

OCENA EFEKTYWNOŚCI ZASILANIA PALIWEM GAZOWYM SILNIKÓW SPALINOWYCH

Streszczenie

W artykule opisano wybrane generacje instalacji gazowych LPG oraz podstawowe problemy związane z ich pracą. Dla samochodu osobowego z zamontowaną IV generacją LPG przeprowadzono szereg badań w które wchodziły pomiary mocy silnika, wpływ jego pracy na środowisko oraz zużycie paliwa. Dokonano analizy porównawczej wymienionych parametrów dla różnych strategii zasilania silnika ZI. Badania przeprowadzono dla zasilania silnika benzyną, zasilania gazem dla parametrów zadanych przez zakład specjalizujący się w montażu instalacji LPG oraz dla różnych modyfikacji mapy gazowej.

WSTĘP

Dynamiczny przyrost ilości pojazdów silnikowych na drogach, powoduje wzrost emisji szkodliwych substancji do otoczenia. Aby w przyszłości ograniczyć ilość emitowanych substancji szkodliwych do środowiska naturalnego, producenci nowych pojazdów zmuszeni są (poprzez wprowadzanie nowych norm emisyjnych przez ustawodawcę) do szukania coraz to nowych rozwiązań mających na celu zmniejszenie szkodliwego działania silnika dla środowiska. Zmieniające się typy rozwiązań układów zasilania oraz sterowania silnikiem spowodowały także rozwój instalacji gazowych. Coraz to dokładniejsze sterowanie ilością doprowadzonego do silnika paliwa pozwoliło także na zwiększenie mocy uzyskiwanej przez silnik oraz na zmniejszenie jednostkowego zużycia paliwa. Rozpatrując aspekty teoretyczne, ekologiczne efekty spalania paliwa gazowego są korzystniejsze dla środowiska niż w przypadku spalania benzyny. Wiele jednak zależy od prawidłowego ustawienia dawki wtryskiwanego gazu. Brak szczegółowych norm prawnych dotyczących emisji spalin w przypadku odbioru adaptowalnych instalacji gazowych [6] powoduje że zakłady specjalizujące się w montażu LPG podczas programowania sterownika nie przywiązują większej uwagi do „czystości spalin”.

W powszechnie panującej opinii montaż instalacji gazowej wiąże się ze spadkiem mocy silnika oraz większym niż w przypadku zasilania benzyną jednostkowym zużyciem paliwa. O ile różnice w zużyciu paliwa rekompensuje niska cena gazu, tak w opinii użytkownika „osiągnię” stanowią w dużej części wyznacznik jakości instalacji oraz poprawności jej zainstalowania w samochodzie. Większość zakładów zajmujących się montażem instalacji LPG nie posiada urządzeń pozwalających wyznaczać charakterystyki mocy i momentu obrotowego silnika. W takich przypadkach określenie tych parametrów odbywa się jedynie poprzez subiektywną ich ocenę przez mechanika podczas jazdy próbnej.

W niniejszej publikacji dokonano analizy zależności składu emitowanych spalin, mocy jednostki napędowej oraz zużycia paliwa od algorytmu zasilania silnika paliwem.

1. ROZWÓJ INSTALACJI GAZOWYCH

Pierwsze dostępne na rynku instalacje gazowe były odpowiednikami układów gaźnikowych. W skład instalacji wchodził m.in. dwustopniowy reduktor (parownik), mechaniczny zawór dławiący (zastąpiony w późniejszym czasie silnikiem krokowym) oraz mieszalnik. Instalacja ta charakteryzowała się prostą budową lecz jej konstrukcja nie pozwalała na precyzyjne sterowanie ilością paliwa w

zależności od zmieniających się stanów pracy silnika. Mieszanka paliwowa powietrzna była przygotowywana przed przepustnicą i wypełniała kolektor dolotowy. Skutkiem takiego rozwiązania były sporadyczne jej detonacje, które mogły w szczególnych przypadkach doprowadzić nawet do uszkodzenia układu dolotowego. Zjawisko to spowodowało, że w opinii użytkowników do dziś istnieje przekonanie, iż instalacja gazowa w samochodzie jest niebezpieczna i bardzo szkodliwa dla silnika.

Najpopularniejsza, IV generacja instalacji LPG nazywana sekwencyjną stosowana jest w silnikach wtryskowych posiadających elektroniczne sterowanie. Wielopunktowy wtrysk odbywający się za pomocą specjalnych gazowych wtryskiwaczy umieszczonych w możliwie blisko zaworów dolotowych umożliwia precyzyjne dozowanie dawki potrzebnej do zasilania oraz odcinanie dopływu paliwa np. podczas hamowania silnikiem. W tej generacji instalacji gazowych wyeliminowano zjawisko powstawania detonacji w kolektorze dolotowym [4]. Możliwość utrzymywania składu mieszanki palnej zbliżonej do stechiometrycznej pozytywnie wpływa na poprawny przebieg procesu spalania co skutkuje mniejszą emisją szkodliwych substancji oraz zadowalającymi osiągnięciami w porównaniu do tych osiąganych na benzynie.

Najnowsze instalacje gazowe nie posiadają już reduktora ciśnienia gazu. Wtrysk gazu, w postaci ciekłej, odbywa się pod dużym ciśnieniem. Rozwiązanie takie pozwala na zamontowanie instalacji w samochodach z bezpośrednim wtryskiem benzyny. Stosunkowo wysoka cena instalacji powoduje że nie cieszy się ona dużym zainteresowaniem wśród potencjalnych użytkowników.

2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Głównym celem badań przeprowadzonych na potrzeby niniejszej publikacji jest ocena efektywności układu zasilania paliwem gazowym i benzynowym, oraz ich analiza porównawcza w odniesieniu do uzyskiwanej mocy, emisji szkodliwych substancji oraz zużycia paliwa. W ramach prowadzonych badań dokonano pomiarów mocy oraz przeprowadzono próby przejazdu w cyklach jezdnych, które symulują jazdę w warunkach drogowych. Każdy pomiar wykonano dla różnych modyfikacji sposobu zasilania. Przeprowadzono pomiary przy zasilaniu silnika benzyną, oraz przy zasilaniu gazem dla różnych modyfikacji mapy gazowej. W ramach publikacji skupiono się nad modyfikacją współczynnika korekcyjnego, który jest głównym parametrem regulacyjnym mapy wtrysku LPG w stosunku do mapy benzynowej.

Badania przeprowadzono na pojeździe Renault Megane II 1.6 16V z zamontowaną instalacją gazową firmy STAG, której głównymi podzespołami są: sterownik Stag 4 eco, reduktor Zavoli zeta N 150,

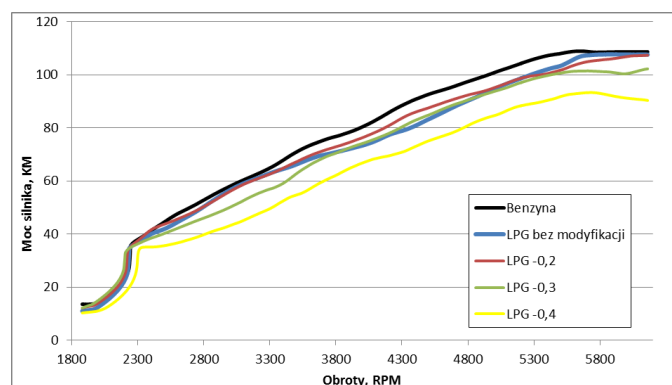
wtryskiwacze Hana 2000 „czerwone”. Pomiary zostały przeprowadzone w oparciu o parametry zadane przez zakład specjalizujący się w montażu instalacji gazowych.



