

*Andrzej Kuranc*  
*Katedra Energetyki i Pojazdów*  
*Akademia Rolnicza w Lublinie*

## **ZASTOSOWANIE DIAGNOSTYCZNEGO ANALIZATORA SPALIN TYPU NDIR DO POMIARU EMISJI SPALIN SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM**

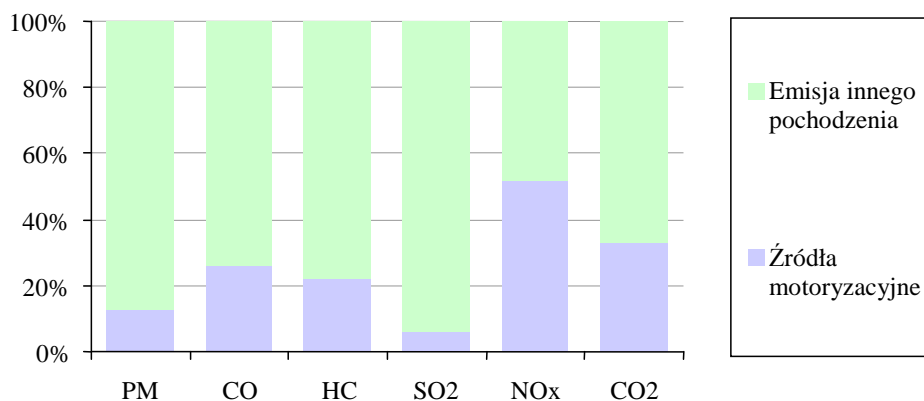
### **Streszczenie**

Niniejszy artykuł przedstawia zastosowanie do badań emisji spalin silnika o zapłonie samoczynnym analizatora typu Multigas 488 Plus. Dla wydajniejszego wykorzystania wyników pomiarów uzyskiwanych przy pomocy analizatora sporządzono program komputerowy, dzięki któremu możliwa jest jego współpraca z komputerem klasy PC i w konsekwencji dalsza, dokładniejsza analiza emisji. Zrealizowane dotychczas badania i uzyskane wyniki wykazują przydatność tej metody, poszerzając jednocześnie spektrum wykorzystania opisywanej aparatury pomiarowej, umożliwiając przykładowo wykonywanie badań podczas pracy w zmiennych warunkach.

**Słowa kluczowe:** silnik spalinowy, analiza spalin, analizator spalin, stany nieustalone, zimny rozruch

### **Wprowadzenie**

Zamieszczona niżej ilustracja (rys. 1) obrazuje udział emisji wybranych szkodliwych związków pochodzących ze źródeł motoryzacyjnych w odniesieniu do ich całkowitej emisji związanej z działalnością człowieka. W przypadku takich związków jak tlenek węgla (CO), węglowodory (HC), tlenki azotu (NO<sub>x</sub>), czy dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>) udział motoryzacji jest niebagatelny. Rozpoznanie źródeł motoryzacyjnych, jako ważnego czynnika wpływającego na degradację środowiska zapoczątkowało ciąg zdarzeń mających na celu zmniejszenie skali tego problemu, co sprawia, że ekologiczny aspekt eksploatacji pojazdów i maszyn samobieżnych wyposażonych w silniki spalinowe, w tym szczególnie obiektów technicznych znajdujących się w obszarach wiejskich, stanowi zasadniczą motywację do badań związanych z zanieczyszczeniem środowiska naturalnego powodowanym przez silniki spalinowe.



