

OKREŚLENIE CHARAKTERYSTYKI PRZEPLYWU CZYNNIKA ROBOCZEGO W KANAŁE SSĄCYM GŁOWICY SILNIKA S03

Kazimierz LEJDA¹, Tomasz KUŚNIERZ²

W artykule przedstawiono wyniki badań przepływowych głowic 4-suwowego silnika S03 w różnych stopniach optymalizacji kształtu kanałów ssących. Badania przeprowadzono na stanowisku pomiarowym „Flow Bench” przy stałym ciśnieniu pomiarowym wynoszącym $10^5 \text{H}_2\text{O}$. Celem badań było wyznaczenie wielkości przepływu powietrza przez kanały dolotowe w funkcji otwarcia zaworu ssącego.

1. WSTĘP

Jednym z zespołów odpowiedzialnych za moc silnika jest z całą pewnością głowica. Głównymi elementami głowicy są kanały dolotowe i wylotowe, które tylko pozornie wydają się być nieskomplikowanymi[3]. Optymalizacja kanałów, a w szczególności obszaru gniazda zaworowego, w celu zwiększenia sprawności napełniania i opróżniania komory spalania, jest jednym ze sposobów zwiększania sprawności silników spalinowych. Cel ten można osiągnąć badając kanały w głowicy na stanowisku badawczym zwanym „Flow Bench” [2].

„Flow Bench” jest urządzeniem mierzącym ilość powietrza przepływającego przez elementy silników spalinowych, które są związane z tym medium (głównie kanały w głowicach, kolektory, układy wylotowe, filtry powietrza itp). Bardziej rozbudowane konstrukcje tego urządzenia posiadają możliwość pomiaru, oprócz wielkości ilościowych, także wartości jakościowych przepływającego przez układ czynnika roboczego (np. turbulencje, zawirowania, rozkład powietrza przepływającego przez badany układ) [1].

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki pomiarów głowic 4-suwowego silnika S03, których kanały dolotowe zostały poddane różnego rodzaju modyfikacjom w celu uzyskania jak największego przepływu powietrza. W przeprowadzanych zmianach przewodów dolotowych kierowano się założeniem, aby w jak najmniejszym stopniu zwiększać przekroje poprzeczne poszczególnych sekcji układu dolotowego, celem zachowania bliskich krytycznym prędkościom przepływu czynnika roboczego przez badany układ. Zachowano w ten sposób korzystny rozkład momentu obrotowego w funkcji obrotów wału korbowego. Opisane modyfikacje zostały sprawdzone i potwierdzone na wielu głowicach jednocylindrowego silnika S03, ale ogólna metodologia przeróbek może być z powodzeniem stosowana także do innych głowic silników 4 - suwowych.

2. STANOWISKO BADAWCZE I METODYKA BADAŃ

Dla ułatwienia porównań wyników zastosowano w metodologii badań najczęściej używane jednostki amerykańskie, tj.:

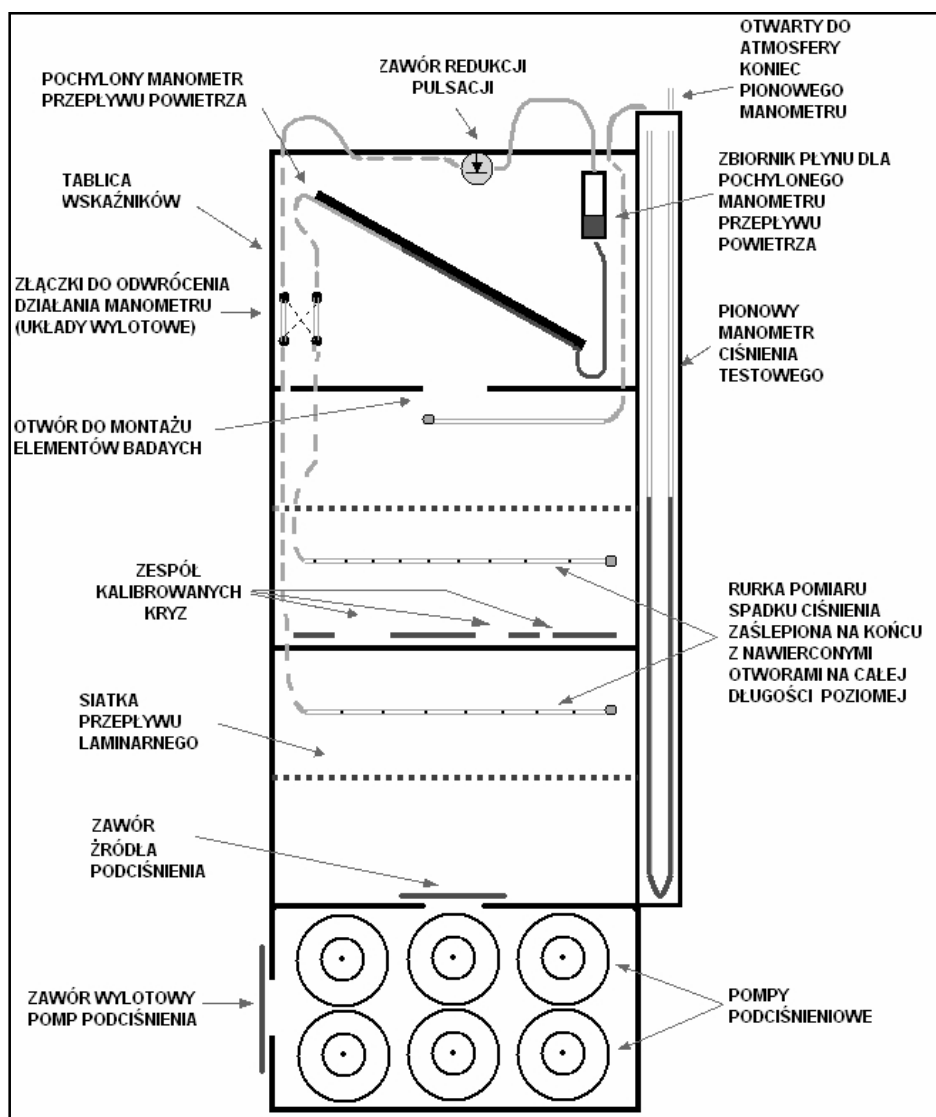
- - *cfm* – stopy sześciennie na minutę,
- - $^{\circ}\text{H}_2\text{O}$ – cale słupa wody.

