

Zdzisław CHŁOPEK

TENDENCJE ROZWOJOWE W NAPĘDACH AUTOBUSÓW MIEJSKICH

THE DEVELOPMENT TRENDS IN CITY BUS DRIVE TRAINS

Komunikacja miejska może stanowić dużą uciążliwość dla społeczeństwa. W związku z tym przywiązuje się dużą wagę do jakości autobusów miejskich ze względu nie tylko na skuteczność wykonywania przez nie swych zadań, ich funkcjonalność i ekonomiczność, ale i oddziaływanie na środowisko. W pracy przedstawiono najważniejsze tendencje rozwoju silników stosowanych w autobusach miejskich. Stwierdzono, że osiąganie coraz wyższej jakości ekologicznej silników spalinowych musi pociągać za sobą znaczne podwyższenie ceny autobusów, a także zwiększenie zużycia paliwa. Spośród istniejących proekologicznych rozwiązań napędów autobusów miejskich przedstawiono koncepcje zasilania silników autobusów miejskich gazem ziemnym. Wyniki badań emisji zanieczyszczeń z silników zasilanych sprężonym gazem ziemnym wykazują już możliwość spełnienia przez te silniki wymagań na poziomie EEV (Enhanced Environmentally Friendly Vehicle – pojazdy przyjazne środowisku) o bardziej restrykcyjnych limitach emisji zanieczyszczeń niż EURO 4.

Słowa kluczowe: silniki spalinowe, autobusy miejskie, emisja zanieczyszczeń

For the buses of the city transport their big arduousness is significant for the society. Due to the above their quality is taken into big consideration because of not only their efficiency in making their tasks, functionality and economic but also influence for the environment. In this work the most important tendencies of the development of the drives in the city buses are shown. It is stated that achievement of higher and higher ecological quality of internal combustion engines must generate the considerable increase of the buses' prices and also augmentation of the fuel consumption. From among existing solutions of the pro-ecological drives of the city conceptions of the earth gas feed of the city buses were presented. The results of the searches of the pollutants emission from the engines supplied by compressed earth gas show already the possibility of the fulfillment by these engines of the requirements of the level EEV (Enhanced Environmentally Friendly Vehicle) which have more restrictive limits of pollutants emission than Euro 4.

Keywords: internal combustion engines, city buses, pollutants emission

1. Wstęp

Jednym z wyróżników rozwoju cywilizacji jest możliwość przemieszczania się ludzi i towarów. Komunikacja miejska ma w tym zakresie ważne funkcje do spełnienia: zarówno społeczne, jak i gospodarcze. Masowość komunikacji miejskiej może przyczyniać się jednak do negatywnego wpływu na szeroko pojęte środowisko, nie tylko naturalne, ale i cywilizacyjne.

Z tych powodów do rozwoju komunikacji miejskiej, szczególnie w aspekcie technicznym, należy podchodzić w sposób kompleksowy. W ostatnich latach następuje znaczny rozwój techniczny pojazdów stosowanych w komunikacji miejskiej. Dotyczy to szczególnie ich silników.

Tendencje rozwoju silników autobusów miejskich, podobnie jak innych urządzeń technicznych,

są zdeterminowane podwyższaniem ich jakości [6, 8]. Najważniejszymi obiektywnymi kryteriami oceny urządzeń technicznych przez społeczeństwo i jego poszczególnych członków są [6, 8]: globalna ocena urządzeń technicznych, właściwości urządzeń technicznych w procesach wytwarzania i eksploatacji oraz skutki zagospodarowania urządzeń technicznych wycofywanych z eksploatacji.

W odniesieniu do autobusów miejskich globalna ocena na poziomie społeczeństwa dotyczy przede wszystkim zgodności właściwości autobusów miejskich z usankcjonowanymi wymaganiami. Szczególnie istotne znaczenie mają właściwości autobusów w procesie eksploatacji. Ogólnie właściwości te charakteryzują przede wszystkim aspekty: ekonomiczne, ekologiczne i bezpieczeństwa a także funkcjonalność.

Najważniejszymi układami autobusu miejskiego, mającymi wpływ na jego oddziaływanie na środowisko i na zużycie paliwa są: silnik spalinowy oraz układy napędowy i jezdny [5, 7]. Najważniejszymi kryteriami ekologicznymi napędów, a w szczególności silników spalinowych są [6, 7]:

- emisja zanieczyszczeń,
- zużycie paliwa i – zdeterminowana tym – emisja dwutlenku węgla,
- emisja hałasu i generowanie drgań,
- emisja promieniowania elektromagnetycznego,
- trwałość.

Tendencje rozwoju silników autobusów miejskich są zgodne z ww. kryteriami oceny autobusów.

2. Ogólne tendencje rozwoju silników autobusów miejskich

Ogólne tendencje rozwojowe napędów spalinowych ze względu na zużycie paliwa i oddziaływanie na środowisko sprowadzają się do [6, 7, 12, 13, 18, 19, 21]:

- opracowywania rozwiązań i technologii wytwarzania silników spalinowych, umożliwiających spełnienie coraz bardziej rygorystycznych wymagań,
- opracowywanie nowych generacji materiałów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych, w szczególności paliw i olejów silnikowych,
- opracowywania nowych rozwiązań układów napędowych, przede wszystkim optymalizacji algorytmów sterowania układów napędowych – automatycznych skrzyń biegów ze zmiennymi algorytmami sterowania [8],
- zapewnienia silnikowi spalinowemu warunków pracy optymalnych ze względu na jego właściwości ekonomiczne i ekologiczne, m.in. przez ograniczenia udziału w pracy biegu jałowego

i stanów dynamicznych – mogą się przyczyniać do tego przede wszystkim napędy hybrydowe, a w prostszych układach takie rozwiązania, jak m.in.: funkcja start – stop, umożliwiająca wyłączanie silnika w czasie postoju pojazdu czy zintegrowany układ: rozrusznik – silnik elektryczny – prądnica [21].

Szczególnie dużym osiągnięciem jest rozwój metod ograniczania emisji zanieczyszczeń przez silniki, przede wszystkim dzięki zastosowaniu technik katalitycznych [6, 7]. W ostatnich latach odnotowuje się znaczący postęp w katalitycznym oczyszczaniu spalin silników nie tylko, jak dotychczas o zapłonie iskrowym, gdzie przełomowym rozwiązaniem okazało się zastosowanie wielofunkcyjnych reaktorów katalitycznych, ale i o zapłonie samoczynnym. Dotyczy to najistotniejszych problemów emisji zanieczyszczeń z silników o zapłonie samoczynnym: cząstek stałych i tlenków azotu, która stanowiła dotychczas najpoważniejszą barierę ekologiczną rozwoju silników [6, 7, 12, 13, 18, 19].

Celem stosowania reaktorów katalitycznych w układzie wylotowym silnika jest [7]:

- utlenienie: tlenku węgla do dwutlenku węgla, węglowodorów do dwutlenku węgla i wody oraz sadzy do dwutlenku węgla,
- zredukowanie tlenków azotu do azotu.

Reaktory katalityczne klasyfikuje się ze względu na zachodzące w nich reakcje chemiczne na [7]:

- utleniające – Oxicat,
- redukujące DeNOx (decrease NOx),
- redukująco–utleniające (wielofunkcyjne) – TWC (three way catalyst).

Szczególną odmianą reaktorów katalitycznych jest filtr cząstek stałych DPF (diesel particle filter) [13, 19], w których zachodzi – oprócz reakcji katalitycznej – również mechaniczne filtrowanie zanieczyszczeń.

3. Rozwiązania stosowane w silnikach o zapłonie samoczynnym

Podstawowe rozwiązania stosowane w silnikach o zapłonie samoczynnym ze względu na ograniczenie zużycia paliwa oraz szkodliwego oddziaływania na środowisko to [7, 13, 18, 19, 21]:

- stosowanie wtrysku bezpośredniego (zamiast systemów z komorą dzieloną),
- bardzo wysokie ciśnienia wtrysku: układy z pompowtryskiwaczami oraz akumulacyjne układy wtryskowych (common rail),
- elektronicznie sterowanie układów wtryskowych,
- układy dolotowe ze zmiennymi właściwościami geometrycznymi,

- doładowanie z chłodzeniem powietrza,
- rozrząd wielozaworowy ze zmiennymi parametrami (fazami rozrządu i wzniosami zaworów),
- recyrkulacja spalin,
- postęp w opracowywaniu olejów napędowych, m.in.: podwyższanie liczby cetanowej, zmniejszenie zawartości siarki i węglowodorów pierścieniowych,
- katalityczne oczyszczanie spalin – reaktory katalityczne,
- zmniejszanie objętości skokowej silnika.

W silnikach o zapłonie samoczynnym stosuje się następujące reaktory katalityczne [7, 13, 18, 19]:

- utleniające tlenek węgla oraz związki organiczne, w tym również organiczną frakcję cząstek stałych,
- redukujące tlenki azotu,
- katalityczne filtry cząstek stałych.

Reaktory utleniające charakteryzują się dużą skutecznością, czemu sprzyja stosunkowo duże stężenie tlenu w spalinach. Znacznie trudniejszym problemem do rozwiązania jest redukcja tlenków azotu.

Do redukcji tlenków azotu stosuje się redukujące reaktory katalityczne [7, 13, 18, 19]. W związku z dużym stężeniem tlenu w spalinach w reaktorach dokonuje się selektywnej redukcji katalitycznej tlenków azotu – SCR (selective catalytic reduction) [7, 13, 18, 19]. Jako reduktory wykorzystuje się najczęściej:

- węglowodory łańcuchowe o liczbie atomów od 2 do 16,
- związki nieorganiczne, np. amoniak,
- inne związki organiczne, np. alkohole czy mocznik (dający amoniak w wyniku hydrolizy).

Do redukcji tlenków azotu mogą być również stosowane reaktory katalityczne magazynująco-redukujące – NSR (NO_x storage reduction catalysts) [7].

W celu zmniejszenia emisji cząstek stałych stosuje się katalityczne filtry cząstek stałych [13, 18, 19]. Do filtrowania cząstek stałych wykorzystuje się wkłady z porowatej pianki ceramicznej lub wkłady metalowe

z perforowanych rurek stalowych pokrytych warstwą włókna ceramicznego. Skuteczność filtrów jest bardzo duża – dochodzi do 95%. Najważniejszym ograniczeniem eksploatacyjnym filtrów cząstek stałych jest konieczność ich oczyszczania – praktycznie co kilka godzin. Do ciągłego oczyszczania filtrów cząstek stałych wykorzystuje się przede wszystkim katalityczne powłoki powierzchni czynnej filtrów pierwiastkami przejściowymi z domieszką metali szlachetnych.

Szczególnie skuteczną metodą filtracji cząstek stałych okazał się układ ciągłej regeneracji filtra cząstek stałych w czasie użytkowania CRT (continuous regenerating trap) [13, 19] – rysunek 1.

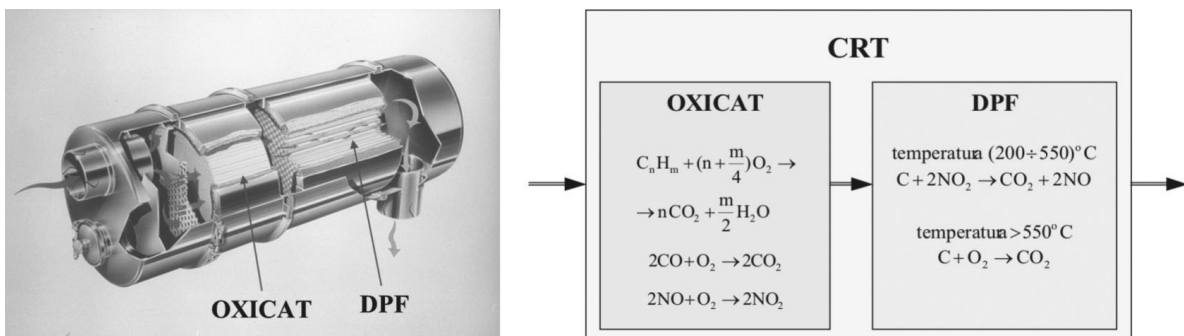
Układ ten składa się z reaktora utleniającego i filtra cząstek stałych. Do utleniania cząstek stałych w filtrze wykorzystuje się w niższej temperaturze dwutlenek azotu, powstający w reaktorze utleniającym z tlenku azotu. W wyższej temperaturze skutecznie zachodzi reakcja utleniania sadzy tlenem zawartym w spalinach. Układ CRT wymaga zastosowania również reaktora redukującego tlenki azotu.

4. Rozwiązania stosowane w silnikach o zapłonie iskrowym

Do niedawna rozwój silników spalinowych autobusów miejskich był ograniczony jedynie do obszaru silników o zapłonie samoczynnym. Od kilkunastu lat odnotowuje się duże zainteresowanie zastosowaniem do napędu autobusów miejskich silników zasilanych paliwami gazowymi, szczególnie gazem ziemnym [1 – 4, 10, 11, 14 – 17, 20]. Jest to spowodowane przede wszystkim możliwością ograniczenia emisji zanieczyszczeń, w szczególności cząstek stałych i tlenków azotu. Silniki zasilane paliwami gazowymi są w zdecydowanej większości silnikami o zapłonie iskrowym.

Najczęściej stosowanymi rozwiązaniami w silnikach o zapłonie iskrowym ze względu na ograniczenie zużycia paliwa oraz szkodliwego oddziaływania na środowisko są [7, 12]:

- zwiększanie stopnia sprężania,



Rys. 1. Układ ciągłej regeneracji filtra cząstek stałych DPF w czasie użytkowania (CRT – continuous regenerating trap)

- wtryskowe systemy zasilania:
 - wtrysk wielopunktowy (MPI – multi point injection),
 - wysokociśnieniowy wtrysk bezpośredni do cylindra (GDI – gasoline direct injection),
- komory spalania do mieszanek: jednorodnych oraz niejednorodnych (tzw. uwarstwionych),
- układy dolotowe ze zmiennymi właściwościami geometrycznymi,
- doładowanie z chłodzeniem powietrza,
- rozrząd wielozaworowy ze zmiennymi parametrami (fazami rozrządu i wzniosami zaworów),
- układy zapłonu, m.in.: plazmowego, fotochemicznego i laserowego,
- recyrkulacja spalin,
- postęp w opracowywaniu paliw, m.in.: zmniejszenie zawartości węglowodorów pierścieniowych, związków ołowiu i siarki, zwiększenie zawartość izoalkanów,
- zintegrowane elektroniczne systemy pomiarów, sterowania i diagnozowania,
- katalityczne oczyszczanie spalin – reaktory katalityczne,
- zmniejszanie objętości skokowej silnika,
- wyłączanie cylindrów.

Redukująco–utleniające reaktory katalityczne charakteryzują się wysoką skutecznością [7, 12]:

- przy spalaniu mieszanki stechiometrycznej (zastosowanie układu regulacji składu mieszanki z sondą lambda),
- dzięki zastosowaniu w warstwie pośredniej substancji charakteryzujących się zdolnością do magazynowania tlenu pochodzącego z rozkładu tlenków azotu – przede wszystkim tlenku ceru CeO_2 .

Do redukcji tlenków azotu w silnikach pracujących na mieszankach ubogich zostały opracowane reaktory katalityczne magazynująco–redukujące – NSR (NO_x storage reduction catalysts). W reaktorach katalitycznych magazynująco–redukujących zachodzą następujące procesy [7]:

- tlenek azotu utlenia się do dwutlenku, który z alkalicznymi tlenkami tworzy azotany,
- azotany są gromadzone w warstwie tlenków,
- w celu usunięcia azotanów z warstwy tlenków okresowo jest wzbogacana mieszanka palna – następuje rozkład azotanów,
- powstałe w wyniku rozkładu tlenki azotu są w atmosferze ubogiej w tlen nieselektywnie redukowane reduktorami zawartymi w spalinach.

5. Silniki o zapłonie iskrowym zasilane paliwami gazowymi

Mimo znacznego postępu w ograniczaniu emisji zanieczyszczeń z silników o zapłonie samoczynnym poważnym problemem komunikacji autobusowej pozostaje emisja cząstek stałych i tlenków azotu w centrach miejskich [6, 7]. Znaczne natężenie ruchu w centrach miejskich oraz niekorzystne warunki ruchu, charakteryzujące się małą prędkością średnią i dużą zmiennością warunków pracy silników, sprzyjają dużym emisjom zanieczyszczeń [7]. Jednocześnie w centrach miejskich występują niekorzystne warunki rozpraszania zanieczyszczeń. Sprzyja to dużym stężeniom zanieczyszczeń w powietrzu (imisjom). Sytuację zagrożenia ekologicznego pogarsza fakt, że centra miejskie są miejscami o największej gęstości przebywania ludzi.

W związku z tym poszukuje się proekologicznych rozwiązań w komunikacji miejskiej. Do rozwiązań takich zalicza się m.in. [6, 7]: zastosowanie napędów elektrycznych i hybrydowych, zasilanie silników spalinowych paliwami gazowymi a także rozpowszechnianie wykorzystania rowerów.

Zastosowanie napędów elektrycznych ma swe ograniczenia w dostarczaniu energii elektrycznej. Pojazdy bez autonomicznego źródła energii (tramwaje, kolej miejska, trolejbusy) wymagają złożonej infrastruktury i stanowią element systemów transportowych mniej elastycznych niż komunikacja autobusowa. Pojazdy z autonomicznymi źródłami energii elektrycznej nie mają dotychczas właściwości użytkowych konkurencyjnych w stosunku do pojazdów z napędami spalinowymi, przede wszystkim ze względu na zasięg jazdy i jej właściwości dynamiczne. Niewątpliwie przyszłość jest przed napędami hybrydowymi, na razie jednak – przynajmniej w zakresie autobusów – zarówno rachunek ekonomiczny, jak i dotychczasowe właściwości użytkowe wskazują, że nie jest to realne rozwiązanie problemu.

Rozwiązaniem, które umożliwi doraźną poprawę stanu środowiska w centrach miejskich, jest zastosowanie do silników spalinowych paliw gazowych.

Silniki zasilane paliwami gazowymi, stosowane do napędu autobusów, są silnikami o zapłonie iskrowym, będącymi zazwyczaj modyfikacjami konstrukcyjnymi oryginalnych silników o zapłonie samoczynnym [1 – 4, 10, 11, 14 – 17, 20]. Silniki pracujące na mieszance stechiometrycznej są wyposażone w wielofunkcyjne reaktory katalityczne, natomiast w silnikach zasilanych mieszankami ubogimi stosuje się katalityczną selektywną redukcję tlenków azotu.

Spośród paliw gazowych do zasilania silników stosuje się najczęściej: skroplony gaz ropopochodny LPG (liquefied petroleum gas), sprężony gaz ziemny

CNG (compressed natural gas) oraz skroplony gaz ziemny LNG (liquefied natural gas). Wykorzystanie do zasilania silników wodoru jest głównie w fazie prac badawczych, natomiast inne rodzaje paliw gazowych, takie jak biogaz, mają zastosowanie przede wszystkim lokalne. Ocenia się, że obecnie największe zastosowanie do zasilania silników do autobusów ma sprężony gaz ziemny.

Na rysunku 2 przedstawiono emisję jednostkową zanieczyszczeń wybranych silników zasilanych sprężonym gazem ziemnym, stosowanych do napędu autobusów miejskich, w teście dynamicznym ETC [7], względem limitów EURO 4.

Jest wyraźnie widoczne, że zastosowanie sprężonego gazu ziemnego do zasilania silników umożliwia z dużym zapasem spełnienie wymagań ochrony środowiska na poziomie EURO 4 (a nawet – w większości wypadków – również EURO 5 [7]). Z tych powodów w zasilaniu silników paliwami gazowymi upatruje się jeden z podstawowych sposobów zmniejszenia emisji zanieczyszczeń, szczególnie cząstek stałych, których emisja stanowi jedno z najpoważniejszych zagrożeń m.in. w centrach miejskich, gdzie jest znamienne duże natężenie ruchu autobusów miejskich.

6. Podsumowanie

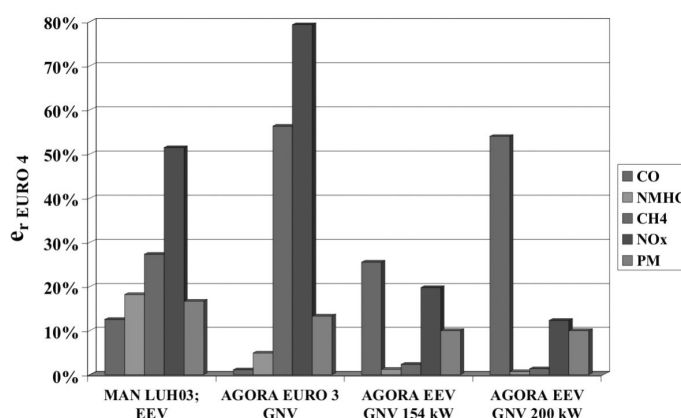
Rozwój silników i układów napędowych autobusów miejskich jest zdeterminowany celami poprawy ich jakości zgodnie z kryteriami eksploatacyjnymi i społeczeństwa. Kryteria jakości eksploatacyjnych są skierowane przede wszystkim na organizacyjne i ekonomiczne efekty eksploatacji, społeczeństwu natomiast zależy głównie na komforcie i zmniejszeniu uciążliwości ze względu na oddziaływanie na środowisko. Można zatem podsumować tendencje rozwoju silników i układów napędowych autobusów miejskich w postaci następujących punktów:

- kryterium rozwoju: jakość – głównie ze względu na ochronę środowiska i koszty eksploatacji,
- postęp w zakresie: silników i układów napędowych, materiałów eksploatacyjnych oraz metod eksploatacji.

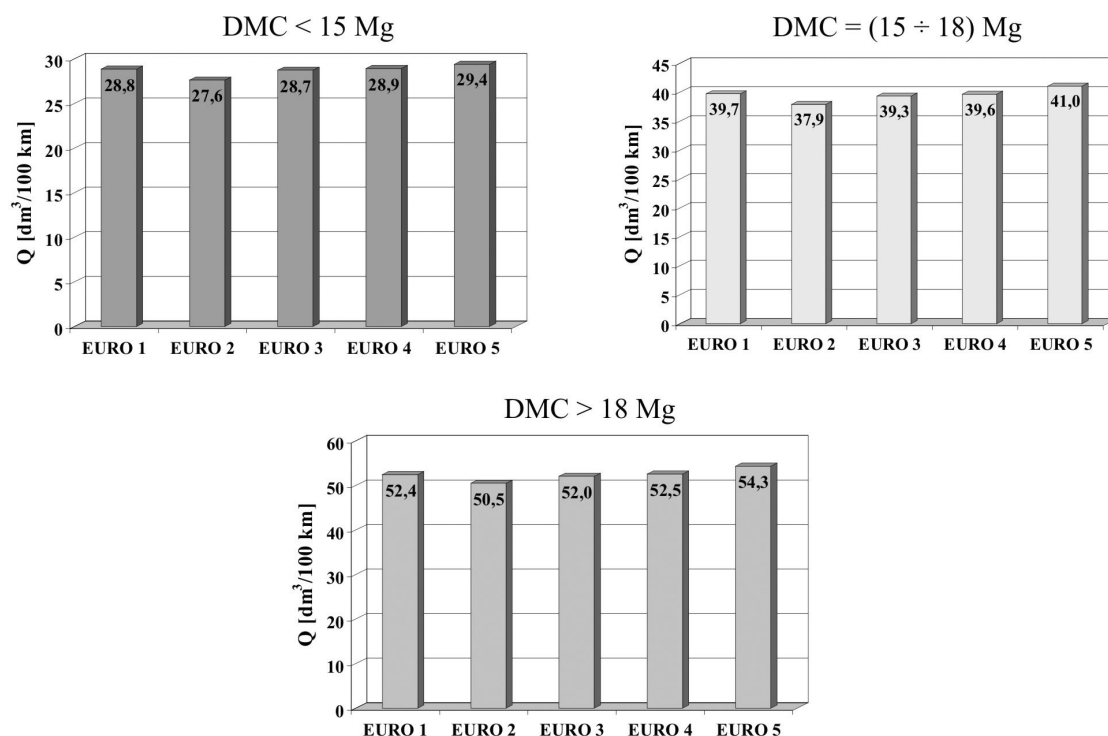
Postęp w dziedzinie ochrony środowiska jest okupiony koniecznością zastosowania najnowocześniejszych osiągnięć naukowo-technicznych. Konsekwencją są coraz wyższe koszty pojazdów o lepszej jakości ekologicznej. Pojazdy te nie tylko mają drogie wyposażenie zmniejszające emisję zanieczyszczeń [21], ale – ze względu na swą nowoczesność – są również wyposażone w inne drogie układy typowe dla współczesnych samochodów, np. zaawansowane systemy sterowania ruchem pojazdu itp. Dodatkowo zazwyczaj występuje konflikt ograniczania emisji zanieczyszczeń oraz ograniczania zużycia paliwa. Jako bardziej priorytetowy cel przyjmuje się zmniejszenie emisji zanieczyszczeń, czemu towarzyszy zwiększenie zużycia paliwa (rysunek 3) i – w związku z tym – również zwiększenie emisji dwutlenku węgla, gazu – co prawda – nieszkodliwego dla zdrowia ludzi, ale sprzyjającego zjawisku cieplarnianemu w atmosferze ziemskiej.

Istotny problem stanowią również koszty obsługi autobusów. Koszty obsługi nowoczesnych autobusów o wyższej jakości ekologicznej są wyższe niż w wypadku autobusów klasycznych. Dotyczy to nie tylko pracochłonności, ale i kwalifikacji personelu, kosztów technicznej aparatury obsługowej oraz kosztów materiałów eksploatacyjnych i części zamiennych.

W podsumowaniu rozważań na temat tendencji rozwoju silników autobusów miejskich można stwierdzić, że – zgodnie z ogólnymi trendami rozwoju cywilizacyjnymi – podstawowym celem jest poprawa jakości. Jako priorytetowe społecznie uzasadnione



Rys. 2. Emisja jednostkowa zanieczyszczeń względem limitów EURO 4: CO – tlenek węgla, NMHC – niemetanowe węglowodory, CH₄ – metan, NO_x – tlenki azotu, PM – cząstki stałe



Rys. 3. Eksploatacyjne zużycie paliwa przez autobusy miejskie w kategoriach określonych przez dopuszczalną masę całkowitą DMC w ruchu zgodnie z modelem jazdy w mieście o prędkości średniej $v_{AV} = 21,5$ km/h

kryteria jakości przyjmuje się przede wszystkim cele ekologiczne. Spełnienie społecznych oczekiwań ze względu na ochronę środowiska wymaga od społeczeństwa większych nakładów materialnych na: zakup nowoczesnego sprzętu oraz na kosztowną jego eksploatację. Korzyści z podejmowania działań na rzecz ochrony środowiska mogą się jednak społeczeństwu zwrócić np. w postaci poprawy stanu jego zdrowotności.

7. Literatura

- [1] Allgeier T., Bischoff C., Foester J.: *Natural gas as an alternative fuel motor vehicles*. FISITA World Automotive Congress. Barcelona 2004.
- [2] Alternate fuels: CNG/LNG/LPG. <http://www.cumminswestport.com/fuels/index.php>.
- [3] Arcoumanis C.: *A technical study on fuels technology related to the Auto-Oil II Programme*. (Volume II: Alternative Fuels) Final Report prepared for the European Commission Director-General for Energy. 2003.
- [4] California Environmental Protection Agency. Air Resources Board: Public Workshop to Discuss Proposed Amendments to Motor Vehicle LPG Fuel Specifications. February 2002.
- [5] Chłopek Z.: *Modelowanie procesów emisji spalin w warunkach eksploatacji trakcyjnej silników spalinowych*. Prace Naukowe. Seria „Mechanika” z. 173. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1999.
- [6] Chłopek Z.: *Ochrona środowiska w eksploatacji samochodów*. Rozdział monografii „Edukacja ekologiczna. Podstawy działań naprawczych w środowisku”. Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej. Nałęczów 2004.
- [7] Chłopek Z.: *Pojazdy samochodowe. Ochrona środowiska*. WKŁ. Warszawa 2002.
- [8] Chłopek Z.: *Wprowadzenie do tematyki optymalizacji sterowania tłokowych silników spalinowych*. Transport Samochodowy 2–2004.
- [9] Dreisbach R., Wuensche P.: *Heavy duty diesel engines developed from EURO 3 to EURO 4*. PTNSS Symposium.

- Graz 2004.
- [10] European Natural Gas Vehicle Association. <http://www.engava.org/>.
 - [11] Evaluating the Emission Reduction Benefits of WMATA Natural Gas Buses. <http://www.eere.energy.gov/afdc>.
 - [12] Fraidl K.: *Gasoline engine technologies*. PTNSS Symposium. Graz 2004.
 - [13] Herzog P. L.: *HSDI diesel technology trend*. PTNSS Symposium. Graz 2004.
 - [14] Kelly K. J. et al.: *Emissions results from compressed natural gas vans and gasoline controls operating in the U.S. federal fleet*. <http://www.eere.energy.gov/afdc/pdfs>.
 - [15] MAN Nutzfahrzeuge AG: Beschreibung B 628–0903.
 - [16] MAN Nutzfahrzeuge AG: Beschreibung B 628–3601.
 - [17] Nylund N.O., Lawson, A.: *Exhaust emissions from natural gas vehicles*. Report prepared for the IANGV Technical Committee 2000.
 - [18] Schwarz V.: *Fuel injection systems for future medium duty and heavy duty low emission diesel engines*. FISITA World Automotive Congress. Barcelona 2004.
 - [19] Singer W.: *Modern Particulate measurement*. PTNSS Symposium. Graz 2004.
 - [20] The Natural Gas Vehicle Coalition. <http://www.ngvc.org/ngv/ngvc.nsf#>.
 - [21] Walzer P.: *Progress in car powerplant technologies*. FISITA World Automotive Congress. Barcelona 2004.

dr hab. inż. Zdzisław CHŁOPEK prof. PW

Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie
ul. Jagiellońska 80, 03-301 Warszawa
zdzislaw.chlopek@simr.pw.edu.pl