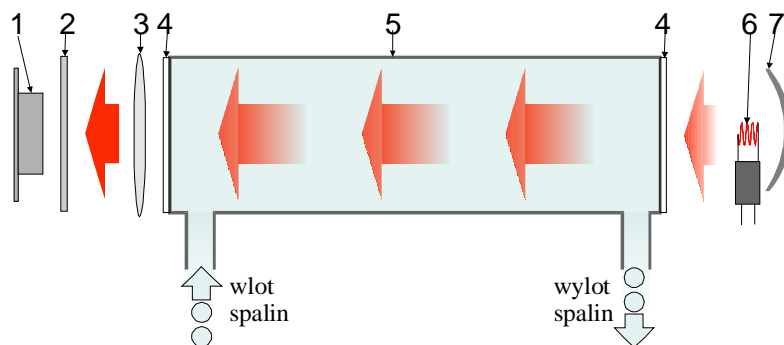
Rys. 1. Emisja szkodliwych związków ze źródeł motoryzacyjnych na tle emisji antropogenicznej [Merkisz 2000]

Fig. 1. Emission of detrimental compounds from automotive sources vs anthropogenic emission

Realizacja wszelkiego rodzaju badań wymaga zastosowania odpowiedniego, stosownie dobranego wyposażenia pomiarowego. Poniżej przedstawiono wybrane aspekty zastosowania diagnostycznego analizatora spalin typu Multigas 488 Plus do badań emisji gazów spalinowych silnika o zapłonie samoczynnym. Jest to urządzenie dedykowane do badań silników o iskrowym zapłonie mieszanki, niemniej jednak przyjmując nieznaczne ograniczenia, może być z powodzeniem stosowane także w przypadku silników wysokoprężnych.

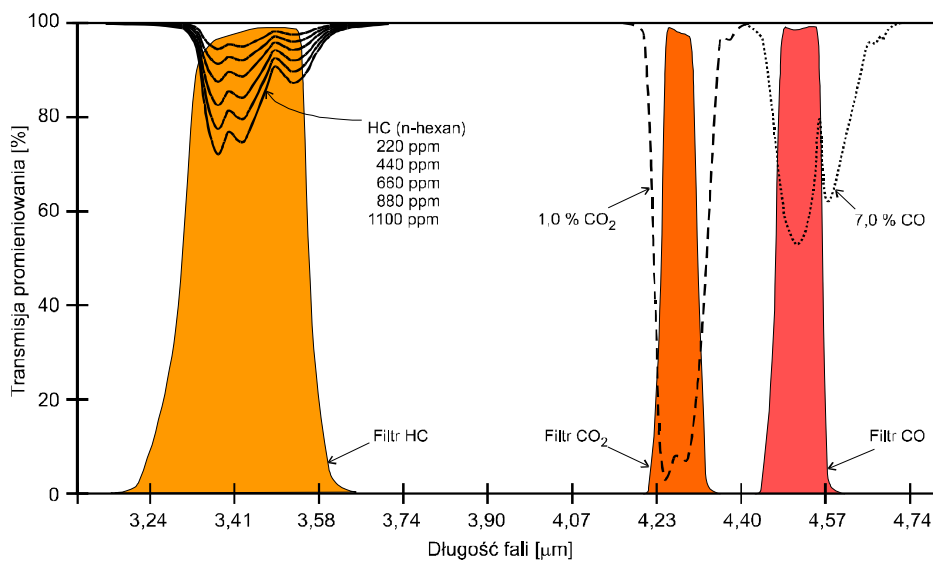
### Analizator NDIR

We wspomnianym analizatorze wykorzystywane jest zjawisko pochłaniania części promieniowania podczerwonego emitowanego przez źródło promieniowania o widmie ciągłym. Metodę pomiaru określa się skrótem NDIR (Non-Dispersive InfraRed). Molekuły związków gazowych i par zbudowane z różnych atomów charakteryzują się stałym lub dającym się indukować momentem dipolowym. W wyniku oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego o odpowiedniej częstotliwości mogą one podlegać drganiom walencyjnym lub deformacyjnym, przy czym związane jest to jednocześnie z pochłanianiem części energii promieniowania.