Stanowisko badawcze do pomiarów przepływowych użyte do testów posiada następującą charakterystykę:

¹ Prof. dr hab. inż. Kazimierz Lejda; Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu

² Mgr inż. Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu

- szeroki zakres pomiarowy (od 6,4 do 378 cfm dla ciśnienia testowego 10'' H_2O oraz możliwość ustawienia ciśnienia w granicach 3 ÷ 38 '' H_2O),
- płynną regulację ciśnienia testowego w zależności od potrzeb,
- możliwość płynnej regulacji kryz pomiarowych w celu dostosowania zakresu pomiarowego do zmiennych warunków pracy badanego obiektu, bez konieczności przerywania pomiarów,
- dużą czułość i stabilność wskazań manometrów cieczowych,
- szczelność przy ciśnieniu / podciśnieniu rzędu 0,5 bar,
- zestaw wymiennych adapterów umożliwiających montaż wielu typów głowic silników 4-suwowych.



Rys. 1. Schemat połączeń użytego do badań stanowiska pomiarowego (widok z przodu) [3]

Stanowisko pomiarowe wyposażono w 4 pompy podciśnieniowe, zamknięte w szczelnej komorze. Każda pompa (zasilanie 220V) posiada osobny silnik elektryczny o mocy 1200W każdy. W segmencie pomiarowym zastosowano 5 rozmiarów kalibrowanych kryz. Rozmiary otworów są skalibrowane w sposób umożliwiający porównanie wyników z badaniami wykonanymi na stanowiskach komercyjnych (tabela 1).

Tabela 1. Parametry kryz pomiarowych zastosowanych w opisywanym stanowisku badawczym dla ciśnienia 10''H₂O [3]

Średnica otworu [mm]	Przepływ [cfm]
51,85	171,3
42,38	113,8
29,98	57,5
21,16	29,0
9,92	6,4

Na stanowisku pomiarowym umieszcza się badaną głowicę i uszczelnia połączenie głowicy z maszyną pomiarową. Przed wykonaniem pomiarów należy zaślepić wszystkie kanały i otwory łączące komorę spalania badanej głowicy z atmosferą. Obiekt badań wyposaża się w zawory spięte pomocniczymi sprężynami o niewielkiej sztywności. Zawory muszą mieć możliwość kontrolowanego otwierania z krokiem 1 mm [2].

Aby zbadać przepływ czynnika roboczego przez przewód dolotowy w głowicy należy:

- 1) zamknąć całkowicie zawór badanego kanału, otworzyć jedną z kryz pomiarowych oraz zawór upustowy, włączyć źródło podciśnienia,
- 2) dostosować podciśnienie układu pomiarowego do wartości wymaganej,
- 3) zawór badanego kanału otworzyć na wysokość 1mm,
- 4) odczytać wartość przepływu powietrza na manometrze pochyłonym, zanotować wynik,
- 5) pomiar powtórzyć dla różnych wzniosów zaworu stosując ustalony krok, aż do maksymalnego otwarcia zaworu [4].

Do badań wybrano 4 głowice silników S03, które zostały poddane różnego rodzaju modyfikacjom. Wyniki pomiarów prezentowane są na rys.5÷8. Główne wymiary badanych głowic przedstawia tabela 2. Podstawowy zakres modyfikacji kanałów ssących przedstawiają schematyczne rysunki (rys.3 i rys.4).

