

Wolfgang SINGER\*  
Wolfgang SCHINDLER  
Manfred LINKE

## Pomiar emisji cząstek stałych i zadymienia dla silników zgodnych z przepisami Euro 4

Przepisy Euro 4 wymagają od producentów silników spalinowych znacznej redukcji emisji cząstek stałych. Pomimo ciągłej poprawy w silnikach procesu spalania, pod kątem spełniania tych norm są badane również systemy oczyszczania spalin, takie jak filtry cząstek stałych (DPF) lub selektywna redukcja katalityczna tlenków azotu (SCR) dla silników o zapłonie samoczynnym.

W celu opracowania kompletnego systemu napędowego, oznaczającego silnik i układ oczyszczania spalin o zredukowanej emisji cząstek stałych, wymagany jest nie tylko pomiar z dużą dokładnością zadymienia spalin i cząstek stałych, ale również system kondycjonowania gazów spalinowych. Umożliwia on ich pomiar podczas pobierania próbek w układzie wylotowym pod wysokim ciśnieniem i w wysokiej temperaturze np. przed filtrem cząstek stałych. Pobieranie próbek przed układem oczyszczania spalin, jak również za nim jest wymagane podczas oceny sprawności reaktora katalitycznego lub filtra.

Urządzenia do oceny emisji są na ogół wyposażone w funkcje automatycznego oczyszczania, aby zapewnić długotrwałą stabilność sygnału pomiarowego i wydłużone okresy międzyprzeglądowe. Zazwyczaj wykonuje się to w trybach oczyszczania czystym powietrzem. Jednakże tlen zawarty w powietrzu wpływa na katalityczne zachowanie układu oczyszczania spalin, czego należy za wszelką cenę unikać.

W artykule opisano oprzyrządowanie firmy AVL do pomiaru cząstek stałych i zadymienia spalin.

Słowa kluczowe: emisja składników toksycznych, cząstki stałe, pomiar zadymienia spalin

## Particulate and smoke measurement on Euro 4 engines

Future legislation like EURO IV regulation will require massive reduction of particulate emission limits. Besides continuous improvement of the engine combustion process also exhaust aftertreatment systems, like Diesel Particulate Filters (DPF), or Selective Catalytic Reduction (SCR) of Nitrogen Oxides, are under investigation to meet that goal.

For the development of the complete powertrain system, which means the engine and the aftertreatment device, with reduced particulate emissions, there is not only demand for high sensitive Smoke and Particulate Measurement, but also for exhaust gas conditioning to enable gas and particulate measurement at the high pressures and temperatures in the exhaust duct when sampling in front of e.g. a particulate trap.

Sampling in front of the aftertreatment system as well as behind that device is required when evaluating the catalytic or filter efficiency.

Emission test equipment is typically equipped with automatically cleaning functions in order to ensure long time stability of the measuring signal and long service intervals. This is usually performed by purging modes with clean air. On the other hand oxygen within the purge air is influencing the catalytic behaviour of the aftertreatment system which needs to be absolutely avoided.

This paper describes, how that topic is managed with AVL emission test instrumentation.

Key words: emission, particulate matter, smoke measurement

### 1. Nowe ustawy

Urządzenia do pomiaru emisji cząstek stałych (PM) z silników o zapłonie samoczynnym wykorzystywane podczas homologacji pojazdów i silników, generalnie nie zmieniały się od chwili wprowadzenia po raz pierwszy przez Stany Zjednoczone w 1972 r. Jednak w ostatnich latach grawimetryczna metoda pomiaru cząstek stałych została zmodyfikowana w kilku aspektach:

#### • Euro 4 i Euro 5

Komisja Europejska zakończyła prace nad normami Euro 4 i Euro 5 dotyczącymi silników: Light Duty oraz Heavy Duty (zaplanowane odpowiednio na rok 2005 i 2008).

### 1. New legislation

The Diesel particulate (PM) emissions measuring equipment for vehicle and engine homologation has been largely unchanged since it was first introduced by the US in 1972. However, in recent years the method has been revised and changed in several ways:

#### • Euro 4 and Euro 5

The EU Commission is finalising the LD Euro 4 legislation (scheduled for 2005) and the HD Euro 4 and Euro 5 legislation (scheduled for 2005 and 2008, resp.)


