

## TECHNICZNE I EKSPLOATACYJNE UWARUNKOWANIA SKŁADU SPALIN GENEROWANYCH PRZEZ WYBRANE POJAZDY TRANSPORTU OSOBOWEGO

Piotr Szczęsny, Marek Borowiec

**Streszczenie.** Zadymienie spalin stanowi główny problem skażeń motoryzacyjnych powodowanych przez silniki wysokoprężne. W pracy przedstawiono wyniki badań zadymienia spalin autobusów komunikacji miejskiej w Lublinie, przeprowadzonych w okresie październik-listopad 2002 r. Przebadano 163 autobusy. Wykonano opracowanie statystyczne uzyskanych wyników w zakresie wpływu wybranych parametrów eksploatacyjnych na poziom zadymienia spalin. Wyniki porównano z analogicznymi pomiarami zadymienia spalin wykonanymi w latach 1995 i 1996. Stwierdzono ponad 50% spadek średniego zadymienia spalin autobusów w roku 2002 w stosunku do lat 1995–1996, co jest skutkiem przede wszystkim wprowadzenia paliwa Ekodiesel Plus 50D. W wyniku badań stwierdzono, iż wszystkie badane autobusy spełniają aktualnie obowiązujące normy zadymienia spalin.

**Słowa kluczowe:** zadymienie spalin, spaliny, autobus

### WSTĘP

Emisja cząstek stałych z silników wysokoprężnych, obserwowana i mierzona jako zadymienie spalin, stanowi główny problem skażeń motoryzacyjnych powodowanych przez te silniki. Szczególne znaczenie ma emisja cząstek stałych z silników autobusów komunikacji miejskiej, gdyż oddziałuje bezpośrednio na znaczną liczbę ludzi znajdujących się w ruchu miejskim – głównie jako pasażerowie i przechodnie. Cząstki stałe zawierają w swym składzie m.in. zaadsorbowane węglowodory aromatyczne (PAH – Polycyclic Aromatic Hydrocarbons). Znane jest kancerogenne działanie cząstek stałych na organizm człowieka [Merkisz 1994, 1997]. Badania zadymienia spalin autobusów komunikacji miejskiej wykonywane były w latach 1995 [Budzyński i in. 1996] i 1996 [Stoczkowski 1997], w ramach współpracy Katedry Silników Spalinowych Politechniki Lubelskiej i Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego (MPK) w Lublinie. Celem badań wykonanych pod koniec roku 2002 [Borowiec 2003] jest aktualna ocena poziomu zadymienia spalin autobusów komunikacji miejskiej, a także porównanie uzyskanych

wyników z badaniami przeprowadzonymi w latach poprzednich. W okresie poprzedzającym ostatnio wykonane badania, MPK wprowadziło do eksploatacji nowe typy autobusów, a także ekologiczne paliwo Ekodiesel Plus 50D. Spodziewany jest korzystny wpływ wymienionych czynników na zmniejszenie zadymienia spalin autobusów komunikacji miejskiej, co jest przedmiotem niniejszej pracy.

## MATERIAŁ I METODY

Badania zadymienia spalin autobusów MPK w Lublinie przeprowadzono na terenie zajezdni Majdan Tatarski, w okresie październik-listopad 2002 r. Przebadano 163 autobusy, co stanowi 66% taboru przedsiębiorstwa (odpowiednio w roku 1995 – 193 autobusy (77%) [Budzyński i in. 1996], w roku 1996 – 181 autobusów (75%) [Stoczkowski 1997]).

Pomiary zadymienia przeprowadzono przed wyjazdem autobusu i po jego powrocie z trasy i po zatankowaniu paliwa, a przed przeglądem OC (obsługi codziennej). Postój autobusu podczas tankowania trwał kilka minut. W tym czasie silnik nie zdążył jeszcze wystygnąć, dzięki czemu miał on właściwą, wyrównaną temperaturę, odpowiadającą warunkom badań. Do analizy zadymienia spalin wykorzystano dymomierz ISC D-60 Oliver, umożliwiający pomiar współczynnika pochłaniania światła  $k$ ,  $m^{-1}$ . Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 18 października 1994 r. w sprawie warunków technicznych i badań pojazdów (Dz.U. nr 116 z 1994 r. poz. 557), graniczne dopuszczalne zadymienie spalin wynosi  $2,5 m^{-1}$  dla silników wolnossących oraz  $3,0 m^{-1}$  dla silników doładowanych. Pozostałe dane (przebiegi silników, miesięczne zużycie olejów smarującego i napędowego, itp.) opracowano na podstawie dokumentacji i baz danych udostępnionych przez MPK Lublin.

