

Stanisław KRUCZYŃSKI¹
Witold DANILCZYK²
Marek STĘPNIEWSKI³
Ryszard WOŁOSZYN⁴

WYMAGANIA KONSTRUKCYJNE I EKSPLOATACYJNE DO BUDOWY ŚWIEC DO ZAPŁONU CNG

Podjęta tematyka ma na celu pokazanie wszystkich istotnych zmian w procesie spalania powietrza i gazu ziemnego w porównaniu do spalania mieszanki powietrza i benzyny w silniku. Mieszanka powietrza z CNG stwarza gorsze warunki do przeskoku iskry, z powodu większej oporności niż mieszanka powietrza z benzyną. Ponadto mieszanka powietrza z CNG spala się wolniej, co wiąże się z dużo wyższymi temperaturami w komorze spalania, co znacznie obniża trwałość świecy zapłonowej. Te dwie istotne różnice powodują, że układ zapłonowy musi spełnić te niesprzyjające warunki dla silnika zasilanego mieszanką powietrza i gazu ziemnego.

Po omówieniu budowy świecy zapłonowej i uwzględnieniu specyfiki spalania gazu ziemnego, zaproponowano modyfikacje konstrukcyjne świecy zapłonowej dla potrzeb zapłonu mieszanki powietrza i gazu ziemnego (CNG).

DESIGN AND OPERATIONAL REQUIREMENTS TO CONSTRUCT PLUGS FOR CNG IGNITION

The taken subject matter is aimed to show all fundamental changes in the combustion process of air – natural gas mixture in comparison to air – gasoline mixture combustion in the engine. Air – CNG mixture creates worse conditions for spark flashover due to higher resistance than air – gasoline mixture. Moreover, the air – CNG mixture burns slower, what creates much more higher temperatures in the combustion chamber, what lowers spark plug durability. These two fundamental changes cause that the ignition system has to fulfil such unfavourable conditions for an engine fuelled with air – natural gas mixture.

After the description of spark plug construction and taking into consideration the natural gas combustion peculiarity, constructional modifications of the spark plug were proposed to adapt it to the needs of air – natural gas (CNG) mixture ignition.

¹ Politechnika Warszawska

² Politechnika Warszawska

³ Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Chrobrego 45; email: m.stepniewski@pr.radom.pl

⁴ Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Chrobrego 45; email: rw@pr.radom.pl

WSTĘP

Obecnie z powodu wprowadzanych coraz to bardziej rygorystycznych wymogów Unii Europejskiej w zakresie ochrony środowiska można zauważyć rozpowszechnianie paliwa w postaci gazu LPG do zasilania samochodów, a w większym stopniu gazu CNG jako alternatywnego paliwa stosowanego do napędu autobusów komunikacji publicznej. Zastosowanie tych paliw do zasilania spowodowało rozwój układów instalacji zasilania samochodów tymi paliwami. Powstawały kolejne generacje tych układów, z możliwością stosowania zarówno do silników o zapłonie iskrowym (układy jednopaliwowe) jak i samoczynnym (układu dwupaliwowe).

CNG (*ang. Compressed Natural Gas*) jest sprężonym do 200 - 250 bar gazem ziemnym pochodzenia organicznego (nie jest wytwarzany z ropy naftowej jak ON, benzyna i LPG). Skład i proporcje gazu ziemnego są zmienne i zależą od miejsca wydobycia, jednakże ponad 90% stanowi metan. Oprócz metanu mogą występować pewne ilości etanu, propanu, butanu, para wodna oraz inne związki mineralne i organiczne. W procesie oczyszczania są z niego usuwane niektóre składniki np. siarkowodór, naftalen czy para wodna. Jego właściwości CNG wynikają z głównego składnika czyli metanu. Głównymi właściwościami CNG przemawiającymi za stosowaniem go jako paliwa alternatywnego są wartość energetyczna oraz liczba oktanowa (120 – 130). Jego wartość energetyczna zawarta jest pomiędzy 10,0 a 11,1 kWh/m³., dla porównania wartość energetyczna oleju napędowego wynosi 9,84 kWh/m³, a benzyny 95 oktanowej około 8,88 kWh/m³. Przez to 1 kg gazu ziemnego zawiera energię, którą musi dostarczyć 1,3 l oleju napędowego lub 1,5 l benzyny

Drugim jeszcze ważniejszym powodem stosowania paliw CNG w silnikach jest spełnienie wymogów ograniczenia emisji szkodliwych związków w procesie spalania paliwa w silnikach, co w wielkich obszarach zurbanizowanych (duże miasta, tereny przemysłowe) staje się znaczącym już problemem. Z analizy literaturowej jak i publikowanych wyników oceny emisji zanieczyszczeń w spalinach, najniższą emisję uzyskuje się dla gazu ziemnego CNG, co sprawia, że stosowanie tego paliwa w postaci sprężonej CNG jak i ciekłej LNG (dla układów bezpośredniego wtrysku do cylindra silnika) daje pewność spełnienia norm czystości emisji spalin. Stosowanie nowych metod oceny toksyczności spalin emitowanych przez silnik podczas testów na hamowni podwoziowej, także w warunkach „zimnego startu” powoduje, że zastosowanie tych paliw bez modyfikacji układów zasilania, zapłonowych, wydechowych i sterowania nie wystarczy aby spełnić rosnące normy ekologiczne samochodu zasilanego LPG czy CNG.

W przedstawionej publikacji omówione zostaną warunki spalania gazu ziemnego oraz wymogi jaki musi spełnić świeca zapłonowa, która jest elementem wykonawczym układu zapłonowego inicjującym zapłon mieszanki w cylindrze silnika.

1. ZAPŁON MIESZANKI MIĘDZY ELEKTRODAMI ŚWIECY

W silnikach z zapłonem iskrowym, wyładowanie elektryczne pomiędzy elektrodami świecy zapłonowej rozpoczyna proces spalania przed końcem suwu sprężania. Podczas typowego wyładowania iskrowego różnica potencjału elektrycznego pomiędzy elektrodami świecy zapłonowej narasta, aż do osiągnięcia odpowiednio wysokiej wartości. Na wartość tą w sposób istotny ma wpływ:

- kształt elektrod,
- wielkość przerwy między elektrodami,
- ciśnienie oraz obecność promieniowania jonizującego, niezbędnego do rozpoczęcia procesu jonizacji w obszarze późniejszego wyładowania iskrowego.

Pod wpływem powstającego pola elektrycznego jony dodatnie gazu zaczynają przemieszczać się w kierunku elektrody ujemnej, a jony ujemne i swobodne elektrony – w kierunku elektrody dodatniej. W miarę podwyższania się napięcia na elektrodach ruch jonów staje się intensywniejszy, aż - przez kolejne zderzenia doprowadza do powstania nowych jonów. Następuje jonizacja lawinowa cząstek gazu na całej drodze pomiędzy elektrodami, która przyjmuje formę gwałtownego wyładowania iskrowego. W rezultacie gaz traci własności izolacyjne, impedancja przerwy między elektrodami maleje drastycznie, a natężenie prądu gwałtownie rośnie. Gaz otaczający drogę jonizacji lawinowej nagrzewa się do tego stopnia, że zaczyna świecić co jest widoczne w postaci iskry. Ta część wyładowania nosi nazwę wyładowania pojemnościowego i stanowi tzw. czoło iskry, natomiast napięcie, przy którym rozpoczyna się wyładowanie iskrowe nazywa się napięciem przebicia. Następnie po zmniejszeniu się oporności gazu gwałtownie obniża się napięcie pomiędzy elektrodami, do takiej wartości, która pozwala na kontynuację rozpoczętego wyładowania w postaci łuku elektrycznego. W tym czasie występuje przekazanie energii zgromadzonej głównie w indukcyjności układu zapłonowego do obwodu wyładowania iskrowego. Faza ta charakteryzuje się znikomym małym stopniem jonizacji jak również największymi stratami energii. Ta część wyładowania stanowi tzw. ogon iskry. Gdy natężenie prądu odpowiednio się zmniejszy, wówczas łuk zostanie zerwany i iskra zgaśnie.

Do głównych parametrów tego wyładowania możemy zaliczyć:

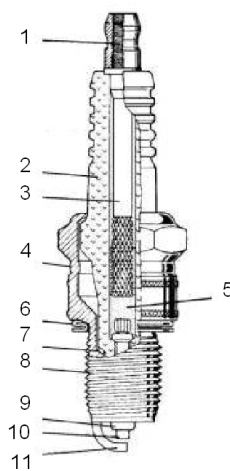
- napięcie szczytowe między elektrodami świecy zapłonowej,
- energię wyładowania (iskry),
- czas trwania wyładowania zapłonowego,
- szybkość narastania napięcia między elektrodami świecy.

Zadaniem świecy w silniku o zapłonie iskrowym jest wprowadzenie do komory spalania energii zapłonowej, wytworzonej w cewce zapłonowej i dostarczonej za pomocą przewodów wysokiego napięcia, poprzez wyładowanie elektryczne pomiędzy jej elektrodami, które zapoczątkuje proces spalania mieszanki w komorze silnika. oraz odprowadzanie ciepła zapewniające utrzymanie jej poniżej granicy samozapłonu mieszanki powietrza i benzyny, czyli ok. 850 °C.

Z tego też powodu, świeca jest najbardziej obciążonym elementem układu zapłonowego z uwagi na bezpośredni kontakt elektrod z gorącymi gazami spalinowymi, szczególnie w silniku zasilanym gazem ziemnym, w którym warunki są jeszcze bardziej niekorzystne. Wynika to z innego charakteru spalania gazu w stosunku do benzyny.

2. BUDOWA I PARAMETRY ŚWIECY ZAPŁONOWEJ

Świeca zapłonowa pracuje w bardzo trudnych warunkach. W celu zapewnienia bezawaryjnego działania musi posiadać dobre właściwości wytrzymałościowe i mechaniczne w podwyższonej temperaturze, odporność na procesy chemiczne zachodzące w komorze spalania i ich agresywne produkty uboczne oraz zdolność do odprowadzania nadmiaru ciepła. Na rys.1 pokazano typową konstrukcję świecy zapłonowej.



Rys.1. Przykładowa konstrukcja świecy zapłonowej

1 – nakrętka mocująca przewodu wysokiego napięcia, 2 – izolator ceramiczny, 3 – kołek kontaktowy, 4 – korpus świecy, 5 – szklanohemetyk, 6 – uszczelka zewnętrzna, 7 – uszczelka wewnętrzna, 8 – gwintowana część korpusu świecy, 9 – stożek izolatora, 10 – elektroda środkowa, 11 – elektroda boczna

Elektroda środkowa może tworzyć jednolity rdzeń lub być przedzielona elektrycznie przewodzącym stopem szklanym. Średnica elektrody środkowej jest nieco mniejsza od średnicy otworu w izolatorze ze względu na różną rozszerzalność cieplną materiału elektrody i masy ceramicznej izolatora. Przestrzeń między izolatorem a elektrodą najczęściej pozostaje pusta choć niekiedy wypełniana jest szczeliwem. Utworzona szczelina powietrzna ma wpływ na odprowadzanie ciepła z elektrody.

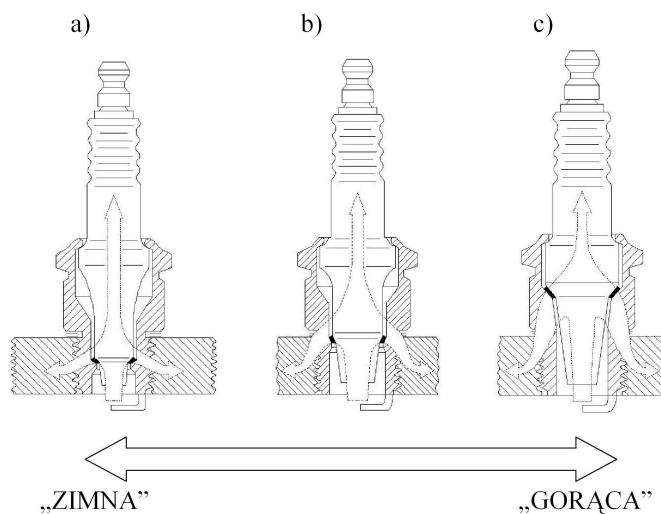
Centralny rdzeń świecy uszczelniony jest w izolatorze specjalnym proszkiem umieszczonym w pobliżu głównego strumienia przepływu ciepła. W rdzeniu dzielonym rolę uszczelniacza spełnia stop szklany, który może dodatkowo służyć jako opornik przeciwdziałający zakłóceniom radioelektrycznym oraz przyspieszonemu nadpalaniu elektrod. Elektroda środkowa ma kształt walca i wystaje ze stożka izolatora. Jej średnica w wykonaniu standardowym wynosi 2-2,6 mm. Cieńsza elektroda centralna stawia niższe wymagania napięciu zapłonu lecz charakteryzuje się szybszym zużywaniem. Materiał stosowany na elektrodę środkową powinien charakteryzować się żarowytrzymałością i odpornością na korozję w wysokich temperaturach. Różnego rodzaju dodatki mają na celu

ułatwienie jonizacji mieszanki pomiędzy elektrodami co może także wpływać na obniżenie napięcia przebicia, przy którym powstaje iskra zapłonowa.

Elektroda boczna (inaczej masowa) osadzona w dolnej części gwintowanego wkrętu kadłuba jest bezpośrednio połączona z masą. Świece mogą mieć jedną, dwie lub trzy elektrody boczne, jak również mogą mieć różny ich układ. Ważną kwestią jest odstęp elektrod świecy zapłonowej (inaczej przerwa iskrowa) to odległość między elektrodą główną a elektrodą boczną.

Kolejnym ważnym elementem świecy jest izolator. Patrząc na świecę możemy tylko zobaczyć jego część zewnętrzną, pozostała część znajduje się w korpusie świecy, a końcówka wraz z elektrodą środkową (po wkręceniu świecy) wystaje do komory spalania silnika. Panujące warunki w komorze silnika powodują, że izolator musi być wykonywany z materiałów ceramicznych (główny składnik jest tlenek glinu), odpornych na obciążenia mechaniczne (zmiany ciśnienia) i termiczne, jednocześnie musi zachować własności izolacyjne.

Podstawowym parametrem charakteryzującym świecę zapłonową jest wartość cieplna dobrana do konkretnego silnika. Określa ona za pomocą wskaźnika liczbowego zdolność świecy zapłonowej do odprowadzania i rozpraszania ciepła, które jest przejmowane z komory spalania. Na rysunku nr 2 pokazano różnice w budowie świecy zapłonowej ze względu na jej ciepłość.



Rys.2. Różnice konstrukcyjne izolatora świecy ze względu na jej wartość cieplną: a) „świeca zimna”, b) o normalnej ciepłocie, c) „świeca gorąca”

Świece zimne to świece o krótkim stożku izolatora, a więc o dużej zdolności odprowadzania, a małej pobierania ciepła, czyli świece o dużej wartości cieplnej. Stosowane są w silnikach o wysokim stosunku mocy do pojemności cylindrów. Świece gorące to świece o długim stożku izolatora, a więc o dużej powierzchni pobierania ciepła i długiej drodze jego odprowadzania, czyli świece o małej wartości cieplnej. Stosowane są w

silnikach o niskim stopniu sprężania i niskiej temperaturze wewnętrznej w komorze spalania.

Odpowiednio dobrana wartość cieplna świecy powoduje, że pracuje ona w zakresie temperatur od 500 do 850° C. Pierwsza wartość temperatury daje gwarancję samooczyszczania świecy czyli wypalania się osadzających się na powierzchni izolatora zanieczyszczeń w postaci węglowodorów i sadzy. Jej spadek powoduje osadzanie się zanieczyszczeń na izolatorze, wskutek czego spada jego rezystancja powierzchniowa i tworzy się, tzw. „mostek przewodzący”. Z kolei przekroczenie temperatury 850° C przez wysunięte do komory spalania elektrody powoduje samozapłon i niekontrolowane spalanie mieszanki.

Każdy z producentów silników określa ten parametr podając konkretne oznaczenia świec nadających się do użycia w danej jednostce napędowej. Większa wartość cieplna określa większą zdolność do odprowadzania ciepła co oznacza, że świeca może być stosowana w bardziej wysilonym silniku bez niebezpieczeństwa powodowania samozapłonu. Takie świece (potocznie określane jako zimne) trudniej się rozgrzewają mają jednak mniejszą zdolność samooczyszczania (łatwiej osadza się na nich nagar). W przypadku stosowania paliwa o wyższej liczbie oktanowej lub ubogiej mieszanki można stosować świece bardziej zimne. Mniejsza wartość cieplna świecy oznacza mniejszą zdolność do odprowadzania ciepła (szybciej się nagrzewa), mając jednocześnie większą zdolność do samooczyszczania. Świece tego typu (potocznie zwane gorącymi) stosowane są do silników o mniejszych stopniach sprężania, niższej mocy, w których występują niższe temperatury spalania. Najbardziej popularnym oznaczeniem wartości cieplnej świecy jest oznaczenie liczbowe (np. w oznaczeniach świec ISKRA: 75 – wyższa wartość cieplna „świeca zimna”, 55 – niższa wartość cieplna „świeca gorąca”), które określa liczbę sekund upływających od momentu rozruchu wzorcowego silnika do momentu wywołania samozapłonu mieszanki przez nadmiernie nagrzaną świecę.

Długość części gwintowanej korpusu świecy zapłonowej powinna odpowiadać grubości ścianki głowicy cylindrów, tak aby w komorze spalania wystawała tylko elektroda. W przypadku zbyt krótkiego gwintu, elektroda będzie schowana w otworze gniazda świecy w głowicy silnika, z tego też względu jej zapłon będzie utrudniony, a jednocześnie świeca będzie zbyt intensywnie odprowadzać ciepło. Jeżeli zaś gwintowany wkręt świecy jest zbyt długi, będzie wystawał wewnątrz komory spalania. Nadmiernie nagrzewające się elementy świecy mogą powodować samozapłon mieszanki.

Dlatego podczas wkręcania świecy należy podkładać pod nią tylko jedną uszczelkę, ponieważ brak uszczelki poza brakiem szczelności, wywoła takie same skutki, jak zbyt długa część gwintowana świecy, a założenie dwóch uszczelki - jak zbyt krótka część gwintowana świecy (utrudniony zapłon).

3. WARUNKI EKSPLOATACJI ŚWIECY DO ZAPŁONU MIESZANKI POWIETRZA I CNG

Wyładowanie występuje pomiędzy elektrodą środkową, a jedną bądź kilkoma elektrodami bocznymi świecy. Przy zasilaniu silnika paliwem gazowym (CNG) ulegają zmianie warunki zapłonu wynikające z:

- utrudnionej jonizacji mieszanki (wzrasta rezystancja mieszanki, co powoduje pogorszenie warunków przeskoku iskry elektrycznej między elektrodami świecy),

- wyższej średniej temperatury w cylindrze,
- wydłużenia czasu spalania mieszanki.

Większa rezystancja mieszanki powietrza i gazu ziemnego wymaga zwiększonego napięcia między elektrodami świecy zapłonowej. Stosowane układy zapłonowe są w stanie wytworzyć energię rzędu 50 – 80mJ oraz napięcie do 50kV.

Podczas pracy silnika na benzynie do zainicjowania spalania mieszanki w cylindrze energia może wynosić ok. 0,1mJ. Dla mieszanki CNG z powietrzem wartość tej energii może być nawet trzykrotnie większa. Utrudniona jonizacja mieszanki powietrza i CNG skutkuje tym, że zapłon takiej mieszanki wymaga wyższych napięć szczytowych.

Podczas spalania mieszanki powietrza i CNG w cylindrze silnika temperatura panująca w nim jest o 100 do 200°C wyższa w stosunku do spalania mieszanki benzynowo-powietrznej (gaz ziemny ma temperaturę zapłonu 650°C, podczas gdy dla benzyny wynosi ona w granicach 450°C). Czas spalania mieszaniny powietrzno - gazowej (LPG lub CNG) jest dłuższy niż czas spalania mieszanki powietrzno-benzynowej, dlatego zapłon mieszanki przy zasilaniu gazem powinien wystąpić od kilku do kilkunastu stopni wcześniej niż ma to miejsce na benzynie.

Ponieważ liczba oktanowa sprężonego gazu ziemnego jest wyższa niż benzyny i może wynosić nawet 130, możliwe staje się korygowanie kąta wyprzedzenia zapłonu w stosunku do zasilania benzyną szczególnie w niższych zakresach prędkości obrotowej, co – zapewnia elastyczną pracę silnika.

Takie warunki pracy świecy powodują szybsze zużycie cieplne i elektroerozyjne jej elektrod, co w konsekwencji skraca czas użytkowania świecy i jej możliwości skutecznego zapłonu mieszanki w cylindrze.

4. ZMIANY KONSTRUKCYJNE ŚWIECY ZAPŁONOWEJ DO ZAPŁONU MIESZANKI POWIETRZA I CNG

Ze względu na warunki zapłonu mieszanki powietrza i gazu ziemnego elementy świecy zapłonowej powinny zostać zmienione, aby ograniczyć do minimum zjawiska szkodliwe wynikające ze spalania CNG oraz zagwarantować efektywne działanie świecy zapłonowej. Zmiany te powinny dotyczyć:

- wielkości szczeliny międzyelektrodowej,
- likwidacji skutków wydłużonego oddziaływania temperatury płomienia na izolator i elektrodę środkową,
- wartości cieplnej świecy .

Ze względu, że przy spalaniu gazu ziemnego potrzeba wyższej wartości szczytowej napięcia zapłonu, co z kolei będzie bardziej obciążać cały układ zapłonowy (od cewki, poprzez przewody zapłonowe także i świecę), można to zapewnić regulując wielkość przerwy międzyelektrodowej. Jednym z parametrów od którego zależy napięcie zapłonu mieszanki jest według prawa Paschena iloczyn ciśnienia i odstęp elektrod. Dlatego przy spalaniu gazu ziemnego aby nie ingerować w układ zapłonowy i jego konstrukcję, możemy zmniejszyć odstęp elektrod w przypadku małych odstępów np. z 0,8 dla benzyny na o 0,1 mm, natomiast przy większych odstępach np. z 1,1 na 0,8 mm, czyli o 0,3 mm.

Kolejną modyfikacją może być zastosowanie odpowiednich materiałów na elektrody, zarówno środkową jak i boczną. Zastosowanie materiałów charakteryzują się mniejszą

erozją iskrową powinno zwiększyć ich trwałość. O ile wykonanie elektrody środkowej może być łatwiejsze to dla elektrody bocznej problemem może być połączenie jej z korpusem świecy. Na elektrodę środkową mogą być stosowane metale szlachetne takie jak: złoto, platyna, srebro a także ich stopy z innymi metalami. Może to powodować zwiększenie ceny świecy, co dla użytkowników ma spore znaczenie. Można te koszty zminimalizować poprzez wykonanie cieńszej elektrody co przy tych materiałach jest możliwe bez zmian parametrów świecy zapłonowej. Elektrody środkowe stosowane w świecach do zapłonu mieszanki powietrza z benzyną mają średnicę ok. 2mm. W układach zasilania gazem ziemnym można zmniejszyć ją do wartości poniżej 1mm. Metal szlachetny może znajdować się tylko na końcu elektrody gdzie bezpośrednio przeskakuje iskra elektryczna. Problemem może tu być połączenie bazowego materiału elektrody z metalem szlachetnym.

Także elektroda boczna być „powleczone” w miejscu przeskoku iskry metalem szlachetnym. Wprowadzane świece wieloelektrodowe nie są zalecane do układów zasilania gazem ziemnym, ponieważ obniża energię zapłonu, która rozkłada się na większą liczbę elektrod. Elektroda boczna może także być specjalnie ukształtowana w celu łatwiejszego naniesienia metalu szlachetnego na jej powierzchnię.

W celu ograniczenia zwiększonego obciążenia termicznego elektrod świece zapłonowe do gazu CNG powinny mieć zmienioną wartość cieplną. Ponieważ temperatura jest wyższa niż przy spalaniu benzyny świeca powinna być bardziej „zimna”, czyli wartość cieplna powinna być zwiększona. Jeżeli świeca ma pracować tylko przy zasilaniu gazem ziemnym wartość cieplna powinna być 10-15% wyższa w stosunku do zasilania benzyną. Ten parametr należałoby ustalić na podstawie badań. Konstrukcyjnie zależy on w głównej mierze od długości dolnej części izolatora (tzw. stożka). W tym przypadku powinien być krótszy aby lepiej świeca odprowadzała ciepło.

5. PODSUMOWANIE

Moda na ekologię oraz względy ekonomiczne przyczyniły się do tego, że w komunikacji miejskiej w Polsce wykorzystuje się coraz więcej autobusów zasilanych CNG. Dzięki swojej specyfice silniki CNG są cichsze i przede wszystkim ich spaliny zawierają mniej toksycznych związków niż silniki Diesla. Na świecy jest obecnie około 1,5 miliona pojazdów zasilanych CNG. Sprawność silnika zasilanego gazem ziemnym jest nieco mniejsza niż silników Diesla i wynosi około 37% (przy 45% dla silników wysokoprężnych). W konstrukcjach silników CNG wykorzystuje się dwa rodzaje systemów spalania bazujące na mieszkankach stechiometrycznych lub ubogich (z nadmiarem powietrza).

Przy zastosowaniu paliwa gazowego do napędu silnika samochodowego zalecane i wymagane jest dostosowanie w nim układu zapłonu dla zapewnienia prawidłowej jego pracy, w tym przewodów wysokiego napięcia i świec zapłonowych.

Właściwy dobór świec zapłonowych jest bardzo ważnym czynnikiem zapewniającym prawidłową pracę silnika z zachowaniem czystości spalin i oszczędnego zużycia paliwa. Konstrukcja świecy zapłonowej stosowanej w silniku zasilanym gazem ziemnym ma zapewnić zapłon mieszanki w szerokim zakresie nadmiaru powietrza w cylindrze. Ponadto świeca powinna charakteryzować się:

- wysoką trwałością,

- niezawodnością i skutecznością zapłonu,
- dostępną ceną.

LITERATURA

- [1]. Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie iskrowym, WKŁ 2005
- [2]. Bosch R. GmbH; Automotive Electric/Electronic Systems
- [3]. Demidowicz R.: Zapłon. WKiŁ, Warszawa 1993
- [4]. Flisowski Z.: Technika wysokich napięć. WNT, Warszawa 1992.
- [5]. Konopiński M.: Elektronika w technice motoryzacyjnej. WKiŁ, Warszawa 1987
- [6]. www.bosch.pl
- [7]. www.iskra-kielce.pl
- [8]. www.ngkntk.pl