

Stefan Postrzednik

Instytut Techniki Ciepłej

MOŻLIWOŚCI BADANIA TOKSYCZNOŚCI SPALIN SILNIKÓW SAMOCHODOWYCH
Z WYKORZYSTANIEM URZĄDZEŃ DO CIĄGŁEGO POMIARU SKŁADU GAZÓW

Streszczenie. W pracy dokonano przeglądu przyrządów i układów badawczo-pomiarowych spalin silnikowych. Podano programy odpowiednich badań. Przedstawiono pewne wyniki analiz i badań własnych.

1. Uwagi wstępne

Celem zdobycia podstawowych informacji o procesach fizykochemicznych zachodzących wewnątrz silnika spalinowego, jak również ustalenia wpływu jakie wywiera ten układ na otoczenie, należy między innymi dokonać możliwie dokładnej analizy składu chemicznego spalin wylotowych.

Nieustalone warunki pracy samochodowych silników spalinowych, powodowane ciągłymi zmianami ich obciążeń, wymagają, aby w założonym okresie czasu kontrola składu chemicznego (fizykalna analiza) spalin odbywała się w sposób ciągły. W układach pomiarowych dla ciągłej kontroli składu chemicznego spalin silników samochodowych najczęściej są obecnie stosowane niżej omówione analizatory. Z uwagi na postać energii, biorącej udział w procesie analitycznym i oddziaływującej na badaną substancję można podzielić jak w tabeli 1.

Tabela 1

Rodzaje analizatorów spalin

Lp.	Postać energii	Do wyznaczenia	Sposób oddziaływania	Typ analizatora
1	Promieniowanie elektromagnetyczne	CO, CO ₂ , C _m H _n , NO, NO ₂	Pochłanianie promieniowania	Analizatory absorcyjne w zakresie prom. podczerwonego i ultrafioletowego
2	Pole magnetyczne	O ₂	Działanie na drobiny o własnościach paramagnetycznych	Analizatory magnetyczne
3	Fizykochemiczna	C _m H _n	Absorpcja składników mieszaniny gazowej	Chromatografy gazowe z płomieniowym detektorem jonizującym

2. Analizatory absorpcyjne w zakresie promieniowania podczerwonego

Promieniowanie podczerwone, będące częścią widma elektromagnetycznego, pochłaniane jest przez wszystkie prawie substancje. Wśród gazów (bo te nas interesują) spotyka się kilka wyjątków, które są przezroczyste dla tego promieniowania. Do nich należą: gazy pierwiastkowe o dwuatomowych drobinach (O_2 , N_2 , Cl_2) i jednoatomowe gazy szlachetne oraz pary metali.

Pozostałe gazy mają w zakresie widma podczerwonego charakterystyczne pasma intensywne pochłaniania. Własność ta została wykorzystana w analizatorach absorpcyjnych [1] w zakresie widma podczerwonego, w których nie rozszczerzone wiązki promieni po przejściu przez kufkę porównawczą i kufkę pomiarową trafiają do odbiornika promieniowania. W kufce porównawczej znajduje się gaz, który nie pochłania promieniowania podczerwonego - gazem tym jest najczęściej powietrze pozbawione CO_2 , względnie azot.

Przez kufkę pomiarową przepływa analizowana mieszanina gazowa, która pochłania odpowiednio do udziału poszczególnych jej składników przynależne długości fal przebiegającej wiązki promieniowania podczerwonego. Stopień pochłaniania (osłabienia) wiązki promieniowania podczerwonego po jej przejściu przez kufkę pomiarową, mierzony odpowiednimi metodami, pozwala na określenie stężenia danego składnika w analizowanym gazie.

Zwyczaj spadek intensywności promieniowania, wywołany absorpcją, zostaje uchwycony jako różnica ciśnień (na skutek różnego stopnia nagrzewania się) gazu znajdującego się w komorach pomiarowych odbiornika, przedzielonych kondensatorem przeponowym.

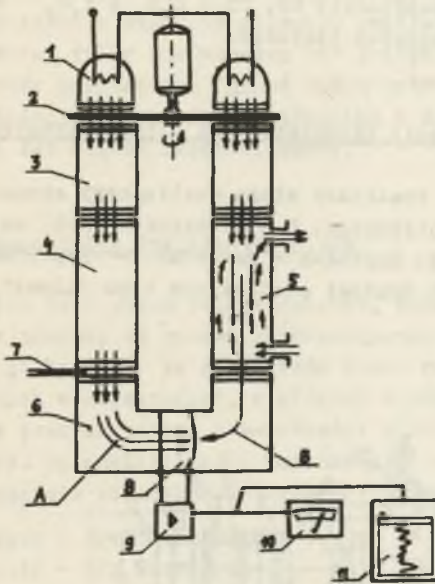
Do analizatorów działających na wyżej opisanej zasadzie należą powszechnie stosowane analizatory: [4]

1. F-my Hartmann - Braun AG Frankfurt/Main, typu: URAS-1 i URAS-2 (Ultra-Rot-Absorptions-Schreiber),
2. F-my Junkalor VEB Dessau, typu: Infralyt III,
3. F-my Beckman Instruments, INC Fullerton, California, typu: IR-315.

Schemat analizatora typu URAS przedstawiono na rysunku 1.

Obok chromatografów i spektrografów masowych, analizatory działające na zasadzie absorpcji promieniowania podczerwonego przez poszczególne składniki analizowanego gazu, uznane są za najlepsze, gdyż odznaczają się one:

- dużą selektywnością, (zdolnością wyznaczenia wybranego składnika ze skomplikowanej nie rzadko mieszaniny byrdzo do siebie podobnych składników, np. węglowodorów),
- dużą czułością - dla wielu z analizowanych składników można uzyskać wskazania w zakresie $0,005 \div 0,05\%$,
- możliwością ciągłego pomiaru z małymi opóźnieniami w granicach od kilkudziesięciu sekund do kilku minut,
- uniwersalnością, dzięki której wiele spośród występujących w spalinach składników można wyznaczać tymi analizatorami.



