

Aleksander Mazanek
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Badania porównawcze emisji toksycznych składników gazów wylotowych z silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego ON i B10

Wprowadzenie

Postęp technologiczny, jaki dokonuje się w dziedzinie motoryzacji musi uwzględniać zarówno uzyskanie odpowiedniego poziomu osiągnięć pojazdów; ich niezawodności, poziomu bezpieczeństwa, atrakcyjności handlowej, a także spełnić odpowiednie wymogi w zakresie ochrony środowiska. Realizacja coraz bardziej zaostrzonych norm emisji toksycznych składników spalin wymaga nie tylko poprawy procesów spalania w silniku spalinowym o zapłonie samoczynnym (ZS) – konieczne staje się także dodatkowe oczyszczenie spalin. Emisja tlenku węgla (CO) i węglowodorów (HC) ograniczana jest poprzez wykorzystanie katalitycznego reaktora utleniającego. Ograniczenie emisji tlenków azotu (NO_x) realizuje się m.in. za pomocą katalizatorów nowej generacji – De-NO_x. Najefektywniejszym sposobem ograniczenia emisji cząstek stałych są natomiast odpowiednie filtry, w które wyposaża się układy wydechowe samochodów. Spełnienie wymagań dotyczących ograniczenia emisji (w tym także CO₂) jest

podstawowym kryterium wyznaczającym kierunki rozwoju silników stosowanych do napędu pojazdów samochodowych. Prognozy przedstawione przez organizację EARPA (*European Automotive Research Association* – Europejski Związek Ośrodków Badawczych Pojazdów) przewidują, że po wprowadzeniu norm EURO V, kolejnym etapem będzie już tylko obniżenie limitów zużycia paliwa [1].

Kontrola emisji spalin w silniku DURATORQ TDCi samochodu FORD MONDEO 2,0 TDCi realizowana jest w oparciu o:

- sterowany przez silnik krokowy zawór EGR, zamontowany w kolektorze ssącym,
- przepustnicę odcinającą dopływ powietrza dolotowego, z czujnikiem jej położenia,
- filtr cząstek stałych z pokryciem katalitycznym,
- diagnostykę EOBD (*European On Board Diagnostic*), do monitorowania działania elementów i układów mających wpływ na emisje toksycznych składników spalin.

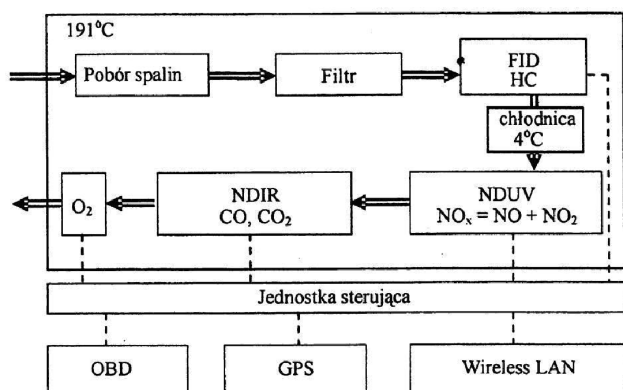
Metodyka badań

Celem przeprowadzonych badań było porównanie – w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego oraz na hamowni podwoziowej – emisji toksycznych składników spalin z układu wydechowego samochodu marki Ford Mondeo 2.0 TDCi zasilanego dwoma paliwami: handlowym olejem napędowym Ekodiesel Ultra (ON) i biopaliwem B10 (skomponowanym z produktów handlowych: oleju napędowego Ekodiesel Ultra 90% (V/V) oraz 10% (V/V) FAME (Biodiesel B100 produkcji krajowej)).

Badania przeprowadzono na samochodzie osobowym FORD MONDEO 2.0 TDCi, pochodzącym z bieżącej produkcji. Samochód ten napędzany był turbodoładowanym silnikiem DURATORQ TDCi o ZS, z bezpośrednim wtryskiem paliwa w układzie *Common Rail*, o pojemności skokowej 2,0 dm³, spełniającym wymagania norm emisji spalin EURO IV [2]. Badania emisji przeprowadzono w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego, a następnie wybrany przejazd odtworzono na hamowni podwoziowej.

