

Piotr Bielawski\*, Cezary Boćkowski  
Akademia Morska w Szczecinie

# Pneumatyczny sensor szczelności komory roboczej silnika spalinowego

## Pneumatic leak sensor of the working chamber of an internal combustion engine

### ABSTRACT

Tightness of the working chamber is caused by leakage of the working medium between the piston and bushing, on the valves and between the head and the sleeve. The reason for the increase in leakage is wear, and the cause of damage to the chamber components may be excessive leakage. A currently offered equipment for assessing the tightness of the combustion chamber has been described. The possibility of developing these equipment was indicated. The construction of a pre-prototypical, pneumatic leak sensor of the combustion chamber has been described. The results of leak testing of the working chamber of a small combustion engine are presented.

**Keywords:** combustion chamber, tightness, nozzle, leak sensor

### STRESZCZENIE

Nieszczelność komory roboczej spowodowana jest przeciekami czynnika roboczego między tłokiem i tuleją, na zaworach i między głowicą i tuleją. Przyczyną wzrostu nieszczelności jest zużycie, a przyczyną uszkodzeń elementów może być nadmierny przeciek. Opisano obecnie oferowane urządzenia do oceny szczelności komory roboczej silników. Wskazano na możliwość rozwoju tych urządzeń. Opisano budowę przedprototypowego, pneumatycznego sensora komory roboczej. Przedstawiono wyniki badań szczelności komory roboczej małego silnika spalinowego.

**Słowa kluczowe:** komora spalania, nieszczelność, dysza, sensor szczelności

### 1. Wstęp

Nieszczelności w komorze roboczej maszyny tłokowej zmniejszają sprawność energetyczną maszyny, a w przypadku silników spalinowych mogą być dodatkowo przyczyną uszkodzeń zaworów, uszczelnień, tulei i pierścieni tłokowych. Nieszczelność między pierścieniami i tuleją w silniku skutkuje przeciekami – przedmuchem gorących gazów między tuleją i pierścieniami. Przedmuchi gazów powodują zrywanie filmu olejowego między tuleją i pierścieniami, co może spowodować zacieranie tłoka w tulei. Podobnie w przypadku zaworów i uszczelnień, przedmuchi gorących gazów mogą powodować erozję gazową par gniazdo – grzybek, głowica – uszczelnienie podgłowicowe.

Do oceny wartości nieszczelności / wartości przecieków można stosować znane z badań nieniszczących metody oceny szczelności. Metody badań szczelności opisane są w normie PN-EN 1779. Zastosowanie tych metod w przypadku zmontowanych maszyn tłokowych jest problematyczne. Z metod przedstawionych w normie PN-EN 1779 do oceny przecieków na pracujących maszynach tłokowych może być bezpośrednio stosowana metoda ultradźwiękowa. Daje ona jednakże dobre rezultaty tylko w przypadku przecieków (nieszczelności) kanałowych na zaworach i uszczelnieniach podgłowicowych.

### 2. Ocena szczelności komory roboczej

Znane są dwie metody oceny szczelności komory spalania silników [2]. Pierwsza metoda polega na pomiarze maksymalnego ciśnienia sprężania i porównanie wartości otrzymanej z wartością wzorcową ustaloną zazwyczaj z wyników

prób na hamowni. Druga polega na wtłaczaniu powietrza do zamkniętej komory spalania i ocenie przecieku.

W przypadku pierwszej, pomiaru ciśnienia sprężania w badanej komorze spalania dokonuje się po „podwieszeniu” pompy paliwowej, za pomocą sensora ciśnienia połączonego z badaną komorą spalania kurkiem indykatorowym. Przy porównywaniu ciśnień uwzględnić należy to, że ciśnienie sprężania zależy od prędkości obrotowej i ciśnienia powietrza doładowującego.

**Tab. 1.** Wartości graniczne spadków ciśnień w komorze spalania.  
**Tab. 1.** Limiting values of pressure drops in the combustion chamber.

