia człowieka (ze względu na ochronę roślin jest to 16 stref), spośród nich zaś wyróżnia się odrębnie: aglomeracje miejskie (miasta o liczbie mieszkańców powyżej 250 tys.), miasta niebędące aglomeracjami, w których liczba mieszkańców przekracza 100 tys., oraz pozostałe obszary województw niebędące częściami składowymi wymienionych obszarów miejskich.

Strefy, na terenie których stwierdza się występowanie obszarów z przekroczeniami dopuszczalnych stężeń jednego zanieczyszczenia lub większej liczby zanieczyszczeń powietrza, zalicza się do klasy C. Z kolei strefy, w których jakość powietrza spełnia standardy wyznaczone na podstawie wspomnianych wcześniej aktów prawnych, a więc gdzie nie występują przekroczenia wartości dopuszczalnych, zalicza się do klasy A (do 2014 roku, w przypadku niektórych rodzajów zanieczyszczeń możliwe było również zaliczenie strefy do klasy B, oznaczające, że przekroczone zostało stężenie dopuszczalne, ale nie został przekroczony poziom wyznaczony przez dodatkowy margines tolerancji). Zaliczenie strefy do klasy C wskazuje na potrzebę podjęcia określonych działań naprawczych, które w założeniu powinny prowadzić do zmniejszenia stężeń zanieczyszczenia powodującego zaliczenie danej strefy do klasy C.

Według danych Inspekcji Ochrony Środowiska z lat 2010–2016, o zaliczeniu niektórych obszarów w Polsce do tzw. klasy C, decyduje sześć zanieczyszczeń: pył  $\text{PM}_{10}$  i związany z nim benzo(a)piren (BaP) oraz pył  $\text{PM}_{2,5}$ , w mniejszym zaś stopniu  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  i As. W przypadku zanieczyszczeń pyłowych dopuszczalne stężenia są przekraczane regularnie w około 40 (dla  $\text{PM}_{10}$ ) i ponad 20 (dla  $\text{PM}_{2,5}$ ) strefach, a poziom docelowy

dla związanego z pyłem benzo(a)pirenu jest przekraczany w ponad 40 strefach (w niektórych latach nawet we wszystkich 46). Przekroczenia stężeń dopuszczalnych (wzrostu azotu, ozonu i arsenu, w zależności od roku, dotyczyły od dwóch do ośmiu stref. Przykładowo w 2016 roku tylko w dwóch strefach (aglomeracja białostocka i miasto Olsztyn) nie stwierdzono przekroczeń wartości normatywnych żadnego z zanieczyszczeń i przypisano je do klasy A. Pozostałym 44 strefom wskutek przekroczenia stężeń dopuszczalnych przynajmniej jednego zanieczyszczenia przypisano klasę C.

Polskie społeczeństwo cechuje coraz większa świadomość w zakresie problemów jakości powietrza, źródeł emisji zanieczyszczeń, skutków, jakie generują one dla zdrowia człowieka, jak również metod ograniczania emisji. W tę tematykę wpisuje się również rosnąca potrzeba wiedzy o jakości powietrza, w szczególności w najbliższej okolicy miejsca zamieszkania. Z owym zagadnieniem związany jest również niskokosztowych urządzeń pomiarowych, które jednak w wielu przypadkach nie dostarczają rzetelnej wiedzy o jakości powietrza ze względu na zastosowanie niezwyfikowanych metod pomiarowych. Ponadto poszczególne składniki zanieczyszczeń bardzo rzadko występują pojedynczo, a zazwyczaj wspólnie z innymi substancjami (zwykle powstającymi w procesach spalania). Trudne jest więc jednoznaczne powiązanie konsekwencji narażenia z określonymi pojedynczymi związkami chemicznymi.

Z myślą o rosnącej świadomości zagrożenia stworzono indeksy jakości powietrza wyrażające informację o stężeniach mieszaniny zanieczyszczeń w postaci jednej liczby (będącej odzwierciedleniem określonych stężeń wybranych zanieczyszczeń powietrza), odpowiedniego koloru przypisanego konkretnym przedziałom stężeń zanieczyszczeń lub kombinacji obu tych metod. Indeksy Jakości Powietrza (*Air Quality Indices* – AQI) są prostymi wskaźnikami, swego rodzaju syntetycznymi miarami, stosowanymi do prezentowania wyników oceny jakości powietrza. Wyznacza się je na podstawie wyników pomiarów lub prognoz stężeń wybranych zanieczyszczeń powietrza. Indeksy oparte są zwykle na danych uwzględniających stężenia zanieczyszczeń, takich jak pył  $PM_{10}$ , pył  $PM_{2,5}$ , ozon, ditlenek azotu, ditlenek siarki, benzen czy tlenek węgla. Obok wskaźników jakości powietrza do obliczania indeksów stosuje się niekiedy modele szacowania ryzyka zdrowotnego. Przykładami zastosowań tego typu indeksów w warunkach polskich są np. Polski Indeks Jakości Powietrza (PIJP), będący oficjalnym produktem Inspekcji Ochrony Środowiska, czy też Warszawski Indeks Powietrza, występujący w wersji ogólnej (służącej do informowania wszystkich zainteresowanych o bieżącej i prognozowanej jakości powietrza), jak też zdrowotnej (służącej do informowania o ryzyku wystąpienia określonych skutków w wybranych grupach szczególnie wrażliwych na negatywne oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza). Dzięki zastosowaniu takich indeksów osoby zainteresowane informacją o jakości powietrza nie muszą same dokonywać interpretacji stężeń mieszaniny poszczególnych zanieczyszczeń i próbować oceniać potencjalne skutki wynikające z narażenia na te zanieczyszczenia, tylko otrzymują tę informację w postaci syntetycznej miary, z którą związane są

pewne dodatkowe dane na temat zagrożeń, a zwykle również zalecenia co do podejmowania lub niepodejmowania określonych aktywności (np. uprawiania sportu w warunkach zewnętrznych czy korzystania z określonych rodzajów paliw i środków transportu).

## 1.2. ŹRÓDŁA EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ

Poszczególne źródła emisji, o których była mowa na początku rozdziału, najczęściej klasyfikuje się jako sektory gospodarki narodowej. Dane o wielkościach emisji pochodzących z poszczególnych sektorów są inwentaryzowane i raportowane zgodnie z wymogami konwencji genewskiej (Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie transgranicznego transportu zanieczyszczeń powietrza na dalekie odległości z 13 listopada 1979 roku). Gromadzone są dane dotyczące wymienionych powyżej podstawowych zanieczyszczeń, jak też kilku innych substancji, w tym w szczególności dodatkowych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i metali, jak również trwałych związków organicznych (polichlorowane bifenyle [PCB], heksachlorobenzen [HCB] czy dioksyny i furany).

Według danych z inwentaryzacji z 2015 roku, **sektor produkcji i dystrybucji energii** jest głównym źródłem emisji **tlenków siarki**. Ma on ponad 58-procentowy udział w emisji wśród wszystkich państw Wspólnoty Europejskiej (UE-28) i przeszło 59-procentowy udział na terenie Polski. Energetyka zawodowa w Unii Europejskiej jest także liczącym się źródłem emisji **tlenków azotu** (niemal 20% całkowitej emisji), w Polsce zaś zaznacza się jej dominujący udział (ponad 32%), głównie ze względu na znaczący wkład energetyki węglowej w całkowity bilans produkcji energii. Udział sektora jest relatywnie wysoki w emisji **pyłów** (ponad 15% w przypadku  $PM_{10}$  i niemal 13% w przypadku  $PM_{2,5}$ , na tle odpowiednio nieco ponad 5% i niespełna 5% średniej unijnej). Jest to również liczące się źródło emisji niektórych metali ciężkich do powietrza, w tym w szczególności rtęci (prawie 39% w UE-28 i ponad 51% w Polsce) oraz niklu (ponad 36% w UE-28 i przeszło 27% w Polsce), a także chromu (20% w UE-28 i niemal 19% w Polsce).

**Sektor przemysłu** jest widocznym (choć przeważnie niedominującym) źródłem emisji większości zanieczyszczeń inwentaryzowanych zgodnie ze wspomnianą wyżej konwencją. Ma on w skali Unii Europejskiej ponad 51-procentowy udział w emisji niemetanowych **lotnych związków organicznych** (NMLZO). Odpowiada też za ponad 25% całkowitej emisji **tlenków siarki**, niemal 24% emisji **tlenku węgla**, 23% pyłów  $PM_{10}$  i 16% pyłów  $PM_{2,5}$ . W Polsce udział przemysłu w emisjach tych substancji jest nieco mniejszy i wynosi 48% w przypadku NMLZO, niespełna 17% w przypadku tlenków siarki, 12% w przypadku tlenku węgla oraz 15% i 14% odpowiednio dla pyłów  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$ . Dominująca rola sektora przemysłu zaznacza się też przy emisjach niektórych metali, na co wpływa przede wszystkim zużycie energii w przemyśle. To kluczowe źródło emisji arsenu (niemal 63% w UE-28 i prawie 49% w Polsce), ołowiu (61% w UE-28 i 64% w Polsce), kadmu (55% w UE-28 i 67%

w Polsce), rtęci (ponad 42% w UE-28 i 39% w Polsce) oraz chromu (ponad 42% w UE-28 i 30% w Polsce). W Polsce widoczny jest dodatkowo wysoki udział tego sektora w emisji miedzi (52% całkowitej emisji) i cynku (45% całkowitej emisji).

Ważnym, a w niektórych przypadkach wręcz dominującym źródłem emisji zanieczyszczeń do powietrza jest **sektor transportu**, w tym przede wszystkim transport drogowy. Ma on zasadnicze znaczenie dla kształtowania jakości powietrza w dużych ośrodkach miejskich, jak również przy najważniejszych arteriach komunikacyjnych, cechujących się wysokim natężeniem ruchu i znaczącym udziałem transportu ciężkiego (autostrady, drogi ekspresowe, obwodnice miejskie). W skali Unii Europejskiej transport drogowy jest głównym źródłem emisji **tlenków azotu** (przebieżenie udziału w całkowitym bilansie emisji) i **tlenku węgla** (udział na poziomie niemal 21%). Widoczny jest także udział tego sektora w emisji **lotnych związków organicznych** (niespełna 10%) oraz zanieczyszczeń pyłowych (około 11% zarówno w przypadku pyłów  $PM_{10}$ , jak i  $PM_{2.5}$ ). W Polsce udział sektora transportu w emisji większości z wymienionych zanieczyszczeń jest niższy, choć w przypadku choćby tlenków azotu również dominujący (30% całkowitej emisji  $NO_x$ ). Stanowi liczącą się źródło emisji tlenku węgla (prawie 21%) i NMLZO (niemal 14%). Zaznacza też swoją obecność w emisji pyłu pierwotnego – nieco ponad 5% udziału w emisji pyłu  $PM_{10}$  i prawie 8% w emisji  $PM_{2.5}$ . W przypadku miast, a zwłaszcza dużych ośrodków miejskich, transport drogowy może być jednak ważnym, a niekiedy dominującym źródłem emisji zanieczyszczeń powietrza, w tym także pyłów. Sektor transportu drogowego jest ponadto istotnym źródłem emisji niektórych metali, choć średni udział w emisji na terenie całej Unii Europejskiej jest znacznie większy aniżeli w przypadku Polski (gdzie w emisjach metali dominuje sektor komunalno-bytowy). Udział transportu w emisji metali pozostaje związany przede wszystkim z procesami ścierania opon i nawierzchni dróg oraz elementów układów hamulcowych. Dotyczy to głównie emisji miedzi (ponad 80-procentowy udział w emisji w UE-28 i niespełna 22-procentowy w Polsce), cynku (41% w UE-28 i nieco ponad 4% w Polsce), chromu (niemal 18% w UE-28 i niespełna 10% w Polsce) oraz ołowiu (nieco ponad 16% w UE-28 i 2% w Polsce).

Obok sektora transportu, najważniejszym źródłem emisji niektórych rodzajów szczególnie szkodliwych zanieczyszczeń powietrza są procesy spalania odbywające się w gospodarstwach domowych i niewielkich zakładach usługowych, umownie nazywany **sektorem komunalno-bytowym**. W wielu państwach Unii Europejskiej jest to podstawowe źródło emisji **zanieczyszczeń pyłowych** – średnio w skali całej Wspólnoty ma on prawie 42-procentowy udział w całkowitym bilansie emisji pyłu  $PM_{10}$  i ponad 57-procentowy w emisji pyłu  $PM_{2.5}$ . W Polsce udział ten jest jeszcze większy i wynosi niemal 54% w emisji pyłu  $PM_{10}$  oraz prawie 60% w emisji pyłu  $PM_{2.5}$ . Źródła komunalno-bytowe są również odpowiedzialne za przeważającą część emisji do powietrza **wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych** (WWA), cechujących się szczególnie niekorzystnym oddziaływaniem na zdrowie człowieka – wiele z substancji należących do grupy WWA ma charakter immunotoksyczny,

genotoksyczny, kancerogenny czy teratogenny. Ponad 55% całkowitej emisji WWA i niemal 75% całkowitej emisji benzo(a)pirenu na terenie państw Wspólnoty Europejskiej trafia do powietrza właśnie wskutek procesów spalania odbywających się w gospodarstwach domowych i innych źródłach komunalno-bytowych. W Polsce odsetki te są jeszcze większe i osiągają poziom niemal 88% (!) w przypadku wszystkich analizowanych WWA i ponad 81% w przypadku benzo(a)pirenu.

Nieco mniejsze, ale nadal bardzo znaczne udziały mają źródła komunalno-bytowe w emisji substancji z grupy dioksyn – średni udział we wszystkich państwach Unii Europejskiej wynosi nieco ponad 40%, w Polsce zaś przekracza 48%. Ten sektor jest także kluczowym źródłem emisji tlenku węgla (prawie 47% w UE-28 i ponad 63% w Polsce), jak również niektórych metali ciężkich. Przede wszystkim chodzi tu o nikiel (53-procentowy udział w emisji całkowitej), cynk (prawie 43%), chrom (niemal 42%), arsen (ponad 37%) czy ołów (27%). Średnie unijne są tu zauważalnie niższe i wynoszą odpowiednio 24% (Ni), 16% (Zn), 16% (Cr), 11% (As) i 15% (Pb).

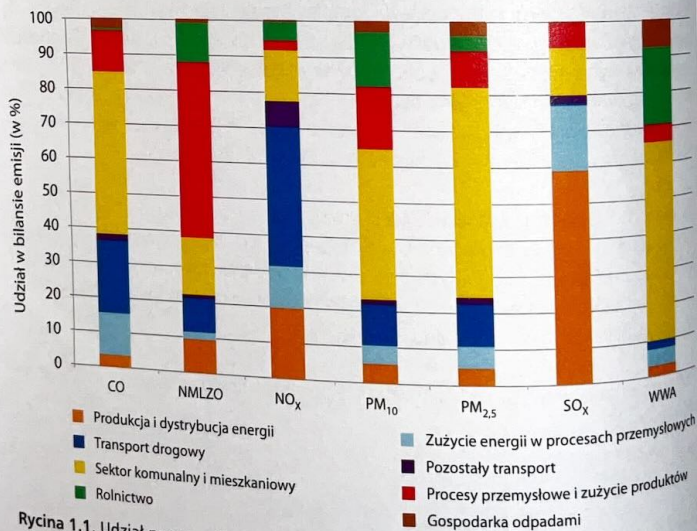
Warto podkreślić, że emisje z tego sektora gospodarki są szczególnie uciążliwe dla środowiska, a w głównej mierze dla zdrowia człowieka z kilku względów. Przede wszystkim są to źródła rozproszone, znajdujące się do niedawna poza niemal wszelką kontrolą w zakresie rodzajów paliw, które były i są w nich stosowane. Źródła te także, w odróżnieniu od źródeł energetycznych lub przemysłowych, nie są wyposażone w żadne instalacje do monitorowania jakości spalin bądź ich oczyszczania ze szkodliwych produktów powstających w procesach spalania węgla i drewna. Tym bardziej dotyczy to odpadów komunalnych, których spalanie w nieodpowiednich warunkach (a takimi są warunki panujące w domowych paleniskach) skutkuje emisjami do powietrza również innych szkodliwych dla zdrowia człowieka substancji, jak choćby wspomnianych już wcześniej polichlorowanych dibenzo-para-dioksyn (PCDD) czy polichlorowanych dibenzofuranów (PCDF), a także formaldehydu, chlorowodoru, cyjanowodoru oraz innych zanieczyszczeń z grupy PCB, WWA, lotnych i semilotnych/półlotnych związków organicznych, aldehydów lub ketonów.

W tabeli 1.1 zaprezentowano wielkości emisji zanieczyszczeń z podstawowych źródeł na terenie wszystkich państw Unii Europejskiej (EU-28), na rycinie 1.1 zaś przedstawiono udziały poszczególnych sektorów w całkowitym bilansie emisji wybranych substancji zanieczyszczających powietrze na podstawie danych z Europejskiej Agencji Środowiska (EEA) według stanu na 2015 rok.

Dla porównania w tabeli 1.2 i na rycinie 1.2 pokazano analogiczne dane w odniesieniu do Polski.

Tabela 1.1. Emisja wybranych zanieczyszczeń powietrza z poszczególnych sektorów gospodarki w 28 państwach Unii Europejskiej w 2015 roku (dane Europejskiej Agencji Środowiska)

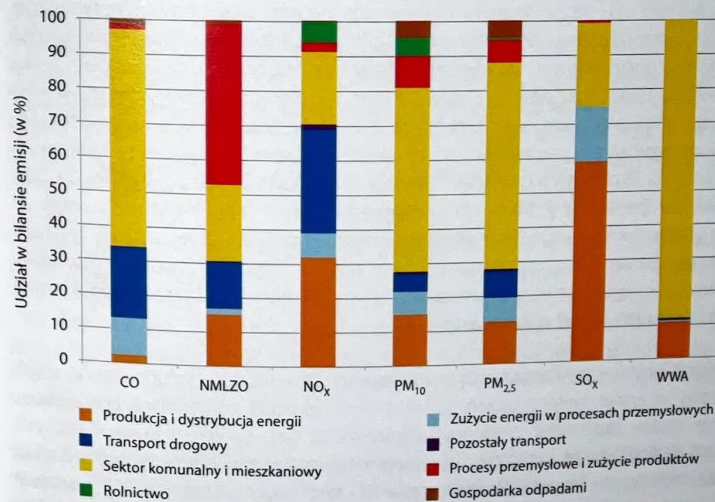
	CO	NMLZO	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	SO <sub>x</sub>	WWA
	(Gg)						(Mg)
Łącznie wszystkie źródła	20 169,9	6580,8	7750,8	1929,0	1282,8	2778,7	1135,1
Produkcja i dystrybucja energii	673,5	617,6	1509,8	101,9	57,5	1626,7	31,8
Zużycie energii w przemyśle	2449,2	126,5	921,6	103,0	83,6	505,7	56,2
Transport drogowy	4143,9	634,0	2982,6	208,5	146,6	5,3	25,4
Pozostały transport	386,7	75,0	570,7	30,8	25,2	62,7	0,9
Źródła komunalne i mieszkaniowe	9404,8	1066,0	1092,5	799,6	736,5	366,8	628,4
Procesy przemysłowe i zużycie produktów	2344,1	3253,2	210,5	332,6	125,9	191,8	57,7
Rolnictwo	161,7	732,6	397,9	289,2	51,9	0,6	243,0
Gospodarka odpadami	569,6	65,4	46,7	58,2	51,0	3,9	87,3



Rycina 1.1. Udział poszczególnych sektorów gospodarki w bilansie emisji wybranych zanieczyszczeń powietrza w Unii Europejskiej w 2015 roku (dane Europejskiej Agencji Środowiska).

Tabela 1.2. Emisja wybranych zanieczyszczeń powietrza z poszczególnych sektorów gospodarki w Polsce w 2015 roku (dane Europejskiej Agencji Środowiska)

	CO	NMLZO	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	SO <sub>x</sub>	WWA
	(Gg)						(Mg)
Łącznie wszystkie źródła	2401,3	530,6	713,8	221,1	124,6	690,3	139,4
Produkcja i dystrybucja energii	62,6	82,2	229,8	33,7	16,0	409,3	15,5
Zużycie energii w przemyśle	258,4	8,7	50,4	15,0	8,8	110,9	0,6
Transport drogowy	497,9	72,1	212,6	11,7	9,8	0,2	0,9
Pozostały transport	4,0	1,8	12,8	0,9	0,9	0,1	0,0
Źródła komunalne i mieszkaniowe	1519,3	117,3	149,2	118,8	74,2	165,1	122,4
Procesy przemysłowe i zużycie produktów	37,4	245,8	17,4	19,0	8,4	4,6	0,0
Rolnictwo	1,7	0,0	40,0	12,1	0,5	0,0	0,0
Gospodarka odpadami	20,1	2,8	1,7	10,1	5,9	0,1	0,0



Rycina 1.2. Udział poszczególnych sektorów gospodarki w bilansie emisji wybranych zanieczyszczeń powietrza w Polsce w 2015 roku (dane Europejskiej Agencji Środowiska).

### 1.3. ZMIANY STĘŻEŃ ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA W CZASIE W POLSCE NA TLE EUROPY

Ostatnie 25-lecie było okresem intensywnej redukcji emisji większości zanieczyszczeń powietrza emitowanych z przeważającej części sektorów gospodarki narodowej. Trend ten obserwuje się mimo rosnącej liczby źródeł emisji w niektórych obszarach gospodarki, co jest szczególnie widoczne chociażby w przypadku sektora transportu drogowego. Większa świadomość zagrożeń wynikających z narażenia na zanieczyszczenia środowiska, postęp technologiczny czy systematyczne wprowadzanie od lat 90. ubiegłego stulecia licznych narzędzi prawnych i administracyjnych w obszarze ochrony powietrza przyczyniają się do zmniejszania emisji całkowitej. Z drugiej strony stale rosnący odsetek mieszkańców miast (w 2010 roku w skali świata liczba ludzi zamieszkujących miasta przekroczyła liczbę osób mieszkających na terenach pozamiejskich, w Unii Europejskiej zaś w miastach mieszka już 75% ludności) nie sprzyja poprawie jakości środowiska w warunkach miejskich. Niemniej jednak w wielu krajach rozwijających się można zaobserwować silny wzrost emisji zanieczyszczeń powietrza. Wskazuje się również na zaburzenie bilansu promieniowania wskutek podwyższonych poziomów ozonu i cząstek stałych, co w krótszych niż dotąd skalach czasowych oddziałuje na zmiany klimatyczne.

Warto też zwrócić uwagę, że dynamika zmian emisji zarówno w podziale na poszczególne sektory gospodarki, jak i w zależności od kraju (uwzględniając tylko kraje UE) jest bardzo zróżnicowana. W Polsce udało się co prawda w sposób znaczący ograniczyć wielkość emisji większości rodzajów zanieczyszczeń powietrza, lecz dynamika tych zmian była słabsza aniżeli w wielu pozostałych państwach Wspólnoty. Jeszcze kilka lat temu na tle wszystkich (wówczas 27) państw Unii Europejskiej spadek emisji większości rozważanych tu zanieczyszczeń w stosunku do sytuacji wyjściowej z roku 1990 plasował Polskę na 15.–18. miejscu. Obecnie, biorąc pod uwagę zmiany w wielkości emisji, jakie zaszły na przestrzeni lat 1990–2015, nasza pozycja w tym zestawieniu w przypadku wielu zanieczyszczeń uległa spadkowi i najczęściej przekracza 25. lokatę (na 28 obecnych członków Wspólnoty), znajdując się poniżej średniej dla całej Unii Europejskiej (z jednym tylko wyjątkiem). Należy jednak zwrócić uwagę, że w ostatnich kilku latach dynamika procesu zmniejszania emisji wielu zanieczyszczeń do powietrza również uległa ograniczeniu, a w niektórych przypadkach (np. WWA, innych trwałych zanieczyszczeń organicznych czy pewnych metali) spadek emisji w ogóle przestał być obserwowany.

Biorąc pod uwagę bardzo pozytywny aspekt, jakim jest powszechny trend spadkowy w emisji zanieczyszczeń powietrza w większości państw Unii Europejskiej, nie należy zapominać o silnym zróżnicowaniu tych spadków (a w niektórych przypadkach także wzrostów) w poszczególnych krajach członkowskich. W ślad za malejącymi emisjami w wielu rejonach Wspólnoty widać wyraźną poprawę jakości powietrza, choć ze względu na skomplikowane powiązania między ilościami emitowanych do powietrza zanieczyszczeń a jakością powietrza atmosferycznego,

jak również z uwagi na niepewność związaną z estymacją danych o emisjach (zwłaszcza z rozproszonych źródeł emisji), nie zawsze można dostrzec wyraźny związek między spadkiem emisji a zmniejszeniem się stężeń zanieczyszczeń rejestrowanych w powietrzu.

W skali Unii Europejskiej jedne z największych spadków emisji, jakie zanotowano w latach 1990–2015, dotyczą **ditenku siarki** (spadek o prawie 88%). W zależności od kraju wahały się one od 97% do 58%. W Polsce ten spadek był na poziomie 74%, co w zestawieniu krajów Wspólnoty plasuje ją na 26. pozycji. Jeśli chodzi o jakość powietrza, to narażenie na stężenia ponadnormatywne ditlenku siarki dotyczy mniej niż 1% społeczeństwa. Dla przykładu – w roku 2016 spośród wszystkich stacji monitoringu jakości powietrza w Polsce najwyższe stężenie jednogodzinne wyniosło 442  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i był to przypadek odosobniony (średnioroczne stężenie nie przekraczało 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Mając jednak na uwadze, że znacznie bardziej restrykcyjnie do stężeń tego gazu w powietrzu podchodzi Światowa Organizacja Zdrowia (WHO), w warunkach przekroczenia poziomu  $\text{SO}_2$  rekomendowanego przez WHO w zależności od kraju żyje od 20% do 38% społeczeństwa.

Podobny (nieco ponad 88%) spadek emisji w skali całej Unii Europejskiej zanotowano w przypadku **wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych**. Tu jednak zróżnicowanie między poszczególnymi krajami było znacznie większe, wahać się od spadku o ponad 97% do niemal 33% wzrostu. W Polsce spadek emisji był prawie niezauważalny i wyniósł jedynie 5% (24. miejsce w zestawieniu krajów UE). Znacznie mniejsze spadki zanotowano w przypadku **benzo(a)pirenu**. Zmniejszenie jego emisji średnio w krajach UE wyniosło niespełna 53%, natomiast w Polsce między 1990 a 2015 rokiem zarejestrowano ponad 14-procentowy wzrost emisji BaP, a Polska od wielu lat utrzymuje najwyższą wśród krajów UE pozycję pod względem stężeń tej substancji w powietrzu. W skali UE-28 ocenia się, że narażenie na stężenia benzo(a)pirenu przekraczające obowiązujące w UE standardy dotyczy 20–25% społeczeństwa, a w warunkach przekroczenia wartości referencyjnej WHO (ośmiokrotnie niższej od stężenia docelowego, obowiązującego na mocy dyrektywy CAPE) żyje od 85% do 91% mieszkańców.

Znaczny spadek emisji (o prawie 85%) odnotowano również w przypadku innej grupy szczególnie szkodliwych dla zdrowia substancji z grupy dioksyn i furanów. W zależności od kraju spadki wahały się od 98% do niespełna 12% i ta ostatnia wartość dotyczy Polski, dając jej ostatnie miejsce pod względem obniżenia emisji tej grupy zanieczyszczeń. W raportach Europejskiej Agencji Środowiska na temat jakości powietrza w Europie brak jest wzmianek co do stopnia narażenia społeczeństwa na dioksyny i furany.

Spadek emisji na poziomie prawie 68% zanotowano w przypadku **tlenku węgla**. W zależności od kraju zmniejszenie jego emisji do powietrza wyniosło od 99% do 33%, gdzie ponownie ta ostatnia wartość odnosi się do Polski. Generalnie stężenia tlenku węgla w powietrzu atmosferycznym są niskie, dalekie od stężenia dopusz-

tego także w Polsce, a w całej Unii Europejskiej przekroczenia dotyczącej polskiej lokalizacji (w 2015 roku zarejestrowano przekroczenie w czterech stacjach monitoringu jakości powietrza). Narażenie społeczeństwa na stężenia tlenu węgla powyżej poziomów dopuszczalnych jest zatem bardzo niewielkie.

W przypadku **niemetanowych lotnych związków organicznych**, dla których substancją wskaźnikową jest benzen, zaobserwowano mniejszy spadek emisji (o 55%), przy czym w zależności od kraju członkowskiego zmiany wielkości emisji wahały się od spadku o prawie 85% do wzrostu o 29%. W Polsce w okresie od 1990 do 2015 roku odnotowano wzrost emisji NMLZO o niemal 10%, co stawia nas na 2. pozycji wśród wszystkich krajów UE. Mając na uwadze, że lotne związki organiczne to bardzo liczna grupa substancji (m.in. niektóre węglowodory alifatyczne, pierścieniowe, aromatyczne, chlorowcowane czy nitrowane, alkohole, fenole, karbonylowe, aminy, bądź też estry i kwasy karboksylowe), trudno jest ocenić skalę narażenia społeczeństwa na każdy z tych związków. W przypadku benzenu przekroczenie stężenia dopuszczalnych jest sporadyczne i w 2015 roku w całej Unii Europejskiej zaobserwowano je tylko na dwóch stacjach monitoringu. Z kolei według danych z Państwowego Monitoringu Środowiska z 2016 roku w Polsce zanotowano przekroczenie w jednej stacji monitoringu.

Mniejszy spadek emisji dotyczy także **zanieczyszczeń pyłowych** – średnio w skali UE-28 było to 56%, w poszczególnych zaś krajach członkowskich rozpiętość tych zmian wynosiła od spadków o ponad 93% do wzrostów o niemal 48%. W tym zestawieniu, w odróżnieniu od większości pozostałych zanieczyszczeń, które są przedmiotem raportowania, pozycja Polski jest dość wysoka – wśród wszystkich krajów UE zajmuje ona ósme miejsce ze spadkiem o ponad 67%. W przypadku  $PM_{10}$  i  $PM_{2.5}$  spadki emisji są znacznie mniejsze, przy czym za punkt odniesienia przyjęty został nie 1990, lecz 2000 rok. Co do tych zanieczyszczeń, emisja zmniejszyła się odpowiednio o 25% i 26% w skali całej Unii Europejskiej, wahania zmian zaś w zależności od kraju wyniosły od spadków o 74% do wzrostów o ponad 38% w przypadku pyłu  $PM_{10}$  i od spadków o 76% do wzrostów o 28% w przypadku pyłów  $PM_{2.5}$ . Polska plasuje się na tym tle na miejscach 20. (dla  $PM_{10}$ ) ze spadkiem emisji o nieco ponad 18% i 19. (dla  $PM_{2.5}$ ) ze spadkiem emisji o prawie 17%. Mimo obserwowanych spadków emisji Polska regularnie występuje na czołowych miejscach pod względem najwyższych stężeń pyłów  $PM_{10}$  i  $PM_{2.5}$  w Unii Europejskiej. Narażenie społeczeństwa na stężenia przekraczające poziomy dopuszczalne jest również relatywnie wysokie i waha się w granicach 7–8% w przypadku pyłu  $PM_{2.5}$  oraz 16–20% w przypadku pyłu  $PM_{10}$ . Znacznie większe odsetki społeczeństwa są jednak narażone na oddychanie powietrzem niespełniającym rekomendacji WHO – narażenie na pył  $PM_{2.5}$  dotyczy w tym przypadku 82–85%, na pył  $PM_{10}$  zaś 50–62% społeczeństw.

Zmniejszenie emisji **tlenu azotu** średnio w skali Unii Europejskiej było podobne jak w przypadku zanieczyszczeń pyłowych i wyniosło 52%, jednak rozpiętość zmian w poszczególnych krajach okazała się nieco mniejsza – obserwowane spadki emisji wyniosły od 78% do 6%. W Polsce emisja  $NO_x$  zmniejszyła się o 32%, co na tle pozosta-

łych krajów członkowskich lokuje nas na 25. miejscu. Problem wysokich stężeń ditlenku azotu nie jest w Polsce zbyt mocno widoczny i ogranicza się do kilku największych aglomeracji, w których szczególnie zaznacza się obecność ruchu drogowego, należącego do kluczowych źródeł emisji tego zanieczyszczenia. Narażenie na stężenia  $NO_2$  przekraczające poziom dopuszczalny (i jednocześnie poziom rekomendowany przez WHO) dotyczy w Unii Europejskiej od 7% do 9% populacji.

Ostatnią grupą rozważanych substancji są **metale**, w przypadku których zmiany w wielkości emisji w państwach Unii Europejskiej wahały się od 92% dla ołowiu przez 61–73% dla rtęci, chromu, niklu, kadmu i arsenu oraz 33–35% dla cynku i selenu aż po 11-procentowy wzrost emisji dla miedzi. W Polsce największe spadki zanotowano dla chromu i niklu (42%), nieco mniejsze zaś dla kadmu (39%) oraz rtęci, cynku, arsenu i ołowiu (od 25% do 13%). W przypadku miedzi emisja zwiększyła się o nieco ponad 12%.

Reasumując, warto zwrócić uwagę, że generalnie w skali Unii Europejskiej zarówno emisje, jak i stężenia w powietrzu wielu substancji szkodliwych dla zdrowia i życia człowieka oraz środowiska przyrodniczego (jak WWA, dioksyny i furany, ditlenek siarki czy tlenek węgla) uległy znaczącemu obniżeniu. Niemniej zmiany te nie przyczyniły się do rozwiązania wszystkich uciążliwości związanych z utrzymaniem odpowiedniej jakości powietrza. Obecnie głównym problemem jakości powietrza w Europie, wymagającym pilnego rozwiązania, zwłaszcza w kontekście zdrowotnym, jest wysokie narażenie na zanieczyszczenia pyłowe i ozon, choć w wielu rejonach rejestruje się również znaczące poziomy tlenków azotu czy, jak w przypadku Polski, także benzo(a)pirenu.

## Piśmiennictwo

1. Badyda A., Gayer A., Czechowski P.O. i wsp.: *Pulmonary function and incidence of selected respiratory diseases depending on the exposure to ambient  $PM_{10}$* . International Journal of Molecular Sciences 2016, 17(11).
2. Badyda A., Grellier J., Dąbrowicki P.: *Ambient  $PM_{2.5}$  exposure and mortality due to lung cancer and cardiopulmonary diseases in Polish cities*. Advances in Experimental Medicine and Biology 2017, 944: 9–17.
3. Badyda A., Majewski G., Rogula-Kozłowska W. i wsp.: *Zanieczyszczenia powietrza – czym oddychamy w Polsce?* Lekarz Wojskowy 2017, 95: 46–58.
4. Badyda A.: *Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza pochodzenia komunikacyjnego na parametry sprawności wentylacyjnej mieszkańców Warszawy*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Inżynieria Środowiska, z. 65. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013.
5. Dyrektywa 2004/107/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004 roku w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu (Dz.U. L 23 z 26.01.2005, s. 3–16).
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 roku w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy (Dz.U. L 152 z 11.06.2008, s. 1–44).

czalnego także w Polsce, a w całej Unii Europejskiej przekroczenia dotyczą pojedynczych lokalizacji (w 2015 roku zarejestrowano przekroczenie w czterech stacjach monitoringu jakości powietrza). Narażenie społeczeństwa na stężenia tlenu węgla powyżej poziomów dopuszczalnych jest zatem bardzo niewielkie.

W przypadku **niemetanowych lotnych związków organicznych**, dla których substancją wskaźnikową jest benzen, zaobserwowano mniejszy spadek emisji (o 55%), przy czym w zależności od kraju członkowskiego zmiany wielkości emisji wahały się od spadku o prawie 85% do wzrostu o 29%. W Polsce w okresie od 1990 do 2015 roku odnotowano wzrost emisji NMLZO o niemal 10%, co stawia nas na 27. pozycji wśród wszystkich krajów UE. Mając na uwadze, że lotne związki organiczne to bardzo liczna grupa substancji (m.in. niektóre węglowodory alifatyczne, pierścienie to bardzo liczna grupa substancji (m.in. niektóre węglowodory alifatyczne, pierścienie niowe, aromatyczne, chlorowcowane czy nitrowane, alkohole, fenole, karbonyle, aminy, bądź też estry i kwasy karboksylowe), trudno jest ocenić skalę narażenia społeczeństwa na każdy z tych związków. W przypadku benzenu przekroczenie stężenia dopuszczalnego jest sporadyczne i w 2015 roku w całej Unii Europejskiej zaobserwowano je tylko na dwóch stacjach monitoringu. Z kolei według danych z Państwowego Monitoringu Środowiska z 2016 roku w Polsce zanotowano przekroczenie w jednej stacji monitoringu.

Mniejszy spadek emisji dotyczy także **zanieczyszczeń pyłowych** – średnio w skali UE-28 było to 56%, w poszczególnych zaś krajach członkowskich rozpiętość tych zmian wyniosła od spadków o ponad 93% do wzrostów o niemal 48%. W tym zestawieniu, w odróżnieniu od większości pozostałych zanieczyszczeń, które są przedmiotem raportowania, pozycja Polski jest dość wysoka – wśród wszystkich krajów UE zajmuje ona ósme miejsce ze spadkiem o ponad 67%. W przypadku  $PM_{10}$  i  $PM_{2.5}$  spadki emisji są znacznie mniejsze, przy czym za punkt odniesienia przyjęty został nie 1990, lecz 2000 rok. Co do tych zanieczyszczeń, emisja zmniejszyła się odpowiednio o 25% i 26% w skali całej Unii Europejskiej, wahania zmian zaś w zależności od kraju wyniosły od spadków o 74% do wzrostów o ponad 38% w przypadku pyłu  $PM_{10}$  i od spadków o 76% do wzrostów o 28% w przypadku pyłów  $PM_{2.5}$ . Polska plasuje się na tym tle na miejscach 20. (dla  $PM_{10}$ , ze spadkiem emisji o nieco ponad 18%) i 19. (dla  $PM_{2.5}$ , ze spadkiem emisji o prawie 17%). Mimo obserwowanych spadków emisji Polska regularnie występuje na czołowych miejscach pod względem najwyższych stężeń pyłów  $PM_{10}$  i  $PM_{2.5}$  w Unii Europejskiej. Narażenie społeczeństwa na stężenia przekraczające poziomy dopuszczalny jest również relatywnie wysokie i waha się w granicach 7–8% w przypadku pyłu  $PM_{2.5}$  oraz 16–20% w przypadku pyłu  $PM_{10}$ . Znacznie większe odsetki społeczeństwa są jednak narażone na oddychanie powietrzem niespełniającym rekomendacji WHO – narażenie na pył  $PM_{2.5}$  dotyczy w tym przypadku 82–85%, na pył  $PM_{10}$  zaś 50–62% społeczeństw.

Zmniejszenie emisji **tlenu azotu** średnio w skali Unii Europejskiej było podobne jak w przypadku zanieczyszczeń pyłowych i wyniosło 52%, jednak rozpiętość zmian w poszczególnych krajach okazała się nieco mniejsza – obserwowane spadki emisji wyniosły od 78% do 6%. W Polsce emisja  $NO_x$  zmniejszyła się o 32%, co na tle pozostałych krajów członkowskich lokuje nas na 25. miejscu. Problem wysokich stężeń

tlenu azotu nie jest w Polsce zbyt mocno widoczny i ogranicza się do kilku największych aglomeracji, w których szczególnie zaznacza się obecność ruchu drogowego, należącego do kluczowych źródeł emisji tego zanieczyszczenia. Narażenie na stężenia  $NO_2$  przekraczające poziom dopuszczalny (i jednocześnie poziom rekomendowany przez WHO) dotyczy w Unii Europejskiej od 7% do 9% populacji.

Ostatnią grupą rozważanych substancji są **metale**, w przypadku których zmiany w wielkości emisji w państwach Unii Europejskiej wahały się od 92% dla ołowiu przez 61–73% dla rtęci, chromu, niklu, kadmu i arsenu oraz 33–35% dla cynku i seleniu aż po 11-procentowy wzrost emisji dla miedzi. W Polsce największe spadki zanotowano dla chromu (52%) i niklu (42%), nieco mniejsze zaś dla kadmu (39%) oraz rtęci, cynku, arsenu i ołowiu (od 25% do 13%). W przypadku miedzi emisja zwiększyła się o nieco ponad 12%.

Reasumując, warto zwrócić uwagę, że generalnie w skali Unii Europejskiej zarówno emisje, jak i stężenia w powietrzu wielu substancji szkodliwych dla zdrowia i życia człowieka oraz środowiska przyrodniczego (jak WWA, dioksyny i furany, ditlenek siarki czy tlenek węgla) uległy znaczącemu obniżeniu. Niemniej zmiany te nie przyczyniły się do rozwiązania wszystkich uciążliwości związanych z utrzymaniem odpowiedniej jakości powietrza. Obecnie głównym problemem jakości powietrza w Europie, wymagającym pilnego rozwiązania, zwłaszcza w kontekście zdrowotnym, jest wysokie narażenie na zanieczyszczenia pyłowe i ozon, choć w wielu rejonach rejestruje się również znaczące poziomy tlenków azotu czy, jak w przypadku Polski, także benzo(a)pirenu.

## Piśmiennictwo

1. Badyda A., Gayer A., Czechowski P.O. i wsp.: *Pulmonary function and incidence of selected respiratory diseases depending on the exposure to ambient  $PM_{10}$* . International Journal of Molecular Sciences 2016, 17(11).
2. Badyda A., Grellier J., Dąbrowiecki P.: *Ambient  $PM_{2.5}$  exposure and mortality due to lung cancer and cardiopulmonary diseases in Polish cities*. Advances in Experimental Medicine and Biology 2017, 944: 9–17.
3. Badyda A., Majewski G., Rogula-Kozłowska W. i wsp.: *Zanieczyszczenia powietrza – czym oddychamy w Polsce?* Lekarz Wojskowy 2017, 95: 46–58.
4. Badyda A.: *Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza pochodzenia komunikacyjnego na parametry sprawności wentylacyjnej mieszkańców Warszawy*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Inżynieria Środowiska, z. 65. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013.
5. Dyrektywa 2004/107/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004 roku w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu (Dz.U. L 23 z 26.01.2005, s. 3–16).
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 roku w sprawie jakości powietrza i czystszego powietrza dla Europy (Dz.U. L 152 z 11.06.2008, s. 1–44).



7. European Environment Agency: *Air quality in Europe – 2017 report*. Publications Office of the European Union, Luxembourg 2017.
8. European Environment Agency: *The European Environment. State and Outlook 2015*. Copenhagen 2015.
9. Juda Rezler K.: *Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
10. Juda-Rezler K. (red.): *Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2016.
11. Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie transgranicznego transportu zanieczyszczeń powietrza na dalekie odległości z dnia 13 listopada 1979 roku.
12. Kozielska B., Rogula-Kozłowska W., Klejnowski K.: *Selected organic compounds in fine particulate matter at the regional background, urban background and urban traffic points in Silesia (Poland)*. International Journal of Environmental Research 2015, 9(2): 575–584.
13. Majewski G., Rogula-Kozłowska W.: *The elemental composition and origin of fine ambient particles in the largest Polish conurbation: First results from the short-term winter campaign*. Theoretical and Applied Climatology 2016, 125: 79–92.
14. Państwowy Monitoring Środowiska – Inspekcja Ochrony Środowiska: *Ocena jakości powietrza w strefach w Polsce za rok 2016*. Warszawa 2017.
15. Rogula-Kozłowska W., Majewski G., Błaszczak B. i wsp.: *Origin-oriented elemental profile of fine ambient particulate matter in Central European suburban conditions*. International Journal of Environmental Research and Public Health 2016, 13(7): 715.
16. Rogula-Kozłowska W., Majewski G., Czechowski P.O.: *The size distribution and origin of elements bound to ambient particles: A case study of a Polish urban area*. Environmental Monitoring and Assessment 2015, 187(5): 240.
17. Rogulski M., Badyda A.: *Analysis of data on emissions on example of Opolskie Voivodship within context of fees for use of the environment*. Polish Journal of Environmental Studies 2015, 24(2): 675–681.
18. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 roku w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2012 poz. 1031).
19. Uherek E., Halenka T., Borken-Kleefeld J. i wsp.: *Transport impacts on atmosphere and climate: Land transport*. Atmospheric Environment 2010, 44: 4772–4816.
20. United Nations Population Fund: *The State of World Population 2010*. New York 2010.

# Konsekwencje społeczne i ekonomiczne zanieczyszczenia powietrza

Łukasz Adamkiewicz, Zbigniew Bochniarz,  
Dominika Mucha, Anna Gayer, Artur Badyda

## 12.1. KONSEKWENCJE SPOŁECZNE ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA

Od czasów rewolucji przemysłowej w XIX wieku obserwuje się szybki wzrost zanieczyszczenia środowiska naturalnego, a zwłaszcza powietrza, gleby i wody, powodujący negatywne skutki społeczne i ekonomiczne określane przez ekonomistów jako negatywne koszty zewnętrzne (Marshall 1892). Szczególnie niebezpieczne są zanieczyszczenia powietrza, osiągające wysokie stężenia podczas epizodów smogowych. Sądząc po tytule publikacji londyńskiego „The Guardian” w 65. rocznicę tzw. Wielkiego smogu z 1952 roku, który pozbawił życia ponad 12 000 mieszkańców Londynu – *65 years on from the Great Smog nothing has changed. We're still choking* (65 lat po Wielkim Smogu nic się nie zmieniło. Wciąż się dławimy) – brytyjskie „lekcje” nie zostały odrobione. Wprawdzie Wielka Brytania – kolebka rewolucji przemysłowej – podjęła zdecydowane działania, wprowadzając w ciągu kilku lat po tej tragedii dość efektywne i pierwsze na świecie ustawodawstwo w zakresie poprawy jakości powietrza oraz chroniące środowisko naturalne, to większość krajów, przede wszystkim tych rozwijających się (np. Chiny lub Indie), nie zainicjowała jeszcze równie intensywnych czynności i ich ludność do dziś jest narażana na wysokie stężenia zanieczyszczeń. Polska, która podjęła radykalne i skuteczne kroki ograniczenia zanieczyszczenia środowiska, szczególnie powietrza emisjami wielkoprzemysłowymi od początku lat 90. XX wieku, w zakresie redukcji emisji z innych źródeł (zwłaszcza

komunalno-bytowych) cały czas stoi przed dużym wyzwaniem. Skutkiem tego są wyjątkowo wysokie stężenia zanieczyszczeń w polskich miejscowościach, plasujące nasz kraj w czołówce państw najsilniej w Unii Europejskiej zanieczyszczonych pyłem zawieszonym i wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi, a spośród 50 najbardziej zanieczyszczonych pyłami miast Unii Europejskiej, aż 33 to polskie miasta.

W celu oceny zakresu różnorodnych skutków (w tym społecznych i ekonomicznych) wynikających z zanieczyszczenia powietrza niezbędna jest realizacja rzetelnych badań naukowych o charakterze interdyscyplinarnym pokazujących związki między stężeniami zanieczyszczeń a ich skutkami. Badania takie w szerszym wymiarze rozpoczęły się praktycznie dopiero w latach 60. XX wieku.

Po transformacji systemowej Polska włączyła się aktywnie w badania nad zdrowotnymi konsekwencjami zanieczyszczeń środowiska do międzynarodowych *think tanks* organizowanych przy Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), Banku Światowym (WB) czy Organizacji Współpracy Ekonomicznej i Rozwoju (OECD), a od 2004 roku do Eurostatu i Europejskiej Agencji Środowiska (EEA). Uczestniczy również w największej sieci badań naukowych (ponad 3000 naukowców ze 130 krajów) zorganizowanej przez Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) na University of Washington w Seattle, który w 1990 roku wprowadził pożyteczny dla podejmujących decyzje instrument zwany *Global Burden of Disease* (GBD – globalne obciążenie chorobami), pozwalający skwantyfikować utratę zdrowia spowodowaną chorobami i innymi czynnikami ryzyka (<http://www.healthdata.org/20180612>). Przez włączenie się w różne sieci współpracy Polska może korzystać z badań porównawczych na najwyższym, światowym poziomie wiedzy medycznej i metod statystycznych. Aktualne raporty tych organizacji (WHO/OECD 2015 s. 8; EEA 2017 ss. 56–58) szacują, że w Polsce w latach 2005–2014 przedwcześnie umierało ok. 48 000–50 000 mieszkańców (prawdopodobieństwo szacunku 95%).

Warto zwrócić uwagę na oszacowania wskazujące, że 250–300 tysięcy osób zapada rocznie na różne choroby związane z zanieczyszczeniami powietrza w Polsce (GBD). Jeśli weźmie się pod uwagę również inne łączone z tym następstwa, jak choćby cierpienie ich najbliższych, ograniczenie mobilności czy dodatkowe wydatki związane z leczeniem, to skala skutków społeczno-ekonomicznych zdecydowanie wzrasta.

Analizując społeczne skutki zanieczyszczenia powietrza, warto przyjrzeć się, jak Polska przedstawia się na tle innych krajów europejskich pod względem wskaźnika YLL (*years of life lost*, lata utraconego życia) w przeliczeniu na 100 tysięcy mieszkańców. Według EEA w 2014 roku Polska ze wskaźnikiem 1455 utraconych lat życia plasuje się na bardzo odległej lokacie wśród 41 europejskich krajów, pozostawiając za sobą jedynie Bułgarię (1873) i byłe republiki Jugosławii – Kosowo (1824), Macedonię (1578) i Serbię (1508), przy przeciętnej wielkości dla tej grupy wynoszącej 856. Natomiast na tle krajów UE-28 Polska znajduje się na przedostatnim miejscu przed Bułgarią.

Wskaźnik YLL jest punktem wyjścia dla innego popularnego wskaźnika – DALY (*disability adjusted life-years*, utrata lat życia skorygowanych niepełnosprawnością), który stanowi sumę YLL i YLD (*years of life lost to disability*, lata życia utracone wskutek niepełnosprawności). Wskaźnik DALY obliczony dla skutków związanych z zanieczyszczeniem powietrza jest w przypadku Polski bardzo wysoki – w 2005 roku wynosił 1 069 609 lat, spadając nieco w 2010 roku do poziomu 882 673 lat. Warto porównać polski DALY ze wskaźnikami np. dla Niemiec, gdzie w 2005 roku wynosił on tam 774 268 lat i obniżył się do 632 545 lat w 2010 roku. Dystans między tymi wskaźnikami dla Polski i Niemiec pokazuje różnicę w stanie zdrowia tych dwóch narodów ze względu na skutki narażenia na zanieczyszczenia powietrza. Stanowi to ważny sygnał do działania zarówno dla polskich decydentów, jak i społeczeństwa obywatelskiego wraz z jego organizacjami pozarządowymi, które wspólnie zaczynają tworzyć bardziej skuteczne instrumenty polityki ekologicznej i zdrowotnej.

## 12.2. EKONOMICZNE KONSEKWENCJE NASTĘPSTW ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA

Zanieczyszczenie powietrza powoduje wielorakie straty ekonomiczne sprowadzające się głównie do trzech zasadniczych grup:

- strat spowodowanych utratą zdrowia i przedwczesnym zgonem;
- strat spowodowanych w rolnictwie i leśnictwie oraz w innych naturalnych ekosystemach;
- strat spowodowanych korozją maszyn i urządzeń, budynków i budowli łącznie z infrastrukturą logistyczną.

Straty te jeszcze w XIX wieku zauważył brytyjski ekonomista Alfred Marshall – inicjator neoklasycznej ekonomii – i nazwał je negatywnymi kosztami zewnętrznymi, które nie wchodząc do kosztów transakcji, nie są włączone do ceny produktu lub usługi, lecz obciążają osoby trzecie – najczęściej społeczność lokalną lub krajową, ale mogą też dotyczyć społeczności globalnej (jak np. emisja gazów cieplarnianych). Wraz z innym przedstawicielem tej szkoły – Arturem Pigou – utworowali drogę ekonomiczną środowiska (*environmental economics*), która pojawiła się na amerykańskich uniwersytetach już w latach 60. XX wieku, ale jako standardowa dyscyplina wykładana zaczęła być dopiero we wczesnych latach 80.

Aby zrozumieć przyczyny różnic pojawiających się przy szacowaniu strat spowodowanych zanieczyszczeniem powietrza, wskazane jest przybliżenie metodyki ich wyliczania.

## 12.2.1. METODYKA OBLICZEŃ ZEWNĘTRZNYCH KOSZTÓW ZDROWOTNYCH

Zewnętrzne koszty zdrowotne są w dużej mierze synonimem ekonomicznych i społecznych skutków narażenia na zanieczyszczone powietrze, a ich szacowanie odbywa się w oparciu o pięciostopniowy algorytm:

- określenie wielkości emisji;
- modelowanie rozprzestrzeniania się substancji;
- ocena populacji narażonej na zanieczyszczone powietrze;
- obliczenie skutków ekspozycji;
- wycena zewnętrznych kosztów zdrowotnych.

### Źródła baz emisji zanieczyszczeń powietrza

Pierwszym etapem jest określenie wielkości emisji zanieczyszczeń do powietrza. W zależności od obszaru, jakim objęte są obliczenia, można korzystać z różnego rodzaju źródeł. W Polsce będą to np. bazy o zasięgu krajowym (GUS, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska), regionalnym (wojewódzkie inspektoraty ochrony środowiska, urzędy marszałkowskie, wojewódzkie zarządy dróg) lub lokalnym (urzędy miast, urzędy gmin, zarządy dróg). Jednym z najbardziej rozpowszechnionych systemów w krajach członkowskich Unii Europejskiej jest SNAP (*Selected Nomenclature for Air Pollution*), czyli klasyfikacja źródeł emisji zanieczyszczeń opublikowana w raporcie EMEP/EEA zawierająca 11 głównych kategorii oraz 400 podkategorii.

### Modelowanie dyspersji zanieczyszczeń powietrza

Uzyskane informacje o emisji wykorzystuje się w modelach matematycznych propagacji zanieczyszczeń powietrza (modele dyspersji), które są podstawowym narzędziem prognozowania i oceny jakości powietrza. Istnieje wiele kategorii modeli, a najprostszym ich podziałem jest skala odwzorowania przestrzennego, odpowiednio na obszarze: kanionu ulicy  $< 1 \text{ km}^2$ , lokalnym ( $1\text{--}10 \text{ km}^2$ ), średnim ( $10\text{--}100 \text{ km}^2$ ) czy dużym ( $100\text{--}1000 \text{ km}^2$ ). Istotnym elementem są tzw. moduły chemiczne, które pozwalają uwzględnić przemiany fizykochemiczne w atmosferze, co jest szczególnie ważne w przypadku modelowania powstawania i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń pyłowych. Wyniki obliczeń podawane są zwykle w siatce o obszarze np.  $4 \times 4 \text{ km}$ , co oznacza, że obszar  $16 \text{ km}^2$  jest traktowany jako teren homogeniczny.

### Ocena narażenia populacji

Znając stężenia zanieczyszczeń atmosferycznych, należy określić ilościowo i jakościowo populację oraz stan zdrowia osób narażonych. Na poziomie globalnym na ogół dane są uśredniane do poziomu kraju, a wskaźniki zdrowotne liczone populacyjnie, np. liczba zgonów na 100 tys. mieszkańców. Istnieją również wskaźniki jakości stanu zdrowia, np. liczba osób z przewlekłym zapaleniem oskrzeli na 100 tys. osób, pochodzące z wyników badań epidemiologicznych i ich metaanaliz. W Polsce można

korzystać przykładowo z baz GUS, ZUS, NFZ, a jeśli chodzi o konkretne choroby – z danych gromadzonych przez organizacje naukowe (np. w przypadku chorób układu oddechowego – z oszacowań Polskiego Towarzystwa Chorób Płuc).

## Ocena skutków ekspozycji

Posiadając dane o strukturze populacji i jakości powietrza atmosferycznego, wykorzystuje się w kolejnym etapie tzw. funkcje stężenie-odpowiedź (*concentration-response functions* – CRF). Pozwalają one na określenie wzrostu ryzyka pojawienia się danego skutku zdrowotnego (np. zachorowania, wystąpienia zaostrzenia istniejącej choroby lub też zgonu) przy przyroście stężenia danej substancji w powietrzu atmosferycznym o określoną wartość. Powszechnie wykorzystywane w skali światowej do określenia liczby przedwczesnych zgonów z powodu ekspozycji na zanieczyszczenia powietrza są dwa główne opracowania będące wynikiem metaanaliz z badań zespołu Gerarda Hoeka z Uniwersytetu w Utrechcie oraz zespołu Richarda Burnetta z Institute for Health Metrics and Evaluation, realizującego analizy *Global Burden of Disease*. W obydwu badaniach na podstawie danych o zanieczyszczeniach powietrza i danych zdrowotnych (zgony z przyczyn naturalnych) wyznaczono krzywe funkcji stężenie-odpowiedź. Krzywa CRF wykreślona w oparciu o pierwsze ze wspomnianych badań (Hoeka) jest liniowa i nie posiada progę, poniżej którego należałoby uznać, że zanieczyszczenie nie wpływa na wzrost liczby zgonów. EEA wykorzystują ją do obliczeń, twierdząc, że skoro nie znaleziono stężenia pyłu zawieszonego, które nie generowałoby negatywnych skutków dla zdrowia, to każde stężenie (niezerowe) oddziałuje negatywnie na organizm człowieka.

Natomiast krzywa wyznaczona w oparciu o drugie badanie (Burnetta) jest nieliniowa i cechuje się występowaniem pewnej wartości progowej  $5,8-8,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dla średniorocznego stężenia pyłu  $\text{PM}_{2,5}$  przy rozkładzie jednorodnym. Według tej koncepcji uwzględnianej w pracach realizowanych pod auspicjami WHO uznano, że skoro na obszarach zurbanizowanych nie obserwuje się średniorocznych stężeń zanieczyszczeń pyłowych powietrza poniżej wyznaczonego progu, to nie ma podstaw do wnioskowania o negatywnym wpływie pyłów na zdrowie człowieka w stężeniach niższych niż wartość progowa.

## Monetyzacja skutków zdrowotnych

Koszty jednostkowe są przypisywane w oparciu o wiedzę w zakresie związków przyczynowo-skutkowych między narażeniem na zanieczyszczenia powietrza a następstwami zdrowotnymi i znajomością liczby przypadków różnych skutków zdrowotnych. W Polsce jedną z pierwszych publikacji stosujących narzędzia ekonomii środowiska była praca zbiorowa pod redakcją A. Ginsberta-Geberta pt. *Ekonomiczne i socjologiczne problemy ochrony środowiska* (1985), która zawierała metody wyceny skutków degradacji środowiska, w tym także szacunki strat zdrowotnych. We wspomnianej pracy A. Symonowicz szacował koszty zwiększonej absencji chorobowej spowodowanej zanieczyszczeniami powietrza na poziomie 30,5 mld ówczesnych złotych

i porównał je z podobnymi szacunkami A.S. Kostrowickiego (1983), który te straty ocenił w minimalnym wariancie na 20 mld, a w maksymalnym na 30 mld ówczesnych złotych. W badaniach obu autorów nie przedwczesnymi zgonami, ponieważ nie było w Polsce dostępu do danych, w oparciu o które takie oszacowania można byłoby przeprowadzić. Są to więc pierwsze przykłady podejmowania tego złożonego tematu przez polską naukę przy wykorzystaniu dorobku zachodniej ekonomii środowiska. W ten sposób rozpoczęto wprowadzanie bardziej precyzyjnych metod wyceny – nie tylko skutków zanieczyszczeń, lecz także szacowania wartości zasobów naturalnych i kształtowania efektywnych instrumentów polityki ekologicznej.

Największe koszty generowane są jednak przez przedwczesne zgony. Istnieją dwie główne metody szacowania ich kosztów zewnętrznych: metoda kosztów utraconych na skutek przedwczesnego zgonu oraz metoda tzw. gotowości do poniesienia zapłaty (*willingness to pay* – WTP). Pierwsza z nich określa utracony dochód narodowy w związku z przedwczesnym zgonem osób w wieku produkcyjnym. Jej zaletą jest możliwość bezpośredniego porównania utraconego dochodu narodowego do wydatków na ochronę zdrowia w budżecie całego państwa. Wadą natomiast jest brak uwzględnienia kosztów leczenia, obciążenia systemu ubezpieczeń społecznych, wpływu na dochody rodziny itd. Najczęściej stosowana jest jednak standardowa metoda oszacowania wartości statystycznego życia (*value of statistical life* – VSL). VSL jest wyrowadzana dla danego społeczeństwa z podsumowania indywidualnych ankiet o gotowości zapłaty (WTP) za zapewnienie krańcowej redukcji ryzyka przedwczesnego zgonu (WHO 2015, 16). W toku badania ankietowego dokonuje się weryfikacji potencjalnej gotowości respondentów do poniesienia opłaty w określonej wysokości, aby nie utracić dostępu do danego dobra – w tym przypadku własnego życia. Dla przykładu WHO informuje, że w badaniach przeprowadzonych w krajach OECD okazało się, iż średnia WTP wyniosła 30 USD za redukcję rocznego ryzyka zgonu spowodowanego zanieczyszczeniem powietrza z trzech przypadków na 100 000 do dwóch przypadków na 100 000. Oznacza to, że każda ankietowana osoba była gotowa zapłacić 30 USD za obniżenie tego ryzyka o jeden przypadek na 100 000 osób (czyli na 100 000 mieszkańców zapobieżono by śmierci jednej osoby). Jeśli przemnoży się tę indywidualną wartość WTP w wysokości 30 USD przez 100 000, to otrzyma się wartość VSL wynoszącą 3 miliony USD.

Zaletą metody VSL jest uwzględnienie życia jako wartości etycznej i wzięcie pod uwagę również osób niepracujących. Wadą natomiast jest częste zawyżanie zewnętrznych kosztów zdrowotnych – wynik badania jest deklaratywny i jako subiektywne odczucie respondentów nie musi znajdować odzwierciedlenia w rzeczywistości. Można przyjąć, że określanie zewnętrznych kosztów zdrowotnych zanieczyszczeń powietrza metodą WTP to górny próg oszacowania, a dolny to utracone dochody i korzyści.

Ekonomiści wykorzystują VSL także do zbadania efektywności inwestycji zapobiegających przedwczesnej śmierci przez porównanie korzyści z unikniętych przedwczes-

nych zgonów do planowanych nakładów. OECD rekomenduje stosowanie bazowej VSL wynoszącej 3 miliony USD z dwiema niezbędnymi korektami dla poszczególnych krajów, uwzględniającymi dostosowanie do osiągniętego poziomu PKB na mieszkańca według siły nabywczej (*purchasing power parity*) z 2005 roku i do wzrostu dochodu oraz poziomu inflacji po 2005 roku.

Dla Polski wskaźnik VSL w roku 2005 wyniósł 1,61 mln USD, natomiast w roku 2010 wzrósł do 2,10 mln USD. Według Banku Światowego wartość życia w Polsce wynosi obecnie 2,5 mln USD w myśl metodyki WTP.

Biorąc pod uwagę omawiane wcześniej liczby przedwczesnych zgonów przypisywanych pyłowym zanieczyszczeniom powietrza, można wyliczyć, że koszty zewnętrzne tych zgonów wyniosły w 2005 roku 47,121 mld USD, a w roku 2010 wzrosły do 51,870 mld USD. Z kolei łączne koszty zewnętrzne narażenia na zanieczyszczenia pyłowe (APMP) i straty gospodarstw domowych (HAP) wyniosły odpowiednio w 2005 roku 90,547 mld USD, a w 2010 roku wzrosły do 101,826 mld USD. Dane WHO/OECD (2015) wskazują, że straty te w 2010 roku wynosiły prawie 13% PKB, zapewniając Polsce odległe miejsce wśród 28 członków UE – wyprzedzaliśmy tylko Bułgarię, Rumunię i Węgry.

Wykorzystując założenie dotyczące strat finansowych ponoszonych przez społeczeństwo, które nie są uwzględniane w opłatach za emisję szkodliwych substancji (np. koszty zakupu leków, koszty czasowej czy trwałej niezdolności do pracy, koszty odszkodowań, rent itp.), powstały międzynarodowe opracowania określające zewnętrzne koszty zdrowotne zanieczyszczeń powietrza uwzględniające wszystkie źródła.

### 12.3. INTERNALIZACJA ZEWNĘTRZNYCH KOSZTÓW ZDROWOTNYCH

Arthur Pigou podjął próbę internalizacji kosztów, tj. włączenia ich do kosztów transakcji za pośrednictwem specjalnego podatku zwanego od 1920 roku jego imieniem (Pigou 1920). Od tego czasu podatek taki, nazywany często opłatą środowiskową (bardziej poprawne określenie), jest określany jako wycena (monetyzacja, na ogół minimalna) kosztów zewnętrznych związanych z określoną wielkością emisji.

Wybitnym przykładem zastosowania ekonomicznych mechanizmów ochrony środowiska było wprowadzenie przez Polskę na początku lat 90. XX wieku najwyższych – po krajach skandynawskich – opłat za emisję dwutlenku siarki ( $\text{SO}_2$ ) i dwutlenku azotu ( $\text{NO}_2$ ) – około 100 USD za tonę. Było to zgodne z zasadą „zanieczyszczający płaci” (*polluter pays principle*) i stworzyło silne bodźce do inwestowania w czyste technologie oraz eliminacji technologii wpływających negatywnie na jakość środowiska. Zarys tego systemu powstał w trakcie polsko-amerykańskich warsztatów poświęconych mechanizmom ekonomicznym w ochronie środowiska we wrześniu

1989 roku w Przesiece, z udziałem Leonida Hurwicza, przyszłego laureata Nagrody Nobla w dziedzinie ekonomii (w 2007 roku). System opłat za emisję zanieczyszczeń wraz z funduszami ekologicznymi udzielającymi tanich kredytów dla podmiotów inwestujących w czyste technologie działał dość sprawnie do 1999 roku, zbierając prawie 95% opłat za zanieczyszczanie powietrza, redukując równocześnie emisję pyłów o prawie 70%, dwutlenku siarki o ponad 60% i dwutlenku azotu o 35-40% (przemysłowa redukcja  $\text{NO}_2$  była większa niż 60%, ale dynamicznie wzrosła liczba pojazdów, które przyniosły nowe emisje). Te wysokie obniżki emisji zanieczyszczeń w ciągu pierwszej dekady są związane m.in. z faktem, że Polska z 27 obszarami ekologicznego zagrożenia, zamieszkałymi przez prawie 40% ludności, należała do najszybciej rozwijających się w Europie Centralnej i Wschodniej. Niestety reforma terytorialna wprowadzona w 1999 roku doprowadziła do decentralizacji przygotowania (co do zasady słusznej) ochroną środowiska, co bez odpowiedniego przygotowania instytucjonalnego i kadrowego spowodowało poważną erozję jego skuteczności i efektywności, a w szczególności egzekwowania zasady „zanieczyszczający płaci”. Stąd m.in. biorą się obecne problemy znacznej emisji zanieczyszczeń do powietrza i jej zewnętrznych kosztów zdrowotnych.

Emisja z pojazdów wyposażonych w silniki wysokoprężne (tzw. silniki Diesla) jest związana z przedostawaniem się do powietrza bardziej szkodliwych dla zdrowia substancji w stosunku do emisji z samochodów wyposażonych w silniki z zapłonem iskrowym (benzynowe). Zespół Georginy Santos z Cardiff University w Wielkiej Brytanii przeanalizował 22 kraje europejskie, sprawdzając, czy koszty zewnętrzne są uwzględnione w cenach paliwa. Rezultaty wskazują, że ceny oleju napędowego są zbyt niskie, aby zrekompensować ich wpływ na zdrowie. Wnioskiem z tej pracy badawczej jest sugestia podniesienia cen oleju napędowego oraz pozostawienie cen benzyny na dotychczasowym poziomie.

Emisja z pojazdów jest ściśle powiązana z prędkością ich poruszania się i rośnie w czasie godzin szczytu komunikacyjnego. W tym celu stosuje się w wielu miastach różnego rodzaju, tzw. **congestion pricing** (opłaty szczytowe) za wjazd do miasta w określonych godzinach (m.in. w Londynie, Seattle, Sztokholmie). Naukowcy z Hiszpanii przygotowali analizę adaptacyjnej opłaty wjazdu do centrum Madrytu, gdzie cena za wjazd zawierała składnik zewnętrznych kosztów zdrowotnych.

Podobnie elastyczną taryfę proponują Francuzi, przy czym koncentrują się na statusie ekonomicznym społeczeństwa. Wskazują, że podatki środowiskowe nie powinny być liniowe, co mogłoby pomóc najuboższym w zakupie niskoemisyjnych technologii.



## 12.4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione wyżej społeczne i ekonomiczne następstwa narażenia na zanieczyszczenia powietrza (oparte w większości na wskaźnikach APPM i HAP) wskazują na poważne zagrożenie dla przyszłości kraju obciążonego rekordowymi w Unii Europejskiej kosztami zewnętrznymi zanieczyszczeń powietrza. Sytuacja wymaga więc podjęcia poważnej dyskusji, w której środowisko lekarskie powinno brać aktywny udział, z jednej strony identyfikując przyczyny takiego stanu, z drugiej zaś współtworząc właściwe strategie przeciwdziałania. Elementy owej strategii można zawrzeć w następujących punktach:

- Nie należy tworzyć barier dla licznych inicjatyw społecznych podejmowanych zarówno przez administrację samorządową, jak i organizacje pozarządowe, działające na rzecz poprawy jakości powietrza.
- Trzeba stworzyć silne zachęty (mechanizmy ekonomiczne) do oszczędzania energii, mając na uwadze, że każda jej zaoszczędzona jednostka prawie w 80% obniża emisję zanieczyszczeń pochodzących z węgla.
- Korzystając z narzędzi ekonomicznych i bazując na wynikach oszacowań wpływu zanieczyszczeń powietrza na zdrowie, należy również odpowiednio kształtować politykę cenową, która skutecznie promowałaby niskoemisyjny transport i źródła produkcji energii. W stosunku do wysokoemisyjnych paliw istnieją możliwości stworzenia podobnego mechanizmu, jaki stosowany jest obecnie w przypadku choćby alkoholu czy wyrobów tytoniowych.
- Niezbędne jest instytucjonalne wzmocnienie zarządzania ochroną środowiska i polityki ekologicznej, opartych na faktach, bezstronnych badaniach i szerokiej partycypacji społecznej dla ich wdrażania i monitoringu wykonania.
- Na szczeblu krajowym należy odblokować ograniczenia dla rozwoju odnawialnych źródeł energii, dając szanse nie tylko dużym inwestorom, lecz także gospodarstwom domowym poprzez rozwijanie energetyki prosumenckiej. Jednocześnie niezbędne jest wdrożenie bardziej skutecznych narzędzi eliminujących możliwość sprzedaży węgla niskiej jakości (np. mułu węglowego czy miału) indywidualnym odbiorcom.
- Trzeba podjąć skuteczne działania zarówno na poziomie strategicznym, jak i operacyjnym, w obszarze gospodarki odpadami, aby wyeliminować ryzyko powstawania nielegalnych miejsc składowania odpadów, sprzyjających nie tylko pogarszaniu jakości powietrza (także wskutek pożarów), ale generalnie warunków aerosanitarnych i jakości środowiska wodno-glebowego.
- Mając na uwadze kluczowy wpływ sektora komunalno-bytowego na emisję zanieczyszczeń pyłowych i związaną z nimi emisję innych zanieczyszczeń (w szczególności WWA), niezbędne jest:
  - przeprowadzenie intensywnych kampanii edukacyjnych wyjaśniających przyczyny i skutki powszechnego wykorzystania paliw stałych do zaspokajania potrzeb grzewczych polskich gospodarstw domowych, ale przede wszystkim wprowadzenie powszechnej edukacji w tym zakresie na wszystkich szczeblach kształcenia (począwszy od przedszkoli, a skończywszy na studiach wyższych);

- wpisanie edukacji ekologicznej, w tym w szczególności zagadnień dotyczących problematyki jakości powietrza, w programy nauczania na studiach medycznych;
- wprowadzenie skutecznego systemu audytowania energetycznego budynków jednorodzinnych i w oparciu o wyniki audytu wspomaganie działań termozolacyjnych obniżających zapotrzebowanie na energię, a następnie wymiany źródeł ciepła na urządzenia wysokosprawne i niskoemisyjne. Administracja centralna i samorządowa powinna wspierać ideę kompleksowej, głębokiej termomodernizacji nie tylko budynków jednorodzinnych, ale również budynków użyteczności publicznej, w tym zwłaszcza placówek edukacyjnych i ochrony zdrowia.
- W obszarze transportu drogowego niezbędne jest zwiększenie skuteczności przestrzegania norm (zwłaszcza norm emisji zanieczyszczeń), co wymaga wdrożenia bardziej efektywnej diagnostyki pojazdów podczas np. corocznych obowiązkowych przeglądów. W ślad za tym powinny być rozwijane mechanizmy zachęcające do nabywania pojazdów niskoemisyjnych.
- Samorządy miejskie powinny mieć prawo do wyznaczania stref wolnych od ruchu pojazdów niespełniających określonych norm emisji zanieczyszczeń czy tworzenia systemów odpowiednich opłat za wjazd do stref ograniczonej emisji (częściowo umożliwia to omówiona w dalszej części ustawa o elektromobilności).
- Polska powinna przygotować się również do zakazu importu samochodów z silnikami wysokoprężnymi wycofywanymi z eksploatacji w innych krajach UE (zwłaszcza w Niemczech, które z początkiem 2018 roku umożliwiły ograniczanie ruchu tego typu pojazdów w sieciach drogowo-ulicznych miast).

## Piśmiennictwo

1. Adamkiewicz Ł., Badyda A., Gayer A. i wsp.: *Disability adjusted life-years in the assessment of health effects of traffic-related air pollution*. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 2014, 834: 15–20.
2. Adamkiewicz Ł., Gayer A., Mucha D. i wsp.: *Relative risk of lung obstruction in relation to PM<sub>10</sub> concentration as assessed by pulmonary function tests*. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 2014, 849: 83–91.
3. AHA (American Heart Association): *Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association*, *Circulation* 2010, 121(21): 2331–2378.
4. Archibald S., Bochniarz Z.: *Assessing environmental impacts on the transition in Central and Eastern European countries*. *Periphery: Journal of Polish Affairs* 2000/2001, 6/7: 86–92.
5. Bochniarz Z.: *Expert Testimony to the U.S. Congress*. W: *U.S. Environmental Initiatives in Eastern Europe: Hearing before Subcommittee on Transportation and Hazardous Materials of the Committee on Energy and Commerce, House of Representatives, 101<sup>st</sup> Congress, 2<sup>nd</sup> sess., April 23, 1990, Serial No. 101–140*. U.S.G.P.O., Washington 1990: 40–66.

6. Bochniarz Z.: *Health and environment in Central and Eastern Europe. W Health and Sustainable Agricultural Development: Perspectives on Growth and Constraints* (red. VW Ruttan) Westview Press, Boulder 1994: 91–100.
7. Bochniarz Z. (ed.): *In Our Hands: United Nations Earth Summit '92. Capacities and Deficiencies for Implementing Sustainable Development in Central and Eastern Europe – A United Nations Development Programme Regional Assessment Report*. UNDP, Geneva–Minneapolis 1992.
8. Burnett R.T. i wsp.: *An Integrated risk function for estimating the Global Burden of Disease attributable to ambient fine particulate matter exposure*. *Environmental Health Perspectives* 2014, 122(4): 397–403.
9. Chiroleu-Assouline M., Fodha M.: *From regressive pollution taxes to progressive environmental tax reforms*. *European Economic Review* 2014, 69: 126–142.
10. EC (European Commission): *ExternE Externalities of Energy*. Brussels 1995.
11. EC (European Commission): *Methodology for the Cost-Benefit Analysis for CAFE. Volume 1: Overview of Methodology*. Brussels 2005.
12. Economist, The: *The smog of Warsaw: Why 33 of the 50 most-polluted towns in Europe are in Poland*. January 18<sup>th</sup> 2018.
13. EEA (European Environment Agency): *Air quality in Europe – 2017 report*. Copenhagen 2017.
14. EMEP/EEA (European Monitoring and Evaluation Programme/European Environment Agency): *Air pollutant emission inventory guidebook 2016: Technical guidance to prepare national emission inventories*. EEA Report No. 21/2016: 13.
15. ESCAPE (Beelen R. i wsp.): *Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project*. *Lancet* 2014, March 1, 383(9919): 785–795.
16. Ginsbert-Gebert A. (red.): *Ekonomiczne i socjologiczne problemy ochrony środowiska*. Ossolineum, Wrocław 1985.
17. GIOŚ (Główny Inspektorat Ochrony Środowiska): *Przegląd istniejących baz emisji zanieczyszczeń do powietrza możliwych do wykorzystania na potrzeby wspierania rocznych ocen jakości powietrza metodami modelowania*, 2013.
18. Gumińska M., Delorme A. (red.): *Kłęska ekologiczna Krakowa. Przyczyny, teraźniejszość, perspektywy ekorozwoju miasta*. Polski Klub Ekologiczny, Kraków 1990.
19. Hoek G. i wsp.: *Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review*. *Environmental Health* 2013, May 28, 12(1): 43.
20. Holland M.: *Cost-benefit Analysis of Final Policy Scenarios for the EU Clean Air Package Version 2 Corresponding to IIASA TSAP*. Report 11, Version 1, 2014.
21. IARC (International Agency for Research on Cancer): *A Review of Human Carcinogens: Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 100C, Lyon 2012.
22. IPCC (International Panel on Climate Change): *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 2006, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>.
23. Kassenberg A., Rolewicz Cz.: *Przestrzenna diagnoza ochrony środowiska w Polsce. Obszary ekologicznego zagrożenia*. Studia KPZK PAN, t. LXXXIX. PWE, Warszawa 1985.

24. Kostrowicki A.S.: *Straty ekonomiczne wynikające z degradacji środowiska. W: Ekonomiczne problemy ochrony środowiska. Liga Ochrony Przyrody, Warszawa 1983.*
25. Leelóssy A. i wsp.: *Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere: a review. Central European Journal of Geosciences 2014, 6: 257–278.*
26. Marshall A.: *Elements of Economics of Industry.* Macmillan & Co., London 1892.
27. Muñoz M.J.P., de Blas C.S., Sipols A.E.G.: *A forecast air pollution model applied to a hypothetical urban road pricing scheme: An empirical study in Madrid.* *Transportation Research Part D* 2017, 55: 21–38.
28. Murray Ch.J.L., Lopez A.D.: *The Global Burden of Disease: A Comprehensive Assessment of Mortality and Disability from Diseases, Injuries, and Risk Factors in 1990 and Projected to 2020.* Harvard University Press, Geneva 1996.
29. Pigou C.A.: *The Economics of Welfare.* Macmillan and Co., London 1920.
30. Santos G.: *Road fuel taxes in Europe: Do they internalize road transport externalities?* *Transport Policy* 2017, 53: 120–134.
31. Schlanger Z.: *There's an iron curtain dividing Europe into safe and dangerous places to breathe.* QUARTZ, January 30, 2018.
32. Simms A.: *65 years on from the Great Smog nothing has changed. We're still choking.* *The Guardian*, December 5, 2017.
33. WHO (World Health Organization): *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease.* Copenhagen 2016.
34. WHOa (World Health Organization Europe): *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project.* Copenhagen 2013.
35. WHOb (World Health Organization Europe): *Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide.* Copenhagen 2013.
36. WHO i OECD (World Health Organization Regional Office for Europe, Organization for Economic Co-operation and Development): *Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth.* Copenhagen 2015.
37. World Bank i IHME (Institute for Health Metrics and Evaluation): *The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action.* Washington, DC 2016.

# Możliwości ograniczenia emisji

*Artur Badyda, Jakub Jędrak*

## 13.1. WPROWADZENIE

Podstawowym, najważniejszym i na dobrą sprawę jedynym skutecznym sposobem na obniżenie stężeń szkodliwych substancji w powietrzu jest doprowadzenie do zdecydowanego obniżenia emisji substancji zanieczyszczających do powietrza atmosferycznego. Choć stwierdzenie takie może się wydawać oczywistością, wciąż warto o tym przypominać. Wiele osób wierzy bowiem, że poprawę jakości powietrza zapewnią „antysmogowe” wieże lub instalowane na budynkach ściany z mchu. Skuteczność tego typu rozwiązań jest, oględnie mówiąc, dyskusyjna, stosunek zaś kosztu inwestycji do uzyskanego efektu – redukcji poziomów zanieczyszczeń – wybitnie niekorzystny. Można je w najlepszym razie traktować jako projekty artystyczne, uwrażliwiające mieszkańców na problem złej jakości powietrza. Często słyszy się też o bardzo istotnej roli zieleni miejskiej w usuwaniu zanieczyszczeń z powietrza. Jednak dostępne badania wyraźnie pokazują, że w miastach wpływ roślinności, zwłaszcza drzew, na obniżenie stężeń zanieczyszczeń pyłowych jest bardzo skromny<sup>3</sup>. Nawet stosowanie urządzeń do oczyszczania powietrza wewnątrz-

<sup>3</sup> Autorzy nie negują niezwykle istotnego, pozytywnego wpływu zieleni miejskiej na zdrowie, czy też szerzej – na dobre samopoczucie mieszkańców miast. Szczególnie ważną rolę drzew w miastach jest lokalne obniżanie temperatury w czasie letnich upałów.

nego, których skuteczność jest zauważalna, czy noszenie masek przeciwpylowych w okresach szczególnie wysokich stężeń zanieczyszczeń powietrza w warunkach zewnętrznych to jedynie półśrodki, których zastosowanie można rozważać dopóty, dopóki nie zostanie rozwiązany kluczowy problem – likwidacja przyczyn niskiej jakości powietrza.

Obecnie w większości lokalizacji w Polsce za złą jakość powietrza odpowiada przede wszystkim ogrzewanie gospodarstw domowych za pomocą paliw stałych oraz transport (głównie drogowy), nie zaś działalność przemysłu czy energetyki zawodowej<sup>4</sup>, jak nadal dość powszechnie się uważa. Należy tu jednak zwrócić uwagę na dane Centrum Badania Opinii Społecznej z kwietnia 2018 roku, z których wynika, że postrzeganie tego problemu w polskim społeczeństwie ulega zmianie – 56% badanych respondentów wskazało na gospodarstwa domowe jako zasadnicze źródło zanieczyszczania powietrza, a kolejne 21% uważa za nie transport drogowy. Dlatego znaczna część odpowiedzialności za problem zanieczyszczenia powietrza spoczywa – w mniejszym lub większym stopniu – na każdym z nas, jest on bowiem zależny od naszych codziennych zachowań i aktywności, choć także możliwości (w tym finansowych) związanych z wyborem określonych środków transportu, czy też użytkowaniem urządzeń grzewczych i paliw do ich zasilania. Z powyższych względów niniejszą część pracy poświęcono omówieniu możliwości ograniczenia emisji zanieczyszczeń powietrza z tych właśnie dwóch sektorów gospodarki, których presja na środowisko i jakość powietrza w dużym stopniu zależy od działalności każdego z nas. Nie skupiano się więc na źródłach, takich jak energetyka czy przemysł, w przypadku których ograniczenie emisji zanieczyszczeń w znacznie większym stopniu zależy od działań podejmowanych na szczeblu administracji centralnej.

Z jednej strony rozwiązanie problemu wymaga wdrożenia zmian *stricte* technologicznych, jak np. wymiana urządzeń grzewczych na urządzenia o wyższej sprawności i mniejszej emisyjności, bądź pojazdów na spełniające bardziej restrykcyjne normy w zakresie emisji zanieczyszczeń do powietrza. Kluczową rolę w tym kontekście odgrywają również aspekty prawne i ekonomiczne – niezbędne jest właściwe kształtowanie prawa, w wyniku którego powstaną regulacje ograniczające możliwość korzystania z niskiej jakości urządzeń grzewczych i paliw sprzyjających znacznej emisji zanieczyszczeń, czy pojazdów w złym stanie technicznym, z których korzystanie także sprzyja spadkowi jakości powietrza. Nieodzowne jest ponadto stworzenie mechanizmów finansowych zarówno na poziomie administracji rządowej, gdzie powinny służyć choćby rozwojowi niskoemisyjnych źródeł energii (w tym źródeł odnawialnych) lub bardziej przyjaznego dla środowiska transportu (w szczególności kolejowego), jak i na poziomie bardziej lokalnym, gdzie niezbędne jest tworzenie instrumentów wsparcia dla uboższej części społeczeństwa, która w obecnych warunkach nie jest w stanie samodzielnie sfinansować np. wykonania termomodernizacji budynku, wymiany urządzeń grzewczych na niskoemisyjne, czy ponieść

<sup>4</sup> Są jednak miejsca, gdzie emisja związana z produkcją przemysłową w bardzo istotnym, a czasem wręcz dominującym stopniu wpływa na jakość powietrza.

zwiększone koszty stosowania mniej emisyjnych paliw (np. gazu ziemnego bądź energii elektrycznej). Z drugiej strony konieczna jest też zmiana postaw, nawyków i wzorców zachowań. Niezwykle ważne jest więc edukowanie społeczeństwa w temacie zanieczyszczenia powietrza i jego konsekwencji. W procesie tym bardzo istotny jest udział przedstawicieli środowiska medycznego.

Jednak, podobnie jak w przypadku walki z uzależnieniami od palenia tytoniu, nie można ograniczać się jedynie do edukacji – potrzebne są także rozwiązania o charakterze zakazów i ograniczeń. Zarówno zmiany postaw, jak i zmiany techniczno-technologiczne są zazwyczaj poprzedzane, wspierane lub wręcz wymuszane odpowiednimi zmianami w prawie. Z tego względu omówione zostały pokrótce najważniejsze z istniejących regulacji prawnych w dziedzinie ochrony powietrza, ze zwróceniem szczególnej uwagi na niezbędne rozwiązania legislacyjne, których w chwili powstawania tej publikacji wciąż jeszcze brakowało<sup>5</sup>.

To nie wyczerpuje oczywiście tematu zmiany sytuacji w zakresie jakości powietrza w Polsce. Związane są z tym również zagadnienia z obszaru planowania i zagospodarowania przestrzennego, zarządzania systemami transportu publicznego (zarówno w miastach, okalających je obszarach aglomeracyjnych, jak też poza dużymi i mniejszymi ośrodkami miejskimi), kształtowania dokumentów strategicznych (polityk) z obszaru choćby energetyki (w tym rozwoju sieci elektroenergetycznych), transportu czy zagospodarowania odpadów. To aspekty, których szczegółowe omówienie w ramach niniejszej publikacji nie jest możliwe, ale dla porządku są one sygnalizowane, aby wskazać Czytelnikowi, że działania prowadzone na rzecz poprawy jakości powietrza muszą być realizowane wielotorowo, w różnych obszarach gospodarki narodowej i zgodnie z zasadami podejścia systemowego, a więc równoczesnych działań na szczeblu administracji centralnej, administracji samorządowych, jak i na poziomie poszczególnych lokalnych społeczności oraz indywidualnych obywateli.

## 13.2. EMISJA ZE ŹRÓDEŁ KOMUNALNO-BYTOWYCH<sup>6</sup>

Najważniejszym źródłem pierwotnej emisji pyłu zawieszonego i zawartych w nim szkodliwych substancji, takich jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), a także istotnym źródłem emisji tlenku węgla, tlenków siarki, niektórych metali ciężkich czy polichlorowanych dibenzofuranów i dibenzodioksyn są w Polsce domowe urządzenia grzewcze i małe lokalne kotłownie zasilane paliwami stałymi. Jest to sytuacja odmienna niż w większości innych państw europejskich, gdzie

<sup>5</sup> Autorzy odwołują się tu do stanu prawnego z marca 2018 roku.

<sup>6</sup> Przez źródła komunalno-bytowe należy rozumieć przede wszystkim indywidualne gospodarstwa domowe, niewielkie lokalne kotłownie czy drobne obiekty przemysłowo-usługowe (np. stolarnie, warsztaty samochodowe itp.).

emisja zanieczyszczeń związana ze stosowaniem paliw stałych w sektorze komunalno-bytowym (tzw. niska emisja powierzchniowa<sup>7</sup>) ma zazwyczaj znacznie mniejszy wpływ na kształtowanie jakości powietrza atmosferycznego.

Przyczyn dominującej roli emisji ze źródeł komunalno-bytowych w kształtowaniu jakości powietrza jest w Polsce kilka. Po pierwsze, przeważający odsetek mieszkańców Polski ogrzewa swoje domy i mieszkania za pomocą paliw stałych: węgla i drewna<sup>8</sup>. Używany opał jest często bardzo niskiej jakości, a nierzadko w domowych paleniskach spalane są także odpady komunalne (w tym w szczególności różnorodne tworzywa sztuczne, stare meble, drewno lakierowane lub impregnowane, guma). W polskich gospodarstwach domowych zainstalowanych jest prawie 4 mln pieców i kotłów węglowych, z których istotna większość (około 40%) to przestarzałe urządzenia, charakteryzujące się niską sprawnością energetyczną i wysokim poziomem emisji zanieczyszczeń do powietrza. Jedynie około 17% domów jednorodzinnych w Polsce ogrzewanych jest (całkowicie lub częściowo) za pomocą innych źródeł ciepła, takich jak ogrzewanie gazowe, miejska sieć ciepłownicza, pompy ciepła, ogrzewanie elektryczne czy kolektory słoneczne.

Drugą bardzo ważną przyczyną znacznej emisji zanieczyszczeń z sektora komunalno-bytowego jest niski standard energetyczny większości polskich domów, zwłaszcza budynków jednorodzinnych. Brak właściwego ocieplenia budynku (40% budynków nie posiada żadnej izolacji termicznej, jedynie zaś w około 11% przypadków izolację tę można uznać za wystarczającą z punktu widzenia aktualnych standardów) czy starego typu stolarka okienna sprawiają, że ogrzanie budynku do stanu względnego komfortu cieplnego wymaga znacznych ilości energii, co związane jest z koniecznością zużycia zwiększonej ilości paliwa, a w przypadku korzystania z paliw stałych przekłada się na proporcjonalnie wyższe emisje zanieczyszczeń do powietrza.

### 13.2.1. STANDARDY EMISYJNE DLA NOWYCH URZĄDZEŃ GRZEWczyCH

O wielkości emisji szkodliwych substancji decyduje zarówno jakość paliwa, jak i rodzaj oraz jakość urządzenia grzewczego, które determinują warunki spalania (temperatura, ilość i rozkład tlenu w palenisku). Spalanie tego samego węgla w różnych urządzeniach grzewczych może skutkować bardzo zróżnicowanymi emisjami zanieczyszczeń. Większość obecnie używanych kotłów, pieców czy kominków to prymitywne urządzenia grzewcze, emitujące znaczne ilości pyłu (nawet ponad

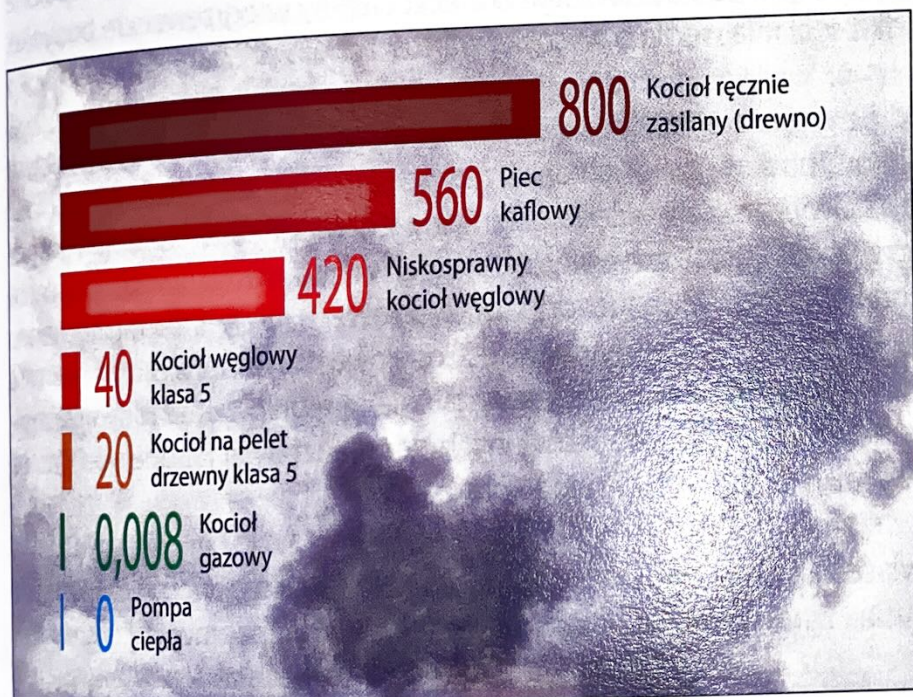
<sup>7</sup> Termin „niska emisja” jest związany z relatywnie niewielką wysokością emitorów (do 40 metrów), jakimi są kominy indywidualnych gospodarstw domowych; nie określa niewielkich ilości emitowanych zanieczyszczeń.

<sup>8</sup> W Polsce używanie w celach grzewczych drewna (ogólniej: biomasy), często spalanego w tych samych urządzeniach co węgiel lub łącznie z węglem, jest bardzo rozpowszechnione. Należy podkreślić, że spalanie biomasy może generować podobne ilości szkodliwych dla zdrowia zanieczyszczeń pyłowych, co spalanie węgla. W tym sensie drewno nie jest paliwem „czystym” ani „ekologicznym”. Oczywiście w konkretnym przypadku emisja zależy m.in. od jakości zarówno danego rodzaju opału, jak i urządzenia grzewczego.



1000 mg/m<sup>3</sup> spalin), jak również bardzo duże ilości związków z grupy WWA. Do niedawna, ze względu na brak regulacji w zakresie wymagań emisyjnych dla nowych urządzeń, każdego roku do polskich domów sprzedawano około 150 tys. kotłów niepełniających żadnych standardów w zakresie granicznych wartości emisji (takie pozaklasowe kotły powszechnie nazywane są „kopciuchami”), co miało dewastujący wpływ na jakość powietrza. Tu należy mieć na uwadze, że wraz z wprowadzeniem restrykcji w zakresie dostępności na rynku tego typu urządzeń nie kończy się problem zanieczyszczenia powietrza – typowy kocioł na paliwa stałe jest użytkowany nawet przez dwie dekady, tak więc konsekwencje dotychczasowej sytuacji odczuwalne będą jeszcze przez wiele lat.

Dlatego kluczowe są zapisy zawarte w Rozporządzeniu Ministra Rozwoju i Finansów z dnia 1 sierpnia 2017 roku w sprawie wymagań dla kotłów na paliwo stałe (Dz.U. 2017.1690). Określa ono wymagania dla wprowadzanych do obrotu urządzeń grzewczych i użytkowania kotłów o cieplnej mocy znamionowej do 500 kW. Od 1 października 2017 roku działający na terenie Polski producenci powinni byli zaprzestać produkcji kotłów niespełniających wymogów rozporządzenia, przeznaczonych na rynek krajowy. Natomiast od 1 lipca 2018 roku sprzedaż takich urządzeń w Polsce jest zabroniona. Rozporządzenie to nie jest jednak pozbawione wad i wciąż zawiera pewne luki prawne, których wyeliminowanie powinno nastąpić w trybie pilnym<sup>9</sup>.



Rycina 14.1. Wymogi w zakresie granicznych wartości (maksymalnych dopuszczalnych) emisji pyłów z domowych urządzeń grzewczych (w mg/m<sup>3</sup>).

Źródło: Polska Izba Ekologii.

<sup>9</sup> Przykładowo wciąż możliwa jest sprzedaż prymitywnych urządzeń grzewczych jako podgrzewaczy wody, a nie jako kotłów centralnego ogrzewania. Rozporządzenie nie dotyczy również urządzeń produkowanych za granicą.

Na mocy wspomnianego rozporządzenia wprowadzone zostały wymogi w zakresie granicznych wartości emisji, które – jeśli chodzi o pył – nie mogą przekraczać  $40 \text{ mg/m}^3$  spalin w przypadku automatycznego podawania opału oraz  $60 \text{ mg/m}^3$  spalin w przypadku załadunku ręcznego (zob. ryc. 14.1). Warto dodać, że nowoczesne kotły z automatycznym podajnikiem paliwa eliminują lub przynajmniej istotnie utrudniają możliwość spalania odpadów komunalnych, co – jak już wcześniej wspomniano – jest poważnym problemem wielu polskich miejscowości.

### 13.2.2. WYMAGANIA JAKOŚCIOWE DLA WĘGLA

Domowe urządzenia grzewcze nie są wyposażone w instalacje do oczyszczania spalin. Brak jest więc w nich możliwości odsiarczania czy odpylania spalin. Dlatego też, mając na uwadze, że jakość węgla spalanego w domowych paleniskach ma bezpośrednio przełożenie na wielkość emisji zanieczyszczeń do atmosfery, niezbędne jest zadbanie o odpowiednie parametry jakościowe paliw stosowanych w kotłach domowych. Przykładowo wielkość emisji ditlenku siarki jest wprost proporcjonalna do zawartości siarki w węglu. Podobnie emisja pyłu podczas spalania znacząco rośnie wraz ze wzrostem zawartości popiołu w węglu – wzrost zawartości popiołu o 1% powoduje zwiększenie emisji pyłu o 9–20%. Emisja zanieczyszczeń liczona na jednostkę wytwarzanej przez urządzenie energii (ciepła) wzrasta też wraz ze spadkiem wartości opałowej węgla – paliwo o niskiej kaloryczności musi być spalane w większej ilości, aby zapewnić taki sam komfort cieplny w ogrzewanym budynku, jak w przypadku spalania węgla o wysokiej wartości opałowej.

Z tego powodu w przypadku węgla sprzedawanego odbiorcom indywidualnym zawartość wilgoci, popiołu, siarki, chloru i rtęci powinna być jak najniższa, a wartość opałowa – jak najwyższa. Ze względu na zmiany legislacyjne<sup>10</sup> w Polsce do gospodarstw domowych od lat sprzedawany jest węgiel wszystkich możliwych sortymentów, w tym także poprodukcyjne odpady węglowe – muły i flotokoncentraty, a nawet węgiel brunatny. Obecnie ani wartość opałowa, ani dopuszczalna zawartość siarki, popiołu, wilgoci, chloru czy rtęci w węglu nie są regulowane żadnymi przepisami<sup>11</sup>, co jest sytuacją niespotykaną w innych państwach Unii Europejskiej i na co kilkakrotnie wskazywała Najwyższa Izba Kontroli.

Wdrożenie właściwych norm jakościowych dla paliw stałych, tworzonych z myślą o ochronie życia i zdrowia człowieka, jest niezbędne w celu poprawy jakości powie-

<sup>10</sup> Przed 2003 rokiem obowiązywały w Polsce normy, według których w indywidualnych paleniskach z rusztem stałym użytkowanych w gospodarce komunalnej mogły być używane jedynie sortymenty grube węgla (kostka i orzech). Od 1 stycznia 2003 roku wprowadzono dobrowolność stosowania tych norm, czyli *de facto* przestały one obowiązywać.

<sup>11</sup> W chwili powstawania tej publikacji do Sejmu trafił projekt ustawy o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw. Dołączone do ustawy Rozporządzenie Ministra Energii zawiera jednak bardzo liberalne wymagania jakościowe dla węgla, które nie eliminują z rynku detalicznego prawie żadnych rodzajów węgla, a zatem w opinii autorów nie będą miały praktycznie żadnego przełożenia na poprawę jakości powietrza.

trza w Polsce. Właściwie skonstruowane i zawierające odpowiednio restrykcyjne wymogi odnośnie do składu paliw stałych i innych kluczowych kryteriów normy byłyby jedyną regulacją prawną, która jest w stanie w zauważalnym stopniu i relatywnie krótkim czasie przyczynić się do zmiany struktury wykorzystywanych paliw stałych, a co za tym idzie – do poprawy jakości powietrza atmosferycznego.

Warto przy tej okazji zwrócić uwagę, że węgiel kamienny można poddawać różnym procesom technologicznym, np. usuwaniu części lotnych, w rezultacie których otrzymuje się tzw. paliwa bezdymne. W Wielkiej Brytanii i Irlandii dopuszczenie do użytkowania w gospodarstwach domowych wyłącznie<sup>12</sup> paliw bezdymnych (*smokeless fuel*) było kluczowym krokiem w poradzeniu sobie z problemem wyjątkowo złej jakości powietrza. Trzeba również podkreślić, że według rekomendacji Światowej Organizacji Zdrowia w gospodarstwach domowych za opał nie powinien służyć węgiel, który nie został poddany żadnej obróbce (w szczególności rozumie się przez to obróbkę w kierunku produkcji paliwa bezdymnego). W Polsce przeszkodą w szerszym wykorzystaniu paliwa bezdymnego jest na razie jego wysoka cena i brak odpowiednio dużych mocy produkcyjnych, choć za rozwojem technologii produkcji tego typu paliw z pewnością będzie podążać malejący jego koszt.

### 13.2.3. UCHWAŁY ANTYSMOGOWE

Wymiana obecnie użytkowanych urządzeń grzewczych na nowoczesne, niskoemisyjne paleniska, związana wyłącznie z procesem ich naturalnego zużycia, zajęłaby w najlepszym razie przynajmniej kilkanaście lat. Aby przyspieszyć ten proces, w kilku województwach<sup>13</sup> wprowadzono tzw. uchwały antysmogowe (umożliwiające sejmikom województw, w oparciu o art. 96 ustawy Prawo ochrony środowiska, wprowadzenie regulacji mających na celu zapobieżenie negatywnemu oddziaływaniu na zdrowie ludzi lub na środowisko i wprowadzenie ograniczeń lub zakazów w zakresie eksploatacji instalacji, w których następuje spalanie paliw). W większości przypadków (w czasie powstawania tej publikacji z wyjątkiem województwa opolskiego) regulują one standardy emisyjne, jakie muszą spełniać urządzenia grzewcze, a także jakość paliw stałych użytkowanych<sup>14</sup> w gospodarstwach domowych.

Uchwały przewidują okres przejściowy, z reguły na poziomie 5–10 lat, na wymianę urządzeń grzewczego (w zależności od obecnie posiadanego urządzenia). Uchwały antysmogowe w dalszym ciągu umożliwiają korzystanie z węgla i drewna, ale spalające je urządzenia muszą spełniać odpowiednie standardy emisyjne, podobne do standardów dla nowych urządzeń grzewczych, omówionych wcześniej

<sup>12</sup>Regulacje takie nie obowiązują na obszarze całego kraju.

<sup>13</sup>W chwili powstawania niniejszej publikacji były to województwa: dolnośląskie, łódzkie, małopolskie, mazowieckie, opolskie, śląskie i wielkopolskie.

<sup>14</sup>Uchwały antysmogowe nie określają, jakie paliwa mogą być dopuszczone do obrotu (co leży w kompetencjach Ministerstwa Energii), a jedynie jakie mogą być stosowane w gospodarstwach domowych.

(w przypadku pyłu wymaga się, aby emisja wynosiła maksymalnie  $40 \text{ mg/m}^3$  spalin dla kotłów z podajnikiem automatycznym).

Warto też pamiętać, że na terenach obowiązywania uchwał antysmogowych już teraz część osób, stojąc przed koniecznością wymiany urządzenia grzewczego, rezygnuje z ogrzewania swych mieszkań za pomocą paliw stałych, decydując się na znacznie czystsze ogrzewanie olejowe albo praktycznie czyste ogrzewanie za pomocą gazu ziemnego lub płynnego, energii elektrycznej bądź pompy ciepła. Wymiana wszystkich urządzeń grzewczych niespełniających norm emisyjnych na obszarze objętym uchwałą przyczyni się do przynajmniej kilkunastokrotnej redukcji emisji pyłu i zawartych w nim związków z grupy WWA. W konsekwencji podobnego obniżenia należy oczekiwać w zakresie stężeń tych substancji w powietrzu atmosferycznym. W miejscach, gdzie nie występuje intensywny ruch kołowy ani nie są zlokalizowane zakłady przemysłowe, skuteczne wprowadzanie w życie postanowień uchwał antysmogowych może w praktyce oznaczać rozwiązanie problemu zanieczyszczenia powietrza, o ile wyeliminowane lub znacząco ograniczone zostanie ryzyko napływu zanieczyszczeń z innych regionów. Stąd też bardzo istotne jest, aby podobne regulacje były sukcesywnie wdrażane na terenach województw, które dotąd nie zdecydowały się na wprowadzenie standardów dla urządzeń grzewczych i jakości paliw stałych.

Warto mieć na uwadze, że działania związane z modyfikacją regulacji prawnych i umożliwienie wdrażania uchwał antysmogowych liczą sobie już kilka lat. W 2013 roku w Krakowie podjęto pierwsze próby wprowadzenia ograniczeń w korzystaniu z paliw stałych. Jedynym dostępnym wówczas rozwiązaniem był całkowity zakaz stosowania paliw stałych. Z tego powodu (a także ze względu na wyniki przygotowanych ekspertyz wskazujących, że w przypadku Krakowa jedynie tak drastyczny krok ma szansę doprowadzić jakość powietrza do stanu zgodnego z wymogami prawa) Kraków jest do tej pory jedyną miejscowością w Polsce, gdzie od 1 września 2019 roku nie będzie możliwe korzystanie z węgla i drewna w celach grzewczych. W ciągu tego czasu (w roku 2015) nastąpiły zmiany w prawie krajowym (w art. 96 Ustawy z dnia 27 kwietnia 2011 roku – Prawo ochrony środowiska [Dz.U. 2001 nr 62 poz. 617 z późn. zm.]) umożliwiające sejmikom województw wprowadzanie rozwiązań mniej restrykcyjnych niż całkowity zakaz spalania węgla i drewna. W większości lokalizacji taki zakaz nie byłby bowiem możliwy do wprowadzenia z przyczyn technicznych, ekonomicznych i społecznych, a określenie norm emisyjnych dla urządzeń grzewczych wydaje się rozwiązaniem wystarczającym.

#### **13.2.4. SPALANIE ODPADÓW**

Spalanie odpadów komunalnych, zarówno w domowych paleniskach, jak i poza nimi, w instalacjach, które nie są do tego przeznaczone, jest w Polsce praktyką powszechną, i to mimo że od wielu lat w świetle obowiązującego prawa jest to wykroczenie, a według niektórych interpretacji może to być nawet przestępstwo. Zgodnie z zapisami art. 191 Ustawy z dnia 14 grudnia 2012 roku o odpadach (Dz.U.

2013 poz. 21 z późn. zm.) termiczne przekształcanie (np. spalanie) odpadów poza przewidzianymi do tego celu instalacjami (spalarnie lub współspalarnie odpadów) podlega karze aresztu albo grzywny.

Spalanie odpadów komunalnych w instalacjach, które technicznie nie są przystosowane do tego celu (zwłaszcza domowe kotły węglowe czy kominki) jest istotnym źródłem emisji do powietrza wielu substancji o znacznej szkodliwości dla zdrowia człowieka. W szczególności są to związki wykazujące działanie neurotoksyczne, kancerogenne, mutagenne lub teratogenne. Lista związków chemicznych (przede wszystkim związków organicznych) zidentyfikowanych wśród produktów spalania odpadów jest bardzo obszerna. Są wśród nich substancje, których szkodliwe działanie jest dość dobrze poznane (np. benzen, cyjanowodór, formaldehyd, chlorowodór, dioksyny bądź substancje z grupy WWA), a także związki, takie jak estry kwasu ftalowego czy bromowane etery difenylowe, których wpływ na zdrowie jest obecnie przedmiotem badań.

Z wyjątkiem benzenu, benzo(a)pirenu zawartego w pyle  $PM_{10}$  i całkowitej masy pyłu  $PM_{10}$  i  $PM_{2.5}$  żadna ze szczególnie szkodliwych substancji (jak choćby wymienione powyżej) powstających przy spalaniu odpadów nie jest w trybie ciągłym monitorowana przez stacje działające w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. W praktyce oznacza to w zasadzie brak możliwości szacowania narażenia populacji na takie substancje. Trudno jest więc także ocenić skutki zdrowotne, jakie mogą być wywołane ekspozycją populacji Polski na produkty spalania (czy szerzej: termicznego przekształcania) odpadów poza przeznaczonymi do tego celu instalacjami. Bazując jednak na wiedzy ogólnej (niepodpartej co prawda żadnymi szerokimi badaniami naukowymi) oraz relacjach funkcjonariuszy straży miejskich i gminnych, prowadzących od niedawna w niektórych miejscach Polski regularne kontrole w zakresie stosowania się do wspomnianego wcześniej przepisu ustawy o odpadach, wydaje się uzasadnione twierdzenie, że w przypadku znacznej części populacji Polski wpływ ten może być bardzo poważny. Powyższe względy wskazują, że absolutnie nie należy bagatelizować problemu spalania odpadów w gospodarstwach domowych, tym bardziej że wiele powstających w wyniku tego procesu związków chemicznych charakteryzuje się dużą trwałością, wysokimi potencjałami toksyczności i mutagenności, a problem nie ogranicza się jedynie do zanieczyszczania powietrza, lecz dotyczy również migracji tych substancji do gleb i żywności.

Rozpowszechnienie procederu spalania odpadów w instalacjach do tego nieprzeznaczonych jest związane m.in. z wciąż niewielką (choć rosnącą) świadomością na temat jego wysokiej szkodliwości, a także ciągle nieskuteczną (w wielu rejonach kraju) kontrolą i karaniem takich praktyk przez odpowiednie służby. Warto jednak w tym kontekście zwrócić uwagę na niedocenianą rolę prewencji, którą jest tu powszechna edukacja społeczeństwa, mogąca w widocznym stopniu przyczynić się do zmniejszenia skali tego zjawiska. Szczególnie istotną funkcję powinni tu pełnić przedstawiciele środowiska medycznego, mogący przez swój duży autorytet skutecznie wpływać na zmianę postaw społecznych. Nie należy też zapominać o waż-

nej w tym kontekście roli nauczycieli kształcących kolejne pokolenia oraz mediów propagujących wiedzę o skutkach, w tym zdrowotnych, jakie niesie za sobą spalanie odpadów w domowych paleniskach.

### **13.2.5. KWESTIE SOCJALNE I EKONOMICZNE, CENY NOŚNIKÓW ENERGII**

W ograniczaniu emisji zanieczyszczeń z sektora komunalno-bytowego bardzo ważne są także aspekty społeczne i ekonomiczne. Paliwa stałe w powszechnej świadomości uchodzą za najtańszy nośnik energii, choć już obecnie nie zawsze jest to zgodne ze stanem faktycznym (koszty ogrzewania za pomocą pompy ciepła, a nawet gazu ziemnego mogą być porównywalne, choć zmiana stosowanego paliwa wymaga poniesienia choćby kosztów nabycia nowego urządzenia i jego instalacji a niekiedy również ingerencji w elementy instalacji ciepłowniczej znajdującej się w budynku).

Potencjalnie bardzo skutecznym kierunkiem interwencji jest zatem tworzenie warunków dla obniżania kosztów czystych nośników energii dla odbiorców indywidualnych, m.in. przez rozwiązania fiskalne, faworyzujące tego typu nośnik, zwłaszcza w przypadku osób o niższym statusie ekonomicznym. W szczególności rozwiązania takie powinny dotyczyć gazu ziemnego i płynnego (LPG), lekkiego oleju opałowego, czystych paliw wytwarzanych na bazie biomasy (np. pellet drzewny) czy wreszcie bezdymnego paliwa węglowego. Podobnego typu działaniem są intensywnie dyskutowane ostatnio tzw. taryfy antysmogowe, czyli rozwiązania polegające na stworzeniu preferencyjnej taryfy dla gospodarstw, które do ogrzewania stosują lub będą stosować energię elektryczną.

Innym ważnym kierunkiem działań jest poprawa efektywności energetycznej budynków, co – jak już wcześniej wspomniano – bezpośrednio przekłada się na niższą emisję zanieczyszczeń, ale też na ograniczenie kosztów ogrzewania oraz zwiększenie jakości i komfortu życia mieszkańców. Termomodernizacja budynków jest szczególnie istotna w kontekście zmniejszania powszechności zjawiska tzw. ubóstwa energetycznego, czyli sytuacji, w której gospodarstwo domowe nie posiada odpowiednich zasobów finansowych, aby zapewnić komfort cieplny w ogrzewanych pomieszczeniach.

Nakłady finansowe niezbędne do wprowadzenia opisanych rozwiązań w skali kraju byłyby bardzo wysokie (rzędu dziesiątek, a nawet setek miliardów złotych). Osiągnięcie zamierzonego celu nie musi jednak oznaczać równie wysokich wydatków z budżetu państwa. Pomoc państwa (w zakresie wymiany urządzenia grzewczego) powinny otrzymywać osoby w złej sytuacji finansowej, nie zaś wszyscy obywatele. Osoby najuboższe (tu pozostaje kwestia zdefiniowania kryteriów ubóstwa) powinny mieć zapewnioną kompleksową pomoc finansową, doradczą i techniczną związaną z wymianą urządzenia i instalacji grzewczej oraz ewentualnymi dopłatami do nowego droższego nośnika energii, czy wreszcie z termomodernizacją. Pozostali obywatele powinni mieć możliwość korzystania z dotacji pokrywających część kosz-

tów inwestycyjnych, z ulg podatkowych czy też preferencyjnych kredytów pozwalających sfinansować zakup urządzenia grzewczego i termomodernizację domów.

Pojawiający się często przy tej okazji argument, że wprowadzenie koniecznych zmian nie jest możliwe, ponieważ wiąże się ze zbyt wysokimi wydatkami, wydaje się nieprzekonywający. Pokazuje to choćby przykład Czech i Słowacji, krajów o podobnym do Polski stopniu zamożności, które jednak znacznie efektywniej radzą sobie z problemem ograniczania emisji ze źródeł komunalno-bytowych.

### **13.3. EMISJA ZE ŹRÓDEŁ KOMUNIKACYJNYCH**

W Polsce, podobnie jak w wielu innych krajach, emisja zanieczyszczeń z transportu (tzw. emisja liniowa), w szczególności drogowego, ma także bardzo znaczny wpływ na kształtowanie jakości powietrza, zwłaszcza na obszarach miejskich i terenach zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie ruchliwych ciągów komunikacyjnych. Motoryzacja stanowi istotne źródło emisji pyłu zawieszonego, w tym jego bardzo drobnych, wyjątkowo groźnych dla zdrowia frakcji. Jest też głównym źródłem narażenia na ditlenek azotu. Zanieczyszczenia związane z transportem drogowym to nie tylko substancje emitowane z układów wydechowych pojazdów, lecz także zanieczyszczenia pyłowe związane ze ścieraniem opon, klocków i tarcz hamulcowych, nawierzchni jezdni oraz unoszeniem pyłu już zalegającego na powierzchni dróg (tzw. emisja wtórna). Ze względu na ten ostatni aspekt bardzo ważne jest jak najczęstsze czyszczenie ulic na mokro, w szczególności na terenach miejskich<sup>15</sup>.

Warto podkreślić, że zanieczyszczenia generowane przez transport to problem nie tylko dużych aglomeracji, lecz także wielu pozbawionych obwodnic mniejszych miejscowości, zwłaszcza w przypadku nasilonego ruchu tranzytowego. W dodatku poza większymi miastami zazwyczaj bardzo słabo rozwinięta jest komunikacja publiczna, co zmusza mieszkańców do korzystania z samochodów osobowych i przekłada się na pogarszanie jakości powietrza.

#### **13.3.1. POZIOM ZMOTORYZOWANIA I WIEK POJAZDÓW**

W ciągu ostatnich dwóch dekad zarówno w skali całej Unii Europejskiej, jak i w Polsce (gdzie na tle innych krajów Wspólnoty jest to szczególnie mocno widoczne) nastąpił niezwykle dynamiczny wzrost liczby pojazdów. W okresie ostatnich 10 lat rokrocznie sprowadzanych jest do Polski ponad milion pojazdów, głównie z innych krajów UE, łączna zaś liczba nowo rejestrowanych pojazdów przekracza wyraźnie poziom 1,5 mln (w 2016 roku było to 1,7 mln pojazdów). W tej sytuacji, przy jednoczesnym znacznie wolniejszym wzroście długości sieci drogowej, natężenie ruchu pojazdów ulega znacznemu zwiększeniu, wpływając na narastające problemy ze

<sup>15</sup>Oczywiście rozwiązanie to nie może być stosowane przy ujemnych temperaturach powietrza.

sprawnym obsłużeniem generowanego ruchu. We wszystkich krajach UE zarejestrowanych jest według danych z 2016 roku około 300 mln pojazdów, z czego samochody osobowe stanowią prawie 260 mln (niemal 86% ogólnej liczby pojazdów, bez uwzględniania motocykli). Przekłada się to na wskaźnik zmotoryzowania na poziomie 588 samochodów na 1000 mieszkańców (505 w przypadku samochodów osobowych). W Polsce (według danych za 2016 rok) zarejestrowanych było ponad 28,5 mln pojazdów, w tym przeszło 21,5 mln samochodów osobowych (ponad 75%). Wskaźnik zmotoryzowania w Polsce przekracza zatem wyraźnie średnią wartość dla UE, wynosząc w przeliczeniu na 1000 mieszkańców 744 w przypadku ogólnej ich liczby oraz 564 w przypadku samochodów osobowych. Plasuje to nasz kraj na ósmej pozycji wśród państw UE z najwyższym wskaźnikiem zmotoryzowania, a w przypadku państw, które zostały członkami Wspólnoty Europejskiej w roku 2004 i latach kolejnych, jest to trzeci najwyższy wskaźnik po Malcie i Cyprze (gdzie łącznie jest zarejestrowanych poniżej 1 mln pojazdów). W konsekwencji w wielu polskich miastach na 1000 mieszkańców czy kilometr kwadratowy powierzchni miasta przypada więcej samochodów niż w aglomeracjach zachodnioeuropejskich.

Konsekwencją zbyt dużej liczby pojazdów na ulicach polskich miast jest wspomniane już zmniejszenie płynności ruchu oraz powszechne występowanie zatorów komunikacyjnych (popularnie zwanych korkami). Z kolei mniej płynny ruch skutkuje rosnącą ilością emitowanych przez silniki spalinowe zanieczyszczeń w odniesieniu do każdego przejechanego przez samochód kilometra.

Kolejnym ważnym aspektem związanym z wpływem transportu drogowego na jakość powietrza jest relatywnie wysoki wiek pojazdów w Polsce, co automatycznie przekłada się na spełnianie mniej restrykcyjnych norm w zakresie emisji zanieczyszczeń aniżeli w przypadku młodszych samochodów. Według danych European Automobile Manufacturers Association średni wiek pojazdów w Polsce (według danych za 2015 rok) to aż 17,2 lat, przy średniej unijnej na poziomie 10,7 lat. Warto zwrócić uwagę, że jest to najwyższa wartość wśród wszystkich 28 krajów UE i po polskich drogach jeździ obecnie ponad 17 mln samochodów mających więcej niż 10 lat. Zazwyczaj z wyższym wiekiem pojazdu związana jest również większa emisja szkodliwych substancji (choć bynajmniej nie jest to ścisła reguła). Co istotne, silnik z zapłonem samoczynnym (silnik Diesla) emituje przeważnie znacznie więcej zarówno tlenków azotu, jak i cząstek stałych niż podobnej mocy silnik benzynowy lub napędzany gazem płynnym. Dlatego też szkodliwość spalin emitowanych przez silniki Diesla jest zwykle wyższa niż spalin emitowanych przez pojazdy zasilane silnikami z zapłonem iskrowym.

Skutkiem wymienionych uwarunkowań polskiego rynku motoryzacyjnego jest znaczący wpływ ruchu drogowego i związanych z nim emisji zanieczyszczeń na jakość powietrza atmosferycznego, a przez to także na stan zdrowia populacji.



### 13.3.2. JAKOŚĆ I STAN TECHNICZNY POJAZDÓW

Nawet zakładając, że wskutek podjętych dotąd i planowanych na najbliższe lata działań w obszarze ograniczania emisji ze źródeł komunalno-bytowych nastąpi radykalny jej spadek, nie należy liczyć na zdecydowaną poprawę jakości powietrza, zwłaszcza w dużych miastach, jeśli w znaczącym stopniu nie ograniczy się udziału wysokoemisyjnych pojazdów poruszających się po polskich drogach.

Dlatego też jednym z niezbędnych i pilnych kroków jest ograniczenie napływu na polski rynek motoryzacyjny pojazdów charakteryzujących się wysoką emisją zanieczyszczeń, a w szczególności wiekowych samochodów napędzanych silnikami Diesla. Można to osiągnąć choćby przez zróżnicowanie stawki podatku akcyzowego od sprowadzanego pojazdu w zależności od norm dopuszczalnych emisji zanieczyszczeń (norm Euro), jakie ten pojazd spełnia. Niestety, tego typu rozwiązania fiskalne, mające na celu zniechęcenie do zakupu aut cechujących się wysoką emisją zanieczyszczeń, nie zostały na razie wprowadzone<sup>16</sup>.

W tym kontekście do innych bardzo istotnych problemów należy zaliczyć powszechne unikanie konieczności wymiany zużytych reaktorów katalitycznych (tzw. katalizatorów) w starszych pojazdach, jak również nielegalny i jednocześnie bardzo szkodliwy proceder usuwania filtrów cząstek stałych (*diesel particulate filter* – DPF) nawet z nowych samochodów z silnikami wysokoprężnymi. W efekcie pojazd, który teoretycznie spełnia relatywnie restrykcyjną normę, w rzeczywistości jest źródłem emisji znacznych ilości szkodliwych dla zdrowia substancji. Sytuacje tego typu wymagają więc zwiększenia skuteczności kontroli pojazdów pod kątem emisji zanieczyszczeń, i to zarówno jeśli chodzi o kontrole drogowe prowadzone przez policję, jak i kontrole na stacjach diagnostycznych. Warto podkreślić, że obecnie standardowa kontrola emisji z silników wysokoprężnych, prowadzona za pomocą dymomierza, nie musi wykryć braku filtra cząstek stałych w pojeździe, który w takie urządzenie powinien być wyposażony.

Bardzo ważne są też działania mające na celu zmniejszenie emisji zanieczyszczeń z obecnie użytkowanych silników spalinowych, zwłaszcza silników o dużych pojemnościach, używanych m.in. w samochodach ciężarowych, maszynach budowlanych, a także w lokomotywach i silnikach stacjonarnych (np. generatorach energii elektrycznej). To w przeważającej większości silniki wysokoprężne, które będą użytkowane jeszcze wiele lat. Ograniczenie emisji szkodliwych substancji można tu osiągnąć na kilka sposobów, jak np.: przez doposażenie w filtr cząstek stałych pojazdu, który oryginalnie takiego filtra nie posiadał (*retrofitting*), remont silnika lub nawet wymianę silnika na nowy. Zwykle jednak najbardziej efektywnym sposobem z punktu widzenia osiągnięcia celu, jakim jest ograniczenie emisji, pozostaje wymiana całego pojazdu na nowy, w tym wymiana na pojazdy z mniej emisyjnymi napędami (np. zmiana

<sup>16</sup> Wyjątkiem jest zwolnienie z akcyzy samochodów elektrycznych.

paliwa z oleju napędowego na sprężony gaz ziemny [CNG] lub na pojazdy zasilane silnikami elektrycznymi), co w ostatnich latach jest często praktykowane przy okazji np. wymiany taborów autobusowych czy pojazdów wykorzystywanych przez służby miejskie.

Poza wycofywaniem z użytkowania samochodów o największej emisyjności, niezbędne są również dążenia do zmniejszenia całkowitej liczby pojazdów, w szczególności samochodów osobowych poruszających się w sieciach drogowo-ulicznych polskich miejscowości. Jeśli udział transportu indywidualnego w podziale zadań przewozowych nadal będzie tak duży jak obecnie, to osiągnięcie zadowalającej poprawy jakości powietrza, zwłaszcza w dużych ośrodkach miejskich, będzie bardzo trudne. Mało realne jest bowiem, przynajmniej w najbliższej przyszłości, aby nastąpiła wymiana znacznego odsetka wszystkich obecnie użytkowanych pojazdów osobowych na niskoemisyjne (elektryczne, hybrydowe, z napędem wodorowym bądź zasilane paliwami gazowymi).

### 13.3.3. TRANSPORT PUBLICZNY I DZIAŁANIA WSPIERAJĄCE

W kontekście ograniczania liczby pojazdów niezbędne będą również zmiany nawyków transportowych znacznej części społeczeństwa. W tym celu konieczne jest wprowadzenie lub rozszerzenie pewnych restrykcji dla osób korzystających z samochodów osobowych, choć z drugiej strony wymaga to intensywnych działań na rzecz dalszego uprzywilejowania transportu publicznego kosztem transportu indywidualnego. Przykładami tego typu rozwiązań mogą być:

- Tworzenie i rozwój Stref Płatnego Parkowania Niestrzeżonego (SPPN) w oparciu o naturalne granice (linie kolejowe, rzeki), połączone ze skutecznym egzekwowaniem mandatów za nieprzepisowe parkowanie. Należy też mieć nadzieję, że w niedalekiej przyszłości nastąpi uwolnienie obecnej – bardzo niskiej z punktu widzenia dzisiejszej siły nabywczej – maksymalnej stawki opłaty godzinowej za parkowanie w SPPN<sup>17</sup>, z czego skorzystają samorządy, podnosząc takie opłaty.
- Budowa i rozwój systemu Parkuj i Jedź (*Park and Ride – P&R*), czyli parkingów lokalizowanych w pobliżu węzłów przesiadkowych (np. pętli tramwajowych, końcowych stacji metra czy stacji kolei podmiejskich i aglomeracyjnych). Warto wyposażać takie parkingi również w strefy B&R (*Bike and Ride*) służące użytkownikom rowerów.
- Wprowadzenie na wybranych obszarach miasta stref z ograniczoną prędkością poruszania się, np. do 30 km/h (tzw. strefa Tempo 30). Choć w przypadku pojedynczego samochodu emisja zanieczyszczeń w przeliczeniu na przebyty kilometr jest niższa przy prędkościach większych niż 30 km/h, wprowadzenie takiego rozwiązania zwiększa płynność ruchu i *per saldo* może przyczynić się do zmniejszenia

<sup>17</sup> Wprowadzenie odpowiednich regulacji, leżące w gestii władz centralnych, umożliwi władzom samorządowym podniesienie opłat za parkowanie i ich różnicowanie w zależności od położenia miejsca parkingowego (np. w strefie ścisłego śródmieścia czy w strefie bardziej peryferyjnej).

szczenia emisji całkowitej. Strefa ograniczonej prędkości wspomaga jednocześnie znaczący wzrost bezpieczeństwa ruchu pieszych i rowerzystów. Zwiększenie jezdni lub inne ograniczenia w poruszaniu się pojazdów osobowych, które sprawiają, że kongestia (zatlóczenie), a przez to emisja zanieczyszczeń ulegają zmniejszeniu. Jest to efekt sprzeczny z intuicją, wręcz paradoksalny z logicznego punktu widzenia, ale potwierdzony licznymi obserwacjami i badaniami naukowymi. Wbrew pozorom bowiem poszerzenie ulic w mieście nie rozwiązuje problemu zatlóczenia, głównie z powodu zachęcania do korzystania z szerokich ulic przez większą liczbę kierowców.

Zdecydowanie celowa jest natomiast budowa obwodnic miejskich i aglomeracyjnych. To rozwiązanie kosztowne, ale niezbędne, by wyeliminować szczególnie uciążliwy ruch tranzytowy (zwłaszcza ciężki) nie tylko z centrów dużych miast, ale i z wielu mniejszych miejscowości. Obwodnice są niezwykle istotnym elementem węzłów drogowych w sąsiedztwie dużych aglomeracji, gdzie służą również obsłudze ruchu regionalnego i wewnątrzmijskiego, który kierowany na drogi obwodowe nie obciąża systemu drogowo-ulicznego miasta, ograniczając tym samym nasilenie zatorów komunikacyjnych na szlakach przebiegających w bezpośrednim sąsiedztwie terenów mieszkaniowych. Budowa obwodnic miejskich powinna być więc priorytetem w zakresie rozwoju krajowej sieci drogowej.

#### 13.3.4. STREFY OGRANICZONEJ EMISJI KOMUNIKACYJNEJ

Innym rozwiązaniem, które w założeniu ma przyczynić się do ograniczenia emisji w miastach, są tzw. strefy ograniczonej emisji komunikacyjnej czy strefy czystego transportu (*low emission zones* – LEZ). Są one popularne w wielu miastach europejskich i obecnie już ponad 200 miast w 10 europejskich krajach stosuje różnego rodzaju regulacje ograniczające dostęp pojazdów do określonych obszarów. Niektóre ze stref funkcjonują jako generalnie ograniczające ruch wewnątrz danej strefy lub nakładające obowiązek poniesienia dodatkowej opłaty za wjazd do strefy, inne (np. w Niemczech, Francji i Austrii) wymagają, aby poruszające się po danym mieście pojazdy posiadały oznaczenie (zazwyczaj naklejkę w określonym kolorze) wskazujące na spełnianie przez pojazd konkretnej normy Euro<sup>18</sup>.

Wprowadzenie podobnych regulacji w Polsce wymagałoby przede wszystkim uregulowania kwestii rzeczywistych emisji zanieczyszczeń z pojazdów, mogących (choćby z racji wspomnianego proceduru usuwania filtrów DPF) znacząco różnić się od tych, które wynikają z formalnych dokumentów wskazujących na normę Euro, jaką spełnia dany pojazd.

Doświadczenia miast zachodniej Europy pokazują, że strefy ograniczonej emisji komunikacyjnej są skuteczne, aczkolwiek ewaluacja efektywności takich stref jest

<sup>18</sup> To normy odnoszące się do dopuszczalnej emisji zanieczyszczeń z różnych kategorii pojazdów sprzedawanych na terenie Unii Europejskiej.

sprawą subtelną. Jeśli bowiem brany jest pod uwagę spadek stężeń pyłów  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$ , to wpływ wprowadzenia stref na spadek stężeń tych zanieczyszczeń jest relatywnie niewielki. Jeśli jednak rozważa się wpływ LEZ na redukcję stężeń typowych zanieczyszczeń emitowanych przez silniki spalinowe, takich jak bardzo drobne frakcje pyłu czy tlenki azotu, wyniki są bardziej zachęcające. Warto tu dodać, że obecnie wiele europejskich miast zamierza wprowadzić znacznie bardziej restrykcyjne rozwiązania i utworzyć strefy z całkowitym zakazem poruszania się samochodów wyposażonych w silniki wysokoprężne.

Z początkiem 2018 roku weszła w życie w Polsce Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 roku o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2018 poz. 317), która umożliwia m.in. tworzenie tzw. Stref Czystego Transportu (SCzT). Zgodnie z oryginalnym sformułowaniem ustawy do takich stref mogłyby wjeżdżać tylko pojazdy elektryczne oraz napędzane wodorem lub gazem ziemnym, ale przewiduje ona również możliwość tworzenia wyjątków przez rady gmin, dzięki czemu SCzT może być w zasadzie dość łatwo przekształcona w rozwiązanie typu LEZ. Z ustawy tej usunięto natomiast możliwość pobierania opłat za wjazd do strefy, które przewidywano jeszcze na etapie projektu. Tego typu rozwiązanie, tzw. opłata kongestyjna (*congestion charge*) za wjazd do centralnej części miasta, funkcjonuje np. w Londynie.

### 13.3.5. POZOSTAŁE ROZWIĄZANIA

Warto podkreślić, że wdrażanie wspomnianych wcześniej rozwiązań ograniczających możliwość korzystania z indywidualnego transportu samochodami osobowymi wymaga dalszego rozwoju systemów transportu zbiorowego. Choć w wielu polskich miastach transport publiczny jest już obecnie na bardzo dobrym poziomie, wciąż jednak potrzebne są rozwiązania, które zwiększą jego niezawodność, atrakcyjność i konkurencyjność w stosunku do transportu indywidualnego, a przez to zachęcą jak najwięcej osób do korzystania z komunikacji publicznej. Najważniejsze tego typu rozwiązania to:

- rozwój sieci pasów ruchu przeznaczonych dla autobusów (tzw. buspasów);
- wydzielenie torowisk tramwajowych tak, by jak najbardziej zmniejszyć ryzyko spowalniania lub blokowania tramwajów przez samochody;
- tworzenie priorytetów dla pojazdów komunikacji publicznej w stosunku do pojazdów indywidualnych w zakresie pierwszeństwa ruszania na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną;
- sukcesywna modernizacja taboru pojazdów komunikacji publicznej, w tym w szczególności zakup pojazdów elektrycznych, hybrydowych czy napędzanych sprężonym gazem ziemnym;
- tworzenie rozwiązań z zakresu Inteligentnych Systemów Transportu (ITS), na które składają się: systemy informacji dla podróżnych, inteligentne pojazdy, inteligentna infrastruktura transportowa oraz centra sterowania i zarządzania ruchem;

tworzenie i rozwój sprawnych węzłów przesiadkowych między różnymi środkami komunikacji zbiorowej, jak również między środkami komunikacji publicznej i indywidualnej.

## Śmiennictwo

- Analiza Polskiego Związku Przemysłu Motoryzacyjnego na podstawie danych Centralnej Ewidencji Pojazdów (Ministerstwo Cyfryzacji):* <http://www.pzpm.org.pl/pl/Publikacje/Raporty>.
- Badyda A.: *Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza pochodzenia komunikacyjnego na parametry sprawności wentylacyjnej mieszkańców Warszawy*. Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, Inżynieria Środowiska, z. 65. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013.
- Badyda A.: *Zagrożenia środowiskowe ze strony transportu*. Nauka 2010, 4: 115–125.
- Badyda A., Majewski G., Rogula-Kozłowska W. i wsp.: *Zanieczyszczenie powietrza – czym oddychamy w Polsce*. Lekarz Wojskowy 2017, 95: 46–58.
- Bartyzel J., Smoleń K.: *Ocena wpływu zanieczyszczeń pyłowych na zewnątrz budynków na jakość powietrza wewnątrz pomieszczeń*. Raport wykonany na zlecenie Stowarzyszenia „Krakowski Alarm Smogowy”, Kraków 2017, <https://polskialarmsmogowy.pl/files/artykuly/1399.pdf>.
- Centrum Badania Opinii Społecznej: *Jak Polacy radzą sobie ze smogiem?* Komunikat z badań nr 45, kwiecień 2018.
- Chłopek Z.: *Badania modelu globalnej emisji spalin z silników pojazdów drogowych*. Chemia i Inżynieria Ekologiczna 1999, 6(8): 719–735.
- Chłopek Z.: *Charakterystyki emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych do celów oceny oddziaływania motoryzacji na środowisko*. Inżynieria Maszyn 4 2003, vol. 8 Ekologia Transportu: 19–31.
- Chłopek Z.: *Pojazdy samochodowe. Ochrona środowiska naturalnego*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
- Ciećkiewicz J.: *Suweren jeździ starym dieslem. Za usunięcie filtra rakotwórczych cząstek grzywna wynosi od 50 do 200 złotych. I to wszystko*. Gazeta Wyborcza, 9 października 2017.
- Dobór i zasady użytkowania sprzętu ochrony układu oddechowego wobec aerozoli zawierających nanocząstki*. Opracowanie: dr inż. P. Pietrowski, <http://archiwum.ciop.pl/25641.html>.
- Dons E., Panis L.I., Van Poppel M. i wsp.: *Impact of time-activity patterns on personal exposure to black carbon*. Atmospheric Environment 2011, 45(21): 3594–3602.
- Dons E., Temmerman P., Van Poppel M. i wsp.: *Street characteristics and traffic factors determining road users' exposure to black carbon*. Science of the Total Environment 2013, 447: 72–79.
- Efektywność energetyczna w Polsce. Przegląd 2013. Domy jednorodzinne – efektywność energetyczna a jakość powietrza*. Instytut Ekonomii Środowiska, Kraków 2014, <http://www.iee.org.pl/?a=text&b=32>.

15. *Efektywność energetyczna w Polsce. Przegląd 2015. Domy jednorodzinne – mechanizm wspierania modernizacji.* Instytut Ekonomii Środowiska, Kraków 2016, <http://www.iee.org.pl/?a=text&b=32>.
16. European Commission: *EU transport in figures. Statistical pocketbook 2017.* Publications Office of the European Union, Luxembourg 2017.
17. Fensterer V., Küchenhoff H., Maier V. i wsp.: *Evaluation of the impact of low emission zone and heavy traffic ban in Munich (Germany) on the reduction of PM10 in ambient air.* International Journal of Environmental Research and Public Health 2014, 11(5): 5094–5112.
18. Font A., Fuller G.W.: *Did policies to abate atmospheric emissions from traffic have a positive effect in London?* Environmental Pollution 2016, 218: 463–474.
19. Gawrońska H., Bakera B.: *Phytoremediation of particulate matter from indoor air by Chlorophytum comosum L. plants.* Air Quality, Atmosphere & Health 2015, 8(3): 265–272.
20. Główny Urząd Statystyczny: *Transport – wyniki działalności w 2016 r.* Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2017.
21. *Household Use of Solid Fuels and High-temperature Frying.* IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 2010, 95, [http://www.who.int/indoorair/guidelines/hhfc/IARC\\_monographs\\_Vol.95.pdf?ua=1](http://www.who.int/indoorair/guidelines/hhfc/IARC_monographs_Vol.95.pdf?ua=1).
22. INRIX Global Traffic Scorecard: <http://inrix.com/scorecard/>.
23. Jędrychowski W.A., Perera F.P., Pac A. i wsp.: *Variability of total exposure to PM2.5 related to indoor and outdoor pollution sources: Krakow study in pregnant women.* Science of the Total Environment 2006, 366(1): 47–54.
24. Kelly F.J., Fussell J.C.: *Air pollution and airway disease.* Clinical & Experimental Allergy 2011, 41(8): 1059–1071.
25. *Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych.* Biuletyn Informacji Publicznej Ministerstwa Energii, [http://bip.me.gov.pl/files/upload/26450/Krajowe\\_ramy\\_polityki\\_final.pdf](http://bip.me.gov.pl/files/upload/26450/Krajowe_ramy_polityki_final.pdf).
26. Kubica K.: *Koniecznie wycofać. Spalanie mułów węglowych w źródłach małej mocy poważnym zagrożeniem dla zdrowia ludzi i środowiska.* Ekologia 2013, 1(65): 13–14.
27. Langrish J.P., Li X., Wang S. i wsp.: *Reducing personal exposure to particulate air pollution improves cardiovascular health in patients with coronary heart disease.* Environmental Health Perspectives 2012, 120(3): 367–372.
28. Langrish J.P., Mills N.L., Chan J.K.K. i wsp.: *Beneficial cardiovascular effects of reducing exposure to particulate air pollution with a simple facemask.* Particle and Fibre Toxicology 2009, 6(1): 8.
29. *Materiały informacyjne dotyczące prawidłowego doboru i zasad użytkowania sprzętu ochrony układu oddechowego wobec jednoczesnego działania aerozoli i par substancji organicznej.* Opracowanie: dr inż. A. Brochocka, <http://archiwum.ciop.pl/25643.html>.
30. Mentz R.J., O'Brien E.C.: *Air pollution in patients with heart failure: lessons from a mechanistic pilot study of a filter intervention.* JACC: Heart Failure 2016, 4(1): 65–67.
31. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny: *Maski antysmogowe – stosować czy nie?,* <http://www.pzh.gov.pl/maski-antysmogowe-stosowac-czy-nie/>.

32. Nieplacony rachunek. *Jak energetyka węglowa niszczy nasze zdrowie*. Health and Environment Alliance (HEAL) 2013, [http://www.env-health.org/IMG/pdf/nieplacony\\_rachunek\\_jak\\_energetyka\\_weglowa\\_niszczyc\\_nasze\\_zdrowie\\_full\\_report\\_final.pdf](http://www.env-health.org/IMG/pdf/nieplacony_rachunek_jak_energetyka_weglowa_niszczyc_nasze_zdrowie_full_report_final.pdf).
33. Shi J., Lin Z., Chen R. i wsp.: *Cardiovascular benefits of wearing particulate-filtering respirators: a randomized crossover trial*. *Environmental Health Perspectives* 2017, 125(2): 175–180.
34. Stala-Szlugaj K.: *Ocena perspektyw zapotrzebowania drobnych odbiorców węgla w Polsce*. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2017.
35. Sunyer J., Esnaola M., Alvarez-Pedrerol M. i wsp.: *Association between traffic-related air pollution in schools and cognitive development in primary school children: a prospective cohort study*. *PLoS Medicine* 2015, 12(3): e1001792.
36. Tainio M., de Nazelle A.J., Götschi T. i wsp.: *Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking?* *Preventive Medicine* 2016, 87: 233–236.
37. Vieira J.L., Guimaraes G.V., de Andre P.A. i wsp.: *Respiratory filter reduces the cardiovascular effects associated with diesel exhaust exposure: a randomized, prospective, double-blind, controlled study of heart failure: the FILTER-HF trial*. *JACC: Heart Failure* 2016, 4(1): 55–64.
38. Watts N., Adger W.N., Agnolucci P. i wsp.: *Health and climate change: policy responses to protect public health*. *The Lancet* 2015, 386(10006): 1861–1914.
39. WHO indoor air quality guidelines: household fuel combustion. Recommendation 3: *Household use of coal*, [http://www.who.int/indoorair/guidelines/hhfc/recommendation\\_3/en/](http://www.who.int/indoorair/guidelines/hhfc/recommendation_3/en/).

# Możliwości ograniczenia narażenia indywidualnego i jego następstw

Artur Badyda, Jakub Jędrak

## 14.1. WPROWADZENIE

Na początku należy zaznaczyć, że możliwości ochrony przed zanieczyszczeniami powietrza są niestety dość ograniczone, a unikanie narażenia okazuje się często nie-  
możliwe. Oczyszczenie zanieczyszczonego powietrza jest bardziej skomplikowane,  
uciążliwe, kosztowne i zazwyczaj bywa mniej skuteczne niż np. uzdatnianie wody  
pitnej, którą w razie potrzeby można stosunkowo łatwo pozbawić większości zanie-  
czyszczeń chemicznych lub biologicznych.

Jeśli ponadto ochrona przed zanieczyszczeniami powietrza prowadzona jest niewła-  
ściwie, może sprzyjać innym zagrożeniom. Na przykład próba zmniejszenia naraże-  
nia na zanieczyszczenia pyłowe wewnątrz budynków poprzez ograniczanie  
wietrzenia pomieszczeń (szerzej: przez ograniczanie napływu powietrza z zewnątrz)  
odbywa się często kosztem zwiększenia stężenia ditlenku węgla. Z tego samego  
powodu w niektórych sytuacjach próba odcięcia się od powietrza zewnętrznego  
może istotnie zwiększać ryzyko zatrucia tlenkiem węgla. Z kolei niewłaściwa lub źle  
użytkowana maska przeciwpyłowa (zwana niekiedy w kontekście ochrony przed  
zanieczyszczeniami „antysmogową”), poza znacznym dyskomfortem związanym  
z ograniczeniem przepływu powietrza, może być źródłem narażenia na bakterie lub  
pleśń, rozwijające się w wilgotnych częściach takiej maski.



Mimo tych wszystkich zastrzeżeń należy podkreślić, że ekspozycję na zanieczyszczenia powietrza można ograniczać. Jest to szczególnie istotne i wskazane w przypadku osób z grup podwyższonego ryzyka: dzieci, ciężarnych kobiet, chorych na cukrzycę, osób cierpiących na choroby układu oddechowego i układu krążenia, osób w podeszłym wieku czy osób o niskim statusie socjoekonomicznym<sup>19</sup>.

W dalszej części rozdziału omówione zostaną najważniejsze sposoby ochrony przed zanieczyszczeniami powietrza i działania zmierzające do ograniczania narażenia na takie zanieczyszczenia. Nie wolno jednak zapominać, że omówione poniżej środki i działania mają w większości charakter „leczenia objawowego” problemu złej jakości powietrza i nie mogą zastąpić ograniczania emisji szkodliwych substancji do atmosfery (zob. rozdział 13 pt. *Możliwości ograniczenia emisji*).

## 14.2. UNIKANIE PRZEBYWANIA NA ZEWNĄTRZ

W okresie cechującym się wysokimi stężeniami zanieczyszczeń pyłowych (czyli przede wszystkim w przypadku typowego „smogu zimowego” występującego w sezonie grzewczym) często można spotkać się z apelami o ograniczenie do minimum przebywania na zewnątrz, o pozostanie w domu. Za takim zaleceniem kryje się milcząca założenie, że stężenia zanieczyszczeń we wnętrzach budynków są istotnie niższe niż na zewnątrz. Tak jednak wcale nie musi być.

Nawet jeśli mieszkańcy starają się nie otwierać okien i nie wietrzyć pomieszczeń, zanieczyszczenia pyłowe przedostają się z zewnątrz do środka budynku, choćby przez systemy wentylacyjne (zob. rozdział 3: *Wpływ zewnętrznych zanieczyszczeń powietrza na jego skład wewnątrz pomieszczeń*). Już wyłącznie z tego powodu stężenie pyłu zawieszonego i innych zanieczyszczeń w pomieszczeniach może stanowić znaczącą część stężenia występującego na zewnątrz.

To, jaka zależność występuje między stężeniami pyłu zawieszonego wewnątrz budynków a jego stężeniami w powietrzu zewnętrznym, zależy od wielu czynników, w tym takich jak konstrukcja budynku, rodzaj stolarki okiennej, rodzaj wentylacji itp., a także od konkretnej frakcji wielkościowej pyłu.

Często jednak poza napływem zanieczyszczeń (w tym zanieczyszczeń pyłowych) z zewnątrz mogą występować również wewnętrzne źródła emisji. Jeśli w domu lub mieszkaniu znajduje się kocioł czy piec na węgiel bądź drewno, kominek albo kuchnia węglowa, czy też inne prymitywne urządzenia spalające biomasę lub węgiel,

<sup>19</sup> Istnieją badania pokazujące, że osoby o niskim statusie socjoekonomicznym są bardziej podatne na negatywny wpływ zanieczyszczeń powietrza. Powody takiego stanu rzeczy są złożone. W grę może wchodzić gorszy w porównaniu z ogółem społeczeństwa stan zdrowia takich osób, mniejsza dostępność opieki medycznej, ale też większe narażenie na zanieczyszczenia.

to wpływ na jakość powietrza wewnątrz budynków ma też przedostawanie się produktów spalania z paleniska bezpośrednio do pomieszczenia, w którym znajduje się dane urządzenie.

Wpływ takich źródeł wewnętrznych zależy od ich rodzaju (konstrukcji) i stanu technicznego (np. od tego, czy kominiek ma zamkniętą czy otwartą komorę spalania), wentylacji, warunków pogodowych, wreszcie od wiedzy, umiejętności i przyzwyczajenia użytkowników korzystających z tego typu urządzeń. Wpływ ten może być dużo większy niż wpływ, jaki ma przenikanie zanieczyszczeń do wnętrza budynku z zewnątrz. Z powodu obecności wewnętrznych źródeł emisji stężenia pyłu w pomieszczeniach mogą być znacząco wyższe aniżeli w powietrzu zewnętrznym, i nawet jeśli wyraźnie się tego nie wyczuwa, mogą osiągać wartości rzędu kilkuset mikrogramów na metr sześcienny.

Skład chemiczny zanieczyszczeń emitowanych do wnętrza pomieszczeń z wewnętrznych źródeł emisji będzie podobny do tego, który emitowany jest przez komin do powietrza atmosferycznego. W szczególności będzie on zwykle zawierał wiele substancji rakotwórczych, takich jak np. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. Rakotwórczy charakter zanieczyszczeń pochodzących ze spalania paliw stałych w domowych paleniskach jest obecnie dobrze udokumentowany, a zagadnieniu temu została poświęcona osobna monografia Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem. Co więcej, rekomendacje Światowej Organizacji Zdrowia mówią też wyraźnie, że niepoddany żadnej obróbce<sup>20</sup> węgiel nie powinien być używany jako opał w gospodarstwach domowych.

Zanieczyszczenia pochodzące ze źródeł wewnętrznych, w których spalana jest biomasa lub węgiel bądź to w celach grzewczych, bądź w związku z przygotowywaniem posiłków, są bardzo istotnym problemem w krajach rozwijających się, takich jak np. Meksyk, kraje afrykańskie, Pakistan, Indie, czy też niektóre państwa bliskowschodnie, np. Iran. Jednak także w Polsce narażenie na tego typu zanieczyszczenia stanowi poważny problem, dotyczący bardzo dużej liczby osób. Najczęściej są to osoby o niższej niż średnia zamożności i gorszego ogólnego stanu zdrowia, często w podeszłym wieku.

Poza narażeniem na wydostające się bezpośrednio z paleniska zanieczyszczenia, a w szczególności pył, nie można pomijać narażenia na wysokie stężenia tlenku węgla. W Polsce rocznie z powodu zaccadzenia umiera kilkaset osób (dane za lata 2000–2011 wskazują na 300–400 ofiar śmiertelnych czadu każdego roku). Całkowita liczba zatruc tlenkiem węgla, z których wiele kończy się trwałym inwalidztwem, jest jednak znacznie większa: w latach 2005–2011 z tego powodu hospitalizowano rocznie między 2,5 a 5 tys. osób. Warto też przypomnieć, że częstość zatruc tlenkiem węgla jest w Polsce wyższa niż w większości państw europejskich, a najwięcej

<sup>20</sup> Na przykład obróbce w kierunku paliwa bezdymnego.

przypadków zacczadzeń notowanych jest w sezonie grzewczym. Jednak nawet jeśli nie dochodzi do ostrego zatrucia, może wystąpić przewlekłe podtruwanie domowników tą substancją.

Należy również zwrócić uwagę, że gdy źródłem ciepła jest urządzenie grzewcze na paliwa stałe lub starego typu piec gazowy, próba zatkania przewodów wentylacyjnych, uszczelnienia okien czy unikanie wietrzenia pomieszczeń w celu obrony przed smogiem znacząco zwiększa ryzyko zacczadzenia.

Niedocenianym źródłem emisji zanieczyszczeń (w tym WWA) w pomieszczeniach są wszelkie formy spalania: kominki (zwłaszcza z otwartą komorą paleniska), kadzidelka a nawet świece.

### **14.3. OGRANICZENIE LUB ELIMINACJA NARAŻENIA NA ZANIECZYSZCZENIA ZE ŹRÓDEŁ WEWNĘTRZNYCH**

Zarówno z powodu narażenia na zanieczyszczenia pyłowe, jak i tlenek węgla oraz inne szkodliwe substancje, piece i kotły na paliwa stałe, a także starego typu kotły gazowe nie powinny znajdować się w pomieszczeniach mieszkalnych, lecz – o ile to możliwe – w osobnej, dobrze wentylowanej kotłowni.

Jeśli chodzi o tego typu źródła ciepła, narażenie na zanieczyszczenia jest też znacznie mniejsze, a często znikome, jak w przypadku nowoczesnych kotłów na węgiel, biomasę lub olej opałowy.

Wszystkie z wyżej wymienionych zagrożeń eliminuje wymiana źródła ciepła spalającego paliwa stałe albo starego typu pieca gazowego na ogrzewanie elektryczne, pompę ciepła czy nowoczesny kocioł gazowy bądź olejowy, który pobiera powietrze do komory spalania z zewnątrz, a nie z wnętrza budynku.

#### **14.3.1. NARAŻENIE NA DYM TYTONIOWY**

Choć nie jest to głównym tematem niniejszej monografii, nie można nie wspomnieć o innym ważnym źródle narażenia na zanieczyszczenia powietrza we wnętrzach pomieszczeń, jakim jest palenie tytoniu. Wiadomo, że wpływ palenia tytoniu na jakość powietrza wewnętrznego jest bardzo istotny, a stężenia pyłu zawieszonego w mieszkaniach osób palących wyroby tytoniowe są znacznie wyższe niż w mieszkaniach osób niepalących. Oczywistym sposobem na eliminację tego źródła zanieczyszczeń jest rezygnacja z nałogu. Rozwiązaniem doraźnym jest zaś zmiana przyzwyczajień osób palących – unikanie palenia wewnątrz domu zmniejsza narażenie pozostałych domowników.

Nawet w realiach kraju o tak wysokich stężeniach zanieczyszczeń powietrza jak Polska, czynne lub nawet bierne palenie zazwyczaj niesie ze sobą znacznie poważniejsze negatywne skutki zdrowotne niż narażenie na zanieczyszczenia powietrza z innych źródeł. W szczególności ilość pyłu zawieszonego, na jaką w związku ze swoim nałogiem narażeni są czynni palacze, jest zwykle znacznie wyższa od narażenia związanego z oddychaniem zanieczyszczonym powietrzem.

Skoro już wiadomo, że – niezależnie od jego źródeł – stężenia pyłu zawieszonego we wnętrzach pomieszczeń mieszkalnych mogą być wysokie, to co należy zrobić, aby je zmniejszyć?

### 14.3.2. OCZYSZCZANIE POWIETRZA W POMIESZCZENIACH

#### Rośliny domowe

Dość szeroko rozpowszechniona jest opinia, jakoby rośliny doniczkowe znajdujące się wewnątrz budynków oczyszczały powietrze z różnych zanieczyszczeń. Na poparcie tej tezy przytaczane są często wyniki badań prowadzonych pod koniec lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku przez amerykańską Narodową Agencję Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (NASA). Badania te dotyczyły jednak skuteczności oczyszczania powietrza z prostych związków organicznych: benzenu, trichloroetylenu i formaldehydu, a nie typowych zanieczyszczeń gazowych (tlenki siarki, tlenki azotu) czy też zanieczyszczeń pyłowych. W omawianych eksperymentach istotną rolę w oczyszczaniu powietrza odgrywała zresztą obecność filtrów z węgla aktywnego.

Prawdą jest, że cząstki pyłów, zwłaszcza pyłów bardzo drobnych, osadzają się na powierzchni liści. Pokazano też, że depozycja pyłu na liściach jest dwu-, a nawet trzykrotnie wydajniejsza niż jego depozycja na gładkich, pozbawionych wosków blaszkach aluminiowych (co nie jest zresztą szczególnie zaskakujące). Okazuje się ponadto, że centymetr kwadratowy liścia może związać na swojej powierzchni nawet kilkanaście mikrogramów pyłu. Może się to wydawać wynikiem imponującym, jednak związanie przez roślinę takich ilości pyłu na powierzchni liści w omawianym eksperymencie zajęło aż dwa miesiące.

W publikacjach poświęconych tej tematyce brak jest oceny realnej skuteczności oczyszczania przez rośliny powietrza w krótkim horyzoncie czasowym, np. w ciągu kilku godzin. Parametrem, który z punktu widzenia skuteczności oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń pozostaje istotny, nie jest ilość pyłu zdeponowanego na jednostce powierzchni liścia, lecz np. spadek całkowitej masy pyłu zawartej w metr sześciennym powietrza w określonym czasie. Jeśli takie badania były kiedykolwiek prowadzone, ich wyniki nie są znane autorom niniejszej monografii. Wydaje się jednak, że w przypadku domowych roślin doniczkowych oczyszczanie powietrza z pyłu nie jest ani wystarczająco szybkie, ani skuteczne.

## Oczyszczacze powietrza

Zdecydowanie skuteczniejszym niż rośliny doniczkowe rozwiązaniem są oczyszczacze powietrza (nie należy mylić tych urządzeń z nawilżaczami czy odświeżaczami powietrza).

Oczyszczacz powietrza to zwykle przenośne (choć może być również stacjonarne) urządzenie, którego działanie polega na pobieraniu zanieczyszczonego powietrza z pomieszczenia i filtrowaniu go, a czasem też na poddaniu innym zabiegom, jak nawilżanie czy jonizacja. Powietrze opuszczające takie urządzenie jest w bardzo dużym stopniu pozbawione pyłu zawieszonego, a także bakterii czy różnych alergenów pochodzenia naturalnego (np. pyłków roślinnych).

Na rynku istnieje wiele firm oferujących oczyszczacze powietrza. Przy wyborze konkretnego urządzenia należy zwrócić uwagę przede wszystkim na to, czy oczyszczacz posiada filtr HEPA co najmniej H13 (zapewniający ogólną skuteczność filtracji na poziomie 99,95%), lub czy pracuje na podstawie innej technologii gwarantującej podobną skuteczność oczyszczania.

Bardzo ważne jest dostosowanie wydajności urządzenia do wielkości (kubatury) pomieszczenia, co wprost wpływa na zapewnienie właściwej redukcji stężeń zanieczyszczeń. Producenci zwykle określają maksymalną powierzchnię lub kubaturę pomieszczenia, w którym dany oczyszczacz może być stosowany. Ważnym parametrem, na który należy zwrócić uwagę, jest wskaźnik CADR określający ilość świeżego powietrza, jaką oczyszczacz jest w stanie dostarczyć do pomieszczenia w określonym czasie (zwykle jest on wyrażany w  $m^3/h$ ). Stąd też znając kubaturę pomieszczenia, można dobrać właściwe urządzenie (mając na uwadze, że system wentylacyjny w pomieszczeniu mieszkalnym powinien zapewniać jedno- lub dwukrotną wymianę powietrza w ciągu godziny). Należy jednak pamiętać, że wskaźnik ten z reguły stosowany jest w odniesieniu do urządzeń mających swe zastosowanie w warunkach domowych.

Dysponując tylko jednym oczyszczaczem, warto jest go umieszczać w miejscach, w których skupiają się najczęstsze aktywności. W ciągu dnia może to być największy pokój w mieszkaniu lub domu, czy też pokój zabaw dzieci, w nocy zaś sypialnia, szczególnie dziecięca. Uwzględniając fakt, że oczyszczacze to zwykle przenośne urządzenia, najlepszym rozwiązaniem jest przemieszczanie go w zależności od miejsca przebywania. Pozwala to istotnie zmniejszyć ekspozycję na pyły przez znaczną część doby, a w okresie nocnym dodatkowo poprawić jakość snu. Oczywiście, używany w sypialni oczyszczacz nie powinien pracować zbyt głośno, na co także należy zwrócić uwagę, wybierając urządzenie. Trzeba również zadbać o to, by drzwi do oczyszczanego pomieszczenia były zamknięte, nie zapominając z drugiej strony o wietrzeniu pomieszczenia, kiedy jest to możliwe (biorąc pod uwagę aktualną jakość powietrza zewnętrznego).

Mankamentem jest tu koszt tego typu urządzeń, zwłaszcza produkowanych przez renomowane firmy (zwykle jest to od ponad 1 tys. do około 2 tys. złotych za podstawowy model). Do tego dochodzą koszty filtrów, o których terminowej wymianie nie wolno zapominać. Jest to o tyle łatwiejsze, że oczyszczacz zazwyczaj sam sygnalizuje, iż filtr (lub któryś z filtrów, np. filtr przedwstępny wyłapujący grubsze zanieczyszczenia) wymaga wymiany. Z praktyki osób używających oczyszczaczy w niektórych miejscach w Polsce wiadomo, że filtry zużywają się znacznie szybciej, niż przewidują to producenci.

Utrzymanie dzięki przenośnym oczyszczaczom niskich stężeń zanieczyszczeń na większej powierzchni, w szczególności w całym mieszkaniu lub domu, wymaga posiadania kilku takich urządzeń, co wprost przekłada się na wyższe koszty inwestycji i późniejszej eksploatacji oczyszczaczy. W nowych budynkach energooszczędnych lub pasywnych systemy wentylacyjne opierają się na nowoczesnej wentylacji mechanicznej. Możliwe jest jej doposażenie w odpowiedni system filtrów, które będą oczyszczały powietrze, zanim jeszcze trafi ono do wnętrza pomieszczeń. Jest to rozwiązanie skuteczniejsze i wygodniejsze niż stosowanie przenośnych oczyszczaczy, wymagające jednak poniesienia wyższych kosztów inwestycyjnych. Ograniczenia techniczne i ekonomiczne sprawiają, że tego typu rozwiązania wciąż nie są w Polsce powszechne.

## 14.4. ZMNIEJSZANIE NARAŻENIA NA ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA ZEWNĘTRZNEGO

### 14.4.1. UNIKANIE AKTYWNOŚCI FIZYCZNEJ

Wśród zachowań rekomendowanych podczas epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń powietrza wymienia się m.in. unikanie większej aktywności fizycznej na zewnątrz. W realiach polskich tego typu zalecenia dotyczą przede wszystkim okresu grzewczego i dni, w których występują wysokie stężenia zanieczyszczeń pyłowych. Należy jednak pamiętać, że także w słoneczne letnie i wiosenne dni może występować problem narażenia na wysokie stężenia zanieczyszczeń, w szczególności ozonu<sup>21</sup>. W takiej sytuacji ograniczanie aktywności fizycznej również może być wskazane.

W praktyce unikanie aktywności fizycznej na zewnątrz oznacza rezygnację z uprawianiu sportu, np. z biegania czy jazdy na rowerze. Faktycznie, mniejsze zapotrzebowanie na tlen, czyli mniejsze zużycie powietrza przekłada się na proporcjonalnie mniejszą ilość zanieczyszczeń dostających się do układu oddechowego. Z drugiej strony wiadomo, że brak lub zbyt niski poziom aktywności fizycznej też ma nega-

<sup>21</sup> Ozon jest zanieczyszczeniem wtórnym, powstającym wskutek przemian fizykochemicznych innych zanieczyszczających atmosferę substancji, np. ditlenku azotu, tlenku węgla czy lotnych związków organicznych.

tywny wpływ na zdrowie. Przed podjęciem decyzji o rezygnacji z uprawiania sportu z powodu narażenia na zanieczyszczenia warto więc przeprowadzić bilans zysków i strat, nie popadając przy tym w żadną skrajność.

Z jednego z brytyjskich badań poświęconych ryzykom związanym z narażeniem na zanieczyszczenia powietrza podczas aktywności fizycznej wynika, że z punktu widzenia korzyści dla zdrowia, jakie niesie aktywność fizyczna, opłaca się podejmować ją nawet przy stosunkowo dużych stężeniach zanieczyszczeń pyłowych. Istnieją szacunkowe wyliczenia wskazujące, że przy średnim stężeniu pyłu  $PM_{2,5}$  wynoszącym  $100 \mu g/m^3$  związane z narażeniem na zanieczyszczenia ryzyko zdrowotne przeważa nad korzyściami wynikającymi z aktywności fizycznej dopiero po 1,5 godzinie jazdy na rowerze lub 10 godzinach spacerowania dziennie (jeśli alternatywą jest pozostanie w domu), bądź też po 3,5 godzinach jazdy na rowerze (jeśli alternatywą jest jazda samochodem). Oczywiście, do tego typu oszacowań należy podchodzić bardzo ostrożnie. Autorzy brali bowiem pod uwagę jedynie długoterminowy wpływ narażenia na pył  $PM_{2,5}$  na umieralność ze wszystkich przyczyn, zanedbując nie mniej istotny wpływ krótkotrwałego narażenia na wysokie stężenia zanieczyszczeń, np. w trakcie epizodów smogowych. Nie uwzględniono także wpływu zanieczyszczeń na zwiększoną chorobowość, choćby na wzrost ryzyka infekcji górnych lub dolnych dróg oddechowych, czy zaostrzeń istniejących przewlekłych chorób układu oddechowego takich jak astma bądź POChP.

Wydaje się więc, że przy wysokich stężeniach pyłu zawieszonego, które w realiach polskich zdarzają się dość często, należy zdecydowanie zrezygnować z dodatkowej aktywności fizycznej na zewnątrz. W szczególności trzeba zrezygnować z uprawiania sportu w warunkach zewnętrznych w trakcie epizodów smogowych, podczas których stężenia pyłu zawieszonego mogą wynosić nawet kilkaset mikrogramów na metr sześcienny.

#### **14.4.2. UNIKANIE MIEJSC O DUŻYM NATĘŻENIU RUCHU**

Niezależnie od pory roku i aktualnych stężeń pyłu  $PM_{10}$  lub  $PM_{2,5}$ , zaleca się jak najkrótsze przebywanie w bezpośrednim sąsiedztwie dróg i ulic o dużym natężeniu ruchu kołowego. W ich pobliżu narażenie na zanieczyszczenia emitowane przez silniki spalinowe jest bowiem zwykle znacznie większe aniżeli w dalszej odległości od ruchliwych ciągów komunikacyjnych, co też wiąże się z podwyższonym ryzykiem wystąpienia niekorzystnych skutków zdrowotnych. W szczególności dotyczy to narażenia na takie zanieczyszczenia, jak bardzo drobne pyły, tlenki azotu czy lotne związki organiczne, które mają wysoce negatywny wpływ na zdrowie człowieka, a przed którymi maski antysmogowe nie stanowią dostatecznej ochrony (o czym mowa w dalszej części tego rozdziału). Dodatkowym źródłem zanieczyszczeń pyłowych związanych z transportem drogowym jest ścieranie elementów układu hamulcowego (tarcz i klocków), opon i nawierzchni jezdni oraz wtórny unos pyłu zalegającego na powierzchni jezdni.

Narażenie na oddychanie zanieczyszczonym powietrzem występuje również w trakcie podróży niektórymi środkami transportu, zarówno komunikacją publiczną (tramwaj, autobus), jak i podczas jazdy samochodem. Dzieje się tak zwłaszcza wówczas, kiedy ruch nie jest płynny i znaczna część podróży przebiega w warunkach zatoru komunikacyjnego. Dla wielu osób poruszanie się samochodem odpowiada za niezwyczajnie istotną część codziennego narażenia na bardzo drobne pyły i inne typowe dla motoryzacji zanieczyszczenia, jako że zanieczyszczenia obecne w powietrzu zewnętrznym migrują przez systemy wentylacyjne do wnętrza pojazdów i kumulują się w nich. Powoduje to, że stężenia zanieczyszczeń w samochodach mogą być nawet wyższe aniżeli w powietrzu zewnętrznym.

Z podwyższoną ekspozycją wiąże się zarówno czas spędzony w pojazdach, jak i czas oczekiwania na przystankach. Rzecz jasna, zupełne unikanie narażenia na tego typu zanieczyszczenia jest nierealne, choćby właśnie w związku z koniecznością korzystania z transportu zbiorowego. Jeśli jednak możliwe jest zaplanowanie i wybór trasy, warto wybierać te o mniejszym natężeniu ruchu kołowego, a więc o potencjalnie mniejszym narażeniu. W szczególności można i warto planować w ten sposób trasy podróży odbywanych na piechotę lub rowerem.

#### 14.4.3. MASKI PRZECIWPYŁOWE

Najważniejszym środkiem osobistej ochrony przed zanieczyszczeniami powietrza są maski przeciwpyłowe zwane potocznie antysmogowymi. Obecnie dostępnych jest bardzo wiele różnych typów i modeli masek, choć mogą one znacząco różnić się między sobą stopniem ochrony przed zanieczyszczeniami pyłowymi. Na co należy więc zwrócić uwagę przy wyborze maski?

Coraz popularniejsze są maski wielokrotnego użytku, z wymiennymi filtrami, przeznaczone dla osób uprawiających sport, np. cyklistów. Niestety, maski takie zwykle nie spełniają unijnych przepisów dotyczących środków ochrony indywidualnej, a konkretnie normy EN 149 (np. PN-EN 149:200+A1:2009) dotyczącej półmasek<sup>22</sup> filtrujących.

Normę zazwyczaj spełniają natomiast wyglądające znacznie mniej efektownie maski przeciwpyłowe, stosowane w różnych gałęziach przemysłu. Warto zwrócić uwagę, że w przypadku narażenia zawodowego stężenia pyłu mogą być znacznie większe niż w trakcie nawet najcięższych epizodów smogowych<sup>23</sup>. Maski stosowane w przemyśle mogą być przeznaczone zarówno do użytku jedнокrotnego (oznaczenie NR), jak i wielokrotnego (R). Wyróżnia się też trzy klasy ochronne: od najniższej (FFP1), przez średnią (FFP2), aż po najwyższą (FFP3). Klasa ochronna wskazuje na maksymalną

<sup>22</sup> Nazwa „półmaska” bierze się stąd, że takie maski zakrywają jedynie dolną połowę twarzy.

<sup>23</sup> Pył znajdujący się w powietrzu atmosferycznym zazwyczaj znacząco różni się składem chemicznym i średnim rozmiarem cząstek od pyłów i aerozoli, na jakie zawodowo narażeni są pracownicy np. lakierni, szlifierni, branży budowlanej czy przemysłu drzewnego.



malne stężenie (wyrażone przez wielokrotność tzw. najwyższego dopuszczalnego stężenia) danej substancji szkodliwej, przy którym można jeszcze maskę stosować.

Znacznie większą skuteczność filtrowania pyłów w przypadku atestowanych masek przeznaczonych do ochrony przed narażeniem zawodowym (w porównaniu z popularnymi maskami „sportowymi”) potwierdzają też testy prowadzone przy okazji badań epidemiologicznych. Przykładowo skuteczność filtrowania pyłu przez maski przeznaczone dla rowerzystów wynosiła między 55% a 85% (w zależności od modelu), zaś w przypadku maski ostatecznie wybranej do badań osiągnęła poziom aż 96,6%.

Stopień ochrony przed pyłami, jaki zapewnia określony rodzaj maski, poza jakością samego filtra lub materiału filtrującego zależy od tego, jak dobrze maska przylega do twarzy. Warto w tym miejscu przywołać opinię Państwowego Zakładu Higieny (PZH) na temat masek antysmogowych. PZH zwraca uwagę na kilka najbardziej istotnych dla skuteczności maski czynników, m.in. właśnie na kształt maski, która powinna być dobrze dopasowana do twarzy i ściśle do niej przylegać. Przy wyborze należy też zwrócić uwagę na rozmiar maski – ten podany przez producenta jest jedynie pewną wskazówką. Jeśli istnieje taka możliwość, przed zakupem warto maskę przymierzyć i upewnić się, czy dobrze pasuje, zwłaszcza czy nie zsuwa się lub nie odstaje. W przypadku mężczyzn noszenie wydatnego zarostu, w szczególności brody, utrudnia lub wręcz uniemożliwia szczelne przyleganie maski.

PZH zwraca także uwagę na problem skutecznego odprowadzania z maski wydychanego dwutlenku węgla i wilgoci. Zawilgocona maska, a w szczególności materiał filtra może być sprzyjającym podłożem dla rozwoju bakterii i grzybów.

W przywoływanej opinii PZH zwraca również uwagę na opory oddechowe, czyli stopień, w jakim przepływ powietrza jest ograniczany przez maskę. Oczywiście, opory maski powinny być jak najniższe. Dla wielu osób trudności w oddychaniu przez maskę są tak znaczne, że uniemożliwiają korzystanie z tego typu środków ochrony. Poza dyskomfortem ograniczenie przepływu powietrza może być po prostu niebezpieczne. Według PZH: „W związku z tym należy pamiętać, że utrudnienie oddychania może być w niektórych przypadkach zdecydowanie bardziej szkodliwe niż wdychanie zanieczyszczonego powietrza atmosferycznego”.

Warto zacytować jeszcze jeden, tym razem dłuższy fragment opinii PZH na temat masek antysmogowych:

Decyzja o stosowaniu tzw. masek antysmogowych powinna zostać podjęta indywidualnie i może się wiązać zarówno z pozytywnymi, jak i negatywnymi skutkami dla zdrowia. W przypadku dzieci oraz osób przewlekłe chorych na choroby układu oddechowego (w tym na astmę, alergię oraz POChP), cierpiących na niewydolność oddechową i problemy z układem krążenia, możliwość zastosowania masek antysmogowych powinna być bezwzględnie skonsulto-

wana z lekarzem, który przekaze odpowiednie zalecenia co do zasad i czasu ich stosowania. Zastosowanie masek antysmogowych bez konsultacji z lekarzem w niektórych przypadkach (np. znaczące utrudnienie oddychania, nieskuteczne odprowadzanie dwutlenku węgla i wilgoci, brak szczelności lub mała skuteczność w redukcji zanieczyszczeń) może powodować znacznie groźniejsze skutki zdrowotne niż wdychanie przez krótki czas zanieczyszczonego powietrza atmosferycznego.

PZH nie zaleca też stosowania masek antysmogowych w pomieszczeniach. Zastrzeżenia wyrażone w opinii PZH, zwłaszcza te dotyczące utrudnionego oddychania, należy traktować bardzo poważnie. Maski w żadnym przypadku nie powinna nosić osoba, która nie jest na tyle świadoma i sprawna manualnie, by była ją sobie w stanie samodzielnie założyć i zdjąć w sytuacji, kiedy maska będzie stanowiła zbyt dużą barierę przy oddychaniu. Oczywiście dotyczy to w głównej mierze małych dzieci i części osób w podeszłym wieku, choć zarówno dzieci<sup>24</sup>, jak i osoby starsze należą do grup potrzebujących szczególnej ochrony przed zanieczyszczeniami.

Co istotne, maski przeciwpyłowe nie chronią skutecznie przed zanieczyszczeniami gazowymi. Dlatego też nie zapewniają właściwej ochrony np. przed niektórymi zanieczyszczeniami (gazowymi) emitowanymi przez silniki spalinowe.

Właściwe (tj. po uwzględnieniu wszystkich powyższych uwag i ostrzeżeń) użytkowanie masek przeciwpyłowych ma jednak sens. Ochronna rola masek i wymierne korzyści zdrowotne wynikające z ich stosowania są bowiem potwierdzane przez coraz więcej badań.

Wyniki badań prowadzonych w Chinach pokazują, że noszenie maski zmniejsza negatywny wpływ zanieczyszczeń powietrza na funkcjonowanie układu krążenia, i to zarówno u osób zdrowych, jak i pacjentów z chorobą niedokrwienną serca. W obu tych grupach noszenie maski wiązało się z niższym ciśnieniem krwi i większą zmiennością rytmu serca w porównaniu z sytuacją, kiedy badani byli pozbawieni tego rodzaju ochrony przed zanieczyszczeniami.

Także badania prowadzone w Brazylii potwierdzają korzystne działanie masek w przypadku pacjentów z niewydolnością krążenia, jednak potrzebne są dalsze badania w tym kierunku (zob. komentarz Mentz i O'Brien do pracy Vieiry i wsp. 2016).

<sup>24</sup> Jeśli chodzi o dzieci, przeciwwskazań do używania maski jest więcej, choćby obawa, czy jej noszenie nie zakłóci prawidłowego rozwoju układu oddechowego, a także niemożność właściwego, zapewniającego szczelne przyleganie, dopasowania maski.

## 14.5. ROLA DIETY I SUPLEMENTACJI ANTYOKSYDANTAMI W ZMNIEJSZANIU SKUTKÓW NARAŻENIA NA ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA

Skoro skuteczne unikanie narażenia na zanieczyszczenia powietrza jest często niemożliwe, a ochrona przed nimi bywa problematyczna, to czy nie można – choćby częściowo – niwelować negatywnego wpływu zanieczyszczeń na zdrowie? Wiadomo, że jeden z mechanizmów szkodliwego oddziaływania zanieczyszczeń powietrza, w tym pyłu zawieszonego, polega na indukowaniu stresu oksydacyjnego i stanu zapalnego w układzie oddechowym. Czy więc ma sens podawanie antyoksydantów lub substancji działających przeciwzapalnie, przynajmniej w przypadku pacjentów z grup ryzyka?

Obecnie wciąż brakuje jednoznacznych dowodów na to, by suplementacja witaminami C i E oraz beta-karotenem lub wielonienasyconymi kwasami tłuszczowymi była w stanie zmniejszyć wpływ zanieczyszczeń powietrza na funkcjonowanie układu oddechowego i układu krążenia. Mechanizmy oddziaływania zanieczyszczeń na organizm człowieka są złożone, zatem wydaje się mało prawdopodobne, by pojedyncza substancja, np. któraś z witamin, mogła zapewnić ochronę przed wszystkimi konsekwencjami zdrowotnymi ekspozycji na zanieczyszczenia. W wielu badaniach pokazano, że suplementacja antyoksydantami (szerzej: właściwa dieta) może ograniczać skutki ekspozycji na zanieczyszczenia powietrza. Istnieją też jednak badania, w których nie zauważono żadnych pozytywnych efektów podawania antyoksydantów. Potrzebne są więc dalsze studia poświęcone tej tematyce.

W tej sytuacji wydaje się, że jest zbyt wcześnie, aby zalecać pacjentom przyjmowanie suplementów lub modyfikację diety jako działanie mające na celu ochronę przed skutkami narażenia na zanieczyszczenia powietrza. W przypadku pacjentów z grup ryzyka zaleca się przede wszystkim unikanie narażenia i ochronę za pomocą środków opisanych w tym rozdziale.

### Piśmiennictwo

1. Badyda A., Dąbrowiecki P., Czechowski P.O. i wsp.: *Risk of bronchi obstruction among non-smokers – review of environmental factors affecting bronchoconstriction*. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 2014, 209: 39–46.
2. Bartyzel J., Smoleń K.: *Ocena wpływu zanieczyszczeń pyłowych na zewnątrz budynków na jakość powietrza wewnątrz pomieszczeń*. Raport wykonany na zlecenie Stowarzyszenia „Krakowski Alarm Smogowy”, Kraków 2017, <https://polskialarmsmogowy.pl/files/artykuly/1399.pdf>.
3. Brochocka A. (oprac.): *Materiały informacyjne dotyczące prawidłowego doboru i zasad użytkowania sprzętu ochrony układu oddechowego wobec jednoczesnego działania aerozoli i par substancji organicznej*, <http://archiwum.ciop.pl/25643.html>.

4. Czernych R., Badyda A.J., Gałęzowska G. i wsp.: *Indoor exposure to volatile organic compounds in children: health risk assessment in the context of physiological development*. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 2017, 1021: 43–53.
5. Dąbrowiecki P., Mucha D., Gayer A. i wsp.: *Assessment of air pollution effects on the respiratory system based on pulmonary function tests performed during spirometry days*. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 2015, 873: 43–52.
6. Dons E., Panis L.I., Van Poppel M. i wsp.: *Impact of time-activity patterns on personal exposure to black carbon*. *Atmospheric Environment* 2011, 45(21): 3594–3602.
7. Dons E., Temmerman P., Van Poppel M. i wsp.: *Street characteristics and traffic factors determining road users' exposure to black carbon*. *Science of the Total Environment* 2013, 447: 72–79.
8. Gawrońska H., Bakera B.: *Phytoremediation of particulate matter from indoor air by *Chlorophytum comosum* L. plants*. *Air Quality, Atmosphere & Health* 2015, 8(3): 265–272.
9. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 95.
10. *Household Use of Solid Fuels and High-temperature Frying*, 2010, [http://www.who.int/indoorair/guidelines/hhfc/IARC\\_monographs\\_Vol.95.pdf?ua=1](http://www.who.int/indoorair/guidelines/hhfc/IARC_monographs_Vol.95.pdf?ua=1).
11. Jakubiak-Lasocka J., Lasocki J., Badyda A.: *The influence of particulate matter on respiratory morbidity and mortality in children and infants*. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 2014, 849: 39–48.
12. Jędrychowski W.A., Perera F.P., Pac A. i wsp.: *Variability of total exposure to PM2.5 related to indoor and outdoor pollution sources: Krakow study in pregnant women*. *Science of the Total Environment* 2006, 366(1): 47–54.
13. Kelly F.J., Fussell J.C.: *Air pollution and airway disease*. *Clinical & Experimental Allergy* 2011, 41(8): 1059–1071.
14. Langrish J.P., Mills N.L., Chan J.K.K. i wsp.: *Beneficial cardiovascular effects of reducing exposure to particulate air pollution with a simple facemask*. *Particle and Fibre Toxicology* 2009, 6(1): 8.
15. Langrish J.P., Li X., Wang S. i wsp.: *Reducing personal exposure to particulate air pollution improves cardiovascular health in patients with coronary heart disease*. *Environmental Health Perspectives* 2012, 120(3): 367–372.
16. Mentz R.J., O'Brien E.C.: *Air pollution in patients with heart failure: lessons from a mechanistic pilot study of a filter intervention*. *JACC: Heart Failure* 2016, 4(1): 65–67.
17. Pietrowski P. (oprac.): *Dobór i zasady użytkowania sprzętu ochrony układu oddechowego wobec aerozoli zawierających nanocząstki*, <http://archiwum.ciop.pl/25641.html>.
18. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny: *Maski antysmogowe – stosować czy nie*, <http://www.pzh.gov.pl/maski-antysmogowe-stosowac-czy-nie>.
19. Shi J., Lin Z., Chen R. i wsp.: *Cardiovascular benefits of wearing particulate-filtering respirators: a randomized crossover trial*. *Environmental Health Perspectives* 2017, 125(2): 175–180.
20. Sunyer J., Esnaola M., Alvarez-Pedrerol M. i wsp.: *Association between traffic-related air pollution in schools and cognitive development in primary school children: a prospective cohort study*. *PLoS Medicine* 2015, 12(3): e1001792.