Emisja związków szkodliwych w gazach wylotowych w rzeczywistych warunkach miejskiego ruchu drogowego

Do pomiarów stężenia związków toksycznych spalin wykorzystano mobilny analizator toksyczności SEMTECH DS firmy SENSOR, który umożliwia pomiar stężenia związków szkodliwych (CO, HC, NO_x, CO₂) oraz masowe natężenie przepływu spalin. Gazy spalinowe wprowadzane są do analizatora za pomocą sondy pomiarowej, utrzymującej temperaturę 191°C (rysunek 1), a następnie są one filtrowane z cząstek stałych (w przypadku silników ZS), po czym w analizatorze płomieniowo-jonizacyjnym następuje pomiar stężenia węglowodorów. W kolejnym etapie badań spaliny są schładzane do temperatury 4°C i następuje pomiar: tlenków azotu (jednoczesny pomiar tlenku i ditlenku azotu metodą spektrometrii w nadfiolecie), tlenku i ditlenku węgla (metodą spektrometrii w podczerwieni) oraz tlenu (analiza elektrochemiczna). Do jednostki centralnej analizatora dane przesyłane są bezpośrednio z systemu diagnostycznego pojazdu, wraz z sygnałem lokalizacji GPS.



Rys. 1. Schemat mobilnego analizatora SEMTECH DS, z zaznaczonym przepływem spalin (⇒) i połączeniami elektrycznymi (----)

W badaniach drogowych wykorzystano również przewoźny przepływomierz EFM firmy Sensors (rysunek 2).

Zakres badań obejmował pomiary emisji toksycznych składników spalin samochodu badawczego napędzanego badanymi paliwami w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego – na odcinku ulicy Grochowskiej w Warszawie (rysunek 4).

W trakcie pomiarów emisji toksycznych składników spalin w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego wykonano po 6 przejazdów samochodem Ford Mondeo 2.0 TDCi, napędzanym każdym z badanych paliw. Średnie prędkości oraz czasy kolejnych przejazdów podano w tablicy 1.

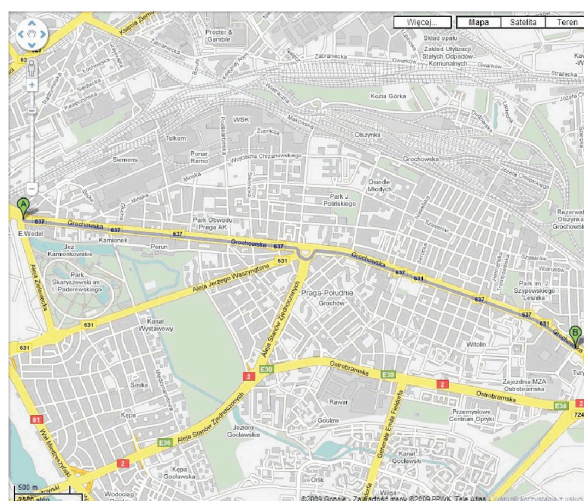
Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono średnie prędkości jazdy w funkcji czasu na trasie pomiarowej samochodu



Rys. 2. Przewoźny zestaw analizatorów SEMTECH DS (fot. autor)