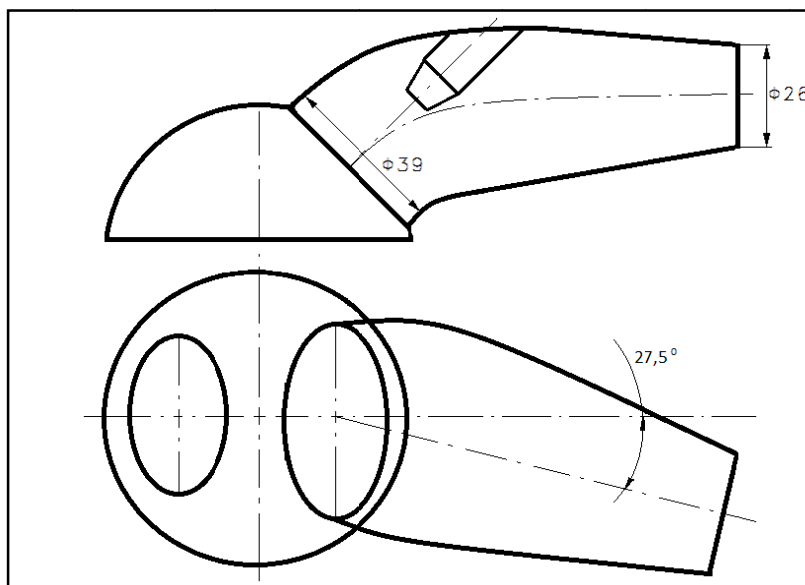
Tabela 2. Główne wymiary badanych głowic jednocylindrowego silnika S03

Głowica nr	Głowica #1 (poj. skokowa silnika 350cm ³)	Głowica #2 (poj. skokowa silnika 350cm ³)	Głowica #3 (poj. skokowa silnika 500cm ³)	Głowica #4 i 5 (poj. skokowa silnika 660cm ³)
Ø wejścia kanału dolotowego [mm]	26	30 / 31	34	37
Ø wewnętrzna kanału ssącego [mm]	39	40	41	43 / 46
Długość kanału ssącego w głowicy [mm]	110	110	110	110
Odchylenie kanału ssącego od osi wzdluznej [°]	27,5	27,5	27,5	27,5

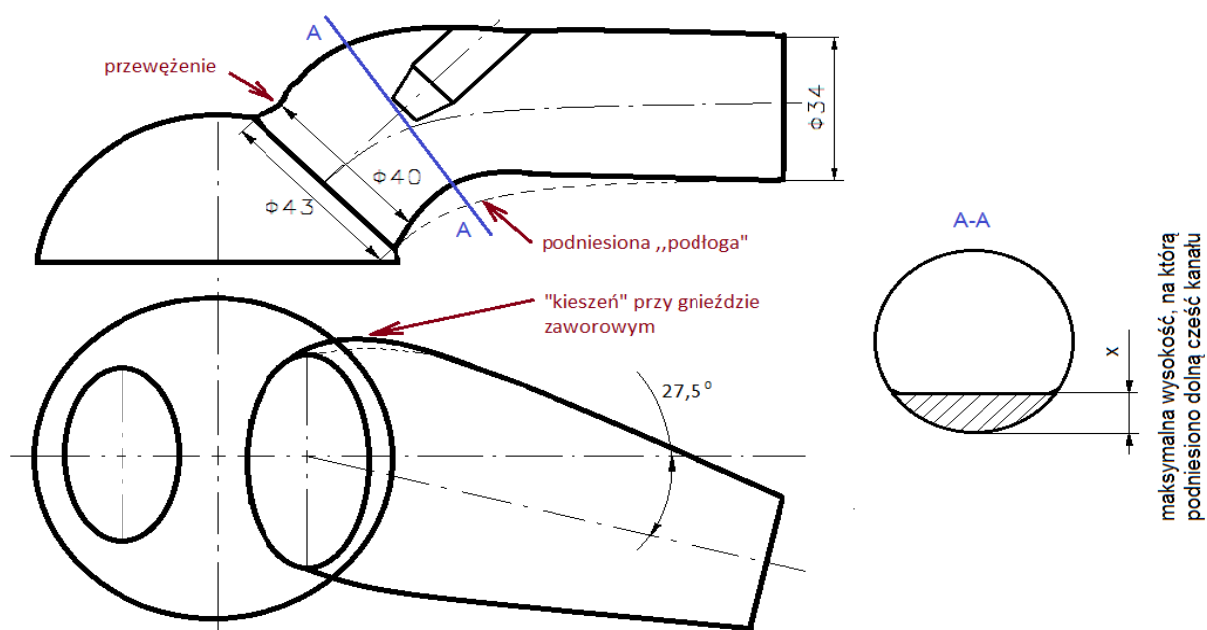
Widok ogólny stanowiska pomiarowego z zamontowanym obiektem badań (głowica 4-suwowego górnozaworowego silnika motocyklowego typu S03) przedstawia rys. 2. Spadek ciśnienia odczytywany jest na odchylnym od pionu manometrze, uchylenie zaworu określane jest przez czujnik zegarowy mocowany w osi zaworu.