Rys. 1. Schemat analizatora typu URAS

1. Promiennik podoczerwieni, 2. Modulator promieniowania, 3. Kuweta porównawcza, 4. Kuweta filtracyjna, 5. Kuweta pomiarowa, 6. Odbiornik promieniowania, 7. Przesłonka, 8. Kondensator przeponowy, 9. Wzmacniacz, 10. Przyrząd wskaźujący, 11. Przyrząd rejestrujący, A. Wiązka pełna, nieosłabiona, B. Wiązka osłabiona pochłanianiem

Tablica 2

Analizatory typu URAS

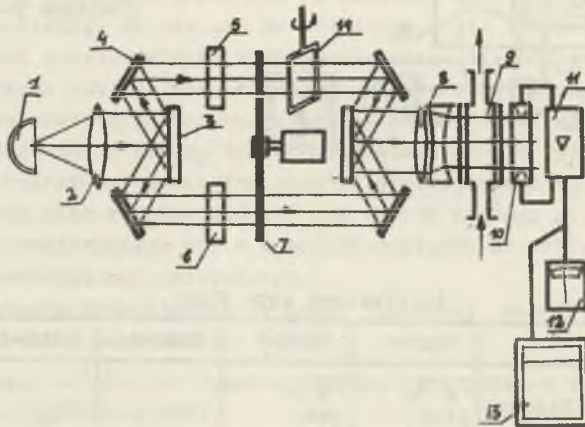
Analizator	URAS-1	URAS-1	URAS-1	URAS-1	URAS-2
Analizowany składnik spalin	$C_m H_n$ jako $C_6 H_{14}$	$C_m H_n$ jako $C_6 H_{14}$	CO	CO ₂	NO
Zakres pomiarowy	0-10000 ppm*	0-2000 ppm	0-10% udz.obj.	0...16% udz.obj.	0...2000 0...5000 ppm
Długość kuwety filtracyjnej (mm)	50	150	-	-	-
Wypełniacz kuwety filtracyjnej	100% CO ₂	100% CO ₂	-	-	-
Wysokość kuwety pomiarowej (mm)	10	50	1,0	0,5...1,0	-
Wypełniacz odbiornika prom. podoczerw.	10% $C_6 H_{14}$ w Argonie	10% $C_6 H_{14}$ w Argonie	10% CO w Argonie	100% CO ₂	10% NO w Argonie
Wypełniacz kuwety porównawczej	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂

* ppm - parts per million (części na milion).

W tablicy 2 podano ważniejsze dane techniczne [8] analizatorów typu URAS, przeznaczonych do pomiaru zawartości: CO, CO₂, C_mH_n i N_xO_y w spalinach samochodowych silników z zapłonem iskrowym.

3. Analizatory absorpcyjne w zakresie promieniowania ultrafioletowego

Do określenia zawartości NO₂ w spalinach służą analizatory absorpcyjne w zakresie promieniowania ultrafioletowego. Z analizatorów tych najczęściej stosowane są analizatory firm: Hartmann - Braun AG - Typ "Limas", Beckman Instruments, typ 225 A. [2] Schemat analizatora typu "Limas" przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat analizatora typu LIMAS

1. Źródło promieniowania, 2. Soczewka, 3. Zwierciadło rowkowe, 4. Zwierciadło, 5. Filtr pomiarowy, 6. Filtr porównawczy, 7. Modulator promieniowania, 8. Układ soczewek, 9. Kuweta pomiarowa, 10. Komórka fotoelektryczna, 11. Wzmacniacz, 12. Przyrząd wskazujący, 13. Przyrząd rejestrujący, 14. Przesłodka obrotowa

Podstawowym warunkiem prawidłowego działania omawianych analizatorów jest właściwy dobór charakterystyk widmowych źródła promieniowania, filtrów, odbiornika promieniowania oraz układów soczewek do charakterystycznych pasm pochłaniania wyznaczonego składnika. W związku z tym efektywnie działający skład widmowy wiązki winien być ograniczony do wąskiego pasma w pobliżu maksymalnej absorpcyjności wyznaczonego składnika. Eliminuje to równocześnie wpływ innych składników pochłaniających poza wybranym pasmem widma.

Filtr pomiarowy "5" jest tak dobrany, że przechodzi przezeń wiązka promieniowania o składzie widmowym pochłanianym przez wyznaczany składnik, natomiast filtr porównawczy "6" przepuszcza tylko tę część wiązki, która nie jest pochłaniana przez żadną cząsteczkę wyznaczonego składnika. Miarą stężenia wyznaczonego składnika w analizowanym gazie jest różnica długości fal wiązek promieniowania.

4. Magnetyczne analizatory tlenu

Tlen jest gazem parametrycznym, podczas gdy inne gazy, poza nielicznymi wyjątkami, są gazami diamagnetycznymi, względnie [3] o małej podatności magnetycznej. Ta właściwość tlenu została wykorzystana w termomagnetycznych analizatorach, w których wielkość stężenia tlenu w analizowanym gazie jest określana z zależności podatności magnetycznej tlenu od temperatury. Do analizatorów, działających na wyżej omówionej zasadzie należą powszechnie stosowane analizatory firm:

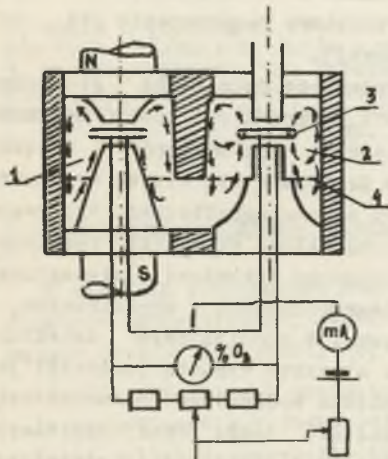
Hartmann - Braun-typ Magnos-5,
Junkalor - typ Permolyt.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat analizatora typu Magnos-5.

W analizatorach typu Magnos-5 i Permolyt wykorzystane jest zjawisko konwekcji termomagnetycznej w gazach paramagnetycznych.

Analizatory wykorzystujące zjawisko konwekcji termomagnetycznej są w pewnym sensie rozbudowanymi mostkami Wheatstone'a, w których grzejnik znajdujący się w komorze pomiarowej "1" ma niższą temperaturę (mniejszy opór) niż grzejnik znajdujący się w komorze porównawczej "2".

Powyższe tłumaczy się tym, że w komorze pomiarowej "1" obok cyrkulacji naturalnej występuje również cyrkulacja wywołana polem magnetycznym, które działając wspólnie, powodują lepsze od prowadzenie ciepła od grzejnika umieszczonego w tej komorze. W komorze porównawczej "2" występuje tylko cyrkulacja naturalna



Rys. 3. Schemat analizatora typu Magnos-5

1. Komora pomiarowa z polem magnet.,
2. Komora porównawcza, 3 - Grzejnik,
4. Siatka zabezpieczająca

gazu, a więc mniejsze odprowadzanie ciepła od grzejnika umieszczonego w tej komorze. Różnica temperatur obu grzejników i związana z tym różnica wartości ich oporów jest miarą stężenia O_2 w analizowanym gazie.

5. Chromatografy gazowe z płomieniowym detektorem jonizacyjnym

Chromatografia gazowa jest jedną z najbardziej skutecznych metod analizy polegającą na rozdzielaniu składników. Jej wyjątkowymi zaletami są:

- wysoka oszczędność,
- prawie idealna selektywność,
- wysoka rozdzielczość,
- duża uniwersalność,
- możliwość równoczesnej analizy kilku składników.