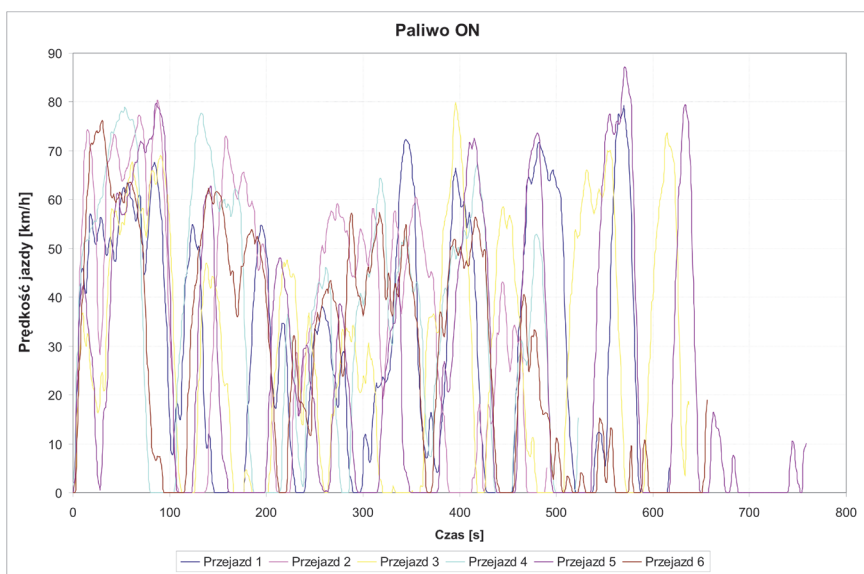


Rys. 3. Przewoźny zestawu analizatorów SEMTECH DS wraz z przepływomierzem EFM firmy Sensors, zamontowany w samochodzie badawczym (fot. autor)

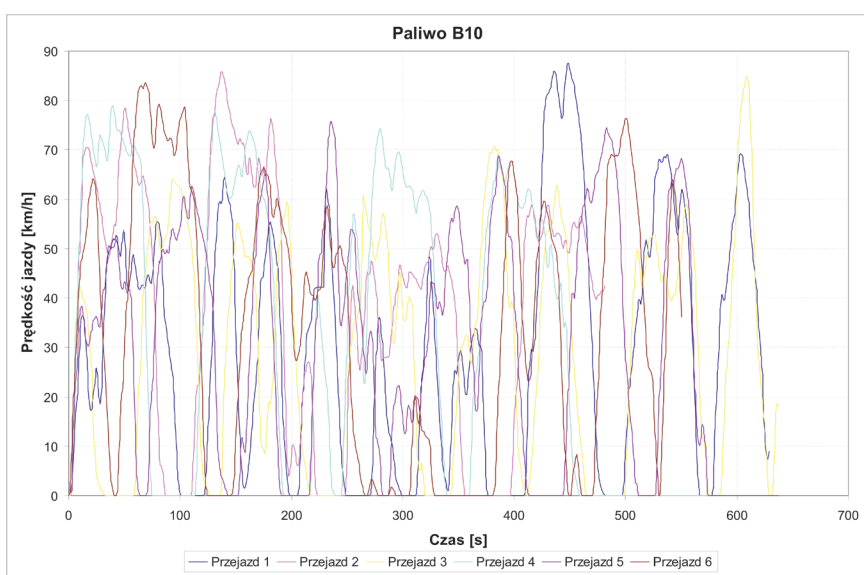


Rys. 4. Trasa, na której prowadzono badania emisji toksycznych składników spalin w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego

Ford Modeno 2.0 TDCi przy zasilaniu silnika kolejno: olejem napędowym i biopaliwem B10, natomiast na ry-



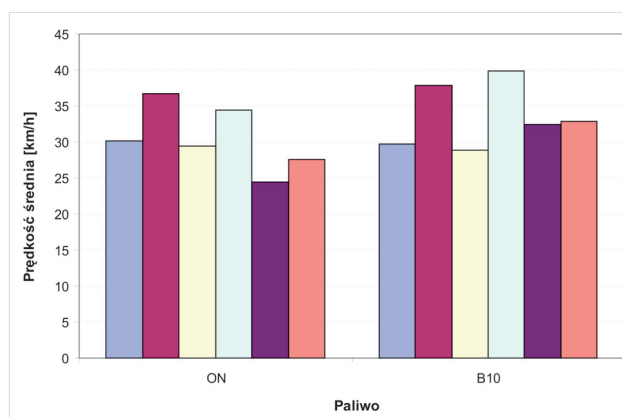
Rys. 5. Przebieg prędkości jazdy w funkcji czasu, zarejestrowanych w trakcie przejazdów na odcinku pomiarowym – paliwo ON



Rys. 6. Przebieg prędkości jazdy w funkcji czasu, zarejestrowanych w trakcie przejazdów na odcinku pomiarowym – paliwo B10

Tablica 1. Podstawowe parametry przejazdów zarejestrowane w trakcie badań emisji na odcinku pomiarowym

ON		B10	
V_{sr} [km/h]	t [s]	V_{sr} [km/h]	t [s]
30,2	618	29,6	630
36,6	491	37,9	482
29,4	633	28,9	638
34,4	524	39,9	469
24,4	760	32,5	575
27,5	657	32,9	551



Rys. 7. Średnia prędkość jazdy w trakcie poszczególnych przejazdów odcinka pomiarowego

sunku 7 zilustrowano średnią prędkość jazdy w trakcie poszczególnych przejazdów na odcinku pomiarowym.

W tabelicy 2 podano średnie wartości wyników pomiarów emisji toksycznych składników spalin, wraz z odchyleniem standardowym (tlenków azotu (NO_x), tlenku węgla (CO) oraz ditlenku węgla (CO_2)), zarejestrowanych w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego. Wartości emisji węglowodorów (CH) mieściły się poniżej granicy oznaczalności metody pomiarowej. Stosowane w trakcie

badan drogowych urządzenie SEMTECH DS nie daje możliwości pomiaru emisji cząstek stałych.

Ze względu na duży rozrzut wyników pomiarów, spowodowany prowadzeniem badań w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego, nie jest możliwe jednoznaczne stwierdzenie wpływu zastosowanego paliwa na poziom emisji – w przypadku zasilania silnika paliwami ON i B10 różnice w poziomie emisji toksycznych składników spalin mieszczą się w granicach niepewności pomiaru.

Tablica 2. Wartości średnie emisji toksycznych składników spalin z układu wydechowego, wraz z odchyleniem standardowym pomiaru

Parametr	CO [g/km]		NO _x [g/km]		CO ₂ [g/km]	
	ON	B10	ON	B10	ON	B10
Wartość średnia	0,22	0,25	1,00	0,99	228	228
Odchylenie standardowe	0,05	0,06	0,20	0,10	26	25

Badania pomiaru emisji toksycznych składników spalin na hamowni podwoziowej

W celu wyeliminowania wpływu wybranych warunków ruchu drogowego (natężenia ruchu, sygnalizacji świetlnej itp.) oraz zmniejszenia niepewności pomiarów, badania emisji toksycznych składników spalin przeprowadzono również na hamowni podwoziowej – odtwarzając wybrany, zarejestrowany odcinek pomiarowy w oparciu o zarejestrowane parametry trasy (prędkość i obciążenie silnika). Na rysunku 8 przedstawiono samochód na stanowisku badawczym – hamowni podwoziowej AVL-Zoellner.

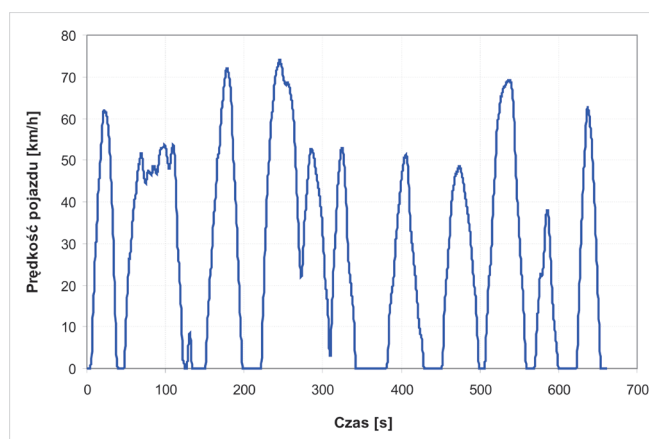


Rys. 8. Samochód osobowy podczas badań stanowiskowych – hamownia podwoziowa AVL-Zoellner (fot. autor)

Podczas badań stanowiskowych próbka mieszaniny spalin samochodu badawczego z powietrzem, w ilości proporcjonalnej do strumienia tej mieszaniny, była w sposób

ciągle pobierana i zbierana w worku pomiarowym w czasie realizacji całego cyklu jezdny. Skład mieszaniny spalin z powietrzem w worku pomiarowym odpowiada średniemu stężeniu składników spalin wydzielanych z pojazdu podczas określonego cyklu jezdny. Odczytane z próbek zebranych do worków pomiarowych (z użyciem analizatorów spalin) stężenia poszczególnych związków szkodliwych przeliczono na emisję całkowitą, wyrażaną w g/km.

