

Wpływ załączonych dodatkowych odbiorników mocy na testowe wyniki analizy spalin samochodu osobowego

ZBIGNIEW KNEBA

Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny
Katedra Silników Spalinowych i Sprężarek

W artykule przedstawiono opracowane wyniki testów spalin przy załączonych w czasie testu dodatkowych odbiornikach energii. Badania przeprowadzono w wytwórni samochodów osobowych. Przebadano jeden samochód, po przebiegu 30 tys. km specjalnie opracowanym testem, powtarzanym pięciokrotnie dla każdego załączanego odbiornika. Wykazano wyraźny związek dodatkowej mocy pobieranej z wału silnika ze zwiększeniem ilości składników toksycznych w spalinach.

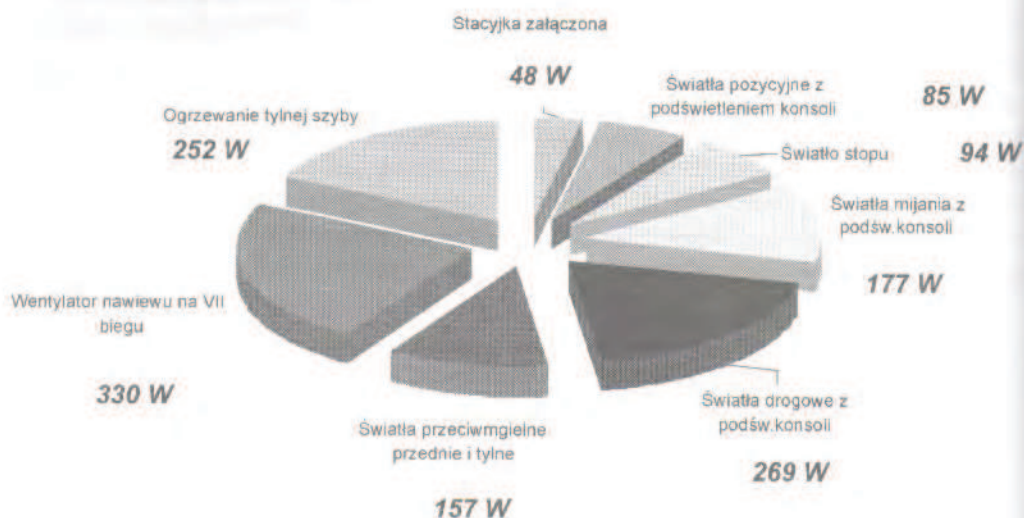
1. Wstęp

Aktualnie obowiązujące przepisy dotyczące zawartości związków toksycznych w spalinach silników samochodowych zawierają wymóg przeprowadzania testów jezdnych na hamowniach podwoziowych. Procedura testowania jest bardzo ściśle opisana w przepisach i nie pozwala załączać żadnych dodatkowych urządzeń poza koniecznymi do jazdy na hamowni. Wyjątkiem jest amerykański test SC03 przeznaczony dla badań samochodów osobowych z silnikami z zapłonem iskrowym przy włączonym układzie klimatyzacji. Test ten stał się obecnie standardem dla części samochodów sprzedawanych w Stanach Zjednoczonych [1].

We współczesnych samochodach ilość i moc dodatkowych (poza układem napędowym) odbiorników energii rośnie. Większość urządzeń tradycyjnie napędzanych mechanicznie zamienianych jest na napędzane elektrycznie. O załączeniu tych odbiorników steruje kierowca i sterowniki elektroniczne. Załączenie dodatkowego obciążenia ma niewątpliwie wpływ na emisję związków toksycznych w spalinach. Celem prezentowanej pracy jest określenie wpływu załączenia dodatkowych odbiorników przez kierowcę na skład spalin. Dla osiągnięcia celu przeprowadzono pomiary zawartości toksycznych składników spalin w samochodach osobowych z silnikami o zapłonie iskrowym testowanych na hamowni podwoziowej.

2. Obiekt badań

Samochodem przyjętym do badań był samochód osobowy marki Mercedes W203 (klasa C) z silnikiem o zapłonie iskrowym o objętości skokowej 2 dm³. W tym samochodzie istnieje wiele odbiorników energii elektrycznej. Na rysunku 1 przedstawiono pomierzone moce odbiorników energii elektrycznej najczęściej używanych w czasie jazdy na tle mocy całkowitej.