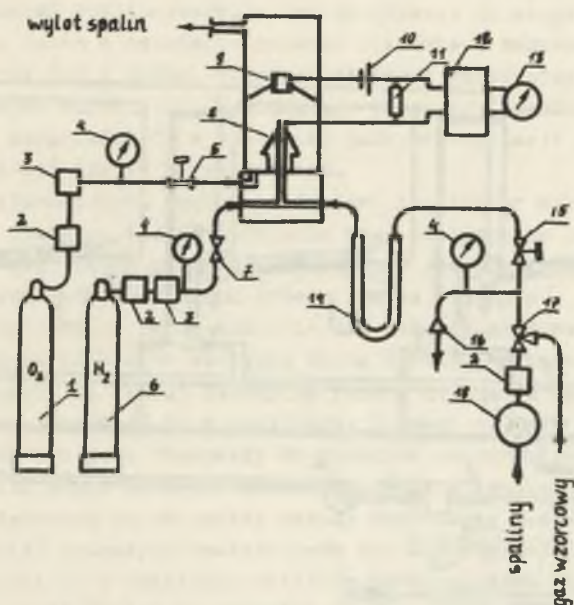
Dzięki tym zaletom można chromatografami gazowymi z płomieniowymi detektorami jonizacyjnymi wyznaczać stężenia 9 poszczególnych, bardzo do siebie podobnych, węglowodorów, podczas gdy analizatory absorpcyjne w zakresie promieniowania podczerwonego (wycechowane na C_6H_{14}) zezwalają wyznaczać tylko sumaryczne stężenia występujących w spalinach węglowodorów.

Wskazania chromatografów gazowych z płomieniowymi detektorami jonizacyjnymi są w stosunku do wskazań analizatorów absorpcyjnych w zakresie promieniowania podczerwonego od 1,6 do 2,8 razy dokładniejsze.

Chromatografię gazową z zastosowaniem ciekłej fazy nieruchomej określa się jako chromatografię rozdzielczą, natomiast z zastosowaniem ciał stałych - chromatografię absorpcyjną (powierzchniowe zagęszczanie się substancji na granicy dwu faz - stałej i gazowej).

Do wyznaczania węglowodorów niskomolekularnych jako złoże nieruchome przyjmuje się ciała stałe - drobnoziarniste i porowate o dużej zdolności adsorpcyjnej, natomiast do wyznaczania ciężkich węglowodorów i związków aromatycznych jako wypełnienie nieruchome przyjmuje się cieczę wysokowrząca, pokrywającą wewnętrzne ścianki kolumny chromatograficznej. Wypływające kolejno z kolumny chromatograficznej rozdzielone składniki analizowanej mieszaniny gazowej podążają do płomieniowego detektora jonizacyjnego. Jonizacji ulega bardzo wiele związków nieorganicznych i organicznych, m. in. wszystkie węglowodory z wyjątkiem metanu. W płomieniowym detektorze jonizacyjnym, którego działanie polega na zjawisku wzrostu jonizacji jaki występuje przy dodawaniu do czystego płomienia wodorowego domieszek związków organicznych, jego katoda zbiera powstające jony. Prąd jonizacyjny jest w dość szerokich granicach proporcjonalny do zawartości wyznaczanego składnika w analizowanej mieszaninie gazowej.

Na rysunku 4 przedstawiono schemat chromatografu gazowego z płomieniowym detektorem jonizacyjnym - firmy Beckman, typ 400.



Rys. 4. Schemat chromatografu gazowego z płomieniowym detektorem jonizacyjnym

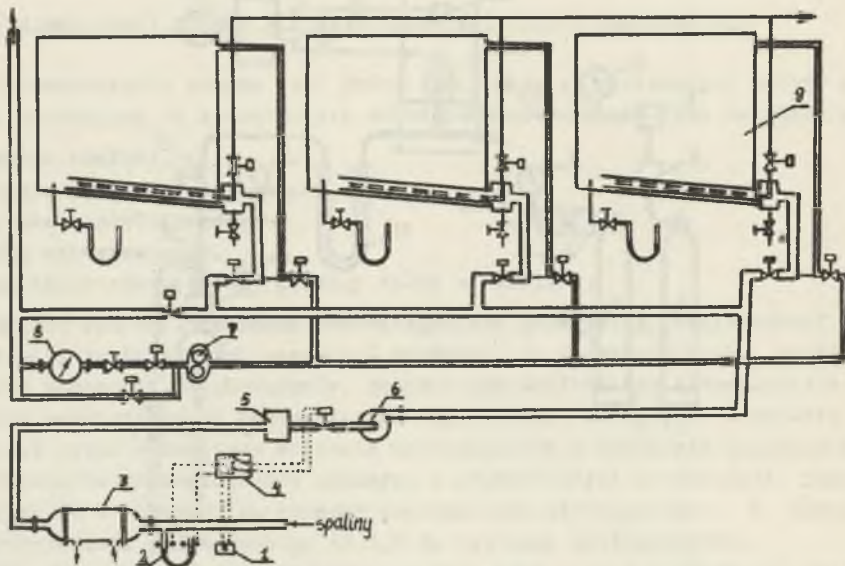
1. Butla z tlenem, 2. Filtr, 3. Regulator ciśnienia, 4. Manometr, 5. Zawór (200 cm^3/min) 6. Butla z wodorem, 7. Zawór (75 cm^3/min), 8. Palnik, 9. Katoda zbiorcza, 10. Źródło prądu stałego, 11. Termistor, 12. Wzmacniacz, 13. Przyrząd wskazujący, 14. Kolumna chromatograficzna, 15. Zawór (50 cm^3/min), 16. Regulator ciśnienia (upust), 17. Kurek trójdrożny, 18. Pompa (5 l/min)

6. Stanowiska pomiarowe składu spalin

W układach pomiarowych dla ciągłej kontroli składu chemicznego spalin silników samochodowych, oprócz wymienionych analizatorów, występują następujące zespoły i elementy [8]:

