

Kazimierz LEJDA
Artur JAWORSKI

PROBLEMY ZASILANIA GAZOWEGO SILNIKÓW ROLNICZYCH

Gas fuelling problems of agricultural engines

Wprowadzenie

Paliwa gazowe są istotnymi paliwami zastępczymi do zasilania silników spalinowych. Charakteryzują się one korzystnymi właściwościami, tj.: wysoką liczbą oktanową, wysoką temperaturą samozapłonu, szerokimi granicami palności ich mieszanin z powietrzem oraz dużą wartością opałową (tab 1) [5, 11, 12].

Tabela 1. Podstawowe parametry paliw gazowych w porównaniu do konwencjonalnych

Właściwość	Benzyna 98	Olej napędowy	LPG (70% butanu)	Gaz ziemny - metan	Biogaz	Wodór H
Liczba oktanowa	98		105 (RON)	110 (RON)		70 (RON)
Gęstość (kg/m ³) cieczy gazu	760	815-855	540 2,06	424 0,72	1,2	71 0,09
Wartość opałowa (MJ/kg)	43,55	42,5	45,78	50	17,5	120
Granice zapalności	0,4 1,4	0,48 1,35	0,4 1,7	0,7 2,1	0,7 2,3	0,5 10,5
L _t (kg/kg)	14,7	14,5	15,5	17,2	6,1	34

Silniki spalinowe stosowane do napędu maszyn rolniczych są przeważnie jednostkami wysokoprężnymi. Ich adaptacja do zasilania paliwem gazowym [2, 4, 13] obejmuje:

- modernizację konstrukcji silnika poprzez zmianę systemu zasilania, komory spalania i systemu zapłonu mieszanki paliwowo-powietrznej (przekonstruowanie na silnik o ZI),
- modernizację systemu zasilania paliwem poprzez adaptację układu zasilania paliwem gazowym oraz zmianę dawkowania ON (w silnikach dwupaliwowych zasilanych jednocześnie ON i gazem).

Prof. dr hab. inż. **Kazimierz Lejda**, mgr inż. **Artur Jaworski**, Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Politechniki Rzeszowskiej.

Z adaptacją silników rolniczych wiąże się zatem szereg ograniczeń, z których najistotniejsze to: koszty, a także problemy związane z dystrybucją paliwa gazowego, z trwałością silnika zasilanego takim paliwem, umiejscowieniem zbiornika na paliwo, z optymalizacją silnika, z bezpieczeństwem eksploatacji i obsługi.

Problemy natury finansowej

W obydwu przedstawionych we wstępie przypadkach modernizacja silnika związana jest z kosztami, które stanowią zasadniczy aspekt. Przystosowanie silnika do pracy na paliwie gazowym w systemie jednopaliwowym wymaga [14, 16] m.in. następujących prac:

- obniżenia stopnia sprężania poprzez zmianę konstrukcji głowicy oraz (lub) tłoków,
- zmiany konstrukcji układu dolotowego (zamontowanie zespołu przepustnicy, mieszalnika lub wtryskiwacza, tłumika płomieni powrotnych),
- zamontowania układu zapłonowego, z czujnikami identyfikującymi prędkość obrotową oraz rodzaj cylindra,
- adaptacji układu chłodzenia,
- opracowania sterownika pracy silnika na paliwie gazowym.

