

## Impact assessment of monitoring of pollutant emission from automotive internal combustion engines on the effectiveness of pro-environmental actions in motorization

*Abstract: Motorization is the cause of many environmental threats, in particular pollutant emissions. Therefore a number of actions, including constitution increasingly stringent regulations on pollutant emission from internal combustion engines, are taken. Unfortunately, there is practically no effective control of the technical condition of vehicles with regard to pollutant emission during operation. The results can be seen as numerous cases of significant pollutant emissions from internal combustion engines with nominally high environmental categories. The results of simulation studies of pollutant emission in the case of failure of the vehicles nominally belonging to advanced ecological category are presented in the paper. It was found that the ecological effects of absence of efficient monitoring of emissions from automotive engines are at least comparable to those of obsolete vehicles operation.*

**Keywords:** *internal combustion engines, pollutant emission, environmental protection*

### Ocena wpływu nadzorowania emisji zanieczyszczeń z samochodowych silników spalinowych na skuteczność działań proekologicznych w motoryzacji

*Streszczenie: Motoryzacja jest przyczyną licznych zagrożeń środowiska, w szczególności emisji zanieczyszczeń. Podejmowane są w związku z tym liczne działania, m.in. stanowione są coraz bardziej rygorystyczne przepisy dotyczące emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych. Niestety praktycznie brak jest skutecznej kontroli stanu technicznego pojazdów samochodowych ze względu na emisję zanieczyszczeń w czasie eksploatacji. Skutkiem tego są widoczne liczne przypadki znacznej emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych nominalnie stosunkowo zaawansowanych kategorii ekologicznych. W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych emisji zanieczyszczeń w przypadku niespełnienia przez pojazdy o nominalnie zaawansowanej kategorii ekologicznej przepisów dotyczących emisji zanieczyszczeń. Stwierdzono, że efekty ekologiczne braku skutecznego nadzorowania emisji zanieczyszczeń z samochodowych silników spalinowych są co najmniej porównywalne ze skutkami eksploatacji przestarzałych pojazdów.*

**Słowa kluczowe:** *silniki spalinowe, emisja zanieczyszczeń, ochrona środowiska*

#### 1. Wstęp

Motoryzacja sprzyja licznym uciążliwościom ekologicznym. Do najbardziej zauważalnych i dotkliwych zalicza się emisję zanieczyszczeń. W ostatnich dwudziestu latach odnotowuje się duży postęp w ograniczaniu emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych [1, 2, 6, 7, 9–11]. Jest to osiągnięte m.in. dzięki sterowaniu procesów roboczych zachodzących w silnikach oraz technikom katalitycznego oczyszczania spalin [1, 2, 7]. Jednocześnie jednak nowoczesne silniki spalinowe stają się tak skomplikowane, że niewielkie nawet odchylenia stanu technicznego od stanu właściwego mogą przyczyniać się do bardzo znacznego pogorszenia się właściwości ekologicznych silników. Podejmowane są próby nadzorowania stanu technicznego silników spalinowych w celu zapobieżenia niekontrolowanemu pogarszaniu się ich stanu technicznego ze względu na emisję zanieczyszczeń: temu celowi służą m.in. układy diagnostyki pokładowej OBD (On Board Diagnostic) [2]. Jednak metody te nie są dotychczas dostatecznie skuteczne – w zasadzie dopiero od poziomu przepisów Euro 5/

/Euro V<sup>1</sup> można mieć nadzieję na poprawę sytuacji diagnozowania stanu technicznego silników. Badania kontrolne w czasie eksploatacji samochodów nie są skuteczne w sprawie diagnozowania stanu technicznego silników spalinowych ze względu na emisję zanieczyszczeń, jeśli w praktyce w ogóle takie badania są wykonywane. W silnikach o zapłonie iskrowym badania okresowe są wykonywane na silniku nie obciążonym, natomiast dla silników o zapłonie samoczynnym wykonuje się badania zadytmienia spalin w próbie swobodnego przyspieszenia.