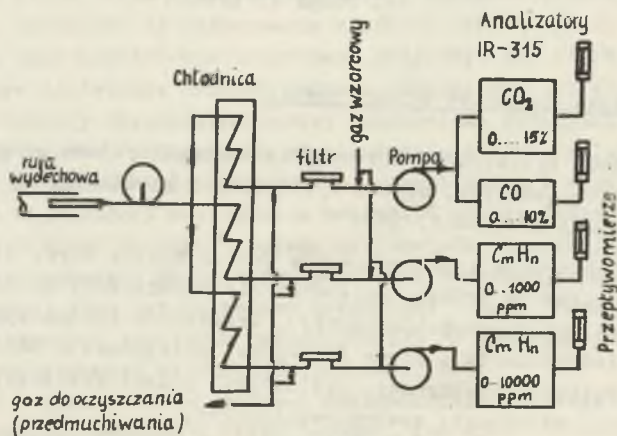
- Zespół pobierania i przygotowania próbek spalin (rys. 5), obejmujący sorby do pobierania próbek, pojemniki dla uśredniania składu (wykonane z folii polietylenowo-poliamidowej), urządzenia schładzające, filtry, suszarki (odwadniacze), pompy (zazwyczaj przeponowe), zawory,
- zespół kontrolno-pomiarowy, obejmujący przepływomierze, stabilizatory ciśnienia, manometry, zawory regulacyjne,
- zespół zasilania energią elektryczną, obejmujący transformatory redukujące napięcie, stabilizatory napięcia, prostowniki,

- zespół wskaźująco-rejestrujący, obejmujący przyrządy wskaźujące udział molowy wyznaczanego składnika w % lub w ppm (parts per milion), przyrządy rejestrujące (zwykle sześciosięzkowe kompensacyjne przyrządy piszące).



Rys. 5. Schemat zespołu do pobierania próbek gazu z zastosowaniem pojemników

1. Przełącznik ręczny, 2. Automat regulacyjny, 3. Chłodnica, 4. Przełącznik, 5. Filtr, 6. Wentylator, 7. Dmuchała, 8. Przepływomierz, 9. Pojemnik polietylenowo-poliamidowy (6 m³)



Rys. 6. Schemat układu pomiarowego Beokman/Soott

Na rysunku 6 przedstawiono schemat układu pomiarowego Beckman/Soott dla kontroli zawartości składników w spalinach sioników samochodowych, z zastosowaniem 4 analizatorów typu IR-315.

Obok omówionych analizatorów, które są używane do ciągłej analizy spalin w zasadzie tylko w specjalistycznych placówkach badawczo-kontrolnych, stosowane są również w dużych stacjach obsługi i warsztatach naprawy pojazdów samochodowych uproszczone analizatory przenośne. Analizatory te służą do określania zawartości CO w spalinach podczas regulacji gaźnika, zwłaszcza przy pracy silnika na biegu jałowym.

Jednym z najprostszych analizatorów jest analizator wskaźnikowy w wykonaniu firmy Draeger. Zasada działania tego analizatora polega na przepuszczaniu próbki spalin przez filtr nasycony odczynnikami reagującymi z CO (pięciotlenek jodu, dwutlenek selenu i kwas siarkowy).

W wyniku tej reakcji filtr zabarwia się kolorem brązowo-zielonym. Przez porównanie koloru filtra ze wzorcową skalą barwną, względnie przez określenie odległości, na której nastąpiła zmiana koloru filtra można określić procentową zawartość CO w spalinach. Z uwagi na małą dokładność wskazań, analizator ten jest stosowany do pomiarów orientacyjnych raczej tylko do określenia rzędu wartości koncentracji CO w spalinach, co pozwala następnie na dobranie odpowiedniej metody dokładnego pomiaru.

Do najczęściej używanych analizatorów przenośnych, służących do określania zawartości CO w spalinach silników samochodowych należą analizatory, z których część działa na zasadzie różnicy przewodnictwa cieplnego - a część na zasadzie różnicy absorpcji promieniowania podczerwonego.

7. Programy stacjonarnych badań

Sprawdzanie wartości dopuszczalnych koncentracji poszczególnych składników emitowanych z wnętrza przestrzeni roboczych silnika do atmosfery, odbywa się na specjalnych stanowiskach [8] wyposażonych w hamowanie podwoziowe i układy pomiarowe dla ciągłej analizy spalin. Program badań samochodu na hamowni podwoziowej jest tak dobrany, że odpowiada średnim warunkom (specyficznie) jazdy badanego samochodu w ruchu wielkomiejskim.

Program taki wg California - Tekst składa się z 7 powtarzalnych cykli, przy czym czas trwania jednego cyklu wynosi 137s, czyli pełny program badań odpowiada 16 minutowej [5] jeździe badanego samochodu w warunkach ruchu wielkomiejskiego.

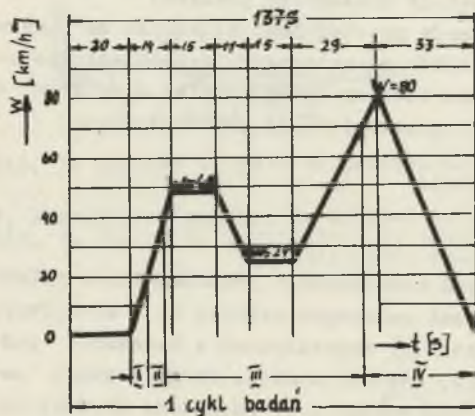
Przedstawiony na rys. 7 jeden cykl badań wg California - Test obejmuje następujące próby:

- jeden bieg luzem,
- dwa przyspieszenia,
- dwie szybkości stałe,
- dwa opóźnienia.

Tablica 3

Cykl badań według California-Test

Próba	Czas trwania próby (s)	Udział czasowy (%)	Współczynnik szacunkowy (%)
Bieg luzem	20	14,6	4,2
Przyspieszanie: $0,97 \text{ m/s}^2$ (0...48 km/h)	14	10,3	24,4
Szybkość stała 48 km/h	15	10,9	11,8
Opóźnienie: $0,64 \text{ m/s}^2$ (48...24 km/h)	11	8,0	6,2
Szybkość stała 24 km/h	15	10,9	5,0
Przyspieszanie: $0,55 \text{ m/s}^2$ (24...80 km/h)	29	21,2	45,5
Opóźnianie: $0,67 \text{ m/s}^2$ (80...32...0 km/h)	33	24,1	2,9
R a z e m	137	100,0	100,0



Rys. 7. Cykl badań wg California-Test

W tablicy 3 podano czas trwania poszczególnych prób, procentowy udział czasowy danej próby oraz współczynnik szacunkowy, określający strumień spalin w czasie danej próby.

