

EMISJA CO I NO_x POCHODZĄCYCH Z SILNIKÓW SPALINOWYCH POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH NA TLE NORM EURO¹

URSZULA KWAŚNIAK

mgr inż., Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych, ul. Braci Gierymskich 164, 51-640 Wrocław

MICHAŁ JANICKI

mgr inż., OveArup & Partners International Limited. Sp. z o.o. Oddział w Polsce, ul. Królewska 16, 00-103 Warszawa; e-mail: michal.janicki@arup.com

CZESŁAW KOLANEK

dr inż., Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych, ul. Braci Gierymskich 164, 51-640 Wrocław; e-mail: czeslaw.kolanek@pwr.wroc.pl

Streszczenie. Dynamiczny rozwój komunikacji samochodowej jest wyraźnie odczuwalny przez środowisko naturalne, jak również przez człowieka (zarówno w aspektach pozytywnych, jak i negatywnych). W wyniku spalania paliw w silnikach spalinowych powstaje emisja zanieczyszczeń mająca negatywny wpływ na otoczenie. Mając na uwadze ideę zrównoważonego rozwoju w zakresie transportu drogowego, na etapie planowania i podejmowania decyzji, konieczne jest wykonanie ocen wpływu przedsięwzięcia na środowisko, uwzględniając stan tła, będący jej odniesieniem. W niniejszym opracowaniu opisano analizę emisji CO i NO_x pochodzących z pojazdów samochodowych, wyznaczoną za pomocą obowiązujących wskaźników emisji oraz zarejestrowanego (rzeczywistego) składu jakościowo-ilościowego ruchu drogowego dla wybranego odcinka drogi krajowej we Wrocławiu. Wyniki obliczeń przedstawiono i porównano w podziale na zarejestrowane kategorie pojazdów, a także wyznaczając udział wartości emisji określonej za pomocą wskaźników emisji w wartości emisji wyznaczonej za pomocą norm Euro.

Najmniejszą różnicę emisji, w rozbięciu na grupy pojazdów, obserwuje się dla samochodów osobowych i busów do transportu osób, natomiast największa rozbieżność, względem wyników obliczonych omawianymi sposobami, występuje w przypadku samochodów ciężarowych.

Należy jednak zwrócić uwagę, że opracowywane wskaźniki emisyjne określają w sposób uśredniony każdą z grup pojazdów poruszających się w kraju. Natomiast wartości emisji obliczone za pomocą wartości granicznych – europejskiego standardu emisji spalin, uwzględniają grupę rzeczywiście poruszających się pojazdów po analizowanym odcinku drogi i odpowiadający im najwyższy dopuszczalny poziom emisji.

Słowa kluczowe: emisja zanieczyszczeń, silnik spalinowy, wskaźnik emisji, europejski standard emisji spalin

Wprowadzenie

Wynalazki drugiej połowy XIX wieku dały cywilizacji mechaniczne środki transportu, a wśród nich pojazd z napędem realizowanym za pomocą silnika ciepłego. W ciągu niespełna 100 lat wyprodukowano około 1 miliarda samochodów osobowych, z których współcześnie blisko połowa jest stale eksploatowanych, a przemysł motoryzacyjny jest największym przemysłem w skali światowej [1].

Zachodzące zmiany ekonomiczne i społeczne w Europie Wschodniej, Azji Południowej i Ameryce Łacińskiej wpływają na dalszą ekspansję samochodu i na rzeczywistą globalizację problemów, jakie niesie ze sobą motoryzacja. Zwraca się uwagę na dwa zasadnicze rezultaty wspomianej globalizacji: zanieczyszczenie środowiska naturalnego oraz zużycie nieodtwarzalnych surowców naturalnych. Oba aspekty stają się elementami krytycznymi w dalszym rozwoju naszej cywilizacji.