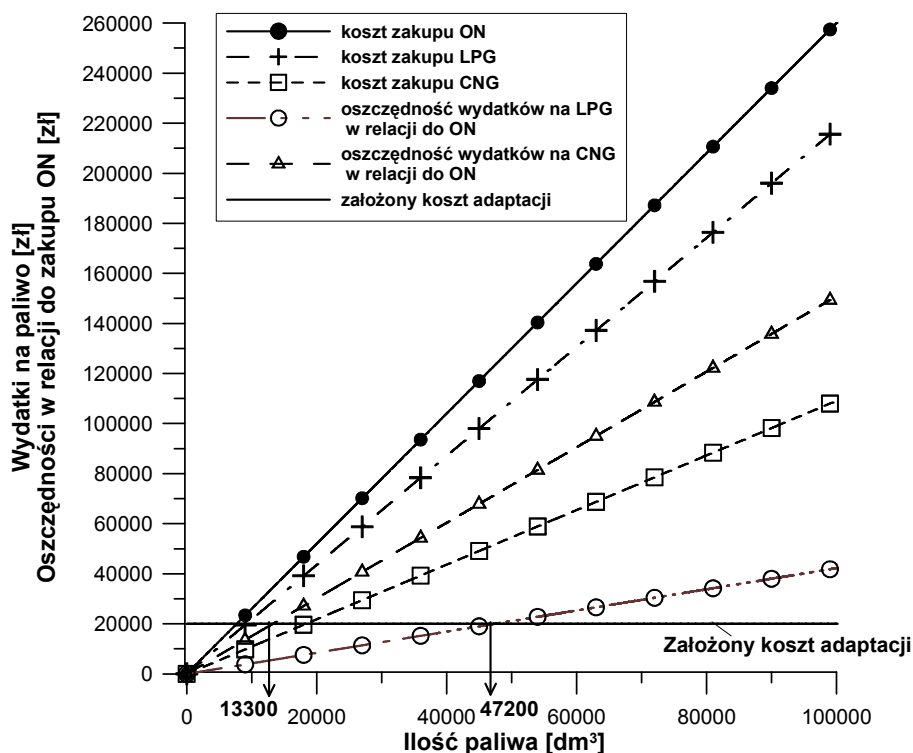
Przystosowanie pojazdu do zasilania gazem obejmuje dodatkowo konieczność zabudowy na pojeździe zbiornika paliwa oraz układu doprowadzającego gaz do silnika.

Średni koszt adaptacji pojazdu rolniczego do zasilania gazowego szacuje się na ok. 20 tys. zł. Biorąc pod uwagę ceny ON (2,60 zł/dm³), LPG (1,50 zł/dm³) i CNG (1,00 zł/dm³) oraz średnie zużycie paliw dla wybranych pojazdów rolniczych [18] (ciągniki, kombajny zbożowe), dokonano szacunkowych kalkulacji wydatków, których wyniki zastawiono w tabeli 2. Koszt zużycia paliwa maszyn został obliczony na podstawie jednostkowego zużycia paliwa oraz założonej średniej mocy na godzinę pracy.

Tabela 2. Szacunkowe wydatki na paliwa dla wybranych maszyn

Typ maszyny (średnia moc na godzinę pracy kW))	Rodzaj paliwa	Zużycie paliwa (kg) (dm ³)	Koszt paliwa (zł)	Oszczędność przy zasilaniu gazowym (zł)
Ciągnik Ursus 4512 (22)	ON	5,24 (6,09)	15,83	-
	LPG	4,86 (8,84)	13,26	2,57
	CNG	4,45 (6,64 Nm ³)	6,64	9,19
Ciągnik ZTS 16 245 SUPER (60)	ON	14,1 (16,4)	42,64	-
	LPG	13,1 (23,8)	35,7	6,94
	CNG	12 (17,9)	17,9	24,74
Kombajn Bizon Z-058 (95)	ON	15,68 (18,23)	47,4	-
	LPG	14,614 (26,6)	39,85	7,55
	CNG	13,32 (19,9)	19,9	27,5

Z rezultatów obliczeń zawartych w tabeli wynika, że zasilanie gazowe wiąże się ze znacznym ograniczeniem wydatków na paliwo, szczególnie dla CNG. Przykładowo, dla przyjętych założeń oszczędność dla ciągnika URSUS 4512 wynosi: przy zasilaniu LPG – 2,57 zł/h, natomiast przy zasilaniu gazem ziemnym 9,19 zł/h. Zwrot nakładów związanych z przystosowaniem tego ciągnika do zasilania gazowego dla przyjętych danych wynosi ok. 7800 godzin dla LPG oraz ok. 2200 godzin dla CNG. Przyjmując średnioroczny czas pracy ciągnika równy 1000 godzin, zwrot kosztów adaptacji w przypadku CNG nastąpiłby po ok. dwóch latach, natomiast w przypadku LPG po ok. ośmiu latach. Na rys. 1 przedstawiono wydatki na zakup paliw: ON, LPG, CNG oraz zyski przy zasilaniu gazowym. Z wykresu wynika, że zwrot nakładów poniesionych na adaptację nastąpi w przypadku CNG po zakupie paliwa równoważnego ok. 13300 dm³ ON, natomiast dla LPG po ok. 47200 dm³ ON. Na tej podstawie można również w przybliżeniu oszacować czas zwrotu nakładów poniesionych na adaptację do zasilania gazowego, znając średnie miesięczne (roczne) zużycie paliwa przez daną maszynę. Na przykład, jeżeli kombajn zużywa w ciągu roku 3000 litrów paliwa, okres zwrotu nakładów adaptacji do zasilania CNG wyniesie ok. 4,5 roku.