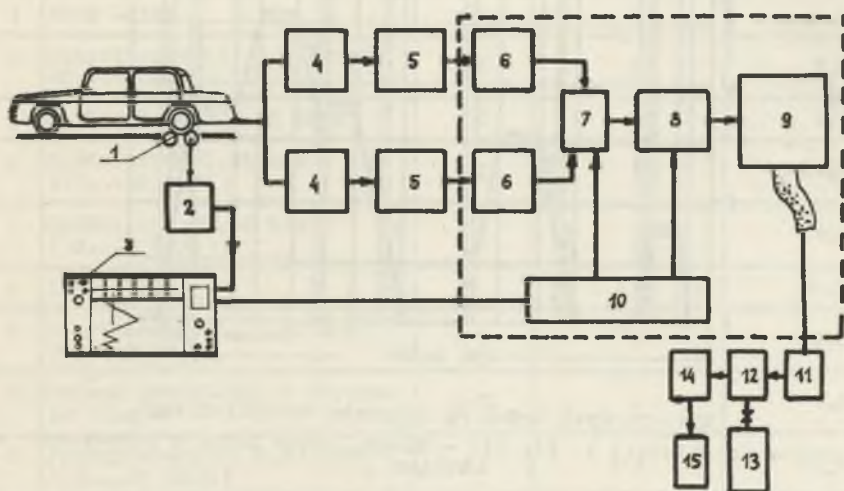
Obliczanie średniej wartości koncentracji emitowanego składnika jest bardzo uciążliwe oraz czasochłonne i wymaga stosowania współczynników uwzględniających czas trwania poszczególnych prób i wartość strumienia spalin podczas każdej próby.

Dla skrócenia czynności obliczeniowych stosowane są urządzenia automatyczne, zezwalające prawie bezpośrednio po ukończeniu badań na uzyskiwanie ostatecznych średnich wartości koncentracji emitowanych składników.

Na rys. 8 przedstawiono schemat zautomatyzowanego układu [7] do ciągłej analizy spalin, stosowanego przy badaniach wg California-Test.

W Europie z uwagi na odmienne warunki geograficzno-klimatyczne, nie zachodzi niebezpieczeństwo wystąpienia "smogu" takiego, jaki występuje w USA. W warunkach europejskich bardziej niebezpieczne są nadmierne ilości CO w powietrzu atmosferycznym. Również europejskie warunki eksploatacyj-

ne, odmienne od warunków w USA, sprawiają, że program 7 cykli wg California-Test nie może być stosowany w Europie. Typowy schemat jazdy w warunkach europejskich powinien uwzględniać dłuższe okresy pracy silnika na



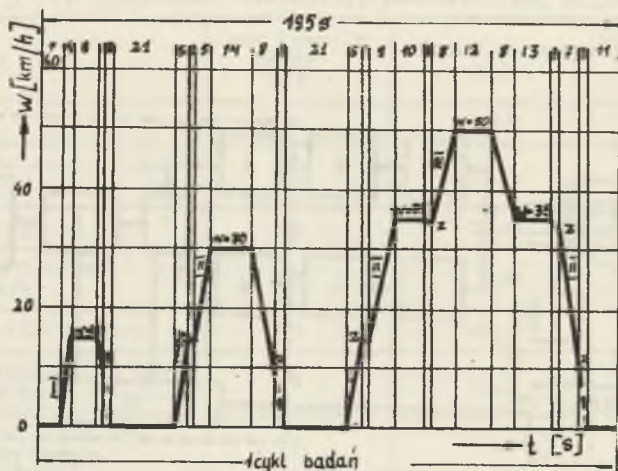
Rys. 8. Schemat zautomatyzowanego układu do ciągłej analizy spalin wg California-Test

1. Hamownia podwozia, 2. Szybkościomierz, 3. Rejestrator szybkości, 4. Analizator URAS, 5. Drukarka wierszowa, 6. Integrator, 7. Rozdzielacz, 9. Przetwornik analogowo-cyfrowy, 9. Dziurkarka taśmy, 10. Programowanie, 11. Czytnik taśmy, 12. Urządzenie do zdalnego przesyłania, 13. Maszyna cyfrowa, 14. Maszyna do pisania, 15. Wydawanie protokołów

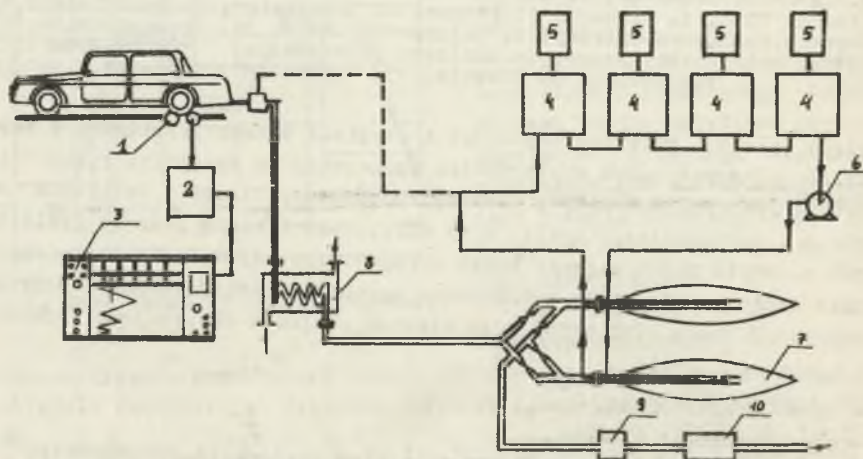
biegu jałowym, mniejsze szybkości i częstsze zmiany przekładni w skrzynce biegów. Program badań europejskich opracowany na specyficie ruchu takich miast, jak: Paryż, Londyn, Hamburg, Monachium, Wiedeń i Sztokholm składa się z 4 powtarzalnych cykli, przy czym, czas trwania jednego cyklu wynosi 195 s, czyli pełny program badań europejskich odpowiada 13 minutowej jeździe badanego samochodu w warunkach ruchu wielkomiejskiego. Przedstawiony na rys. 9 jeden cykl badań europejskich obejmuje następujące próby:

- cztery biegi luzem,
- sześć przyspieszeń,
- pięć szybkości stałych,
- cztery opóźnienia z włączonym silnikiem (hamowanie silnikiem),
- trzy opóźnienia z odłączonym silnikiem (silnik pracuje, lecz nie jest połączony z układem napędowym pojazdu samochodowego).

Na rys. 10 przedstawiono schemat układu do ciągłej analizy spalin, stosowanego przy badaniach wg programu europejskiego.



