Światowe trendy w ograniczaniu emisji samochodowej i ich wpływ na rozwój napędów pojazdów, paliw, olejów silnikowych i metod badawczych – znaczenie globalne nowych regulacji ograniczania emisji WLTP i RDE – podsumowanie „6th International Exhaust Emissions Symposium (IEES)"

Trends in automotive emissions legislation: impact on LD engine development, fuels, lubricants, and test methods – a global view, with a focus on WLTP and RDE regulations – Summary of the 6th International Exhaust Emissions Symposium (IEES)

Dr inż. Piotr BIELACZYC
Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL sp. z o.o.,
Bielsko-Biała

Streszczenie: Jednym z głównych, globalnych czynników, które wpływają na rozwój układów napędowych pojazdów samochodowych, są obecnie trendy w zmianach światowych norm i metodyk badawczych emisji spalin, spowodowane rzeczywistą emisją związków szkodliwych spalin z samochodów w czasie ich eksploatacji i metodami jej ograniczenia. Wprowadzenie nowych norm emisji w krajach Unii Europejskiej określanych jako Euro 6d, zawierających nowe metodyki badawcze WLTP i RDE, jest poważnym wyzwaniem dla przemysłu motoryzacyjnego, ze względu na trudności techniczne oraz czynniki polityczne i socjologiczne. Problem ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, szczególnie dwutlenku węgla, emitowanych przez pojazdy drogowe, pozostaje również ważnym czynnikiem, ze względu na wpływ na globalne ocieplenie klimatu. Nowe normy emisji muszą być spełnione w szerokim zakresie warunków otoczenia i w rzeczywistej eksploatacji pojazdu na drodze. Ta problematyka i metody rozwoju układów napędowych pojazdów samochodowych były prezentowane i dyskutowane w czasie 6. Międzynarodowego Sympozjum Ograniczania Emisji z Pojazdów Samochodowych zorganizowanego przez Instytut BOSMAL w Bielsko-Białej. Podczas obrad dokonano syntezy obecnego i przyszłego statusu oraz rozwoju silników spalinowych, napędów hybrydowych i elektrycznych i tego, co najbliższe lata mogą przynieść w tej dziedzinie.
Słowa kluczowe: emisja spalin, światowe trendy, normy emisji, silniki spalinowe, RDE, WLTP, WLTC, metody badania, rozwój paliw, napędy hybrydowe i elektryczne

Abstract: Among the drivers influencing vehicular powertrain development, the field of vehicular exhaust emissions is experiencing wide-ranging and rapid changes. New emissions regulations such as Euro 6d and new test methods (RDE and WLTP) are the main challenges for the automotive industry caused by political, socioeconomic and technical factors. Air quality is very high on the political agenda and pressure remains to limit and reduce greenhouse gas emissions from the road transport sector. In addition to limits becoming increasingly stringent, the list of parameters subject to legal limits are slowly expanding and, most importantly, these limits must be met under a wide range of conditions. A range of strategies are available to overcome these difficulties, which was explored during the 6th International Exhaust Emissions Symposium (IEES) hosted at BOSMAL in June 2018. This paper reports and summarises the topics of the 6th IEES and attempts a synthesis on the current status of the field of IC engines, hybrid powertrains and electric vehicles and what the coming years may hold for the automotive and fuel industries and other allied fields.
Keywords: global trends of exhaust emissions, emissions standard, IC engines, RDE, WLTP, WLTC, test methods, fuel development, hybrid and electric vehicles

WSTĘP

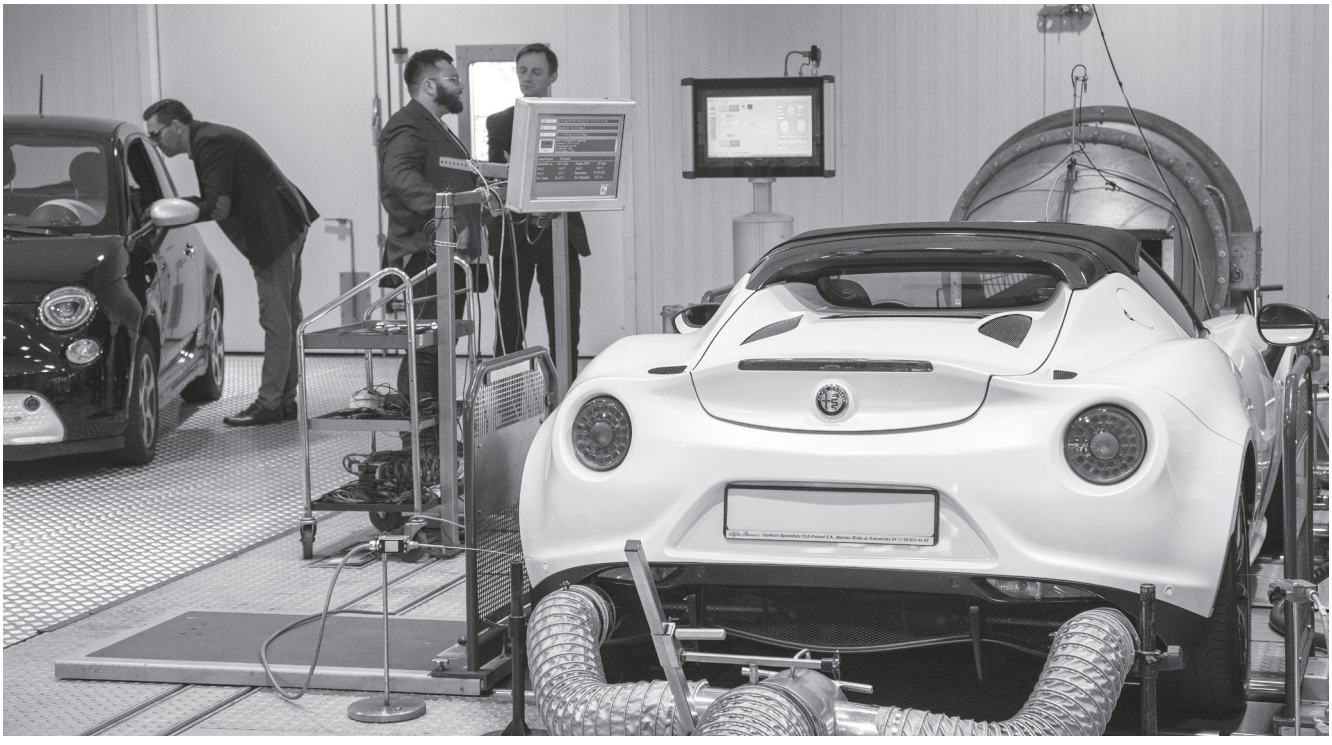
Wśród wielu czynników wpływających na rozwój układów napędowych pojazdów samochodowych najważniejszą rolę odgrywa rzeczywista emisja związków szkodliwych spalin z samochodów i możliwości jej ograniczenia. Drugim ważnym czynnikiem jest problem ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, szczególnie CO_2, emitowanych przez pojazdy drogowe, który jest jednym z priorytetów politycznych, ze względu na wpływ na globalne ocieplenie klimatu. W ostatnich latach na forum EKG ONZ, w grupie GRPE, pracującej nad harmonizacją przepisów dotyczących pojazdów samochodowych, oraz w specjalnych grupach roboczych (IWG): WLTP, PMP, EVE i innych, a także w Komisji Europejskiej (grupy WLTP 2nd act, RDE) pracowano nad nowymi metodykami badania emisji (WLTP – nowa światowa zharmonizowana metoda badań laboratoryjnych i RDE – metoda badania emisji w warunkach drogowych przy użyciu przenośnych analizatorów PEMS). Zaostrzane są też limity emisji cząstek stałych i tlenków azotu, które są traktowane jako zanieczyszczenia o dalece idącym negatywnym wpływie na środowisko [1]. Są to kwestie:

