

Eryk PRUGAR

Instytut Techniki Ciepłej - Zakład Silników Spalinowych

ZASTOSOWANIE KULISTEJ KOMORY SPALANIA
W CZTEROSUWOWYM SILNIKU SPALINOWYM ZI^{x)} -
JAKO JEDEN ZE SPOSOBÓW OCHRONY ŚRODOWISKA
PRZED SKUTKAMI MOTORYZACJI

Streszczenie. W pracy przedstawiono własną koncepcję konstrukcyjnego rozwiązania kulistej komory spalania, jako komory przyszłościowego "czystego" silnika samochodowego ZI - na tle komór spalania silników: VW-1600 i Honda-CVCC.

Na przełomie lat 1885-1886 ubiegłego stulecia pojawił się praktycznie pierwszy na świecie samochód napędzany tłokowym silnikiem spalinowym. Od chwili jego pojawienia się zaczęła się wielka era motoryzacji - samochód stał się wytworem technicznym, który zrewolucjonizował cały współczesny świat.

Na przestrzeni blisko 90 minionych lat samochód zdobywał i w dalszym ciągu nieprzerwanie zdobywa coraz szersze zastosowanie i nabiera coraz większego znaczenia w gospodarce świata, stając się nieodłącznym składnikiem naszego życia codziennego.

Powszechność występowania samochodu jako środka transportu i komunikacji współczesnego świata przejawia się faktem, że aktualnie na świecie eksploatowanych jest ponad 250 mln samochodów, a ich roczny przyrost wyraża się liczbą ca 35 mln sztuk.

Roczne zapotrzebowanie energii przez tabor samochodowy świata wynosi ca 380 mln MWh. Energia ta jest uzyskiwana przez spalanie we wnętrzu przestrzeni roboczych silników spalinowych - napędzających poszczególne jednostki wymienionego taboru samochodowego - ponad 300 mln ton paliw płynnych. W wyniku niestechiometrycznego procesu termochemicznego, jaki w rzeczywistości zachodzi w przestrzeniach roboczych silników spalinowych, w produktach spalania wydalanych przez te silniki do otoczenia znajduje się wiele składników zagrażających biologicznemu środowisku człowieka.

^{x)} ZI - oznacza zapłon iskrowy. Skrót ten będzie stosowany zamiast całego określenia ... z zapłonem iskrowym.

Do najgroźniejszych składników spalin, wydalanych przez silniki spalinowe ZI, należą:

- CO - tlenek węgla,
- CmHn - niespalone względnie częściowo spalone węglowodory,
- NxOy - tlenki azotu,
- związki ołowiu w przypadku stosowania paliw benzynowych etylizowanych, tzn. zawierających jako dodatek przeciwstukowy płyn etylowy.

Rocznie do środowiska naturalnego człowieka przedostaje się wraz ze spalinami silników spalinowych ZI:

- ~ 150 mln ton CO,
- ~ 30 mln ton CmHn,
- ~ 8 mln ton NxOy,
- ~ 200 tys. ton związków ołowiu.

Ponadto ca 20 mln ton CmHn przedstaje się do atmosfery na skutek przedmichów spalin do skrzyni korbowej silników oraz na skutek przecieków i parowania paliwa z układów zasilania silników.

Dla położenia kresu wzrastającemu zagrożeniu naturalnego środowiska człowieka przez dynamicznie rozwijającą się motoryzację, władze ustawodawcze w wielu krajach świata zostały zmuszone do wprowadzenia przepisów prawnych, ograniczających zawartość wymienionych uprzednio toksycznych składników w spalinach samochodowych silników ZI.

Najbardziej rygorystyczne jest ustawodawstwo w USA, które wprowadzając w latach 1966-1967 pierwsze na świecie przepisy prawne dotyczące ochrony środowiska człowieka przed skutkami motoryzacji - stale te przepisy zaostrzało.

Postulowane przez ustawodawstwo USA, począwszy od 1976 r. dopuszczalne zawartości poszczególnych toksycznych składników w spalinach samochodowych silników ZI przedstawiają się następująco:

CO - 3,4 g/milę; CmHn - 0,41 g/milę; NxOy - 0,40 g/milę^{x)}

Poza tymi drastycznymi żądaniami ograniczenia zawartości CO, CmHn i NxOy w spalinach, z dniem 1 lipca 1977 r. będzie obowiązywał w USA zakaz stosowania do napędu samochodowych silników spalinowych ZI paliw benzynowych etylizowanych. W tej sytuacji spełnienia przyszłościowych wymagań, określonych ustawodawstwem USA nie da się zrealizować tylko dotychczas stosowanymi sposobami ograniczania "produkcji" toksycznych składników przez sil-

^{x)} Badania według testu US CVS-2 (Constant Volume Sampler). Wielkość emisji wyrażona jest masą składnika wydalanego do otoczenia w czasie przejazdu samochodu na odcinku drogi długości 1 mili (w gramach na milę).

niki, ani też przez redukcję już "wyprodukowanych" przez silniki toksycznych składników - w różnego rodzaju dopalaczach katalitycznych i płomieniowych.