Pierwszy poważny kryzys motoryzacji wystąpił w latach 1964–1984. Za jego przyczynę przyjmuje się kryzys naftowy, krytykę niskiego bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz szkodliwe oddziaływanie motoryzacji na środowisko naturalne. W wyniku ilościowego rozwoju motoryzacji indywidualnej, na skutek wyczerpywania się zdolności absorpcyjnych środowiska naturalnego, zdolności przemysłowych infrastruktury technicznej czy wręcz fizycznego braku miejsca dla jej dalszej rozbudowy, na progu XXI wieku pojawiła się pilna potrzeba zmian w charakterystykach eksploatacyjnych samochodu i organizacji ruchu pojazdów.

Zagrożenie środowiska naturalnego wywołane rozwojem motoryzacji

Problemy ekologii można rozpatrywać w ujęciu globalnym, tzn. w skali globu ziemskiego, lub w ujęciu lokalnym, np. w skali miasta, regionu, kraju czy nawet kontynentu.

Naruszanie równowagi ekologicznej w ujęciu lokalnym charakteryzuje się m.in. tym, że negatywne skutki naruszenia tej równowagi są, czy mogą być, odczuwane przez ludzi prawie natychmiast. Rezultaty naruszenia równowagi ekologicznej, rozpatrywanej globalnie, jak np. następstwa „efektu cieplarnianego” czy powstawania „dziury ozonowej”, jeszcze dzisiaj nie są odczuwane bezpośrednio przez wszystkich mieszkańców Ziemi.

Do najistotniejszych zagrożeń środowiska naturalnego niesionych przez motoryzację zaliczyć należy [2, 3]:

¹ © „Transport Miejski i Regionalny”, 2012. Wkład autorów w publikację: U. Kwaśniak 34%, M. Janicki 33%, Cz. Kolanek 33%

- emisję do atmosfery związków toksycznych i cząstek stałych;
- generowanie hałasu i innych drgań;
- zanieczyszczenie gleby i wód związkami zawartymi w spalinach; paliwami, płynami eksploatacyjnymi, cząstkami stałymi, środkami do odśnieżania i odładzania dróg;
- zagrożenie życia i zdrowia powodowane wypadkami drogowymi;
- zużywanie znacznej ilości zasobów energetycznych ziemi, w tym prowadzenie żywiłowej i rabunkowej eksploatacji surowców naturalnych, jako nośników energii;
- straty światła dziennego wynikające z zanieczyszczenia atmosfery;
- niszczenie krajobrazu, widoczne szczególnie w terenach o dużych walorach widokowych.

Na podstawie wymienionych powyżej zagrożeń można określić podmioty oddziaływania na środowisko, a będą nimi przede wszystkim: pojazdy samochodowe, wytwórnie pojazdów (fabryki), wytwórnie materiałów eksploatacyjnych (przemysł wydobywczy i rafinacyjny); infrastruktura transportu (drogi, stacje paliw, baza obsługi).

Silnik spalinowy, jako podstawowe źródło napędu samochodów, emituje do atmosfery szereg związków i substancji toksycznych, takich jak [4]: CO, NO_x, HC, SO₂, RCHO (aldehydy), cząstki stałe (PM). Nie wymieniono w tym miejscu dwutlenku węgla (CO₂), ponieważ jego emisja nie zagraża bezpośrednio zdrowiu i życiu ludzkiemu.

Obecny poziom motoryzacji już dzisiaj powoduje olbrzymią emisję bardzo toksycznych związków działających na środowisko i bezpośrednio na organizm człowieka. Przewidywany wzrost liczby użytkowanych samochodów w przyszłości oraz ich skupienie w znacznej liczbie na obszarach miejskich może wywołać wiele wątpliwości, co do możliwości egzystencji w tych miastach. Skalę problemu ilustruje prognoza, opracowana na potrzeby „Szczytu Ziemi” w Rio de Janeiro w 1992 roku (tab.1).