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe „Flow Bench” wykorzystane do badań przepływowych kanałów 4-suwowych silników spalinowych (z zamontowaną głowicą silnika S03) [3]



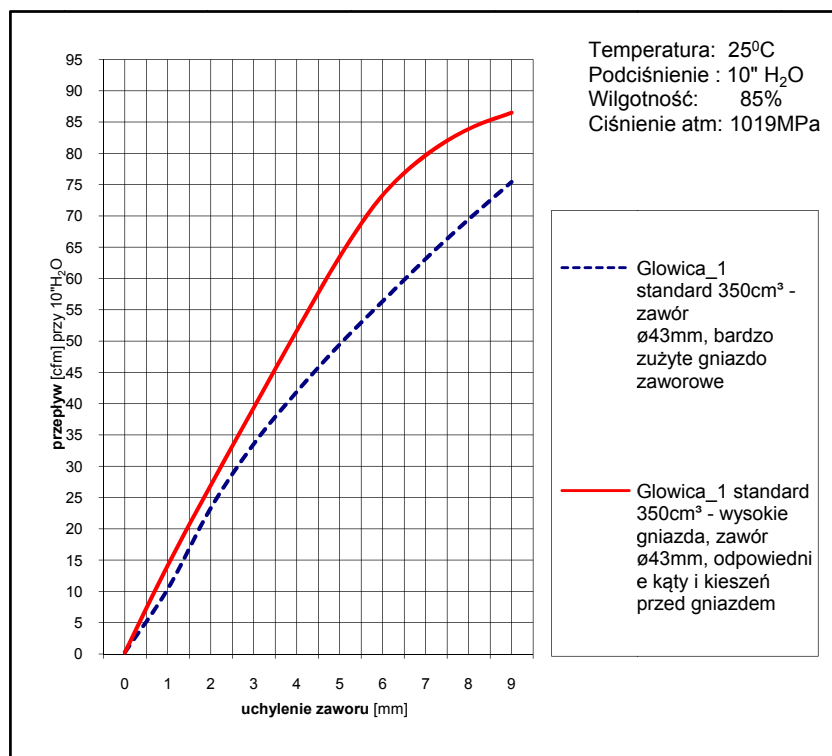
Rys. 3. Schematyczny rysunek przewodu dolotowego silnika S03 w wersji fabrycznej



Rys. 4. Schematyczny rysunek przewodu dolotowego silnika S03 po przeróbkach

3. WYNIKI POMIARÓW

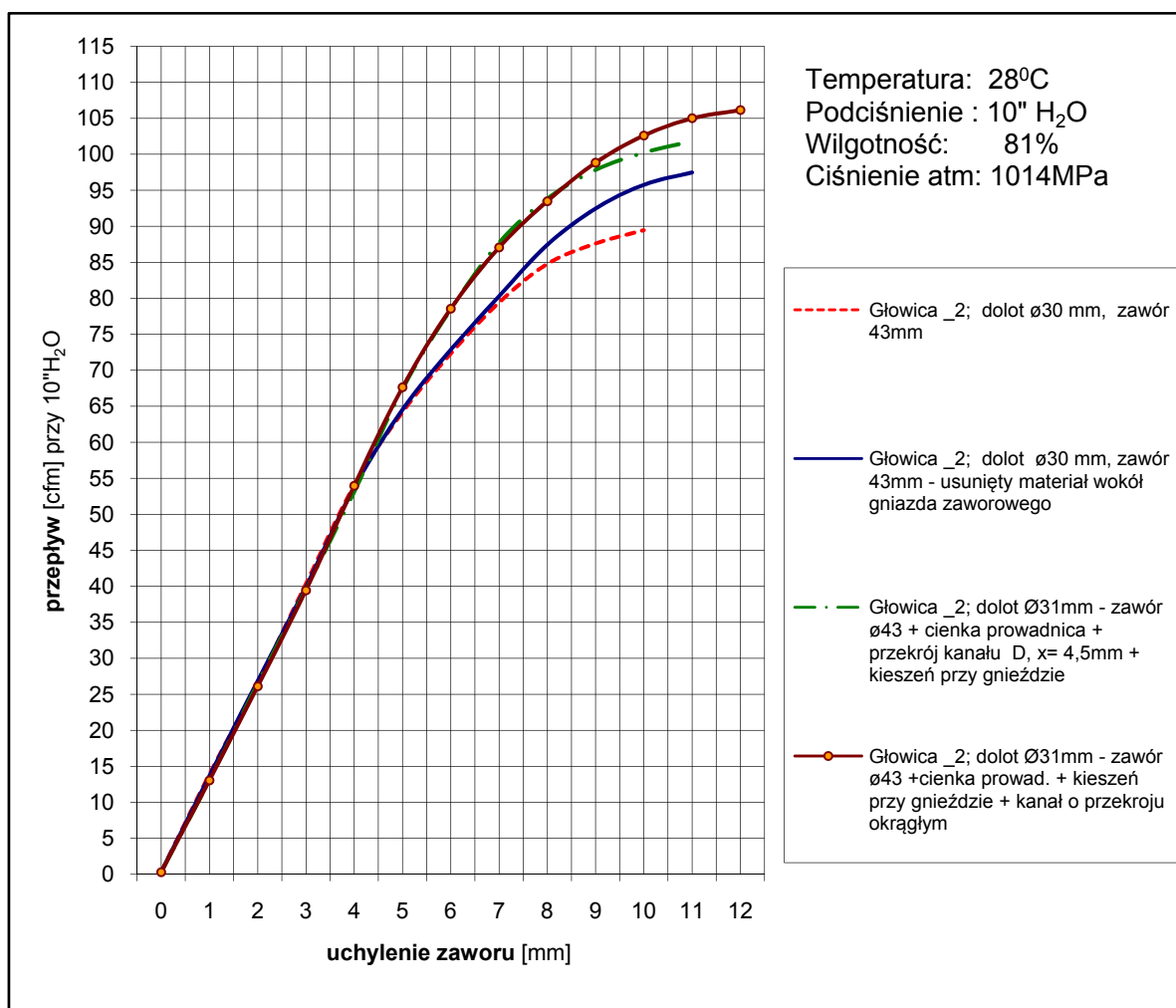
Rys. 5 przedstawia przepływ powietrza przez kanał ssący głowicy #1 silnika S03 o pojemności 350cm³. Linia przerywana (- - -) obrazuje charakterystykę przepływu powietrza dla głowicy o dużym przebiegu bez remontu (gniazdo zaworowe znacznie zużyte w stosunku do pozycji nominalnej). Z uwagi na znaczne obniżenie przylgni zaworowej, w początkowej fazie otwarcia zaworu powierzchnia szczeliny zaworowej, a zatem i przepływ, są bardzo ograniczone.