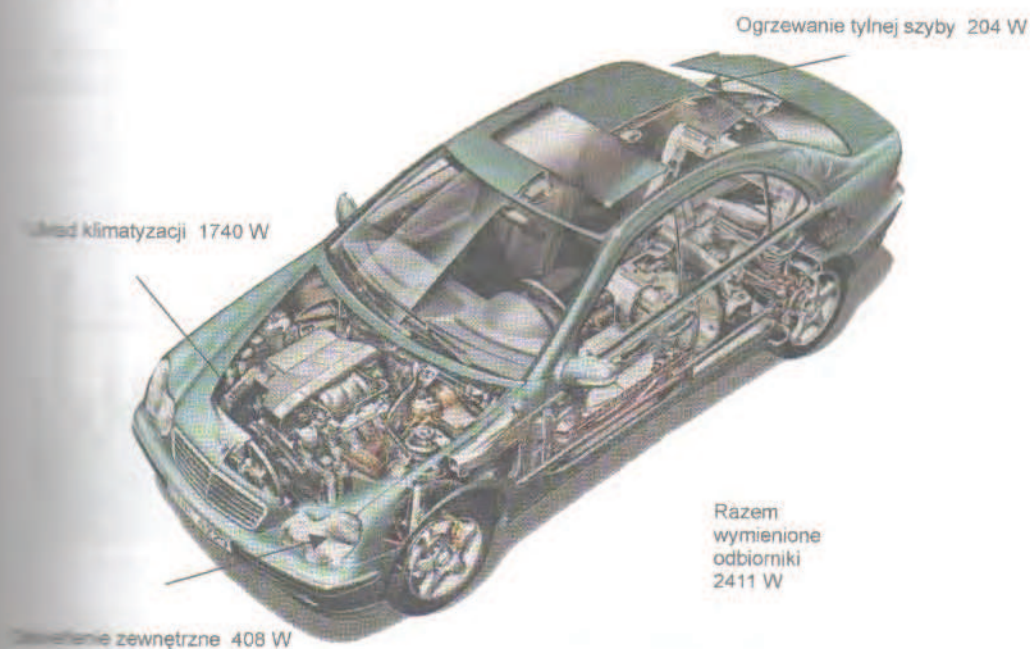
Rys. 1. Odbiorniki elektryczne włączane najczęściej w czasie jazdy.
Fig. 1. Energy consumers used in passenger cars most often.

Na rysunku 2 odzwierciedlono moce najczęściej używanych w czasie jazdy odbiorników. Suma pokazanych mocy wynosi 1413 W. Kierowca nie ma pełnej dowolności w załączaniu odbiorników. Sterowniki elektroniczne włączanych urządzeń są w stanie ograniczać pobór prądu do odbiorników tak, aby nie przekraczał on dopuszczalnego dla instalacji o określonym bilansie energii. Bilans mocy warunkują maksymalna moc alternatora i pojemność akumulatora, a w niektórych układach sterowania nawet chwilowe obciążenie silnika spalinowego. W badanym samochodzie ograniczenie poboru mocy ciągłej, przez odbiorniki energii elektrycznej, wynosiło około 800 W. Problem nieznanego algorytmu sterowania najbardziej dotyczy układów klimatyzacji automatycznej, w której na podstawie wielu pomiarów opracowany jest sygnał o potrzebnej wydajności chłodniczej. Częściowym rozwiązaniem opisywanych problemów jest badanie samochodów z zachowaniem powtarzalnych warunków otoczenia na hamowni.

Aby w proponowanych badaniach w znaczącym stopniu obciążyć silnik spalinowy dodatkowymi odbiornikami, przyjęto do pomiarów załączanie następujących urządzeń:

- ogrzewanie tylnej szyby,
- wszystkie światła zewnętrzne,

- układ klimatyzacji o sterowaniu ręcznym nastawiony na maksymalną wydajność,
- wszystkie wymienione powyżej odbiorniki załączone jednocześnie.



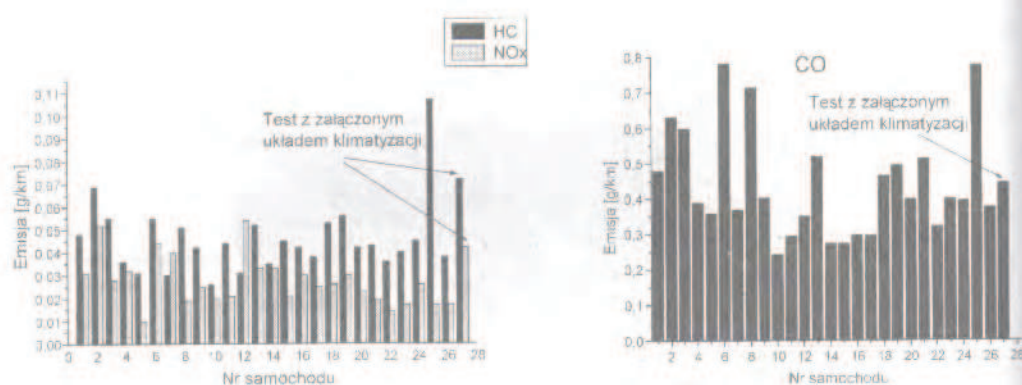
Rys. 2. Odbiorniki mocy, których było badane załączenie [1].
Fig. 2. Energy consumers, which influence on exhaust was tested.

3. Metodyka badań

W czasie przygotowań do właściwych pomiarów szukano rodzaju pojazdu oraz rodzaju testu, które pozwoliłyby na wiarygodne pomiary. Przeprowadzono próby włączenia układu klimatyzacji w czasie całego testu NEDC 2000 (ECE-R 83/05) [1],[2]. Do testów wybrano losowo z produkcji 3 samochody tego samego typu. Były one wyposażone w automatyczną skrzynię biegów. Pomiary hamowniane samochodów z automatyczną skrzynią biegów są bardziej powtarzalne niż dla przekładni ręcznie sterowanej. Samochody z powodu różnego wyposażenia różniły się nieznacznie masą własną. Wyniki zostały porównane z typowymi testami 26 innych samochodów, tego samego typu, bez włączania odbiorników. Te typowe testy wykonano na różnych stanowiskach hamowniczych (pracowały trzy hamownice) podczas rutynowych pomiarów fabrycznych w czasie około miesiąca. Z wyniku analizy spalin dla obserwowanych trzech samochodów z włączaną w czasie testu klimatyzacją obliczono średnią i porównano ze wspomnianymi 26 wynikami. Okazało się, że wynik analizy spalin dla trzech samochodów z włączoną klimatyzacją zbliża się do średniej z wszystkich testów. Ilustrują to wykresy słupkowe na rys. 3.

