

IDENTYFIKACJA MOŻLIWYCH ŹRÓDEŁ BŁĘDÓW I CZYNNIKÓW WPŁYWAJĄCYCH NA WIELKOŚĆ EMISJI ZWIĄZKÓW SZKODLIWYCH SPALIN, ZWIĄZANYCH Z METODYKĄ PRZEPROWADZANIA POMIARÓW EMISJI NA HAMOWNI PODWOZIOWEJ

Streszczenie

Zaostrzenie przepisów dotyczących redukcji emisji związków szkodliwych spalin silnikowych, emisji gazów cieplarnianych i zużycia paliwa są najważniejszymi czynnikami sterującymi rozwojem konstrukcji pojazdów samochodowych. Normy dotyczące emisji obowiązujące w Unii Europejskiej (UE), USA i Japonii określają nie tylko maksymalne poziomy emisji, ale także metodykę prowadzenia badań emisji w specjalnie skonstruowanych i zbudowanych laboratoriach. W artykule omówiono metodykę oraz zidentyfikowano możliwe źródła błędów, jak również czynniki wpływające na wielkość emisji związków szkodliwych spalin związane z metodyką badań emisji spalin.

WSTĘP

Przez wiele lat rozwoju motoryzacji w ogóle nie zwracano uwagi na zużycie paliwa, a tym bardziej na toksyczność spalin emitowanych przez silniki samochodowe. Zainteresowanie pierwszym z tych problemów wzbudziły wojny i kryzysy naftowe. Trudności z zaopatrzeniem w benzynę lub olej napędowy uniemożliwiały wówczas całkowicie korzystanie z pojazdów mechanicznych lub przynajmniej utrudniały ich eksploatację.

Ze szkodliwości emitowanych do atmosfery gazów spalinowych zaczęto zdawać sobie sprawę dopiero wówczas, gdy skojarzono powstawanie zjawiska smogu nad wielkimi miastami z rosnącym natężeniem ruchu kołowego. Początkowo dostrzegano zresztą głównie pogorszenie widoczności i przykry zapach, nie zdając sobie dostatecznie sprawy z jego wpływu na zdrowie. Na szerszą skalę efekt smogu zaobserwowano po raz pierwszy na przełomie lat 40-tych i 50-tych w Los Angeles. Przyczyną były lokalne warunki klimatyczne i geograficzne (położenie w kotlinie, duże nasłonecznienie i wysoka temperatura) w połączeniu z dużą liczbą używanych codziennie aut. Toteż w drugiej połowie lat 60-tych, właśnie w Kalifornii, staraniem tamtejszej stanowej Rady ds. Zasobów Powietrza (CARB - California Air Resources Board), wprowadzono przepisy, regulujące zawartość szkodliwych substancji w spalinach. Normy te z biegiem lat systematycznie precyzowano i zaostrzano, rozszerzając między innymi ich zakres obowiązywania nie tylko na samochody nowe, ale także po określonym przebiegu.

Warto zwrócić uwagę, że to właśnie coraz surowsze regulacje prawne wymuszały na przemyśle motoryzacyjnym doskonalenie konstrukcji silników (np. dostosowanie ich do spalania ubogich mieszanek, zastąpienie gaźnikowych układów zasilania elektronicznie sterowanymi systemami wtrysku paliwa, wprowadzenie recyrkulacji spalin) i rozwój sposobów oczyszczania wydalanych do atmosfery spalin (wprowadzenie w połowie lat 70-tych utleniających reaktorów katalitycznych, a na początku lat 80-tych tryfunkcyjnych, współpracujących z sondą lambda).

W ślad za USA poszły w latach 70-tych kraje europejskie i Japonia, opracowując własne limity i procedury badawcze. Inne państwa przejmowały tamtejsze normy, np. Australia, Kanada, Nowa Zelandia i większość krajów Ameryki Łacińskiej stosują procedury amerykańskie, Afryka Południowa i niektóre kraje Azji - europejskie. W Stanach Zjednoczonych wprowadzono ponadto dodatkowe test

w wysokiej temperaturze oraz testy uwzględniające dynamiczny styl jazdy kierowcy. W ostatnich latach większy nacisk kładzie się na emisję CO₂ (zużycie paliwa), z racji jego wpływu na efekt cieplarniany, powodujący podwyższenie średniej temperatury na kuli ziemskiej i zmiany klimatyczne. Z pomiarem emisji związków szkodliwych spalin nierozzerwalnie wiązą się dziś pomiary zużycia paliwa [1]. Pozostaje ono bowiem w ścisłym związku z poziomem emisji, warunkując go pod względem ilościowym (więcej spalonego paliwa to więcej zatruwających środowisko spalin).

Ciągły rozwój przepisów dotyczących jakości powietrza i emisji związków szkodliwych spalin występujący w ostatnich latach zmusza producentów samochodów do dalszego usprawniania konstrukcji samochodowych układów obniżania emisji [2-4]. Z drugiej strony, ponieważ stężenie poszczególnych składników szkodliwych w gazach spalinowych w nowoczesnych samochodach jest coraz mniejsze, niezbędny jest rozwój metod pomiarowych pozwalających na pomiar tej emisji z możliwie małą niepewnością [5-15].