Rys. 5. Charakterystyka przepływu powietrza przez kanał ssący głowicy nr 1

Duża chropowatość odlewu kanału i niedokładności wykonawcze dodatkowo obniżyły przepływ powietrza. Głowicę #1 poddano regeneracji gniazd i dodatkowym przeróbkom w celu zwiększenia ilościowego przepływu przez przewód ssący, bez powiększania nominalnej jego średnicy na wejściu (ø26mm). Charakterystykę przepływu opisywanej głowicy po modyfikacjach obrazuje linia ciągła (—). Widoczny jest bardzo znaczący wzrost przepływu przez gniazdo ssące w całym zakresie otwarcia zaworu.

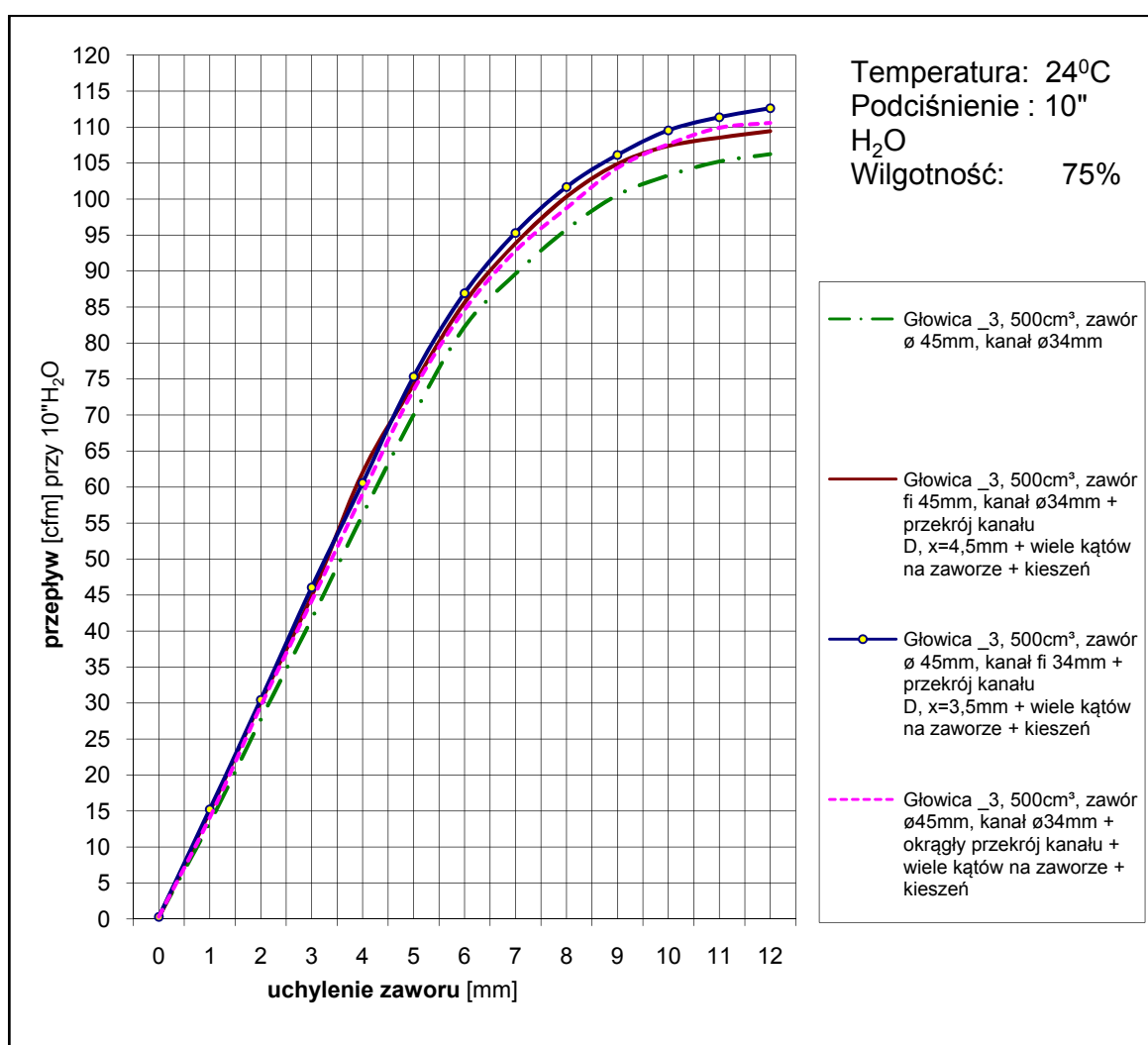
Rys. 6 obrazuje charakterystyki przepływu powietrza przez kanał ssący głowicy #2 silnika S03 o pojemności 350cm³ przeznaczonego dla jednostki napędowej o zwiększonych osiągnięciach. Linia przerywana przedstawia przepływ czynnika roboczego dla oryginalnego kanału dolotowego o wygładzonych ściankach oraz zwiększonej średnicy wejścia do kolektora. Doświadczenia wykazały, że samo zwiększenie średnicy kanału między gaźnikiem a prowadnicą nie przynosi żadnych korzyści w ilościowym przepływie powietrza przez kanał dolotowy głowicy silnika S03. Największą przeszkodą w przepływie powietrza stanowi strefa między prowadnicą a gniazdem zaworowym od strony komory spalania. Linia ciągła obrazuje przepływ powietrza przez przewód dolotowy z właściwie ukształtowaną strefą kanału w strefie gniazda zaworowego. Dalsze modyfikacje (linia —○—) polegały na przeprofilowaniu i skróceniu wystającej do wnętrza kanału prowadnicy zaworowej oraz usunięciu dodatkowego materiału w bezpośredniej bliskości gniazda zaworowego. Uzyskano znaczny wzrost ilościowego przepływu powietrza, począwszy od uchylenia zaworu 4,5mm aż do maksymalnego, wynoszącego 12mm.



Rys. 6. Charakterystyka przepływu powietrza przez kanał ssący głowicy nr 2

Linia (— • — • —) przedstawia charakterystykę przepływu przez wyżej opisany kanał z jedną modyfikacją, polegającą na zmianie przekroju poprzecznego badanego przewodu z okrągłego na kanał o przekroju w kształcie litery D, gdzie "wyplaszczenie" zlokalizowane jest na części dolnej kanału. Nowy kształt przewodu dolotowego został zrealizowany przez nałożenie materiału w istniejącym kanale zgodnie z rys. 4 o doświadczalnie wyznaczonej maksymalnej wysokości wypełnienia $x=4,5\text{mm}$. Badania wykazały, że pomimo zmniejszenia powierzchni przekroju poprzecznego kanału o 7%, przepływ ilościowy w prawie całym zakresie otwarcia zaworu nie uległ zmianie, a w przedziale uchylenia zaworu od 6 do 8mm przepływ nieznacznie się poprawił. Wskazuje to na strefy martwego przepływu na dolnej części kanału, co może powodować szkodliwe zawirowania czynnika roboczego, a w konsekwencji zmniejszenie ilości przepływającego powietrza.

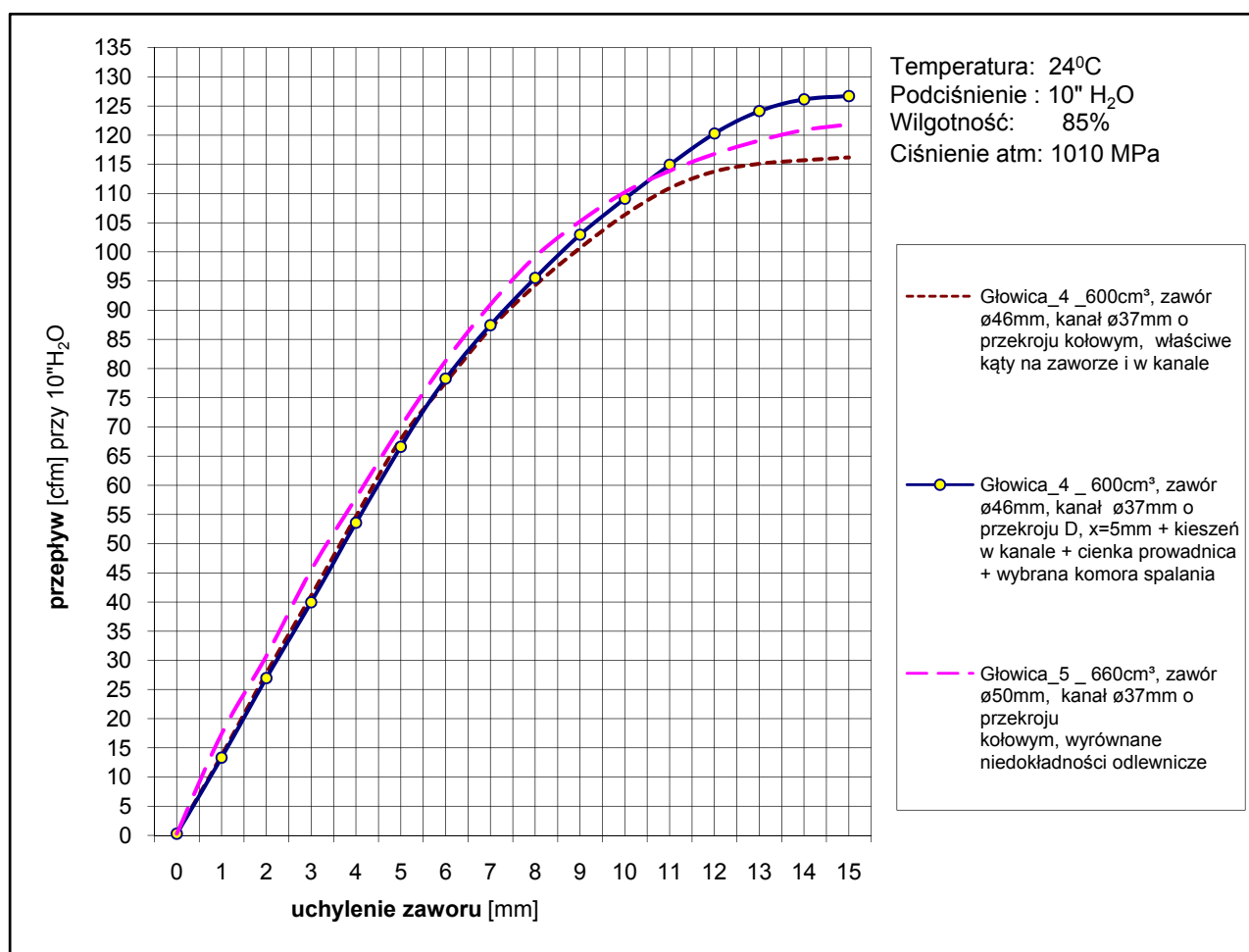
Rys. 7 przedstawia charakterystykę przepływu głowicy #3 przeznaczonej dla silnika o pojemności skokowej 500cm^3 . Charakteryzuje się ona powiększoną średnicą kanału dolotowego do 34mm oraz zmianą średnicy zaworu dolotowego z $\varnothing 43\text{mm}$ do $\varnothing 45\text{mm}$.



Rys. 7. Charakterystyka przepływu powietrza przez kanał ssący głowicy nr 3

Pierwszą wersję kanału o wygładzonych ściankach i dopracowanych kątach strefy gniazdo-zawór przedstawia linia (— • — • —). Linia przerywana (- - - -) przedstawia charakterystykę przepływu dla kanału z wykonanymi zmianami wg specyfikacji przedstawionej dla głowicy #2. Uzyskano znaczny przyrost przepływu powietrza w całym zakresie otwarcia zaworu. Przewód dolotowy poddano następnym modyfikacjom, polegającym na podniesieniu dna kanału dolotowego (przekrój poprzeczny zmieniony z okrągłego na kształt D o wysokości $x = 4,5\text{mm}$) co obrazuje linia ciągła

