

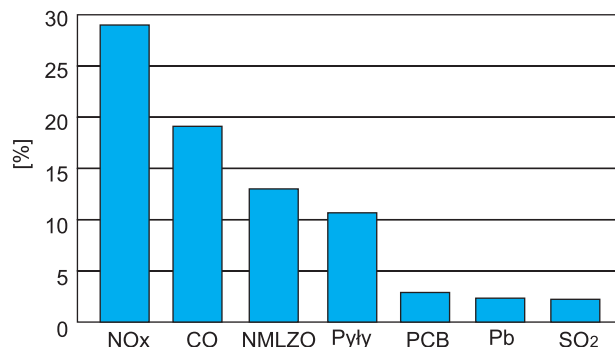
DAMIAN BĘBEN

Politechnika Opolska
d.beben@po.opole.pl

Zanieczyszczenie i ochrona powietrza wokół szlaków transportowych

Rozwojowi społeczno-gospodarczemu zachodzącemu w ostatnich latach, głównie w Europie Środkowo-wschodniej towarzyszy równie dynamiczny wzrost liczby pojazdów poruszających się po trasach transportowych tego regionu. W rezultacie zanieczyszczenie powietrza w miastach powodowane przez różne pojazdy transportowe stało się jednym z głównych i nierozwiązanych jak dotąd problemów ochrony środowiska. W przypadku naszego kraju, szybkiemu rozwojowi motoryzacji nie towarzyszy równie szybka rozbudowa sieci dróg i autostrad oraz skuteczne działania usprawniające organizację ruchu. Stały wzrost natężenia ruchu pojazdów, szczególnie widoczny w dużych aglomeracjach miejskich, powoduje coraz częstsze tworzenie się zatorów ulicznych (fot. 1), w efekcie czego następuje wzrost emisji zanieczyszczeń transportowych (głównie tlenku węgla, tlenków azotu, niemetanowych lotnych związków organicznych (NMLZO), polichlorowanych biofenyli (PCB), związków ołowiu, pyłów i dwutlenku siarki – rys. 1), jednakże ich stężenia są ciągle jeszcze niższe niż w dużych aglomeracjach europejskich, co jednak nie zwalnia nas z poszukiwania sposobów ich ograniczania [7].

Podwyższone stężenia zanieczyszczeń powietrza rejestruje się zwłaszcza przy przelotowych szlakach transportowych o dużym natężeniu ruchu pojazdów, szczególnie w miejscach, gdzie lokalne warunki zabudowy dróg uniemożliwiają szybkie rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń (brak przewietrzania), np. w rejonach o wysokiej zwartej zabudowie. Ze względu na fakt, że około 70–80% mieszkańców Europy żyje w dużych aglomeracjach miejskich, duży odsetek ludzi jest narażonych



Rys. 1. Procentowy udział zanieczyszczeń atmosfery pochodzących od transportu drogowego w 2003 r. [10]

na szkodliwe oddziaływanie toksycznych składników spalin samochodowych.

Należy podkreślić, że zanieczyszczenia emitowane przez pojazdy nie tylko bezpośrednio pogarszają jakość powietrza w rejonach o intensywnym ruchu drogowym, ale także biorą czynny udział w reakcjach fotochemicznych zachodzących w atmosferze, wpływając na wzrost stężeń ozonu w warstwie troposfery.

Zanieczyszczenia łagodzi postępująca zmiana struktury zużywanych benzyn na korzyść benzyn bezołowiowych poprzez wzrost udziału nowych samochodów w ogólnej ilości używanych pojazdów.

Ochrona prawna powietrza przed zanieczyszczeniami

Ograniczanie nadmiernej emisji szkodliwych substancji do środowiska można realizować na wiele sposobów, ale wydaje się, że podstawowym jest tworzenie odpowiedniego systemu przepisów prawnych regulujących to negatywne zjawisko.

Zgodnie z ustawą Prawo ochrony środowiska (Dz. U. 2001, Nr 62, poz. 627, art. 85 [14]) ochrona powietrza atmosferycznego polega na zapewnieniu jak najlepszej jego jakości, w szczególności przez:

- utrzymanie poziomów szkodliwych substancji w powietrzu poniżej poziomów dopuszczalnych lub co najmniej na tych poziomach,
- zmniejszenie poziomów substancji w powietrzu, co najmniej do dopuszczalnych, gdy nie są one dotrzymane.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z 3 marca 2008 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2008, Nr 47, poz. 281 [11]) podaje:

1) Dopuszczalne poziomy niektórych substancji w powietrzu zróżnicowane ze względu na:



Fot. 1. Widok na ruch drogowy na jednym ze skrzyżowań we Wrocławiu

- a) ochronę zdrowia ludzi dla:
- uzdrowisk i obszarów ochrony uzdrowiskowej w rozumieniu ustawy z dnia 28 lipca 2005 r. o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz o gminach uzdrowiskowych (Dz.U. 2005, Nr 167, poz. 1399 z późniejszymi zmianami [15]),
 - pozostałego terenu kraju.
- b) ochronę roślin.
- 2) Poziomy docelowe dla niektórych substancji w powietrzu zróżnicowane ze względu na ochronę zdrowia ludzi i ochronę roślin.
- 3) Poziomy celów długoterminowych dla niektórych substancji zróżnicowane ze względu na ochronę zdrowia ludzi i ochronę roślin.
- 4) Alarmowe poziomy niektórych substancji w powietrzu, których nawet krótkotrwałe przekroczenie może powodować zagrożenie dla zdrowia ludzi (tab. 1).
- 5) Warunki, w jakich ustala się poziom substancji, takie jak temperatura i ciśnienie.
- 6) Oznaczenie numeryczne substancji pozwalające na jednoznaczny ich identyfikację.
- 7) Okresy, dla których uśrednia się wyniki pomiarów.
- 8) Dopuszczalną częstość przekraczania poziomów dopuszczalnych i docelowych.
- 9) Terminy osiągnięcia poziomów o których mowa w pkt. 1–3 dla niektórych substancji w powietrzu.
- 10) Marginesy tolerancji dla niektórych poziomów dopuszczalnych wyrażone jako malejąca wartość procentowa w stosunku do dopuszczalnego poziomu substancji w kolejnych latach.