<sup>1</sup>Zgodnie z prawodawstwem Unii Europejskiej badania emisji zanieczyszczeń na hamowni podwoziowej przeprowadza się dla pojazdów samochodowych kategorii M1 (samochody osobowe) i N1 (lekkie samochody ciężarowe o dopuszczalnej masie całkowitej mniejszej niż 3,5 Mg) – limity emisji drogowej zanieczyszczeń są tradycyjnie oznaczane EURO (lub Euro) oraz kolejnymi liczbami pisanymi cyframi arabskimi [2, 6, 9–11]. Na hamowni silnikowej bada się emisję zanieczyszczeń z silników pojazdów samochodowych kategorii M2, M3, N2 i N3, czyli z silników do pojazdów o masie maksymalnej większej niż 3,5 Mg: o zapłonie samoczynnym i o zapłonie iskrowym na paliwa gazowe: gaz ziemny NG i skroplony gaz ropopochodny limity emisji jednostkowej zanieczyszczeń są tradycyjnie oznaczane EURO (lub Euro) oraz kolejnymi liczbami pisanymi cyframi rzymskimi [2, 6, 9–11].

Kontrola stanu silników spalinowych w czasie ich użytkowania przez służby państwowe jest praktycznie fikcją, nawet w przypadkach skrajnie widocznych objawów niesprawności – w czasie uczestnictwa w ruchu drogowym jako kierujący pojazdem i jako pasażer autor nie miał okazji w ostatnich latach zauważyć kiedykolwiek interwencji służb w związku z ewidentnie widoczną emisją cząstek stałych z silników spalinowych samochodów użytkowanych na drogach.

W związku z powyższymi spostrzeżeniami dokonano w pracy analizy wpływu niesprawności silników spalinowych o zapłonie samoczynnym, stosowanych w samochodach ciężarowych, na całkowitą emisję zanieczyszczeń. Do badań symulacyjnych wykorzystano limity emisji jednostkowej zanieczyszczeń w testach statycznych. Wybrano takie rozwiązanie, ponieważ testy dynamiczne obowiązują dopiero od poziomu przepisów Euro III, zatem nie byłoby możliwe wykorzystanie informacji o emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych starszych generacji ekologicznych. Do analiz wykorzystano strukturę ekologiczną silników samochodów ciężarowych, użytkowanych w Niemczech w latach 2000 – 2012. Struktura taka jest dostępna w bazach danych oprogramowania do symulacji emisji zanieczyszczeń w warunkach rzeczywistego użytkowania samochodów, opracowanego przez instytut INFRAS AG [3]. Przyjęcie takiego założenia nie zmienia istoty prowadzonych rozważań, co najwyżej występuje dla warunków w Polsce niewielkie przesunięcie w skali czasu.

## 2. Limity emisji jednostkowej z silników spalinowych w testach statycznych

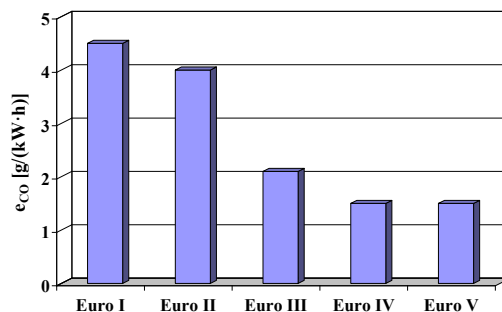
W ciągu ostatnich dwudziestu lat nastąpiło znaczne zaostrzenie przepisów dotyczących emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych. W tabeli 1 przedstawiono limity emisji jednostkowej zanieczyszczeń z ciężkich silników spalinowych o zapłonie samoczynnym (stosowanych w samochodach ciężarowych i autobusach) w testach statycznych EKG 49.02 i ESC, począwszy od kategorii ekologicznej silników spalinowych przed Euro I, oznaczanej Pre Euro, aż do kategorii Euro VI.