Istotnym elementem, mającym na celu gospodarowanie środowiskiem w sposób zrównoważony, są aktualne i rozważane w przyszłości wymagania stawiane producentom samochodów np. poprzez normy Euro, których celem jest wprowadzanie do użytku pojazdów, o coraz mniejszej emisji substancji toksycznych do atmosfery.

Europejski standard emisji spalin jest normą dopuszczalnych emisji spalin w nowych samochodach sprzedawa-

nych na terenie Unii Europejskiej. Standardy te zostały opracowane w serii Dyrektyw europejskich, które sukcesywnie zwiększały swoją restrykcyjność.

Obecnie, emisja tlenków azotu (NO_x), węglowodorów (HC), tlenków węgla (CO) i cząstek stałych są uregulowane dla większości pojazdów, samochodów osobowych, ciężarowych, autobusów, pociągów, traktorów i maszyn rolniczych, barek, lecz wyłącza statki morskie i samoloty [5]. Tabela 2 przedstawia kolejno wprowadzane normy oraz określa grupy pojazdów, których dotyczą.

Tabela 2

Okresy obowiązujące wyszczególnione grupy pojazdów samochodowych w ramach kolejno wprowadzanych ograniczeń europejskiego standardu emisji spalin – EURO		
Norma	Okres obowiązywania	Opis
EURO 0	od 1990 roku	Dotyczyła pojazdów nowo rejestrowanych
EURO I	od 1993 roku	Dyrektywa 91/441/EC [11] dla samochodów osobowych oraz dla osobowych i lekkich ciężarowych – 93/59/EEC.
EURO II	od 1996 roku	Dyrektywa 94/12/EC (& 96/69/EC) dla samochodów osobowych.
EURO III	od 2000 roku	Dyrektywa 98/69/EC [12] dla wszystkich pojazdów.
EURO IV	od 2005 roku	Dyrektywa 98/69/EC (& 2002/80/EC) dla wszystkich pojazdów
EURO V	od 2009 roku	Dyrektywa 2007/715/EC[13] dla lekkich samochodów osobowych i służbowych.
EURO VI	planowane od 2014 roku	Dyrektywa 2007/715/EC[13] dla ciężkich pojazdów samochodowych.

Źródło: opracowanie własne

W 2008 roku Parlament Europejski uchwalił normę Euro VI, która dotyczy poziomu zanieczyszczeń emitowanych przez ciężkie pojazdy samochodowe. Dopuszczalna wartość emisji tlenków azotu ma wynieść 400 mg/kWh, a więc o 80% mniej niż w normie Euro V. Limity emisji cząstek stałych zostaną zmniejszone o 66% i mają wynosić 10 mg/kWh

Dla każdego typu pojazdu, stosowane są inne standardy, dlatego też podziału dokonano na samochody osobowe z silnikiem o zapłonie iskrowym (benzynowym) oraz wysokoprężnym (Diesla), na samochody dostawcze oraz busy do przewozu osób z silnikami wysokoprężnymi, a także na samochody ciężarowe i autobusy z silnikiem wysokoprężnym. Wartości graniczne emisji zanieczyszczeń w poszczególnych normach, wyrażone w gramach na kilometr dla poszczególnych grup pojazdów, przedstawiono w tabelach 3–6.

Tabela 3

Dopuszczalne wartości emisji spalin w poszczególnych normach Euro dla pojazdów z silnikiem benzynowym						
Norma	Data	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM
		[g/km]				
EURO I	1992.07	2,72	–	0,97	–	–
EURO II	1996.01	2,2	–	0,5	–	–
EURO III	2000.01	2,3	0,2	–	0,15	–
EURO IV	2005.01	1	0,1	–	0,08	–
EURO V	2009.09	1	0,1	–	0,06	0,005
EURO VI	2014.09	1	0,1	–	0,06	0,005

Źródło: [5]