1. METODYKA BADAŃ EMISJI ZWIĄZKÓW SZKODLIWYCH SPALIN

1.1. Ogólne wymagania

Badania emisji związków szkodliwych pojazdów, napędzanych silnikami spalinowymi można podzielić na dwie grupy, w zależności od maksymalnej masy całkowitej pojazdu, która warunkuje narzucaną metodykę badań [16]:

- badania kompletnych pojazdów na hamowniach podwoziowych w symulacyjnych cyklach jezdnych (np. NEDC lub FTP 75) dla samochodów kategorii M1 (samochody osobowe o maksymalnej liczbie miejsc 8) i N1 (samochody ciężarowe o masie maksymalnej do 3500 kg),
- badania samych silników na hamowniach silnikowych w wielopunktowych cyklach odwzorowujących różne obciążenia silników dla pojazdów określonych jako HDV (heavy-duty vehicle - samochód ciężarowy), których masa maksymalna >3500 kg.

W Europie przepisy prawne ustalają wartości emisji tlenku węgla, niespalonych węglowodorów (całkowitych THC i z wyłączeniem metanu - NMHC), tlenków azotu, a także cząstek stałych (masy PM i liczby PN) wydzielanych w spalinach oraz węglowodorów wydzielających się przez parowanie. W podstawowych regulami-

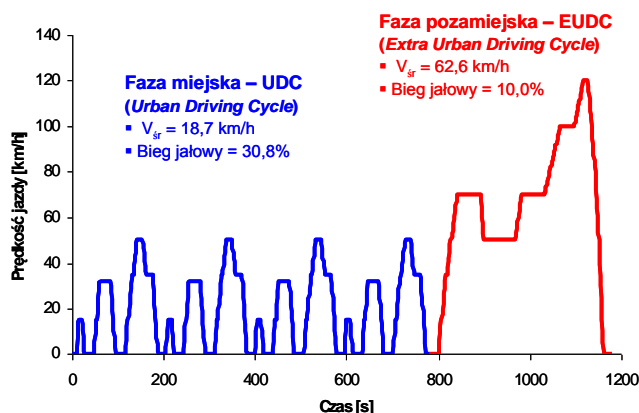
nach zawarte są również przepisy dotyczące przeprowadzania badań stanowiskowych (hamownia silnikowa) lub trakcyjnych (hamownia podwoziowa) wraz z wymogami dotyczącymi aparatury pomiarowej. Aparatura pomiarowa umożliwia przeprowadzenie pomiarów emisji związków szkodliwych spalin wytwarzanych przez wszystkie rodzaje tłokowych silników spalinowych (ZI i ZS), zamontowanych w pojeździe lub bezpośrednio na hamowni silnikowej, przy zasilaniu różnymi rodzajami paliw (benzyna, olej napędowy, biopaliwa, paliwa gazowe).

1.2. Badania na hamowni podwoziowej

Zgodnie z wyżej wymienionymi wymaganiami, badania emisji pojazdów o masie całkowitej poniżej 3500 kg przeprowadza się w laboratorium badania emisji spalin (rys. 2-4) [17,18] na hamowni podwoziowej (rolkowym stanowisku dynamometrycznym), odwzorowującej rzeczywiste opory jazdy (toczenia, aerodynamiczne i bezwładność pojazdu). Hamownia podwoziowa jest urządzeniem, które odtwarza warunki ruchu na drodze rzeczywistej dla układu napędowego badanego pojazdu w warunkach laboratoryjnych. Obecnie stosowane są przeważnie hamownie z asynchronicznym silnikiem prądu zmiennego AC (alternating current - prąd zmienny) z pojedynczą rolką o średnicy 48" (~1200 mm). Hamownie podwoziowe stosowane w badaniach pojazdów są przeznaczone do dokładnej symulacji ściśle określonych warunków jazdy pojazdu na drodze, w testach kontrolnych według cykli, takich jak na przykład: NEDC (rys. 1) lub FTP 75.