No essential changes for the LD particulate measuring procedure is proposed, although the limit values will be substantially reduced (Fig. 1).

Nie proponuje się żadnych istotnych zmian w procedurze pomiaru cząstek stałych dla silników typu LD, jednakże istotnie zredukowane będą wartości graniczne (rys. 1).

Dla silników typu HD przewidziane są dwie główne zmiany procedury pomiaru (rys. 2):

- dokładniejszą definicję środowiska pomiaru, szczególnie kondycjonowanie powietrza rozcieńczającego i filtra, wraz z miarami (nie wszystkimi) proponowanymi w limitach amerykańskich US 2007;

	PM (g/km)
EURO 3	0,05
EURO 4 (2005)	0,025
EURO 5	0,0025 (UBA proposal)



- The EU 4 LD regulations will decrease the emissions limit
- The EU4 LD regulations will not change the requirements for PM emissions measurements (full-flow CVS dilution tunnel, gravimetric PM determination).
- Optimizing the flow of the CVS and the flow through the particulate filters will enable a sufficiently accurate PM emissions determination at EU 4 emission levels.

- Przepisy Euro 4 dla silników typu LD obniżają limit emisji PM.
- Przepisy Euro 4 dla silników typu LD nie zmieniają wymogów w zakresie pomiarów emisji PM (pełnoprzepływowy tunel rozcieńczający CVS, grawimetryczne oznaczanie masy PM).
- Optymalizacja przepływu CVS i przepływu przez filtry cząstek stałych umożliwia precyzyjną emisję zgodnie z poziomami emisji przewidzianymi przez Euro 4.

Rys. 1. Przepisy PM dla silników typu LD Euro 4

Fig. 1. Euro 4 LD vehicles PM regulations

- przyjęcie do pomiaru emisji PM systemów rozcieńczania o częściowym przepływie, podczas testów niestacjonarnych (ETC) według standardu ISO 16183; podstawowe parametry już są podane przy urządzeniu do pomiaru cząstek stałych AVL Smart Sampler z tunelem rozcieńczającym o częściowym przepływie spalin.

#### • US 2007

Agencja Ochrony Środowiska w Stanach Zjednoczonych przygotowała projekt nowej ustawy dla silników HD na rok 2007. Ustawa nadal wymaga metody grawimetrycznej, ale określa środowisko pomiaru, szczególnie kondycjonowanie powietrza rozcieńczającego i filtra w sposób znacznie bardziej szczegółowy, niż poprzednia (rys. 3). EPA przewiduje, że znacznie udoskonali to powtarzalność pomiaru emisji cząstek stałych, szczególnie dla niewielkich mas, wynoszących 0,1–0,2 mg, zebranych na filtrze.

#### • PMP – podgrupa GRPE

Grupa ds. Programu Pomiaru Emisji Cząstek Stałych (PMP) wykonała szeroki zakres testów alternatywnych metod pomiaru emisji PM dla silników o zapłonie samoczyn-

For HD engines two main changes of the measuring procedure are scheduled (Fig. 2):

- A closer definition of the measuring environment, especially the dilution air and filter conditioning, including several, but not all proposed measures of US 2007.
- Acceptance of partial flow dilution systems for the PM emissions testing during transient cycles, according to the ISO 16183 standard. Essential measures and Options are already provided with the Partial Flow Dilution Tunnel AVL Smart Sampler.



		PM (g/kW-hr)	Opacity (m <sup>-1</sup> )
EURO III	ESC	0.10	0.8
	ETC	0.16	
EURO IV	ESC	0.02	0.5
	ETC	0.03	
EURO V	ESC	0.02	0.5
	ETC	0.03	

- The Euro IV HD regulations will decrease the PM emissions limit by a factor of 5, compared to EU III. EU V will not further decrease the PM emissions limit, only the NO<sub>x</sub> limit.

