

WPŁYW NIESZCZELNOŚCI UKŁADU DOLOTOWEGO SILNIKA ZI NA EMISJĘ SZKODLIWYCH SUBSTANCJI

W artykule poruszono podstawową problematykę związaną z ruchem pojazdów w dużych miastach oraz związaną z nim podwyższoną emisją szkodliwych substancji. W części badawczej przeanalizowano wpływ nieszczelności kolektora dolotowego silnika ZI na emisję szkodliwych substancji. Przerobiono kolektor dolotowy samochodu osobowego w celu zasymulowania nieszczelności każdego z jego kanałów. Zachowano identyczny stopień nieszczelności dla zasilenia każdego z cylindrów, badając emisję szkodliwych substancji w pełnym zakresie prędkości obrotowych. Wykazano różnice w składzie spalin w zależności od badanych wariantów, wpływających na stopień napełnienia kolektora cylindrów silnika.

WSTĘP

Obserwując trend intensywnego rozwoju transportu drogowego zauważono, że napotyka on na swojej drodze wiele ograniczeń, z którymi zmuszeni są borykać się inżynierowie pracujący w branży motoryzacyjnej. Każdy kierowca niezależnie od płci, wieku czy też miejsca podróży ma na celu przetransportowanie siebie, innych osób bądź towarów „z punktu A do punktu B” w możliwie najkrótszym czasie, przy poniesieniu minimalnych kosztów oraz z zachowaniem zadowalającego poziomu komfortu jazdy. O ile konstruktorzy dokonują starań w celu poprawienia komfortu produkowanych pojazdów i ten znacząco się poprawia na przestrzeni minionych lat, to ilość użytkowników dróg oraz ograniczona infrastruktura drogowa bardzo często wydłużają czas podróży. Szczególnie zauważalne jest to w centrach dużych miast gdzie, zwłaszcza w godzinach szczytu, bardzo często spotyka się zakorkowane ulice. Oczekiwanie na przejazd nie tylko wydłuża czas ale również negatywnie wpływa na koszt podróży spowodowany większym zużyciem paliwa czy też, w przypadku przedsiębiorstw, opłaceniem pracowników.

Szczególnie w centrach dużych miast skutkiem dużego natężenia ruchu może być również pogorszenie jakości powietrza, spowodowane zbyt dużą ilością pojazdów emitujących toksyczne składniki spalin do środowiska. Jednym ze sposobów zapobiegania temu zjawisku, stosowanym przez władze miast, jest nakłanianie społeczeństwa do korzystania ze środków komunikacji zbiorowej. Zmniejszenie ilości samochodów osobowych w miastach spowoduje redukcję ilości produkowanych spalin oraz skrócenie czasu przejazdu. Wielu kierowców nie ma jednak możliwości korzystania z tego rodzaju transportu i zmuszeni są mimo wszystko poruszać się własnymi samochodami. Niezależnie od tego na producentach pojazdów samochodowych, poprzez wprowadzanie regulacji prawnych nieustannie wymusza się udoskonalanie swoich pojazdów w taki sposób, aby emitowały możliwie najmniej toksycznych składników spalin. Normy EURO [1] określające limity ilości wydalanych toksycznych substancji obok dopuszczenia pojazdu do ruchu podczas badań homologacyjnych, bardzo często wykorzystywane są również do określania ograniczeń wjazdu do wyznaczonych stref dużych miast Europy. Jeśli dany pojazd nie spełnia normy EURO, wymaganej przez władze miasta, nie może legalnie wjechać do jego centrum. Coraz częściej są również spotykane ograniczenia ruchu dla pojazdów napędzanych silnikami spalinowymi. W takich miej-

scach mogą jeździć jedynie samochody z napędem elektrycznym, które posiadają zerową emisję w miejscu, w którym się poruszają. W celu zachęcenia kierowców do korzystania z pojazdów wyposażonych w taki rodzaj napędu stosowane są różnego rodzaju „zachęty”, takie jak np. darmowe parkingi dla pojazdów elektrycznych.