Autobusy do badań były wybierane przypadkowo, mimo iż nie były losowane do analiz. Zastosowano metodę zbliżoną do losowania niezależnego, ponieważ każdy pojazd badany był tylko raz.

Ilościowe zestawienie statystyczne badanych autobusów przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Porównanie autobusów zbadanych w latach 1995, 1996 i 2002

Table 1. Comparison of buses used to examinations in periods 1995, 1996 and 2002

| Marka autobusu<br>Mark of the bus | Typ autobusu<br>Type of the bus | Autobusy zbadane<br>Buses examined |      |      | Stan pojazdów XI 2002 r.<br>Quantity of the vehicles – Nov. 2002 | Autobusy zbadane w 1995, 1996 i 2002<br>Buses examined in 1995, 1996, 2002 |
|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------|------|--|--|
|                                   |                                 | 1995                               | 1996 | 2002 |  |  |
| Ikarus                            | 280.26                          | 76                                 | 76   | 64   | 87   | 53   |
| Jelcz                             | wszystkie typy<br>all types     | 105                                | 96   | 86   | 136  | 45   |
| Neoplan                           | N4020-14                        | -                                  | -    | 12   | 25   | -  |
| MAN                               | wszystkie typy<br>all types     | 9                                  | 7    | -    | -  | -  |
| Mercedes                          | 305                             | 3                                  | 2    | -    | -  | -  |
| Razem – Total                     |                                 | 193                                | 181  | 162  | 248  | 98   |

Najliczniejszą grupę autobusów badanych w roku 2002 stanowią pojazdy marek Ikarus i Jelcz, odpowiednio 27% i 53%. Również w latach 1995–1996 autobusy tych marek stanowiły większość badanych pojazdów, natomiast niewielki udział autobusów MAN i Mercedes (ok. 5%) wpłynął korzystnie na obniżenie średniego zadymienia spalin. W badaniach w roku 2002 miejsce wycofanych autobusów MAN i Mercedes zajęły autobusy marki Neoplan (ok. 7%) z silnikami spełniającymi w zakresie toksyczności spalin normę Euro II. Pojazdy te pojawiały się w eksploatacji począwszy od roku 1997.

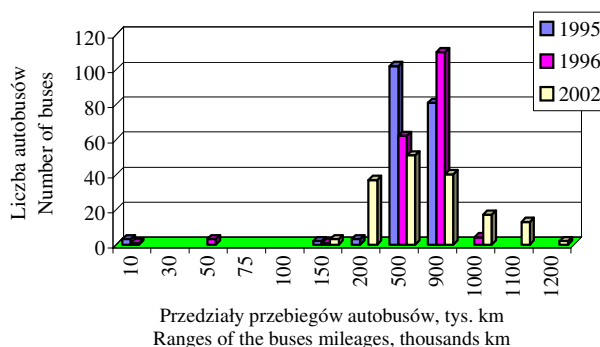
Tabela 2. Przebiegi badanych autobusów  
Table 2. Mileages of examined buses

| Marka pojazdu<br>Make of vehicle | Przebieg – Mileages, km |                 |                   |                 |                      |                 |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
|                                  | minimalny – minimal     |                 | średni – mean     |                 | maksymalny – maximal |                 |
|                                  | pojazd<br>vehicle       | silnik<br>motor | pojazd<br>vehicle | silnik<br>motor | pojazd<br>vehicle    | silnik<br>motor |
| Ikarus                           | 609 861                 | 5928            | 897 322           | 530 044         | 1 242 145            | 1 014 382       |
| Jelcz                            | 171 344                 | 4813            | 734 097           | 559 842         | 1 152 304            | 1 152 304       |
| Neoplan                          | 322 725                 | 322 725         | 397 203           | 397 203         | 440 076              | 440 076         |

W tabeli 2 zebrano wybrane parametry eksploatacyjne autobusów. Większość z nich wyposażona jest w silniki, w których zostały przeprowadzone naprawy główne. Świadczą o tym przebiegi silników w odniesieniu do całkowitego przebiegu autobusu – po naprawie głównej przebieg silnika liczony jest od zera.