Dla przypomnienia należy podać, że dotychczas stosowane praktycznie sposoby zmierzające do zmniejszenia emisji toksycznych składników z wnętrza przestrzeni roboczych samochodowych silników ZI do otoczenia - polegają na:

- 1) stosowaniu możliwie ubogich mieszanek i możliwie późnego ich zapłonu. Sposób ten pod nazwą "cleaner air package system", w skrócie "CAP" zastosowały Zakłady Chrysler w USA,
- 2) staranniejszym - bardziej dokładnym przystosowaniu układów zasilania silnika zarówno w wersji gaźnikowej jak i wtryskowej.

W wersji gaźnikowej zastosowano:

- prostsze kształty przewodów wlotowych oraz ich podgrzewanie (szwedzka firma VOLVO),
- nowe typy gaźników, z których należy wymienić: gaźnik Stromberg CD ze zmiennym przekrojem dla przepływu powietrza i iglicową regulacją wpływu paliwa - gaźnik "Vapipe" National Engineering Laboratory (NEL) z podgrzewaniem rozpylonego paliwa oraz gaźnik firmy SIEMENS z katalityczną komorą ułatwiającą odparowanie rozpylonego paliwa.

W wersji wtryskowej zastosowano 3 systemy sterowania wtryskiem:

- system z pełną synchronizacją wtrysku - wtrysk paliwa według kolejności pracy poszczególnych cylindrów,
- system z częściową synchronizacją wtrysku - równoczesny wtrysk przez wtryskiwacze łączone w grupy,
- system bez synchronizacji wtrysku - równoczesny wtrysk przez wszystkie wtryskiwacze.

Do ogólnie znanych układów wtryskowego zasilania samochodowych silników ZI należą produkowane przez:

- zachodnioniemiecką firmę Bosch, układy Jetronic i L-Jetronic sterowane elektronicznie oraz układ K-Jetronic sterowany mechanicznie w połączeniu z elementami hydrauliczno-pneumatycznymi,
- ZSRR, układ Elektron-4 sterowany elektronicznie,
- angielskie firmy Brico i Lucas, układy sterowane elektronicznie,
- zachodnioniemiecką firmę Zenith, układ sterowany mechanicznie w połączeniu z elementami hydrauliczno-pneumatycznymi.

Opisane sposoby - jakkolwiek aktualnie dobrze spełniają swoje zadanie - to jednak w niedalekiej już przyszłości będą niewystarczające do utrzymania "czystości" spalin samochodowych silników ZI na wyższym niż dotychczas poziomie. Wobec takiego stanu rzeczy zachodzi konieczność wprowadzania dość istotnych zmian w konstrukcji samego silnika.

Przed wszystkim zmianom konstrukcyjnym będzie musiała ulec komora spalania, której kształtom i zachodzącym w niej procesom poświęcono jak dotąd niezbyt dużo uwagi. Pamiętać należy, że w całej konstrukcji tłokowego silnika spalinowego komora spalania stanowi najistotniejszy jej szczegół, gdyż rzutując na jakość zachodzącego w niej procesu termochemicznego ma między innymi zasadniczy wpływ na skład spalin "wyprodukowanych" w jej wnętrzu.

W mojej pracy pt. "Ocena zmian wprowadzanych w konstrukcji samochodowych silników ZI w wyniku oddziaływania ustawodawstwa w ochronie naturalnego środowiska człowieka" - opublikowanej w Zeszytach Naukowym Politechniki Śląskiej, seria "Energetyka" z. 46 - 1973 r., przedstawiłem własne koncepcje rozwiązania problemu zmniejszenia zawartości toksycznych składników w spalinach wydalanych z wnętrza przestrzeni roboczych silników spalinowych ZI - do otoczenia.

Przedstawiona w przedmiotowej pracy jedna z koncepcji polegała na zastosowaniu zgłoszonej przeze mnie w dniu 22.XII.1959 r. do Urzędu Patentowego PRL - "Komory spalania o kształcie pełnej kuli dla niskoprężnego, czterosuwowego silnika spalinowego" (Potwierdzenie zgłoszenia projektu wynalazczego nr P. 92674).