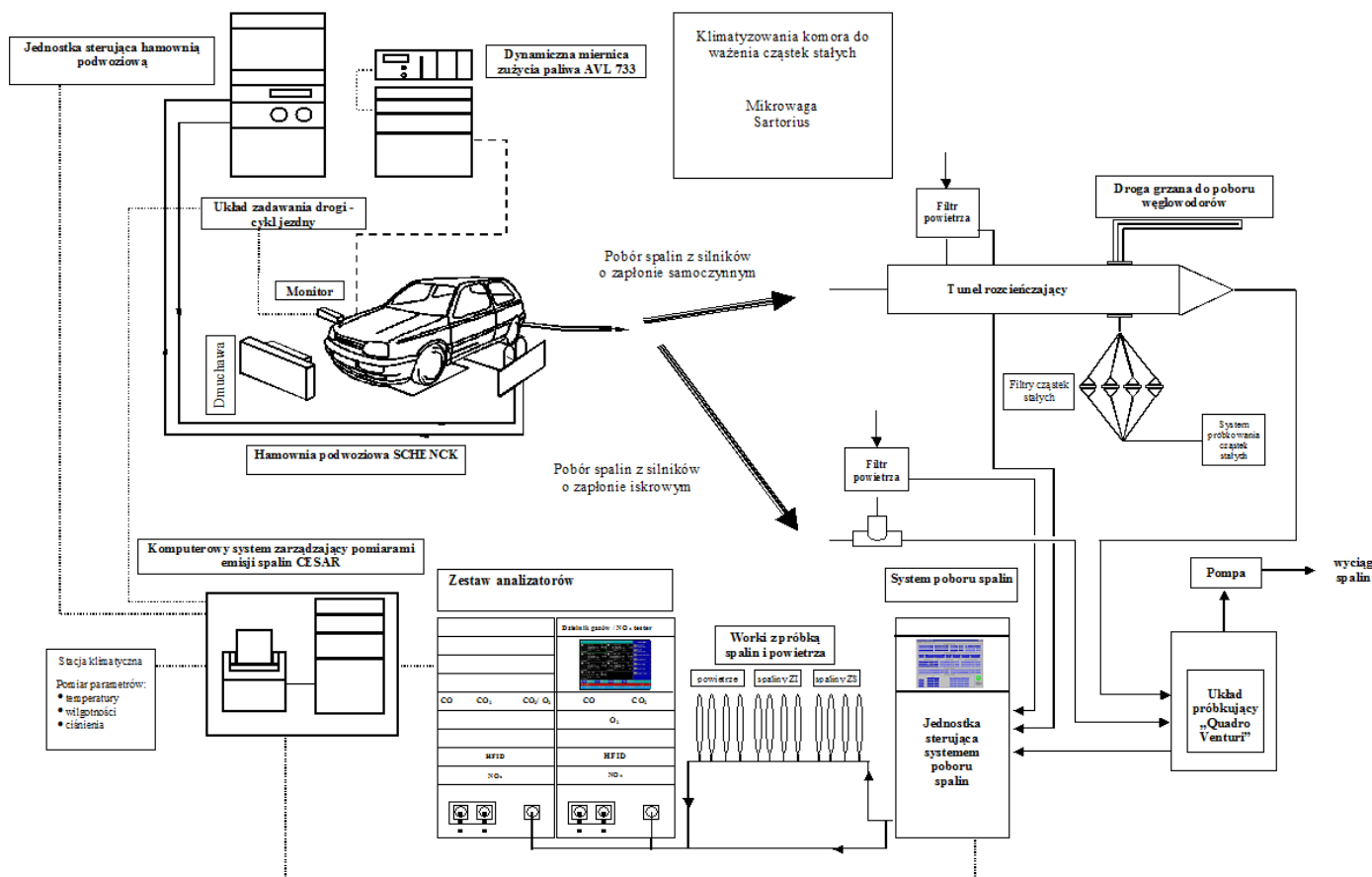
Podstawą działania hamowni podwoziowej, zwanej też rolkowym stanowiskiem dynamometrycznym, jest przeniesienie sił oporów działających na pojazd, poruszający się po drodze, na układ,

w którym pojazd jest nieruchomy, a koła osi napędzającej poruszają się po obracających się rolkach. Jeżeli symulacja sił stycznych działających na obracające się koła samochodu jest realizowana w sposób dokładny, to będzie się on poruszał po rolkach z tą samą prędkością, przyspieszeniem i odwzorowaniem profilu drogi jak w czasie rzeczywistej jazdy po drodze.



Rys. 1. Europejski cykl jazdy (NEDC)

Badanie polegające na analizie spalin (rozcieńczonych powietrzem) z worków pomiarowych jest podstawowym przy wykonywaniu badań emisji związków szkodliwych w spalinach, zgodnie z wymaganiami przepisów homologacyjnych. Tego typu badania służą do porównywania emisji pojazdów z limitami określonymi w odpowiednich przepisach. Badania te, nazywane często badaniami kontrolnymi, wykonuje się w ramach badań homologacyjnych



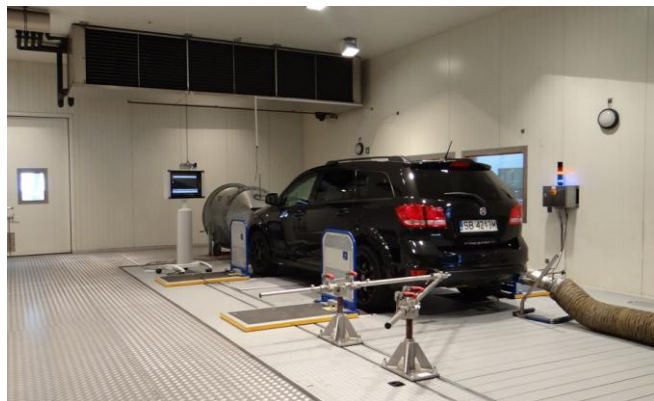
Rys. 2. Schemat laboratorium badania emisji spalin

(dopuszczających dany pojazd do ruchu) i badań zgodności produkcji (COP - conformity of production - badania pojazdów wziętych losowo z produkcji seryjnej na zgodność z homologowanym typem).