Tabela 1. Alarmowe poziomy niektórych substancji w powietrzu, oznaczenie numeryczne tych substancji oraz okresy, dla których uśrednia się wyniki pomiarów [11]

Lp.	Nazwa substancji (numer CAS) ^{a)}	Okres uśredniania pomiarów [h]	Alarmowy poziom substancji w powietrzu [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1.	Dwutlenek azotu (10102-44-0)	1	400 ^{b)}
2.	Dwutlenek siarki (7446-09-5)	1	500 ^{b)}
3.	Ozon ^{c)} (10028-15-6)	1	240
4.	Pył zawieszony PM10	24	200 ^{d)}

a) oznaczenie numeryczne substancji według *Chemical Abstracts Service Registry Number*.

b) wartość występująca przez 3 kolejne godziny w punktach pomiarowych reprezentujących jakość powietrza na obszarze co najmniej 100 km² albo na obszarze strefy zależnie od tego, który z obszarów jest mniejszy.

c) wartość progowa informowania społeczeństwa o ryzyku wystąpienia poziomów alarmowych wynosi 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

d) wartość progowa informowania społeczeństwa o ryzyku wystąpienia przez kolejne 3 doby niekorzystnych skutków zdrowotnych.

Wpływ zanieczyszczeń na jakość powietrza

W krajach Unii Europejskiej około 350 tys. osób umiera każdego roku na choroby spowodowane nadmiernym zanie-

czyszczeniem powietrza. Aby zapobiec tej sytuacji w 2005 r. Komisja Europejska postulowała wprowadzenie dyrektywy, która zastryż aktualne przepisy w zakresie dopuszczalnych poziomów substancji szkodliwych występujących w powietrzu. Celem nowych restrykcji było zmniejszenie liczby zgonów nawet o 60 tys. w ciągu roku oraz ograniczenie wydatków na ochronę zdrowia. Ostatecznie, Parlament Europejski złagodził część propozycji Komisji Europejskiej. Przyjęta dyrektywa zezwala, aby poziom koncentracji największych cząstek pyłów (PM10) wynosił 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rocznie, począwszy od 2010 r. Natomiast maksymalny poziom koncentracji dziennej najbardziej szkodliwych pyłów o wielkości do 2,5 mikronów (PM2,5) ma wynosić 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Liberalizacja dyrektywy została skrytykowana zarówno przez Komisję Europejską, jak i ekologów, którzy stwierdzili, że już limity zawarte w projekcie były większe niż zaleca Światowa Organizacja Zdrowia (WHO). Tylko w przypadku naszego kraju oszacowano, że przewidywane koszty niezbędnych inwestycji związanych ze wdrożeniem tej dyrektywy wyniosą około 50 mld zł. Polska jest zaliczana do czołówki państw o największym poziomie koncentracji pyłów zawieszonych (PM10) na obszarach miejskich, a aglomerację śląską zaliczono do grupy obszarów zamiejskich, w których przekroczone są dopuszczalne wartości zarówno dzienne, jak i roczne [5].

Zanieczyszczenie powietrza jest uznawane za bardzo groźne oddziaływanie ze względu na swą wyjątkową zdolność do rozprzestrzeniania na dużych obszarach i łatwość skażenia wszystkich komponentów środowiska. Według Światowej Organizacji Zdrowia skład chemiczny powietrza zanieczyszczonego może negatywnie wpływać na zdrowie ludzi, stan roślin i zwierząt oraz inne elementy środowiska (woda i grunt) [5].

Spaliny samochodowe są dużo bardziej szkodliwe dla ludzi niż zanieczyszczenia emitowane z przemysłu, ponieważ zanieczyszczenia pochodzące od środków transportu rozprzestrzeniają się w dużych stężeniach na niskich wysokościach w bezpośrednim sąsiedztwie osiedli ludzkich.

W krajach OECD (Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju) pojazdy samochodowe są największym źródłem skażenia środowiska, obciążając je ponad 15 tysiącami różnych szkodliwych związków chemicznych [9]:

- 80% tlenku węgla,
- 63% tlenków azotu,
- 50% substancji chemicznych pochodzenia organicznego,
- 10–25% pyłów zawieszonych w powietrzu,
- 6,5% dwutlenku siarki.

Badania pokazują, że w tunelach, wielopoziomowych parkingach samochodowych, czy też w okolicach stacji benzynowych, stężenie zanieczyszczeń jest w niektórych przypadkach nawet 40 razy wyższe niż średnia dla całego obszaru miejskiego. Badania przeprowadzone w Londynie jednoznacznie pokazują, że stężenia niektórych zanieczyszczeń są kilkakrotnie wyższe wewnątrz samochodu niż stężenia w jego otoczeniu [9]. Dlatego też, kierowca samochodu po przejechaniu samochodem danego odcinka w mieście jest dużo bardziej narażony na wyższe stężenie tlenku węgla we krwi niż rowerzysta, który pokonał ten sam odcinek trasy. Na przykład autobus, który emituje niewiele większą ilość spalin w porównaniu do samochodu osobowego, przewozi tyle osób ile 70 samochodów w mieście i 30 samochodów poza miastem. Dlatego transport zbiorowy jest znacznie mniej szkodliwy dla środowiska niż transport indywidualny. Jeszcze

lepszy jest rower, który nie emituje żadnych zanieczyszczeń. Większość przejazdów samochodem na terenie miast, odbywa się średnio na odcinku około 5–7 km, a taką odległość na rowerze może pokonać niemal każdy.

W przypadku trasy drogowej przebiegającej przez obszary leśne powoduje to usychanie drzew pod wpływem zaburzenia stosunków wodnych na danym terenie i szkodliwego oddziaływania spalin. Większość emitowanych spalin i pyłów osiada w pobliżu drogi. Jak pokazują badania, w odległości około 30–50 m od trasy poziom zanieczyszczeń zawartych w gruncie spada, ale i tak są one wykrywane nawet w odległości 500 metrów od drogi [13].

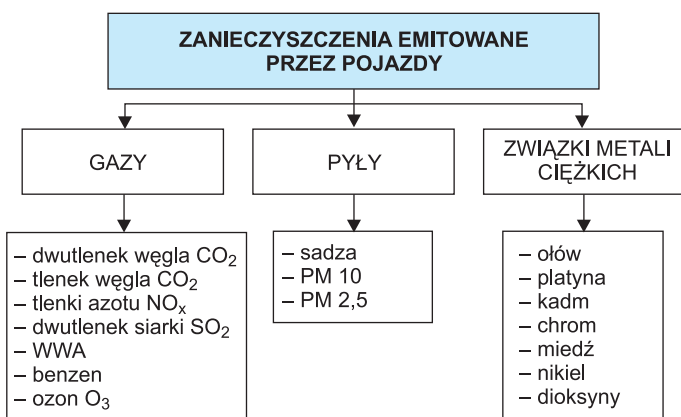
Szacuje się, że około 15 mln ha powierzchni Polski, czyli niemal połowa terytorium kraju, pozostaje bezpośrednio pod negatywnym wpływem działania spalin pyłów. Natomiast cała powierzchnia kraju jest stale zanieczyszczana w wyniku pośredniego działania substancji emitowanych z różnych form transportu. W tabeli 2 przedstawiono poziom emisji niektórych zanieczyszczeń powietrza w Polsce w 2003 r. pochodzących z transportu drogowego [13].