Wykonione przeze mnie na podstawie analizy teoretycznej zalety kulistej komory spalania - jako komory przyszłościowego "czystego" silnika spalinowego ZI sprawdzają się tym, że takie firmy jak VW w RFN i Honda w Japonii wprowadzają do swoich seryjnych silników nowe komory spalania, będące pewną odmianą komory postulowanej przeze mnie jeszcze w 1959 r. Firma VW zastosuje przedmiotową komorę w silniku o pojemności skokowej 1600 cm³, natomiast firma Honda w silniku o pojemności skokowej 1950 cm³, oznaczonym w skrócie CVCC (Compound Vortex Controlled Combustion) - co w języku polskim można by określić jako "spalanie sterowane zawirowaniem mieszanki".

Zastosowanie kulistej komory spalania w samochodowym silniku spalinowym ZI wpłynie na:

- 1) zmniejszenie emisji niespalonych względnie częściowo spalonych węglowodorów z wnętrza przestrzeni roboczych silnika do atmosfery,
- 2) zwiększenie odporności silnika na zjawisko spalania ze stukaniem

oraz zezwoli w połączeniu ze zmienionym sposobem zasilania silnika na stosowanie mieszanek ubogich ($\lambda > 1,2$) przy spalaniu, których zawartość CO, CmHn i NxOy w spalinach jest stosunkowo nieduża.

Zmniejszenie emisji niespalonych względnie częściowo spalonych węglowodorów

Kulisty kształt komory spalania zapewnia jej możliwie największą do osiągnięcia zwartość "Z" (możliwie najmniejszą do osiągnięcia wartość stosunku powierzchni komory F_k do jej objętości V_k).

Współczynnik określający zwartość komory spalania można wyrazić jako:

$$Z = \frac{F_k}{V_k} = \frac{1}{D} \cdot \left[4 + \frac{2(\xi - 1)}{S/D} \right] \quad [\text{cm}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

F_k cm^2 - powierzchnia komory spalania,

V_k cm^3 - objętość komory spalania,

D cm - średnica cylindra,

ξ - - stopień sprężania,

S/D - - stosunek skoku tłoka do średnicy cylindra.

Koncentrację węglowodorów w spalinach samochodowych silników ZI można przy stałej wartości współczynnika nadmiaru powietrza λ , określić z następującego wyrażenia:

$$K_{\text{CmHn sp}} = Z \cdot g \cdot K_{\text{CmHn wp}} \quad [\text{ppm}]^x) \quad (2)$$

gdzie:

Z cm^{-1} - współczynnik określający zwartość komory spalania,

g cm - grubość warstwy przyściennej,

$K_{\text{CmHn wp}}$ ppm - koncentracja węglowodorów w warstwie przyściennej (dla paliw benzynowych przy $\lambda = 1$ wielkość tej koncentracji waha się w granicach: 19000...23000 ppm).

Z wyrażenia (2) wynika, że im komora spalania będzie bardziej zwarta, tym koncentracja węglowodorów w spalinach będzie mniejsza.

Poza tym kulisty kształt komory spalania zapewniając silne wzburzenie (ruch wirowy) ładunku świeżej mieszanki wpływa korzystnie na jej ujednorodnienie, przez co nie występują lokalne niedobory powietrza powodujące wzrost emisji: CO i CmHn.

Zwiększenie odporności silnika na zjawisko spalania ze stukaniem

Zgromadzenie znacznej części ładunku świeżej mieszanki w gorącym wnętrzu kulistej komory spalania jak również wytworzenie i utrzymanie silnego zawirowania tego ładunku przed procesem spalania i w chwili jego zapoczątkowania, pozwolą przez lokalne podwyższenie lotności paliwa i przy-

^{x)} ppm - parts per million - części na milion ($1 \text{ ppm} = 10^{-4}\%$).

spieszenie reakcji wstępnej na szybkie, pozbawione cech przewlekłości spalanie wspomnianego ładunku mieszanki już w początkowej fazie procesu spalania. Późniejszy dopływ pozostałej części ładunku chłodnej mieszanki z przestrzeni nad tłokiem do kulistej komory spalania jeszcze bardziej przyczyni się do uodpornienia komory na zjawisko spalania ze stukaniem.

Pamiętać należy, że w przypadku występowania zjawiska spalania ze stukaniem, emisja $NxOy$ wzrasta średnio o 100% z uwagi na znaczny wzrost maksymalnej temperatury spalania.

W silniku bardziej uodpornionym na zjawisko spalania ze stukaniem można:

- przy zachowaniu niezmięnionej liczby oktanowej paliwa, zwiększyć wartość stopnia sprężania ϵ ,
- przy zachowaniu niezmięnionej wartości stopnia sprężania ϵ zmniejszyć liczbę oktanową paliwa.

Ta druga ewentualność jest w aspekcie ochrony środowiska człowieka przed skutkami motoryzacji bardziej cenna, gdyż możliwość stosowania paliw o mniejszej liczbie oktanowej - o mniejszych zawartościach płynu etylowego jako dodatku przeciwstukowego - pozwoli na zmniejszenie zanieczyszczenia atmosfery związkami ołowiu.