Próbka mieszaniny spalin z powietrzem, w ilości proporcjonalnej do strumienia tej mieszaniny, jest w sposób ciągły pobierana i zbierana w worku pomiarowym, w czasie realizacji na hamowni podwozowej ustalonego cyklu jezdnych (np. NEDC – rys. 1). Skład mieszaniny spalin z powietrzem w worku pomiarowym odpowiada średniemu stężeniu składników spalin wydzielanych z pojazdu podczas określonego cyklu jezdnych. Następnie odczytane z próbki zebranej do worków pomiarowych (z użyciem analizatorów spalin) stężenia poszczególnych związków szkodliwych przelicza się na podstawie odpowiednich wzorów na emisję całkowitą w g/km i otrzymane wyniki porównuje się z odpowiednimi limitami [19].



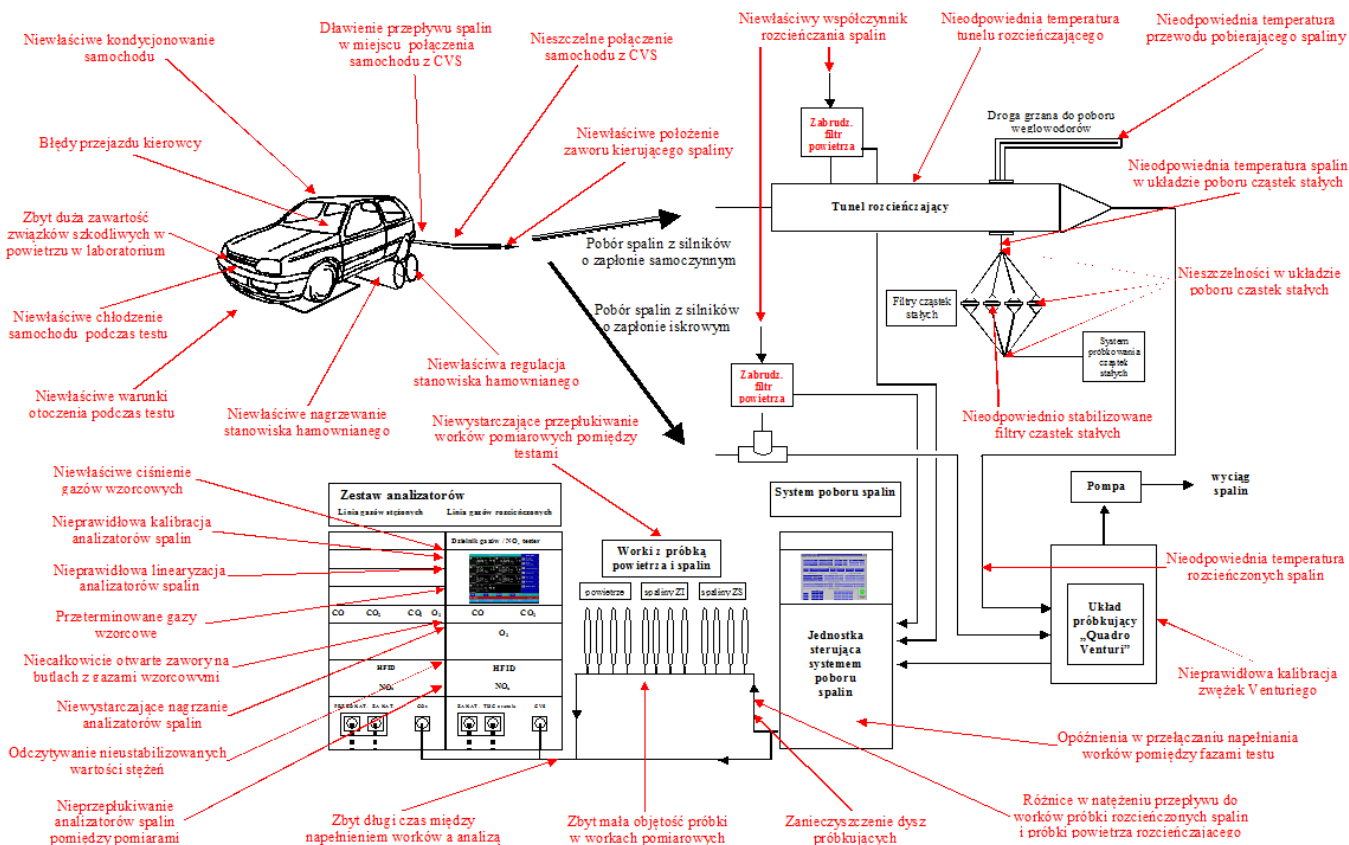
Rys. 4. Laboratorium Emisji Spalin w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL – komora klimatyczna