- tlenków azotu NO_x z pojazdów napędzanych silnikami o zapłonie samoczynnym (ZS), których emisja dla samochodów spełniających wymagania norm Euro 3, Euro 4, Euro 5 i Euro 6b okazała się znacznie wyższa w rzeczywistych warunkach eksploatacji drogowej niż w homologacyjnych pomiarach laboratoryjnych;
- cząstek stałych PM w spalinach, nie tylko z pojazdów z silnikami ZS, gdzie wprowadzenie filtrów DPF praktycznie rozwiązało ten problem, ale również z pojazdów z silnikami o zapłonie iskrowym (ZI), szczególnie wyposażonych w układy bezpośredniego wtrysku benzyny do komory spalania (GDI), które produkują duże ilości cząstek o bardzo małych średnicach, tzw. nanocząstek, bardzo szkodliwych dla organizmów żywych;
- emisji cząstek stałych z innych elementów samochodu, jak hamulce, opony;
- dwutlenku węgla, oraz zużycia paliwa (co związane jest też z globalnym zapotrzebowaniem na paliwa, bezpieczeństwem energetycznym i planem dekarbonizacji gospodarki [2] występujących w rzeczywistych warunkach drogowych).

Kwestia szkodliwych emisji staje się priorytetem sektora motoryzacyjnego, szczególnie w Unii Europejskiej, Japonii, Chinach, Indiach, Korei Południowej, Brazylii i Stanach Zjednoczonych [3]. Rozwój silników i układów napędowych, a szczególnie możliwości ich elektronicznego sterowania, znacznie wyprzedził rozwój przepisów homologacyjnych w Europie, co doprowadziło do różnic w pomiarach emisji. Odpowiedzią oficjalnych instytucji ustawodawczych zajmujących się tą tematyką było wprowadzenie wielu aktów prawnych określających dopuszczalne emisje pojazdowe i metody ich badania. Niektóre nakładają coraz bardziej rygorystyczne limity emisji poszczególnych związków szkodliwych, inne – wiele obowiązkowych wytycznych, plany motywacyjne dotyczące badań zużycia paliwa i wprowadzanie paliw niskowęglowych i paliw alternatywnych.

Teraz, gdy okazało się, że emisja niektórych związków, szczególnie tlenków azotu, ale także pomiar liczby cząstek stałych, mierzone w warunkach rzeczywistych ma niskie odzwierciedlenie w testach laboratoryjnych, metody pomiarowe ulegają dalszej zmianie. Dotyczy to zarówno metod laboratoryjnych (np. nowe procedury badawcze przygotowane przez EKG ONZ – WLTP/GTR15 [4] lub EPA USA – US 1065/1066), jak i badań emisji i zużycia paliwa w warunkach rzeczywistych (procedura badawcza przygotowana przez KE – RDE).

Metoda RDE stałą się integralną częścią procedury badania emisji z pojazdów samochodowych – UE wprowadziła z dniem 1 .09. 2017 r. wymagania WLTP i RDE do nowych przepisów homologacyjnych określanych jaki Euro 6 d – TEMP (jako przejściowe do normy Euro 6d), co całkowicie zmieniło podejście do homologacji i certyfikacji pojazdów.