Możliwość spalania mieszanek ubogich

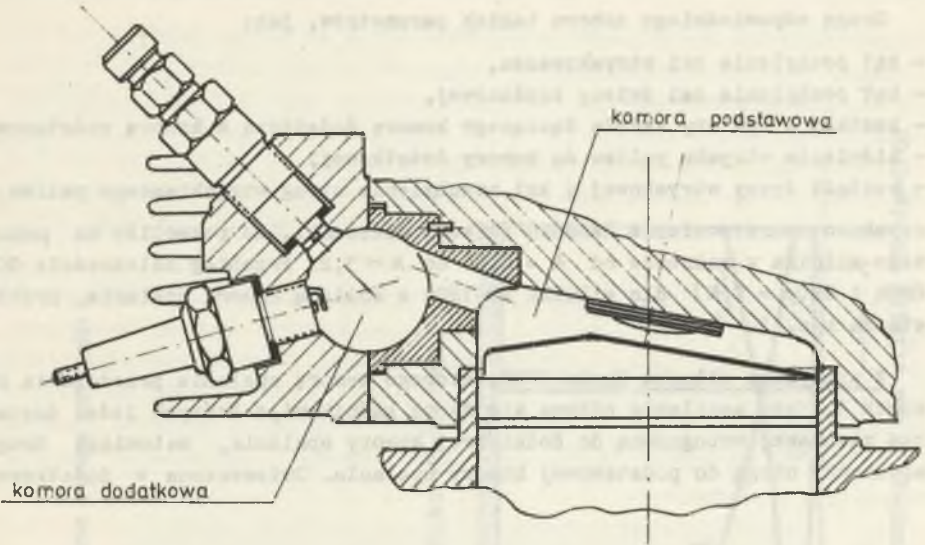
Zakres bezzakłóceniewej pracy silników spalinowych ZI z dotychczas stosowanymi komorami spalania i klasycznymi sposobami zasilania waha się w zależności od wartości współczynnika nadmiaru powietrza w granicach od $\lambda = 0,80$ do $\lambda = 1,15$.

Nadmienić należy, że górna granica zapalności mieszanek benzynowo-powietrznych występuje przy $\lambda \approx 1,17$.

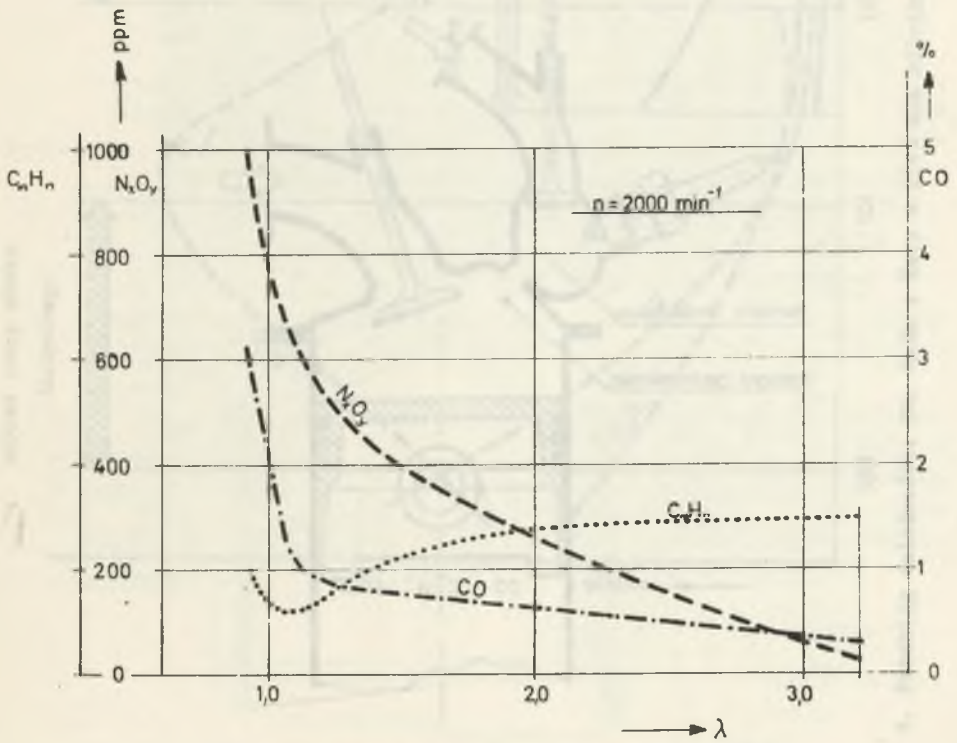
Niemożliwość uruchomienia wspomnianych silników jak i nierówność ich pracy, polegająca na wypadaniu poszczególnych zapłonów nie pozwalają na spalanie w tych silnikach mieszanek ubogich o $\lambda > 1,2$.