Rys. 9. Cykl badań wg programu europejskiego
z - zmiana przekładni, I, II, III - biegi, ----- jazda z odłączonym silnikiem



Rys. 10. Schemat układu ciągłej analizy spalin wg badań europejskich

1. Hamownia podwozia, 2. Szybkościomierz, 3. Rejestrator szybkości, 4. Analizator "URAS", 5. Przyrząd rejestrujący, 6. Pompa, 7. Pojemnik z folii polietylenowo-poliamidowej, 8. Chłodnica, 9. Przepływomierz, 10. Dmuchawa

Tablica 4

Cykl badań według programu europejskiego

Lp.	Próba	Bieg	Czas trwania próby (s)	Udział czasowy próby (%)
1	Bieg luzem	-	7	3,6
2	Przyspieszenie: $1,04 \text{ m/s}^2$ (0...15 km/h)	I	4	2,0
3	Szybkość stała: 15 km/h	I	8	4,1
4	Opóźnienie: $0,96 \text{ m/s}^2$ (15...10 km/h)	I	2	1,0
5	Opóźnienie: $0,92 \text{ m/s}^2$ (10...0 km/h)	-	3	1,5
6	Bieg luzem	-	21	10,7
7	Przyspieszenie: $0,83 \text{ m/s}^2$ (0...15 km/h)	I	5	2,6
8	Zmiana przekładni w skrzyn- ce biegów	I-II	2	1,0
9	Przyspieszenie: $0,83 \text{ m/s}^2$ (15...30 km/h)	II	5	2,6
10	Szybkość stała: 30 km/h	II	14	7,2
11	Opóźnienie: $0,69 \text{ m/s}^2$ (30...10 km/h)	II	8	4,1
12	Opóźnienie: $0,92 \text{ m/s}^2$ (10...0 km/h)	-	3	1,5
13	Bieg luzem	-	21	10,7
14	Przyspieszenie: $0,83 \text{ m/s}^2$ (0...15 km/h)	I	5	2,6
15	Zmiana przekładni w skrzyn- ce biegów	I-II	2	1,0
16	Przyspieszenie: $0,62 \text{ m/s}^2$ (15...35 km/h)	II	9	4,6
17	Szybkość stała: 35 km/h	II	10	5,2
18	Zmiana przekładni w skrzyn- ce biegów	II-III	2	1,0
19	Przyspieszenie: $0,52 \text{ m/s}^2$ (35...50 km/h)	III	8	4,1
20	Szybkość stała: 50 km/h	III	12	6,2
21	Opóźnienie: $0,52 \text{ m/s}^2$ (50...35 km/h)	III	8	4,1
22	Szybkość stała: 35 km/h	III	13	6,8

od. tablicy 4

Lp.	Próba	Bieg	Czas trwania próby (s)	Udział czasowy próby (%)
23	Zmiana przekładni w skrzynice biegów	III-II	2	1,0
24	Opóźnienie: $0,99 \text{ m/s}^2$ (35...10 km/h)	II	7	3,6
25	Opóźnienie: $0,92 \text{ m/s}^2$ (10...0 km/h)	-	3	1,5
26	Bieg luzem	-	11	5,7
R a z e m:			195	100,0

Zaletą układu przedstawionego na rys. 10 jest stosunkowo prosty sposób obliczania średniej wartości emisji CO i $C_m H_n$. Sposób ten polega na jednorazowym określeniu koncentracji danego składnika w analizowanej porcji spalin i pomnożeniu jej przez całkowitą ilość spalin wypełniających pojemnik. Ilość tę można zmierzyć za pomocą przepływomierza przy opróżnieniu pojemnika ze spalin.

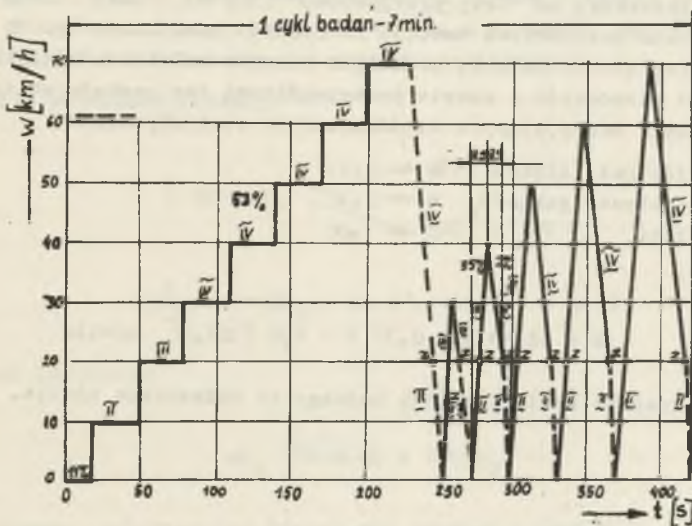
W tablicy 4 podano czas trwania poszczególnych prób oraz procentowy udział czasowy danej próby dla cyklu badań wg programu europejskiego.

Według japońskiego programu badań, który składa się z dwóch cykli o łącznym czasie trwania 14 minut, dopuszczalny udział molowy emisji CO wynosi 3%.

Na rys. 11 przedstawiono jeden cykl badań wg programu japońskiego, obejmujący następujące próby:

- jeden bieg luzem,
- dwanaście przyspieszeń,
- siedem szybkości stałych,
- sześć opóźnień.

W cyklu przedstawionym na rys. 11 zaznaczono grubszą linią te próby, przy których dokonuje się analizy spalin oraz podano wartości współczynnika szacunkowego, określającego strumień spalin analizowanych w czasie danej próby.



Rys. 11. Cykl badań wg programu japońskiego

8. Rozwój badań testowych

Dotychczasowe metody testowych badań emisji szkodliwych składników spalin zawierają wiele nieścisłości (dotyczy to głównie analizy zawartości węglowodorów, tlenków azotu), muszą więc być stale udoskonalane.

Obowiązujące obecnie w USA od roku 1974 nowe testy CVS (Constant Volume Sampler) eliminują niektóre niedostatki testu kalifornijskiego.

Test CVS (istnieją dwie jego odmiany - CVS-1, CVS-2) stanowi nowy rozwinięty program prób. Zawiera takie elementy, jak: biegu luzem, przyspieszenia, jazdę ze stałą prędkością, opóźnienia. Całość trwa 1372 s, co odpowiada drodze przebytej około 7,5 mili.

Zestawienie układu przepływowego oraz zasadniczych urządzeń kontrolno-pomiarowych dla testu CVS pokazane jest [9] na rys. 12. Podczas prób testowych określone ilości gazów zbierane są w odpowiednich pojemnikach z tworzyw sztucznych, a po zakończonych próbach poddawane analizie jakościowej. Aby określić ilość substancji emitowanych składników, wykorzystuje się znajomość objętościowego strumienia spalin (jest to wielkość niezmienna podczas przeprowadzania testu), ich temperaturę i ciśnienie podczas prób. Potrzebna jest również znajomość wilgotności powietrza w otoczeniu, a w pewnych przypadkach również naturalne koncentracje tlenków azotu.