przepływu (—). Mimo zmniejszenia przekroju poprzecznego kanału w stosunku do przekroju okrągłego o 7,8%, uzyskano minimalny przyrost przepływu w zakresie otwarcia zaworu 1÷ 9,5mm. Powyżej 9,5mm, aż do granicznych 12mm uchylecia zaworu, przepływ dla tak przygotowanego przewodu dolotowego zmniejszył się nieznacznie. Ostateczną modyfikacją było zmniejszenie wysokości x wypełnienia kanału w kształcie litery D z 4,5mm na 3,5mm. Charakterystykę przepływu przez kanał ssący głowicy w tej specyfikacji przedstawia linia ciągła z kropkami (—○—). Przepływ czynnika roboczego wzrósł w całym przedziale otwarcia zaworu aż do maksymalnych 12mm. Silnik z głowicą #3 oraz przepływem przedstawionym linią (—•—•—) na hamowni bezwładnościowej (podwoziowej) wykazał na tylnym kole odpowiednio 21KM mocy przy ok. 5700obr/min oraz moment obrotowy w wysokości 30,5 Nm przy ok. 4800 obr/min. Ten sam silnik (bez innych dodatkowych przeróbek) ze zmianami kanału ssącego głowicy #3 przedstawionymi linią (—○—○—) wykazał na tylnym kole moc 25,5KM przy ok. 5750obr/min i moment obrotowy 34,8 Nm przy ok. 4600 obr/min. Należy podkreślić fakt wzrostu wartości momentu obrotowego w całym zakresie obrotów badanego silnika (2000-6500obr/min).



Rys. 8. Charakterystyka przepływu powietrza przez kanał ssący głowicy nr 4 i 5

Rys. 8 przedstawia charakterystykę przepływu dwóch głowic przeznaczonych do silników o pojemnościach skokowych 600 i 660 cm³ o średnicach kanałów dolotowych rozszerzonych do 37mm. Linia przerywana (---) obrazuje przepływ przez przewód dolotowy głowicy #4 silnika o pojemności 600 cm³, wyposażonego w zawór dolotowy o średnicy 46mm, który charakteryzuje się dopracowaną powierzchnią oraz stosowaniem dużych promieni i zaokrągleń w poszczególnych sekcjach.

Po dokonaniu modyfikacji (m.in. kanał ssący o zredukowanym polu przekroju o 8%), przepływ przez badaną głowicę zwiększył się znacząco głównie w górnym zakresie otwarcia zaworu, od 9mm aż do granicznych 15mm (linia —○—○—)

Opisywany silnik z układem rozrządu o wzniosach zaworów wynoszących maksymalnie 12mm wykazał na hamowni podwoziowej na kole odpowiednio moc 30,3KM w zakresie 5400-6200 obr/min oraz moment obrotowy 43Nm przy 4500obr/min (przed modyfikacjami moc wynosiła 27,7KM przy ok. 5500 obr/min).

Linia (— — — —) obrazuje charakterystykę przepływu przez głowicę #5 z zaworem dolotowym powiększonym do 50mm, po nieznacznych modyfikacjach kształtu kanału. Widoczny jest wzrost wielkości przepływu w stosunku do głowicy #4 w całym zakresie otwarcia zaworu, aż do wartości 10,5mm.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone doświadczenia dla głowicy silnika S03 ujawniły tzw. „martwe strefy” dla przepływu powietrza w kanale ssącym, zlokalizowane na dnie kanału w bezpośredniej bliskości gniazda zaworowego, których usunięcie (przez nałożenie dodatkowego materiału wewnątrz przewodu) nie pogarsza ilościowego przepływu czynnika roboczego, a w pewnym zakresie uchylenia zaworu ten przepływ poprawia. Przeprowadzone próby drogowe i hamowniane potwierdziły, że wprowadzone zmiany w obrębie kanałów głowicowych poprawiają charakterystykę zewnętrzną silnika S03 w sposób odczuwalny i mierzalny. Przedstawiona w niniejszym artykule metodologia modyfikacji kanałów głowicowych może stanowić ogólną bazę wyjściową do przeprowadzania zmian w głowicach silników innych typów, także wielocylindrowych.

W aktualnym okresie zapotrzebowania na większe moce silników, optymalizacja przepływu w kanałach głowicowych silników spalinowych wydaje się być jednym z najtańszych i efektywnych sposobów poprawy sprawności jednostek napędowych [2].

LITERATURA

- [1] Bettes H.: *Engine airflows*. HP Books, New York 2010.
- [2] Kuśnierz T.: *Badanie przepływu gazów w głowicy 4-suwowego silnika spalinowego*. Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr 2, Seria: Transport, Rzeszów 2011.
- [3] Lejda K., Kuśnierz T.: *Stanowisko badawcze do pomiarów przepływu gazów w kanałach głowicowych 4-suwowego silnika spalinowego*. Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr 3, Seria: Transport, Rzeszów 2012.
- [4] Źródła internetowe.

DEFINING CHARACTERISTICS OF AIR FLOW THROUGH THE INLET CHANNEL OF THE S03 ENGINE CYLINDER HEAD

This paper presents the results of flow tests 4-stroke S03 engine cylinder heads for different stages of shape optimization suction channels. The study was performed on the test bench called „Bench Flow” at constant pressure measuring of 10" H₂O. The purpose of research was determine the flow rate of air through the inlet channel as a function of the opening of the intake valve.