Projektowana przeze mnie kulista komora spalania jak i komory spalania silników: VW-1600 oraz Honda-CVCC stanowiąc w pewnym sensie dodatkowe komory spalania w stosunku do komory podstawowej mieszczącej się w przestrzeni nad tłokiem - pozwolą łącznie z odmiennym od klasycznego sposobem zasilania na spalanie mieszanek o $\lambda > 1,2$.

W przypadku silnika VW-1600, którego komorę spalania przedstawia rysunek 1, jego zasilanie odbywa się dwoma sposobami: przez bezpośredni wtrysk paliwa do kulistej komory spalania i przez gaźnik pomocniczy do komory podstawowej. W komorze dodatkowej znajduje się mieszanka bogatsza, natomiast w komorze podstawowej - mieszanka uboga.



Rys. 1. Kulista komora spalania silnika VW-1600



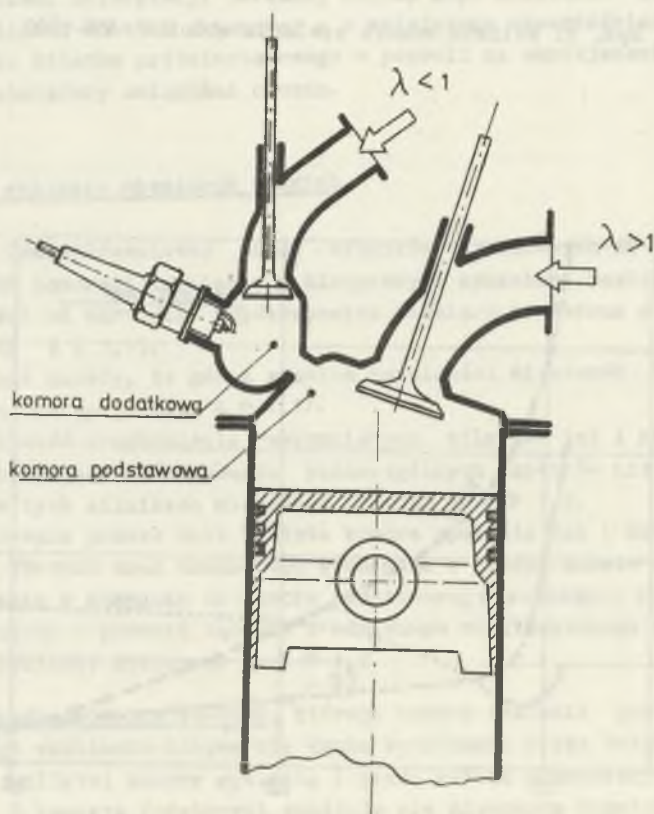
Rys. 2. Przebieg zależności: CO, C_mH_n i $N_xO_y = f(\lambda)$ dla silnika VW-1600

Drogą odpowiedniego doboru takich parametrów, jak:

