

ADAPTACJA KONSTRUKCYJNA CIĄGNIKA ROLNICZEGO C-385 DO ZASILANIA CNG

Bogusław Cieślukowski, Paweł Knapik

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Akademia Rolnicza w Krakowie

Streszczenie. Dążenie do obniżenia kosztów eksploatacji ciągników rolniczych skłania do procesu adaptacji silnika Diesla do zasilania sprężonym gazem ziemnym CNG. W publikacji przedstawiono wyniki prac zmierzających do modyfikacji ciągnika C-385 zasilanego w systemie jednopaliwowym. Proces adaptacji konstrukcyjnych zawiera modyfikację układu korbowego, rozrządu i układu dolotowego silnika wraz z montażem dodatkowego osprzętu układu CNG i butli na sprężonym gazem ziemnym. Istotnym zagadnieniem jest dostosowanie parametrów sterownika w układzie dozowania CNG do indywidualnych wymagań typoszeregu konstrukcyjnego silnika.

Słowa kluczowe: zasilanie silnika CNG, modyfikacje konstrukcyjne silnika, sterownik układu dozowania gazu

Wstęp

Zasilanie gazowe silników pojazdów rolniczych w systemie CNG i LPG ma już kilkudziesięcioletnią tradycję. W 1986 r. szwajcarska firma FAT-Tanikon podjęła próbę wprowadzenia prototypowych instalacji zasilania biogazem i gazem ziemnym ciągników Fiat i Deutz. Równocześnie wdrożono rosyjską koncepcję zasilania gazem ziemnym ciężkich ciągników Kirowiec modyfikując ówczesne silniki Diesla. W Polsce IBMER wspólnie z Ośrodkiem Rozwoju Wyrobów ZPC Ursus wystawił na targach Polagra'93 dwa ciągniki Ursus 4512, których jeden został przystosowany do zasilania gazem propanobutanowym (LPG) a drugi sprężonym gazem ziemnym (CNG). Modyfikacja silników z zapłonem samoczynnym pozwoliła na wprowadzenie jednopaliwowego układu zasilania wyposażonego w zapłon iskrowy opracowany w firmie NGV Autogaz. W wyniku późniejszych prac nad wprowadzeniem katalizatora spalin dokonano zastąpienia układu zapłonowego nowym sterownikiem Gastronic CPU-06 i CPU-RSM-6a. System Gastronic testowano na autobusach MZK w Dębicy, Przemyślu i w Krakowie wyposażonych w silniki Jelcz 120M. Zainstalowano również instalacje prototypowe CNG w dwóch ciągnikach Ursus 2812 przeznaczonych do transportu wewnętrznego w zakładach Fiat Auto Poland S.A. oraz w jednym ciągniku testowanym w ZPC Ursus.

Głównym składnikiem gazu ziemnego jest metan, który zazwyczaj stanowi ponad 90% udziału objętościowego - inne węglowodory występujące w niewielkich ilościach w gazie ziemnym to etan, propan i butan. Parametry porównawcze paliw silnikowych zestawiono w tabeli 1. Gaz ziemny w zbiornikach pojazdu magazynowany jest w postaci gazowej,

w przeciwieństwie do paliw znajdujących się w postaci ciekłej, takich jak benzyna, olej napędowy czy LPG. W związku z tym w zbiorniku o określonej pojemności, ilość paliwa jest najmniejsza w przypadku CNG. Można dokonać przeliczenia energetycznego CNG na inne paliwa zgodnie z zapisem:

$$1 \text{ kg CNG} = 1,10 \text{ kg LPG} = 1,27 \text{ kg benzyny} = 1,23 \text{ kg ON}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ CNG} = 1,40 \text{ l LPG} = 1,27 \text{ l benzyny} = 1,06 \text{ l ON}$$

Tabela 1. Porównanie wybranych cech fizyko-chemicznych paliw silnikowych
Table 1. Comparison of selected physical and chemical properties of engine fuels