MIĘDZYNARODOWE DYSKUSJE

Ponieważ ta tematyka jest tak ważna dla dalszego rozwoju motoryzacji także w Polsce, w latach 2010, 2011, 2012, 2014 i 2016 w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. w Bielsku-Białej zorganizowano pięć międzynarodowych sympozjów dotyczących problemów ograniczania emisji związków szkodliwych spalin ze źródeł motoryzacyjnych oraz ich wpływu na rozwój konstrukcji napędów pojazdów samochodowych, rozwoju technologii paliw, olejów silnikowych, układów oczyszczania spalin i nowych metod badawczych [5]. Sympozja te cieszyły się dużym zainteresowaniem wśród fachowców z branży motoryzacyjnej i paliwowej, zarówno zagranicznych, jak i krajowych. 14-15 czerwca 2018 r. Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. w Bielsku- Białej razem z Polskim Towarzystwem Naukowym Silników Spalinowych (PTNSS) był organizatorem, a jednocześnie gospodarzem kolejnego, szóstego międzynarodowego sympozjum dotyczącego ograniczania emisji gazów spalinowych – *6th International Exhaust Emissions Symposium zatytulowang: „Trends in automotive emissions legislation: impact na LD engine development, fuels, lubricants and tets methods – a global view, with Focus on WLTP and RDE regulations"*. Organizacja i program zostały przygotowane przez Międzynarodowy Komitet Organizacyjny kierowany przez dr. Piotra Bielaczyca (BOSMAL/PTNSS). W skład Komitetu weszli znani specjaliści z USA, Szwajcarii, Anglii, Niemiec i Włoch.

W Bielsku-Białej spotkali się czołowi eksperci z tej dziedziny z USA i Europy, dyskutując o różnych aspektach związanych z emisją związków szkodliwych spalin samochodowych, o dużych naciskach społeczno-politycznych na ograniczanie rzeczywistej emisji ze źródeł transportowych, o wpływie nowych, globalnych metod badawczych emisji pojazdowej WLTP i RDE na rozwój konstrukcji i technologii silników spalinowych pojazdów, o układach oczyszczania spalin, nowych „niskowęglowych" rodzajach paliw silnikowych, napędach hybrydowych i elektrycznych oraz trendach w rozwoju napędów pojazdów samochodowych. Dyskutowano na temat możliwości harmonizacji światowych przepisów dotyczących ograniczania emisji poprzez powszechne wprowadzenie wymagań metodyki WLTP, wprowadzenia wymagań WLTP i RDE do badań homologacyjnych w UE od 1.09.2017 r., co znaczenie zwiększyło możliwości kontrolne instytucji homologujących i certyfikujących pojazdy. Analizowano nowe metody redukcji emisji, nowe rozwiązania wprowadzane w silnikach spalinowych i napędach hybrydowych, nowe metody badania emisji i aparaturę potrzebną do tych badań, rozwój technologii zaawansowanych paliw silnikowych i paliw alternatywnych, a także elektryczne napędy pojazdów i ich przyszłość w porównaniu z klasycznym napędem przez silnik spalinowy i jego wersję hybrydową, z dodatkowym silnikiem elektrycznym.

Ważnym celem była też integracja środowiska naukowego i przemysłu motoryzacyjnego z kraju i zagranicy, nawiązywanie nowych kontaktów, wymiana wiedzy dotyczącej wielu zagadnień, a także promocja osiągnięć polskich placówek naukowo-badawczych w tej dziedzinie, szczególnie Instytutu BOSMAL. Patronat medialny nad imprezą objęły ponownie: *Combustion Engines* (czasopismo wydawane przez PTNSS), *Diesel Net* z Kanady, *Przegląd Techniczny* oraz portal internetowy *Gazeo*.

W sympozjum uczestniczyło ponad 120 przedstawicieli 68 firm z przemysłu motoryzacyjnego i paliwowego, KE z Brukseli i centrum badawczego JRC Ispra UE, Centrum badawczego rządu USA *Argone National Laboratory* k. Chicago, instytutów badawczych i przemysłowych centrów badawczych z przemysłu motoryzacyjnego i paliwowego oraz międzynarodowego środowiska akademickiego z 17 krajów (USA, Anglii, Hiszpanii, Grecji, Włoch, Szwajcarii, Austrii, Luksemburga, Danii, Belgii, Niemiec, Holandii, Szwecji, Finlandii, Francji, Słowacji, Czech i Polski).

ŚWIATOWE TRENDY W OGRANICZANIU EMISJI Z SILNIKÓW SPALINOWYCH

Podczas sympozjum zaprezentowano 25 referatów, wygłoszonych przez ekspertów ds. emisji szkodliwych związków spalin z pojazdów samochodowych, silników spalinowych, rozwoju układów napędowych pojazdów samochodowych, napędów hybrydowych i elektrycznych, paliw i olejów silnikowych, rozwoju metod badawczych, a także 9 prezentacji posterowych przedstawionych przez specjalnie zaproszonych specjalistów amerykańskich i europejskich. Sesje plenarne dotyczyły:

- General automotive exhaust emissions,
- CO_2, GHG & Air Quality (including particulate matter),
- Emissions reduduction technologies & aftertreatment ,
- Test methods: laboratory based and RDE-PEMS",
- Fuel and Alternative powertrains.

Przewodniczyli im eksperci od emisji samochodowej: Wolfgang Thiel (Niemcy), Les Hill (Anglia), Amanda Lea-Langdon (Anglia) i Piotr Bielaczyc.