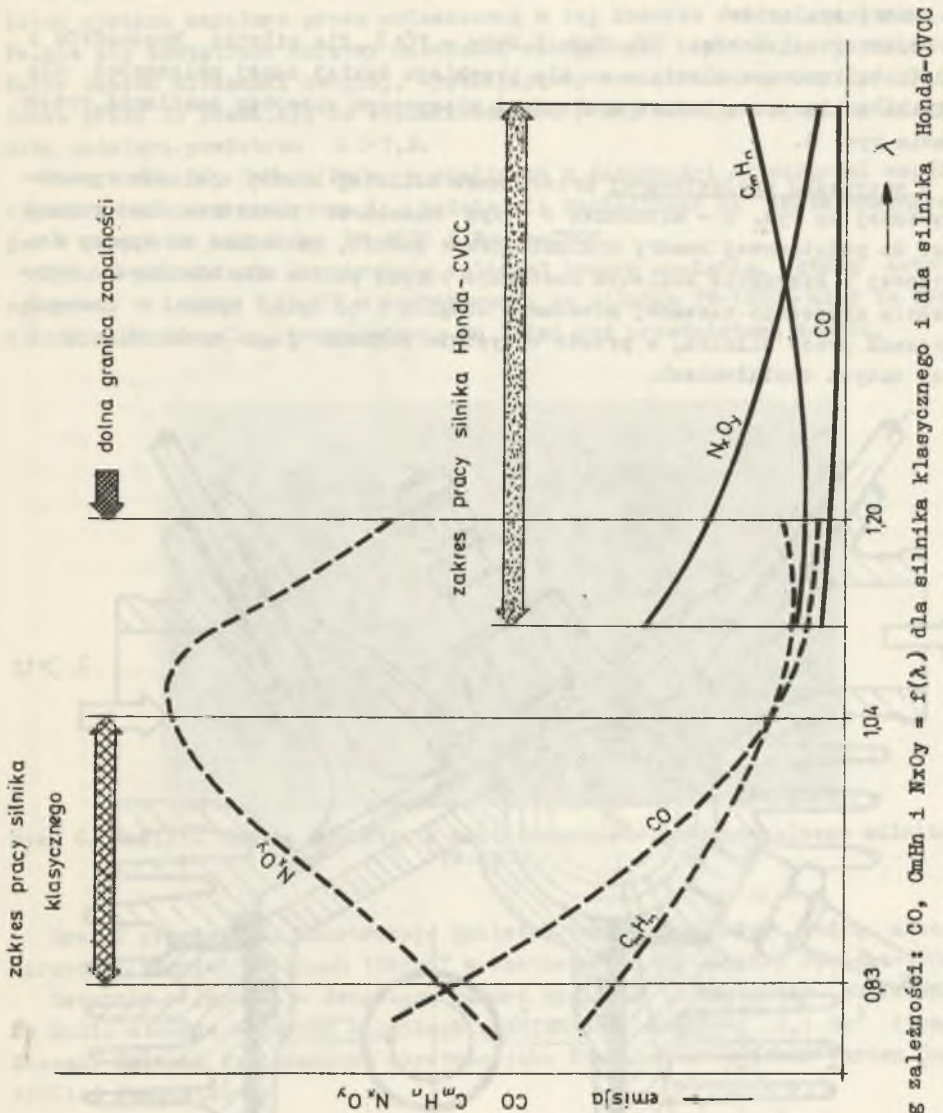
- kąt pochylenia osi wtryskiwacza,
- kąt pochylenia osi świecy zapłonowej,
- kształt i wymiary kanału łączącego komorę dodatkową z komorą podstawową,
- ciśnienie wtrysku paliwa do komory dodatkowej,
- kształt dyszy wtryskowej i kąt rozchylenia strug wtryskiwanego paliwa,

uzyskano uwarstwienie ładunku świeżej mieszanki, co pozwoliło na pracę tego silnika w zakresie od $\lambda = 0,95$ do $\lambda \sim 3,2$. Przebieg zależności: CO , $CmHn$ i $NxOy = f(\lambda)$ dla silnika VW-1600 z kulistą komorą spalania, przedstawia rys. 2.

W przypadku silnika Honda-CVCC, którego komorę spalania przedstawia rysunek 3, jego zasilanie odbywa się dwoma gaźnikami, z których jeden dostarcza mieszankę wzbogaconą do dodatkowej komory spalania, natomiast drugi mieszankę ubogą do podstawowej komory spalania. Umieszczona w dodatkowej



Rys. 3. Komora spalania silnika Honda-CVCC

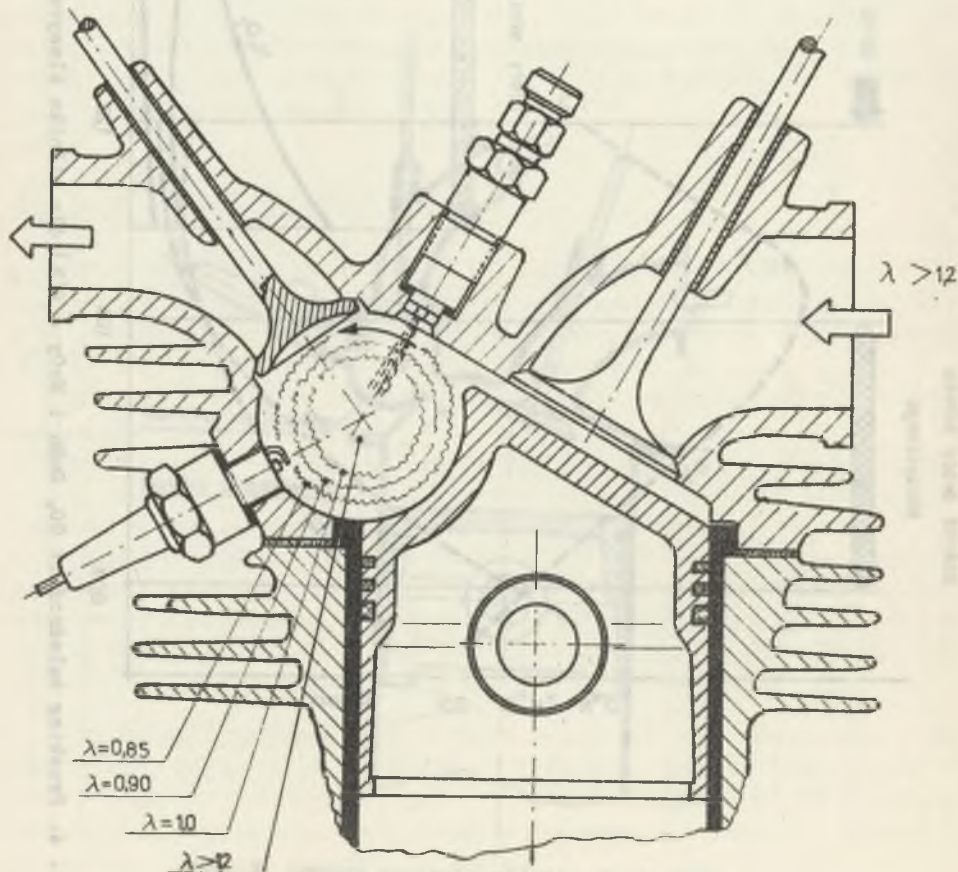


Rys. 4. Przebieg zależności: CO, C_mH_n i $N_xO_y = f(\lambda)$ dla silnika klasycznego i dla silnika Honda-CVCC

komorze spalania świeca zapłonowa bardzo łatwo zapala znajdującą się tam mieszankę bogatszą. Wypływające z dodatkowej komory gorące spaliny powodują stosunkowo łatwy zapłon mieszanki ubogiej wypełniającej podstawową komorę spalania.

Przebieg zależności: CO, C_mH_n i $NxOy = f(\lambda)$ dla silnika Honda-CVCC z dodatkową komorą spalania - na tle przebiegu takiej samej zależności dla silnika z klasyczną komorą spalania i klasycznym sposobem zasilania, przedstawia rys. 4.

W przypadku projektowanej przeze mnie kulistej komory spalania - przedstawionej na rys. 5 - mieszanka o dużym nadmiarze powietrza dostarczana jest do podstawowej komory spalania przez gaźnik, natomiast do komory dodatkowej o kształcie kulistym następuje wttrysk paliwa dla chwilowego wzbogacenia uprzednio zassanej mieszanki ubogiej i to tylko tylko w pewnych okresach pracy silnika, a przede wszystkim podczas jego uruchamiania i przy dużych obciążeniach.



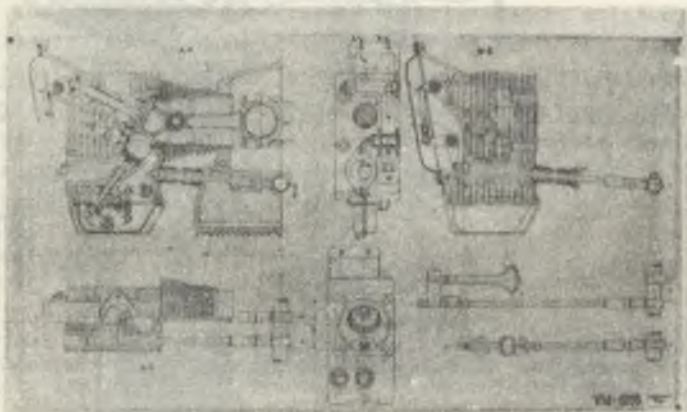
Rys. 5. Kulista komora spalania według projektu autora

Siła odśrodkowa występująca podczas silnego wirowania ładunku mieszanki w kulistej komorze spalania, powoduje jej uwarstwienie.

Najbardziej na zewnątrz znajdują się warstwy mieszanki wzbogaconej, gdzie łatwo zostaną zapalone przez umieszczoną w tej komorze świecę zapłonową. Palące się zewnętrzne warstwy mieszanki wzbogaconej spowodują stosunkowo łatwy zapłon mieszanki ubogiej, wypełniającej wewnętrzne warstwy jej ładunku przez co pozwalają na bezzakłóceniovą pracę silnika przy współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda > 1,2$.

Zawartość: CO, CmHn i NxOy w spalinach w zależności od wartości współczynnika nadmiaru powietrza λ , będzie się kształtować na takim poziomie jak w przypadku silników: VW-1600 i Honda-CVCC.

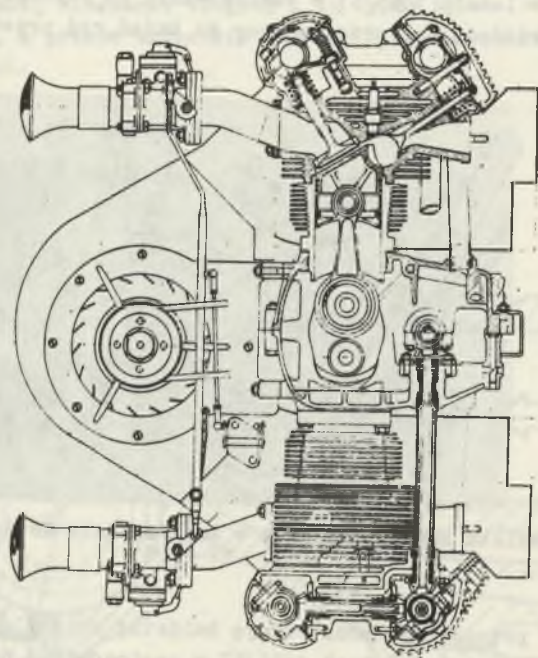
Rys. 6 przedstawia konstrukcję kulistej komory spalania, którą autor opracował w latach 1966/67 w zastosowaniu do silnika VW-1200 - miał to być silnik doświadczalny, przeznaczony do badań nad przedmiotową komorą.



Rys. 6. Kulista komora spalania w zastosowaniu do doświadczalnego silnika VW-1200

Rys. 7 przedstawia konstrukcję kulistej komory spalania, którą autor opracował również w latach 1966/67 w zastosowaniu do silnika Porsche-1600.

Ostatnio w Japonii - dodatkową komorę spalania o kształcie zbliżonym do kuli, stosuje w swoich silnikach o pojemności skokowej $2,1 \text{ dm}^3$ firma Nissan. Silniki te oznaczono skrótowo jako Nissan-NVCC (Nissan Vortex Controlled Combustion).



Rys. 7. Kulista komora spalania w zastosowaniu do silnika Porsche-1600

Zawartość: CO, CmHn i NxOy liczona w g na km w spalinach silnika Nissan-NVCC przedstawia się następująco:

Z a w a r t o ś ć	g/km		
	CO	CmHn	NxOy
<u>Dopuszczalna:</u>			
wg ustawodawstwa USA na 1975 r.	2,12	0,256	1,88
<u>Zmierzona:</u>			
wg testu USA	1,03	0,165	0,99
wg testu japońskiego	1,53	0,13	1,0

Na podstawie wyników badań nad przedstawionymi przykładami zastosowań dodatkowej komory spalania o kształcie kuli, względnie zbliżonym do kuli, można stwierdzić, że rozwiązanie takie jest jednym z najskuteczniejszych dla przyszłościowych "czystych" silników spalinowych ZI, których spaliny zawierałyby: CO, CmHn i NxOy w granicach narzuconych przez ustawodawstwo - mające na celu ochronę biologicznego środowiska człowieka przed skutkami dynamicznie rozwijającej się na całym świecie motoryzacji.

LITERATURA

- [1] Prugar E.: Kierunki zmian w konstrukcji silników spalinowych z zapłonem iskrowym - zmierzających do zmniejszenia toksycznego zagrożenia atmosfery ich spalinami, Kwartalnik Naukowo-Techniczny "Silniki spalinowe", CBKSS-Poznań, nr 3, 1972 r.
- [2] Prugar E.: Ocena zmian wprowadzanych w konstrukcji samochodowych silników spalinowych z zapłonem iskrowym, w wyniku oddziaływania ustawodawstwa o ochronie naturalnego środowiska człowieka, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Energetyka, z. 46, 1973 r.
- [3] Decker G., Brandstetter W.: Erste Ergebnisse mit dem VW - Schichtladungsverfahren, Motortechnische Zeitschrift, nr 10, 1973 r. s.317-322.
- [4] Report der Honda GmbH, Oktober - 1972, Der CVCC - Motor von Honda, Motortechnische Zeitschrift, nr 4, 1973 r., s. 130-131.
- [5] Prototyp eines NVCC - Motors von Nissan. Motortechnische Zeitschrift, nr 1, 1974 r., s. 27-28.

ПРИМЕНЕНИЕ ШАРООБРАЗНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ
 В ЧЕТЫРЕХТАКТНОМ ДВИГАТЕЛЕ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
 С ИСКРОВОМ ЗАЖИГАНИЕМ - ОДИН ИЗ СПОСОБОВ ОХРАНЫ
 СРЕДЫ ОТ ПОСЛЕДСТВИИ МОТОРИЗАЦИИ

Р е з ю м е

В работе представлена собственная концепция конструктивного решения шарообразной камеры сгорания как камеры будущего "чистого" двигателя с искровым зажиганием - на основе камер сгорания двигателей VW-1600 и Honda-CVCC.

THE APPLICATION OF A SPHERICAL COMBUSTION CHAMBER IN A FOURSTROKE
 COMBUSTION ENGINE WITH SPARK IGNITION - AS ONE OF THE
 WAYS OF ENVIRONMENT PROTECTION AGAINST MOTOR-CAR FUMES

S u m m a r y

In the paper the author's own conceptions of a constructive solution of a spherical combustion chamber, regarded as a chamber of the future "clean" motor-car engine with spark ignition - compared with the combustion chambers of VW-1600 and Honda-CVCC engines - have been presented.