Tabela 2. Poziom emisji podstawowych zanieczyszczeń powietrza pochodzących z transportu drogowego w Polsce w 2003 r. [4]

Lp.	Rodzaj zanieczyszczeń	Poziom emisji [t]
1.	Dwutlenek węgla	28 989,00
2.	Tlenek węgla	609,30
3.	Tlenki azotu	234,50
4.	Niemetanowe lotne związki organiczne	111,10
5.	Cząstki stałe	14,94
6.	Metan	4,20
7.	Dwutlenek siarki	2,52
8.	Podtlenek azotu	1,94
9.	Ołów	0,021

Rodzaje zanieczyszczeń i ich oddziaływanie

Generalnie do substancji, które w największym stopniu zanieczyszczają powietrze, zalicza się: dwutlenek siarki (SO_2), tlenki azotu (NO_x), tlenek węgla (CO), ozon (O_3), związki metali ciężkich i pyły. Natomiast wpływ zanieczyszczeń transpor-



Rys. 2. Wykaz zanieczyszczeń emitowanych przez pojazdy

towych na środowisko przyrodnicze jest związany przede wszystkim z emisją do atmosfery tlenków azotu, tlenków węgla i metali ciężkich (ołów, platyna).

Skutki zdrowotne zanieczyszczenia powietrza są różnorodne i zależą od rodzaju szkodliwej substancji, czasu działania, dawki, odporności lub podatności organizmu (czyli indywidualnych predyspozycji osobniczych), itd.

Poniżej przedstawiono opis podstawowych zanieczyszczeń emitowanych przez samochody i ich wpływ na zdrowie człowieka (rys. 2).

Gazy

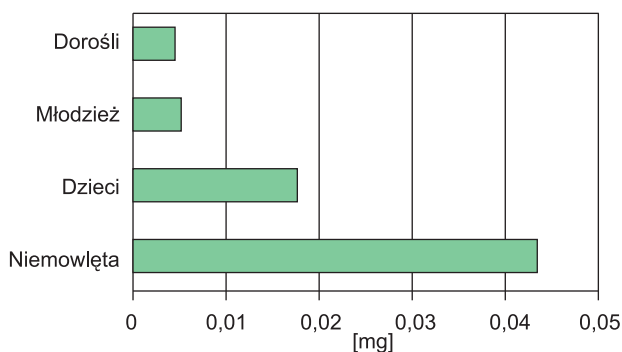
Dwutlenek węgla (CO_2) – jest głównym gazem cieplarnianym i przy niewielkich już jego stężeniach powoduje przyspieszenie oddechu i akcji serca. Stężenia rzędu 8–10% powodują: bóle i zawroty głowy, nudności, wymioty, zaburzenia wzrokowe, szum w uszach, zaburzenia świadomości, duszność, arytmie serca, tachykardię, itp. Przy dłuższym przebywaniu gaz ten powoduje utratę przytomności, a przy stężeniu około 40% – powoduje obrzęk płuc i w efekcie śmierć [13].

Tlenek węgla (CO) jest gazem silnie toksycznym, przyczynia się do powstawania smogu fotochemicznego. Dodatkowo posiada bardzo dobrą zdolność do łączenia się z hemoglobina (200–250 razy większą niż tlen), dlatego powoduje niedotlenienie organizmu i blokuje transport tlenu we krwi poprzez powstanie karboksyhemoglobiny ($\text{CO} + \text{Hb} \rightarrow \text{COHb}$). Powstały toksyczny związek jest trwalszy niż służąca do transportu tlenu z płuc do tkanek oksyhemoglobina (połączenie tlenu z hemoglobina). Tlenek węgla powoduje u człowieka problemy oddechowe, sercowe, bóle i zawroty głowy, omdlenia, oszołomienia, nudności oraz kłopoty ze wzrokiem, w większym stężeniu doprowadza nawet do śmierci. W miejscach dużego i zamkniętego ruchu samochodowego, np. w tunelach, na parkingach wielopoziomowych stwierdza się wysokie stężenie tego gazu [13], [17].

Tlenki azotu (NO_x) – emitowane są do atmosfery, gdzie wchodzi w reakcje z parą wodną, po czym powracają na powierzchnię ziemi w postaci tzw. kwaśnych deszczy, które niszczą rośliny, powodują zakwaszenie wód i gruntów. Tlenki azotu są także odpowiedzialne za tworzenie się związków rakotwórczych i przyczyniają się do powstawania smogu fotochemicznego. W organizmie ludzkim tlenek azotu szybko reaguje z hemoglobina, a w tkankach utlenia się do dwutlenku azotu NO_2 , który już w niewielkich stężeniach wywołuje podrażnienie dróg oddechowych, natomiast przy wyższych stężeniach w powietrzu może prowadzić nawet do osłabienia tętna, działa również drażniąco na błony śluzowe, oczy, płuca, powoduje nieodwracalne zmiany w systemie sercowo-naczyniowym, wywołuje patologiczne stany niepokoju, zapalenie oskrzeli i płuc czy nawet śmiertelne zatrucia. Tlenek azotu w połączeniu z parą wodną tworzy kwas azotowy, który wnikać w głąb dróg oddechowych niszczy tkankę płucną, powodując chroniczne choroby. Tlenki azotu reagując z aminami lub amidami tworzą rakotwórcze substancje zwane nitrozaminami, które powodują przemianę hemoglobiny w methemoglobinę i tym samym upośledzają proces rozprowadzania tlenu w organizmie. Dodatkowo tlenki azotu zaburzają metabolizm witaminy A, karotenu i białek oraz obniżają poziom wolnych kwasów tłuszczowych we krwi [5], [13].