Rodzaj paliwa	Benzyna	Olej napędowy	LPG	CNG
Wartość opałowa [MJ·kg ⁻¹]	3,7	3,6	3,65	3,36
Wartość energetyczna [MJ·kg ⁻¹]	44	42,8	50,4	55,4
Liczba oktanowa	98	l. cetanowa	110-115	110-120
Temperatura zapłonu [°C]	220-270	222	Propan - 482 Butan - 430	580
Gęstość [kg·m ⁻³]	0,74-0,76	0,86	Propan - 2,0 Butan - 2,7	0,74
Zapotrzebowanie powietrza [kg·kg ⁻¹]	14,7-15	14,5	15,5	17,2

Zakres modyfikacji konstrukcyjnych ciągnika

Wyróżnia się trzy sposoby adaptacji silników Diesla do zasilania CNG:

- przekształcenie na silnik dwupaliwowy z zapłonem iskrowym zasilany CNG oraz benzyną w fazie rozruchu,
- silnik dwupaliwowy zasilany dawką ON w fazie zainicjowania samozapłonu dla 20-30% dawki jednostkowej paliwa, oraz 70-80% dawki energetycznej w postaci CNG w fazie spalania dyfuzyjnego,
- silnik jednopaliwowy dostosowany do zapłonu iskrowego zasilany wyłącznie CNG.

Adaptacja konstrukcyjna silników stosowanych w pojazdach rolniczych wyposażonych w klasyczną aparaturę paliwową obejmuje zakres rozwiązań wg trzeciej z zaprezentowanych koncepcji. Istotnym zagadnieniem jest kryterium minimalizacji kosztów adaptacji silnika odnoszonych zarówno do wartości modyfikowanego pojazdu jak również do planowanego okresu amortyzacji przedsięwzięcia inwestycyjnego.

Zakres prac adaptacyjnych obejmuje:

- demontaż klasycznej aparatury paliwowej silnika Diesla, w tym pompy wtryskowej z pozostawieniem napędu dla sprężarki tłokowej silnika, wtryskiwaczy, filtrów i przewodów paliwowych,
- wykonanie gniazd przeznaczonych do zamontowania świec zapłonowych w kanałach dla opraw zdemontowanych wtryskiwaczy,
- demontaż układu korbowo-tłokowego silnia ze względu na konieczność modyfikacji komory spalania silnika zlokalizowanej w tłoku,
- obniżenie górnej krawędzi denka tłoka dla zapewnienia statycznego stopnia sprężania silnika na poziomie nie przekraczającym $\epsilon=11$. Sprawdzenie rozkładu mas tłoków,

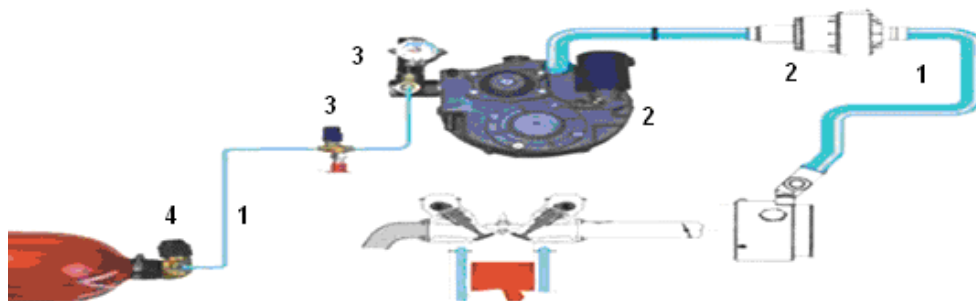
Adaptacja konstrukcyjna ciągnika...

- wyrównanie mas przez usunięcie nadmiaru materiału z nadadków masowych na wewnętrznej powierzchni tłoka w strefie dolnej poniżej sworznia tłokowego,
- zmiana faz zaworów ssących i wydechowych przez wprowadzenie mechanizmu zintegrowanego z kołem zębatym napędu wałka rozrządu,
- modyfikacja kolektora ssącego w celu zainstalowania dysz dozujących CNG,
- wykonanie wzmocnień konstrukcyjnych w strefie płyty dolnej kabiny lub nadkoli tylnych kół za względu na zamocowanie butli gazowych,
- usunięcie zbiornika paliwa dla ON.