Rys. 1. Wydatki na paliwa gazowe i ON

Zredukowaniem wydatków na paliwo może być wykorzystanie biogazu uzyskiwanego w danym gospodarstwie jako produktu procesów fermentacji. Wymaga to jednakże dodatkowych nakładów na zakup instalacji do odzyskiwania biogazu, co może być opłacalne jedynie dla dużych gospodarstw. Zasilanie silnika spalinowego biogazem jest również związane z koniecznością oczyszczania tego gazu, gdyż zawiera on różne ilości metanu. Poprawna praca silnika zasilanego paliwem o różnym składzie, w którym w szerokich granicach ulega zmianie wartość opałowa i liczba oktanowa, jest znacznie utrudniona. Ponadto występujący w biogazie H₂S wywołuje przyspieszone zużycie zbiornika paliwa i innych elementów instalacji.

Problemy związane z dystrybucją

Dystrybucja paliw gazowych jest w różnym stopniu rozwinięta, zależnie od rodzaju paliwa. Chociaż najbardziej rozpowszechnionym paliwem gazowym jest LPG i sieć jego dystrybucji jest dobrze rozwinięta, to dla pojazdów rolniczych jest ona niedostateczna. Stacje dystrybucji LPG są z reguły w miastach i na ich peryferiach. Pojazdy rolnicze poruszają się na obszarach wsi, gdzie małe stacje paliw, rzadko umożliwiające tankowanie LPG. Jeżeli chodzi o inne paliwa gazowe, to jest jeszcze gorzej. Można stwierdzić, że ich dystrybucja praktycznie nie istnieje. W przypadku np. gazu ziemnego jest tylko kilka stacji dystrybucji sprężonego gazu (m.in. Przemyśl, Warszawa, Kraków, Wrocław), natomiast brak zupełnie stacji dystrybucji gazu ziemnego w fazie ciekłej. Brak również stacji dystrybucji wodoru i biogazu.

Z tych powodów korzystnym rozwiązaniem jest posiadanie własnej stacji dystrybucji LPG, co jest realne jedynie w przypadku spółdzielni rolniczych i właścicieli dużych gospodarstw, w których jest wiele maszyn rolniczych.

Wykorzystanie do zasilania biogazu lub CNG wymaga dodatkowo konieczności ich sprężania do wysokich ciśnień. Jest to równocześnie związane z dodatkowymi kosztami zakupu agregatu sprężarkowego [15] oraz z wydłużonym czasem tankowania, który w zależności sposobu sprężania gazu może wynosić od kilku do kilkudziesięciu minut.

Problemy związane z trwałością silnika zasilanego gazem

Adaptacja silnika wysokopiętnego do zasilania paliwami gazowymi, bez dokonania zmian dotyczących konstrukcji komory spalania, głowicy i układu chłodzenia, wiąże się z ryzykiem szybszego zużycia elementów układu T-P-C. W badaniach prowadzonych na silnikach działających w systemie dwupaliwo-

wym (ON + gaz) uzyskano pod tym względem rezultaty wskazujące na przyspieszone zużycie tłoków, tulei cylindrowych, pierścieni tłokowych i panewek w główkach korbowodów [10]. Wywołane to jest m.in. tym, że proces spalania w silniku zasilanym dwupaliwowo charakteryzuje się większymi wartościami średnich i maksymalnych szybkości narastania ciśnienia w komorze spalania. Z tego względu bardzo ważne w silnikach zasilanych dwupaliwowo jest ustalenie prawidłowego kąta wyprzedzenia wtrysku [3].

W silnikach przekonstruowanych na silnik o zapłonie iskrowym natomiast ważny jest odpowiedni dobór stopnia sprężania oraz właściwa regulacja kąta wyprzedzenia zapłonu. Z uwagi na wyższy poziom obciążeń cieplnych w tych silnikach, wymagają one dodatkowych zmian, a mianowicie opracowania nowego układu chłodzenia, modyfikacji układu rozrządu i komory spalania.