Dwutlenek siarki (SO₂) – emitowany do atmosfery reaguje z parą wodną tworząc kwas siarkowy, następnie powraca na ziemię w postaci kwaśnego deszczu lub jest składnikiem tzw. kwaśnej mgły. Kwaśne deszcze zakwaszają grunty powodując ich wyjałowienie i wypłukiwanie składników odżywczych. Z tak zanieczyszczonego gruntu uwalniane są metale ciężkie, które przy niskim pH są rozpuszczane i następnie przedostają się do systemu korzeniowego roślin, dodatkowo zanieczyszczając wody. Zakwaszenie gruntów jest szczególnie szkodliwe w ekosystemach leśnych. W wyniku tak zwanej kwaśnej depozycji dwutlenek siarki (połączony z wodą zawartą we mgle) uszkadza bezpośrednio rośliny i drzewa. Powoduje m.in. wybielenie liści i związane z nim zaburzenia fotosyntezy. Kwaśne deszcze wpływają niekorzystnie również bezpośrednio na elewacje budynków. Dwutlenek siarki działa drażniąco na drogi oddechowe powodując skurcz oskrzeli, a spotykając wilgotną tkankę podrażnia ją i następnie niszczy. Dlatego wprowadzenie na rynek paliw bezsiarkowych może obniżyć emisję tego gazu do atmosfery [13], [17].

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) – powstają podczas niepełnego spalania paliwa. Jest to cała grupa związków, a najbardziej znanym, toksycznym i rakotwórczym jest benzo(a)piren. Niepożądane działanie cząsteczek WWA polega na tym, że nie są one wychwytywane przez włoski w komórkach płucnych, ponieważ ich wielkość jest poniżej 1 μm. Szczególnie narażone na nie są drogi oddechowe dzieci. W stosunku do masy ciała, dzieci wdychają pięciokrotnie więcej kancerogennych cząstek niż dorośli, a w przypadku noworodków nawet dziesięciokrotnie więcej zanieczyszczeń niż dorośli, ponieważ wdychają więcej powietrza na kilogram masy ciała (rys. 3) [13].



Rys. 3. Poziom wchłaniania cząsteczek WWA w stosunku do masy ciała ludzkiego [12]

Benzen – jest domieszką do paliw w wielkości około 3%. W związku, że jest substancją bardzo lotną, to stosunkowo łatwo wydostaje się ze zbiorników zwłaszcza przy tankowaniu paliwa, a jego resztki są także zawarte w spalinach. Do organizmu człowieka dostaje się głównie drogą oddechową, ale także w pożywieniu lub przez skórę. Cechą charakterystyczną jest szybki rozkład, łatwe wydalanie i powstawanie szeregu bardzo groźnych toksyn, m.in. fenolu, które mają trzy główne działania, tj. atakują system tworzenia krwi (krwinek czerwonych, białych i płytek krwi), powodują uszkodzenia chromosomów, a także materiału genetycznego. Ponadto zakłócanie

systemu budowy komórek krwi prowadzi do białaczki, przy czym jej rozwój następuje około 5–10 lat po zatruciu benzenu. Do innych negatywnych działań benzenu można zaliczyć uszkodzenia centralnego układu nerwowego, uszkodzenia płodu, opóźnienia w rozwoju, uszkodzanie systemu odpornościowego [13].

Ozon (O₃) – jest to cząsteczka tlenu złożona z trzech jego atomów i jest naturalnym składnikiem atmosfery. W górnych warstwach atmosfery tworzy warstwę chroniącą przed szkodliwym promieniowaniem ultrafioletowym, dlatego też występuje tak duży problem ekologiczny w związku z tworzeniem się tzw. dziury ozonowej głównie nad biegunami. Natomiast przy powierzchni ziemi ozon w naturalnej postaci praktycznie nie występuje ale jest bardzo szkodliwy dla organizmów żywych. Ozon nie jest bezpośrednim składnikiem spalin samochodowych, lecz powstaje w wyniku skomplikowanej reakcji fotochemicznej z udziałem tlenków azotu, tlenku węgla i węglowodorów, pochodzących ze spalin silnikowych. Do przeprowadzenia tej reakcji niezbędna jest energia słoneczna, dlatego też stężenie ozonu gwałtownie wzrasta w słoneczne i gorące dni. Niepożądane działanie ozonu wynika z dodatkowego atomu tlenu, który jest związany bardzo nietrwale i łatwo uwalnia się jako bardzo reaktywny, wolny rodnik, który szybko reaguje z innymi substancjami. Ozon w dużym stężeniu w atmosferze może uszkadzać rośliny, wnikając do wnętrza tkanek liści przez aparaty szparkowe, które otwierają się szerzej i pozostają otwarte dłużej niż zwykle. Ułatwia to wniknięcie do wnętrza liścia kwaśnych deszczy, co z kolei prowadzi do uszkodzeń i wypłukiwania składników odżywczych oraz zakłócenia procesu fotosyntezy i innych funkcji metabolicznych wewnątrz liścia. Takie działanie w efekcie osłabia rośliny i znacznie zmniejsza ich odporność [13].

W organizmie człowieka ozon atakuje głównie układ oddechowy poprzez przenikanie do oskrzelików i pęcherzyków płucnych. Następnie niszczy ich delikatną tkankę i uszkadza włoski na ich ściankach oraz blaszki płucne, które są odpowiedzialne za ochronę przed toksynami, wirusami i bakteriami. W efekcie jest przyczyną obrzęków płuc, rozedmy, astmy i alergii. Ma również niekorzystny wpływ na oczy, np. powoduje zapalenie spojówek. W większych stężeniach powoduje bóle głowy, a przy dłuższym jego wdychaniu może spowodować zgon. Najnowsze badania pokazują jego wpływ na powstawanie nowotworu płuc. Na przykład amerykańskie badania epidemiologiczne na grupie osób, zachowujących szczególnie zdrowy tryb życia ze względów religijnych, wykazały znacznie częstsze występowanie raka płuc u osób mieszkających w rejonach o wysokim skażeniu ozonem (powyżej 200 μg/m³) [1]. Ozon ma również negatywny wpływ na niektóre materiały budowlane, np. uszkadza farby, tworzywa sztuczne, materiały tekstylne. Wchodząc w reakcję chemiczną z dwutlenkiem siarki i dwutlenkiem azotu prowadzi do przyspieszenia procesów korozji i degradacji wielu materiałów budowlanych.