### WYNIKI I DYSKUSJA

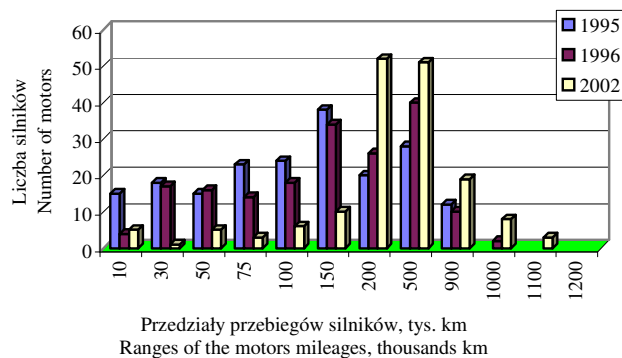
Rysunek 1 przedstawia liczbę autobusów w zależności od przebiegu pojazdu, natomiast rysunek 2 w zależności od przebiegu silnika. Część autobusów wyposażona jest w silniki po naprawie głównej (NG), których przebieg liczony jest po naprawie od początku. W związku z tym na rysunku 1 liczba autobusów o przebiegu do 200 tys. km jest niewielka w porównaniu do liczby autobusów o analogicznym przebiegu silnika.



Rys. 1. Liczba autobusów w zależności od przebiegu pojazdu  
Fig. 1. Number of buses in dependence on vehicle mileage

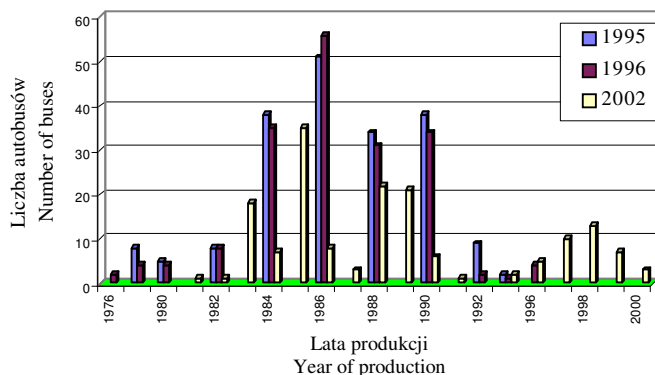
W roku 2002 przebadanych zostało kilkanaście autobusów o przebiegu ponad milion kilometrów, jakich nie odnotowano w latach 1995, 1996.

Jak wynika z rysunku 2 najczęściej pojazdów wyposażonych jest w silnik o przebiegu 200–500 tys. km. W stosunku do badań z 1995 i 1996 roku zmniejszyła się liczba autobusów z silnikami o przebiegu do 150 tys. km, a powyżej 150 tys. km zwiększyła się.



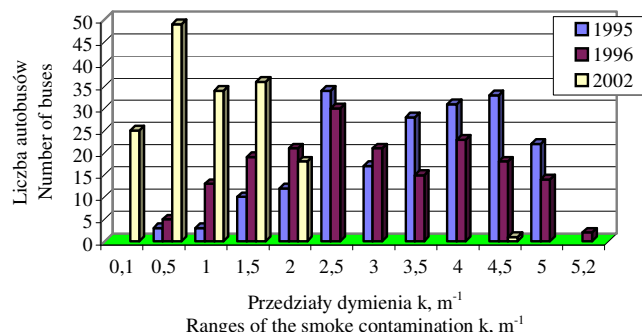
Rys. 2. Liczba autobusów w zależności od przebiegu silnika  
Fig. 2. Number of buses in dependence on engine mileage

Każdy autobus w ciągu roku zwiększa przebieg średnio o ok. 80–90 tys. km. Zatem większa liczba silników w przedziałach 150–500 tys. km w badaniach z 1996 roku świadczy o tym, że są to te silniki, które w badaniach z roku 1995 znajdowały się w przedziałach do 150 tys. km. Na licznosc występowania w poszczególnych przedziałach przebiegów mają również wpływ liczba autobusów (silników) nowo zakupionych oraz tych, które zostały wycofane z eksploatacji.