Przyczynami rozrzutów w składach spalin, pokazanych na rysunku, są przede wszystkim:

- naturalna niepowtarzalność cykli pracy silników z zapłonem iskrowym wpływająca na skład spalin,
- przeprowadzenie pomiarów na trzech różnych hamowniach; dwie z nich to hamownie dwuroolkowe z tarczami wirującymi zastępującymi bezwładność samochodu, a trzecia jednorolkowa z symulacją elektryczną bezwładności samochodu,
- wykorzystanie różnych kierowców testowych.



Rys. 3. Wyniki analizy spalin w teście NEDC (ECE-R 83/05) 26 typowych (poprodukcyjnych) testów (dwudziestysiedmiu słupki na wykresie przedstawia średnią wartość z trzech testów z włączoną przez cały czas klimatyzacją).

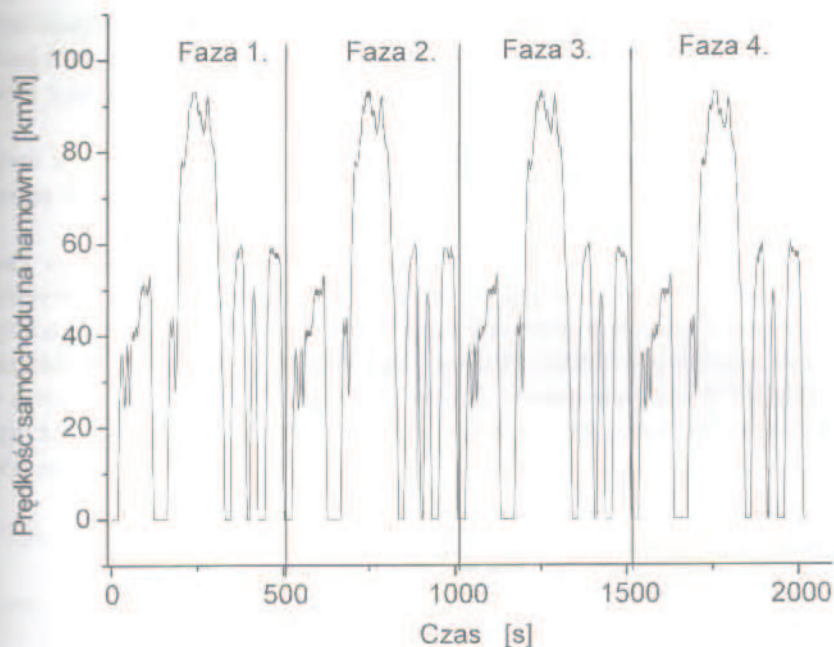
Fig. 3. Emission EU '98A (NEDC) tests results. Typical production tests compared with test with AC on during test — pole nr 27.

Tak duże różnice pomiędzy wynikami analizy spalin (rys. 3) poszczególnych egzemplarzy samochodów tego samego typu były podstawą do sprecyzowania metody badań. Przyjęto następujące założenia:

- pomiary powinny być prowadzone na 1 egzemplarzu samochodu po przebiegu ok. 30 000 km,
- test powinien rozpoczynać się od gorącego startu i zawierać kilka takich samych cykli jezdnych powtarzanych bezpośrednio po sobie bez zatrzymywania samochodu,
- urządzenie, którego wpływ jest badany powinno być załączone w czasie wszystkich faz testu, a więc przez cały test,
- test powinien jeździć ten sam kierowca na tej samej hamowni.

Założenia zweryfikowano używając testu EPA4X [4] (rys. 4), który standardowo jest używany do sprawdzania poprawności pracy analizatorów spalin. Test ten zawiera 4 fazy hot transient amerykańskiego testu FTP 75. Łączny czas testu wynosi $4 \cdot 505 = 2020$ s.

Koła napędowe samochodu były hamowane i napędzane na hamowni jednorolkowej z hamulcem elektrycznym i elektroniczną symulacją bezwładności. Hamownia i analizatory były kalibrowane według wewnętrznej instrukcji fabrycznej [4], która jest oparta na



Rys. 4. Prędkość samochodu w czasie wybranego do badań testu o nazwie EPA4X.

Fig. 4. Car speed during chosen test EPA4X.

amerykańskich przepisach „Code of Federal Regulation” i spełnia wymogi normy jakości pracy ISO serii 9000.

Wyniki analizy składów spalin otrzymywano z analizatora typu Horiba Mexa 430H oddzielnie dla każdej fazy nr 2, 3 i 4. W czasie fazy nr 1, traktowanej jako rozgrzewanie, skład spalin nie był mierzony.

W analizatorze wykorzystano dla badania stężeń gazów następujące metody:

- HC — FID,
- CO, CO₂ — NDIR,
- NO_x — CLD.

Analizatory były kalibrowane gazami wzorcowymi przed pomiarem stężeń gazów zgromadzonych w oddzielnych workach dla poszczególnych faz (metoda CVS).

Przeprowadzano 1 test dziennie a samochód pomiędzy testami stał w klimatyzowanym pomieszczeniu na tak zwanym polu odstawczym. Pomieszczenia hamowni były także klimatyzowane. Zbiornik paliwa napełniono w 50% atestowanym paliwem badawczym.

Dla weryfikacji warunków pomiarów przeprowadzono 2 testy próbne. Potwierdziły one słuszność przyjętej metodyki badań.

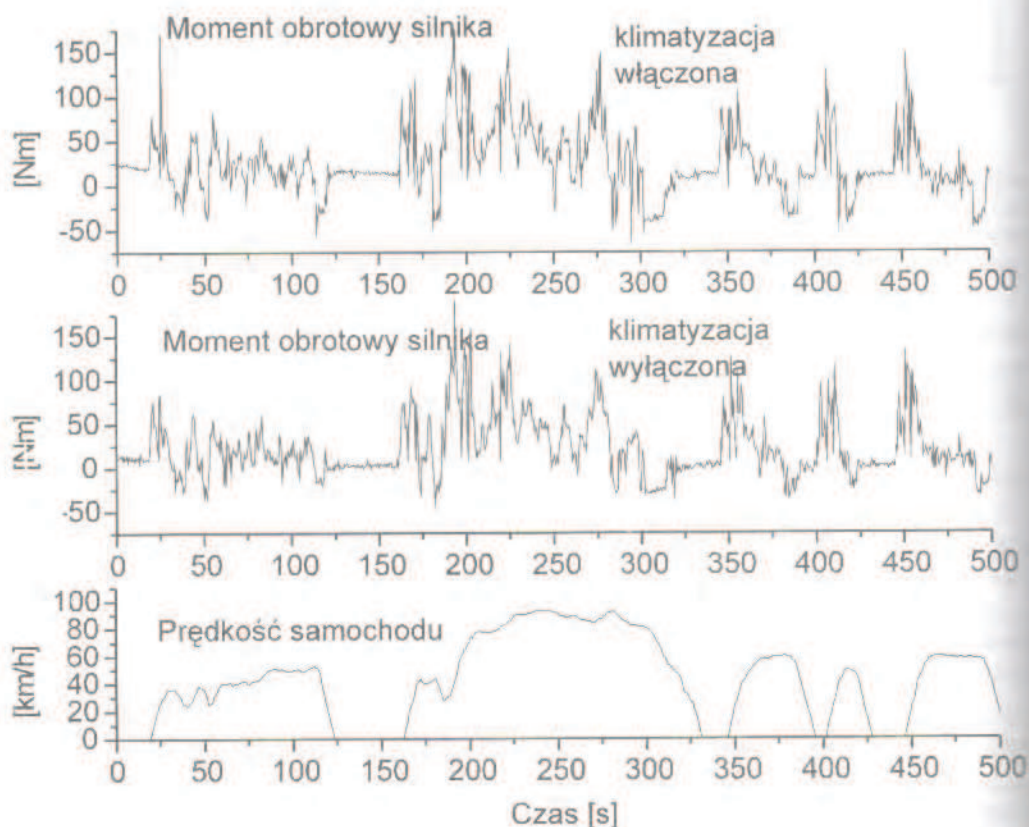
Przed przeprowadzeniem pomiarów zidentyfikowano moce wybranych odbiorników energii. Moce obliczono w następujący sposób:

- dla odbiorników energii elektrycznej — z pomiarów amperomierzem i woltomierzem przy odbiorniku oraz dodatkowo bocznikiem prądowym i woltomierzem przy akumulatorze;

• dla odbiornika energii mechanicznej (sprężarka układu klimatyzacji) — programem komputerowym przeznaczonym do odczytu danych przesyłanych pomiędzy sterownikami przez linię CAN-BUS; program czytał ze sterownika silnika chwilowe wartości momentu obrotowego i prędkości obrotowej.

Przy określaniu mocy na drodze pomiarów elektrycznych należy zwrócić uwagę że, (na skutek sprawności alternatora) moc pobierana z wału silnika może być nawet dwa razy większa niż określona elektrycznie.

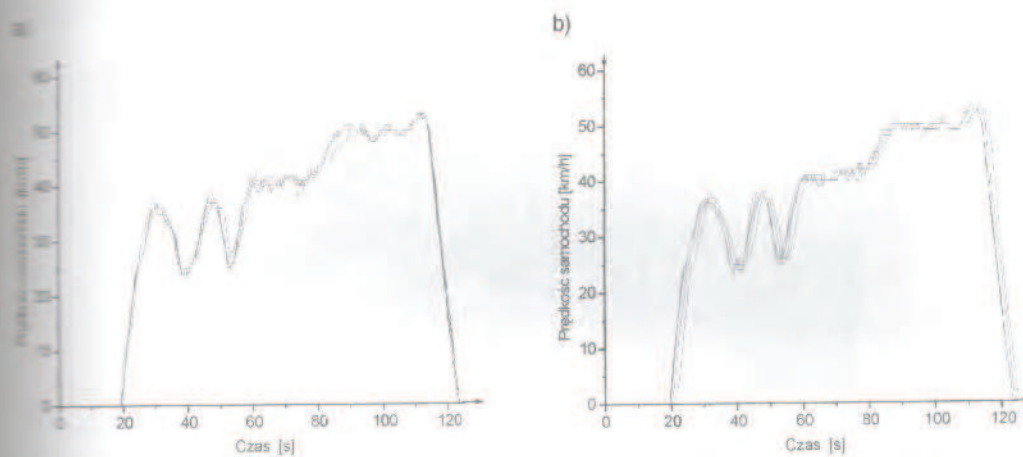
Na rysunku 5 porównano moment obrotowy silnika podczas testu na hamowni podwoziowej z włączonym (pracującym z maksymalną wydajnością) i wyłączonym układem klimatyzacji. Moment obrotowy jak i inne parametry pracy silnika odczytywano co 0,5 s ze sterownika silnika. Moment obrotowy w sterowniku jest obliczany na podstawie sygnału z przepływomierza powietrza i nastawianego czasu otwarcia wtryskiwaczy. Przyrost momentu po włączeniu układu klimatyzacji jest widoczny przy przyspieszaniu, jeździe ze stałą prędkością i biegu jałowym silnika. Jedynie na początku procesu hamowania silnikiem obie krzywe momentu się pokrywają (rys 5).



Rys. 5. Moment obrotowy silnika z włączonym w samochodzie układem klimatyzacji w porównaniu do momentu z układem wyłączonym zarejestrowany w czasie jednej z faz testu EPA4X.

Fig. 5. Engine torque while AC on by comparison to torque AC off recorded in one phase of test EPA4X.

Profil prędkości realizowany przez kierowcę nie jest idealnym odwzorowaniem założonego przebiegu testu co wpływa na rozrzut wyników pomiarów (rys. 6).



Rys. 6. Powtarzalność zmian prędkości jazdy realizowanej przez kierowcę w czasie testów przy włączonym układzie klimatyzacji — a i przy wyłączonych wszystkich odbiornikach — b.

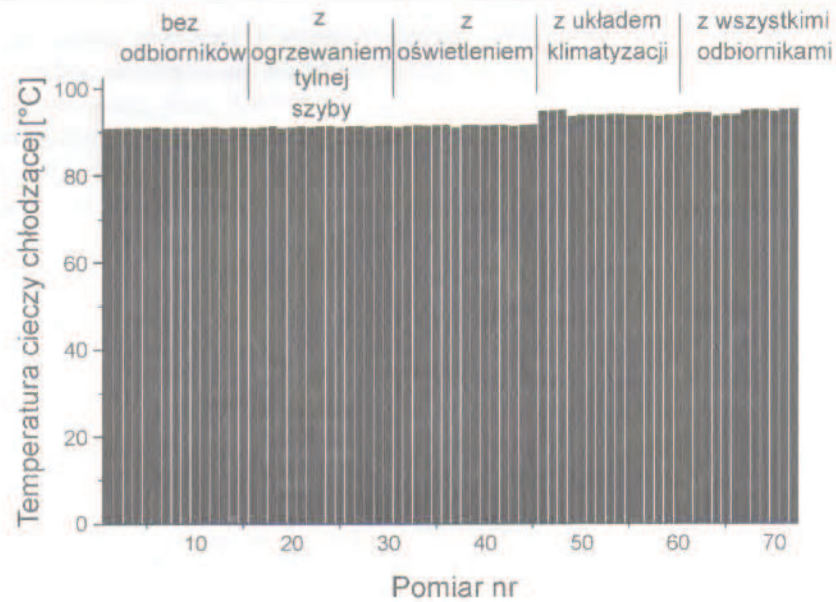
Fig. 6. Speed deviation from test to test by AC on — a and AC off — b.

Przy tak dużym nadmiarze mocy silnika ponad opory hamowni kierowca realizował test mieszcząc się w polu tolerancji niezależnie od tego czy silnik był dociążony dodatkowym odbiornikiem czy nie.

Dla zbadania wpływu wybranych odbiorników przeprowadzono dwadzieścia cztery czterofazowe testy EPA4X:

- 5 testów bez włączonych dodatkowych odbiorników energii,
- 5 testów z włączonym podgrzewaniem tylnej szyby,
- 5 testów z włączonym oświetleniem zewnętrznym,
- 5 testów z pracującym z maksymalną wydajnością urządzeniem klimatyzacyjnym,
- 4 testy z włączonymi wszystkimi wymienionymi powyżej odbiornikami.

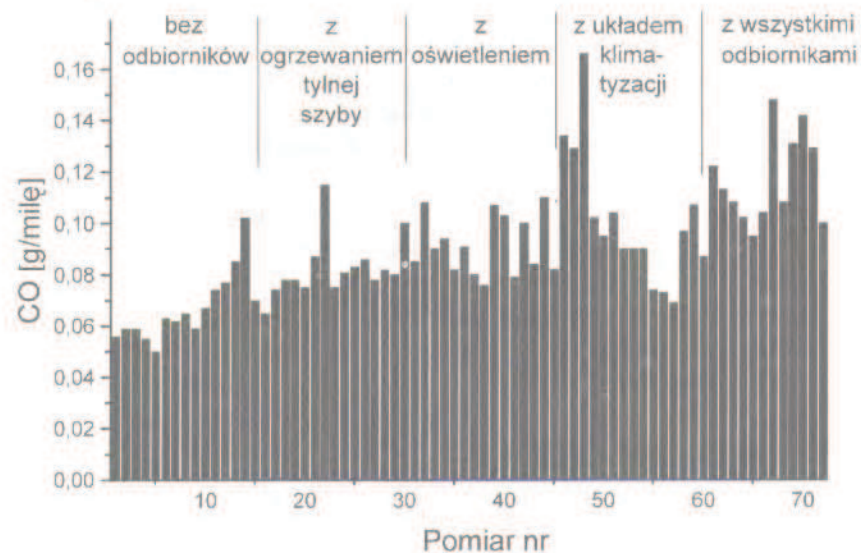
Dla ustalenia stałych warunków cieplnych, przed pomiarami przejeżdżano na hamowni amerykańską pozamiejską fazę testu „Highway Driving Cycle”. Po kilkuminutowej przerwie, dla zaprogramowania urządzeń pomiarowych, następował właściwy test typu EPA4X. Średnie temperatury cieczy chłodzącej we wszystkich 72 fazach (24 testy po 3 fazy mierzone) pokazano na rysunku 7. Stabilizacja temperatury przy większych mocach pobieranych z wału silnika występuje na poziomie wyższym o 4°C od temperatury bez dodatkowego obciążenia.



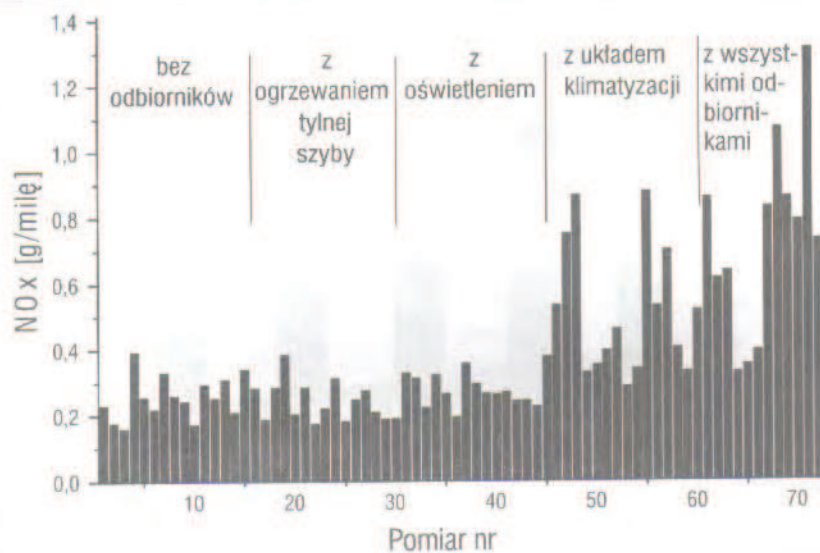
Rys. 7. Średnie temperatury cieczy chłodzącej podczas wszystkich pomiarów w testach EPA4X.
Fig. 7. Mean Coolant temperatures during all EPA4X tests.

4. Wyniki pomiarów

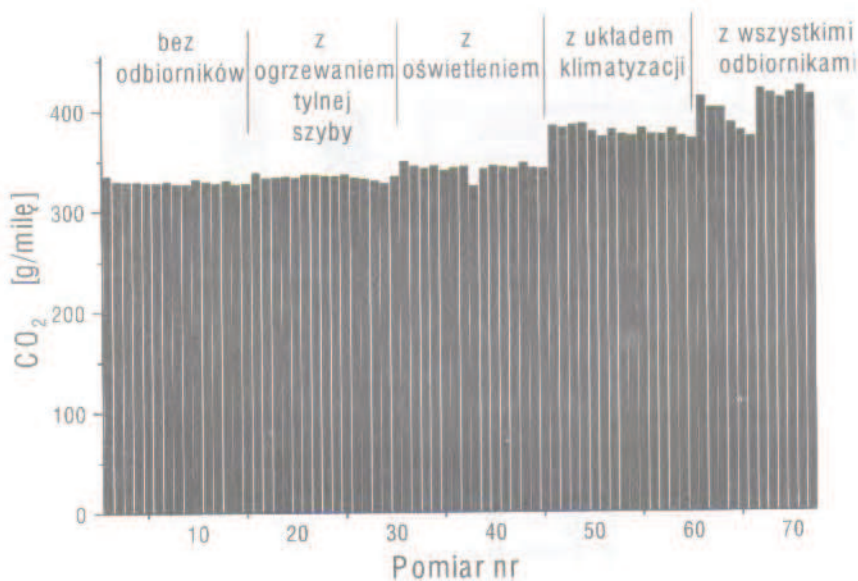
Wyniki pomiarów poszczególnych składników spalin w fazach testów EPA4X pokazano na rysunkach 8–10.



Rys. 8. Średnia emisja węglowodorów podczas wszystkich pomiarów w testach EPA4X.
Fig. 8. HC emissions in all EPA4X tests.

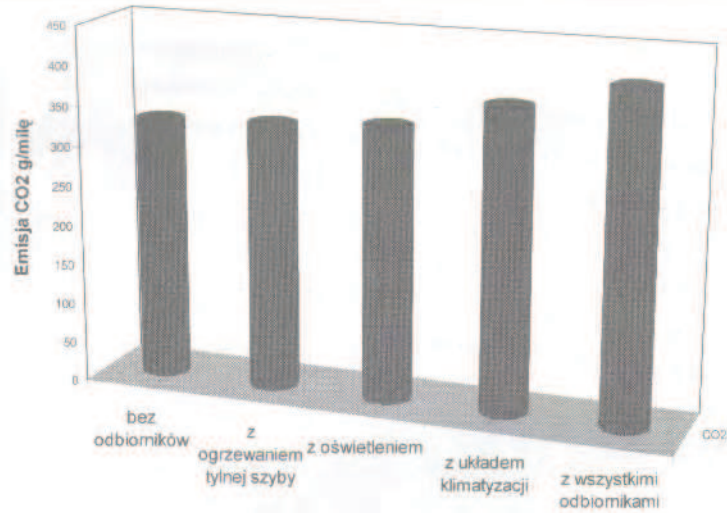


Rys. 9. Średnia emisja tlenku węgla podczas wszystkich pomiarów w testach EPA4X.
 Fig. 9. Mean CO emissions in all EPA4X tests.

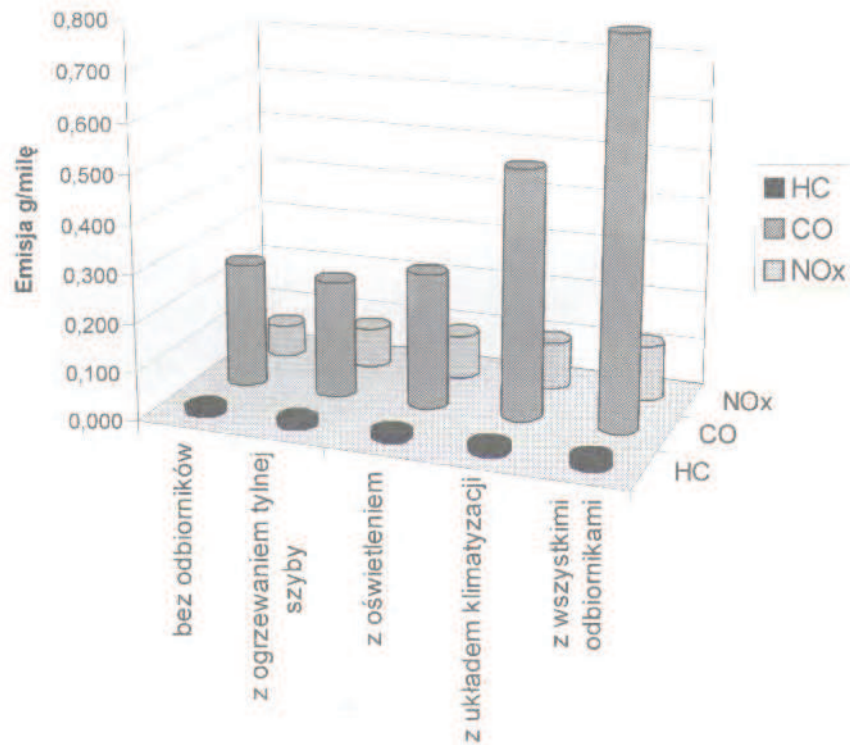


Rys. 10. Średnia emisja tlenków azotu podczas wszystkich pomiarów w testach EPA4X.
 Fig. 10. Mean NOx emissions in all EPA4X tests.

Uśrednione wyniki wszystkich pomiarów pokazano na rysunkach 11 i 12.



Rys. 11. Średnia emisja dwutlenku węgla podczas wszystkich pomiarów w testach EPA4X.
 Fig. 11. Mean CO₂ emission in all EPA4X tests.



Rys. 12. Uśrednione z wszystkich pomiarów emisje składników toksycznych spalin przy włączaniu dodatkowych odbiorników.
 Fig. 12. Mean of exhaust emissions from all tests by switching on additional consumers.

5. Statystyczne opracowanie wyników

Wyniki pomiarów opracowano statystycznie. Obliczone średnie odchylenia standardowe zamieszczono w tabelicy 1.

Tablica 1. Odchylenia standardowe wyników pomiarów
Table 1. Measurements results' standard deviation.

Pomiar	Odchylenie standardowe średniej emisji [g/milę]	Względne odchylenie standardowe [%]
HC bez włączonych odbiorników	0,0025	16,4
CO bez włączonych odbiorników	0,0424	16,5
NO _x bez włączonych odbiorników	0,0124	18,6
HC z podgrzewaniem tylnej szyby	0,0014	9,0
CO z podgrzewaniem tylnej szyby	0,0341	14,1
NO _x z podgrzewaniem tylnej szyby	0,0069	8,4
HC z oświetleniem	0,0008	5,4
CO z oświetleniem	0,0195	7,0
NO _x z oświetleniem	0,0029	3,2
HC z układem klimatyzacji	0,0036	20,9
CO z układem klimatyzacji	0,1829	35,7
NO _x z układem klimatyzacji	0,0260	25,9
HC z wszystkimi odbiornikami	0,0020	10,1
CO z wszystkimi odbiornikami	0,1774	22,5
NO _x z wszystkimi odbiornikami	0,0134	11,5

Uwzględniając podane w tabeli 1 odchylenia standardowe okazało się, że większość wyników badań mieści się w polu tolerancji tych odchyleń od wartości średniej. W każdej z prób, dla innego załączanego odbiornika, była jednak zwykle jedna zmierzona wartość emisji składnika spalin, która wykraczała poza opisane powyżej pole tolerancji. W jednym przypadku — CO przy podgrzewaniu tylnej szyby, były dwa przekroczenia. Zdarzyło się też przeprowadzić wszystkie próby bez przekroczenia pola tolerancji dla CO z włączonym układem klimatyzacji. Pole tolerancji nie było też przekraczane przy testach z wszystkimi włączonymi odbiornikami.

6. Wnioski

Przy dodatkowym obciążaniu silnika samochodu osobowego w warunkach przyjętego testu EPA4X jednostkowe emisje składników toksycznych jak i emisja CO₂ wzrastają. Wzrost ten jest niemal proporcjonalny do wzrostu mocy pobieranej z wału silnika. Współczynniki korelacji prezentuje tablica 2.

Tablica 2. Współczynniki korelacji i równania regresji liniowej, P — moc w W dodatkowego odbiornika
Table 2. Correlation coefficients and regression formulas, P — power of additional consumer [W]

Składnik spalin	Współczynnik korelacji	Równanie linii regresji [g/milę]
HC	0,953	$0,0152 + 0,00000154 * P$
CO	0,974	$0,2100 + 0,000215 * P$
NO _x	0,930	$0,076 + 0,00001631 * P$
CO ₂	0,992	$328,29 + 0,0326 * P$

Największe rozrzuty wyników pomiarów zawartości toksyn w spalinach wystąpiły przy testach z włączonym urządzeniem klimatyzacji. Może to być spowodowane zmniejszaniem się pobieranej mocy z wału w sposób niepowtarzalny wraz ze schładzaniem kabiny samochodu.

W ostatnich latach poza wzrostem mocy dodatkowych odbiorników energii obserwuje się wprowadzanie automatyzacji pracy różnych układów mechaniczno-elektrycznych. Kierowca i pasażerowie nie korygują na bieżąco nastaw urządzeń związanych z komfortem i bezpieczeństwem podróżowania. Jako przykład można podać wycieraczki szyb włączające się w deszczu czy oświetlenie zewnętrzne o zmierzchu. Niektóre urządzenia takie jak elektroniczna stabilizacja trakcji nie mogą być wyłączone przez użytkownika. Układ stabilizacji trakcji jest kłopotliwy do uwzględnienia w testach spalin. W czasie testów był on zawsze wyłączony. Nie można przeprowadzić testu na hamowni podwoziowej z włączonym tym układem ponieważ wykrywając maksymalny poślizg samochodu — koła nienapędzane stoją — zatrzymuje on silnik. Na szczęście pobór energii przez ten układ jest mały w porównaniu z innymi i w eksploatacji rzadko włącza on swoją pełną moc — tylko w sytuacjach krytycznych.

Odbiornikiem, który ma największy wpływ na skład spalin jest klimatyzacja. Należy w samochodach, które w podstawowych wersjach wyposażenia mają automatyczną klimatyzację wykonywać testy składu spalin z włączoną klimatyzacją w czasie całego testu. Jest to uzasadnione tym iż użytkownicy takich samochodów najczęściej nie wyłączają klimatyzacji. Należy jedynie określić jakie temperatury wewnątrz kabiny i w pomieszczeniu hamowni mają być nastawione. Uwzględniły to już przepisy amerykańskie wprowadzając test o oznaczeniu SC03.

Pojawiły się obecnie możliwości pomiaru emisji chwilowych analizatorami umieszczonymi w jadącym samochodzie [3]. Umożliwiają one pomiary w codziennej eksploatacji samochodów. Badania z użyciem tych urządzeń byłyby ciekawym przyczynkiem do przedstawionej w tej pracy tematyki.

Literatura

- 1 Mercedes-Benz: Grenzwerte, Vorschriften und Messung der Abgas-Emissionen sowie Berechnung des Kraftstoffverbrauchs aus dem Abgastest, Stuttgart 2001.
- 2 MERKISZ J.: Wpływ motoryzacji na skażenie środowiska naturalnego, Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, nr 1715, Poznań 1993.
- 3 NAKAMURA H., KIHARA N.: All aboard, Engine Technology International, June 2002.
- 4 ROBERT H. E.: Elementare Einführung in die PKW-Abgasmesstechnik, Release 1.3, Hochschule Bremen 1996.

Influence of some additional consumers on passenger car emission test results

Summary

In the paper some results of investigation of influence of some additional energy consumers switched on during emission tests has been presented. The research has been done in a car factory. One used car (after 30 thousand km) was tested with the special test. The test was repeated five times for each consumer. Essential influence of additional power on emission test results was proved.