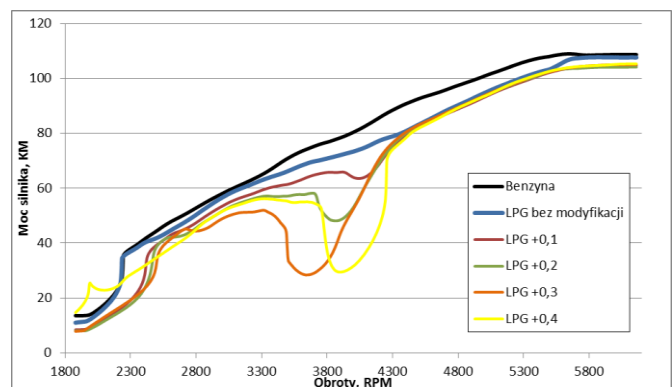
Rys. 1. Obiekt badań

3. WYNIKI BADAŃ

Badania przeprowadzono na hamowni podwoziowej MAHA MSR500, na której dokonano pomiarów mocy silnika podczas zasilania go benzyną oraz dla różnych modyfikacji algorytmu sterującego dawkowaniem gazu LPG. Na rysunku 2 przedstawiono osiągi silnika przy kolejnym zmniejszaniu dawki wtryskiwanego gazu. Wykres z rysunku 3 przedstawia krzywe mocy dla podwyższonych wartości dawki LPG. Wykresy odniesiono do wartości mocy uzyskiwanych podczas zasilania silnika benzyną.

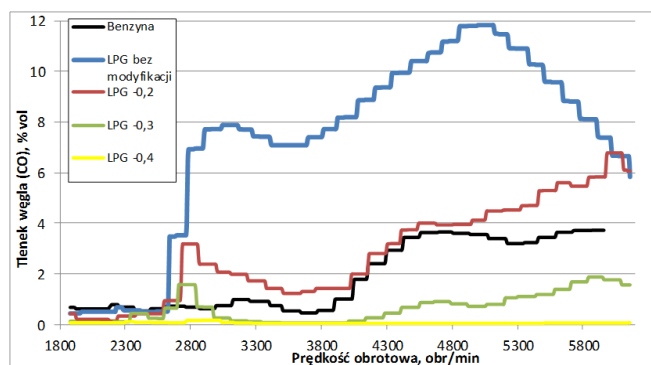


Rys. 2. Przebiegi mocy dla benzyny, gazu niemodyfikowanego i dawek skorygowanych niższych

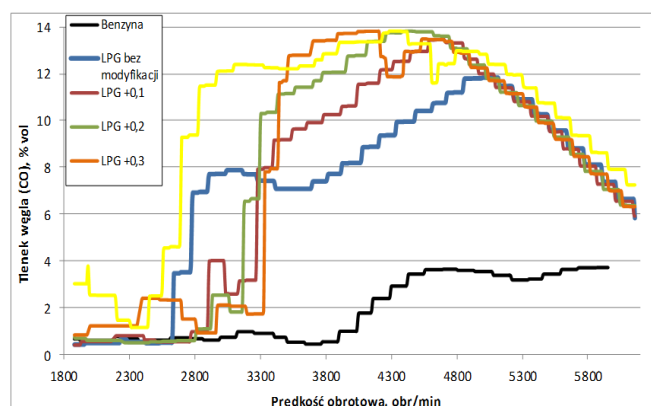


Rys. 3. Przebiegi mocy dla benzyny, gazu niemodyfikowanego i dawek skorygowanych wyższych

Analizując przebiegi mocy silnika (rysunki 2 i 3) możemy dostrzec, iż podczas zasilania benzyną generował on wyższe wartości mocy, niż przy pracy na gazie. Dla wartości współczynnika korekcyjnego obniżonego o 0,2 (rysunek 2) w szerokim przedziale prędkości obrotowych, silnik uzyskuje wyższą wartość mocy, niż w przypadku pracy na mapie podstawowej. Może to świadczyć o niedokładnym wykonaniu strojenia podstawowej mapy gazowej. Ponadto, w przypadku podwyższonej dawki gazu (rysunek 3), przy prędkości obrotowej ok. 3300obr/min następuje gwałtowny spadek mocy silnika, a następnie jej unormowanie przy ok. 4300 obr/min. Korzystając z analizatora spalin współpracującego z hamownią podwoziową MAHA MSR500 podczas pomiarów mocy dokonano także badania zanieczyszczenia spalin. Wyniki pomiarów przedstawiono na wykresach poniżej.

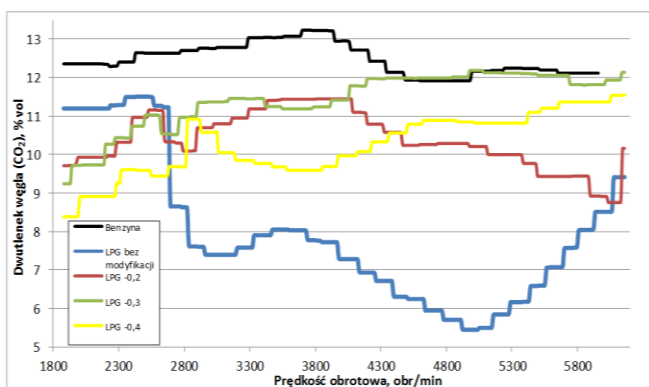


Rys. 4. Wartości tlenu węgla dla benzyny, gazu niemodyfikowanego i dawek skorygowanych niższych

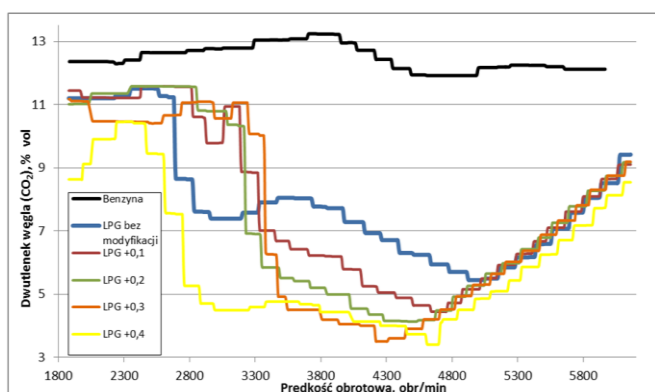


Rys. 5. Wartości tlenu węgla dla benzyny, gazu niemodyfikowanego i dawek skorygowanych wyższych

Większość modyfikacji zasilania paliwem gazowym posiada większą ilość tlenu węgla, niż w przypadku spalania benzyny (rysunek 4 i 5). Objętościowa ilość tlenu węgla w spalinach informuje o prawidłowości procesu spalania w silniku. Świadczyć o tym, że LPG wymaga lepszych warunków spalania, niż benzyna.

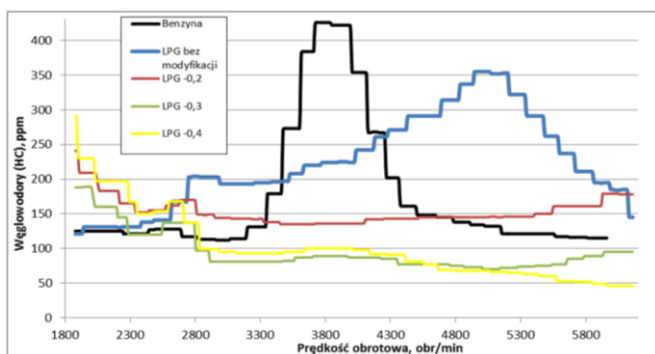


Rys. 6. Wartości dwutlenku węgla dla benzyny, gazu niemodyfikowanego i dawek skorygowanych niższych

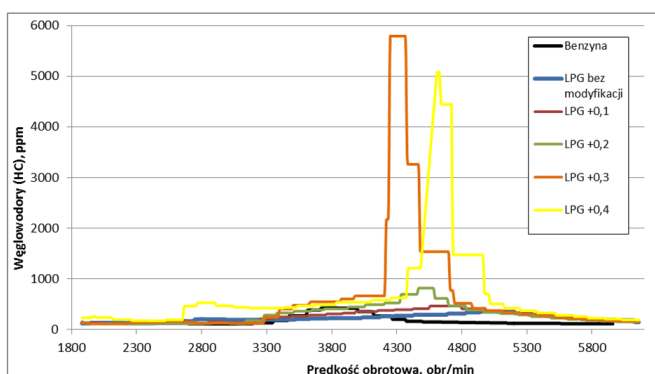


Rys. 7. Wartości dwutlenku węgla dla benzyny, gazu niemodyfikowanego i dawek skorygowanych wyższych

Niezależnie od dawki zasilającego paliwa LPG, silnik wydziela do atmosfery mniej dwutlenku węgla, niż w przypadku pracy na benzynie (rysunek 6 i 7).

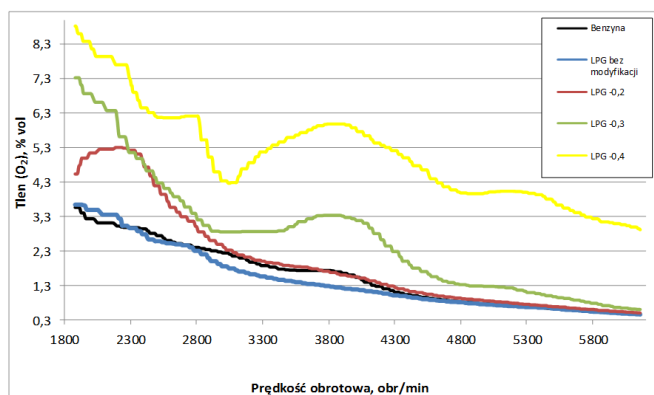


Rys. 8. Wartości węglowodorów dla benzyny, gazu niemodyfikowanego i dawek skorygowanych niższych [3]

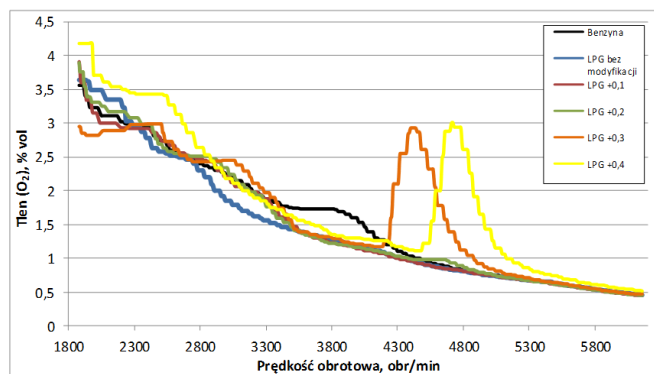


Rys. 9. Wartości węglowodorów dla benzyny, gazu niemodyfikowanego i dawek skorygowanych wyższych

Analizując rysunek 9 zauważamy, że w zakresie 4000-5000 obr/min, paliwa jest na tyle dużo, że zaburza ono w znacznym stopniu przebieg spalania. Zjawisko to uzasadnia nagły spadek mocy w tym zakresie prędkości obrotowych. Niższe dawki gazu (rysunek 8) powodują spadek emisji węglowodorów w spalinach w stosunku do zasilania benzyną.



Rys. 10. Wartości tlenu dla benzyny, gazu niemodyfikowanego i dawek skorygowanych wyższych



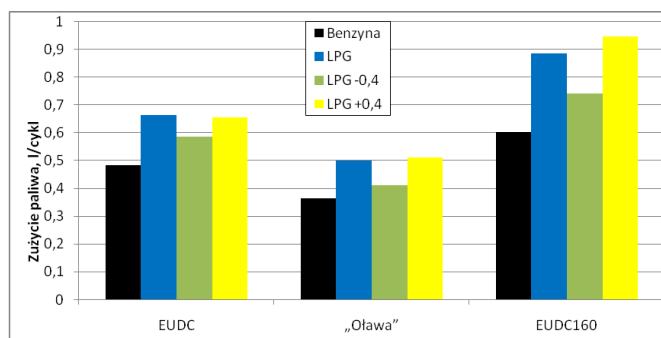
Rys. 11. Wartości tlenu dla benzyny, gazu niemodyfikowanego i dawek skorygowanych wyższych

Wykres tlenu w spalinach (rysunek 10 i 11) dla dawek wyższych niż niemodyfikowane potwierdza wcześniejsze założenie związane z zaburzeniem procesu spalania. Wyraźny nadmiar tlenu w przedziale 3000-4000 obr/min, w odniesieniu do nadmiaru węglowodorów może świadczyć o tym, że skład mieszanki przekroczył granicę zapalności dla LPG.