Zainstalowanie układu dozowania CNG zintegrowanego poprzez wspólny sterownik z układem zapłonowym silnika wymaga zainstalowania:

- tarczy impulsowej mocowanej do koła pasowego silnika,
- czujnika indukcyjnego mocowanego do pokrywy kół napędowych rozrządu w strefie tarczy impulsowej jako znacznika położenia wału korbowego silnika,
- cewek zapłonowych zintegrowanych ze świecami zapłonowymi w postaci panelowej listwy zasilania wysokonapięciowego świec zapłonowych,
- reduktorów, zaworów bezpieczeństwa i zaworu odcinającego,
- dwóch butli gazowych połączonych wysokociśnieniowym przewodem wyrównawczym,
- sterownika głównego instalacji oraz okablowania.

Schemat ideowy układu zasilania CNG z zaznaczeniem elementów wykonawczych przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Elementy układu zasilania CNG silnika [Elpigaz Poland 2006]: 1 - przewody doprowadzające gaz, 2 - reduktory, 3 - Zawory sterujące przepływem gazu, 4 - nadciśnieniowe zawory bezpieczeństwa z upustem kontrolowanym gazu

Fig. 1. Elements of the system delivering CNG to the engine [Elpigaz Poland 2006]: 1 - conduits delivering gas, 2 - reducers, 3 - valves controlling gas flow, 4 - pressure relief safety valves with controlled gas bleeder

Zakres prac adaptacyjnych silnika w zakresie modyfikacji komory spalania przedstawiono na rys. 2, natomiast przykłady zainstalowania butli gazowych w strefie kabiny ciągnika przedstawiono na rys. 3.



Rys. 2. Modyfikacja komory spalania silnika oraz przykład konstrukcyjny cewki zapłonowej zintegrowany ze świecą zapłonową cylindra: 1 - obniżenie denka tłoka z pozostawieniem granicznego wymiaru 6 mm do pierścienia uszczelniającego, 2 - widok cewki zapłonowej z kołnierzem służącym do zamocowania na listwie

Fig. 2. Modification of engine combustion chamber and constructional example of ignition coil integrated with cylinder sparking plug: 1 - piston head lowering, while limiting dimension of 6 mm to sealing ring remains unchanged, 2 - view of ignition coil with flange used to attach it to a rail



Rys. 3. Przykłady zainstalowania butli gazowych CNG na ciągniku C385: 1 - butle mocowane do nadkoli tylnych po wzmocnieniu konstrukcji błotnika, 2 - butle wzmocnione w części czołowej dolnej strefy kabiny ciągnika

Fig. 3. Examples showing installation of the CNG gas cylinders onto the C385 tractor: 1 - gas cylinders fixed to back body-fixing plates after having reinforced the wing structure, 2 - gas cylinders fixed in the front section of tractor cab lower zone

Istotnym zagadnieniem jest indywidualne dostosowanie sterownika dozowania gazu CNG do rodzaju i typu silnika ciągnikowego. Wstępne ustalenia dotyczą wprowadzenia ogranicznika maksymalnej prędkości obrotowej wału korbowego silnika tak aby nie przekroczyć wartości podanych dla silnika przed jego modyfikacją [Merkisz, Mazurek 2006]. Wyznacznikiem tych ograniczeń nie jest w tym przypadku przebieg procesu spalania lecz obciążenia dynamiczne układu korbowo-tłokowego wynikające głównie z udziału sił bezwładności układu [Burzyński 1989]. Należy również uwzględnić wymaganie dotyczące maksymalnej prędkości ciągnika na grupie przełożeń transportowych w odniesieniu do wymagań bezpieczeństwa i warunków trakcyjnych pojazdu.

Znaczący problem stanowi konfiguracja dawki gazu dostosowanej do właściwego składu stechiometrycznego dla zmiennej charakterystyki wydatku objętościowego i sprężu turbosprężarki silnika [Piekarski 2004]. Należy w tym przypadku zrezygnować z nadmiernego przepłukiwania komory spalania silnika świeżym ładunkiem palnym poprzez zmniejszenie fazy współotwarcia zaworów silnika. Zmiana ta wyznacza w większości przypadków potrzebę modyfikacji wałka rozrządu silnika. Pozostawienie tego samego wałka rozrządu możliwe jest tylko dla silnika bez doładowania.