Pyły

Najgroźniejszymi pyłami są bardzo drobne cząsteczki **sady**, czyli czystego węgla, które z uwagi na mały rozmiar przedostają się do płuc. Drobiny czystego węgla są bardzo

reaktywne i dlatego na ich powierzchni łatwo osadzają się różnorodne toksyczne substancje, w tym rakotwórcze węglowodory i metale ciężkie. W efekcie pyły uczestniczą w transportowaniu węglowodorów, osadzają się na powierzchni liści, pochłaniając światło. Mogą zatykać aparaty szparkowe i utrudniać przebieg fotosyntezy. U człowieka podrażniają oczy, skórę i drogi oddechowe (np. powstaje pylica płuc). Głównym źródłem emisji pyłów z transportu są silniki Diesla. Zwiększające się ceny paliw spowodowały większe zainteresowanie nabywaniem pojazdów z silnikami wysokoprężnymi. Mimo stosowania zawansowanych technicznie silników, problem emisji pyłów z samochodów napędzanych silnikiem Diesla stale narasta. Pomiar stężenia pyłów, prowadzone przez Wojewódzki Instytut Ochrony Środowiska (WIOŚ) w Warszawie, pokazały, że stężenie pyłów przy głównych drogach jest wielokrotnie wyższe niż przy ulicach o mniejszym natężeniu ruchu. Na przykład dla porównania, w Warszawie w 2000 r. w rejonie al. Jerozolimskich stężenie pyłów wynosiło $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$, podczas gdy na mniej wówczas zatłoczonej ul. Bora Komorowskiego tylko $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [13].

Związki metali ciężkich

Ołów – pochłaniany przez rośliny, następnie spożywany przez człowieka i zwierzęta powoduje choroby. Szkodliwość ołowiu polega na tym, że wchodzi w reakcję z czerwonymi krwinkami, powodując zaburzenia procesu krwiotwórczego oraz zaburzeniu funkcji ośrodkowego i obwodowego układu nerwowego. Może również zakłócać pracę wątroby, serca i nerek. Ma także wpływ na obniżenie sprawności układu immunologicznego, głównie poprzez mniejszą odporność na zakażenia bakteryjne. Związki ołowiu w dużych dawkach powodują zaburzenia neurologiczne, np. uszkodzenia mózgu. Stwierdzono także, że duże jego ilości wywołują agresję, a długotrwałe działanie powoduje np. opóźnienie w rozwoju umysłowym dzieci. Od czasu wprowadzenia do użytku benzyny bezołowiowej emisja ołowiu ze środków transportu znacznie spadła, jednakże używanie katalizatorów powoduje emisję innego szkodliwego metalu ciężkiego, tj. platyny [8], [13].

Platyna – katalizatory zainstalowane w nowych modelach samochodów powodują zanieczyszczenie powietrza platyną, czyli innym szkodliwym metalem ciężkim. Platyna działa teratogennie (uszkadza płód) i jest wydalana z moczem, co prowadzi m.in. do uszkodzenia nerek. Sole platyny, nawet w małych ilościach, są silnymi alergenami [8].

Dioksyny – jest to grupa najbardziej toksycznych związków powstających, m.in. przy spalaniu benzyn. Na przykład są one 10 000 razy mocniejsze niż cyjanek potasu. Z powodu szkodliwości tak małych stężeń badania są kosztowne i możliwe tylko za pomocą najbardziej zaawansowanej aparatury. Dlatego wiedza naukowa na temat dioksyn nie jest jeszcze wystarczająca. Wiadomo, że przy długotrwałym oddziaływaniu powodują nowotwory, uszkodzenia płodu, bezpłodność, zakłócenia układu rozrodczego zarówno u ludzi, jak i zwierząt. Podejmowane są próby, np. przez amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (US EPA) ustalenia bezpiecznej dla zdrowia człowieka dawki dioksyn, ale jak do tej pory nie przyniosły one pożądanych efektów.

Wpływ transportu drogowego na powstawanie nowotworów

Spaliny silnikowe zawierają wiele substancji określanych jako kancerogenne, czyli powodujących przy długotrwałym działaniu rozwój komórek rakowych. Najgroźniejsze z nich to benzen, pyły i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). W mieście łączne stężenie kancerogenów w powietrzu jest przeciętnie pięć razy wyższe niż poza miastem. Spaliny samochodowe odpowiadają za około 60–70% łącznego ryzyka powstawania nowotworów z powodu zanieczyszczeń powietrza, a największy udział mają pyły (58%), benzen (7,5%) i WWA (1,9–8,6%) [13].

Według badań branży ubezpieczeniowej przeprowadzonych w Hamburgu, u mieszkańców ulic o ruchu powyżej 30 tys. pojazdów dziennie choroby nowotworowe występują o 34% częściej niż przeciętnie. Dla niektórych schorzeń, takich jak rak jelita cienkiego czy jelita grubego, ryzyko jest aż o 68% wyższe.

Szczególnie narażone na działanie spalin są dzieci, a wynika to z następujących faktów [13]:

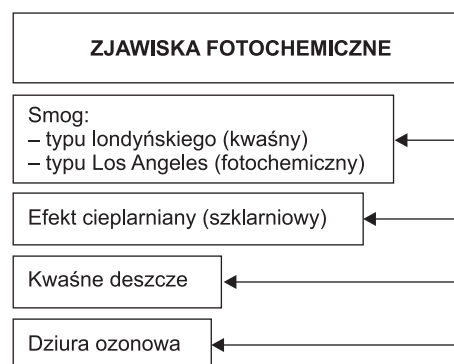
- wdychają one więcej spalin niż dorośli, gdyż są niższe i ich usta znajdują się na niższej wysokości,
- mają one w stosunku do masy ciała znacznie większą aktywność oddechową w porównaniu do dorosłych,
- ich system odpornościowy nie jest jeszcze całkowicie wykształcony i reagują znacznie intensywniej na działanie substancji trujących i drażniących.

Z uwagi na powyższe, zachorowania dzieci na nowotwory krwi są prawie dwukrotnie częstsze w miastach niż na wsi [12].