Rys. 3. Laboratorium Badania Emisji Spalin z hamownią podwozową typu 4WD w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL

2. ŹRÓDŁA NIEPEWNOŚCI I BŁĘDÓW PODCZAS POMIARÓW EMISJI NA HAMOWNI PODWOZOWEJ

Ponieważ niepewność pomiaru jest efektem błędów o charakterze losowym, jakie występują w procesie pomiarowym, można w zasadzie stosować zamiennie terminy „źródła niepewności” i „źródła błędów”. W niniejszym artykule zastosowano obydwa terminy. W przypadku poszukiwania czynników losowych, trudnych do wyeliminowania, związanych z metodyką pomiarów emisji na hamowni podwozowej, zastosowano termin „źródła niepewności”. Natomiast w przypadku poszukiwania czynników zakłócających prawidłowość wyników pomiarów, związanych z błędami popełnianymi przy realizacji procedury pomiaru emisji i obsłudze wyposażenia zastosowanego do pomiarów, posłużono się terminem poszukiwania „źródła błędów”. W przypadku starannego przygotowania



Rys. 5. Możliwe źródła błędów pomiarów emisji związków szkodliwych w spalinach podczas testów na hamowni podwozowej

i przeprowadzania pomiarów przez odpowiednio wykwalifikowany personel i właściwego funkcjonowania urządzeń czynniki zidentyfikowane jako źródła błędów (rys. 5) można albo całkowicie wyeliminować, albo znacznie ograniczyć ich wpływ na niepewność pomiarów.

Zgodnie z powyższymi uwagami do źródeł niepewności pomiarów emisji szkodliwych składników spalin w testach na hamowni podwoziowej należą:

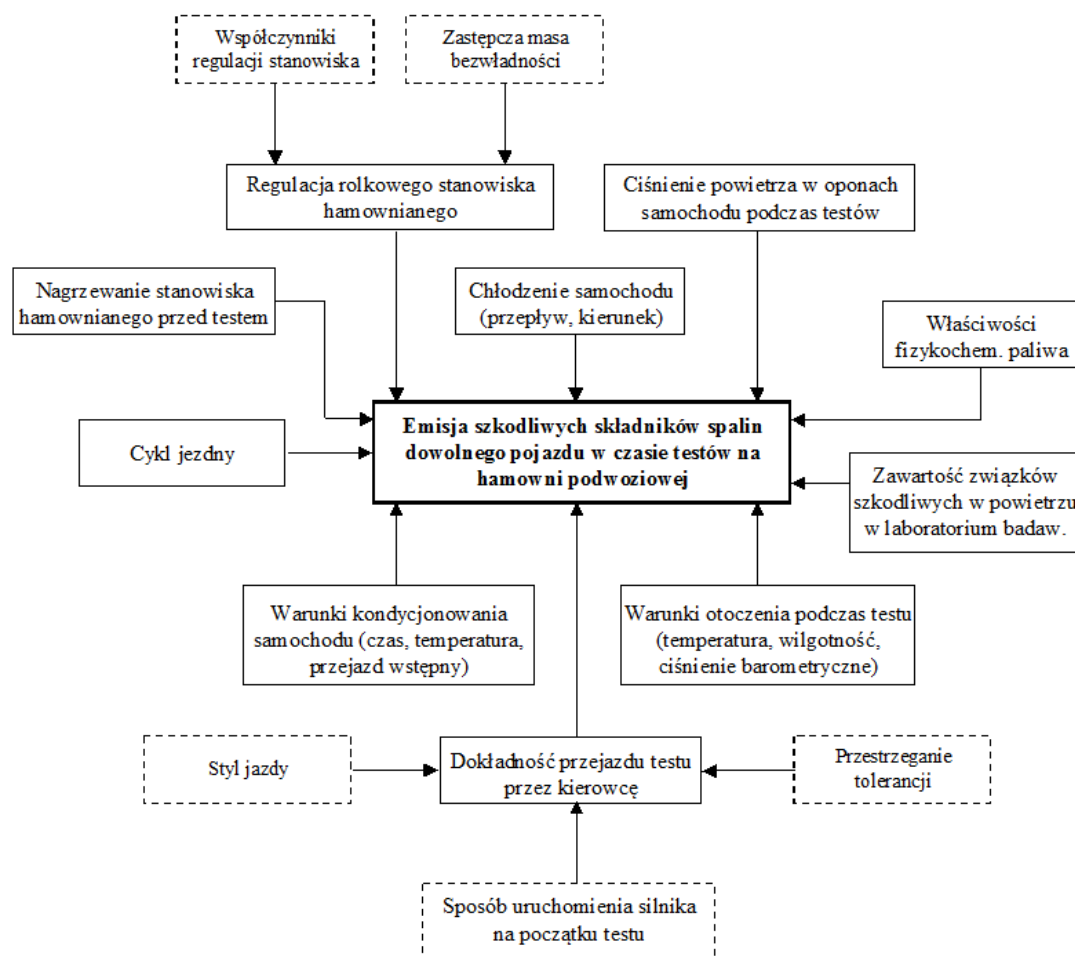
- przygotowanie pojazdu do badań: przejazd wstępny, czas i temperatura kondycjonowania,
- analizatory spalin: dokładność, krzywa linearyzacyjna, kalibracja, temperatura komory pomiarowej, dokładność dzielnika gazów, stężenie gazów wzorcowych,
- hamownia podwoziowa: kalibracja, czas nagrzewania, inercja, współczynniki oporów własnych,
- system poboru i rozcieńczania spalin CVS: kalibracja zwęzek Venturiego, temperatury, szczelność połączeń,
- kierowca: dokładność przejazdu, styl jazdy, doświadczenie, uruchomienie silnika,
- pobieranie próbek: jednorodność, proporcjonalność, zjawiska fizykochemiczne (adsorpcja, desorpcja, skraplanie, itp.), wpływ temperatury i ciśnienia,
- przetwarzanie danych: uśrednianie, zaokrąglanie, statystyka, algorytmy przetwarzania danych (dopasowanie modelu, np. liniowy najmniejszych kwadratów),
- warunki otoczenia: temperatura, wilgotność, ciśnienie, zawartość związków szkodliwych w powietrzu otoczenia,

- chłodzenie samochodu podczas testu: przepływ, odległość od samochodu, kierunek.

3. CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA EMISJĘ ZWIĄZKÓW SZKODLIWYCH SPALIN

Emisja związków szkodliwych spalin samochodów zasilanych silnikami spalinowymi zależy od wielu czynników. Na rysunku 6 przedstawiono schematycznie główne parametry związane z metodą przeprowadzania pomiarów emisji, które mają wpływ na emisję związków szkodliwych spalin pojazdu podczas testów na hamowni podwoziowej. Analizując poniższy schemat można zauważyć, iż:

- większość rozważanych parametrów ma przewidziane w normach, tolerancje lub charakterystyki, które mogą wprowadzać do wyników próby dużą niepewność, której nie można wyeliminować,
- niektóre parametry są stałe w zakresie danego urządzenia (regulacja rolkowego stanowiska dynamometrycznego, zastępcza masa bezwładności, czas trwania próby, cykl jezdny), nawet jeśli niektóre z nich zmieniają się w funkcji badanego pojazdu. Stąd można wnioskować, że parametry te mają wpływ na odtwarzalność próby, lecz nie na jej powtarzalność,
- układ schładzania badanego pojazdu jest inny w każdym laboratorium: stąd ma wpływ tylko na odtwarzalność próby,
- pozostałe parametry (temperatura i czas sezonowania, temperatura, ciśnienie i wilgotność pomieszczenia laboratorium, obraz prędkości jazdy na monitorze kierowcy) w znaczny sposób wpływają na powtarzalność próby pomiaru emisji, a zredukowa-

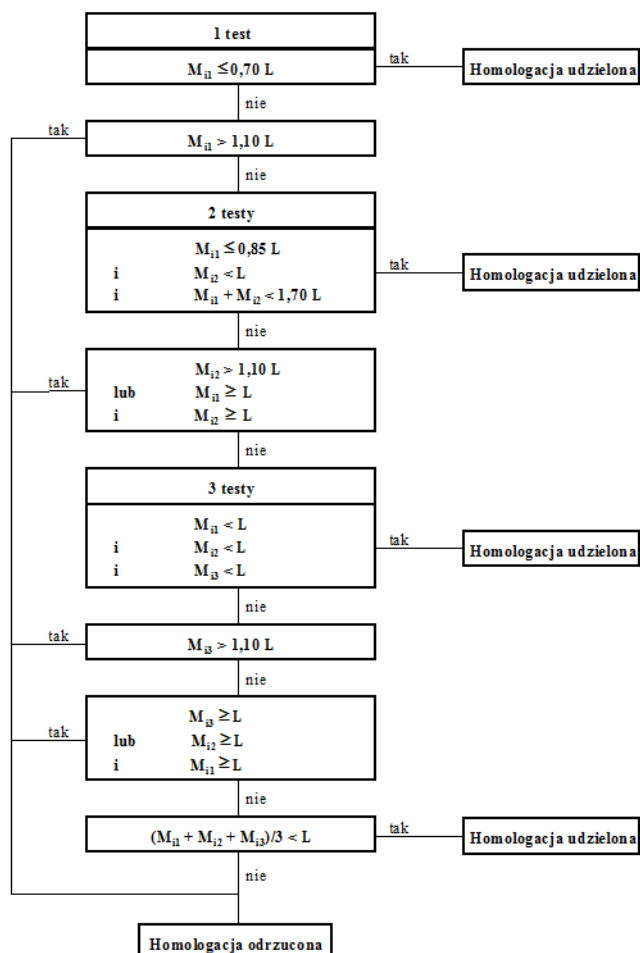


Rys. 6. Czynniki wpływające na emisję szkodliwych składników spalin dowolnego pojazdu podczas testów na hamowni podwoziowej, związane z metodą przeprowadzania pomiarów emisji

nie ich tolerancji wymaga bardzo wydajnej instalacji klimatyzacyjnej oraz bardzo dokładnego kierowania pojazdem (brak błędów kierowania lub wykorzystanie autopilota).