Ponadto przeprowadzono również szereg badań mających na celu pomiar zużycia paliwa dla omówionych wcześniej różnych strategii zasilania silnika. W ramach badań przeprowadzono pomiar w trzech cyklach jezdnych:

- EUDC – cykl oddający jazdę przy niskich obciążeniach silnika, bez gwałtownych zmian prędkości;
- OŁAWA – cykl oddaje rzeczywistą charakterystykę jazdy miejskiej. Zawiera dynamiczne przyspieszenia oraz dużą częstotliwość zmian prędkości;
- EUDC160 – cykl zawiera fragmenty jazdy przy dużych obciążeniach silnika oraz przy prędkościach i przyspieszeniach zbliżonych do maksymalnych możliwych dla silnika.

Analizie poddano pomiary przeprowadzone dla silnika zasilanego benzyną, gazem LPG w konfiguracji podstawowej oraz dla dwóch modyfikacji współczynnika korekcyjnego mapy gazowej: obniżonego i podwyższonego o 0,4 (40%). Na rysunku 12 przedstawiono wyniki pomiarów.



Rys. 12. Porównanie całkowitego zużycia paliwa w cyklach jezdnych

PODSUMOWANIE

W ramach publikacji skupiono się jedynie na prostej modyfikacji współczynnika korekcyjnego, o jednakową wartość w całym zakresie możliwości jego modyfikacji. Aby osiągnąć idealne ustawienia mapy gazowej należałoby korygować współczynnik korekcyjny indywidualnie dla każdej wartości czasu wtrysku oraz zastosować korekty względem prędkości obrotowej, ciśnienia i temperatury gazu. Najlepszym kompromisem pomiędzy uzyskiwaną mocą silnika, a jego emisją szkodliwych substancji uzyskujemy dla dawek obniżonych w przedziale 0,2-0,3. Podejrzewa się, iż przy precyzyjnym ustawieniu mapy wraz z wszystkimi korektami możliwe będzie uzyskanie mocy silnika na poziomie generowanej przy zasilaniu benzyną. Przy poprawnym ustawieniu wszystkich parametrów, możliwe jest uzyskanie niższej niż dla zasilania benzyną, wartości emisji spalin dla każdego z badanych parametrów.

BIBLIOGRAFIA

1. Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie iskrowym, WKŁ, Warszawa 2005,
2. Kneba Z., Makowski S.: Zasilanie i sterowanie silników, WKŁ Warszawa 2004,
3. Kołodziej S.: Analiza porównawcza dwupaliwowego układu zasilania, Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Opolska 2015,
4. Majerczyk A., Taubert S.: Układy zasilania gazem propanbutan, WKŁ, Warszawa 2003.
5. Romaniszyn Kazimierz M.: Alternatywne zasilanie samochodów benzyną oraz gazami LPG i CNG, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne
6. Żółtowski A.: Problemy emisji w pojazdach zasilanych paliwami gazowymi, Journal of KONES Vol. 9, No. 1-2, 2002,

POWER EFFICIENCY OF A INTERNAL COMBUSTION ENGINE POWERED BY LIQUEFIED PETROLEUM GAS

Abstract

This paper describes some generations of LPG gas installations and the basic problems related to their operating. The research was made for a car with mounted of the fourth generation of LPG installation.

The studies included comparative analysis of engine power, the impact of his operation on the environment and fuel consumption for various fuel supply strategies of the SI engine. The study was conducted for the petrol engine supply, gas supply on the parameters preset by the factory specializing in the installation of LPG fuel systems and for different modifications of the gas map.

Autorzy:

mgr inż. **Szymon Kołodziej** - Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, 45-271 Opole; ul. Mikołajczyka 5. Tel: + 48 77 449 8378, s.kolodziej@po.opole.pl

dr inż. **Mariusz Graba** - Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, 45-271 Opole; ul. Mikołajczyka 5. Tel: + 48 77 449 8449, m.graba@po.opole.pl

dr inż. **Andrzej Bieniek** - Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, 45-271 Opole; ul. Mikołajczyka 5. Tel: + 48 77 449 8447, a.bieniek@po.opole.pl