Problemy dotyczące mocowania zbiornika na paliwo gazowe

Istotnym problemem jest magazynowanie paliw gazowych na pojeździe [8, 17]. W zależności od rodzaju gazu i jego stanu skupienia przechowuje się go w:

- niskociśnieniowych zbiornikach stalowych lub kompozytowych (LPG),
- stalowych lub kompozytowych zbiornikach wysokociśnieniowych (pod ciśnieniem dochodzącym do ok. 25 MPa – CNG, wodór w stanie gazowym),
- zbiornikach kriogenicznych (LNG, wodór skroplony),
- specjalnych zbiornikach – wymiennikach ciepła (wodór w postaci chemicznie związanej).

Z uwagi na niższą gęstość zmagazynowanej energii w jednostce objętości paliw gazowych w stosunku do oleju napędowego, w zależności od rodzaju paliwa gazowego oraz zbiornika, zgromadzenie ilości paliwa równoważnej danej ilości oleju napędowego wymaga wykorzystania zbiorników o odpowiednio dużych gabarytach i masie. W tabeli 3 przedstawiono porównanie mas i objętości zbiorników z paliwami zapewniającymi zgromadzenie paliwa równoważnego 50 dm³ ON.

Tabela 3. Porównanie objętości i mas zbiorników z paliwami, zapewniającymi zgromadzenie energii równoważnej energii zgromadzonej w 50 dm³ ON (1827,5 MJ)

Rodzaj paliwa	Objętość paliwa (dm ³)	Masa paliwa (kg)	Masa zbiornika (kg)	Masa zbiornika z paliwem (kg)
ON	50	43	7	50
LPG	73	40,16	40	80,16
CNG (20 MPa)	228,4	36,55	230	266,55
Biogaz (20 MPa)	435	104	435	539
H ₂ – skroplony	214	15,23	67	82,23
LNG	87	36,55	67	103,55
H ₂ – sprężony	840	15,23	840	855,23

Zgromadzenie na pojeździe rolniczym paliwa równoważnego 50 dm³ ON jest racjonalne w przypadku LPG, H₂ skroplonego oraz LNG. Zastosowanie CNG, biogazu nieoczyszczonego (sprężonego) lub sprężonego H₂ wiąże się z koniecznością zabudowy na pojeździe zbiorników o dużej masie i gabarytach, co jest poważnym utrudnieniem.

Analizując konstrukcję ciągnika rolniczego możemy stwierdzić, że najkorzystniejszym miejscem na zbiornik z paliwem gazowym jest dach kabiny. Należy w tym przypadku pamiętać o konieczności zastosowania odpowiedniej konstrukcji ramy (masa zbiornika z paliwem stanowi istotne obciążenie) do zamocowania zbiornika oraz jego osłony.

Problemy związane z optymalizacją silnika przy zasilaniu gazowym

Głównym celem adaptacji silnika na zasilanie paliwem gazowym są względy ekonomiczne oraz uzyskanie niższej toksyczności spalin, przy jak najmniejszym spadku parametrów użytkowych silnika. Powszechnie mówi się, że silnik zasilany paliwem gazowym (LPG, gaz ziemny) emituje mniejsze ilości związków toksycznych: CO, HC, NO_x oraz szkodliwego CO₂ niż jednostka zasilana benzyną lub ON. Jest to prawda ale pod warunkiem zastosowania odpowiedniego układu zasilania gazem oraz odpowiedniego układu sterującego pracą silnika. Optymalizacja silnika dotyczy głównie doboru: stopnia sprężania, kształtu komory spalania, faz rozrządu, dawki paliwa, miejsca usytuowania wtryskiwacza gazu (w systemach z wtryskiem gazu), miejsca usytuowania świecy zapłonowej, kąta wyprzedzenia zapłonu (wtrysku) oraz katalizatora. Dobór tych wielkości i spełnienie surowych limitów toksyczności przez silnik adaptowany do zasilania gazem wymaga więc dostosowania jego konstrukcji i układu sterowania poprzez wykonanie szerokiego zakresu badań silnikowych.