OGÓLNE ASPEKTY EMISJI POJAZDOWEJ I GLOBALNE NORMY JEJ OGRANICZANIA

W tej sesji omawiano nową metodę pomiaru emisji w warunkach rzeczywistej jazdy pojazdu na drodze RDE, a także nowo wprowadzany cykl jezdny na hamowni podwoziowej WLTC wg procedury WLTP opisanej w regulaminie EKG ONZ GTR 15, który zastąpił cykl NEDC. Zaprezentowano porównanie norm emisji w UE, USA, Chinach, Japonii i Indiach. Referat programowy wygłosił dr Piotr Bielaczyc (BOSMAL), który przedstawił najważniejsze czynniki techniczne, polityczne i ekonomiczne, które wpływają na rozwój motoryzacji na świecie, światowe trendy w ograniczaniu emisji z pojazdów samochodowych na przykładzie UE, Japonii, USA, Chin i Indii oraz główne cechy nowych norm emisji w UE: WLTP – opracowana przez grupę GRPE (EKG ONZ) oraz RDE, które rozporządzeniem KE 2017/1151 i 2017/1154 wprowadzono do wymagań homologacyjnych w UE od dnia 01.09.2017 r. jako poziom emisji Euro 6d – TEMP. Prezentacja pokazała również wpływ nowych metod badania emisji na rozwój konstrukcji silników samochodowych oraz przyszłe trendy w napędach pojazdów. Pomimo złej opinii o silnikach Diesla, producenci tych silników mają już opracowane rozwiązania oparte na systemach katalitycznych SCR, które mogą temu silnikowi zapewnić bardzo niską emisję zarówno PM/PN, jaki NO_x. Nowym trendem w konstrukcji silników jest *rightsizing*, powszechne wprowadzenie układów katalitycznych SCR do silników ZS oraz filtrów sadzy GPF do silników ZI z wtryskiem bezpośrednim benzyny, zbliżenie cech konstrukcyjnych obu typów silników ZI i ZS. W sesji poświęconej przepisom i metodom badania emisji dalsze referaty zaprezentowali: dr Vicente Franco (KE, Belgia) który przedstawił

problematykę ochrony powietrza przed zanieczyszczeniami ze źródeł motoryzacyjnych w UE (*EU Clean air policy*) i najnowsze dane dotyczące wprowadzania w UE przepisów WLTP i RDE. Kolejne zmiany w procedurach badawczych przyniesie 4. pakiet RDE, który wprowadzi również badania przez niezależne laboratoria samochodów będących w użyciu. Rozpoczęły się już analizy kolejnych regulacji emisji, określanych jako post Euro 6 – Euro 7, które mają przynieść jednakowe metody badań i limity dla wszystkich typów silników i paliw. Les Hill (Horiba, Anglia) przedstawił trendy ograniczania emisji w skali globalnej i ich wpływ na procedury pomiarowe i konstrukcję przyrządów badawczych. USA wprowadziły wymagania EPA Tier 3 i CARB LEV-III (Kalifornia), regulacje dotyczące emisji gazów cieplarnianych (GHG) i nowe procedury badawcze określane w przepisach CFR Part 1065/1066. Japonia planuje wprowadzenie metod badawczych opartych na procedurze WLTP (Test 3-fazowy) oraz badania RDE dla pojazdów z silnikami ZS. Podobnie Chiny i Indie planują wprowadzenie podobnych norm jak w EU, opartych na testach i metodyce WLTP, a w przyszłości również RDE.

EMISJA GAZÓW CIEPLARNIANYCH GHG, EMISJI CO_2 I CZĄSTEK STAŁYCH PM (EMISJA MASOWA) I PN (LICZBA EMITOWANYCH CZĄSTEK)

W tej sesji dwa referaty przygotowały zespoły specjalistów z centrum badawczego UE JRC Ispra we Włoszech. Dr Baruch Giechaskiel przedstawił problematykę różnic w wynikach pomiarów emisji CO_2 w badaniach homologacyjnych wg cyklu NEDC i w rzeczywistej eksploatacji oraz metody zniwelowania tych różnic po wprowadzeniu badania w nowym cyklu jezdnym WLTC. Ta tematyka była również poruszona przez dr. Luciano Rolando z Politechniki Turyńskiej, który stwierdził, że emisja CO_2 wg badań w cyklu WLTC może być nawet 10-24% wyższa niż w cyklu NEDC ze względu na wyższe zapotrzebowanie energii w tym cyklu. KE proponuje dalsze obniżanie średniej emisji CO_2 samochodów o 15% w 2025 r. i 30% w 2030 r. w odniesieniu do poziomu z 2015 r. Dr Amanda Lea-Langdon z Uniwersytetu w Manchesterze w Anglii przedstawiła metodykę zaawansowanych optycznych pomiarów cząstek stałych. Dr Giechaskiel przedstawił również prace grupy PMP nad pomiarami emisji PM/PN oraz nad rozszerzeniem metodyki badania emisji liczby nanocząstek (PN) dla silników samochodowych poniżej obecnej granicy 23 nm, do poziomu 10 nm, aby można było ocenić obecnie niepodlegającą limitowaniu emisję tych cząstek, która jest znacząca szczególnie w przypadku silników zasilanych benzyną i silników gazowych. Omówił także prace zespołu PMP nad wprowadzeniem metod pomiaru emisji pyłów powstających przy ścieraniu się okładzin hamulców w samochodach i planowane prace dla nowych norm emisji post Euro 6.

METODY REDUKCJI EMISJI I UKŁADÓW KATALITYCZNEGO OCZYSZCZANIA SPALIN

Sesję otworzył dr Amey Joshi (Corning, USA), który przedstawił metody ograniczania emisji silnikowej przez układy katalityczne, także w napędach hybrydowych, w których reaktory katalityczne TWC i inne mogą ulegać przechłodzeniu. Mówił też o możliwościach zwiększania sprawności silników samochodowych. Osiągnięto już 45% sprawności cieplnej dla silników ZI, ale dalszy rozwój tej w dziedzinie jest ciągle możliwy, obecnie pracuje się nad poziomem 55% dla silników ZS pojazdów HD. Znaczna część jego referatu była poświęcona systemom katalitycznego oczyszczania spalin (SCR, SCRF, PNA, katalizatory utleniania metanu oraz GPF i zestawy reaktorów katalitycznych). Kurt Engeljehringer (AVL, Austria) mówił o wpływie norm emisji RDE na rozwój metod badawczych na stanowiskach silnikowych i hamowniach podwoziowych. Regulacje silnikowych układów sterowania ECU dla spełnienia norm RDE trzeba wykonywać na stanowiskach badawczych w laboratoriach silników i badania emisji, gdzie odwzorowuje się testy RDE wykonane na drodze. Ważnym elementem strategii obniżania emisji z silników spalinowych są zaawanasowane układy sterowania silników w samochodach – ECU, których metody kalibracji przedstawił dr Marcos Alonso Baez (Nissan Technology Center, Hiszpania). Metoda ta jest oparta na modelowaniu ECU pod kątem wymagań emisji RDE i określana jest jako MBC (*model based calibration*). Pozwala na zoptymalizowanie funkcji ECU sterującej pracą silnika i jego układów pod kątem niskiej emisji NO_x, CO, CO_2, rzeczywistej emisji drogowej i skrócenia czasu potrzebnego na badania na stanowiskach hamownianych silników.

Jon Andersson (Ricardo, Anglia) zaprezentował program badawczy prowadzony dla stowarzyszenia CONCAWE, dotyczący możliwości obniżenia rzeczywistej emisji drogowej przez samochody napędzane silnikami diesla w aspekcie norm Euro 6d przez zastosowanie zaawansowanych układów katalitycznych SCR, SCRF i LNT w różnych konfiguracjach. Przedstawione rozwiązania pokazują możliwość spełnienie przez samochód z silnikiem ZS limitów emisji PN i NO_x w różnych cyklach jezdnych (WLTC, US 06, RDE). Prawidłowo dobrany układ SCR zapewnia bardzo niski poziom emisji NO_2 z pojazdu, znacznie poniżej limitów i wymagań dla Euro 6d. Krytykowane ostatnio silniki Diesla powinny pozostać istotnym źródłem napędu ze względu na swoją wysoką sprawność i istniejące już rozwiązania katalityczne, pozwalajcie na znaczne obniżenie emisji NO_x i możliwość spełnienia limitów emisji również w testach RDE przy zachowaniu ich wysokiej sprawności i niskiej emisji dwutlenku węgla.

Dr Katarzyna Matusik (Argone National Laboratory, USA) zaprezentowała zaawansowane metody badania rozpylenia paliwa przez wtryskiwacze silników ZI i ZS przy użyciu diagnostyki z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego i synchrotronu fotonowego znajdującego się w laboratorium w Argone. Metodyka ta pozwala na bardzo dokładne analizowanie rozpylenia paliwa przez otwory wtryskiwacza, kształtu strugi, oceny problemów kawitacyjnych, dokładne pomiary geometrii otworów i wiele innych analiz zjawiska rozpylenia paliwa. Dr Tue Johannessen (Aminnex, Dania) i dr Toni Kinnunen (Prowentia, Finlandia) przedstawili możliwości zastosowania zaawansowanych układów katalitycznych SCR do obniżenia emisji NO_x w obecnie użytkowanych pojazdach typu LD, HD i autobusach. Metoda ta określana jako retrofiting zapewnia starszym pojazdom możliwość spełnienia nowych norm emisji na poziomie Euro 6 (LD) i Euro VI (HD) i można by w ten sposób znacznie obniżyć rzeczywistą emisję z milionów pojazdów z silnikami ZS poruszających się na drogach Europy. Zastosowano ją w wielu miastach Niemiec,

Norwegii, Szwecji i w londyńskich autobusach. Maciej Hadryś (Mahle, Polska) przedstawił nowe rozwiązania konstrukcyjne tłoków do silników ZI i ZS pozwalające na obniżenie temperatur tłoka i lepszy rozkład temperatury na jego powierzchni.
Paolo Patroncini (4-e Consulting, Włochy) zaprezentował referat dotyczący opracowania „Architektury P-2" modelowania i projektowania hybrydowych układów napędowych dla maszyn roboczych i pojazdów pozadrogowych. Układy hybrydowe mogą być ciekawym rozwiązaniem dla tego typu pojazdów i maszyn. Pierwszy tego typu napęd hybrydowy ma być zaprezentowany przez firmę 4-e Consulting i Uniwersytet w Parmie w listopadzie 2018 r. Omówiono też metody pomiaru ilości sadzy w filtrze DPF w silnikach ZS za pomocą specjalnego czujnika opracowanego przez zespół z Uniwersytetu w Salonikach w Grecji. Czujnik może być również elementem systemu OBD, o czym mówił prof. Savas Geivanidis z tego uniwersytetu. Przedstawił również problemy z dokładnością pomiarów liczby cząstek stałych i kalibracją urządzeń do tego stosowanych. Pomiar PN jest jednym z najtrudniejszych pomiarów w zakresie badania emisji silnikowej, prace nad polepszeniem dokładności pomiarów i kalibracji urządzeń pomiarowych zostały zaprezentowane przez Alexandra Terresa (BMW, Niemcy).

METODY BADANIA EMISJI SAMOCHODOWEJ – BADANIA LABORATORYJNE I BADANIA DROGOWE METODĄ RDE – PEMS

Nowe metodyki badawcze WLTP i RDE wprowadzono w przepisach Euro 6c i Euro 6d - TEMP i zaczęły obowiązywać dla nowych homologacji pojazdów od 1.09.2017 r. Pierwszy pakiet RDE opublikowano 2 lata temu w rozporządzeniu Komisji (UE) 2016/427, a kolejne (2 i 3 pakiet) w rozporządzeniach Komisji (UE) odpowiednio 2016/626, 2017/1151 i 2017/1154.
Dr Sophie Kinnar (Jaguar Land Rover, Anglia) przedstawiła zaawansowane laboratoria badawcze do badania emisji spalin na hamowni podwoziowej i stanowiskach do badania całych układów napędowych na przykładzie laboratoriów firmy w Whitley w Anglii oraz metody korelacji wyników między dwoma typami stanowisk badawczych. Rozbudowane stanowiska badawcze są niezbędne do prowadzenia prac rozwojowych i regulacji układów sterowania zarówno silników spalinowych, jak i napędów hybrydowych pod kątem spełnienia wymagań metodyk WLTP i RDE i nowych norm Euro 6d. Sam van Goethem (TNO, Holandia) zaprezentował nowy analizator spalin do pomiarów mobilnych określany jako SEMS (*Smart Emissions Measurement System*), oparty na sondach NO_x i O_2, termoparach, połączeniu typu CAN bus z OBD II i interface J1939. Przyrząd ten mierzy /oblicza zużycie paliwa przez samochody, emisje CO_2, NO_x i NH_3 i może być przydatny w ciągłym monitorowaniu tych parametrów przez pojazd samochodowy.
Prof. Jerzy Merkisz (Politechnika Poznańska), specjalista od pomiarów emisji w ruchu rzeczywistym, przedstawił wyniki badań wielu typów pojazdów i maszyn napędzanych silnikami spalinowymi, uzyskane przy pomocy analizatorów mobilnych PEMS: samochodów osobowych i ciężarowych, autobusów, maszyn roboczych i pojazdów pozadrogowych, statków i samolotów. Przedstawił porównania rzeczywistej emisji spalin z różnych typów pojazdów i maszyn roboczych.
Prof. Gordon Andrews (University of Leeds, Anglia) podkreślił, że największe miejscowe natężenia zanieczyszczenia powietrza spowodowane są przez korki drogowe, co ma związek z niską prędkością przejazdu, dużą częstotliwością przejazdów i natężeniem przyspieszania, nierzadko od biegu jałowego. Jest to główny problem wysokiego zanieczyszczenia powietrza w mieście. Warunki ruchu o bardzo wysokim natężeniu i małej prędkości jazdy (poniżej 15 km/h) nie są uwzględniane w nowych testach WLTC i RDE. Testy RDE samochodów i pojazdów ciężarowych z systemem katalitycznym SCR na zatłoczonych drogach prowadzone w Leeds w Anglii oraz w Chinach wykazały, że największa emisja miała miejsce w trakcie ruszania z miejsca, a średnia emisja jest skorelowana z średnią prędkością przejazdu, co powinno być uwzględnione w dalszej modyfikacji przepisów RDE.

ROZWÓJ PALIW SILNIKOWYCH ORAZ ALTERNATYWNYCH NAPĘDÓW POJAZDÓW (POJAZDY ELEKTRYCZNE)

Dr Johannes Villinger (V&F, Austria) przedstawił możliwość zastosowania paliwa Oxymetyleneter (OME) do poprawienia właściwości paliw alternatywnych i biopaliw. Konieczne są dalsze prace nad rozwojem paliw alternatywnych, pomimo niskich obecnie cen paliw pochodzenia mineralnego (ropa naftowa, gaz ziemny, węgiel) i możliwości poprawy procesu spalania w silniku przy zastosowaniu dodatków do odpowiednio skomponowanych paliw. Przedstawił możliwości badawcze różnych zaawansowanych przyrządów pomiarowych analizy składu spalin opartych na spektrometrach masowych do analizy gazów i stężonych spalin.
Po raz pierwszy na sympozjach emisji w BOSMAL poruszono tematykę samochodów elektrycznych, uzasadnione to było coraz większym naciskiem politycznym na wprowadzanie napędów elektrycznych, a z drugiej strony chęcią dogłębnej oceny tych napędów zarówno pod kątem właściwości ekologicznych (tzw. „analiza od źródła energii do koła pojazdu"), jak i zalet i wad tego typu napędu w porównaniu z konwencjonalnymi silnikami spalinowymi i napędami hybrydowymi.
Dr Piotr Bielaczyc przedstawił referat ogólny dotyczący historii, charakterystyki oraz wad i zalet napędów elektrycznych pojazdów (współautor dr Marek Ryłko – znany ekspert od napędów hybrydowych). Pierwsze pojazdy elektryczne były budowane już ok. 1830 r., znacznie wcześniej od pojazdów napędzanych silnikami spalinowymi. Ok. 1910 r. dominowały na rynku samochodów osobowych, ale wprowadzenie elektrycznego rozrusznika, który zastąpił rozruch przy pomocy korby w samochodach z silnikami spalinowymi, a z drugiej strony znacznie wyższa cena samochodów elektrycznych, spowodowały znaczny spadek zainteresowania tymi samochodami. Teraz obserwujemy ponowny renesans zainteresowania napędem elektrycznym, który może być dobrym rozwiązaniem szczególnie w zatłoczonych miastach i terenach bardzo zurbanizowanych.
Jednak jest wiele barier i wad tych pojazdów, jedną z najważniejszych z nich jest mała gęstość energii, którą można zgromadzić w baterii litowo-jonowej. Jest ona równoważna tylko ok. 4% energii zawartej w paliwach płynnych. To powoduje, że ilość energii, którą można np. zmagazynować w baterii o masie 125 kg, odpowiada tej samej ilości energii zawartej w 4,5 l benzyny.

Innym problemem jest infrastruktura do ładowania baterii samochodów elektrycznych, o czym mówił Marek Sutkowski (Horus Energia). Każdy samochód potrzebuje do naładowania baterii akumulatorów ok. 40 KWh energii elektrycznej, co odpowiada 8 h ładowania przy mocy 5 kW lub 30-40 min przy mocy ładowania 100-150 kW (wskazane byłoby 350 kW), ale to wymaga specjalnej infrastruktury ładowania baterii i bardzo dużych mocy elektrycznych do tego przeznaczanych, a więc budowania dodatkowych elektrowni i linii przesyłowych. Możliwym rozwiązaniem, zdaniem autora, byłoby zbudowanie sieci stacji ładowania opartych na generatorach prądu wyposażonych w duże silniki spalinowe zasilane olejem napędowym lub CNG. To jednak potwierdza tylko tezę, że silnik spalinowy jest bardziej uniwersalny niż silnik elektryczny, bo sam może zamieniać energię zawartą w paliwie na pracę i nie potrzebuje do tego specjalnych baterii – akumulatorów energii.

PODSUMOWANIE

Podczas 6. Sympozjum Ograniczania Emisji Związków Szkodliwych Spalin dyskutowano o wszystkich kwestiach związanych z emisją związków szkodliwych spalin i gazów cieplarnianych ze źródeł motoryzacyjnych i kierunkach rozwoju napędów pojazdów wykorzystujących zarówno silniki spalinowe, napędy hybrydowe, jak i silniki elektryczne. Przedstawiono wnioski i spostrzeżenia dotyczące obecnego (Euro 6 c, Euro d – TEMP, i Euro d w UE) i przyszłego (planowane przepisy post Euro 6 – Euro 7) stanu prawnego ograniczania emisji szkodliwych i toksycznych składników spalin, a także ograniczania zużycia paliwa i emisji dwutlenku węgla (CO_2), metod ograniczania tych emisji i rozwoju metod badawczych emisji spalin z silników spalinowych stosowanych w pojazdach samochodowych i innych środkach transportu oraz pojazdach pozadrogowych i maszynach roboczych. Zmniejszenie emisji związków szkodliwych i toksycznych spalin, szczególnie emisji cząstek stałych (PM) w zakresie ich masy i liczby (PN) emitowanych nanocząstek, zmniejszenie rzeczywistej emisji NO_x, jak również nowe testy i metody badania emisji WLTP i RDE są głównymi wyzwaniami dla przemysłu motoryzacyjnego i silnikowego spowodowanymi przez czynniki polityczne, ekonomiczne i techniczne. Nowe metody badawcze WLTP i RDE, które są kamieniem milowym w rozwoju napędów pojazdów i wymagają nowych konstrukcji silników i układów oczyszczania spalin, są również w centrum uwagi instytucji homologacyjnych w innych krajach, szczególnie Japonii, Chinach, Indiach, Korei Południowej, które planują ich wprowadzenie w najbliższych latach. Prace te są również pilnie obserwowane i częściowo wspomagane przez takie kraje jak USA i Kanada.

Nowe wyzwania stojące przed producentami układów napędowych pojazdów samochodowych, ale także pojazdów pozadrogowych i maszyn roboczych, związane z dekarbonizacją gospodarki, koniecznością obniżania zużycia paliw i konsumpcji energii, co jest równoważne z obniżaniem emisji gazów cieplarnianych (GHG), szczególnie dwutlenku węgla (CO_2,) spowodowały konieczność dalszego rozwoju różnych rodzajów napędów: silników spalinowych, przystosowanych do zasilania udoskonalonymi paliwami pochodzenia mineralnego, jak i nowymi rodzajami paliw ekologicznych i alternatywnych, układów hybrydowych, zbudowanych z silnika spalinowego i elektrycznego, szczególnie w układzie Plug-in Hybrid, a także napędów całkowicie elektrycznych.

Rozwój i wprowadzanie innowacyjnych rozwiązań elektronicznych sprawiło, że silniki elektryczne stały się lepsze, cichsze, znacznie mocniejsze i mogą stanowić samodzielne lub hybrydowe źródło napędu pojazdu, co będzie miało duże znaczenie szczególnie dla pojazdów użytkowanych na obszarach miejskich i terenach zurbanizowanych. W dobie rosnących wymagań norm emisyjnych dla motoryzacji, silniki elektryczne znów stają w centrum uwagi. Oprócz ciągłych ulepszeń technologii silników elektrycznych, dzięki czemu pojazdy elektryczne i hybrydowe stały się bardziej konkurencyjne w porównaniu z konwencjonalnymi silnikami spalinowymi (ICE) na wielu rynkach, prawodawcy i organizacje b+r nieustannie pracują nad metodami testowymi oraz sprzętem testowym przeznaczonym do tego typu pojazdów i zespołów napędowych. Zdaniem ekspertów pomimo zwiększającej się popularności pojazdów elektrycznych, w 2025 r. wciąż ponad 90% nowych pojazdów może być napędzanych silnikiem spalinowym. Silniki spalinowe, w tym silniki diesla, jeszcze przez wiele lat będą podstawowym źródłem napędu pojazdów samochodowych i maszyn roboczych ze względu na ich wysoką sprawność, możliwość produkowania bardzo „czystych ekologicznie silników", dostępność paliw płynnych i gazowych, a także rozwój technologii paliw odwracalnych i syntetycznych. Silniki te będą w przyszłości również łączone z silnikami elektrycznymi jako napęd hybrydowy, co będzie miało znaczenie szczególnie przy specyficznych zastosowaniach pojazdów i maszyn roboczych. Ważny jest rozwój technologii produkcji niskowęglowych paliw alternatywnych i biopaliw, a także energii elektrycznej ze źródeł odwracalnych.

