

WYKORZYSTANIE OLEJÓW ROŚLINNYCH I URZĄDZEŃ DO ICH SPALANIA W PROCESACH SUSZARNICZYCH

Marian Rosiński* Lucjan Furtak*, Adam Łukša**, Andrzej Stępień***

*Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji, Politechnika Warszawska

**Zakład Materiałoznawstwa Produktów Naftowych, Politechnika Radomska

***Instytut Technologii Eksploatacji, Państwowy Instytut Badawczy w Radomiu

Streszczenie. W referacie przedstawiono wyniki oceny zastosowania olejów roślinnych i specjalnych urządzeń do ich spalania, służących do ogrzewania powietrza w przetwórstwie rolno-spożywczym (suszenie ziarna, ciepłarnie, budynki hodowlane).

Słowa kluczowe: suszarnie, olej roślinny, spalanie, skład spalin

WSTĘP

Suszenie ziarna upraw zbożowych jest ważną operacją ich kondycjonowania. Coraz powszechniej stosowane są do tego celu specjalistyczne źródła ciepła zasilane różnymi paliwami gazowymi, ciekłymi i stałymi. Ich dostępność i cena warunkują możliwość, koszty i bezpieczeństwo operacji suszenia. Wzrost cen powszechnie stosowanych paliw węglowodorowych oraz obostrzenia ekologiczne zmuszają do poszukiwania rozwiązań alternatywnych. Perspektywiczne wydaje się być wykorzystanie do rozpatrywanego celu olejów roślinnych. Powszechne zastosowanie w technice wytwarzania ciepła w tzw. „małej energetyce” znalazły lekkie oleje opałowe. Wygodne w eksploatacji, względnie bezpieczne i ekologiczne pozwalały budować małe i niezawodne systemy ciepłownicze. Jednak perturbacje cenowe i komplikacje z dostępem do złóż ropy postawiły pod znakiem zapytania dalszy rozwój tej techniki grzewczej. Podjęto szereg prób pozyskiwania analogów lekkich olejów opałowych, opartych na innych niż ropa naftowa komponentach surowcowych. Jednym z rozwiązań jest wykorzystanie do tego celu estrów metylo- wych kwasów tłuszczowych oleju roślinnego. Wykorzystanie tej bazy surowcowej w rozpatrywanym obszarze wiąże się jednak z koniecznością chemicznego przetwórstwa olejów roślinnych (metanolizy), co komplikuje i podraża ten rodzaj paliwa oraz generuje odpady trudne do zagospodarowania.

Stąd też uzasadnione były próby wykorzystania w charakterze ciekłych paliw olejów roślinnych. Jednak ich właściwości i przede wszystkim wysoka lepkość wymagają specjalistycznych rozwiązań układów rozpylania [Graboski, McCormick 1998, Mo-

rin i in. 2000]. W pracy wykazano, że istnieje możliwość wykorzystania do tego celu dostępnych w Polsce urządzeń grzewczych wyposażonych w podgrzewacz paliwa oraz specjalne dysze rozpylające paliwo za pomocą sprężonego powietrza. Paliwo do takich urządzeń może być pozyskiwane z tłoczni olejowych, zasilanych własnymi zbiorami ziaren rzepaku lub innych roślin oleistych.

ENERGETYCZNE WŁAŚCIWOŚCI OLEJÓW ROŚLINNYCH

Do celów ogrzewczych wykorzystuje się różnego rodzaju paliwa ciekłe i stałe. Przykładowe wartości opałowe paliw stosowanych w ogrzewnictwie przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Wartości opałowe wybranych paliw [Furtak, Skalmowski 1998, Praca zbiorowa 2001]

Table 1. The heat value of chosen fuels

Paliwo	Wartość opałowa, kJ/kg
Węgiel brunatny	8000–16000
Węgiel kamienny	25 000–30 000
Gaz ziemny	32 000
Olej opałowy	39 700–42 600
Przepracowany olej silnikowy	41 500
Olej roślinny	37 500
Ciekłe odpady łatwopalne	powyżej 37 000