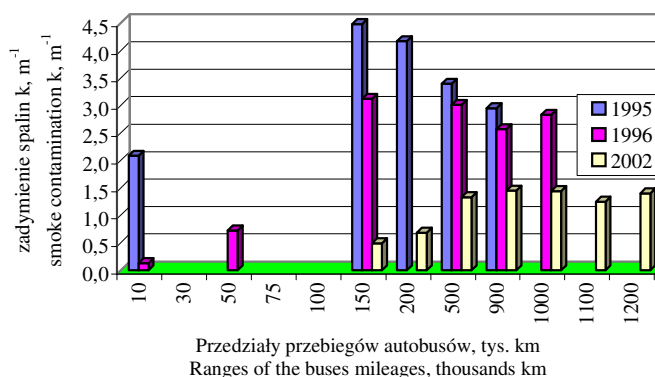
Rys. 3. Liczba autobusów w zależności od roku produkcji  
Fig. 3. Number of buses in dependence on the year of production

Rysunek 3 przedstawia liczbę autobusów w zależności od roku produkcji. W latach 1995–96 najwięcej pojazdów pochodziło z lat 1984–1990. W roku 2002 nadal największą grupę autobusów stanowią roczniki 1984-1990, wyraźny jest jednak wzrost liczby pojazdów z lat 1994–2000. Niewielkie różnice ilościowe w poszczególnych latach badań świadczą o reprezentatywności grupy badanych autobusów.



Rys. 4. Liczba autobusów w zależności od poziomu zadymienia spalin  
 Fig. 4. Number of buses in dependence on the level of smoke contamination in exhaust gases

Rysunek 4 przedstawia liczbę pojazdów w zależności od poziomu zadymienia spalin. Autobusy badane w roku 2002 spełniają wymagania, natomiast badane w latach 1995 i 1996 w znacznej części przekraczają obowiązujące normy.

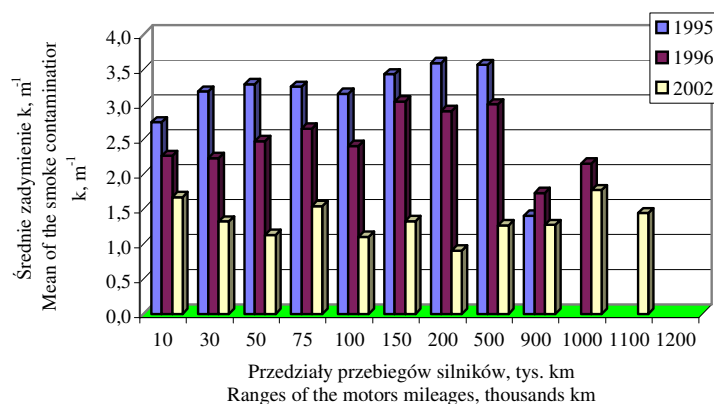


Rys. 5. Średnie zadymienie spalin w zależności od przebiegu autobusu  
 Fig. 5. Mean of the smoke contamination in the exhaust gases in dependence on the bus mileage

Rysunek 5 przedstawia zależność średniego współczynnika zadymienia od przebiegu autobusu. Na zmniejszenie zadymienia wraz ze zwiększeniem przebiegu pojazdu ma wpływ przeprowadzana naprawa główna silników. Przy przebiegu silnika ok. 150 tys. km poddawany jest on naprawie głównej, po której jego dymienie obniża się. Jest on

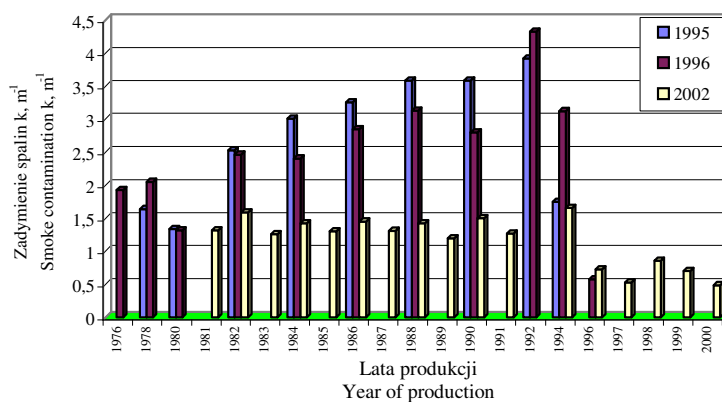
następnie zabudowany do nadwozia o dużym przebiegu. Zdarzają się też przypadki zakupu nowego silnika do używanego nadwozia.

Rysunek 6 przedstawia zależność średniego zadymienia spalin od przebiegu silnika. W przedziałach przebiegów silników do 500 tys. km średnie zadymienie spalin zmniejszyło się w stosunku do badań z 1995 i 1996 roku. Jest to spowodowane między innymi wprowadzeniem do zasilania silników paliwa niskosiarkowego, jak również zakupem nowych autobusów (w większości marek Jelcz i Neoplan) oraz zakupem nowych silników i przeprowadzonymi naprawami głównymi.