Do sterowania pracą układu dozującego CNG i zapłonu wykorzystywane są liczne czujniki. Część zapłonowa pracuje na podstawie zaprogramowanych w pamięci sterownika charakterystyk sterowania. Kąt wyprzedzenia zapłonu korygowany jest w zależności od temperatury silnika, temperatury zasysanego powietrza oraz kąta położenia przepustnicy.

W procesie oprogramowania sterownika dla układu CNG należy uwzględnić:

- zmienność dawki na podstawie charakterystyki obciążeniowej silnika,
- sterowanie rozruchem,
- wzbogacanie dawki podczas ponownego rozruchu, rozruchu ciepłego silnika,
- konfigurację dawki dozownika dla fazy zwiększania obciążenia silnika,
- odłączenie dozowania w fazie hamowania silnikiem,
- histerezę fazy ograniczania maksymalnej prędkości obrotowej,
- regulację λ w obwodzie adaptacyjnym.

W odniesieniu do układu zapłonowego należy uwzględnić:

- określenie podstawowego kąta wyprzedzenia zapłonu na podstawie charakterystyki,
- sterowanie czasem impulsu obciążenia napięciowego cewki zapłonowej,
- korektę kąta wyprzedzenia zapłonu w fazie rozgrzewania silnika,
- sterowanie rozruchem silnika,
- stabilizację biegu jałowego z wykorzystaniem silnika krokowego w nastawniku przepustnicy – możliwość wprowadzenia nastawnika z funkcją tempomatu,
- indywidualną regulację przeciwstukową spalania w obwodzie adaptacyjnym.

Sterownik dozownika CNG zostanie zaprogramowany do wykonania funkcji samodiagnozy z uwzględnieniem:

- nadzorowania czujników i elementów wykonawczych,
- zapamiętywanie i wyświetlanie kodu błędów, diagnozy elementów wykonawczych i wyświetlanie wartości pomiarowych po wprowadzeniu kodu identyfikacyjnego sterownika,
- funkcji awaryjnych.

Wnioski

1. Istnieje możliwość dostosowania silników ciągników rolniczych starszej generacji do zasilania sprężonym gazem ziemnym CNG.
2. Zakres modyfikacji silnika jest znaczny, gdyż wymagana jest ingerencja w układ korbowy, rozrządu i dolotowy silnika a ponadto konieczne są zmiany istniejącego osprzętu silnika oraz konstrukcji nadkoli kół tylnych lub kabiny ciągnika.
3. Sterowniki układu dozującego gaz CNG wymagają indywidualnego dostosowania do typu i modelu silnika.

Bibliografia

- Burzyński L.** 1989. Spalinowe silniki tłokowe zasilane paliwami gazowymi, Silniki spalinowe 2. s. 44.
Merkisz J., Mazurek S. 2006. Pokładowe systemy diagnostyczne, wyd.3 rozszerzone, WKiŁ. s. 66-70.
Piekarski W., Dzieniszewski G. 2004. Analiza możliwości doładowania silnika zasilanego gazem, Eksploatacja i Niezawodność 1. s. 12-18.
Materiały inf. 2006. Elpigaz Poland.

THE C-385 FARM TRACTOR CONSTRUCTIONAL ADAPTATION TO CNG COMBUSTION

Abstract. The need to reduce operating costs of farm tractors incline engineers to make efforts to adapt Diesel engines to the combustion of compressed natural gas (CNG). The paper presents results of works aimed to modify the C-385 tractor working in a single-fuel system. The process of constructional adaptations includes modification of crankshaft assembly, timing gear system and engine inlet system, plus installation of extra CNG system elements and gas cylinder containing compressed natural gas. An important issue is to adjust controller parameters in the CNG proportioning system to individual requirements of the engine constructional series of types.

Key words: The CNG delivery to engine, engine constructional modifications, gas proportioning system controller

Adres do korespondencji:

Bogusław Cieślukowski; e-mail: bcieslikowski@ar.krakow.pl
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Akademia Rolnicza w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków