

TENDENCJE ZMIAN KONSTRUKCYJNYCH WTRYSKIWACZY SILNIKÓW O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

Marek Idzior

Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Politechnika Poznańska

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki analiz dotyczących zmian konstrukcyjnych wtryskiwaczy silników o zapłonie samoczynnym stymulowanych przede wszystkim wymogami ekologii. Omówiono tendencje zmian konstrukcyjnych oraz technologiczno-materiałowych. Przedstawiono także wybrane wyniki emisji toksycznych składników spalin oraz wskaźników akustycznych związane z analizowanymi tendencjami zmian.

Słowa kluczowe: zmiany konstrukcyjne, toksyczne składniki spalin, wskaźniki akustyczne

WSTĘP

Silnik spalinowy jest jednym z głównych emiterów zanieczyszczeń środowiska, zwłaszcza jego atmosfery. Źródło tych zanieczyszczeń – emisja toksycznych składników spalin – w głównej mierze zależy od efektywności spalania paliwa, uwarunkowanej przygotowaniem i stanem mieszanki palnej.

Rosnące wymagania dotyczące ograniczenia emisji toksycznych składników spalin oraz CO₂ spowodowały zainteresowanie silnikami o zmniejszonym zużyciu paliwa, czyli silnikami ZS z wtryskiem bezpośrednim, zużywającymi około 20% mniej paliwa w stosunku do silników z dzielonymi komorami. Z prognoz rynkowych wynika, że w roku 2005 samochodowe silniki ZS będą stanowić 60% liczby wszystkich silników w pojazdach i niemal 100% tych silników będzie z wtryskiem bezpośrednim.

Oznacza to zatem, że silniki z komorami dzielonymi przestaną być podstawowymi jednostkami napędowymi samochodów osobowych i będą zastępowane przez nowe systemy bezpośredniego wtrysku paliwa – zasobnikowe CR i pompowtryskiwacze.

Nadchodzi zatem kres znanej od lat klasycznej pompy wtryskowej czy wtryskiwacza. Jednym z elementów układu wtryskowego, który jednak pozostanie będzie rozpylacz wtryskiwacza.

Prawidłowe działanie rozpylacza jest konieczne dla osiągnięcia przez silnik odpowiednich wskaźników pracy, wpływa on również zasadniczo na ilość toksycznych składników emitowanych przez silnik.

ZMIANY KONSTRUKCYJNE WTRYSKIWACZY

Zasadniczy wpływ na wskaźniki pracy silnika oraz emisję spalin ma ciśnienie wtrysku i związana z tym prędkość wypływu paliwa. Zwiększanie ciśnienia wtrysku powoduje znaczne obniżenie emisji związków toksycznych, głównie cząstek stałych i tlenków azotu. Przy zachowaniu omówionych ograniczeń konstrukcyjnych i wytrzymałościowych zależność ta powoduje, że w obecnie produkowanych silnikach wyraźnie widać tendencje do zwiększania ciśnienia wtrysku. Coraz powszechniejsze są układy z maksymalnym ciśnieniem wtrysku 200 MPa i więcej. Są to głównie silniki z wtryskiem bezpośrednim, charakteryzujące się mniejszym zużyciem paliwa w porównaniu z silnikami z komorami dzielonymi.

Aparatura paliwowo-wtryskowa w przypadku silników z wtryskiem bezpośrednim stawia – z uwagi na odmienny przebieg tworzenia mieszaniny palnej i związane z tym konsekwencje – wyższe wymagania technologiczne i eksploatacyjne. Chęć ograniczenia poziomu hałasu, emisji tlenków azotu, tlenku węgla, węglowodorów oraz cząstek stałych prowadzi często do wzajemnie przeciwnych rozwiązań.

Ogólnie można stwierdzić, iż w określonych warunkach wtrysku oraz przy danej komorze spalania szybkość narastania ciśnienia spada wraz ze zmniejszaniem kąta wyprzedzenia wtrysku. Równocześnie ulega zmniejszeniu maksymalne ciśnienie oraz temperatura, czego konsekwencją jest zmniejszona emisja tlenków azotu. Jednak krótszy czas spalania wiąże się przede wszystkim z podwyższoną emisją cząstek stałych. Chcąc tego uniknąć, należy stworzyć lepsze warunki do mieszania i spalania paliwa przez odpowiednie ukształtowanie komory spalania, bądź też przez modyfikacje układu wtryskowego. Takie warunki zapewnia zwiększone ciśnienie wtrysku. Równocześnie umożliwia ono dalsze opóźnienie wtrysku (skrócony czas opóźnienia samozapłonu). Samo zwiększenie ciśnienia wtrysku daje lepsze rozpylenie paliwa tylko na krawędzi strugi, powodując równocześnie głębszą penetrację strumienia, który dociera aż do ścianek komory spalania, wyraźnie zwiększając stopień dymienia, bądź też przy stałej jego wartości obniża maksymalne średnie ciśnienie użyteczne.

Natomiast zmniejszenie średnicy otworków rozpylacza w połączeniu ze zwiększonym ciśnieniem wtrysku poprawia rozpylenie całej strugi paliwa, zmniejszając głębokość penetracji, a tym samym nie powodując wzrostu dymienia. Dalsze zwiększenie ciśnienia wtrysku narzuca konieczność stosowania większej liczby otworków w rozpylaczu o odpowiednio mniejszej średnicy.

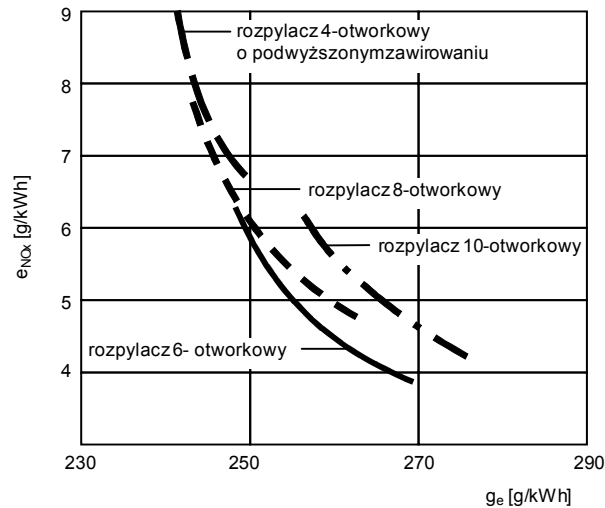
Na rysunku 1 pokazano wpływ liczby otworków rozpylacza w danej komorze spalania na emisję tlenków azotu oraz jednostkowe zużycie paliwa. Komora była przystosowana do współpracy z rozpylaczem sześciootworkowym. W przypadku rozpylacza czterootworkowego uzyskano zbyt silne zawirowanie, co odbiło się na gwałtownym wzroście emisji tlenków azotu.

Stwierdzić można zatem, że:

1) z punktu widzenia ograniczenia zużycia paliwa ($g_e = g_{e \min}$) istnieje korzystne ciśnienie wtrysku, które zależy od dawki wtryskiwanego paliwa oraz prędkości obrotowej – ciśnienie to wynosi dla obecnie produkowanych pojazdów ok. 90–200 MPa,

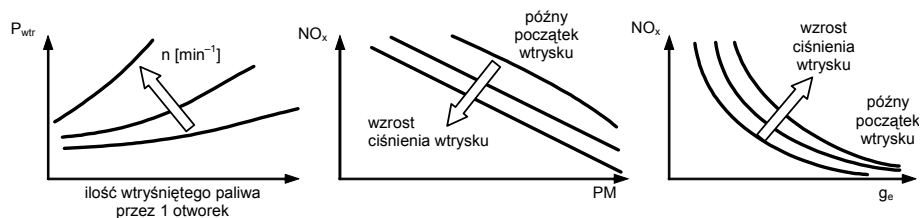
2) przez dalsze zwiększenie ciśnienia wtrysku jest możliwe, przy zachowaniu stałej wartości emisji tlenków azotu, obniżenie emisji cząstek stałych; wiąże się to jednak ze zwiększonym $dp/d\alpha$,

3) istnieje wzajemny ścisły związek pomiędzy emisją cząstek stałych, tlenków azotu oraz jednostkowym zużyciem paliwa i nie jest możliwa równoczesna poprawa wszystkich tych parametrów przez zwiększanie ciśnienia wtrysku (rys. 2).



Rys. 1. Przykładowy wpływ liczby otworków rozpylacza na emisję jednostkową tlenków azotu i zużycie paliwa (g_e) [Birch 2003]

Fig. 1. An example of an influence of injector holes number on unitary emission of nitrogen oxides and fuel consumption (g_e)

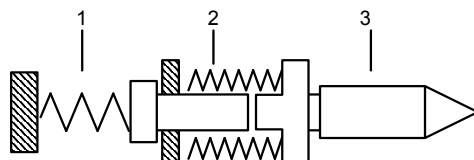


Rys. 2. Zależność emisji cząstek stałych oraz tlenków azotu od wybranych wskaźników [Birch 2003]

Fig.2. The dependency of solid particles and nitrogen oxides emission on selected coefficients

Poszukiwania coraz doskonalszych systemów wtrysku paliwa, nadających się do zastosowania również w samochodach osobowych, a więc zapewniających niski poziom hałasu, doprowadziły do rozwoju koncepcji wtrysku dwufazowego. Dla złagodzenia przebiegu spalania wykorzystano wstępny wtrysk pewnej ilości paliwa (*Pilot Injection*), która ulega samozapłonowi, a następnie poprawia warunki zapłonu zasadniczej dawki. Ograniczona przy tym zostaje szybkość narastania ciśnienia w cylindrze, przy czym, aby spalanie głównej dawki nie następowało zbyt późno, należy przyspieszyć nieco początek wtrysku. Wskazany jest wtrysk pod dość dużym ciśnieniem, które ogranicza całkowity

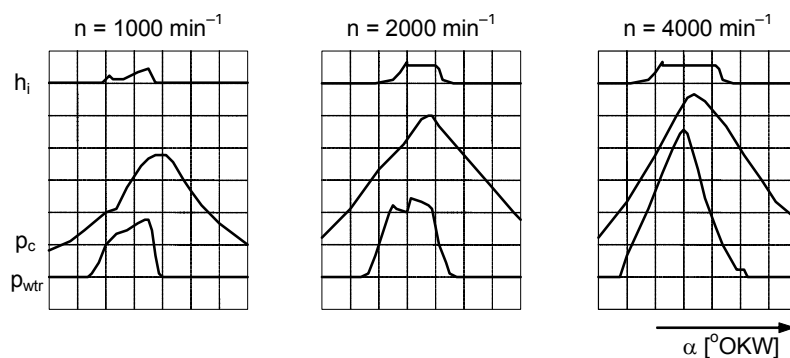
czas jego trwania oraz poprawia rozpylenie paliwa. Przez ograniczenie gwałtownego spalania w pierwszej jego fazie zmniejszeniu ulega maksymalna temperatura, a więc i emisja tlenków azotu, bądź też przy zachowaniu stałej wartości emisji tlenków azotu obniżyć można emisję innych składników toksycznych (węglowodory, cząstki stałe). Konstrukcję oraz istotę działania takiego wtryskiwacza pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat budowy wtryskiwacza dwusprężynowego

Fig. 3. A draft of a two-spring injector construction

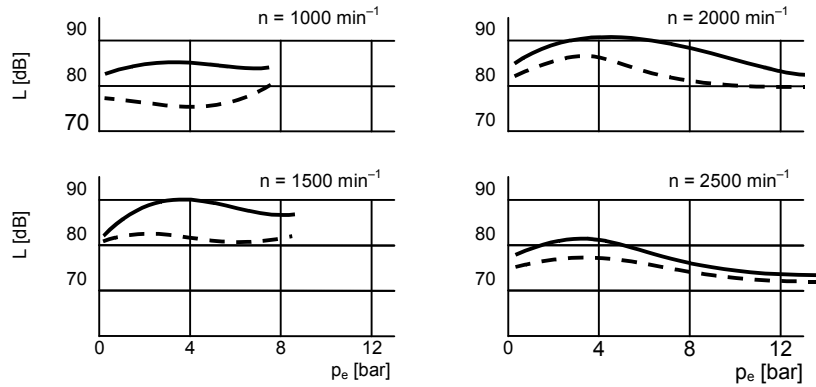
W korpusie wtryskiwacza umieszczono dwie sprężyny o różnej sztywności i docisku wstępnym. Geometrię konstrukcji dobrano tak, że iglica wtryskiwacza jest dociskana początkowo przez sprężynę o mniejszej sile nacisku (1). Wtrysk wstępny następuje pod działaniem ciśnienia paliwa, po niewielkim uniesieniu iglicy pokonującej nacisk sprężyny słabszej i opierającej się na sprężynie sztywniejszej (2). Paliwo wypływa wtedy małą szczeliną i dalej przez otworki rozpylacza (3). Dalszy wzrost ciśnienia powoduje pokonanie nacisku drugiej sprężyny i wtrysk dawki zasadniczej. Przebieg wzniosu iglicy, ciśnienie wtrysku oraz ciśnienie panujące w cylindrze dla różnych prędkości obrotowych ilustrują wykresy przedstawione na rysunku 4.



Rys. 4. Przebieg wzniosu iglicy (h_i), ciśnienia wtrysku (p_{wtr}) oraz ciśnienia panującego w cylindrze (p_c) dla różnych prędkości obrotowych [Krieger 1999]

Fig. 4. The course of a needle's rise (h_i), of the injection's pressure (p_{wtr}), and of the pressure in the cylinder (p_c) for different rotational speeds

W wyniku zastosowania wtryskiwaczy dwusprężynowych w silniku o $V_s = 2,5 \text{ dm}^3$, pięciocylindrowym, doładowanym, o mocy 88 kW (Audi) uzyskano w porównaniu z konwencjonalnym wtryskiwaczem zmniejszenie hałasu oraz węglodorów o 15–20% i tlenków azotu o 10–15%, przy nieco zwiększonej emisji cząstek stałych (5–10%) – rys. 5.



Rys. 5. Porównanie hałaśliwości wtryskiwacza standardowego z wtryskiwaczem dwusprężynowym: — wtryskiwacz standardowy, - • - wtryskiwacz dwusprężynowy [Basshuysen *i in.* 1990]

Fig. 5. A comparison of a standard injector's noise to a two-spring injector's noise: — a standard injector, - • - a two-spring injector

Z przedstawionych wykresów wynika, iż w miarę rosnącej prędkości obrotowej maleje skuteczność podwójnego wtrysku. Jednak w zakresie większych prędkości obrotowych silniki doładowane (a te głównie znajdują obecnie zastosowanie) nie mają problemów akustycznych, ponieważ doładowanie w swojej naturze powoduje wolniejszy wzrost ciśnienia. Istnieją również inne techniczne możliwości realizacji wtrysku dwufazowego, nadające się do praktycznego zastosowania.

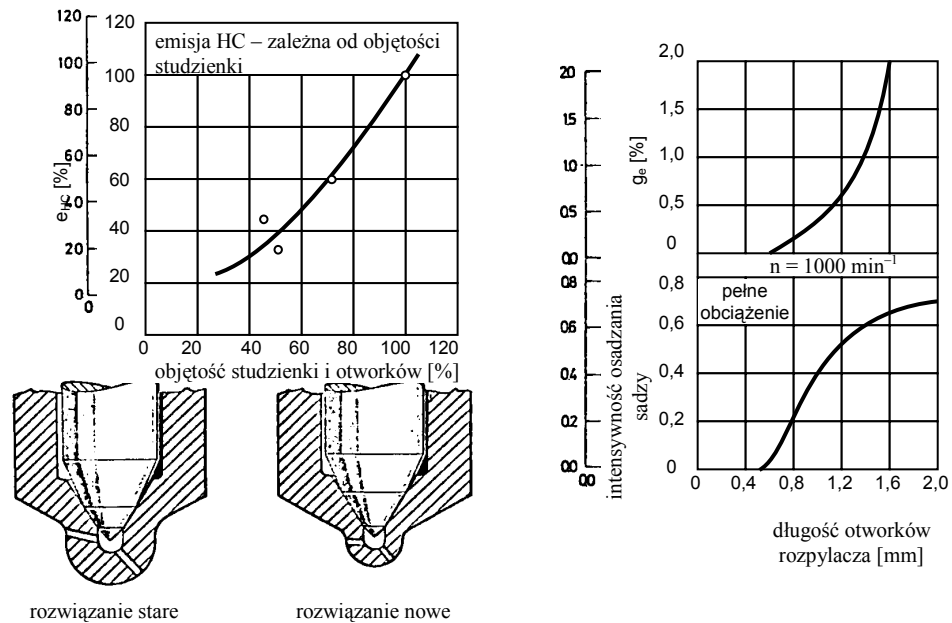
Klasyczna aparatura paliwowo-wtryskowa, z pompami wtryskowymi, nie jest w stanie obecnie spełnić wymogów ekologii. Wpływ objętości szkodliwych pompy, przewodów, wtryskiwaczy, występowanie zjawisk falowych powodują, że nie można w pełni kontrolować przebiegu wtrysku, szczególnie przy dużych ciśnieniach. W związku z tym pojawiła się koncepcja zintegrowania pompy i wtryskiwacza w jednej obudowie, co pozwala na wyeliminowanie, bądź znaczne ograniczenie, wspomnianych niekorzystnych zjawisk. Powstało wiele rozwiązań pompowtryskiwaczy, przy czym do głównych można zaliczyć:

- pompowtryskiwacz z regulacją dawki i początku wtrysku za pomocą nacięć na tłoczku,
- pompowtryskiwacz z elektromagnetycznym zaworem umożliwiającym regulację powyższych parametrów,
- pompowtryskiwacz Cummins PT ze zmianą wartości dawki przez regulowaną zmianę ciśnienia w przewodzie zasilającym i zdolnością samoregulacji początku wtrysku.

W przypadku pompowtryskiwaczy jest możliwa również realizacja dwufazowego wtrysku paliwa i regulacja elektromagnetyczna.

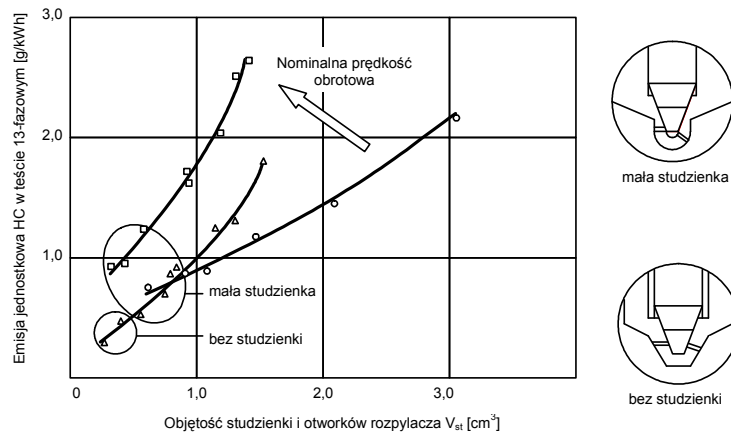
Bardzo istotnym czynnikiem warunkującym przede wszystkim wielkość emisji węglowodorów, cząstek stałych oraz jednostkowego zużycia paliwa jest ukształtowanie końcówki rozpylacza. Ogólnie można stwierdzić, że zmniejszenie studzienki rozpylacza oraz skrócenie otworków poprawia parametry silnika. Na rysunku 6 pokazano zależność emisji węglowodorów, intensywności osadzania sadzy oraz jednostkowego zużycia

paliwa w funkcji długości otworków rozpylacza. Pamiętać jednak należy, że ze względów wytrzymałościowych nie jest możliwe dowolne zmniejszanie ich długości.



Rys. 6. Wpływ geometrii otworków rozpylacza na emisję sadzy (projekt badawczy firmy Mercedes) [Brüggemann *i in.* 2000]

Fig. 6. An influence of the sprayer's holes geometry on soot emission (a research project of the Mercedes company)

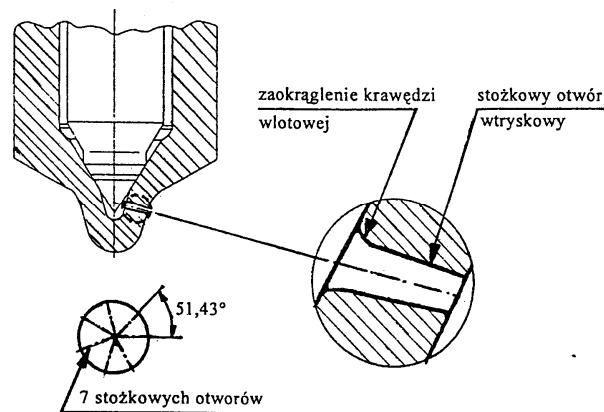


Rys. 7. Zależność emisji jednostkowej węglowodorów od całkowitej objętości szkodliwej (studzienka oraz otwory) [Krieger 1999]

Fig. 7. The dependency of unitary emission of hydrocarbons on the total harmful capacity (the well and holes)

Na rysunku 7 przedstawiono zależność emisji węglowodorów od całkowitej objętości szkodliwej (studzienka oraz otwory) dla trzech wybranych rozwiązań.

Rozpylacze o konstrukcji ministudzienkowej opracowano również dla silników widlastych Mercedes Benz typu OM 628 o pojemności skokowej $3,996 \text{ dm}^3$. Mają one siedem otworków wtryskowych nie cylindrycznych, ale stożkowych (rys. 8).



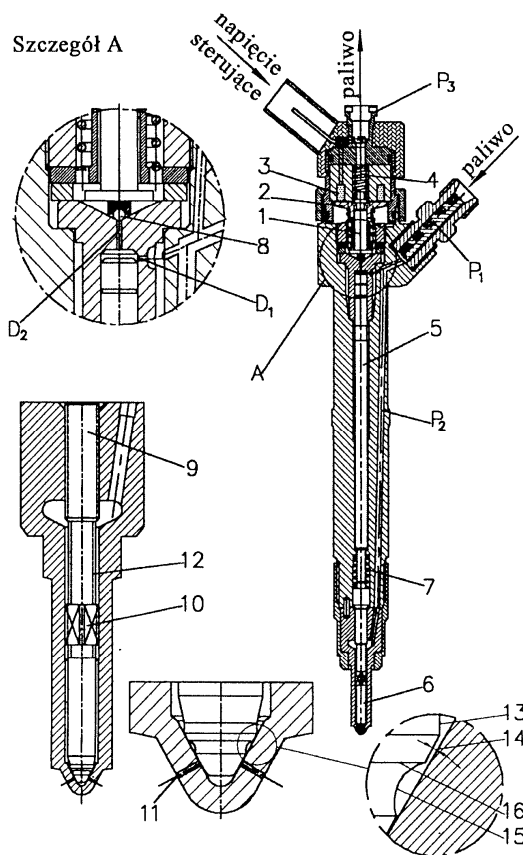
Rys. 8. Ministudzienkowy rozpylacz z siedmioma stożkowymi otworkami wtryskowymi [Brüggemann *i in.* 2000]

Fig. 8. A mini-well sprayer with seven cone injection holes

Są one o mniejszej średnicy niż gdyby zastosowano sześć; jednocześnie zachowano taki sam sumaryczny przekrój przepływu. Pojawienie się dodatkowego strumienia paliwa skutkuje dokładniejszym wymieszaniem paliwa z powietrzem. Ponadto stożkowe otwory wtryskowe dają większą zwartość wypływających strumieni i mniejsze średnice kropli rozpylonego paliwa na skutek większej prędkości wypływu, która jest dodatkowo zwiększona przez zaokrąglenie wlotowych krawędzi wykonanych przez hydrauliczne szlifowanie [Brüggemann *i in.* 2000]. Taka konstrukcja rozpylacza powoduje wyraźne obniżenie zawartości cząstek stałych w spalinach i spełnienie wymagań norm emisji w zakresie średnich obciążeń.

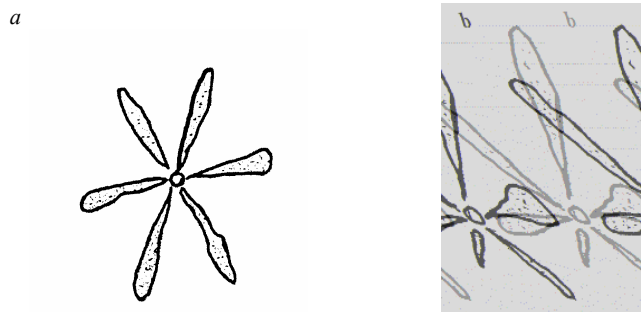
Intensywne prace w tej dziedzinie doprowadziły do opracowania rozpylaczy, z których całkowicie wyeliminowana została studzienka. Należy jeszcze dodać, iż geometria rozpylaczy jest zawsze rozwiązaniem kompromisowym, uwzględniającym także pracę silnika w przewidywanym zakresie prędkości obrotowych. Inny problem to przemieszczenie boczne – promieniowe iglicy, które może być wywołane zwiększonym luzem pary precyzyjnej, zużyciem lub uszkodzeniem rozpylacza czy też błędami technologicznymi. Takie przemieszczenie – przesunięcie, powodujące zmiany w przekroju przepływowym rozpylacza, który przy początkowych, zwłaszcza niskich wzniosach iglicy zmienia przekrój między stożkiem iglicy i gniazdem rozpylacza. Odchylenie osi iglicy rozpylacza względem osi korpusu jest przyczyną nierównych strug wtryskiwanego paliwa, co powoduje zwiększone zadymienie spalin. Wynika to z nieregularności strug wtryskiwanego paliwa. Penetracja paliwa i ilość paliwa wtryskiwanego przez poszczególne otwory nie jest jednakowa, rezultatem tego jest różna koncentracja lokalna paliwa, która powoduje powstawanie sadzy. Skutecznie zapobiega temu wprowadzenie dodatko-

wej powierzchni przewodzącej końcówkę iglicy rozpylacza. Przykładem wtryskiwacza z podwójnym prowadzeniem iglicy jest opracowany przez wytwórníę Bosch sterowany elektronicznie wtryskiwacz przedstawiony na rys. 9. Iglica w tym wtryskiwaczu, oprócz typowego prowadzenia (9), ma drugie prowadzenie (10), którego warstwa wierzchnia jest pokryta grafitem w celu zmniejszenia oporów ruchu. Dzięki takiemu rozwiązaniu iglica przemieszcza się osiowo, nie przysłaniając żadnego z otworków rozpylających (11), a tym samym zapewnia bardzo dobrą powtarzalność wtrysku z poszczególnych otworków (rys. 10). Rozpylacz ma kształt przylgni określony symbolem ZHL, który oznacza cylindryczne odsadzenie, tylne wcięcie oraz odwrócony kształt przylgni – gniazda. Powoduje to wyrównanie ciśnienia i symetryczny wypływ strumienia. Taka konstrukcja przylgni sprawia, że w rozpylaczu nie ulega zmianie wielkość dawki wtrysku.



Rys. 9. Wtryskiwacz firmy Bosch: 1 – suwak, 2 – zwora elektromagnesu, 3 – cewka 4 – sprężyna, 5 – tłok sterujący, 6 – iglica, 7 – sprężyna, 8 – kulka suwaka, 9 i 10 – prowadzenia iglicy, 11 – otworki, 12 – warstwa grafitu, 13 – odsadzenie, 14 – tylne wcięcie, 15 – odwrócony kąt gniazda, 16 – krawędź uszczelniająca, D_1 i D_2 – dławiki, P_1 i P_2 – kanały paliwowe [Krieger 1999]

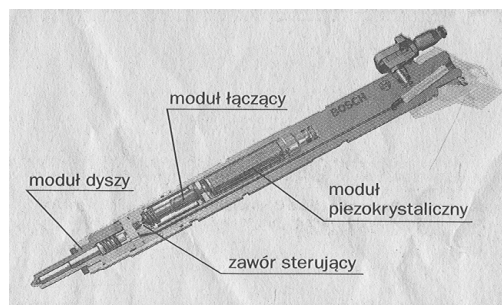
Fig. 9. A Bosch injector: 1 – valve, 2 – electromagnet clench, 3 – coil, 4 – spring, 5 – steering piston, 6 – needle, 7 – spring, 8 – valve ball, 9 and 10 – needle runs, 11 – holes, 12 – graphite layer, 13 – weaning, 14 – back indentation, 15 – an inverted nest's angle, 16 – a sealing edge, D_1 and D_2 – glands, P_1 and P_2 – fuel channels



Rys. 10. Obraz strug paliwa: a) powtarzalny w przypadku podwójnego prowadzenia iglicy rozpylacza, b) niepowtarzalny w przypadku pojedynczego prowadzenia iglicy rozpylacza [Krieger 1999]

Fig. 10. An image of fuel streams: a) repeatable in the case of double runs of the sprayer needle, b) unrepeatable in the case of a single run of the sprayer's needle

W najnowszych układach Common Rail wprowadza się wtryskiwacze piezoelektryczne o bardzo krótkim okresie reakcji na impuls napięciowy, ok. 1 ms (rys. 11).



Rys. 11. Wtryskiwacz piezoelektryczny [Meyer i in. 2002]

Fig. 11. A piezoelectric injector [Meyer i in. 2002]

ZMIANY TECHNOLOGICZNO-MATERIAŁOWE

Tendencje do zwiększania ciśnienia wtrysku przy rosnących prędkościach obrotowych uzyskiwanych w nowoczesnych silnikach, wraz z koniecznością utrzymania żądanej charakterystyki w czasie eksploatacji, powodują również zwiększenie wymagań wytrzymałościowych wtryskiwaczy. Zwiększenie wytrzymałości rozpylacza otworowego uzyskuje się dzięki zmniejszeniu masy części ruchomych przez wyeliminowanie długiego drążka napędzającego iglicę, zmniejszenie wymiarów rozpylacza (z rozmiaru „S” na „P” wg klasyfikacji Boscha), zmniejszenie sprężyny wtryskiwacza. Korpus rozpylacza wielootworowego ma grubszą ściankę w okolicach gniazda uszczelniającego w celu uniknięcia wibracji, podwyższenia wytrzymałości mechanicznej oraz odporności na działanie kawitacyjne i erozyjne paliwa.

Wprowadzane do produkcji silniki są już wyposażane w układy zasobnikowe Common Rail drugiej generacji, ze zwiększonym ciśnieniem wtrysku (160–180 MPa), w

najbliższych latach przewiduje się zwiększenie ciśnienia nawet do 220 MPa. Coraz większym problemem będzie dostosowanie aparatury paliwowej do tych warunków. Tendencje wzrostu ciśnienia wtrysku, uzasadnione przede wszystkim możliwościami zmniejszenia emisji cząstek stałych, podlegać będą różnym ograniczeniom, z których najważniejsze to:

- wytrzymałość i trwałość elementów aparatury paliwowej, zwłaszcza rozpylaczy,
- deformacje wynikające z obciążeń cieplnych, zmiennego ciśnienia paliwa oraz naprężeń montażowych,
- zużycie erozyjne otworków rozpylających,
- ściśliwość i lepkość paliwa.

Naprężenia powstające przy ciśnieniach 200 MPa są już zbyt duże ze względu na trwałość niektórych elementów, przede wszystkim omawianych rozpylaczy. Pomimo że kadłuby rozpylaczy są wykonywane ze stali chromowo-niklowo-wolframowych, o dużej wytrzymałości na rozciąganie, to jednak naprężenia spowodowane wysokimi ciśnieniami wtrysku mogą sięgać granicy plastyczności danego materiału. Taki stan obciążenia może w wyniku zmęczenia materiału doprowadzić do uszkodzenia rozpylacza. Wysokie ciśnienia wtrysku wymagają stosowania materiałów o większej niż dotychczas wytrzymałości na rozciąganie, co niewątpliwie podwyższa koszty wykonania rozpylaczy.

Stosowane do niedawna powszechnie do tego celu stale chromowo-niklowo-aluminiowe (38HMJ), chromowo-niklowo-wolframowe (18H2N4WA) i podobne są zastępowane stalami o większej wytrzymałości, na przykład stalami niklowymi (18Ni350) oraz innymi nowoczesnymi materiałami. Takimi są węgliko-stale, w których udział węglików, głównie TiC, wynosi do 50%. Materiałem wiążącym są stale stopowe lub stopy utwardzane wydzielinowo o strukturze martenzytycznej lub austenitycznej. Stale te, po obróbce cieplnej, osiągają twardość około 70 HRC, nawet w podwyższonych temperaturach pracy oraz dużą odporność na erozję i kawitację, są jednak trudne w obróbce i kosztowne. Na rozpylacze większych silników zaczyna stosować się stellyty. Są to bardzo twarde stopy (Co – 65%, Cr – 25%, W – 5%, C – 2% oraz V, Fe i inne) o bardzo małej rozszerzalności liniowej, co powoduje bardzo dobrą stabilność wymiarową w podwyższonych temperaturach, o wysokiej odporności na ścieranie i odporności na agresywne paliwa, korozje i utlenianie. Mają wysoką cenę, ale są niezwykle trwałe i umożliwiają zmniejszenie masy rozpylacza.

ZAKOŃCZENIE

W ostatnich latach ciągle obserwuje się ciągły postęp w badaniach nad opracowywaniem doskonalszych metod i systemów prowadzących do poprawy jakości spalania i obniżenia emisji związków toksycznych w silnikach o zapłonie samoczynnym. Systemy te są związane z bardzo szybkim rozwojem oprogramowania komputerowego i możliwością wielokrotnej symulacji rzeczywistych zjawisk zachodzących w silniku. Przykładem mogą być wykonane na bazie nowoczesnego systemu MEMS i przebadane miniaturowe rozpylacze. Dostęp do technologii przetwarzania MEMS (*Micro-Elektro-Mechanical Systems*) umożliwia konstruowanie miniaturowych rozpylaczy do silników ZS.

Efektom poszukiwań nowych rozwiązań może być też zastosowanie i przebadanie obrotowego wtryskiwacza w produkowanym na skalę światową silniku firmy SCANIA. Dzięki temu rozwiązaniu udało się zmniejszyć emisję sadzy średnio o około 60%, tlenku węgla średnio o około 40%, przy wzroście emisji tlenków azotu zaledwie o 10%. Tak

niski wzrost emisji tlenków azotu może być skutecznie zmniejszony dzięki zastosowaniu nowoczesnych reaktorów katalitycznych DeNO_x, również ciągle udoskonalanych.

Priorytetowymi kierunkami dalszych badań są poszukiwania doskonalszych konstrukcji rozpylaczy. Kierunki te obserwuje się w ostatnich latach – przykładem mogą tu być wymienione próby z technologiami MEMS czy wtryskiwacze obrotowe.

Istnieją plany wprowadzenia konstrukcji wtryskiwacza ze studzienką o ściankach wykonanych z porowatego materiału pozwalającego na wydostawanie się molekuł paliwa między jego porami, daje to w efekcie mgłą paliwowo-powietrzną o wysokim stopniu rozdrobnienia i wymieszania.

Udoskonalanie aparatury wtryskowej, z uwzględnianiem norm dotyczących emisji zanieczyszczeń, jest jednym z najważniejszych kryteriów wyboru najlepszych rozwiązań decydujących o powodzeniu wytypowanych konstrukcji.

LITERATURA

- Anisits F., Borgmann K., Kratochwill H., Steinparzer F. 1998: Der neue BMW Sechszylinder-Dieselmotor. *Motortechnische Zeitschrift*, 11.
- Basshuysen R., Stock D., Bauder R. 1990: AUDI Turbodieselmotor mit Direktein-spritzung. *Motortechnische Zeitschrift*, 1.
- Birch S. 2003: Diesel advances, *Automotive Engineering International*.
- Brüggemann H., Arbeiter E., Fausten H., Reifenrath H.P., Roth H., Weisbarth M. 2000: Der neue V-8 Pkw-Dieselmotor von Mercedes-Benz. *Motortechnische Zeitschrift*, 6.
- Idzior M. 2004: Studium optymalizacji doboru parametrów rozpylaczy wtryskiwaczy silników o zapłonie samoczynnym w aspekcie właściwości użytkowych silnika. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań, 220.
- Idzior M. 2001: Tendencje rozwojowe wtryskiwaczy silników o zapłonie samoczynnym na przykładzie wybranych nowych technik wtrysku paliwa, V Sympozjum Naukowo-Techniczne SILWOJ, Jurata.
- Krieger K. 1999: Diesel-Einspritztechnik für Pkw-Motoren. Überblick über Verfahren und Ergebnisse. *Motortechnische Zeitschrift*, 5.
- Meyer S., Krause A., Krome D., Merker G. 2002: Flexible Piezo Common-Rail-System with Direct Needle Control. *Motortechnische Zeitschrift*, 2.

TENDENCIES OF THE CONSTRUCTION CHANGES IN SELF-IGNITION ENGINES INJECTORS

Summary. The article presents results of analyses concerning changes in the construction of self-ignition engines stimulated mainly by ecological requirements. The tendencies of changes in the construction, technology and materials were discussed. The selected analyses results of toxic fumes contents and acoustic coefficients were also presented, in relation to the considered tendencies of changes.

Key words: construction changes, injectors, toxic fumes, acoustic coefficients

Recenzent: prof. dr hab. Kazimierz Lejda