Rys. 6. Średnie zadymienie spalin w zależności od przebiegu silnika

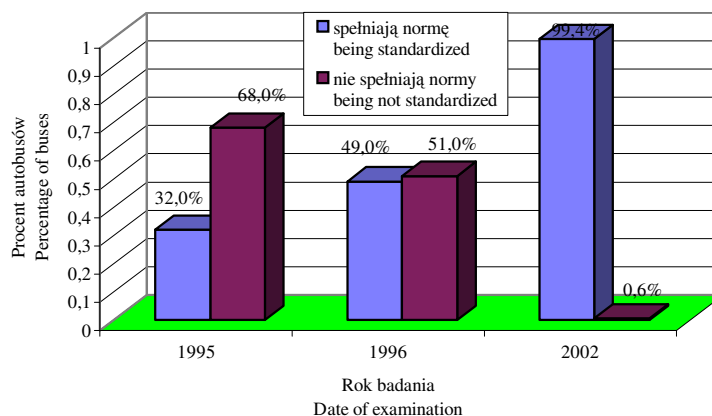
Fig. 6. Mean of the smoke contamination in exhaust gases in dependence on the engine mileage



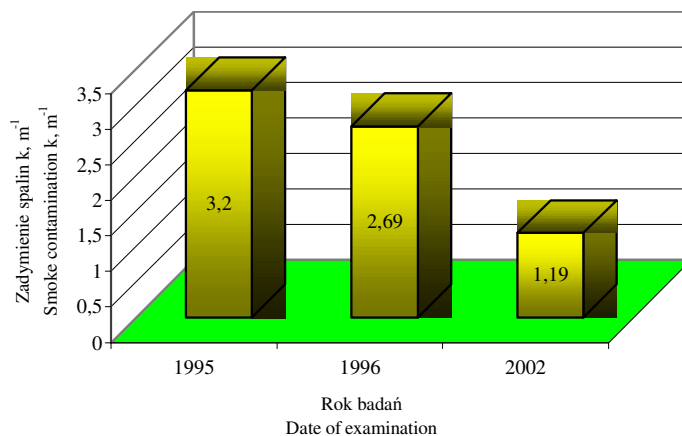
Rys. 7. Średnie zadymienie spalin w zależności od roku produkcji autobusu

Fig. 7. Mean of the smoke contamination in the exhaust gases in dependence on the year of bus production

Rysunek 7 przedstawia zależność średniego współczynnika zadymienia spalin od roku produkcji pojazdu. Podobnie jak poprzednio, charakterystyczna jest stała tendencja do obniżenia współczynnika zadymienia spalin w kolejnych latach badań. Najniższe poziomy zadymienia dotyczą pojazdów wyprodukowanych po 1994 roku.



Rys. 8. Porównanie autobusów w odniesieniu do normy zadymienia spalin w latach 1995–2002  
 Fig. 8. Comparison of buses in the aspect of the smoke contamination in the exhaust gases in the period 1995–2002



Rys. 9. Średnie zadymienie spalin w latach 1995, 1996, 2002  
 Fig. 9. Mean the smoke contamination in the exhaust gases in the period 1995, 1996, 2002

Korelacja wybranych parametrów eksploatacyjnych autobusów z wielkością zadymienia spalin jest trudna do opracowania i interpretacji, ze względu na złożone zależności badanych parametrów. Podjęto próbę oceny korelacji zadymienia spalin z przebie-

giem pojazdu, przebiegiem silnika, średnim zużyciem oleju, zużyciem paliwa, naprawą główną [Borowiec 2003]. Najwyższy dodatni współczynnik korelacji charakteryzuje zależność współczynnika zadymienia spalin od przebiegu pojazdu i potwierdza wpływ zwiększonego przebiegu pojazdu na wzrost zadymienia spalin. Przeprowadzona analiza korelacyjna potwierdza też wpływ zwiększonego przebiegu silnika, wyższego zużycia paliwa oraz większej liczby napraw głównych na wzrost zadymienia spalin.

Z rysunku 8 wynika systematyczny wzrost udziału autobusów spełniających normę zadymienia spalin w latach 1995–2002.