Rys. 2. Schemat ideowy komory pomiarowej NDIR [Żemis, Michalik 1998]:  
 1 – detektor, 2 - filtr optyczny, 3 - soczewka, 4 – szkła separatora,  
 5 – komora pomiarowa, 6 – źródło promieniowania podczerwonego,  
 7 – zwierciadło

Fig. 2. Schematic diagram of the NDIR measuring chamber [Żemis, Michalik 1998]:  
 1 – detector, 2 – optical filter, 3 - lens, 4 – separator glass, 5 – measuring chamber, 6 – infrared radiation source, 7 – mirror



Rys. 3. Widmo transmisji promieniowania podczerwonego w układzie analizatora  
 Multigas 488 Plus [Tecnotest srl., 1999]

Fig. 3. Infrared radiation spectrum in the Multigas 488 Plus analyser system

## Multigas 488 w badaniach silnika o ZS

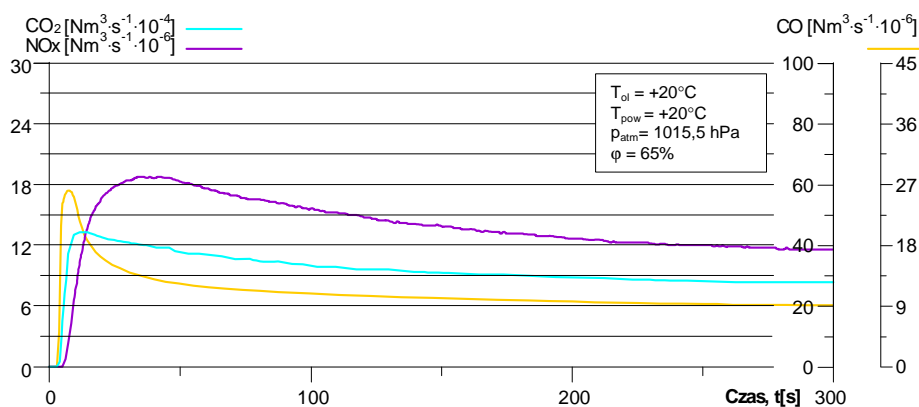
Wyjaśnienia wymaga zasadność wykorzystania do badań składu spalin silnika o zapłonie samoczynnym, analizatora typu NDIR, model Multigas 488 Plus, dedykowanego głównie do analizy spalin silników o zapłonie iskrowym. Różne systemy zasilania oraz zapłonu mieszanki, inne rodzaje stosowanego paliwa, różne obiegi termodynamiczne oraz wartości ciśnień i temperatur występujących w procesie spalania w silnikach o ZI i ZS powodują, że mamy do czynienia z różnymi pod względem składu spalinami [Myszkowski 2000; Air Resources Board 1990]. Jak powszechnie wiadomo spaliny silników wysokoprężnych zawierają znacznie mniej tlenu węgla i węglowodorów niż spaliny silników o zapłonie iskrowym, odwrotnie jest jeżeli chodzi o cząstki stałe i tlenki azotu. Stąd właśnie w przypadku badań diagnostycznych silników o ZI spotykamy się z ograniczeniem zakresu pomiarów do analizy składu spalin ( $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ), natomiast w przypadku silników o ZS badania ograniczają się do określenia zaciemnienia spalin ( $\text{N}$ ). Dlatego też typowe diagnostycznie analizatory spalin nie są wykorzystywane do badań silników o ZS. Komory pomiarowe takich urządzeń wykrywają głównie obecność węglowodorów zbliżonych właściwościami do heksanu  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ , który jest związkiem charakterystycznym dla spalania benzyn w silnikach o iskrowym zapłonie mieszanki, natomiast węglowodory emitowane przez silniki o ZS to znacznie szersza grupa związków różniących się właściwościami fizyko-chemicznymi [Myszkowski 2000; Kolanek i in. 2002; Tecnotest srl. 1999]. Zagłębiając się w ten temat okazuje się, że wyłączając węglowodory analizator Multigas 488 może znaleźć zastosowanie do pomiaru składu spalin silnika wysokoprężnego ponieważ właściwości pozostałych składników spalin ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ) nie są zależne od rodzaju silnika.