W przypadku silników rolniczych specyficzny jest również charakter ich pracy. Niezbędne jest bowiem przy realizacji wielu prac polowych utrzymywanie stałej prędkości obrotowej, niezależnie od zmieniającego się obciążenia. W związku z tym, układ sterujący pracą silnika powinien umożliwiać utrzymywanie stałej prędkości obrotowej, niezbędne jest także ograniczenie maksymalnej prędkości obrotowej silnika.

Problemy związane z bezpieczeństwem eksploatacji i obsługi

Do zasadniczych problemów przy zasilaniu gazowym silników rolniczych należy zapewnienie bezpieczeństwa eksploatacji oraz obsługi pojazdów. Pod względem bezpieczeństwa elementy instalacji gazowych są poddawane próbom wytrzymałościowym i spełniają założone kryteria. Niemniej jednak uszkodzenie

instalacji jest zawsze prawdopodobne. Wywołuje to obawę wielu osób. Przypadki zapalenia się pojazdu z instalacją gazową są wyjątkowe i najczęstszą ich przyczyną jest niewłaściwa obsługa. W razie pożaru w tych pojazdach nie dochodzi do wybuchu, ponieważ w zbiornikach są specjalne zawory do ograniczenia ciśnienia oraz nadmiernego wypływu paliwa ze zbiornika. Zawory te spełniają dwa wymagania [1]:

- utrzymują natężenie przepływu zapewniające dostatecznie szybki spadek ciśnienia w zbiorniku, aby uchronić go przed rozerwaniem,
- zapewniają jak najmniejsze natężenie wypływu gazu, aby po zapaleniu jego płomień miał możliwie mały wpływ na przebieg pożaru.

Instalacja elektryczna silnika i pojazdu musi być odpowiednio zabezpieczona, aby nie dopuścić do powstania iskry. Poprawę bezpieczeństwa można uzyskać również przez zastosowanie detektorów gazu, informujących o ewentualnych nieszczelnościach instalacji.

Przy zasilaniu gazem szczególnie istotne są częste przeglądy instalacji. Ważne jest również odpowiednie przystosowanie stacji obsługowo-naprawczych [6]. Niezbędne jest zastosowanie systemów kontrolno-wentylacyjnych, zabezpieczeń instalacji elektrycznej i oświetleniowej. W układach tych muszą być detektory gazu, które po wykryciu jego obecności przekazują sygnał do central sterujących. Centrala sterująca powoduje automatyczne wyłączenie odbiorników elektrycznych w hali i włączenie wentylatorów awaryjnych oraz świateł alarmowych i syreny.

Podsumowanie

Istotnym problemem związanym z rozwojem zasilania gazowego silników rolniczych w naszym kraju jest ograniczona infrastruktura dystrybucji. Możliwość wzrostu liczby pojazdów zasilanych tymi paliwami zależy głównie od rozwoju ilościowego i technologicznego stacji tankowania.

Stosując paliwa gazowe, przy odpowiedniej adaptacji silnika, uzyskujemy zmniejszenie kosztów eksploatacji i obniżenie ilości toksyn w spalinach. Korzyści ekologiczne przy zasilaniu paliwami gazowymi związane są m.in. z zapewnieniem ich odpowiedniej czystości. Podniesienie jakości paliwa podnosi trwałość elementów układów zasilania gazem. Konieczne jest zatem stosowanie technologii poprawiających jakość paliw gazowych (eliminowanie wilgoci, zanieczyszczeń stałych, związków siarki itp.).

Przedstawione skrótowo w niniejszym artykule zagadnienia dowodzą, że zasilanie gazowe silników rolniczych związane jest z wieloma problemami. Dotyczą one głównie przystosowania silnika do spalania gazu, przechowywania i rozprowadzenia tego paliwa w pojeździe oraz zabezpieczeń warunkujących bezpieczeństwo eksploatacji i obsługi. Wysokie są również koszty adaptacji do zasilania silników rolniczych, a przy stosunkowo krótkich okresach eksploatacji

rocznej maszyn wykonujących sezonowe prace, czas zwrotu nakładów poniesionych na adaptację jest bardzo długi.

W najbliższej przyszłości alternatywnym paliwem wykorzystywanym w rolnictwie mogą być paliwa rzepakowe [9]. Wydaje się, że w dalszej perspektywie mogą być stosowane również LNG [7] oraz wodór, których zastosowanie jest uzależnione od rozwoju technologii otrzymywania wodoru oraz rozwoju techniki kriogenicznej.

Literatura

1. Bernhardt M.: Bezpieczeństwo zbiorników LPG. Paliwa, Oleje i Smary w eksploatacji, VIII/99, nr 67, str 19-21.
2. Flekiewicz M.: Systemy zasilania paliwem gazowym w samochodach ciężarowych i autobusach. Paliwa, Oleje i Smary w eksploatacji, VIII/99, nr 66, str 37-40.
3. Gettled L.E., Perry G.C., Boisvert J.: Microprocessor Dual-Fuel Diesel Engine Control System. SAE 861577, str. 952-961.
4. Hill P. G., Gunavan H.: Intensifier-Injector for Natural Gas Fuelling of Diesel Engines. SAE 921553, str. 270-283.
5. Jakubczak M.: Techniczne aspekty zasilania silników tłokowych paliwem wodorowym. EKODIESEL'98, str. 339-344.
6. Jakubowski J.: Silniki samochodowe zasilane paliwami zastępczymi. WKŁ, Warszawa 1987.
7. Juraszek H.: Autobusy miejskie zasilane LPG. Mat. Międzyn. Konf. Nauk.-Techn. nt. „Doświadczenia w zakresie eksploatacji autobusów zasilanych gazem ziemnym”. Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, Nr 31 (Zeszyt 70), Kraków 1999.
8. Lejda K., Jaworski A.: LNG – alternatywne paliwo przyszłościowe dla autobusów miejskich. Mat. Międzyn. Konf. Nauk.-Techn. nt. „Doświadczenia w zakresie eksploatacji autobusów zasilanych gazem ziemnym”. Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, Nr 31 (Zeszyt 70), Kraków 1999, str. 49-59.
9. Lejda K., Jaworski A.: Problemy zasilania gazowego silników samochodowych. Mat. V Międzyn. Konf. Nauk. „SILNIKI GAZOWE 2000”. Częstochowa 2000, str. 229-246.
10. Lotko W.: Zasilanie silników spalinowych paliwami alternatywnymi. Wyższa Szkoła Inżynierska w Radomiu, Radom 1995.
11. Luft S., Koziół S.: Ocena trwałości elementów układu tłokowo-korbowego silnika o ZS zasilanego głównie LPG. Mat. Konf. KONES'2002, JO 3-4, str. 153-160.
12. Merkisz J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.
13. Molenda J.: Gaz ziemny. Paliwo i surowiec. WNT, Warszawa 1996.
14. Przybylski J.: Samochód ciężarowy Star A-29 zasilany sprężonym gazem ziemnym. Auto-Technika Motoryzacyjna, 5/88.
15. Rudkowski J., Rudkowski M.: Autobusy miejskie zasilane gazem ziemnym i propanem butanem. EKODIESEL'98, str. 315-322.
16. Rutkowski M., Rutkowski J.: NGV w Polsce. Zeszyt Naukowo –Techniczny Oddziału Krakowskiego SITK nr 60, Kraków 1998, str. 51-62.
17. Żółtkowski A., Jarczewski M.: Adaptacja trakcyjnych silników o ZS do zasilania paliwami gazowymi. Mat. V Międzyn. Konf. Nauk. „Silniki gazowe 2000”, Częstochowa 2000, str. 387-394.
18. LNG vehicle fuel tank system. Operations manual. MVE Inc., 1999.
19. Materiały ofertowe i reklamowe z lat 2000-2002 firm: H. Cegielski, Fabryka silników agregatowych i trakcyjnych Spółka z o.o., WSW „Diesel” Mielec, Bosch, RICARDO, AVL, Fabryka ciągników URSUS Sp. z o.o.

Streszczenie

W pracy zasygnalizowano podstawowe czynniki ograniczające stosowanie paliw gazowych do zasilania silników rolniczych. Należą do nich głównie: koszty adaptacji, trwałość silników, względy bezpieczeństwa, problemy związane z dystrybucją paliw gazowych oraz umiejscowieniem zbiorników na pojeździe rolniczym.

Summary

In this paper the problems connected with fuel gas feed of agricultural engines has been described. There are: adaptation costs, life of engines, safety considerations, problems connected with distribution of gaseous fuels and fuel tank on the agricultural vehicle location.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Krasowski