Wpływ emisji spalin na powstawanie zjawisk fotochemicznych

Wysokie stężenie spalin samochodowych w powietrzu może prowadzić do powstania następujących zjawisk fotochemicznych (rys. 4) [13]:

- **Smog typu londyńskiego (kwaśny)** – występuje w okresie zimowym przy temperaturze między -3 a $+5^\circ\text{C}$. Spowodowany jest głównie zanieczyszczeniem powietrza wskutek emisji dwutlenku siarki i pyłów pochodzących ze spalania węgla i produktów naftowych. Spalanie węgla wprawdzie jest główną przyczyną powstawania tego typu smogu, jed-



Rys. 4. Schemat obrazujący różne zjawiska fotochemiczne powstające w wyniku dużego stężenia spalin samochodowych

nakże emisja spalin z transportu również przyczynia się do powstawania i wspomagania tego zjawiska. Zanieczyszczenia w połączeniu z mgłą powodują powstawanie kropelek kwasu siarkowego zawieszonych w powietrzu. Smog londyński powoduje ograniczenie widoczności nawet do kilkudziesięciu metrów, a u człowieka wywołuje duszności, podrażnia oczy i skórę, zaburza pracę układu krążenia. Wpływa na rozwój zjawisk korozyjnych w stosunku do konstrukcji budowlanych.

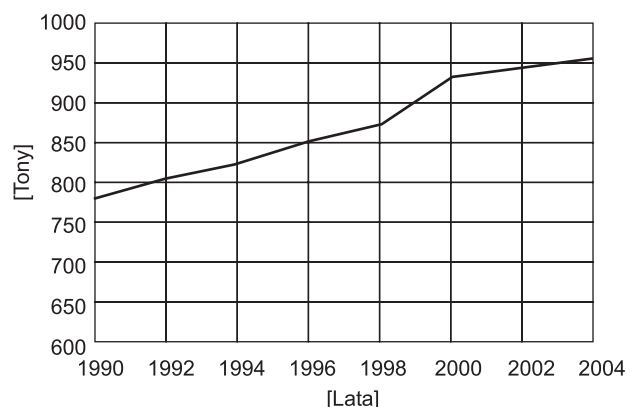
- **Smog typu Los Angeles (fotochemiczny)** – pojawia się zazwyczaj w miesiącach letnich, przy temperaturze powyżej +26°C. Powstaje w troposferze, najniższej warstwie atmosfery, w momencie wystąpienia w niej bardzo wysokich stężeń ozonu, tlenku węgla, dwutlenku siarki, tlenków azotu, a także drobnych pyłów. Pod wpływem nasłonecznienia niektóre zanieczyszczenia powietrza wchodzi w reakcje fotochemiczne, tworząc toksyczne związki wywołujące nowotwory i mutacje genetyczne, np. bardzo trujący gaz, powstający w wyniku reakcji tlenków azotu z węglowodorami, tj. azotan nadtlenku acetylu (PAN). Powstaje głównie na obszarach mocno zurbanizowanych i gęsto zaludnionych. Stężenia zanieczyszczeń w smogu fotochemicznym są zazwyczaj bardzo wysokie i przekraczają wielokrotnie dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń powietrza zalecane przez WHO.

- **Efekt cieplarniany (szklarniowy)** – spowodowany jest przede wszystkim nadmierną emisją gazów, takich jak dwutlenek węgla, metan, tlenki azotu, freon, a także niektórych rodzajów węglowodorów. Promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni Ziemi jest przez nią pochłaniane (niewielka część zostaje odbita) i zamieniane na ciepło. Ogrzana powierzchnia Ziemi emituje promieniowanie cieplne, które w dużym stopniu jest pochłaniane przez zawarte w atmosferze gazy cieplarniane. Taka sytuacja powoduje stopniowe ocieplenie klimatu na Ziemi. Według Światowej Fundacji na Rzecz Dzikiej Przyrody (WWF) w ciągu ostatnich stu lat średnia temperatura na świecie wzrosła o 0,7°C, co spowodowało zwiększone topnienie lodu na biegunach. Zgodnie z prognozami, szacuje się, że podniesienie średniej temperatury na Ziemi o 2°C spowoduje stopnienie lodowca pokrywającego Grenlandię. Przewiduje się, że do końca tego stulecia temperatura może wzrosnąć nawet o 5°C w strefie tropikalnej, a w strefie umiarkowanej (do której zalicza się Polska) o 8°C, co może spowodować jeszcze większe natężenie klęsk żywiołowych. Topnienie lodowców stwarza realne zagrożenie podniesienia się poziomu mórz i oceanów, a w efekcie zalanie wodą niżżej położonych łądów i depresji nadmorskich (np. Florydy, delty Missisipi w USA, Holandii, Belgii, delty Nilu, Bangladeszu lub polskich Żuław). Według WWF podniesienie się poziomu Bałtyku może zagrozić zalaniem prawie 2000 km² powierzchni łądowej Polski, w wyniku czego ucierpi na tym około 20 ośrodków wypoczynkowych, pięć dużych portów oraz domy 120 tys. osób żyjących na zagrożonych obszarach. Uznaje się, że efekt cieplarniany jest przyczyną huraganów, powodzi i suszy o niespotykanych dotychczas rozmiarach. Według danych Europejskiej Agencji Środowiska w latach dziewięćdziesiątych podwoiła się liczba katastrof klimatycznych. Straty wywołane tymi zjawiskami przekroczyły w 2005 r. 200 mld

dolarów. Skutki efektu cieplarnianego dotyczą ludzkość już dzisiaj. Jak wspomniano wcześniej, brak ograniczenia emisji gazów przyczyni się do dalszego nasilania się katastrofalnych skutków efektu cieplarnianego [16].

Na międzynarodowej konferencji klimatycznej w Kyoto podpisano porozumienie mające doprowadzić do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Protokół ten miał być ratyfikowany przez co najmniej 55 państw będących stronami konwencji, które są odpowiedzialne za co najmniej 55% światowej emisji dwutlenku węgla w 1990 r. Kraje te średniorocznie w latach 2008–2012 muszą obniżyć emisję gazów cieplarnianych o 5,2% w stosunku do poziomu wyjściowego, głównie z 1990 r., a w przypadku Polski co najmniej w stosunku do 1988 r. Protokołu z Kyoto nie podpisały Stany Zjednoczone, Australia i Arabia Saudyjska.

Według organizacji Greenpeace, nawet natychmiastowe zaprzestanie emisji gazów cieplarnianych nie spowoduje nagłej poprawy sytuacji z powodu długiego czasu „życia” gazów w atmosferze. Protokół z Kyoto prawdopodobnie nie spełni pokładanych w nim oczekiwań, jako że potrzeby zmniejszenia emisji według Międzypaństwowej Komisji ds. Zmian Klimatycznych sięgają około 60–70%. Protokół ten nie obejmuje państw szybko rozwijających się jak Chin, Indii czy Brazylii, w których emisja gazów cieplarnianych jest na wysokim poziomie i dalej szybko rośnie.