Na rysunkach 1–4 przedstawiono graficznie limity emisji jednostkowej zanieczyszczeń w testach EKG 49.02 i ESC dla silników spalinowych kategorii ekologicznej Euro I – Euro V.

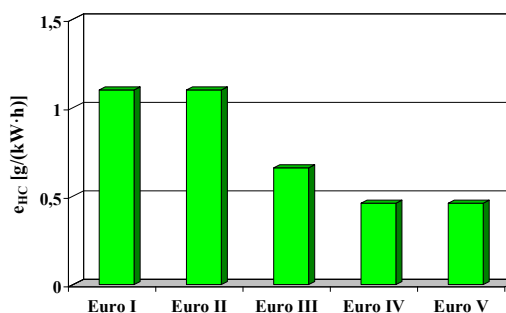
Tab. 1. Limity emisji jednostkowej zanieczyszczeń w testach statycznych EKG 49.02 i ESC [11]

Data/Test	Poziom	$e_{CO}$	$e_{HC}$	$e_{NOx}$	$e_{PM}$
		[g/(kW·h)]			
EKG 49.02	Pre Euro			14,4	
1992.01 EKG 49.02	Euro Ia $N_{eN} < 85$ kW	4,5	1,1	8	0,612
1992.02 EKG 49.02	Euro Ib $N_{eN} > 85$ kW	4,5	1,1	8	0,36
1996.10 EKG 49.02	Euro IIc	4	1,1	7	0,25
1998.10 EKG 49.02	Euro II d	4	1,1	7	0,15
1999.10 ESC	EEV	1,5	0,25	2	0,02
2000.10 ESC	Euro III	2,1	0,66	5	0,1
2005.10 ESC	Euro IV	1,5	0,46	3,5	0,02
2008.10 ESC	Euro V	1,5	0,46	2	0,02
2013.01 ESC	Euro VI	1,5	0,13	0,5	0,01

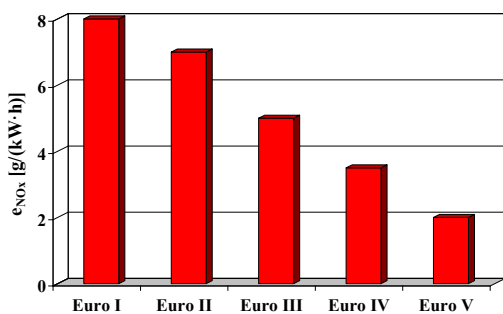
EKG – Europejska Komisja Gospodarcza (ONZ)  
 ESC – European Steady Cycle (europejski test statyczny)  
 $N_{eN}$  – znamionowa moc użyteczna  
 EEV – Enhanced Environmental Friendly Vehicle (pojazd przyjazny środowisku)



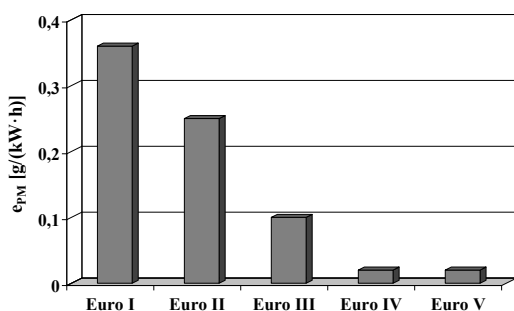
Rys. 1. Limity emisji jednostkowej tlenku węgla w testach statycznych EKG 49.02 i ESC



Rys. 2 Limity emisji jednostkowej węglowodorów w testach statycznych EKG 49.02 i ESC

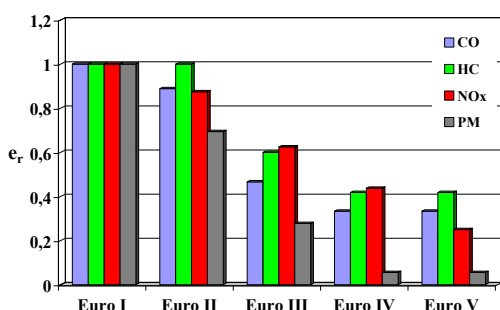


Rys. 3 Limity emisji jednostkowej tlenków azotu w testach statycznych EKG 49.02 i ESC



Rys. 4. Limity emisji jednostkowej cząstek stałych w testach statycznych EKG 49.02 i ESC

Na rysunku 5 przedstawiono względne limity emisji jednostkowej zanieczyszczeń z silników spalinowych w testach statycznych EKG 49.02 i ESC odniesione do limitów na poziomie Euro I.

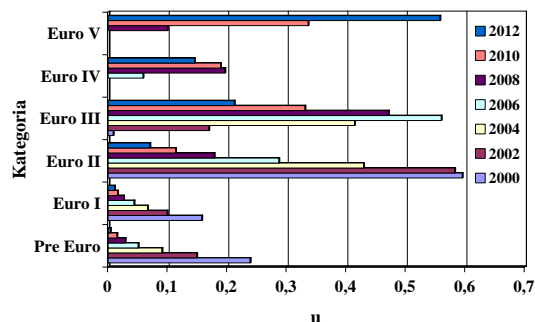


Rys. 5. Względne limity emisji jednostkowej zanieczyszczeń w testach statycznych EKG 49.02 i ESC odniesione do limitów na poziomie Euro I

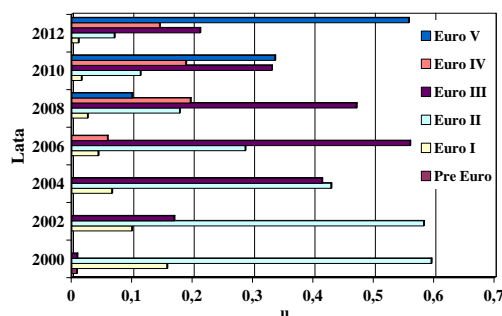
Jest wyraźnie widoczne, że najbardziej znaczące zaostrzenie przepisów jest w przypadku emisji cząstek stałych, a w następnej kolejności – tlenków azotu.

### 3. Badania symulacyjne emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych samochodów ciężarowych

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono strukturę ekologiczną samochodów ciężarowych w Niemczech w latach: 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010 i 2012.



Rys. 6. Struktura ekologiczna samochodów ciężarowych w Niemczech

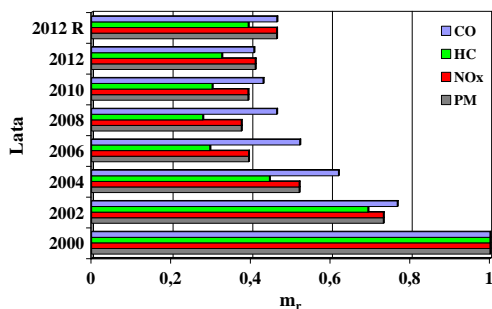


Rys. 7. Struktura ekologiczna samochodów ciężarowych w Niemczech

Wyraźnie widoczna jest zmiana struktury ekologicznej stosowanych silników: w 2000 r. dominującą kategorią były silniki o poziomie Euro II, w 2012 r. – już Euro V.

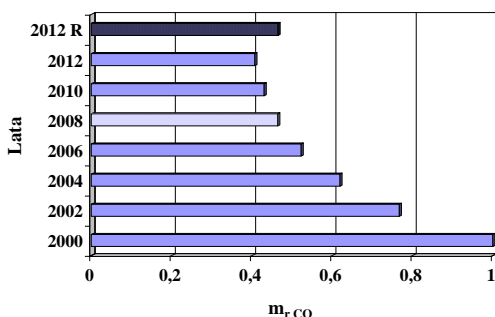
Badania symulacyjne emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych samochodów ciężarowych polegają na założeniu, że pewna część silników o kategoriach ekologicznych Euro II – Euro V nie spełnia wymagań, wynikających z procedur homologacyjnych. Założenie to wynika z wieloletniej obserwacji autora w czasie użytkowania samochodu w ruchu drogowym. Obserwacja ta dotyczy jedynie zadymienia spalin – na podstawie wieloletniego doświadczenia autora wynika, że silniki te ze względu na emisję cząstek stałych nie spełniają nawet limitów na poziomie Euro I, jednak dla silników kategorii Pre Euro brak jest limitów emisji zanieczyszczeń oprócz tlenków azotu. Uczyniono zatem założenie, że silniki, nie spełniające wymagań homologacyjnych, kwalifikują się do kategorii Euro I, choć faktycznie należałoby kwalifikacji dokonać do kategorii Pre Euro. Oczywiście założenie takie jest słuszne w zasadzie dla emisji cząstek stałych. Na podstawie wiedzy o emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych można również założyć, że znacznie zwiększonej emisji cząstek stałych powinno towarzyszyć zwiększona emisja tlenu węgla i węglowodorów [7]. W przypadku tlenków azotu słuszność takiego założenia nie musi być tak oczywista.

Uczyniono założenie, że 10% silników o kategoriach Euro II – Euro V nie spełnia wymagań homologacyjnych. Przy takim założeniu emisja względna zanieczyszczeń, odniesiona do stanu w 2000 r, ulega zmniejszeniu dla kolejnych lat, co jest przedstawione na rysunku 8. Dla stanu, wynikającego z niespełnienia wymagań homologacyjnych, emisja względna zanieczyszczeń jest oznaczona „2000 R”.

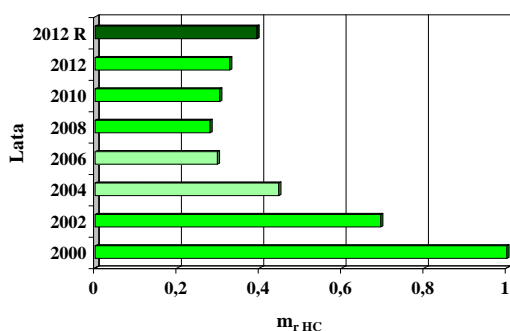


Rys. 8. Emisja względna zanieczyszczeń w poszczególnych latach bilansowania

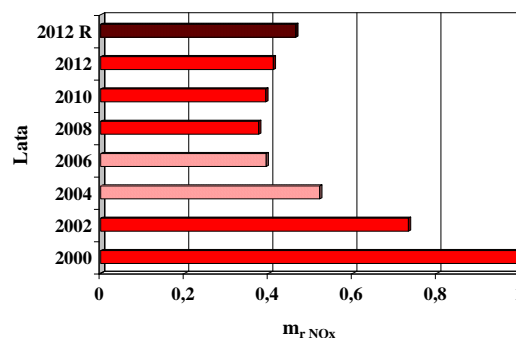
Na rysunkach 9–12 przedstawiono emisję względną poszczególnych zanieczyszczeń. W specjalny sposób oznaczono wartość dla stanu, wynikającego z niespełnienia wymagań homologacyjnych – 2000 R, oraz dla stanów najbardziej zbliżonych dla analizowanego stanu 2000 R.



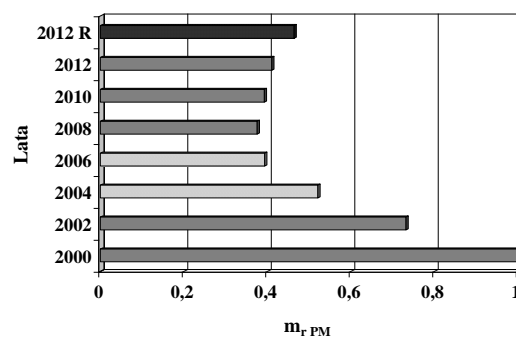
Rys. 9. Emisja względna tlenku węgla w poszczególnych latach bilansowania



Rys. 10. Emisja względna węglowodorów w poszczególnych latach bilansowania



Rys. 11. Emisja względna tlenków azotu w poszczególnych latach bilansowania



Rys. 12. Emisja względna cząstek stałych w poszczególnych latach bilansowania

Z analizy tej wynika różnica czasu odpowiadającego zbliżonej emisji względnej z silników o stanie ekologicznym, wynikającym z niespełnienia wymagań homologacyjnych w 2012 r., i z silników zgodnie z deklarowaną strukturą ekologiczną. Różnica ta wynosi w przybliżeniu: dla tlenku węgla 4 lata oraz dla pozostałych zanieczyszczeń 7 lat. Ze względu na uczynione założenia można przypuszczać, że oceny te mogą być znacznie zaniżone.

#### 4. Podsumowanie

Badania symulacyjne przeprowadzone w niniejszej pracy dotyczą emisji zanieczyszczeń. Skutkiem emisji zanieczyszczeń z silników jest emisja zanieczyszczeń, czyli stężenie zanieczyszczeń rozproszonych w otoczeniu [4]. Wiadomo z zasad rozprzestrzeniania zanieczyszczeń, że średnia emisja zanieczyszczeń jest w przybliżeniu liniowo zależna od średniego natężenia emisji [5, 8]. W związku z tym rozważania o emisji zanieczyszczeń umożliwiają również formułowanie wniosków o emisji, czyli o wielkości bezpośrednio mającej wpływ na zagrożenie dla zdrowia ludzi i ich środowiska.

Badania symulacyjne, których wyniki przedstawiono w niniejszej pracy, wskazują, że zagrożenie wynikające z nieskutecznej kontroli stanu technicznego samochodów w eksploatacji ze względu na emisję zanieczyszczeń jest co najmniej porównywalnie groźne, jak eksploatacja samochodów przestarzałych. Jeśli uwzględnimy, że wprowadzanie pojazdów z silnikami spalinowymi o coraz lep-

---

szych kategoriach ekologicznych jest związane z ponoszeniem przez społeczeństwo znacznych nakładów, nieskuteczność służb państwowych w kon-

troli stanu technicznego pojazdów jest szczególnie szkodliwa społecznie.

## Piśmiennictwo

- [1] Chłopek Z.: Pojazdy samochodowe. Ochrona środowiska naturalnego, Warszawa, WKŁ 2002.
- [2] Chłopek Z.: Ekologiczne aspekty motoryzacji i bezpieczeństwo ruchu drogowego, Politechnika Warszawska – Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych 2010.
- [3] INFRAS AG: Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs; Version 2.1, Bern 2004.
- [4] Leksykon ekoinżynierii. Praca zbiorowa. Red. Gabriel Borowski, Warszawa, Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej 2010.
- [5] Markiewicz M.: Podstawy modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2004.
- [6] Merkisz J., Pielecha J., Radzimirski S.: Pragmatyczne podstawy ochrony powietrza atmosferycznego w transporcie drogowym, Poznań, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2009.
- [7] Merkisz J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych. Tom I i II, Poznań, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 1999.
- [8] Pasquill F. Atmospheric dispersion parameters in Gaussian plume modeling. Part 2: Possible requirements for change in the Turner Workbook values. U.S. EPA Document EPA-600/4-76-030b, Washington, D.C. 1976.
- [9] Worldwiede emission standards. Heavy duty & off-road vehicles. Delphi. Innovation for the real world. 2010/2011.
- [10] Worldwiede emission standards. Passenger cars and light duty vehicles. Delphi. Innovation for the real world. 2011/2012.
- [11] [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com).

Prof. Zdzisław Chłopek, DSc., DEng. – Professor at the Faculty of Automotive and Construction Machinery Engineering at Warsaw University of Technology.

*Prof. dr hab. inż. Zdzisław Chłopek – Profesor na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.*

email: [moriarty@o2.pl](mailto:moriarty@o2.pl)