Względny spadek ciśnienia $\Delta p/p \cdot 100\%$	Stan techniczny komory spalania
0 ÷ 5	bardzo dobry
6 ÷ 25	dobry
powyżej 25	wymaga ustalenia przyczyny przecieku

Druga metoda, opisana w [3], polega na zastosowaniu urządzenia w postaci przewodu z dwoma dyszami i dwoma manometrami: jeden w przewodzie przed dyszami, drugi w przewodzie między dyszami. Takie urządzenie było i jest oferowane przez różne firmy, między innymi Hazwerk Polska. Urządzenie łączy się z komorą spalania przez kurek indykatorowy, otwór od wtryskiwacza, otwór świecy zapłonowej lub inny otwór. Pomiar przeprowadza się przy zamkniętych zaworach i ustawieniu tłoka w określonych położeniach między innymi w GMP (górnym martwym położeniu). Przy braku przecieku, po ustaleniu ciśnienia obydwie manometry powinny wskazywać to samo ciśnienie. Istniejący przeciek w komorze spalania powoduje, że na manometrze między

\*Autor korespondencyjny. E-mail: p.bielawski@am.szczecin.pl

dyszami następuje spadek ciśnienia o  $\Delta p$  w porównaniu z ciśnieniem  $p$  przed dyszami. Miarą przecieku jest w tym urządzeniu względny spadek ciśnienia  $\Delta p/p \cdot 100\%$ . Dla silników o zapłonie samoczynnym stosowana jest za [4] reguła wnioskowania podana w tab. 1.

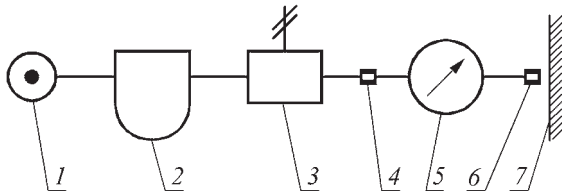
Pomiar względnego spadku ciśnienia przy zamkniętych zaworach dodatkowo w miejscach innych niż GMP umożliwia ocenę rozkładu zużycia tulei wzdłuż tworzącej tulei.

### 3. Urządzenie z manometrem różnicowym

Urządzenie z dwoma manometrami i dwoma dyszami nie jest powszechnie stosowane w okrętownictwie i przemyśle ze względu na niejednoznaczne kryteria oceny. Wskazane jest znalezienie metody i urządzenia, które pozwalają na pomiar przecieku. Rozwiązania należy szukać, wykorzystując prawa hydromechaniki i rozwiązania stosowane w pneumatycznych urządzeniach pomiarowych.

W hydromechanice wyróżnia się dwa rodzaje zwężek: zwężki dławiące / dysze i kryzy. Dla kryzy stosunek długości do średnicy przepływu / rurociągu jest stosunkowo mały. W przypadku dyszy długość dyszy jest większa od średnicy przepływu. Między strumieniem objętości przepływającym przez zwężkę i różnicą ciśnień przed i za zwężką istnieje zależność. W przypadku dyszy jest ona liniowa.

Zasada działania przyrządów z manometrami i dyszami jest zasadą wykorzystywaną w pneumatycznych urządzeniach pomiarowych, np. do pomiaru odległości, rys.1. Podstawowym elementem urządzeń pneumatycznych jest dysza. Pneumatyczne urządzenia pomiarowe opisane są w przykładowo w [5-10].

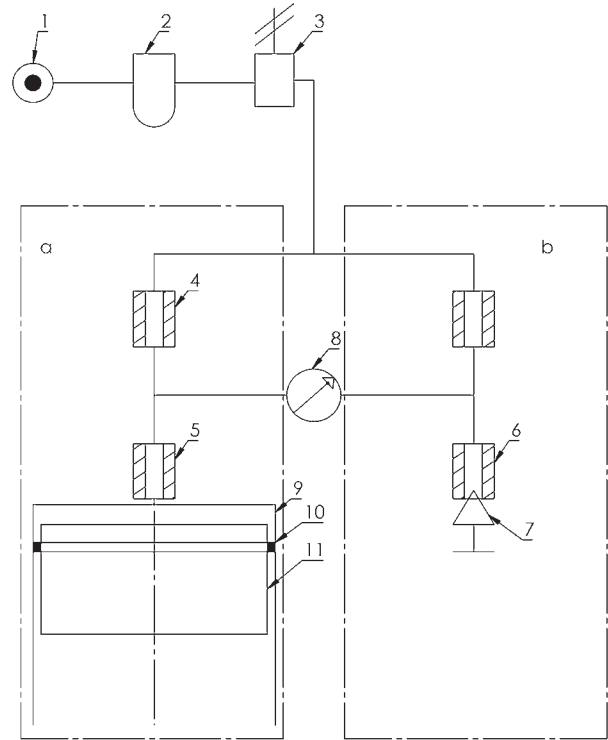


Rys. 1. Tor do pomiaru metodą ciśnieniową [5]: 1 – źródło sprężonego powietrza, 2 – filtr powietrza, 3 – zawór redukcyjny, 4 – dysza wstępna, 5 – manometr, 6 – dysza pomiarowa, 7 – badany obiekt.

Fig. 1. Track for measurement with pressure method [5]: 1 - source of compressed air, 2 - air filter, 3 - reducing valve, 4 - pre-nozzle, 5 - manometer, 6 - measuring nozzle, 7 - object under study.

W układzie jak na rys.1 spadek ciśnienia zasilającego zachodzi częściowo na dyszy wstępnej i reszta na dyszy pomiarowej. Stosunek obydwu ciśnień zależy od stosunku oporów przepływu na obydwu dyszach. Zmniejszanie pola przekroju dyszy pomiarowej spowoduje wzrost ciśnienia przed dyszą pomiarową. Jeżeli zmniejszenie pola będzie niewielkie (mały opór przepływu), spadek ciśnienia zasilającego nastąpi głównie na dyszy wstępnej. Jeżeli zmniejszenie pola przekroju dyszy pomiarowej będzie duże (duży opór przepływu), przez przewód popłynie niewielka ilość powietrza, co będzie skutkowało tym, że na dyszy wstępnej nastąpi niezauważalny spadek ciśnienia, a cały spadek ciśnienia zasilania odbędzie się na dyszy pomiarowej. Jeżeli szczelina między dyszą pomiarową a badanym obiektem

jest duża (mały opór przepływu), spadek ciśnienia zasilającego nastąpi głównie na dyszy wstępnej i zostanie zmierzony tylko niewielki spadek na dyszy pomiarowej. Jeżeli szczelina jest mała (duży opór przepływu), przez przewód popłynie niewielka ilość powietrza, co skutkuje tym, że na dyszy wstępnej nastąpi niezauważalny spadek ciśnienia, a cały spadek ciśnienia zasilania odbędzie się na dyszy pomiarowej [5].



Rys. 2. Pneumatyczny sensor szczelności komory roboczej silnika spalinowego: 1 – źródło sprężonego powietrza, 2 – filtr powietrza, 3 – zawór redukcyjny, 4 – dysza wstępna, 5 – dysza pomiarowa, 6 – dysza porównawcza, 7 – zawór regulacyjny, 8 – manometr różnicowy, 9 – tuleja cylindrowa, 10 – pierścień tłokowy, 11 – tłok, a – tor pomiarowy, b – tor porównawczy.

Fig. 2. Pneumatic leak sensor of the working chamber of an internal combustion engine: 1 - source of compressed air, 2 - air filter, 3 - reducing valve, 4 - pre-nozzle, 5 - measuring nozzle, 6 - comparison nozzle, 7 - regulating valve, 8 - differential pressure gauge, 9 - cylinder liner, 10 - piston ring, 11 - piston, a - measuring track, b - comparison track.

W przyrządach pneumatycznych stosowane są również rozwiązania z manometrem różnicowym. Wydaje się, że takie rozwiązanie można wykorzystać do pomiarów szczelności komory spalania, rys.2. Tory pomiarowe z manometrem różnicowym stosuje się, jeżeli nie mierzy się wartości strumienia objętości, lecz porównuje się dwa strumienie. Dwa strumienie są jednakowe, jeżeli przepływ przez dwie dysze pomiarowe jest jednakowy, niezależnie od tego, jaki jest całkowity strumień objętości. W tym celu w urządzeniu pomiarowym tworzy się dwa tory pomiarowe, każdy z dyszą wstępną i pomiarową, rys.2. Mierzone jest nie ciśnienie w jednym i drugim torze względem otoczenia, ale ciśnienie pomiędzy obydwoma torami a i b. Jeżeli przez obydwie tory przepływa taka sama ilość gazu, to różnica ciśnień wynosi zero. Różni się strumień objętości jednego toru od drugiego,

to zmienia się tam ciśnienie i tym samym różnica ciśnień. Strumień objętościowy toru b regulowany jest zaworem regulacyjnym 7.

Celem weryfikacji rozwiązania przeprowadzono badania komory spalania małego dwusuwowego silnika spalinowego. Zbudowano układ według rys. 2. Średnicę dysz dobrano z warunku, że szczelina między tłokiem i tuleją może dopiero wtedy dławić przepływ powietrza, jeżeli powierzchnia A przekroju szczeliny jest mniejsza od kołowego przekroju dyszy pomiarowej:  $A_{gr} < \pi d^2/4$ . Jako zaworu regulacyjnego użyto dostępnego do badań zaworu dławiącego.

Zawór dławiący jest również dyszą. Za pomocą śruby regulacyjnej można ustawić szczelinę za dyszą i tym samym regulować przepływający strumień objętości płynu. Miarą wartości strumienia objętości jest liczba działek odczytana na bębnie zaworu (0 działek – zawór zamknięty). Wartość bezwzględna strumienia objętości można wyznaczyć z charakterystyki zaworu. Potrzebny jest jednak dodatkowy pomiar spadku ciśnienia na zaworze.

Podczas badań komory spalania zmieniano szczelność komory poprzez montaż pierścieni znajdujących się w różnym stanie technicznym. Po wymianie pierścienia pojawiała się różnica ciśnienia na manometrze różnicowym, rys. 3. Za pomocą zaworu dławiącego doprowadzano do „wyzeroowania manometru różnicowego”, rys.3. Odczytywano liczbę działek na bębnie zaworu.



Rys. 3. Przykładowy przebieg różnicy ciśnień podczas badania szczelności.

Fig. 3. An example of the course of the pressure difference during the leak test.

Pomiaru przecieku dla danego cylindra dokonywano przy ciśnieniu 2 bar powietrza zasilającego, w określonych wybranych położeniach tłoka w cylindrze, w położeniach w których wszystkie zawory danego cylindra są zamknięte. Wybranymi położeniami tłoka są górne martwe położenie (GMP) i położenie, przy którym dla danej maszyny prędkość tłoka jest największa. Wyniki zamieszczono w tab.2.

Tab. 2. Wyniki badań szczelności komory roboczej małego silnika.

Tab. 2. The results of leak testing of the small engine work chamber.

Pierścień		zużyty	nowy	innego producenta	pierścień połamany
Położenie tłoka w cylindrze	0° (GMP)	5 działek	4,5 działki	5 działek	6,5 działek
	45°	4 działki	3 działki	3,5 działek	-
Spadek różnicy ciśnień po zmianie położenia		24 kPa	12,5 kPa	19 kPa	-

#### 4. Zakończenie

Potwierdzono przydatność sensora z manometrem różnicowym do pomiaru szczelności komory spalania. Możliwe jest wykrycie i rozróżnienie nieszczelności spowodowanej zużyciem pierścienia i nieszczelności spowodowanej zużyciem tulei cylindrowej. Wskazane są dalsze prace konstrukcyjne celem między innymi wyeliminowania zaworu dławiącego.

#### 5. Literatura/References

- [1] PN-EN 1779. Badania nieniszczące. Badania szczelności. Kryteria wyboru metody i techniki
- [2] St. Kluj: Diagnostyka urządzeń okrętowych. Studium Doskonalenia Kadr S.C. Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni.
- [3] Gricaj L.: Diagnostičeskie parametry glawnych sudowych maloobrotnych diezelej. Trudy CNIMF, 174/73
- [4] Syromiatnikow W.F.: Awtomatika kak sriedstwo diagnostyki na morskich sudach. Wyd. Sudostrojenie, Leningrad 1976
- [5] Buch zur Längenprüftechnik. <http://www.urlich-rapp.de/>, 2007.
- [6] DIN 2271. Pneumatische Längenmessung.
- [7] Pneumatisches Oberflächen – Prüfgerät. Bedienungsanleitung. VEB Maschinenindustrie Werdau, Werdau 1976.
- [8] Zelczak A.: Pneumatyczne pomiary długości. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
- [9] Zelczak A.: Podstawy konstrukcji i zastosowanie pneumatycznych przyrządów pomiarowych do kontroli złożonych kształtów wewnętrznych. Przegląd Mechaniczny, 10/2006, s. 9–17.
- [10] Zelczak A.: Przyczynek do racjonalizacji pomiarów średnic otworów przyrządami pneumatycznymi. Przegląd Mechaniczny, 2/2004, s. 11–16.