Podstawowymi paliwami ciekłymi stosowanymi w urządzeniach grzewczych są oleje opałowe lekkie i ciężkie produkowane z ropy naftowej. Najważniejszą funkcją medium grzewczego jest umożliwienie uzyskania w sposób ekologiczny taniej energii cieplnej w procesie jego spalania. Tradycyjne naftowe oleje opałowe stanowią złożoną mieszaninę węglowodorów o zróżnicowanym składzie chemicznym (stosunku węgla do wodoru) i budowie. Zróżnicowane są więc także kinetyka i efekty procesu ich spalania [Spalding 1979, Williams 1985, Chomiak 1990, Jaroński 1996, Praca zbiorowa 2001]. Sterowanie jakością olejów opałowych, a więc i cieczy opałowych, sprowadza się do optymalnego komponowania ich składu chemicznego. Obecność w cieczach opałowych wszelkich innych – poza węglem i wodorem – ingredientów stanowi zbędny balast i pogarsza jakość paliw. Przeprowadzenie prac projektowych, dobór urządzeń i paliw, a także prawidłowa eksploatacja urządzeń grzewczych na paliwa ciekłe wymagają znajomości parametrów fizykochemicznych cieczy opałowych [Chomiak 1990, Jaroński 1996, Praca zbiorowa 2001]. Znajomość tych parametrów jest także niezbędna do właściwego komponowania cieczy opałowych z odpadowych substancji chemicznych, o odpowiednich właściwościach energetycznych. Większość z tych parametrów powinna być potwierdzona w świadectwach jakości produktów handlowych. Tylko dla olejów opałowych zdefiniowana jest w normach przedmiotowych na poszczególne marki paliw tego typu. Wytwarzane cieczce opałowe powinny także spełniać wymagania określone w stosownych warunkach technicznych, przypisanych odpowiednim grupom tych cieczy. W 2001 roku opublikowano nową normę PN-C-96024:2001 „Przetwory naftowe – oleje opałowe”, obejmującą oleje opałowe lekkie i oleje opałowe ciężkie. Oleje opałowe lekkie dzieli się na dwa gatunki: L-1 i L-2. Podstawowe wymagania dla tych olejów opałowych przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Podstawowe właściwości lekkich olejów opałowych
wg PN-C-96024:2001 „Przetwory naftowe – oleje opałowe”

Table 2. Basic properties of light fuel oils
according to PN-C-96024:2001 „Oil- products – fuel oils”.

Wymagania	Olej opałowy lekki L-1	Olej opałowy lekki L-2
Lepkość kinematyczna w temp. 20°C, mm ² /s	6,0	8,0
Temperatura zapłonu, n.n.n.°C	56	56
Temperatura płynięcia, °C		
lato	0	0
zima	-20	-20
Wartość opałowa, MJ/kg	42,6	41,5
Zawartość wody, max mg/kg	200	500
Zawartość siarki, % (m/m)	0,2	0,3

Oleje opałowe ciężkie produkuje się głównie z ciężkich destylatów i półproduktów z przerobu ropy naftowej oraz pozostałości asfaltowej. Olej opałowy ciężki dzieli się na trzy gatunki oznaczone C-I, C-II, C-III. Podstawowe wymagania dla tych olejów przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Podstawowe właściwości ciężkich olejów opałowych
wg PN-C-96024:2001 „Przetwory naftowe – oleje opałowe”

Table 3. Basic properties of heavy fuel oils
according to PN-C-96024:2001 „Oil- products – fuel oils”.

Wymagania	Gatunek ciężkiego oleju opałowego		
	C-I	C-II	C-III
Lepkość kinematyczna, mm ² /s:			
w 50 °C, n.w.n.	90	180	
w 100 °C, n.w.n.			55
Temperatura zapłonu, n.n.n., °C	60		
Temperatura płynięcia, °C	10	25	40
Wartość opałowa, MJ/kg	41,3	39,9	39,7
Zawartość wody, max % (m/m)	1,0		
Zawartość siarki, max. % (m/m)	1,0	2,0	3,0

Koszt produkcji energii cieplnej przy zastosowaniu olejów opałowych ciężkich może być o ok. 50% niższy niż przy stosowaniu olejów opałowych lekkich czy gazu. Najważniejszym elementem obniżającym koszty eksploatacji kotłowni na olej ciężki jest modulowana praca palnika. Nakłady inwestycyjne na przebudowę lub budowę nowej kotłowni są prawie dwukrotnie większe przy oleju opałowym ciężkim niż oleju opałowym lekkim, przy określonych parametrach paliwa [Furtak 2000]. Koszty eksploatacyjne źródeł ciepła spalających olej ciężki, wynikające z jego ceny, są znacznie niższe niż wykorzystujących olej opałowy lekki.