Tabela 1

Wybrane wskaźniki rozwoju ludzkości do 2100 roku						
Wskaźnik	Jednostka	Rok				
		1990	2000	2025	2050	2100
Ludność świata	miliard	5,3	6,2	8,4	10,0	11,3
Ludność w miastach	%	43,3	50,5	62,5	–	–
Samochody w użytkowaniu	mln sztuk	630	990	1600	–	–
Emisja CO ₂	mln Mg	7,4	8,4	12,2	14,5	20,3
Emisja tlenków azotu	mln Mg	12,9	13,8	15,8	16,6	17,0
Emisja siarki	mln Mg	98	101	141	175	169

Źródło: [1]

Tabela 4

Dopuszczalne wartości emisji spalin (g/km) w poszczególnych normach dla pojazdów z silnikiem wysokoprężnym						
Norma	Data	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
		[g/km]				
EURO I	1992.07	3,16	–	1,13	–	0,14
EURO II	1996.01	1	–	0,7	–	0,08
EURO III	2000.01	0,64	–	0,56	0,5	0,05
EURO IV	2005.01	0,5	–	0,3	0,25	0,025
EURO V	2009.09	0,5	–	0,23	0,18	0,005
EURO VI	2014.09	0,5	–	0,17	0,08	0,005

Źródło: [6]

Tabela 5

Dopuszczalne wartości emisji spalin (g/km) w poszczególnych normach Euro dla lekkich samochodów ciężarowych (dostawczych) z silnikiem wysokoprężnym							
Kategoria	Norma	Data	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
			[g/km]				
N1, Klasa I < 1305 kg	EURO I	1994.10	2,72	–	0,97	–	0,14
	EURO II	1998.01	1	–	0,7	–	0,08
	EURO III	2000.01	0,64	–	0,56	0,5	0,05
	EURO IV	2005.01	0,5	–	0,3	0,25	0,025
	EURO V	2009.09	0,5	–	0,23	0,18	0,005
	EURO VI	2014.09	0,5	–	0,17	0,08	0,005
N1, Klasa II 1305–1760kg	EURO I	1994.10	5,17	–	1,4	–	0,19
	EURO II	1998.01	1,25	–	1	–	0,12
	EURO III	2001.01	0,8	–	0,72	0,65	0,07
	EURO IV	2006.01	0,63	–	0,39	0,33	0,04
	EURO V	2010.09	0,63	–	0,295	0,235	0,005
	EURO VI	2015.09	0,63	–	0,195	0,105	0,005
N1, Klasa III > 1760kg	EURO I	1994.10	6,9	–	1,7	–	0,25
	EURO II	1998.01	1,5	–	1,2	–	0,17
	EURO III	2001.01	0,95	–	0,86	0,78	0,1
	EURO IV	2006.01	0,74	–	0,46	0,39	0,06
	EURO V	2010.09	0,74	–	0,35	0,28	0,005
	EURO VI	2015.09	0,74	–	0,215	0,125	0,005

Źródło: [6]

Tabela 6

Wartości graniczne emisji (g/km) pojazdów o masie całkowitej powyżej 3,5 t					
Norma	Data	CO	HC	NOx	PM
		[g/km]			
EURO 0	1988	12,3	2,6	15,8	–
EURO I	1992	4,5	1,1	8	0,612
EURO II	1996	4	1,1	7	0,25
EURO III	2000	2,1	0,66	5	0,2
EURO IV	2005	1,5	0,46	3,5	0,02
EURO V	2008	1,5	0,46	2	0,02

Źródło: [6]

W ramach lekkich samochodów ciężarowych, czyli dostawczych, dokonano podziału na trzy klasy według masy własnej, w poszczególnych normach.

Eksperyment badawczy

Eksperyment badawczy miał na celu wyznaczenie emisji CO i NO_x pochodzących z określonego potoku ruchu drogowego na tle norm Euro oraz wymagań stawianych polskim prawem. Analizie poddano odcinek prosty drogi krajowej we

Wrocławiu o długości 166 metrów i średnim dobowym natężeniu (SDR) na poziomie 2732 pojazdów [9]. Dokonano rejestracji przejeżdżających pojazdów i wyznaczono ładunek wprowadzanych zanieczyszczeń na podstawie wskaźników emisji oraz na podstawie maksymalnych dopuszczalnych stężeń wynikających z europejskiego standardu emisji spalin.