4. NIEPEWNOŚĆ POMIARÓW EMISJI

Przepisy europejskie [19] oceniają całkowitą niepewność pomiarów emisji na około 30%, uznając w przypadku testów homologacyjnych za wystarczający tylko jeden test pod warunkiem, że wszystkie składniki nie przekroczą 70% limitu wynikającego z przepisów, a uznając za konieczne wykonanie 3 testów w przypadku gdy wyniki przekroczą 85% limitu (rys. 7).



Rys. 7. Schemat logiczny systemu homologacji typu I [19] (M_{11} - emisja danego składnika w 1 teście, M_{12} - emisja danego składnika w 2 teście, L - limit homologacyjny emisji danego składnika)

Aby udało się zdefiniować akceptowalną wartość niepewności konieczne jest opieranie się na opracowaniach statystycznych licznych prób eksperymentalnych, weryfikowanych wielokrotnie podczas badań międzylaboratoryjnych.

Większość prac dotyczących określenia zmienności i dokładności badań emisji związków szkodliwych w spalinach emitowanych przez pojazdy została opublikowana w latach siedemdziesiątych, kiedy próbowano ocenić niepewność pomiarową w sposób całościowy, uwzględniając również zmienność pojazdu [20]. Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na niepewność pomiaru emisji związków szkodliwych w spalinach były w tych modelach [20] niepewności związane z: pojazdem, warunkami otoczenia, kierowcą i hamownią podwoziową. Uwzględniając zmiany, jakie zaszły w przepisach dotyczących dopuszczalnej emisji związków szkodliwych spalin i metodyki badań, celowe wydaje się wykonanie analizy

niepewności metody pomiarów emisji spalin w testach na hamowni podwoziowej dla współcześnie produkowanych samochodów [21].

Przy wykonywaniu pomiarów według obecnych i przyszłych wymagań duży wpływ na niepewność pomiarów mają również analizatory spalin, ich dokładności analizy, zakresy pomiarowe. Szczególnie istotny wpływ na dokładność pomiaru ma różnica stężeń między zawartością danego składnika w worku spalin rozcieńczonych, a jego zawartością w worku z powietrzem otoczenia. Stąd bardzo istotne jest właściwe funkcjonowanie systemu poboru i próbkowania spalin CVS, w celu zminimalizowania stopnia rozcieńczenia spalin i zapobiegania skraplaniu rozcieńczonych spalin.

PODSUMOWANIE

Pomiary emisji związków szkodliwych spalin w testach na hamowni podwoziowej są jednymi z najbardziej skomplikowanych, a zarazem najważniejszych badań, jakim poddaje się pojazdy zasilane silnikami spalinowymi przed ich wdrożeniem do produkcji i dopuszczeniem do ruchu (udzieleniem homologacji), jak również podczas kontroli seryjnej produkcji i wreszcie w czasie eksploatacji po drogach publicznych. Na podstawie tych badań dobiera się i weryfikuje dla wszystkich samochodów odpowiednie układy oczyszczania spalin (reaktory katalityczne, filtry cząstek stałych, itp.), jak i rozwija konstrukcje silników do zasilania różnymi paliwami (benzyną, olejem napędowym, biopaliwami, paliwami gazowymi LPG, CNG, itp.). Z tego powodu bardzo ważne jest odpowiednie przeprowadzanie tych badań w specjalistycznych laboratoriach.

W artykule omówiono metodykę pomiarów emisji związków szkodliwych spalin w testach na hamowni podwoziowej wraz z podaniem wytycznych w celu zwiększenia dokładności pomiarów. Ze względu na stopień skomplikowania samej metodyki, jak również ciągły rozwój silników spalinowych i układów oczyszczania spalin powodujących coraz niższe emisje związków szkodliwych spalin, coraz ważniejsze staje się rozpoznawanie i eliminowanie potencjalnych źródeł błędów mogących wpływać na wyniki pomiarów, jak również minimalizowanie niepewności przeprowadzanych pomiarów.

Niniejszy artykuł związany jest z tematem „Analiza możliwości zwiększenia dokładności metody pomiarów emisji spalin, zużycia paliwa i parametrów dynamicznych samochodów podczas badań na hamowni podwoziowej oraz rozszerzenie metodyki badań emisji gazowych związków szkodliwych i cząstek stałych o badania nie-normalizowane podczas testów emisji na hamowni podwoziowej” w ramach prac naukowo-badawczych, realizowanych w BOSMAL w latach 2015-2016.