Tab. 1. Normy EURO [1]

Dopuszczalne wartości emisji spalin w poszczególnych normach Euro dla pojazdów z silnikiem benzynowym						
[g/km] od 1993	Euro 1 od 1996	Euro 2 od 2000	Euro 3 od 2005	Euro 4 od 2009	Euro 5 Od 2014	Euro 6
CO	2,72	2,2	2,3	1	1	1
HC	-	-	0,2	0,1	0,1	0,1
NO _x	-	-	0,15	0,08	0,06	0,06
HC+NO _x	0,97	0,5	-	-	-	-
PM						

Dopuszczalne wartości emisji spalin w poszczególnych normach Euro dla pojazdów z silnikiem wysokoprężnym						
[g/km]	Euro 1 od 1993	Euro 2 od 1996	Euro 3 od 2000	Euro 4 od 2005	Euro 5 od 2009	Euro 6 Od 2014
CO	3,16	1	0,64	0,5	0,5	0,5
HC	-	0,15	0,06	0,05	0,05	0,09
NO _x	-	0,55	0,5	0,25	0,18	0,08
HC+NO _x	1,13	0,7	0,56	0,3	0,23	0,17
PM	0,14	0,08	0,05	0,009	0,005	0,005

Pomimo rozwoju pojazdów napędzanych elektrycznie i coraz większej ich popularności, silniki spalinowe jeszcze przez jakiś czas będą dominować na drogach całego świata. Z tego powodu należy szczególną uwagę zwrócić na to, aby charakteryzowały się one jak najniższą emisją szkodliwych substancji. Obok prawidłowej konstrukcji silnika i układów oczyszczających spaliny ważnym aspektem jest również stan techniczny jednostki napędowej. Częste zaniedbania użytkowników bądź awarie mogą w znaczny sposób powiększać ilość produkowanych przez silnik toksyn. Naturalne zużycie silnika związane z wiekiem bądź przebiegiem również bardzo często jest powodem pogorszenia parametrów jego pracy. Duży wpływ na emisję ma także praca urządzeń pracujących po stronie wydechowej silnika. Zużyty katalizator czy też sonda lambda, która odgrywa dużą rolę w sterowaniu pracą silnika, mają znaczący wpływ na skład spalin, ale są to już metody stosowane po procesie spalania. Aby jednak stworzyć mieszanekę palną, która będzie mogła spalić się w sposób nie powodujący nadmiernej emisji, konieczne jest poprawne działanie układu zasilania silnika. Zachowanie poprawności procesu spalania w silniku o zapłonie iskrowym, wymaga dozowania ilości powietrza mieszającego się

z paliwem w proporcjach zbliżonych do składu stechiometrycznego. Za odpowiednie dozowanie paliwa odpowiada układ zasilania, który w większości przypadków w silnikach z zapłonem iskrowym składa się z pompy tłoczącej paliwo ze zbiornika paliwa do listwy wtryskowej, filtra, regulatora ciśnienia oraz wtryskiwaczy, które dozują i rozpylają, precyzyjnie odmierzoną przez układ sterowania, dawkę paliwa. Układ zasilania powietrza silnika wolnossącego składa się z filtra powietrza, kanałów dolotowych, przepustnicy powietrza oraz z kolektora dolotowego rozdzielającego powietrze pomiędzy cylindry silnika. Układ dolotowy silnika doładowanego posiada ponadto sprężarkę powietrza oraz intercooler (chłodnica powietrza). W celu określenia ilości dostarczanego do silnika powietrza, w zależności od konstrukcji, stosuje się masowy przepływomierz powietrza lub czujnik ciśnienia (bądź obydwie jednocześnie) [6]. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż układ paliwowy jest to układ nadążający za układem zasilania powietrzem. Ilość powietrza dostarczonego do silnika determinuje jego moc, a przy użyciu przepustnicy możliwa jest regulacja jej ilości. Jednak w przypadku awarii układu dolotowego układ zasilania paliwem dostosuje się do niepoprawnej ilości powietrza powodując tym niepoprawną pracę silnika mogącą się objawiać np. w postaci podwyższonego zużycia paliwa, mniejszej mocy silnika czy też podwyższonej emisji szkodliwych substancji.

1. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań przeprowadzonych w ramach niniejszego artykułu jest wykazanie wpływu nieszczelności kolektora dolotowego na emisję szkodliwych substancji. W codziennej eksploatacji najczęstszymi przyczynami usterek układu dolotowego jest uszkodzenie uszczeltek łączących sąsiednie części. Może się również zdarzyć sytuacja, w której uszkodzeniu ulegnie sam kolektor dolotowy bądź elastyczny łącznik pomiędzy jego elementami. Niezależnie od przyczyny nieszczelności jej skutkiem zawsze jest dysproporcja pomiędzy ilością powietrza zmierzoną przez urządzenia kontrolne a rzeczywistą masą powietrza dopływającego do cylindrów silnika. Dodatkowo możliwa jest sytuacja, w której nieszczelność wystąpi za pojemnościową częścią kolektora co skutkuje dysproporcją pomiędzy ilością ładunku dostarczoną do poszczególnych cylindrów silnika. W przeprowadzonych badaniach symulowano nieszczelność kanałów dolotowych kolektora, kolejno dla każdego cylindra. W połowie długości każdego z kanałów wykonano otwory, w które naprzemiennie montowano zawór symulujący nieszczelność oraz zaślepki w taki sposób, aby zachowując ten sam stopień otwarcia zaworu przeprowadzić pomiary dla nieszczelności każdego z kanałów. Badania przeprowadzono na doładowanym silniku AWT o pojemności 1800cm³ i zapłonie iskrowym.

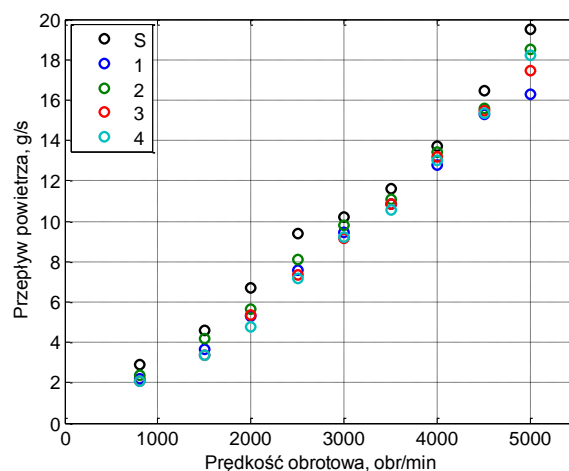


Rys. 1. Kolektor dolotowy silnika AWT 1.8T wraz z zamontowanym zaworem symulującym nieszczelność.

2. WYNIKI BADAŃ

Badania przeprowadzono w zakresie niskich obciążeń silnika (do 20% obciążenia maksymalnego). Pomiary wykonywano przy prędkości obrotowej biegu jałowego (800 obr/min) oraz w zakresie od 1500 do 5000 obr/min z krokiem co 500 obr/min. Niezbędne dane odczytywano za pomocą komputera wyposażonego w oprogramowanie diagnostyczne VAG-COM i urządzenia diagnostycznego podłączonego do gniazda OBD samochodu. Do pomiaru składu gazów wydechowych wykorzystano analizator spalin, którego sondę pomiarową umieszczono w układzie wydechowym pojazdu. Aby określić punkt odniesienia przeprowadzono szereg pomiarów przed wprowadzeniem nieszczelności.

Odczytane z komputera diagnostycznego wartości wskazanych przez masowy przepływomierz powietrza pozwoliło określić różnicę w ilości zasysanego powietrza pomiędzy układem sprawnym a nieszczelnym. Z pomocą tej informacji możliwe jest oszacowanie przybliżonej ilości powietrza dostającego się do silnika przez wytworzone nieszczelności. Wartości te są przybliżone, ponieważ nie można przyjąć, że podczas obu pomiarów silnik pracował z identycznymi parametrami. Wyniki pomiaru przepływu powietrza przedstawiono na rys. 2.

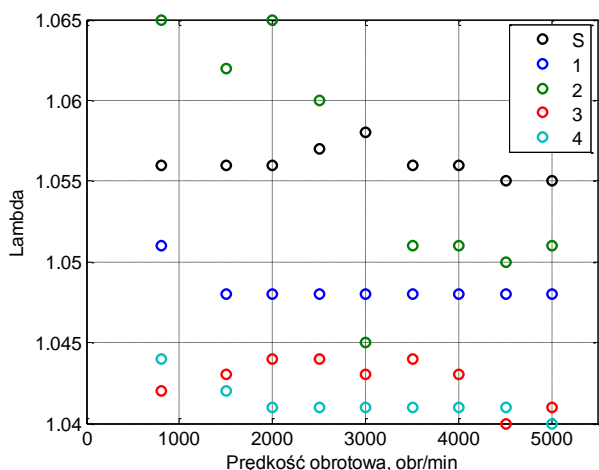


Rys. 2. Zależność prędkości przepływu powietrza od prędkości obrotowej. S – układ szczelny, 1 – nieszczelność kanału cylindra 1, 2 – nieszczelność kanału cylindra 2, 3 – nieszczelność kanału cylindra 3, 4 – nieszczelność kanału cylindra 4.

Na przedstawionym powyżej wykresie zauważa się wyraźnie większą masę powietrza przedostającą się do silnika przez przepływomierz w próbie przeprowadzonej przy sprawnym układzie dolotowym. Różnice występujące pomiędzy układem sprawnym a nieszczelnym stanowią ilość powietrza zasysanego przez wytworzone nieszczelności. Spośród badanych wariantów nieszczelności największą ilością powietrza przepływającego przez przepływomierz charakteryzuje się zasilanie drugiego cylindra silnika.

Każda różnica w napełnieniu kolejnych cylindrów oddziałuje negatywnie na skład spalin, ponieważ sonda lambda służąca do oceny ilości tlenu w spalinach w większości pojazdów zamontowana jest za kolektorem wydechowym, więc jej wskazania to jedynie średnia pomiaru składu spalin z wszystkich cylindrów. Jak wykazano w pracach [2, 3, 4] kolektory dolotowe charakteryzują się pewnymi nierównomiernościami w dystrybucji powietrza, jednak te różnice są tolerowane przez producentów pojazdów, ponieważ nie wpływają na uzyskanie przez silnik parametrów spełniających wymagania stawiane przez normy EURO. W przeciwieństwie do tego, zaburzenie proporcji w napełnieniu cylindrów spowodowane nieszczelnościami

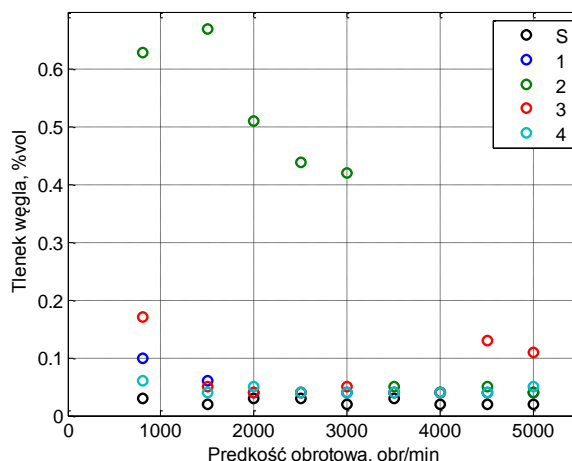
układu dolotowego może negatywnie wpłynąć na parametry pracy silnika, a nawet na jego bezpośrednie uszkodzenie. Sytuacje, w których do jednego z cylindrów (szczególnie silnika doładowanego) dostaje się zbyt duża ilość powietrza w stosunku do paliwa, podczas intensywnej eksploatacji pojazdu, spowodują nadmierny wzrost temperatury w komorze spalania. W odróżnieniu od sytuacji, w której nieszczelności występują przed kolektorem ssącym, w tym przypadku układ sterowania nie ma możliwości całkowitego skorygowania dawki paliwa w taki sposób, aby na każdym z cylindrów współczynnik nadmiaru powietrza był zbliżony do 1. Nieuwzględniona w obliczeniach sterownika dawka „lewego” powietrza powoduje, że sonda lambda wyśle sygnał o zbyt dużej ilości tlenu w spalinach i nastąpi wzbogacenie dawki paliwa na pozostałych cylindrach. W efekcie mieszanka palna w cylindrze posiadającym nieszczelność nie wróci do składu stechiometrycznego, a zbyt duża dawka w pozostałych cylindrach spowoduje pogorszenie składu spalin całego silnika. Na rys. 3 przedstawiono zmiany wartości Lambda w zależności od prędkości obrotowej wału korbowego.



Rys. 3. Zależność współczynnika lambda od prędkości obrotowej. S – układ szczelny, 1 – nieszczelność kanału cylindra 1, 2 – nieszczelność kanału cylindra 2, 3 – nieszczelność kanału cylindra 3, 4 – nieszczelność kanału cylindra 4.

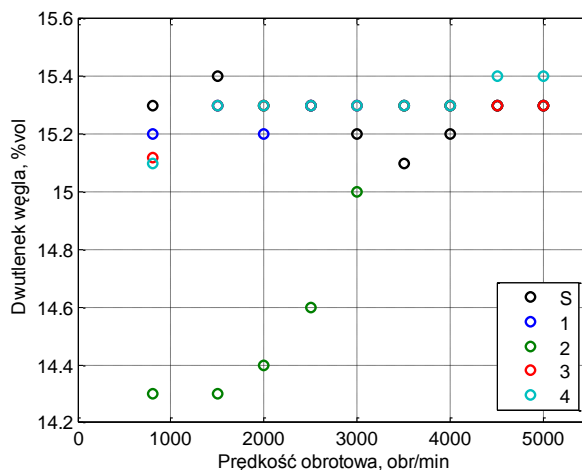
Jak wynika z rozkładów na rys. 3 najbardziej charakterystyczna jest wartość współczynnika lambda przy symulowanej nieszczelności drugiego cylindra. W pierwszej części jej wartość jest największa spośród wszystkich prowadzonych prób. Po przekroczeniu prędkości obrotowej 2000 obr/min zaczyna gwałtownie spadać i stabilizuje się przy 3500 obr/min na poziomie wyższym niż pozostałe próby. Praca silnika przy pozostałych wariantach symulowanych nieszczelności charakteryzowała się niższym współczynnikiem lambda aniżeli sprawny układ dolotowy w całym zakresie prędkości obrotowych.

Wartość współczynnika nadmiaru powietrza świadczy jedynie o ilości tlenu w spalinach. Uśredniona jego wartość dla wszystkich cylindrów podczas symulacji nieszczelności powoduje, że mieszanka paliwowo powietrzna jest niewłaściwie tworzona dla każdego z cylindrów, wartość współczynnika lambda będzie powodowała zaburzenie procesu spalania i zmianę ilości innych składników spalin w gazach wydechowych, co zaprezentowano na kolejnych rysunkach.



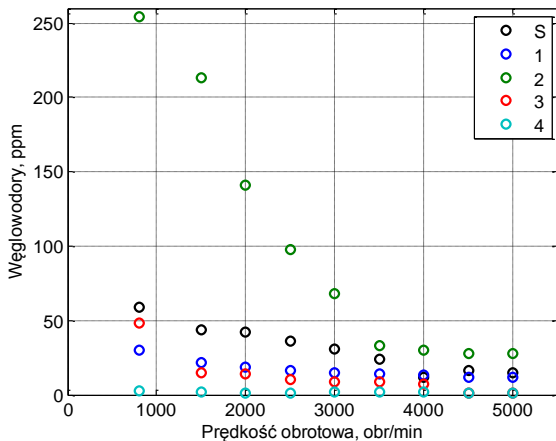
Rys. 4. Zależność ilości CO w spalinach od prędkości obrotowej. S – układ szczelny, 1 – nieszczelność kanału cylindra 1, 2 – nieszczelność kanału cylindra 2, 3 – nieszczelność kanału cylindra 3, 4 – nieszczelność kanału cylindra 4.

Na rys. 4 przedstawiono zależność ilości tlenu węgla w spalinach w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego. Podwyższona ilość powietrza w jednym z cylindrów negatywnie wpływa na ilość emitowanego tlenu węgla przez wszystkie cylindry. Podobnie jak w przypadku przedstawionym na rys. 3 zauważono dużą rozbieżność pomiędzy wariantem nieszczelności drugiego cylindra a pozostałymi próbami. Największe odchyłki obserwuje się w zakresie 800-3000 obr/min. W przypadku pozostałych wariantów zauważa się wzrost ilości tlenu węgla w odniesieniu do układu sprawnego w całym przedziale prędkości obrotowej, a w szczególności w zakresie obrotów biegu jałowego.



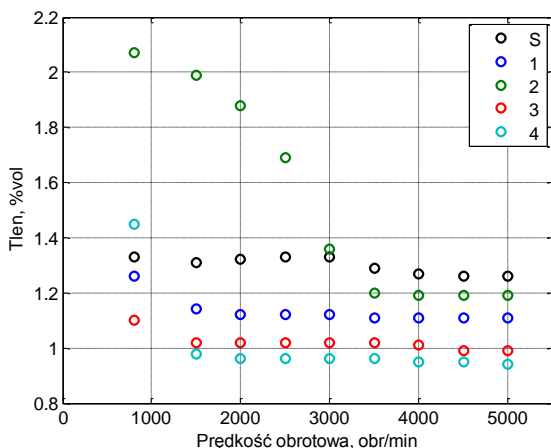
Rys. 5. Zależność wartości CO₂ w spalinach od prędkości obrotowej. S – układ szczelny, 1 – nieszczelność kanału cylindra 1, 2 – nieszczelność kanału cylindra 2, 3 – nieszczelność kanału cylindra 3, 4 – nieszczelność kanału cylindra 4.

Udział dwutlenku węgla, którego ilość przedstawiono na rys. 5 nie zmienia się w znaczący sposób od tego emitowanego przez sprawną jednostkę napędową. Wyjątkiem jest wariant drugi, który w początkowej fazie produkuje znacząco mniej dwutlenku węgla od pozostałych modyfikacji.



Rys. 6. Zależność wartości HC od prędkości obrotowej. S – układ szczelny, 1 – nieszczelność kanału cylindra 1, 2 – nieszczelność kanału cylindra 2, 3 – nieszczelność kanału cylindra 3, 4 – nieszczelność kanału cylindra 4.

Węglowodory zawarte w spalinach silnikowych to niespalone lub częściowo spalone cząsteczki paliwa oraz cząstki oleju smarującego [5]. Wartość emisji węglowodorów, które przedstawiono na rys. 6 pokazuje, że im niższa wartość prędkości obrotowej tym więcej cząstek niepalonego paliwa wydostaje się z silnika przez układ wydechowy. Szczególnie widoczne jest to w przypadku nieszczelności kanału drugiego cylindra.



Rys. 7. Zależność ilości tlenu w spalinach od prędkości obrotowej. S – układ szczelny, 1 – nieszczelność kanału cylindra 1, 2 – nieszczelność kanału cylindra 2, 3 – nieszczelność kanału cylindra 3, 4 – nieszczelność kanału cylindra 4.

Ilość tlenu w spalinach zaprezentowana na rys. 7 utrzymuje tendencję największej różnicy wartości badanego składnika spalin podczas symulowania nieszczelności kanału dolotowego drugiego cylindra. Pozostałe badane warianty utrzymują wartość tlenu w spalinach na poziomie niższym niż ma to miejsce podczas pracy sprawnego układu dolotowego.

WNIOSKI

Producenci pojazdów starając się nadać za aktualnymi trendami, dostosowując się przy tym stawianym wymaganiom dotyczących emisji spalin zmuszeni są do wprowadzania coraz to nowych rozwiązań konstrukcyjnych. Obok samej budowy pojazdu ważnym aspektem jest także utrzymanie używanego pojazdu w nienagannym stanie technicznym. Różnego typu awarie silnika czy też sys-

temów oczyszczania spalin negatywnie wpływają na generowaną przez niego emisję szkodliwych substancji. W ramach artykułu przebadano wpływ nieszczelności kolektora dolotowego na skład spalin w zakresie niskich obciążeń silnika. Zaprezentowane wyniki wykazały, iż pomimo zasymulowania takiego samego stopnia nieszczelności dla każdego z kanałów dolotowych, sumaryczny skład spalin był inny dla wszystkich badanych wariantów. Szczególnymi różnicami charakteryzował się kanał drugiego cylindra, którego nieszczelność w największym stopniu wpłynęła na zmianę emisji spalin. Tak duże różnice w stosunku do innych wariantów dla tego przypadku spowodowane mogą być faktem, iż kanał dolotowy drugiego cylindra usytuowany jest na wprost przepustnicy. Najmniejsze opory przepływu spowodowane kształtem układu dolotowego tego cylindra mogły powodować, że do komory spalania dostawało się więcej powietrza przez filtr niż w przypadku nieszczelności pozostałych kanałów. Fakt ten może potwierdzać zjawisko nierównomiernego rozdysponowania powietrza przez kolektor dolotowy. Aby potwierdzić wyciągnięte wnioski należałoby ponownie przeprowadzić badania używając tego samego silnika, lecz montując do niego kolektor dolotowy pochodzący z innej wersji samochodu, w którym przepustnica usytuowana jest z boku kolektora.

BIBLIOGRAFIA

1. <http://www.e-autonaprawa.pl/artykuly/2319/ekologiczna-sztafeta.html> z dnia 15.03.2018 r.
2. Kołodziej Szymon, Hennek Krystian: *Wpływ konstrukcji układu dolotowego na rozkład powietrza w kolektorze dolotowym. - Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe.* 6/2017, str. 794-799,
3. Kołodziej Szymon, Ligus Grzegorz: *Visual study of capabilities of managing IC engine filling degree vs engine ecological indicators.* E3S Web of Conferences 19, nr. art. 01017 (2017) DOI: 10.1051/e3sconf/20171901017
4. Kołodziej, S., Ligus, G., Mamala, J., Augustynowicz, A. Analysis of air flow velocity distribution in the intake system of an SI engine. *Combustion Engines.* 2017, 169(2), 152-157. DOI: 10.19206/CE-2017-227
5. Rymaszewski E.: *Analiza spalin w silniku z zapłonem iskrowym.* Auto Moto Serwis 2/2008.
6. Zajac P.: *Silniki pojazdów samochodowych. Podstawy budowy, diagnozowania i naprawy.* WKŁ 2015.

The effect of the leakage of the engine intake manifold and emissions of harmful substances

In this article, the issues related to vehicular traffic in big cities and heightened harmful substance emissions stemming from it were described. In the research part, the effect of air leakage in the SI engine intake manifold on substance emissions was investigated. The manifold was customized to simulate air leakage in each of its air ducts. Same ratio of leakage was assumed for each duct, and substance emissions were measured in full range of engine rotational speeds. A difference in exhaust gas composition was shown for each researched variant, being the result of varying cylinder filling ratio due to simulated air leakage.

Autor:

mgr inż. **Szymon Kołodziej** – Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów

JEL: Q01 DOI: 10.24136/atest.2018.121

Data zgłoszenia: 2018.05.23 Data akceptacji: 2018.06.15