Wyznaczenie stężeń za pomocą wskaźników emisyjnych

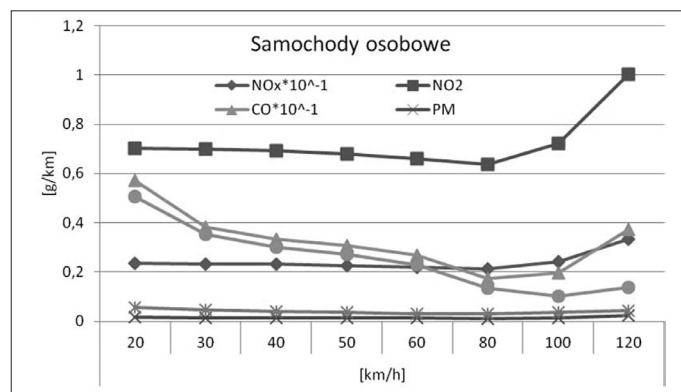
Metodyka pomiarowa do wyznaczenia stężenia emitowanych substancji przez pojazdy silnikowe za pomocą wskaźników emisyjnych polega na określeniu udziałów grup pojazdów, a następnie obliczeniu stężeń, uwzględniając SDR dla analizowanego odcinka drogi (wymogi metodyki modelowania poziomów substancji w powietrzu Dz. U. nr 16/2010 poz. 87). Na podstawie monitoringu liczby oraz typów samochodów określono skład grup pojazdów, który przedstawiono w tabeli 7. Jednostkowe wskaźniki emisji pojazdów silnikowych przyjęto na podstawie rysunków 1 i 2.

Do obliczeń emisji stężeń, za pomocą wskaźników emisji, przyjęto średnią prędkość dla wszystkich grup pojazdów na poziomie 60 km/h.

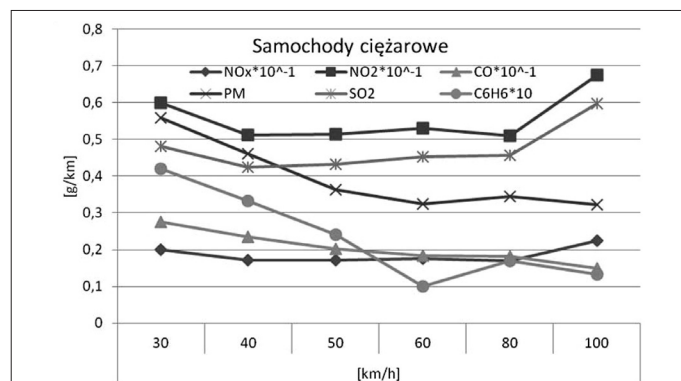
Tabela 7

Określony udział poszczególnych grup pojazdów w całkowitym potoku ruchu drogowego		
Lp.	Grupa pojazdów	Udział procentowy [%]
1	samochody osobowe i busy do transportu osób	66,65
2	lekkie samochody ciężarowe (dostawcze)	17,42
3	samochody ciężarowe	14,35
4	autobusy	1,58

Źródło: opracowanie własne



Rys. 1. Jednostkowe wskaźniki emisji z pojazdów silnikowych samochodów osobowych (emisję NO₂ przyjęto jako 30% emisji NO_x) [7]



Rys. 2. Jednostkowe wskaźniki emisji z pojazdów silnikowych samochodów ciężarowych (emisję NO₂ przyjęto jako 30% emisji NO_x) [7]

Wyznaczenie stężeń za pomocą europejskiego standardu emisji spalin

W celu wyznaczenia emisji zanieczyszczeń pochodzących z silników spalinowych za pomocą europejskiego standardu emisji spalin dla obranego do badań odcinka drogi krajowej przeprowadzono monitoring przejeżdżających pojazdów. Pojazdy zliczono i traktowano indywidualnie w dalszej analizie. Zarejestrowany potok ruchu drogowego podzielono na marki, następnie na modele i generację. Przykładowo Audi A6 Limousine przyporządkowano, w zależności od roku produkcji zarejestrowanych wersji, do generacji C6 dla nowych i C5 dla starszych. Posiłkując się danymi katalogowymi oraz informacjami otrzymanymi od dealerów poszczególnych marek samochodów, określono przedziały okresów produkcyjnych dla wszystkich zarejestrowanych grup. Omawiając przykład Audi, generacja C5 była produkowana w latach 1997–2004 natomiast generacja C6 od roku 2004 do chwili obecnej. Na podstawie znajomości modeli, serii, ich generacji oraz okresu produkcyjnego przyporządkowano pojazdy do odpowiedniej grupy standardu emisji, kładąc największy nacisk na początek okresu produkcyjnego danego modelu.

W wyniku przyjętej analizy otrzymano arkusz ilościowo-jakościowy przejeżdżających pojazdów, którym względem wymagań EURO przyporządkowano wartości graniczne stężeń substancji, przedstawione w tabelach 3–6. Fragment utworzonego arkusza ilustruje rysunek 3.

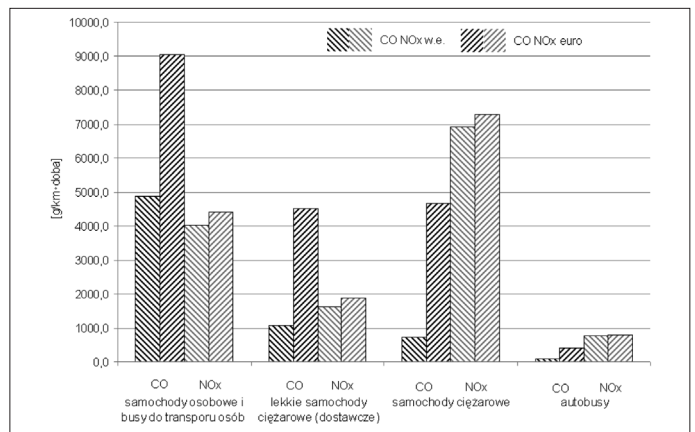
Ze względu na brak określenia wartości stężenia niektórych substancji we wszystkich normach przyjęto wielkości, które odpowiadają procentowej redukcji innej substancji ujętej w normie. W przypadku gdy występowała suma dwóch związków oraz jeden z nich, a drugi nie był znany, przyjęto wielkości wynikające z różnicy określonej sumy i znanej wielkości.

Wyniki i dyskusja

Poziomy wartości emisji CO i NOx z potoku ruchu omawianego odcinka drogi krajowej we Wrocławiu, obliczone za pomocą wskaźników i europejskiego standardu emisji spalin, przedstawiono na rysunku 4. Emisję całkowitą podzielono na grupy pojazdów, zgodnie z rzeczywistymi udziałami zarejestrowanymi na wspomnianym odcinku drogi.

Marka	Model	Bit	Rok produkcji	Normy EURO	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM	
					g(litrze)					
Alfa Romeo	146 II Combi	1	2003-2007	EURO III	0,106	0,01	0,09	0,08	0,006	
	GT II	1	do teraz	EURO III	0,33	0,03	0,054	0,021	-	
	Audi	80 B4	4	1996-2000	EURO I	2,625	0,1	0,95	0,85	0,115
	A2	1	2002-2005	EURO II	0,166	0,013	0,12	0,107	0,013	
	A3 SP	10	2003-2005	do teraz	EURO III	1,06	0,1	0,9	0,8	0,08
	A4 B8 Limousine	6	do teraz	EURO IV	0,498	0,06	0,3	0,24	0,024	
	A4 B8 Avant	7	do teraz	EURO IV	0,581	0,07	0,35	0,28	0,028	
	A5 Coupe	2	2007-2010	EURO IV	0,166	0,02	0,1	0,08	0,006	
	A5 C5 Limousine	7	2004-2010	EURO III	2,66	0,21	0,385	0,171	-	
	A6 C5 Avant	7	2004-2010	EURO III	2,66	0,21	0,385	0,175	-	
	A6 C5 Avant	16	1997-2004	EURO II	2,656	0,208	1,92	1,712	0,208	
	Q5 I	1	2009-2010	EURO IV	0,083	0,01	0,05	0,04	0,004	
	Q7 I	3	2005-2010	EURO IV	0,249	0,03	0,15	0,12	0,012	
	S3 SP	1	2003-2005	EURO III	0,33	0,03	0,054	0,024	-	
	S5 Coupe	1	2007-2010	do teraz	EURO IV	0,17	0,02	0,033	0,013	
	S6 C6	1	2004-2010	do teraz	EURO III	0,33	0,03	0,054	0,024	

Rys. 3. Arkusz liczby i rodzajów modeli pojazdów i im przyporządkowanym wartościom granicznym stężeń zanieczyszczeń analizowanego potoku ruchu drogowego



Rys. 4. Emisja CO i NOx do atmosfery z silników spalinowych pojazdów samochodowych z wybranego odcinka drogi krajowej. Gdzie: w.e. – wartości obliczone za pomocą współczynników emisji, euro – obliczone za pomocą wartości europejskiego standardu emisji spalin

Rysunek ilustruje zbieżność wartości emisji NOx określonych normami Euro, czyli określanych jako granicznych, do wartości obliczeniowych za pomocą wskaźników emisyjnych. Emisja całkowita obliczona za pomocą wskaźników, dla przykładowego odcinka drogi, wynosi niespełna 93% emisji obliczonej za pomocą znajomości poszczególnych pojazdów i nadaniu każdemu wartości wynikającej z normy Euro.

W przypadku wartości emisji CO różnica jest zdecydowanie większa, gdyż emisja całkowita wynosi przeszło 36% emisji obliczonej za pomocą metodyki opartej na normach Euro. Najmniejsza różnica emisji obserwowana jest dla samochodów osobowych i busów do transportu osób (54%), natomiast największa w przypadku samochodów ciężarowych (15,4%).

Należy jednak zwrócić uwagę, że opracowywane wskaźniki emisyjne określają w sposób uśredniony każdą z grup pojazdów poruszających się w naszym kraju. Natomiast wartości emisji obliczone za pomocą wartości granicznych – norm Euro, uwzględniają grupę pojazdów rzeczywiście poruszających się po wybranym odcinku drogi.

Literatura

- Szczepaniak C., *Motoryzacja na przełomie epok*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa–Łódź 2000.
- Merkisz J., *Ekologiczne problemy silników spalinowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998.
- Chłopek Z., *Pojazdy samochodowe. Ochrona środowiska naturalnego*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
- Janicka A., Walkowiak W., *Emission of toxic components of exhaust gas from engine feed by biofuel*, Materiały konferencyjne VIII Słupskiego Forum Motoryzacyjnego: Rozwój Motoryzacji a bezpieczeństwo ruchu drogowego, Słupsk 2005.
- Transport – wyniki działań w 2009 r.*, Informacje i opracowania statystyczne Departamentu Handlu i Usług, GUS Warszawa 2010.
- Emission Standards*, www.dieselnet.com
- Fischer R., Gscheidle R., Heider U., Hofman B., Keil W., Mann J., Pichler W., Schlögl B., Siegmayer P., Wimmer A., Wormer G., (opracowanie merytoryczne wersji polskiej: Kaźmierczak A.) *Silniki pojazdów samochodowych*, Wydawnictwo REA, Warszawa 2010.
- Średni dobowy ruch pojazdów w 2010 roku, Materiały robocze Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad we Wrocławiu.
- Chłopek Z., *Szacowanie emisji ze środków transportu w roku 2002*, Warszawa 2002.