Zmieszczenie się w limitach emisji w nowych cyklach WLTC oraz w pomiarach w ruchu rzeczywistym RDE, a także wprowadzenie nowych metod badania napędów hybrydowych i elektrycznych jest dla producentów pojazdów bardzo skomplikowanym i kosztownym procesem, wymagającym zwiększonego inwestowania w prace b+r i nowe laboratoria badawcze. Od lat czyni to również instytut BOSMAL, który jest obecnie największą badawczo-rozwojową jednostką tego typu w Europie Środkowo-Wschodniej. Koncepcja testowania i ilościowego określania sprawności napędów hybrydowych i silników elektrycznych w branży motoryzacyjnej opiera się na prowadzeniu badań na specjalnych stanowiskach badawczych do badań rozwojowych i regulacji/kalibracji sterowania układów napędowych, wykorzystujących stanowiska podobne jak do badania silników spalinowych, wyposażonych w hamulce oparte na silnikach asynchronicznych prądu zmiennego (AC). Jednak ze względu na rosnącą popularność silników elektrycznych w przemyśle motoryzacyjnym (rozwiązania hybrydowe i elektryczne), konieczne jest wypracowanie odpowiedniej, usystematyzowanej i spójnej metodologii badawczej testowania i badania tego rodzaju silników. Wyrazem tego są prace nad metodologią badawczą dotyczącą pojazdów z napędem elektrycznym, hybrydowym oraz wykorzystującym wodorowe ogniwa paliwowe. Eksperci biorący udział sympozjum przewidują, że w najbliższych latach będą trwały intensywne prace b+r dla poniższych typów napędów pojazdów, które będą produkowane w latach 2020-2025 i w latach późniejszych:

- nowych typów w silników spalinowych opracowanych wg koncepcji „rightsizing" w wersji LD i HD, spełniających wymagania

norm Euro 6d, Post Euro 6/Euro VI – Euro 7/Euro VII, przystosowanych również do nowej generacji paliw silnikowych i paliw alternatywnych (z dodatkami HVO, etanolu/metanolu, paliw o niskiej zawartości węgla, CNG, wodoru), z zastosowanym układem Mild-hybrid lub innymi układami hybrydowymi w przyszłości;
• nowej generacji układów katalitycznego oczyszczania spalin, szczególnie systemów SCR dla silników ZS i filtrów GPF dla silników ZI z bezpośrednim wtryskiem paliwa (dozowanie Ad-blue, regeneracja filtra, itp.);
• silników ZI i ZS opracowanych do współpracy z silnikami elektrycznymi w układach hybrydowych, szczególnie Plug-in-hybrid, do różnych zastosowań;
• napędów hybrydowych pojazdów, składających się z silników ZI lub ZS i silników elektrycznych w różnych konfiguracjach i przy różnym układzie sterowania;
• silników elektrycznych różnych rodzajów stosowanych do napędów pojazdów LDV i HDV o mocy maksymalnej silnika do ok. 250 kW.

Nowe wymagania, które będą musiały spełnić te typy napędów, są zawarte m.in. w przepisach EKG ONZ i przepisach UE: Regulamin GTR 15, wraz z propozycjami poprawek do GTR 15 (Proposal for Amendment 4 i 5 to Global Technical Regulation No. 15 (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (WLTP), United Nations ECE/Trans/WP.29/GRPE/2018/1), opracowywany przez grupę GRPE (ONZ) Regulamin GTR RDE, nowych metod badawczych w przygotowywanych w ramach prac m.in. grupy IWG – Electric Vehicles and Environment.

Referaty prezentowane w czasie 6. Międzynarodowego Sympozjum ograniczania emisji związków szkodliwych w spalinach silnikowych (6 IEES) są zawarte w materiałach konferencyjnych: *Symposium Proceedings – Trends in automotive emissions legislation: impact on LD engine development, fuels lubricants and test methods – a global view with focus on the WLTP and RDE regulations*, ISBN 978-83-946334-1-7, które będą wydane przez Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL na płycie CD [6], a streszczenia referatów w „Book of Abstracts", ISBN 978-83-946334-2-4 [7]. Relacja filmowa na płycie DVD zostanie dołączona do specjalnego numeru *Combustion Engines* 3/2018 z artykułami i prezentacjami z sympozjum. Diesel Net (Kanada) przygotował sprawozdanie z sympozjum, dostępne na stronie internetowej tej instytucji [8]. Podsumowanie sympozjum znajdzie się również w czasopiśmie naukowym *Emission Control Science & Technology, An International Journal* wydawanym przez Springer w Nowym Jorku, USA.

LITERATURA

[1] Dilara P. 2018.The development of Real Driving Emissions Test. 2nd Sino-EU Workshop on New Emissions Standards for Motor Vehicles, Brussels, Belgium.

[2] Neugebauer S. 2018. Technological scenarios for the decarbonization of road transport. Proceedings *Connectivity – key to future emission and consumption reduction? In Vehicle and Powertrain* 30th International AVL Conference „Engine & Environment", Graz, Austria.

[3] Kobayashi T. 2018. Outline and issues of RDE test in Japan. 2nd Sino-EU Workshop on New Emissions Standards for Motor Vehicles. Brussels, Belgium.

[4] Proposal for Amendment 4 to Global Technical Regulation No. 15 (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (WLTP), United Nations ECE/Trans/WP.29/GRPE/2018/1.

[5] Bielaczyc P., J.Woodburn, M.Gandyk. 2016. „Trends in automotive emissions, fuels, lubricants, legislation and test methods – a global view, with a focus on the EU and US - Summary of the 5th International Exhaust Emissions Symposium (IEES)". *Combustion Engines*, 166 (3), &8-82, DOI: 10.19206/CE-2016-342.

[6] Bielaczyc P., J. Woodburn (editors). 2018. „Symposium Proceedings – Trends in automotive emissions legislation: impact on LD engine development, fuels lubricants and test methods – a global view with focus on the WLTP and RDE regulations", ISBN 978-83-946334-1-7, IBiRM BOSMAL, Bielsko-Biała.

[7] Bielaczyc P., J. Woodburn (editors). 2018. Book of Abstracts of the 6th International Exhaust Emissions Symposium, ISBN 978-83-946334-2-4, IBiRM BOSMAL, Bielsko-Biała.

[8] www.dieselnet.com