- The Euro IV HD regulations will still require (only) gravimetric PM Measurement (+smoke), but introduces several changes for this method:

- Introduction of several, but not all „US 2007“ requirements.
- Acceptance of Partial Flow Dilution systems acc. To ISO 16183 for transient cycle (ETC) testing.

- Przepisy Euro 4 dla silników typu HD obniżają limit emisji PM o współczynnik 5, w porównaniu z Euro 3. Euro 5 nie obniża dalej limitu emisji PM, jedynie limit NO<sub>x</sub>.
- Przepisy Euro 4 dla silników typu HD nadal wymagają (wyłącznie) grawimetrycznego pomiaru emisji PM (oraz zadyminienia), ale wprowadzają wiele zmian w tej metodzie:
  - o wprowadzenie kilku, ale nie wszystkich wymogów US 2007,
  - o przyjęcie systemów rozcieńczania o częściowym przepływie, wg ISO 16183 w testach niestacjonarnych (ETC).

Rys. 2. Przepisy HD Euro 4/5 do pomiaru emisji cząstek stałych dla silników HD

Fig. 2. EU IV / V HD engines PM regulations

#### • US 2007

The US EPA has drafted a new legislation for 2007 HD engines, which still requires the gravimetric method, but defines the measuring environment, especially the dilution air and filter conditioning, much closer than in the previous legislation (Fig. 3). EPA anticipates that this will greatly improve the repeatability of the particulate measurement, especially for low particulate masses of 0.1 to 0.2 mg collected on the filter when the stringent emissions limits are met.

#### • PMP – subgroup of GRPE

The Particle Measuring Program (PMP) group had extensive tests for alternative diesel PM measuring methods conducted, including instrumentation for particle sizing and counting. Only the particle counting of accumulation mode particles showed the potential for robustness in homologation tests. PMP therefore proposed to require counting of particles with diameters >20 nm, as a second measure and in addition to the gravimetric method.

#### 2. Improved soot measurement

The new PMP proposal practically results in a measurement of the solid “soot” particles of the Diesel emission.

nym wraz z oprzyrządowaniem do określania rozmiaru i liczby cząstek stałych. PMP zaproponowała wymóg liczenia cząstek o średnicy powyżej 20 nm jako dodatkowego pomiaru oprócz metody grawimetrycznej.

## 2. Udoskonalony pomiar sadzy

Nowa propozycja PMP jest w praktyce pomiarem części węglowej cząstek stałych w spalinach emitowanych przez silniki o zapłonie samoczynnym. W związku z tym, że niemiecki przemysł motoryzacyjny od lat preferuje pomiar sadzy, przeprowadzono badania, w których w przeciwieństwie do PMP, za podstawowe uznano metody pomiaru masy, a nie liczby cząstek stałych. Podstawowym czynnikiem zainteresowania sadzą jest to, że właśnie sadza jest uznawana za główny czynnik zagrażający zdrowiu w związku z emisją cząstek stałych przez silniki ZS, a równocześnie ważnym wskaźnikiem jakości procesu spalania. Dokładne oznaczenie poziomu sadzy jest wymogiem niezbędnym w pracach rozwojowych nad silnikami. Jednakże zmniejszenie limitów emisji wymaga stałego zwiększania dokładności pomiaru.

Większość wykorzystywanych metod pomiaru sadzy jest oparta na ich wysokim współczynniku absorpcji promieniowania elektromagnetycznego. Niżej podano zmiany i nowe opracowania, wprowadzone do testów współczesnych silników, które spełnią wymagania przyszłych norm.

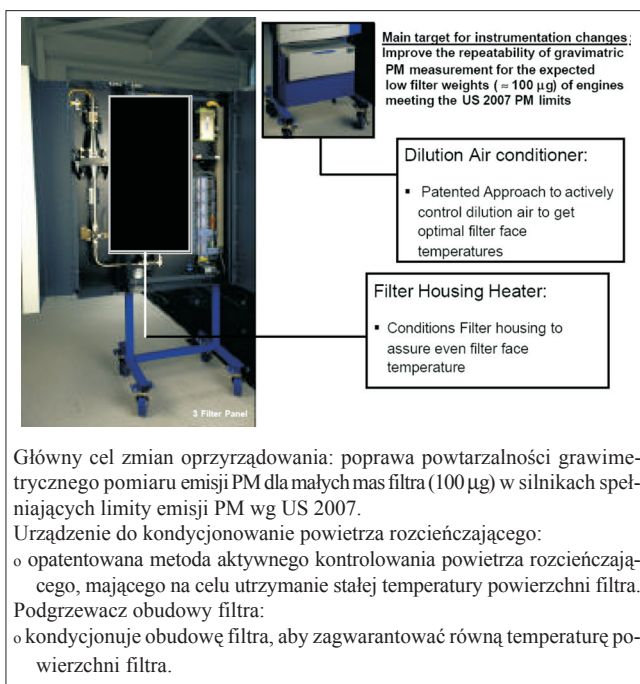
- Szeroko i często bezkrytycznie stosowana metoda określania wartości zadymienia (*Filter Smoke Number*) może być udoskonalona za pomocą następujących zabiegów:
  - zwiększenie objętości spalin przepuszczanych przez filtr (odpowiednie zaczernienie filtra),
  - podgrzewanie linii do próbkowania,
  - odpowiednia długość linii do próbkowania,
  - kontrola i ewentualna korekta wartości ciśnienia spalin i temperatury filtra.

Zaawansowany pomiar stopnia zaczernienia spalin zapewnia AVL Smoke Meter 415S (rys. 4).

- Pomiar zaczernienia jest zamiennikiem metody oznaczania sadzy. W związku z tym, że pochłanianie promieniowania świetlnego nie jest jednoznacznie związane z zawartością sadzy, metoda wymaga pewnej wiedzy specjalistycznej dla prawidłowej interpretacji wyników. Przy spełnieniu tych ograniczeń, pomiar zaczernienia może dostarczyć cennych informacji nawet dla silników zgodnych ze standardami emisji Euro 4 (rys. 5).
- Metoda fotoakustyczna opracowana w ciągu ostatnich lat jest wykorzystywana do pomiaru stężenia sadzy z dokładnością 10 mg/m<sup>3</sup> (rys. 6). Wyniki emisji cząstek stałych uzyskiwane tą metodą (z rozdzielczością 1 s) okazują się porównywalne do metody grawimetrycznej (rys. 7).

## 3. Określanie sprawności układu oczyszczania spalin

W systemach oczyszczania spalin silników ZS, zawierających utleniający reaktor katalityczny (DOC), przeciwciśnienie wzrasta z 200 do 300 mbar, a dla układów zawiera-



Rys. 3. US 2007 – Rozwiązanie dla frakcji rozpuszczalnej

Fig. 3. US 2007 – Addressing soluble fraction


The German automotive industry has favoured the measurement of soot emission for several years and conducted extensive research on this topic, but in contrast to PMP not particulate counting, but mass-proportional methods, were considered essential. The background for the interest in the soot emission is the fact, that it is considered to be mainly responsible for the health hazard related to Diesel particulate emission, but most of all its role as an important indica-



Rys. 4. AVL Filter Smoke Meter 415S G002

Fig. 4. AVL Filter Smoke Meter 415S G002





■ **High sensitivity**  
Thermal conditioning and optimal length of the optical measurement chamber enable application for development and certification of EU 4/5 engines


Detection limit:	0.1% opacity
Rise time	0.1 sec
Data rate	50 Hz

■ **Low maintenance**  
Special surface coating of optical components (heated windows) allows for continuous measurement without interrupt for long-run testing

- Duża czułość  
Kondycjonowanie termiczne i optymalna długość optycznej komory pomiarowej umożliwiają zastosowanie przy opracowywaniu i certyfikacji silników Euro 4/5.  
Limit wykrywania: 0,1% zaciemnienia  
Czas odpowiedzi: 0,1 s  
Szybkość transmisji danych: 50 Hz
- Mały koszt konserwacji  
Specjalna powłoka powierzchni komponentów optycznych pozwala na ciągły pomiar bez przerw w długotrwałych testach

Rys. 5. Dymomierz AVL 439 G004

Fig. 5. AVL Opacimeter 439 G004



**Transient measurement of soot concentration**  
**With high sensitivity (detection limit < 10 µg/m³)**  
**Sensor signal is directly sensitive to soot concentration**  
**Standard interfaces (RS232 with AK protocol, CAN, TCP/IP, DIO,...)**

Niestacjonarny pomiar stężenia sadzy przy dużej czułości (limit wykrywania poniżej 10 µg/m³).  
Standardowe interfejsy (RS232 z protokołem AK, CAN, TCP/IP, DIO, ...)

Rys. 6. Mikroczytnik sadzy AVL 483

Fig. 6. AVL 483 Micro Soot Sensor

jących filtr cząstek stałych (DPF) znacznie powyżej 750 mbar. Prawdopodobnie ta wymaga nowych koncepcji pobierania próbek spalin do badania emisji: szczególnie DOC, ale także DPF, działających w oparciu o zależność między składem spalin a temperaturą reakcji. W związku z tym zaleca się unikanie wszelkich mieszanek gazów reaktywnych (zawierających tlen). Z reguły przyrządy do pomiaru emisji wymagają trybów działania „oczyszczanie” i „zerowanie”, aby zachować długotrwałą stabilność dokładności pomiaru. Zazwyczaj realizuje się to za pomocą filtrowanego powietrza otoczenia. Wprowadzanie tlenu do układu wylotowe-

tor for the quality of the combustion process. As such, its accurate determination is a requirement for engine development in itself. The decrease of the emissions limits, on the other hand, requires a continuous increase in measurement sensitivity and accuracy.

Most practical methods for soot measurement are based on its high absorption coefficient for electromagnetic radiation from the visible blue to the microwave region. The following improvements of established methods and new developments provide up-to-date instruments, which can fulfil the increased requirements for the testing of modern engines.

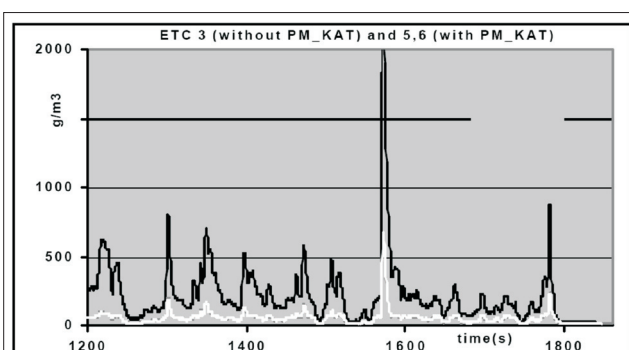
- The widely and often uncritically used method to determine the „Filter Smoke Number“ (FSN) can be improved by the following steps:
  - increasing the amount of exhaust drawn through the filter paper (optimising the paper blackening),
  - heating the sample line,
  - using sample lines of appropriate length,
  - monitoring and eventually correcting for pressure, temperature and filter paper condition,

High sophisticated Smoke Measurement with the Filter Paper Method is provided with the AVL Smoke Meter 415S (Fig. 4).

- Opacimetry is a simple time resolved method to determine the dynamics of soot emission. Since light extinction is not uniquely related to soot content, some expertise is required for a correct result interpretation. Given that, modern opacimeters can provide important information even for post-EU3 engines (Fig. 5).
- The photoacoustic method has been developed in the last years to yield a practical instrument for the measurement of soot concentrations down to less than 10 mg/m³ (Fig. 6). This method with a time resolution around 1 sec. was found to compare well with the insoluble content of the gravimetrically measured particulates (Fig. 7).

### 3. Determination of aftertreatment efficiency

In front of Diesel Exhaust aftertreatment devices the exhaust pressure will rise up to ranges from about 200 mbar to 300 mbar (for a DOC – Diesel Oxidation Catalyst) to 750 mbar and even higher (for a DPF – Diesel Particulate Fil-



- Sprawność filtra cząstek stałych emitowanych przez silnik o zapłonie samoczynnym, np. Heavy Duty: Europejski Test Niestacjonarny (ETC) bez PM Kat i z PM Kat

Rys. 7. Sprawność urządzenia PM-KAT

Fig. 7. Efficiency of a PM-KAT

go wpłynęłoby na sprawność reaktora katalitycznego lub spowodowałoby istotne uszkodzenie układu oczyszczania spalin.

Dla systemów, które wymagają małego przepływu próbki spalin, ciśnienie może być zredukowane przez „przedmuchanie” pewnej objętości gazu przez kryzę. Przepływ spalin przez kryzę o średnicy 1 mm wynosi poniżej 2 dm<sup>3</sup>/min nawet przy ciśnieniach 1 bara. Stanowi to poniżej 1% przepływu spalin w silniku o pojemności 2 dm<sup>3</sup> i dlatego powinno być przyjęte we wszystkich rozwiązaniach. Takie rozwiązanie wraz z odpowiednią jednostką rozcieńczającą jest możliwe do zastosowania w mikroczuJNIku sadzy i przyrządach do zliczania cząstek stałych (CPC – licznik skondensowanych cząstek).

Dla przyrządów, dla których natężenie przepływu próbki gazu przez komorę pomiarową określa czas reakcji przyrządów lub wpływa na przenikanie sadzy do papieru filtracyjnego (*Filter Smoke Meter*) muszą być opracowane inne metody.

W związku z tym nowe rozwiązania urządzeń firmy AVL wyposażono w recyrkulację próbki gazu (odprowadzanie próbki gazu z przyrządu do układu wylotowego), co zapewnia porównywalne ciśnienie przed i za analizatorem, a także utrzymuje stałą prędkość przepływu przez komorę pomiarową. Zawory między połączeniami linii do pobierania próbek i recyrkulacji, sondy gazu próbnej i sondy recyrkulacyjnej umożliwiają przełączanie między gazem próbnym a powietrzem otoczenia podczas czyszczenia lub zerowania. Zabezpiecza to układ wylotowy przed dostępem tlenu z powietrza do urządzenia mierzącego zadymienie metodą filtracyjną lub do dymomierza (rys. 8 i 9).

Nowego znaczenia nabierają substancje zawarte w cząstkach stałych za układami oczyszczania spalin silnika o zapłonie samoczynnym, które miały niewielkie znaczenie w „standardowych” spalinach. Na rysunku 10 przedstawiono typowy skład cząstek stałych emitowanych przez silnik ZS w nieoczyszczonych spalinach. Przy takim składzie węgiel lub sadza praktycznie równa się nieorganicznej lotnej frakcji cząstek stałych.

W układach wylotowych wyposażonych w systemy oczyszczania spalin zawartość węgla i węglowodorów gwałtownie spadnie, natomiast zawartość siarczanów (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) może wzrosnąć (w przypadku utleniającego reaktora katalitycznego). Ponadto zmiana udziału produktów węglowodorowych może nastąpić dzięki zwiększeniu frakcji złożonych związków organicznych. Wówczas nieorganicznych związków lotnych nie można utożsamiać z sadzą (rys. 11). W tym przypadku możliwość niezależnego pomiaru sadzy jest bardzo ważna podczas konstruowania nowoczesnych silników o zapłonie samoczynnym.

ter). This requires new sampling concepts for the emission test equipment. These concepts require tolerance against higher pressure, but another subject also plays an essential role: Especially DOC but also DPF operate based on very tight balance on expected exhaust composition and reaction temperature. Therefore it is highly requested to avoid any mixture or supply of reactive (oxygen-containing) gases. On the other hand usually emission test instruments need purging and zeroing modes for proper long time stability of measurement accuracy. That's usually performed with ambient (filtered) or shop air. Leading oxygen content into the exhaust duct would at least influence the catalytic efficiency or initiate substantial damage of the aftertreatment system.

Depending on different measuring principles and on the expected exhaust gas pressure various options need to be provided for different instruments to cope with high exhaust pressure and/or to strictly avoid any entrance of purge air into the exhaust duct. In any case, the use of a standard pressure reducing valve as for the sampling of gaseous components does not work for particulates due to the substantial hangup effects in these devices.

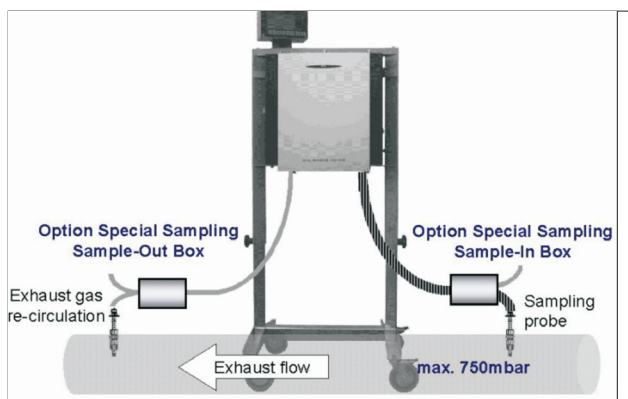
For systems which require only a small sample flow a simple pressure reduction can be achieved by the “blow-off” of some gas through a small orifice. The blow-off through an orifice of 1 mm diameter is less than 2 dm<sup>3</sup>/min at 100 mbar and less than 10 dm<sup>3</sup>/min even at pressures of 1 bar and more. This is less than 1% of the exhaust flow of a 2 liter engine and therefore should be acceptable in practically all cases. Such a concept, together with a suitable dilution unit, is favoured for the Micro Soot Sensor, but is also applicable for the Micro Particle Monitor and CPC (*Condensation Particle Counting*) instruments.

Other methods must be devised for instruments for which the flow velocity of the sample gas through the measuring chamber is defining the response time of real time instruments or influencing the soot penetration into the filter paper of integral measuring filter methods like the Filter Smoke Meter.

Therefore AVL introduced sample gas recirculation lines which lead back the sample gas from the Emission Test Instrument to the exhaust duct and herewith provide a comparable pressure situation before and behind the test device ensuring constant flow velocity through the measuring chamber. Valves between the connections of sampling and recirculation hoses to sample gas probe and recirculation probe allow switching between sample gas and ambient air when purging or zeroing and herewith protect the exhaust duct against any entrance of ambient oxygen (Fig. 8 for Filter Smoke Meter), (Fig. 9 for Opacimeter – block diagram).

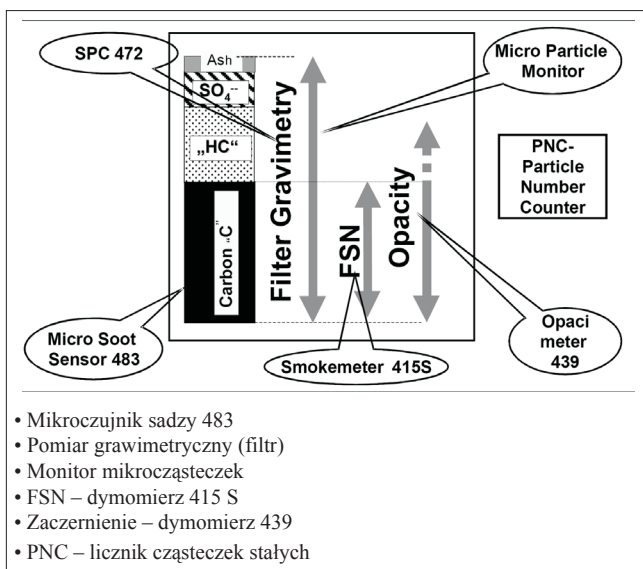
A new challenge is the increasing importance of substances in the particulate matter behind Diesel aftertreatment systems, which have played a minor role in the “standard” exhaust. Fig. 10 shows a typical composition of Diesel particulates in the exhaust without aftertreatment. With such a composition the “Carbon” or “Soot” is practically equal to the “Non Organic Volatile (NOV)” fraction of the particulates.

With aftertreatment device the amount of “Carbon” and “HC” will strongly decrease, while eventually even increas-



Rys. 8. Urządzenie do pomiaru zadymienia spalin metodą filtracyjną 415S G002

Fig. 8. AVL Filter Smoke Meter 415S G002



Rys. 10. Skład „standardowych” cząstek stałych emitowanych z silników o zapłonie samoczynnym

Fig. 10. Composition of “standard” Diesel particulates

Artykuł recenzowany

## Skróty i oznaczenia/ Abbreviations and Nomenclature

CPC – licznik skondensowanych cząstek / Condensation Particle Counting

DOC – utleniający reaktor katalityczny / Diesel Oxidation Catalyst

DPF – filtr cząstek stałych / Diesel Particulate Filter

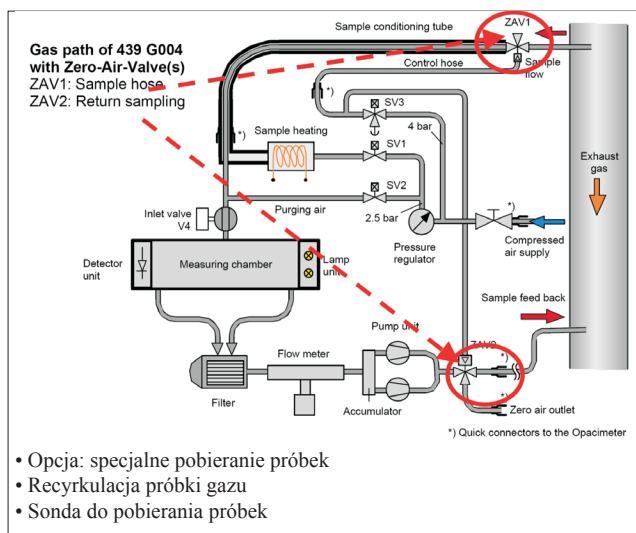
FSN – zadymienie filtra / Filter Smoke Number

NOV – nieorganiczne cząstki lotne / Non Organic Volatile

PMP – Program Pomiaru Emisji Cząstek Stałych / Particle Measuring Program

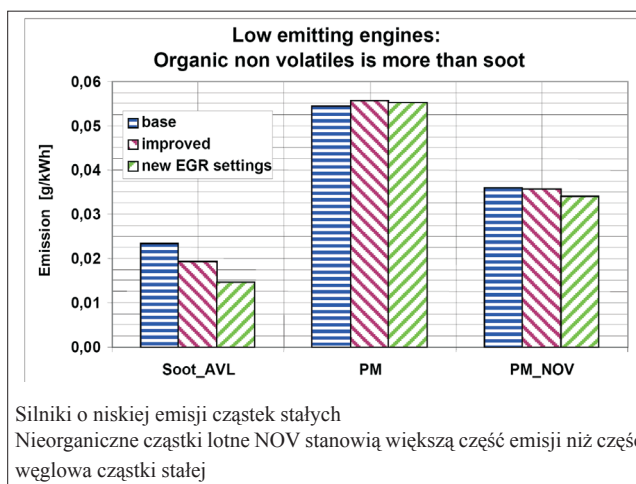
Dr inż. Wolfgang Singer – AVL List GmbH Graz, Austria.

Dr. Ing. Wolfgang Singer – AVL List GmbH Graz, Austria.



Rys. 9. AVL Dymomierz AVL 439 – schemat blokowy

Fig. 9. AVL Opacimeter 439 – block diagram



Rys. 11. Analiza „czystych” cząstek stałych emitowanych z silników o zapłonie samoczynnym

ing (with a DOC) the amount of Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Additionally, the relative composition of the “HC” may change, increasing the fraction of complex organic compounds. The NOV then cannot be set equal to Soot anymore (see Fig. 11). In this case it is increasingly more important to have an independent soot measurement for the development of “Clean” Diesel engines with minimal soot and particulate emission.

Dr Wolfgang Schindler – AVL List GmbH Graz, Austria.

Dr. Wolfgang Schindler – AVL List GmbH Graz, Austria.



Dr inż. Manfred Linke – AVL List GmbH Graz, Austria.

Dr. Ing. Manfred Linke – AVL List GmbH Graz, Austria.