Analiza spalin przy zastosowaniu worków pomiarowych z wykorzystaniem systemu CVS określała więc średnią wartość emisji w całym teście jezdny lub w jego poszczególnych okresach (fazach). W czasie realizacji cyklu jezdny na monitorze kierowcy wyświetlano informa-



Rys. 9. Przebieg prędkości jazdy w funkcji czasu, w cyklu jezdny odtwarzanym na hamowni podwoziowej

cje o: teoretycznym (zadany) przebiegu prędkości (wraz z tolerancją), aktualnej prędkości jazdy, a także informacje o zmianach biegów i wyłączeniu sprzęgła, natomiast na monitorze operatora zarejestrowano rzeczywistą prędkość jazdy, wraz z prędkością teoretyczną i tolerancją. Pomiar emisji związków szkodliwych w spalinach samochodu badawczego obejmował również regulację rolkowego stanowiska hamownianego zgodnie z metodą alternatywną [3].

Na hamowni podwoziowej odtwarzany był wybrany cykl jezdny zarejestrowany na odcinku trasy na ul. Grochowskiej w Warszawie. Przebieg prędkości w funkcji czasu dla tego cyklu przedstawiono na rysunku 9, a podstawowe parametry charakteryzujące ruch zamieszczono w tablicy 3.

Tablica 3. Podstawowe parametry cyklu jezdnyego

Długość trasy [km]	5,084
Prędkość średnia [km/h]	27,6
Czas jazdy [s]	662

Cykl jezdny odtwarzany był na hamowni podwoziowej w następujących warunkach:

- po co najmniej 10-godzinnym kondycjonowaniu pojazdu w temperaturze 20–24°C (rozruch zimnego silnika),
- przy rozgrzanym silniku (bezpośrednio przed pomiarem pojazd był nagrzewany – przez przejechanie jednego cyklu jezdnyego).

Badania emisji toksycznych składników spalin z układu wydechowego na hamowni podwoziowej

W ramach badań wykonano:

- pomiary emisji toksycznych składników spalin na hamowni podwoziowej po rozruchu zimnego silnika; przy zasilaniu paliwem ON oraz biopaliwem B10, w cyklu zarejestrowanym podczas przejazdu ul. Grochowską w Warszawie,
- po pięć pomiarów emisji toksycznych składników spalin na hamowni podwoziowej po rozruchu nagrzanego silnika; w analogicznych cyklach jezdnych i przy zasilaniu obydwojma badanymi paliwami.

W tablicy 4 przedstawiono uzyskane wyniki badań emisji toksycznych składników spalin z układu wydechowego samochodu napędzanego ON oraz paliwem B10 podczas rozruchu silnika, natomiast w tablicy 5 podano wartości średnie emisji toksycznych składników spalin, mierzonych wraz z odchyleniem standardowym, dla badań prowadzonych na silniku rozgrzanym.

Przeprowadzone dla samochodu z silnikiem rozgrzanym pomiary emisji tlenku węgla (CO), węglowodorów (HC) oraz cząstek stałych (PM) były bliskie granicy oznaczalności metody. Przy tak niskim poziomie emisji charakterystyczny jest duży rozrzut wyników. Odchylenie standardowe wyników pomiaru emisji toksycznych skład-

ników dla tych spalin wynosi odpowiednio: od 50% do 100% wartości mierzony, co mieści się w deklarowanych granicach błędu pomiaru. Wartość emisji tlenków azotu (NO_x) zmierzona w pojeździe z rozgrzanym silnikiem była wyższa od granicy oznaczalności metody. Odchylenie standardowe pomiaru emisji dla tego składnika wynosi: 3% dla ON oraz 11% dla B10 i mieści się w deklarowanych granicach niepewności pomiaru.

Uzyskane wyniki – pomimo ich dużej niepewności – pozwoliły zaobserwować obniżenie emisji tlenku węgla (CO) podczas rozruchu zimnego silnika przy zasilaniu paliwem B10, w odniesieniu do silnika zasilanego ON, natomiast emisja węglowodorów (HC) w tych warunkach, przy zasilaniu paliwem B10 jest wyższa w stosunku do emisji przy zasilaniu ON.

Uzyskane podczas pracy rozgrzanego silnika wyniki badań emisji składników toksycznych gazów wylotowych (poza emisją tlenków azotu) wykazują duże rozrzuty – co jest spowodowane ich zawartością na poziomie bliskim granicy oznaczalności. Biorąc to pod uwagę, można zaobserwować wyraźne obniżenie emisji węglowodorów i cząstek stałych przy zasilaniu paliwem B10, zaś poziom emisji tlenków azotu i tlenku węgla pozostaje praktycznie bez zmian.

Podsumowanie

Zarówno w przypadku badań drogowych – charakteryzujących się dużą niepewnością wyniku pomiaru emisji (ze względu na zmienność warunków ruchu drogowego w trakcie badań) – jak i w przypadku badań na hamowni podwoziowej, różnice w emisji z układu wydechowego badanego pojazdu zasilanego paliwami ON i B10 mieściły się w granicach niepewności pomiaru dla tych metod. Emisja

tlenku węgla, węglowodorów i cząstek stałych była bliska granicy oznaczalności stosowanych metod, a uzyskane rozrzuty wyników pomiarów (3% dla ON i 11% dla B10) pozostają na typowym dla takich pomiarów poziomie.

Emisja tlenków azotu była znacznie wyższa od granicy oznaczalności metody i pozostała praktycznie bez zmian – niezależnie od stosowanego paliwa. W przy-

padku zasilania paliwem B10, masowa emisja cząstek stałych (mierzona za filtrem cząstek stałych) jest ponad dwukrotnie niższa niż w przypadku zasilania silnika ON. W obu przypadkach emisja jest znacznie niższa od dopuszczalnych granic emisji dla silników spełniających wymagania normy EURO IV.

Mając na uwadze fakt przeprowadzenia pojedynczego pomiaru emisji podczas rozruchu zimnego silnika, można zauważyć, że przy zasilaniu paliwem B10 obserwuje się obniżenie emisji tlenu węgla niemal o połowę – w stosunku do emisji zmierzonej przy zasilaniu olejem napędowym, przy ponad pięciokrotnym wzroście emisji węglowodorów.

Artykuł nadesłano do Redakcji 11.03.2010 r. Przyjęto do druku 23.06.2010 r.

Recenzent: doc. dr Michał Krasodowski

Literatura

- [1] *Regulation (EC) no 715/2007 of the European Parliament and of the Council*, Official Journal of the European Union L171/1 z 29.06.2007.
- [2] *Directive 98/69/ec of the European Parliament and of the Council*, Official Journal of the European Union L350/1 z 28.12.1998.
- [3] Regulamin nr 83 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ), Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L119/1 z 6.05.2008.



Dr inż. Aleksander MAZANEK – absolwent Politechniki Krakowskiej na Wydziale Mechanicznym. Pracę rozpoczął w Instytucie Technologii Nafty w 2003 r., w Zakładzie Badań Eksploatacyjnych. Jest współautorem 12 artykułów publikowanych w czasopiśmie krajowych oraz 6 dokumentacji ITN. Obecnie jest kierownikiem laboratorium badań eksploatacyjnych w Pionie Technologii Nafty INiG.

ZAKŁAD OCENY WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH

Zakres działania:

- badania właściwości użytkowych paliw silnikowych w testach stanowiskowych (LO, LC, Mercedes M102 i M111, Peugeot XUD9);
- oznaczanie stabilności oksydacyjnej biopaliw (test Rancimat);
- ocena właściwości użytkowych paliw i olejów smarowych w badaniach eksploatacyjnych;
- ocena wybranych, fizykochemicznych właściwości użytkowych paliw i środków smarowych (oddziaływanie na metale i elastomery, odporność na działanie wody, odporność na utlenianie, skłonność do pienienia, stabilność podczas przechowywania);
- ocena właściwości smarnych olejów napędowych (test HFRR) oraz środków smarowych i cieczy hydraulicznych;
- oznaczanie zanieczyszczeń paliw i środków smarowych;
- oznaczenia właściwości reologicznych olejów w szerokim zakresie temperatur (testy CCS, HTHS, MRV, Brookfield);
- ocena kompatybilności dodatków do paliw i olejów smarowych;
- ocena stopnia degradacji olejów smarowych w badaniach stanowiskowych i podczas eksploatacji u użytkownika;
- badania pasywnej regeneracji filtrów cząstek stałych na stanowisku z silnikiem o zapłonie samoczynnym.

Kierownik: dr inż. Stanisław Oleksiak

Adres: ul. Łukasiewicza 1, 31-429 Kraków

Telefon: 12 617-74-29

Faks: 12 617-74-40, 12 617-75-22

E-mail: stanislaw.oleksiak@inig.pl