## Wyniki pomiarów

W celu zastosowania analizatora do pomiarów ciągłych sporządzono specjalny program komputerowy, dzięki któremu możliwa jest współpraca omawianego analizatora z komputerem klasy PC. Zamieszczone dalej ilustracje to wybrane graficzne opracowania wyników analizy składu spalin, uzyskanych dla rozruchów silnika o zapłonie samoczynnym w wybranych warunkach. Surowe wyniki zapisywane są na bieżąco w pamięci komputera, w pliku tekstowym, który następnie poddawany jest analizie przy wykorzystaniu oprogramowania statystycznego i graficznego umożliwiającego ocenę otrzymanych wyników oraz ich wizualne przedstawienie. Dla wyjaśnienia, w przypadku prezentowanych przebiegów czasowych wykres jednej krzywej to efekt zaprezentowania kilku tysięcy następujących po sobie zmierzonych wartości związanych z emisją danego składnika gazowego.

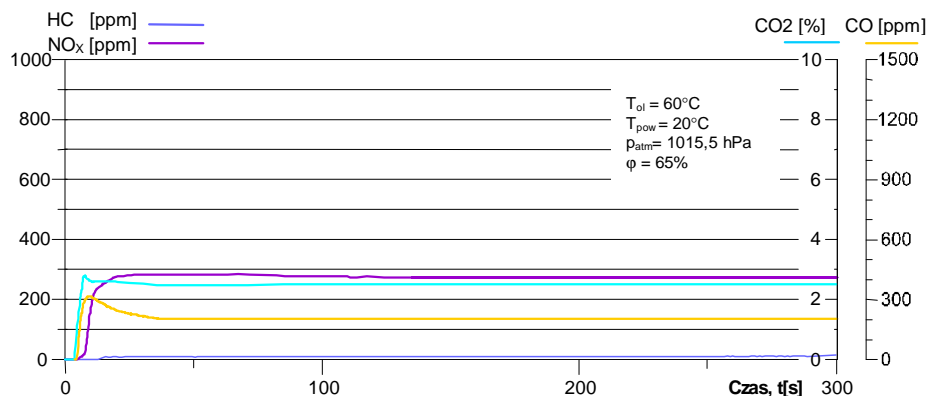
Samo urządzenie pomiarowe nie umożliwia pomiaru wydatku poszczególnych składników, możemy tylko określić ich udziały objętościowe w przepływających

przez układ pomiarowy spalinach. Jednakże z uwagi na fakt, że obiekt badań jest silnikiem wolnossącym, znając pojemność skokową silnika oraz jego prędkość obrotową można w przybliżeniu określić wydatek powietrza i w drodze dalszej analizy procesu spalania wyznaczyć na tej podstawie wydatek spalin oraz ich poszczególnych składników (rys. 4). Krzywe udziałów objętościowych mają podobny charakter przebiegu, nie odzwierciedlają jednak wpływu zmieniającej się w trakcie pomiaru prędkości obrotowej silnika.



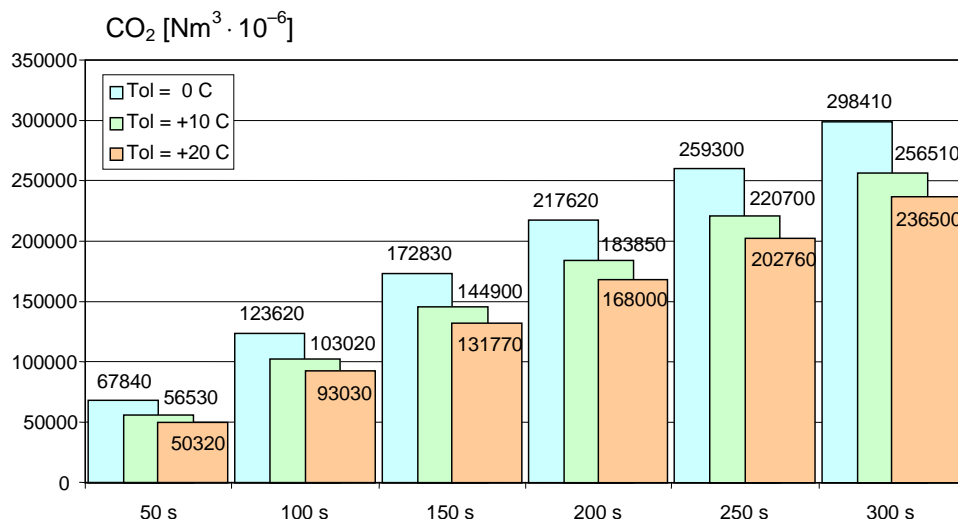
Rys. 4. Wydatek CO, CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> dla zimnego rozruchu silnika AD3.152 przy temperaturze oleju silnikowego +20 °C