Na rysunku 9 zostały przedstawione wartości średniego zadymienia spalin autobusów w latach 1995, 1996 oraz 2002, wskazujące na stałe obniżanie się tego parametru, co jest tendencją wysoce pozytywną z punktu widzenia ochrony środowiska przed zanieczyszczeniami motoryzacyjnymi.

## WNIOSKI

1. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, iż wszystkie przebadane autobusy Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie spełniają aktualnie obowiązujące normy zadymienia spalin, a ich średni współczynnik zadymienia wyniósł  $1,19 \text{ m}^{-1}$ .

2. Stwierdzono, iż wprowadzenie paliwa Ekodiesel Plus 50D w autobusach komunikacji miejskiej spowodowało wzrost liczby autobusów spełniających normę zadymienia spalin w odniesieniu do badań z 1996 i 1995 roku. Średni współczynnik zadymienia spalin zmniejszył się o 56% w stosunku do roku 1996 i o 63% w stosunku do roku 1995.

3. Autobusy marki Ikarus stanowiące aktualnie 27% taboru MPK Lublin spełniają normy zadymienia, jednakże ich zadymienie jest istotnie wyższe niż w pozostałych autobusach. W porównaniu do roku 1996 średnie zadymienie spalin w tej grupie autobusów zmniejszyło się o 48% i wyniosło  $1,32 \text{ m}^{-1}$ .

4. Normy zadymienia spalin autobusów marki Jelcz, stanowiących 53% taboru w MPK Lublin spełniły wszystkie pojazdy. Ich średnie zadymienie wynosi  $1,17 \text{ m}^{-1}$ , a w porównaniu do badań z 1996 roku, zmniejszyło się o 60%.

5. W autobusach marki Neoplan stanowiących obecnie 7% taboru autobusowego w MPK Lublin, normy zadymienia spalin spełniają wszystkie pojazdy. Średni współczynnik zadymienia spalin dla tej grupy autobusów jest bardzo niski i wynosi  $0,6 \text{ m}^{-1}$ . Autobusy Neoplan zostały wprowadzone dopiero od 1997 roku i nie występowały w badaniach w latach 1995 i 1996.

6. Zastosowanie paliwa Ekodiesel Plus 50D w autobusach komunikacji miejskiej w Lublinie, okazuje się bardzo dobrym rozwiązaniem służącym zmniejszeniu zadymienia spalin w bardzo znaczącym stopniu w porównaniu do wyników z roku 1995 i 1996.



## PIŚMIENNICTWO

- Merkisz J., 1994. Zużycie oleju w szybkoobrotowych silnikach spalinowych. Wyd. Polit. Pozn., Poznań, 185–204.
- Merkisz J., 1997. Emisja cząstek stałych przez silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym. Wyd. Polit. Pozn., Poznań, 21–27.
- Budzyński P., Szczęsny P., 1996. Wpływ wybranych czynników eksploatacyjnych na zadymienie spalin autobusów komunikacji miejskiej. *Ekoinżynieria*, 2 (9), 8–13.
- Stoczkowski W., 1997. Statystyczne badania porównawcze toksyczności spalin autobusów MPK w Lublinie. Polit. Lub., Lublin.
- Borowiec M., 2003. Analiza statystyczna wskaźników ekologicznych taboru autobusowego MPK w Lublinie. Polit. Lub., Lublin.

## TECHNICAL AND EXPLOATATION CONDITIONS OF THE EXHAUSTES GASES CAPACITY GENERATED BY CHOSEN VEHICKLES OF THE PERSONAL TRANSPORT

**Abstract.** Smoke contamination there is the main problem of motorization impurities, which are caused by compression ignition engines. In the study there are presented results of the smoke contamination examinations in buses of the community communication, which were performed in the period October-November 2002. 163 buses were examined. Statistical calculations of the results were analysed in the field of the influence of the some exploitation factors on the level of smoke contamination in exhaust gases. The obtained results were compared to analogous measurements of smoke contamination in the period 1995–1996. More than 50% reduction of the smoke contaminations level in buses was observed in 2002 in comparison to 1995–1996 years. The result as above, is mainly effect of using in buses Ekodiesel Plus 50D fuel. As a result of the study, the authors stated, that all examined buses are correct with current standards of the smoke contamination.

**Key words:** bus, smoke contamination, exhaust gases

*Piotr Szczęsny, Katedra Silników Spalinowych, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, pioszc@poczta.onet.pl*

*Marek Borowiec, Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, marek701@o2.pl*