Rys. 5. Emisja dwutlenku węgla z transportu drogowego w 25 krajach Unii Europejskiej oraz Islandii, Norwegii i Turcji w latach 1990–2004 [3]

Na rysunku 5 pokazano występujący stały wzrost emisji dwutlenku węgla z transportu w latach 1990–2004. Niezbędne jest zatem ograniczenie nasilenia transportu drogowego, stworzenie priorytetu dla kolei, dróg wodnych, transportu zbiorowego i rowerów.

Metody ochrony przed zanieczyszczeniem powietrza

Podobnie, jak w przypadku hałasu transportowego, poziom zanieczyszczenia powietrza zależy od natężenia ruchu, jego płynności, udziału pojazdów ciężkich. Z problemem ponadnormatywnych zanieczyszczeń powietrza pochodzących ze spalin samochodowych mamy przeważnie do czynienia w wielkich aglomeracjach miejskich, gdzie natężenie

ruchu, a co za tym idzie, zatory transportowe są największe. Problem przekraczania wartości dopuszczalnych na trasach zamiejskich dotyczy tylko terenów przyległych bezpośrednio do drogi. Jednak w przypadku konieczności przeprowadzenia trasy transportowej przez obszar cenny przyrodniczo, należy zaprojektować również odpowiednie zabezpieczenia chroniące otoczenie przed negatywnym oddziaływaniem spalin [6].

W drogownictwie na etapie projektowania drogi można stosować rozwiązania mogące zabezpieczać powietrze przed nadmierną emisją zanieczyszczeń, pochodzącą od pojazdów poruszających się po trasach transportowych, w oparciu o prognozowany poziom zanieczyszczeń powietrza na danej drodze. O stopniu i zasięgu uciążliwości analizowanego przedsięwzięcia decyduje przede wszystkim zanieczyszczenie powietrza tlenkami azotu. W celu ochrony obszarów otaczających trasy transportowe przed zanieczyszczeniem powietrza stosuje się następujące elementy (rys. 6):

- właściwe ukształtowanie niwelety tak, aby uniknąć dużych pochyłości podłużnych,
- zastosowanie pasów zieleni izolacyjnej, która spełnia wiele funkcji, m. in. produkuje tlen i usuwa dwutlenek węgla z otoczenia. Przeciętnie jedno duże drzewo produkuje w ciągu doby tlen, który wystarcza dla kilku osób i może przetworzyć tyle samo dwutlenku węgla, ile emitują dwa domy jednorodzinne. Ze względu na zanieczyszczenie powietrza, produkcja tlenu na terenach bardzo zurbanizowanych może spaść nawet o 90%. Dlatego stosowanie pasów zieleni absorbuje zanieczyszczenia powietrza, a także nieprzyjemne zapachy oraz zmniejsza poziom hałasu.
- prowadzenie, w przypadku gdy jest to możliwe, tras na estakadach, wiaduktach, wysokich nasypach, co wpływa korzystnie na przewietrzenie terenów sąsiadujących ze szlakiem transportowym,
- ograniczenie ruchu pojazdów ciężkich na rzecz np. transportu kolejowego,
- stosowanie osłon wykonanych z materiałów sztucznych i z zieleni (uciążliwości wynikające z emisji spalin przez pojazdy mechaniczne można minimalizować poprzez zastosowanie ekranów dźwiękochłonnych obsadzonych zielenią),
- prowadzenie dróg w tunelach.



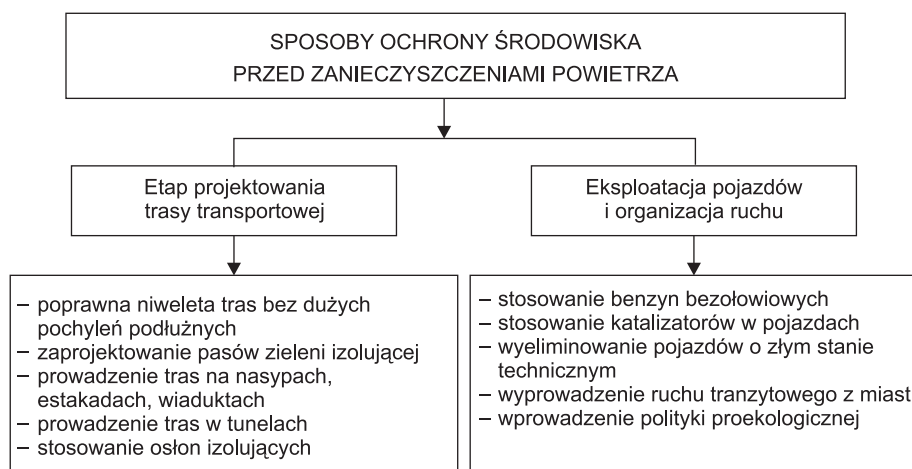
Fot. 2. Widok na ulicę wraz z roślinnością izolującą

Uciążliwości wynikające z emisji szkodliwych substancji z pojazdów można skutecznie minimalizować przez nasadzenia pasów zieleni, stanowiących barierę w rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń. Zieleń izolacyjna pełni również znaczącą rolę w poprawie mikroklimatu terenów zabudowanych (fot. 2). Zanieczyszczenia są skutecznie pochłaniane przez zwarte pasy zieleni o szerokości 10–20 m, z udziałem gatunków ziemi zielonych (pochłaniają one nawet ponad 60% pyłów).

W zapobieganiu zanieczyszczeniom powietrza atmosferycznego może pomagać także nowoczesna technologia. Na ograniczenie emisji szkodliwych substancji można wpływać poprzez, np. montaż katalizatorów w pojazdach, które wpływają na jakość spalania benzyny. W celu ograniczenia emisji tlenku ołowiu, należy stosować benzynę bezołowiową, a w przypadku ochrony przed tlenkiem węgla należy dążyć do wykluczenia z ruchu ulicznego pojazdów w złym stanie technicznym, które nie spalają całkowicie paliwa.

Podsumowanie

Problem zanieczyszczeń powietrza wokół tras transportowych jest zagadnieniem złożonym i zależy od wielu czynników, ale wydaje się, że poprawne rozwiązania projektowe tras transportowych, przy jednoczesnym wdrożeniu polityki proekologicznej polegającej np. na wprowadzeniu ulg podatkowych dla posiadaczy pojazdów z ekologicznymi silnikami hybrydowymi, czy też zachęcaniu do korzystania z transportu zbiorowego i jednocześnie zaostrzeniu przepisów odnośnie dopuszczalnych



Rys. 6. Schemat przedstawiający sposoby ochrony powietrza przed zanieczyszczeniami pochodzącymi od tras komunikacyjnych



Fot. 3. Widok na urządzenia monitorujące stan powietrza we Wrocławiu

substancji emitowanych przez pojazdy (wyeliminowanie pojazdów o złym stanie technicznym), mogą przyczynić się do poprawy jakości powietrza atmosferycznego. W wielu krajach europejskich, np. Dania, Szwecja, Islandia takie podejście powoduje, że nie mają one tak dużych problemów z ochroną środowiska.

Osiągnięcie znaczącej poprawy w dziedzinie ograniczania negatywnych skutków ruchu drogowego będzie możliwe, nie tylko poprzez zaostrzenie wymagań technicznych wobec środków transportu i zaostrzenie norm jakościowych dla paliw samochodowych, lecz poprzez podjęcie kompleksowych rozwiązań, obejmujących działania inwestycyjne, organizacyjne i prawno-ekonomiczne, w tym usprawnienie organizacji ruchu i stymulowanie rozwoju (modernizacji) transportu zbiorowego w miastach.

Konieczna jest m.in. szybka realizacja programu budowy obwodnic miast na najważniejszych trasach tranzytowych, co powinno spowodować ograniczenie ruchu pojazdów ciężkich w miastach, poprawiając płynność ruchu lokalnego i jednocześnie, redukując emisję i nadmierne zużycie paliw przez pojazdy zatrzymywane przez zatory uliczne. Niezbędna wydaje się również rozbudowa i zwiększenie przepustowości sieci publicznych dróg krajowych oraz nadanie odpowiedniej dynamiki programowi budowy tras ekspresowych i autostrad [2].

W samych miastach konieczne jest wdrażanie nowoczesnych zasad i metod organizacji ruchu pojazdów, gdyż zwłaszcza w większych aglomeracjach miejskich staje się to warunkiem ich prawidłowego funkcjonowania. Konieczne jest ponadto tworzenie preferencji dla rozwoju w miastach systemów lokalnego transportu publicznego (np. linii tramwajowych, metra) oraz wydzielonych tras rowerowych, a w przypadku przewozów towarów i ludzi na większe odległości opracowanie i wdrożenie systemu bodźców prawno-ekonomicznych zachęcających do korzystania ze środków transportu bardziej przyjaznych środowisku. Istnieje również potrzeba odwrócenia relacji cenowych dla benzyn ołowiowej i bezołowiowej, na korzyść tej ostatniej [7].

Aby dokonać analizy w zakresie możliwych do zastosowania rozwiązań ochronnych, przed rozpoczęciem budowy tra-

sy transportowej należy wykonać raport oddziaływania danej inwestycji na środowisko. Następnie po oddaniu drogi do eksploatacji, jej zarządca może być zobowiązany do porównania stanu prognozowanego ze stanem faktycznym, wynikającym z użytkowania danej trasy transportowej. Do takich porównań służą analizy porealizacyjne, przeglądy ekologiczne i monitoring środowiska (fot. 3).

Bibliografia

- [1] Abbey D.E., Lebowitz M.D., Mills P.K., Petersen F.F., Beeson W.L., Burchette R.J.: Long-term ambient concentrations of particulates and oxidants and development of chronic disease in a cohort of nonsmoking California residents. *Inhalation Toxicology*, 1995, Vol. 7, no. 1, pp. 19–34
- [2] Bohatkiewicz J. (red.): *Podręcznik dobrych praktyk wykonywania pracochłonnych zadań środowiskowych dla dróg krajowych*. Biuro Ekspertyz i Projektów Budownictwa Komunikacyjnego „EKKOM”, Kraków, 2008
- [3] European Federation for Transport and Environment. *Cleaner is Cheaper: Why European climate policy for cars is failing, and what can be done about it*. 2005
- [4] GUS.: *Ochrona Środowiska*. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2005
- [5] Hałucha I.: *Ochrona przed zanieczyszczeniem powietrza*. 2008, (www.edroga.pl)
- [6] <http://www.siskom.waw.pl> (Drogi a środowisko)
- [7] <http://www.zielonewrota.pl> (Zanieczyszczenia powietrza w Polsce)
- [8] Jendryczko A.: *Czy platyna będzie zagrożeniem na drogach?* AURA, 1998, nr 2
- [9] Kopta T.: *Twój samochód zagraża twemu życiu*. Polski Klub Ekologiczny, Wrocław, 2001
- [10] Olendrzyński K., Dębski B., Skośkiewicz J., Kargulewicz I., Kluz M., Radwański E., Galiński W., Kozakiewicz J., Mąkosza J., Fudała J., Hławiczka S., Cenowski M.: *Inwentaryzacja emisji do powietrza za rok 2003*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 2005
- [11] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 marca 2008 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2008, Nr 47, poz. 281)
- [12] Savitz D.A., Feingold L.A.: *Association of childhood cancer with residential traffic density*. *Scandinavian Journal of Health*, 1989, Vol. 15, pp. 360–363
- [13] Suchecki B.: *Zanieczyszczenia powietrza emitowane przez transport drogowy*. 2006, <http://lanckoronska.zm.org.pl>
- [14] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2001, Nr 62, poz. 627 z późniejszymi zmianami)
- [15] Ustawa z dnia 28 lipca 2005 r. o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz o gminach uzdrowiskowych (Dz.U. 2005, Nr 167, poz. 1399 z późniejszymi zmianami)
- [16] www.wwf.pl/kampanie/kampania_energia.php. Światowa Organizacja na Rzecz Dzikiej Przyrody
- [17] Zakrzewski S.: *Podstawy toksykologii środowiska*. Polskie Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2000 ■

Z prasy zagranicznej

Racjonalizacja okresów między przeglądownych mostów w USA

Wśród 200 tys. amerykańskich mostów stalowych, 10% stanowią mosty, w których pęknięcie elementu rozciągającego może prowadzić do katastrofy całej konstrukcji. Zaproponowano metodę skalowania, która pozwala zmienić rutynowy 24-miesięczny okres między przeglądami szczegółowymi takich obiektów na okres od 6 miesięcy do 10 lat. Metodę oparto na analizie danych eksploatacyjnych.

Journal of Bridge Engineering ASCE, 4, 2010

A.N.