BIBLIOGRAFIA

1. Bielaczyc P., Gis W., *An Analysis of CO₂ Emissions and Fuel Consumption from new Automotive Vehicles in Aspects for Future Regulations*. Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress. Seoul, 12-15 June 2000.
2. Bielaczyc P., Merkisz J., Szczotka A., *An Investigation of Cold Start and Warm-up Phases with a SI Engine for Meeting New European Emissions Regulations*. PTNM, Archiwum Motoryzacji nr 1-2. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
3. Bielaczyc P., Szczotka A., *Development Trends for Spark Ignition Engines to Meet Future European Emissions Regulations*, Journal of Kones Internal Combustion Engines, Vol. 6, No. 1-2, Warsaw 1999.
4. Jost K., *Spark-ignition Engine Trends*. Automotive Engineering International, No 1, 2002.

5. Becker E.R., Watson R.J., *Future Trends in Automotive Emission Control*, SAE Paper 980413, 1998.
6. Behrendt H., Mörsch O., Seifert C.T., *Studies on Enhanced CVS Technology to Achieve SULEV Certification*. SAE Paper 2002-01-0048, 2002.
7. Bielaczyc P., Merkisz J., *Rozwój metod badań emisji związków szkodliwych z silników spalinowych*. Zeszyt Naukowy OBRSM Bosmal nr 8, Bielsko-Biała 1998.
8. Krenn M., Kampelmühler F., Weidinger C., *Evaluation of a New Design for CVS-Systems Meeting the Requirements of SULEV and EURO IV*. SAE Paper 2000-01-0800, 2000.
9. Landry M., Guenther M., Isbrecht K., *Simulation of Low Level Vehicle Exhaust Emissions for Evaluation of Sampling and Analytical Systems*. SAE Paper 2001-01-0211, 2001.
10. Ohtsuki S., Inoue K., Yamagishi Y., *Studies on Emission Measurement Techniques for Super-Ultra Low Emission Vehicles*. SAE Paper 2002-01-2709, 2002.
11. Schiefer E., Schindler W., Schimpl H., *Study of Interferences for ULEV-CVS Measurement, Related to the Complete Measuring System, Discussion of Error Sources, Cross-Sensitivity and Adsorption*. SAE Paper 2000-01-0796, 2000.
12. Seifert G., *What is Zero Emission and How Can it be Measured?* Motortekhnische Zeitschnft Vol. 63, No.1, 2002.
13. Sherman M., Lennon K., Chase R., *Error Analysis of Various Sampling Systems*. SAE Paper 2001-01-0209, 2001.
14. Silvis W., Chase R., *Proportional Ambient Sampling: A CVS Improvement for ULEV and Lean Engine Operation*. SAE Paper 1999-01-0154, 1999.
15. Tayama A., Kanetoshi K., Tsuchida H., *A Study of a Gasoline-Fueled Near-Zero-Emission Vehicle Using an Improved Emission Measurement System*. SAE Paper 982555, 1998.
16. Bielaczyc P., Merkisz J., Pielecha J., *Stan cieplny silnika spalinowego a emisja związków szkodliwych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001.
17. Bielaczyc P., Szczotka A., Pajdowski P., Woodburn J., *Development of vehicle exhaust emission testing methods – BOSMAL's new emission testing laboratory*. PTNSS-2011-SS1-101. Combustion Engines 1/2011 (144).
18. Bielaczyc P., Szczotka A., Pajdowski P., Woodburn J., *Development of automotive emissions testing equipment and test methods in response to legislative, technical and commercial requirements*. Paper 2013-103. Combustion Engines 1/2013 (152).
19. UNECE, Regulation No. 83, 2015, available online: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29reg/s/R083r5e.pdf>, accessed 60 Feb 2015.
20. Klingenberg H., *Automobile Exhaust Emission Testing - Measurement of Regulated and Unregulated Exhaust Gas Components, Exhaust Emission Tests*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 1996.
21. Bielaczyc P., Szczotka A., *Analysis of Uncertainty of the Emission Measurement of Gaseous Pollutants on Chassis Dynamometer*. SAE Paper 2007-01-1324, SAE 2007 World Congress, Detroit 2007.

IDENTIFICATION OF POSSIBLE SOURCES OF ERROR AND THE FACTORS HAVING AN IMPACT ON EXHAUST EMISSIONS, CONNECTED WITH THE METHODOLOGY OF EMISSION MEASUREMENTS ON A CHASSIS DYNAMOMETER

Abstract

Legislation regarding the reduction of harmful exhaust emissions, greenhouse gases and fuel consumption is one of the strongest drivers of development in automobile design. Emissions standards in the European Union (EU), USA and Japan determine not only maximum permissible emissions factors, but also emissions testing methods and laboratory design. In this paper the methodology has been described and possible sources of error have been identified, as well as the factors having an impact on the exhaust emissions, connected with the methodology of legislative emission measurements.

Autorzy:

dr inż. **Piotr Bielaczyc** – kierownik Zakładu Badań Silników w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej

dr inż. **Andrzej Szczotka** – adiunkt w Pracowni Badań Toksyczności Spalin w Zakładzie Badań Silników w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej

inż. **Joseph Woodburn** – samodzielny pracownik ds. badań w Pracowni Badań Toksyczności Spalin w Zakładzie Badań Silników w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej