

Jerzy Merkisz¹, Jacek Pielecha², Mateusz Nowak³

EMISJA ZANIECZYSZCZEŃ Z POJAZDÓW W RZECZYWISTYCH WARUNKACH RUCHU NA PRZYKŁADZIE AGLOMERACJI POZNAŃSKIEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono próbę oszacowania emisji zanieczyszczeń generowanych przez system transportowy aglomeracji poznańskiej. Podstawą do modelowania emisji związków szkodliwych była bieżąca charakterystyka poszczególnych grup pojazdów oraz ich prognozowana zmiana na lata 2012-2030. Wyznaczenie średniej wartości emisji drogowej jako funkcji przebywanej dziennej odległości przez poszczególne kategorie pojazdów było podstawą do określenia zmian w rocznej emisji zanieczyszczeń. Wartości natężenia emisji spalin pojazdów osobowych przyjęto na podstawie przeprowadzonych badań w rzeczywistych warunkach ruchu, natomiast dla pozostałych kategorii przyjęto wyniki badań uzyskane w wyniku wcześniejszych prac zespołu Zakładu Silników Spalinowych Politechniki Poznańskiej. W pracy przyjęto zwiększenie się w poszczególnych latach udziału pojazdów spełniających najnowsze normy toksyczności spalin, a także charakter zmian długości trasy pokonywanej przez pojazdy. Wynikiem analiz będzie sumaryczna roczna emisja związków szkodliwych dla danej kategorii pojazdów na terenie aglomeracji poznańskiej.

Słowa kluczowe: emisja spalin, rzeczywiste warunki ruchu, modelowanie.

WPROWADZENIE

Stosowane powszechnie modele całkowitej emisji substancji szkodliwych ze środków transportu do środowiska mają złożoną strukturę matematyczną, a ich charakterystyki i parametry zależą od bardzo dużej liczby wielkości. Charakterystyki modeli emisji całkowitej są związkami aproksymującymi wyniki badań empirycznych w przestrzeni rozpatrywanych wielkości fizycznych. Z tych powodów najtrudniejszym zadaniem jest dostarczenie wiarygodnych danych do badania modelu emisji, tym bardziej że oficjalne statystyki dotyczące transportu charakteryzują się wysokim poziomem ogólności i dotyczą np. liczności pojazdów. Niedokładności wyznaczenia wielkości wejściowych modelu przyczyniają się do zwielokrotnienia błędów wyznaczania wartości wynikowych [3].

¹ Politechnika Poznańska, jerzy.merkisz@put.poznan.pl

¹ Politechnika Poznańska, jacek.pielecha@put.poznan.pl

¹ Politechnika Poznańska, mateusz.sl.nowak@doctorate.put.poznan.pl

Aby wyeliminować przyczynowość, wprowadza się do modeli dane o strukturze pojazdów, ruchu pojazdów, intensywności i warunkach eksploatacji oraz o czasach postojów przed rozruchem. Wykorzystywane dane dotyczą wartości średnich (np. wartości średniej prędkości) i nie odzwierciedlają rzeczywistych warunków ruchu środków transportu. Wartości wynikowe otrzymywane z modeli są wartościami szacunkowymi, których zakres wykorzystania może być ograniczony. W świetle przytoczonych informacji poszukiwania nowych możliwości oceny zanieczyszczeń ze źródeł transportu są pożądane, a działania takie konieczne. Jednym z podstawowych parametrów niedokładności jest wyznaczenie wielkości emisji związków szkodliwych dla pojedynczego pojazdu [1, 8]. W artykule podjęto próbę oszacowania tej niedokładności, przyjmując do wyznaczenia dobowej emisji zanieczyszczeń, wartości emisji wyznaczonej w rzeczywistych warunkach ruchu.

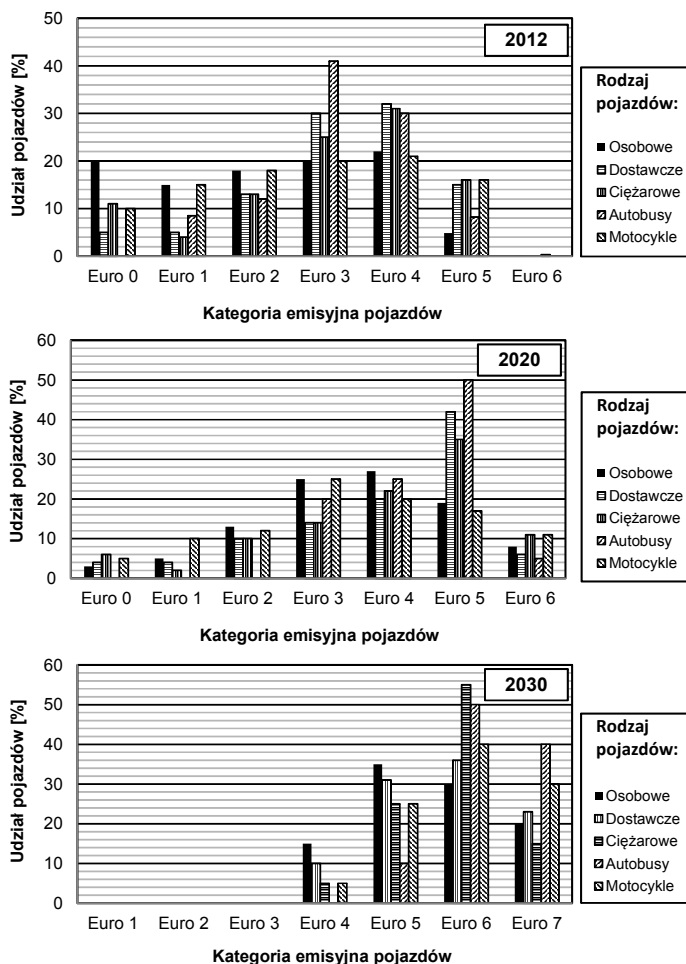
METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono dla aglomeracji poznańskiej; podstawą do modelowania emisji związków szkodliwych była bieżąca charakterystyka poszczególnych grup pojazdów oraz ich prognozowana zmiana na lata 2012-2030 (rys. 1). Założono zmianę udziału w całkowitej grupie pojazdów kategorii emisyjnych pojazdów: stopniowe zmniejszenie udziału pojazdów spełniających wczesne normy emisyjne oraz zwiększenie udziału pojazdów spełniających najnowsze normy emisji spalin (w tym pojazdy hybrydowe i elektryczne). Przyjęcie charakterystyk średniej odległości dziennej pokonywanej przez poszczególne kategorie pojazdów (rys. 2) było podstawą do określenia zmian w dobowej emisji zanieczyszczeń. Oszacowano je na podstawie danych zamieszczonych w Zintegrowanej Polityce Transportowej Miasta Poznania oraz w opisie do programu Copert 4 [12], a także prezentacji [11].

Wartości emisji drogowej zanieczyszczeń gazowych dla poszczególnych kategorii pojazdów można przyjąć według normy emisyjnej pojazdu (przy założeniu że pojazd emituje zanieczyszczenia o wartości odpowiadającej wartości określonej w normie, którą musi spełniać) [9, 10] lub na podstawie badań wykonanych w rzeczywistych warunkach ruchu dla danej aglomeracji [2].

BADANIA EMISJI SPALIN POJAZDÓW W RZECZYWISTYCH WARUNKACH RUCHU DROGOWEGO W POZNANIU

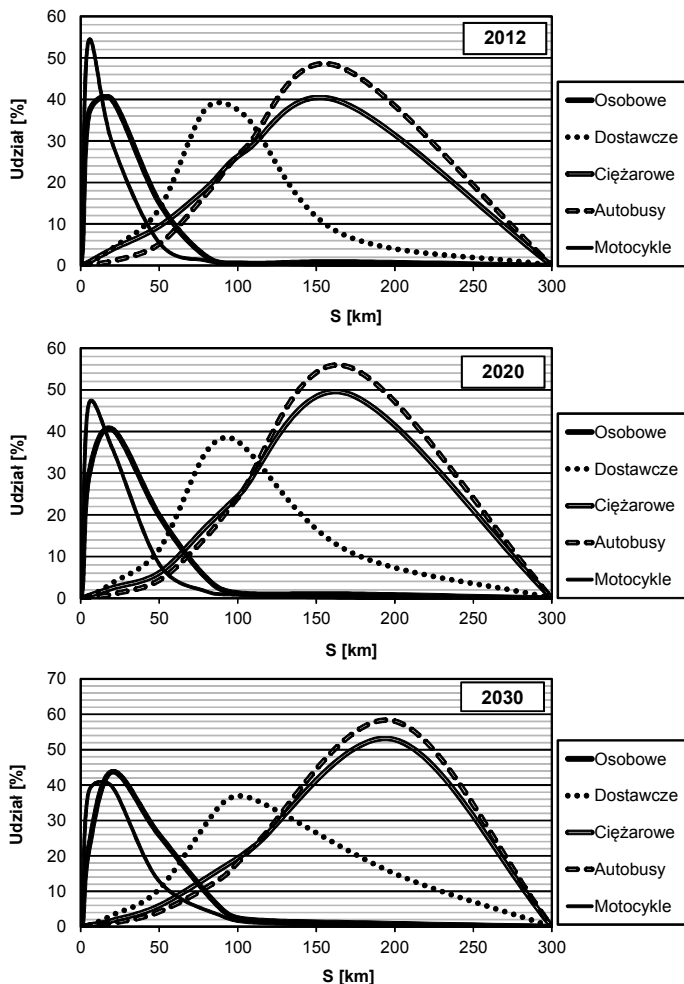
Wartości natężenia emisji spalin pojazdów osobowych wyznaczono na podstawie przeprowadzonych badań w rzeczywistych warunkach ruchu (przykładowe wyniki przedstawiono dla samochodów osobowych z silnikiem ZS spełniających normę emisji spalin Euro 4 oraz Euro 5), wykorzystując mobilną aparaturę pomiarową (m.in. analizator spalin Semtech DS firmy Sensors Inc.). Na tej podstawie



Rys. 1. Zmiana struktury pojazdów w aglomeracji poznańskiej na przestrzeni lat 2012-2030

wyznaczono wskaźniki emisji (odnoszące się do poszczególnych zanieczyszczeń), które można obliczyć jako wartości:

- chwilową – cechuje ją duża zmienność, gdyż jest obliczana w każdej sekundzie testu,
- narastającą w trakcie wykonywania testu, obliczaną jako bieżąca emisja drogowa danego związku szkodliwego (od początku testu do chwili bieżącej) w stosunku do wartości normatywnej;
- odnoszącą się do całego testu badawczego jako stosunek emisji drogowej w teście drogowym wykonywanym w rzeczywistych warunkach ruchu do wartości normatywnej.



Rys. 2. Przyjęte charakterystyki dziennej odległości pokonywanej przez różne pojazdy

Wskaźnik emisji pojazdu (danego związku szkodliwego) zdefiniowano jako:

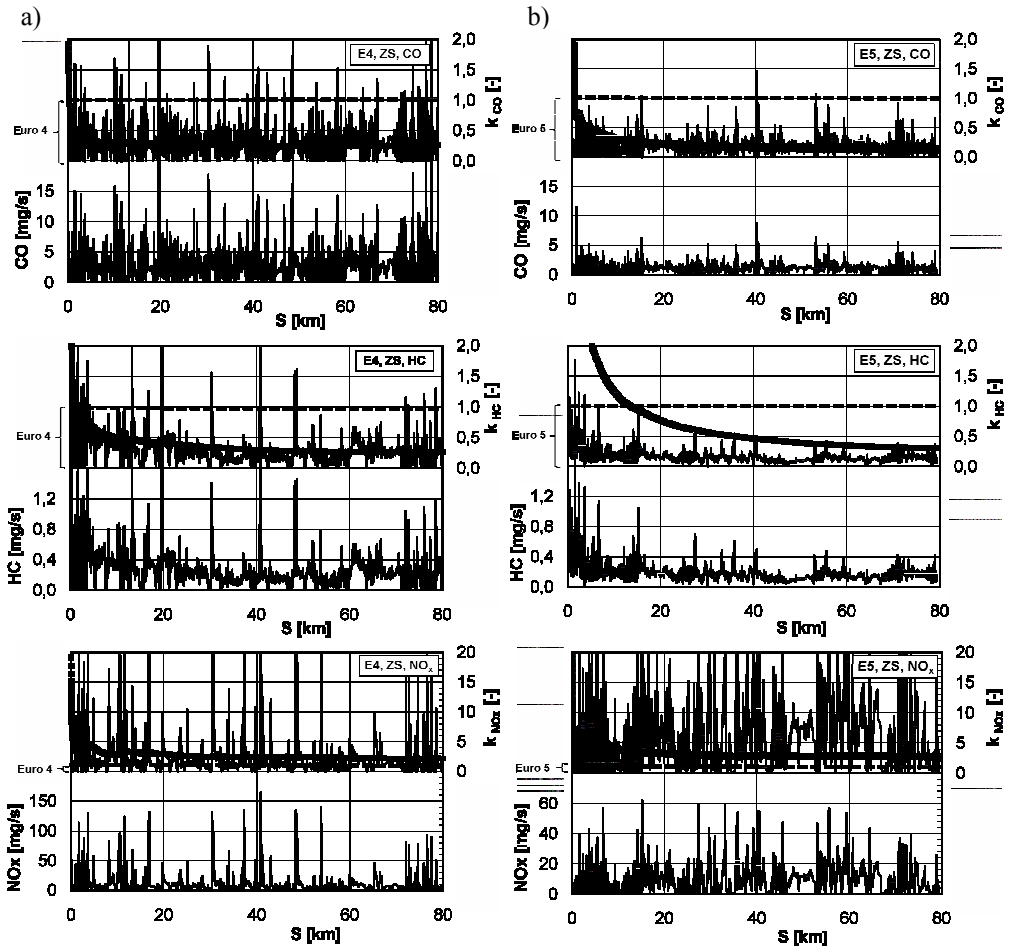
$$k_j = \frac{E_{rzczz,j}}{E_{NEDC(ETC,WHTC),j}} \quad (1)$$

gdzie: j – związek szkodliwy, dla którego określono wskaźnik emisji, $E_{rzczz,j}$ – natężenie emisji w warunkach rzeczywistych [g/s], $E_{NEDC,j}$ – natężenie emisji zmierzony w teście NEDC [g/s] lub w innym teście badawczym, np. odnoszącym się do pojazdów ciężarowych (ETC, WHTC).

Natężenie emisji w warunkach rzeczywistych można obliczyć, wykorzystując charakterystykę rozkładu czasu jazdy pojazdu $u(a,v)$ oraz charakterystykę natężenia emisji dla j -tego związku szkodliwego $e_j(a,v)$ wyrażonego w gramach na sekundę:

$$E_{rzecz,j} = \sum_a \sum_v u(a,v) \cdot e_j(a,v) \quad (2)$$

Wskaźnik emisji drogowej danego związku szkodliwego może przybierać wartości z przedziału $(0, \infty)$. Oznacza to, że jeżeli emisja drogowa z pojazdu nie przekracza wartości normatywnych, wskaźnik ma wartość mniejszą od jedności, przy przekroczeniu wartości normatywnej wskaźnik jest większy od jedności, a gdy emisja rzeczywista jest równa normatywnej, wskaźnik wynosi 1 [7].



Rys. 3. Wartości natężenia emisji zanieczyszczeń oraz wskaźników emisji drogowej dla samochodów osobowych spełniających: a) normę emisji spalin Euro 4, b) normę emisji Euro 5

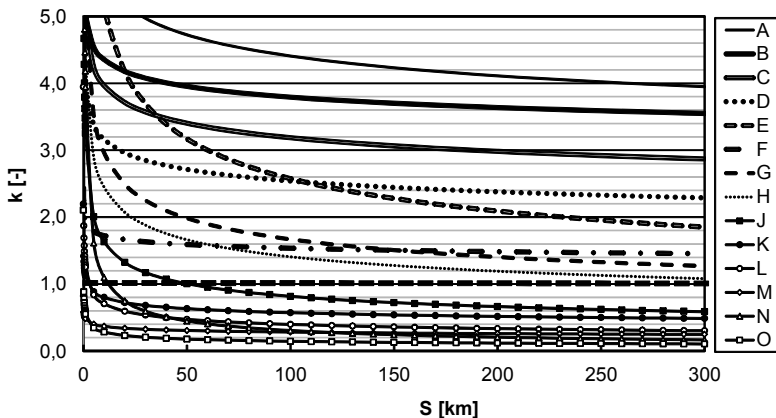
Na wykresach z rysunku 3 przedstawiono dla każdego związku szkodliwego zakres zmian wskaźnika emisji dla którego spełniony jest limit normatywny (linia przerywana). Pomimo dużej chwilowej zmienności wskaźnika emisji, jego wartość określona w sposób narastający charakteryzuje się:

- dla tlenku węgla – bardzo gwałtowny wzrost podczas uruchomienia silnika i następnie zmniejszenie jego wartości; w warunkach rzeczywistej eksploatacji w krótkim okresie uzyskiwane jest zadowalające zmniejszenie emisji poniżej wymaganej normy zarówno dla pojazdu spełniającego normę Euro 4 i Euro 5; wartości wskaźnika są porównywalne dla badanych pojazdów,
- dla węglowodorów – przebieg zmian wskaźnika jest podobny do wskaźnika jaki odnotowano przy tlenku węgla, jednakże pojazd spełniający normę Euro 4 wymagał krótszego dystansu (ok. 2 km) aby wartość wskaźnika była mniejsza od 1, dla pojazdu spełniającego normę Euro 5 dystans ten wynosił ok. 10 km,
- dla tlenków azotu – brakiem spełniania wymagań normatywnych – wynika to głównie z różnicy pracy silnika pojazdu w teście NEDC i w warunkach rzeczywistych; dla badanych pojazdów wartość wskaźnika emisyjności jest większa od jedności.

Wartości wskaźników emisji spalin pojazdów osobowych wyznaczono na podstawie przeprowadzonych badań w rzeczywistych warunkach ruchu, natomiast dla pozostałych kategorii przyjęto wyniki badań uzyskane w wyniku wcześniejszych prac zespołu Zakładu Silników Spalinowych Politechniki Poznańskiej [4, 5, 6]. Dla kategorii pojazdów niskoemisyjnych wskaźniki te w pierwszym okresie jazdy przyjmują wartości znacznie większe od jedności, jednak następnie maleją do wartości kilkunastu procent wartości emisyjnej określonej w normie emisji spalin (zależność ta występuje dla emisji tlenku węgla i węglowodorów). Odmienne od przedstawionego schematu przebiega wskaźnik emisji tlenków azotu: zmniejsza się od wartości kilkunastu, jednakże nie osiąga wartości określonej w normie emisji spalin. Z tego względu w rzeczywistych warunkach ruchu emisja tlenków azotu jest kilkukrotnie większa niż dopuszczalny limit – zależność ta została potwierdzona w badaniach pojazdów ciężarowych i autobusów miejskich. Dla pozostałych rodzajów pojazdów o różnych kategoriach emisyjnych określono krzywe wskaźników emisji $k = f(S)$ jako zależne od długości pokonywanej odległości przez pojazdy (rys. 4, tab. 1).

MODELOWANIE EMISJI SPALIN DLA AGLOMERACJI POZNAŃSKIEJ

Na podstawie przygotowanych danych określono dobową emisję zanieczyszczeń z pojazdów na terenie aglomeracji poznańskiej przyjmując, że emisja z pojazdów jest zależna od długości pokonywanej trasy i zmienia się zgodnie z krzywą zmian wskaźnika emisji (I przypadek) lub, że emisja z pojazdów osiąga wartość określoną w normie emisji spalin i jest niezależna od długości drogi pokonywanej

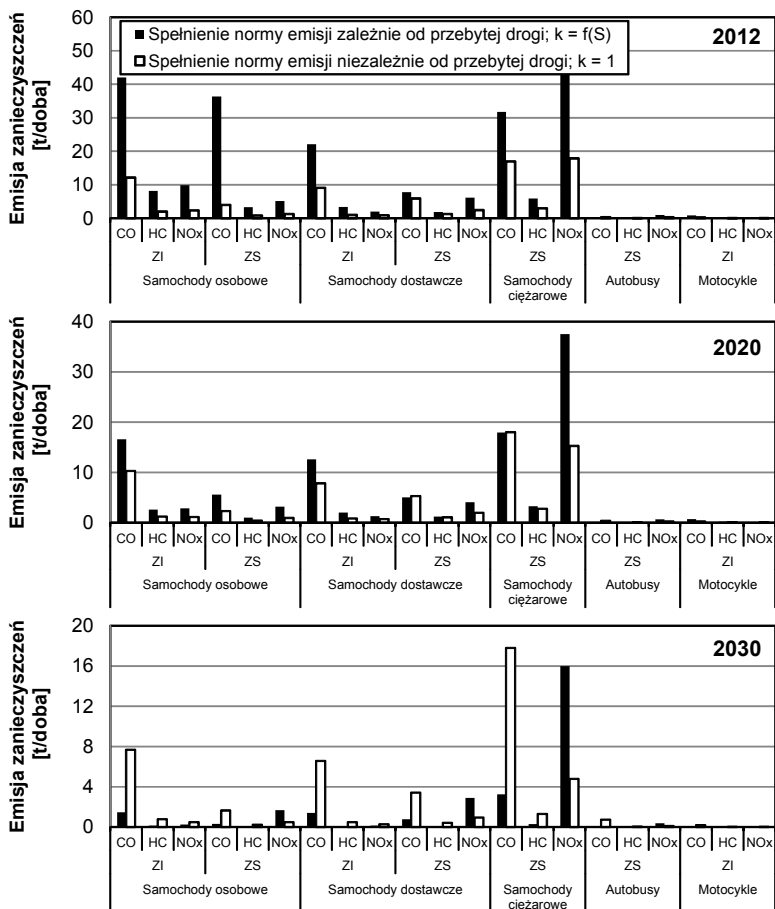


Rys. 4. Krzywe wskaźników emisji zanieczyszczeń

Tabela 1. Przyporządkowane przebiegi krzywych wskaźnika emisji poszczególnym rodzajom pojazdów i odpowiadających im kategoriom emisyjnym

Rodzaj pojazdu	Rodzaj silnika	Związek	Krzywa współczynnika emisji							
			E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Samochody osobowe	ZI	CO	A	B	H	J	O	O	O	O
		HC	A	B	H	J	O	O	O	O
		NO _x	A	D	G	J	M	N	N	N
	ZS	CO	A	D	H	J	L	M	O	O
		HC	A	D	H	J	N	M	O	O
		NO _x	A	F	G	E	J	C	B	D
Samochody dostawcze	ZI	CO	B	C	E	G	M	N	O	O
		HC	B	C	E	E	M	N	O	O
		NO _x	E	G	G	J	K	K	L	L
	ZS	CO	F	H	J	K	L	N	O	O
		HC	F	H	J	K	L	N	O	O
		NO _x	J	H	G	E	D	C	B	D
Samochody ciężarowe	ZS	CO	A	C	J	K	L	N	O	O
		HC	B	C	J	K	L	N	O	O
		NO _x	F	E	E	E	D	B	B	D
Autobusy	ZS	CO	A	B	D	K	L	M	O	O
		HC	B	B	D	K	L	M	O	O
		NO _x	F	E	C	E	D	B	B	D
Motocykle	ZI	CO	A	A	H	J	O	O	O	O
		HC	A	A	H	J	O	O	O	O
		NO _x	E	G	G	J	N	N	N	N

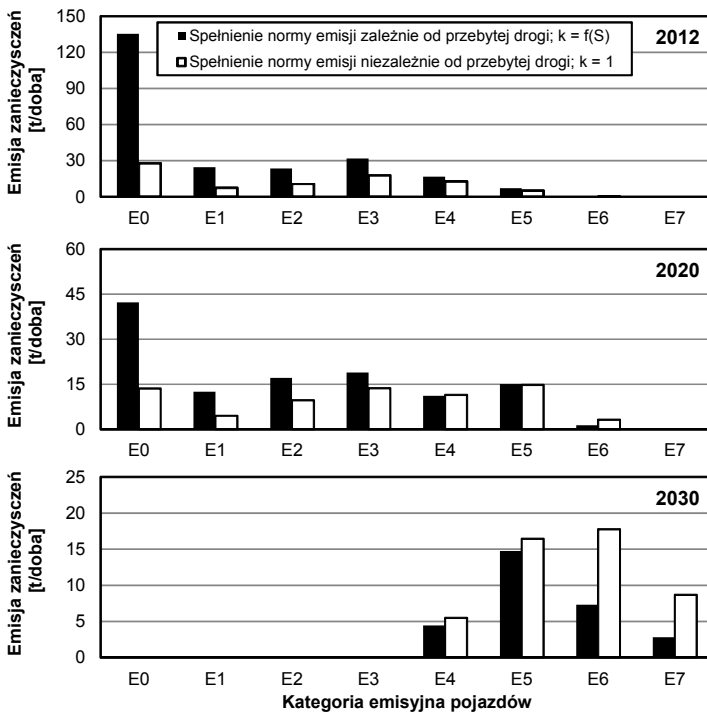
przez pojazd (II przypadek). Wartości te obliczono kolejno dla każdej grupy pojazdów, z podziałem na rodzaj napędu i rodzaj zanieczyszczenia (rys. 5). Porównania dokonano dla aglomeracji poznańskiej odniesionego do okresu 2012-2030; z jego analizy wynika ogólny malejący poziom emisji zanieczyszczeń, jednakże zwraca uwagę na dość znaczną emisję zanieczyszczeń z pojazdów ciężarowych (jest to wy-nik uwzględnienia w analizie odcinka autostrady A2 w obrębie Poznania).



Rys. 5. Wartości emisji zanieczyszczeń dla struktury pojazdów w latach 2012-2030 dla dwóch sposobów określania emisji z pojedynczego pojazdu

Modelując emisję zanieczyszczeń zwrócono uwagę na kategorię pojazdów najbardziej szkodliwych dla środowiska naturalnego. Wyniki analizy uwiadcniają największy udział emisji zanieczyszczeń z pojazdów najstarszych, pomimo, że tych pojazdów np. w roku 2012 było tylko 16%, a w roku 2020 przewidywany jest ich udział o wartości nie większej niż 4%. Zwiększający się udział pojazdów o „le-

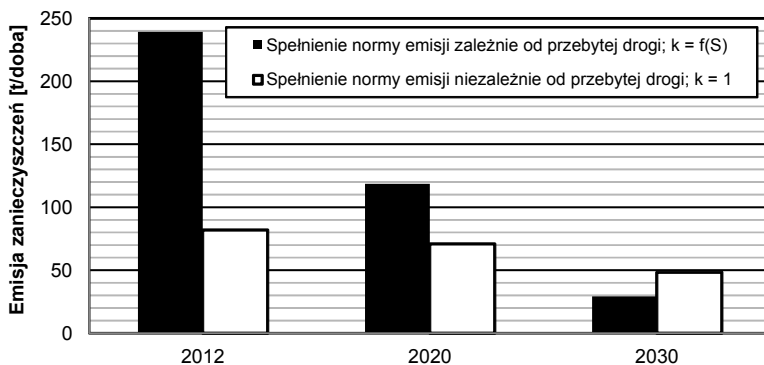
szych” kategoriach emisyjnych nie powoduje znacznego zwiększenia globalnej emisji zanieczyszczeń – pojazdy najstarsze (o niekontrolowanej emisji spalin) mają największy udział w emisji zanieczyszczeń. Sytuacja ta zmienia się dopiero po roku 2030, w którym przyjęto, że pojazdy najstarsze będą stanowiły bardzo mały odsetek. Uwagę zwraca również sposób obliczania emisji zanieczyszczeń: dla lat 2012 i 2020 wartości emisji zanieczyszczeń uzyskiwane są większe (najbardziej widoczne dla pojazdów najstarszych), gdy przyjmiemy spełnienie normy emisji zależne od przebytego dystansu. Oznacza to że pojazdy o niskiej kategorii emisyjnej emitują zanieczyszczeń znacznie więcej niż wynika to z normy emisyjnej spełnianej przez pojazd (rys. 6).



Rys. 6. Emisja zanieczyszczeń dla aglomeracji poznańskiej uwzględniająca podział pojazdów na kategorie emisyjne

Wyznaczając emisję zanieczyszczeń dla kolejnych lat uzyskuje się wartość, którą można porównać z wartościami emisji przyjmowanymi dla pojedynczych pojazdów. Jeżeli do modelowania przyjmuje się wartości emisji równe wartościom normowanym to dla roku 2012 uzyskuje się wartości zaniżone o około 60%; dla roku 2020 będą to wartości zaniżone o około 40%, a dla roku 2030 uzyskuje się wartości zawyżone o około 40%. W związku z tym należy dążyć do precyzyjnego wyzna-

czania wielkości wejściowych do modelowania emisji zanieczyszczeń, które można uzyskiwać dzięki badaniom pojazdów w rzeczywistych warunkach ruchu (rys. 7).

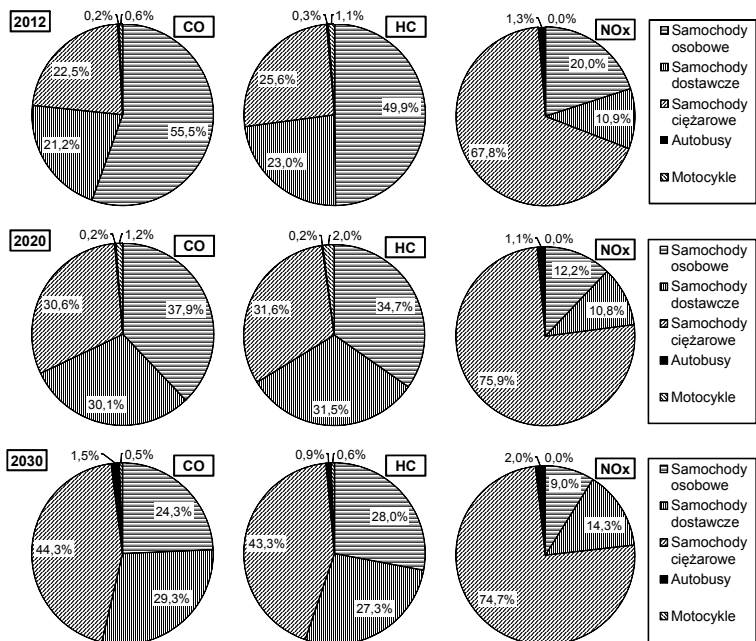


Rys. 7. Porównanie wartości emisji zanieczyszczeń dla przyjętych lat modelowania w zależności od sposobu wyznaczania emisji pojedynczego pojazdu

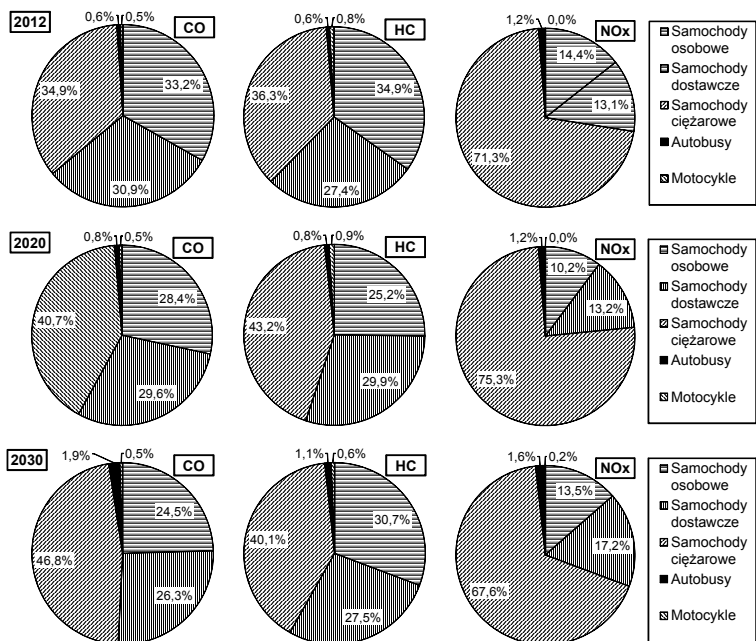
Różnorodne podejście do szacowania emisji pojedynczych pojazdów i wprowadzanie tej wielkości do modeli emisji globalnej ma swoje odzwierciedlenie w wynikach prezentujących udziały emisji zanieczyszczeń w poszczególnych latach z różnych rodzajów pojazdów. Analizując emisję tlenku węgla, w której największy udział (ok. 55%) mają pojazdy osobowe w roku 2012, już w kolejnych analizowanych latach udział ten zmniejsza się, odpowiednio w roku 2020 i 2030 do 38% i 24% (rys. 8). Największy udział w emisji węglowodorów również mają w roku 2012 samochody osobowe, i podobnie do udziału emisji tlenku węgla stopniowo w kolejnych latach będzie on się zmniejszał. Niepokojącym jednak zjawiskiem będzie zwiększanie się udziału emisji tlenku węgla i węglowodorów z pojazdów ciężarowych; w kolejnych latach 2012, 2020 i 2030, odpowiednio do 26%, 32% i 44%. Wartości te nie świadczą jednak o zwiększaniu się wartości emisji tych zanieczyszczeń a jedynie o zmianie struktury pojazdów z których odnotowana będzie ta emisja.

Wartości te różnią się, gdy za podstawę wyznaczania emisji z pojedynczego pojazdu przyjmie się wartość odpowiadającą normatywowi limitu dla poszczególnego związku szkodliwego (rys. 9). Jeżeli wartości wskaźników emisji przyjmowałyby stałe wartości niezależne od przebytej drogi przez pojazd to udziały emisji z rysunku 8 i rysunku 9 byłyby jednakowe. Jednakże przyjęcie zmiennych wskaźników emisji – które w sposób bardziej dokładny odpowiadają rzeczywistym wartościom zanieczyszczeń emitowanych przez pojazdy – zwiększa wiarygodność modelowania zanieczyszczeń.

Należy zauważyć, że niezależnie od sposobu przyjmowania wartości emisji dla pojedynczych pojazdów, największy udział w emisji tlenków azotu mają pojazdy ciężarowe i to prawie niezależnie od roku dla którego tą wartość oszacowano.



Rys. 8. Udział różnych kategorii pojazdów w całkowitej emisji danego związku szkodliwego, przy założeniu, zależności emisji spalin od długości pokonywanej drogi ($k = f(S)$)



Rys. 9. Udział różnych kategorii pojazdów w całkowitej emisji danego związku szkodliwego, przy założeniu, niezależności emisji spalin od długości pokonywanej drogi ($k = 1$)

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wyniki modelowania emisji zanieczyszczeń z transportu drogowego w aglomeracji poznańskiej. Wartości emisji zanieczyszczeń oszacowano, przyjmując, że najbardziej wiarygodnymi parametrami wejściowymi są wartości emisji spalin pojedynczych pojazdów wyznaczone w rzeczywistych warunkach ruchu. Dysponując mobilnymi analizatorami wyznaczono wartości emisji zanieczyszczeń, następnie porównano je z wartościami normatywnymi i na tej podstawie wyznaczono wartości wskaźników emisji, uzależniając je od drogi, którą pokonuje pojazd ($k = f(S)$). Wykazano, że takie postępowanie w sposób bardziej wiarygodny opisuje globalną emisję niż przyjmowanie wartości wejściowych do modelu odpowiadających limitom emisji spalin (wartość wejściowa emisji zanieczyszczeń z pojazdu do modelu jest równa co do wartości limitowi emisji spalin określonego dla danej kategorii emisyjnej pojazdu, $k = 1$). Dowiedziono, że wyznaczając emisję zanieczyszczeń dla roku 2012 największy wpływ mają pojazdy najstarsze (których udział wynosi około 16%), a jednocześnie przyjęcie wskaźnika emisji niezależnego od przebytego dystansu przez pojazd skutkuje niedoszacowaniem emisji zanieczyszczeń o około 60%.

LITERATURA

1. Bonnel P., Weiss M., Provenza A., In-use Emissions Requirements in the New and Future European Motor Vehicle Emissions Regulations: State of Play. 8th Annual SUN Conference, Ann Arbor 2011.
2. Bougher T., Khalek I.A., Trevitz S., Akard M., Verification of a Gaseous Portable Emissions Measurement System with a Laboratory System Using the Code of Federal Regulations Part 1065. SAE Technical Paper Series 2010-01-1069, 2010.
3. Chłopek Z., Some remarks on engine testing in dynamic states. Combustion Engines, No. 4, 2010.
4. Merkisz J., Pielecha I., Pielecha J., Gaseous and PM Emission from Combat Vehicle Engines during Start and Warm-Up. SAE Technical Paper Series 2010-01-2283, 2010.
5. Merkisz J., Pielecha J., Exhaust Emissions during Cold Start Gasoline and Diesel Engine from Passenger Cars. Combustion Engines, No. 3, 2011.
6. Merkisz J., Pielecha J., The On-Road Exhaust Emissions Characteristics of SUV Vehicles Fitted with Diesel Engines. Combustion Engines, No. 2, 2011.
7. Merkisz J., Pielecha J., Radzimirski S., Emisja zanieczyszczeń motoryzacyjnych w świetle nowych przepisów Unii Europejskiej. WKŁ, Warszawa 2012.
8. Ortenzi F., Costagliola M.A., A New Method to Calculate Instantaneous Vehicle Emissions using OBD Data. SAE Technical Paper Series 2010-01-1289, 2010.
9. Regulations Commission: Regulation No 582/2011 of 25 May 2011 implementing and amending Regulation No 595/2009 of the European Parliament and of the Council with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI) and amending Annexes I and III to Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council, 2011.

10. Schöppe D., Greff A., Zhang H., Frenzel H., Rösel G., Achleitner E., Kapphan F., Requirements for Future Gasoline DI Systems and Respective Platform Solutions. 32th Internationales Wiener Motorensymposium 2011, Vienna 2011.
11. Sommer K., Continental Mobility Study 2011, Hanover, 2011 (www.conti-online.com).
12. www.emisia.com (dostęp: 12.05.2012).

EXHAUST EMISSIONS FROM VEHICLES IN REAL TRAFFIC CONDITIONS ON THE EXAMPLE OF POZNAN AGGLOMERATION

Abstract

This paper presents an attempt to estimate the emissions generated by the Poznan agglomeration transport system. The basis for exhaust emissions modeling were present and forecasted (for the years 2012-2030) shares of particular groups of vehicles operated in the Poznan agglomeration transport system. Determination of average road emission as a function of one day travelled distance by different categories of vehicles was the basis for determining changes in annual emissions. The values of emission intensity of passenger vehicles was adopted from studies conducted in real traffic conditions, while for other categories of research, the results obtained from earlier work of the Department of Internal Combustion Engines team from Poznan University of Technology. The study considers the increase in share of vehicles that meet the latest exhaust emissions standards, and the nature of the changes in length of the route traveled by vehicles in following years. The result of analysis will be the total annual exhaust emissions for each category of vehicles within the agglomeration.

Key words: exhaust emission, real road conditions, modeling.