Fig. 4. Volume share of CO, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> in AD3.152 engine gas for hot start up at engine oil temperature +20 °C



Rys. 5. Udziały objętościowe CO, CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> w spalinach silnika AD3.152 dla gorącego rozruchu przy temperaturze oleju silnikowego +60 °C

Fig. 5. Emission of CO, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> from AD3.152 engine during cold start up at engine oil temperature +60 °C



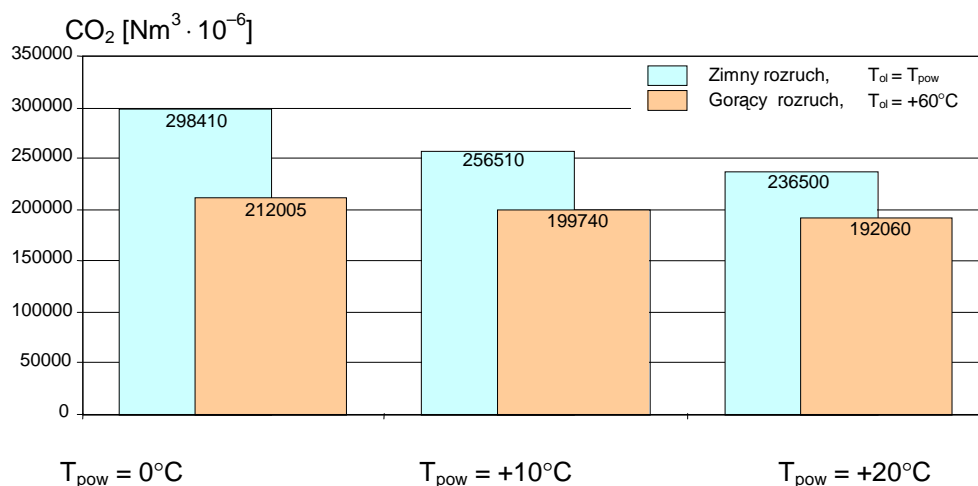
Rys. 6. Etapowa emisja CO<sub>2</sub> dla różnych przedziałów czasowych od początku trwania testu w zależności od temperatury zimnego rozruchu silnika AD3.152

Fig. 6. Staged CO<sub>2</sub> emission for various time intervals from starting the test, depending on the temperature of cold start up of the AD3.152 engine

Analiza szeregu wyników dla różnych temperatur, dla różnych warunków środowiskowych oraz eksploatacyjnych pozwala na dokonywanie zestawień i porównań w celu poszukiwania tendencji zmian emisji w nieustalonych warunkach pracy silnika.

Jako przykłady otrzymanych tą drogą tendencji zaprezentowano rys. 7. i 8, gdzie dokonano zestawienia wydatku dwutlenku węgla dla zimnych rozruchów silnika występujących przy różnych temperaturach otoczenia. Tego typu zestawienia dla dwutlenku węgla i innych składników spalin stanowią przykład możliwości wynikających z zastosowania podmiotowego analizatora to badań ciągłych emisji silnika wysokoprężnego.

Szczegóły opracowania matematycznego obliczeń emisji oraz analiza szerszych badań zostały przedstawione w odrębnych publikacjach [Kuranc, 2004, A; Kuranc, 2004, B].



Rys. 7. Całkowita emisja  $CO_2$  w wybranych temperaturach zimnego oraz gorącego rozruchu silnika AD3.152 w czasie pierwszych 300 sekund od uruchomienia

Fig. 7. Total  $CO_2$  emission at selected temperatures of cold and hot start up of the AD3.152 engine within the first 300 seconds from starting

## Podsumowanie

1. Prezentowane urządzenie, pomimo jego dedykowania dla silników o ZI, może znaleźć zastosowanie do pomiaru składu spalin silnika wysokoprężnego, ponieważ składniki spalin mierzone przez analizator NDIR, inne niż węglowodory, nie są zależne od rodzaju silnika.
2. Swoistą niedogodnością jest konieczność częstej wymiany wkładów filtracyjnych w torze pomiarowym analizatora co jest związane z emisją cząstek stałych.
3. Warto zwrócić uwagę także fakt, że obok opacymetrów przeznaczonych do pomiaru zaciemnienia spalin, nie ma powszechnie dostępnych urządzeń przeznaczonych do analizy składu spalin silnika wysokoprężnego w sposób ciągły.
4. Zrealizowane dotychczas badania i uzyskane wyniki wykazują przydatność przedstawionej metody, co poszerza spektrum zastosowań opisywanej aparatury pomiarowej. Z kolei wykorzystanie możliwości współpracy z komputerem i rejestracja wyników pozwala na wykonywanie badań podczas pracy silników w zmieniających się warunkach, również podczas prac polowych, co pozwala na głębszą analizę ich wpływu na emisję poszczególnych składników spalin.

## Bibliografia

Kolanek C., Mendyka B., Sikora A., Walkowiak W. 2002. Skład gazów wylotowych przy zimnym rozruchu silnika z zapłonem samoczynnym. Eksploatacja silników spalinowych. Zeszyt Nr 6. Wydawnictwo Katedry Eksploatacji Pojazdów Samochodowych Politechniki Szczecińskiej.

Kuranc A., Piekarski W., Zatchej B. 2004. Szacunkowe obliczenia emisji spalin silnika o ZS. Вісник Львівського Державного Аграрного Університету, Агроінженери Дослідження, No 8., с. 441, Львів.

Kuranc A., Piekarski W., Zatchej B. 2004. Analiza przebiegu emisji wybranych składników spalin silnika o ZS w pierwszych minutach pracy po zimnym rozruchu. Вісник Львівського Державного Аграрного Університету, Агроінженери Дослідження, No 8., с. 256, Львів.

Materiały informacyjne firm: SUN, Bosch, Tecnotest, MAHA, AVL, Beckman, Horiba.

Merkisz J.: Zanieczyszczenie środowiska przez transport samochodowy. Publikacja internetowa: [www.auto-online.com.pl](http://www.auto-online.com.pl)

Myszkowski S. 2000. Pomiar zadymienia spalin podczas kontroli pojazdów. Studio Konstrukcyjno-Konsultacyjne we Wrocławiu, Wydawnictwo Auto Moto Serwis 9/2000.

Multigas Plus mod. 488. 1999. Technical documentation. Via provinciale, 12 43038 Sala Baganza Parma, Italy.

Technical Support Division, Emission Inventory Branch, Toxics Emission Inventory Section. Toxics Emission Inventory for Mobile, Area, and Natural Sources 1989. Air Resources Board – Technical Support Division, State of California, May 1990.

Żemis M., Michalik A. 1998. Analiza spalin samochodowych. Laboratorium Analizy Spalin w Zakładzie Fizykochemii Głównego Urzędu Miar w Warszawie, Warszawa. (praca niepublikowana)



**SELECTED ASPECTS OF APPLICATION OF NDIR COMBUSTION  
GAS ANALYSER TO MEASURE COMBUSTION GAS EMISSION  
FROM SELF-IGNITION ENGINE**

**Summary**

The present paper presents the possibilities of using the Multigas 488 Plus analyser for analysing emission of a self-ignition engine. In order to more effectively process the measurement results obtained while testing with the analyser, an application has been developed which allows cooperation with a PC, resulting in greater accuracy of emission analysis. The tests carried out and results obtained so far indicate feasibility of the method, at the same time broadening the range of applications of the measuring equipment being discussed, to allow, for instance, testing in changeable conditions.

**Key words:** combustion engine, combustion gas analysis, non-stationary states, cold start up