W ramach testu CVS-2 (obowiązującego od roku 1975 we wszystkich stanach USA) cały program prób zostaje podzielony ze względu na zróżnicowaną

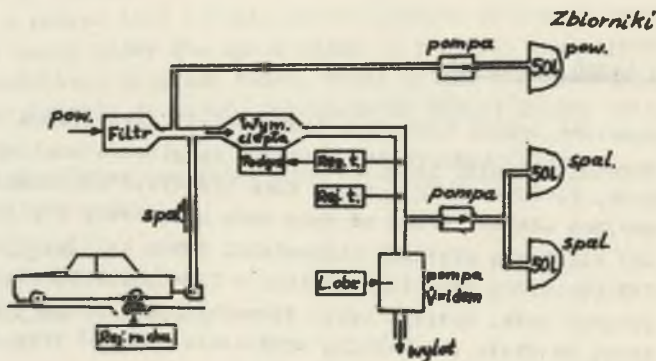
emisję składników, na "fazę przejściową" (505 s) oraz "fazę stabilną" (867 s). Faza przejściowa zostaje następnie powtórzona po 10 minutowej przerwie (wyłączony silnik, zamknięta pokrywa silnika). Uśrednione emisje każdego ze składników w czasie poszczególnych faz zostają obliczone przy uwzględnieniu następujących współczynników statystycznych:

faza przejściowa (zimna)	A	→ 0,43
faza przejściowa (gorąca)	B	→ 0,57
faza stabilna	C	→ 1,00

a równanie

$$E = (0,43 A + 0,57 B + 1,0 C) / 7,5 \quad \text{g/mila}$$

pozwała określić średnią emisję każdego ze składników spalin.



Rys. 12. Układ pomiarowy testu CVS

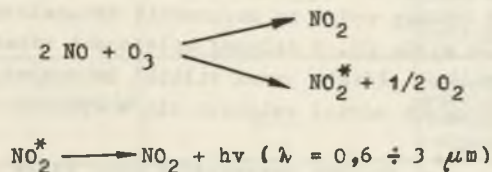
Kolejno za testami amerykańskimi modyfikacjom ulegają również testy europejski i japoński.

Przeprowadzone modyfikacje są naturalną konsekwencją zawężanych granic dopuszczalnych koncentracji składników szkodliwych w spalinach. Z problemem tym ściśle związana jest dokładność samej techniki i aparatury kontrolno-pomiarowej. Głównie chodzi tutaj o wykrywanie takich składników, jak tlenki azotu, węglowodory, tlenek węgla.

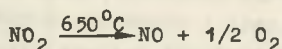
Do pomiaru koncentracji tlenku azotu stosuje się w ramach testu CVS zupełnie nową technikę pomiarową, u podstaw której leży zjawisko chemiluminescencji. Poprzez oksydację tlenku [6] azotu NO ozonem O_3 do dwutlenku

NO_2 i szybkie zmiany stanów energetycznych atomów uzyskuje się promieniowanie o długości fal między 500 i 3000 nm, z wyraźnym maksimum przy 1000 do 1500 nm. Proces ten można przedstawić następująco:

1. Reakcje chemiluminescencji



2. Rozpad termiczny



Ścisłe biorąc, należy tutaj liczyć się również z azotem N_2 , a nawet amoniakiem NH_3 .

Problemy dokładnych analiz węglowodorów i tlenku węgla nie są dotychczas dostatecznie rozwiązane. Na uwagę zasługuje również zespół testów uproszczonych i skróconych, tzw. testy inspekcyjne. Pewien pogląd na nie daje tablica 5.

Tablica 5

Testy inspekcyjne

Rodzaj cyklu	ACID	Key-Mode	Calif-Hot	Exit
Liczba cykli	1	1	1	1
Czas ruchu [s]	60	60	137	60
Droga jazdy [km]		0,402	1,054	
Prędkość maksymalna [km/h]	48,3	48,3	80,45	56,32
Liczba faz ruchu	4	3(4)	7	5
Bieg luzem [%]	26,7	33,3	14,8	18,7
Faza stabilna [%]	26,7	66,7	21,9	81,3
Przyspieszenie [%]	23,3		31,4	
Opóźnianie [%]	23,3			
[%]	100	100	100	100

ACID = Acceleration-Cruise-Idle-Deceleration

Exit = Exhaust-Emission-Inspection-Test

Zespół testów skróconych służy przede wszystkim do badań i kontroli inspekcyjnych różnych samochodów osobowych.

9. Problem wykrywania i analizy toksycznych składników spalin samochodowych w warunkach krajowych

Jeżeli rozważania ograniczyć do pojazdów samochodowych o zapłonie iskrowym to najistotniejszym składnikiem wydzielanych spalin z uwagi na jego toksyczność i ujemny wpływ na zachowanie naturalnego środowiska człowieka jest tlenek węgla CO. W dalszej kolejności zwracać należy uwagę na węglowodory emitowane głównie przez silniki dwusuwowe i wysokoprężne, tlenki azotu NO_x - których udział zwiększa się w spalinach razem ze wzrostem stopnia sprężania.

Niewielka, a nawet śladowa zawartość tlenku węgla w spalinach, która np. w tradycyjnej analizie energetycznej procesu spalania mogła nie mieć nawet zbyt dużej wagi, wobec zagadnienia ochrony naturalnego środowiska człowieka nabiera istotnego znaczenia, gdyż wywołać może poważne i nieodwracalne skutki w organizmie i otoczeniu ludzkim. Z tego względu szczególnego znaczenia nabiera dokładność pomiaru udziału tlenku węgla w gazach wydzielanych przez silniki pojazdów samochodowych. Mają to na uwadze, można opisać wyżej przyrządy do pomiaru zawartości tlenku węgla w roztworach gazowych uszeregować w kolejności jak w tabeli 6. Oprócz dokładności, należy brać jeszcze pod uwagę niezawodność i właściwości eksploatacyjne przyrządu w warunkach przeprowadzanych pomiarów.

9.1. Metoda pomiarów testowych

W związku ze zróżnicowaną strukturą eksploatacyjną pojazdów samochodowych w różnych krajach świata opracowano szereg testów pomiarowych przedstawionych wyżej. Podstawą opracowania takiego testu - adekwatnego sytuacji w danym kraju - powinny być odpowiednie badania statystyczne ruchu pojazdów w poszczególnych grupach rodzajowych oraz charakterystyki ilościowo-jakościowe emitowanych gazów spalinowych (ze szczególnym uwzględnieniem składników toksycznych spalin) w funkcji parametrów ruchowo-eksploatacyjnych silnika i pojazdu samochodowego. Przeprowadzenie kompleksu takich badań w naszym kraju jest niezbędne, aby móc ustalić, który z opracowanych już w świecie testów znajduje zastosowanie w warunkach krajowych, względnie umożliwić opracowanie własnego testu badań. W związku z szybko rozwijającą się motoryzacją, zwiększeniem ilości pojazdów oraz zmianami w markach samochodów należy również o pewien czas dokonać odpowiednich korekt w metodzie pomiarowej.

W Zakładzie Silników Spalinowych ITC prowadzone są prace w zakresie tych zagadnień. Niektóre rezultaty przeprowadzonych eksperymentów podane zostały niżej.

Tablica 6

Analizatory do pomiaru zawartości tlenu węgla

Lp.	Rodzaj przyrządu	Dokładność pomiaru %	Uwagi
1	Chromatografy i spektrografy masowe	~ 0,01	Analiza nieciągła. Duża wilgoć w gazie może zniekształcać wyniki
2	Analizatory absorpcyjne w zakresie promieniowania podczerwonego	< 0,1	Możliwość dokonywania analizy ciągłej z rejestracją wyników na taśmie
3	Analizatory absorpcyjne w zakresie promieniowania ultrafioletowego	~ 0,1	Istnieje możliwość zniekształcenia wyników przez zawartość tlenków azotu
4	Aparat Orsata (do pomiarów względnie sprawdzenia poprawności wskazań przyrządów grupy 1, 2, 3)	~ 0,1	Dla małych zawartości CO zaleca się stosować czynnik z pięcioletku fosforu w oleum

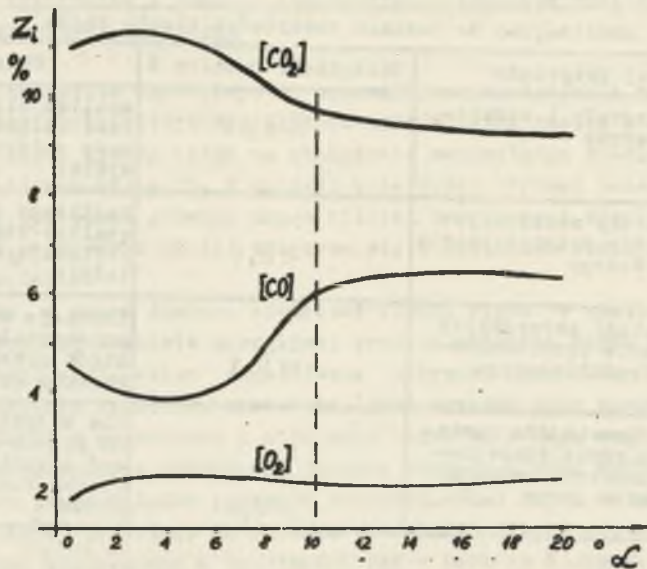
9.2. Wyniki przeprowadzonych pomiarów

Przedstawione tutaj wyniki pomiarów zostały uzyskane na stanowisku diagnostycznym Stacji Obsługi Samochodów "Mototechnika" w Zabrzu wyposażonym w:

- hamownicę podwoziową HPO GWCS,
- urządzenie elektroniczne diagnostyki silnika CRYPTON,
- zestaw analizatorów spalin,
- przyrządy do pobierania spalin,
- układ nadmuchowo-wentylacyjny.

Dla samochodu Fiat 125p produkcji seryjnej o przebiegu około 12 000 km przeprowadzono pomiary mające na celu określenie między innymi [10] wpływu kąta α - wyprzedzenia zapłonu na jakość spalin przy biegu jałowym i wolnych obrotach silnika ($n_0 = 600$ obr/min). Analiza spalin dała wyniki przedstawione na rys. 13.

Ustalony instrukcją fabryczną kąt wyprzedzenia zapłonu $\alpha_0 = 10^\circ$ nie leży jak widać w obszarze minimalnych udziałów tlenu węgla w spalinach. Przy dociążeniu silnika udział tlenu węgla w spalinach znacznie zwiększa się i dochodzi do ~ 10% dla $N_T \approx 30$ kW przy $n = (800 \pm 1000)$ obr/min. Stan ten odpowiada dużym momentom obrotowym przy małych prędkościach obrotowych tzw. "duszenie silnika".



Rys. 13. Skład spalin w funkcji kąta wyprzedzenia zapłonu α

10. Uwagi końcowe

Sprawa czystości spalin wydalanych przez silniki spalinowe jest w obecnym czasie niezmiernie aktualna. Kompleksowe badania w tym zakresie winny dotyczyć problemów eksploatacyjnych pojazdów jak również nowych rozwiązań konstrukcyjnych silników napędowych. Niezbędnym narzędziem w rozwiązywaniu zadań jest przede wszystkim odpowiednia technika pomiarowa.

Wobec planowanego w kraju dużego rozwoju motoryzacji zachodzi jednocześnie konieczność budowania równolegle odpowiednich stacji badawczo-pomiarowych i diagnostycznych. Prowadzenie szerokich badań w tym zakresie dla warunków polskich jest sprawą równie pilną co budowa nowych fabryk samochodów.

LITERATURA

- [1] Klinksieg K., Winokler J. - Messeinrichtungen und Prüfverfahren für Automobilabgase, MTZ, 1968, nr 9.
- [2] Puchan G. - Das Abgasgespenst. Auto-Markt 1974, nr 1/2.
- [3] Gitlin N. - K woprosu ob analizie sostawa otrabotawskich gazow benziniowych dwigatielej, Gig i Sanit., Moskwa 1967, t. 32.

- [4] Strandel M. - Die Abgasprüfung, Autohaus 1968, nr 4.
- [5] Starkman E. - The chauces foa a clean oar, Astronaut. a. Aeronaut., 1971, t. 9 nr 8.
- [6] Sampietro A.C. - Reduktion + Oksydation = saubere Abgase, Aut. Rev. 1972, nr 39.
- [7] Doty W. - Mobile test vehicle measuves exhaust amosions on the road, SAE-I, 1972, nr 1
- [8] Forschungszentrum für die Abgasentgiftung, Auto Motor Zubehör, 1970, nr 16
- [9] The focus is on exhaust gas analyzers, Automob. 1972, t. 49, nr 5.
- [10] Kozik H., Król J., Świerczyński B. - Badanie jakości spalin silników samochodowych, Magisterska praca dyplomowa wyk. pod kier. S. Postrzednika w ZSS Instytutu Techniki Ciepłej, Gliwice, 1974 r.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК
ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО АНАЛИЗА ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Р е з ю м е

В работе приведен просмотр измерительных приборов выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрено возможности использования этих установок в соответствующих программах исследований. Представлено некоторые результаты собственных изучений с карбураторным двигателем.

THE PROSPECTS OF USING OF MEASURING DEVICES FOR THE MOTOR
EXHAUST-GAS CONTINUOUS ANALYSIS

S u m m a r y

The paper provides a review of the measuring devices for engine combustion gases analysis. The programmes of adequate testings and some results of experiments with the carburettor engine have been given.