CHARAKTERYSTYKA URZĄDZEŃ CIEPŁOWNICZYCH NA PALIWA CIEKŁE

Konstrukcje urządzeń grzewczych ciepłownictwa mają swoisty charakter, narzucający określone wymagania w stosunku do cieczy opałow. Zdecydowana większość tych urządzeń, zwłaszcza małej mocy, wraz ze zbiornikami na paliwo ciekłe, sytuowana jest w podziemiach i parterowych kondygnacjach ogrzewanych obiektów. Ciecze opałowe, przechowywane w odpowiednich zbiornikach magazynowych, uzupełnianych 1–2 razy w roku, nie mogą więc zawierać substancji łatwopalnych, niestabilnych, wybuchowych czy cuchnących. Ograniczenia palności zdefiniowane są temperaturą zapłonu (powyżej 55°C). Najkorzystniej z tego punktu widzenia przedstawiają się oleje roślinne (temperatura zapłonu powyżej 295°C)

Lokalizacja zbiorników paliwowych w pomieszczeniach nieogrzewanych (co jest oczywiste ze względów pożarowych), a niekiedy na zewnątrz budynków narzuca określone wymagania wobec niskotemperaturowych cieczy opałow. Definiują one bowiem ich płynność, a więc możliwość transportu paliw do zbiorników magazynowych i stąd do palników. W przypadkach niekorzystnych właściwości niskotemperaturowych cieczy opałow zachodzi potrzeba zastosowania depresatorów i/lub urządzeń podgrzewających. Gorsze właściwości niskotemperaturowe niż oleje naftowe wykazują oleje roślinne i ich estry.

OLEJE ROŚLINNE JAKO PALIWA CIEKŁE DLA SUSZARNICTWA

Oleje roślinne zaliczane są do paliw odnawialnych. Zawierają bardzo mało siarki (poniżej 0,02% mas.). Podstawowe właściwości fizykochemiczne olejów roślinnych i estrów metylowych ich kwasów tłuszczowych przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Podstawowe właściwości oleju roślinnego rzepakowego i estru metylowego oleju rzepakowego

Table 4. Basic properties of the rapeseed oil and the methylic ester of the rapeseed oil

Właściwości	Ester metylowy oleju rzepakowego	Olej roślinny rzepakowy	Lekki olej opałowy handlowy
Gęstość w 20°C, g/cm ³	0,880	0,910	0,870
Lepkość kinematyczna w temp. 20°C, mm ² /s	11,5	77,3	4,1
Temperatura zapłonu, °C	200	364	94
Temperatura krzepnięcia, °C	-23	-13	-20
Wartość opałowa, MJ/kg	36,7	37,1	44,2

Wartość opałowa oleju roślinnego rzepakowego i jego pochodnych jest więc niewiele mniejsza od wartości opałowej oleju opałowego.

Rozpatrywane paliwa wykazują niską temperaturę krzepnięcia i nie wymagają stosowania podgrzewaczy oleju w trakcie przechowywania. Do ich wad należy zaliczyć:

- wysoką lepkość, co uniemożliwia ich wykorzystanie w kotłach małej mocy zasilanych lekkimi olejami opałowymi,
- skłonność do wydzielania szlamów w trakcie przechowywania,
- wzrost lepkości podczas dłuższego składowania.

Obowiązującą normą dla olejów opałowych pochodzących z przerobu olejów roślinnych (bioolej opałowy) jest PN-EN 14213:2005 [2005]. Podstawowe wymagania przedstawia tabela 5.

Tabela 5. Podstawowe właściwości biooleju opałowego wg normy PN-EN 14213:2005

Table 5. Basic properties of the bio-fuel oil according to PN-EN 14213:2005

Parametry	Wymagania
Lepkość kinematyczna w temp. 40°C, mm ² /s	3,5–5,0
Temperatura zapłonu, n.n.n., °C	101
Temperatura płynięcia, °C	<0
Wartość opałowa, MJ/kg	>35
Zawartość wody, max mg/kg	<500
Zawartość siarki, % (m/m)	-

Lepkość takiego paliwa jest na poziomie lepkości olejów opałowych lekkich. Wyższa jest nieznacznie temperatura zapłonu. Są to więc w istocie estry kwasów tłuszczowych oleju roślinnego.

Przykłady kompozycji cieczy palnych składających się z oleju rzepakowego i lekkiego oleju opałowego przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Podstawowe właściwości kompozycji oleju rzepakowego z handlowym lekkim olejem opałowym [Zwierz 2002]

Table 6. Basic properties of compositions of the rapeseed oil and the light fuel oil

Właściwości	Lekki olej opałowy	Kompozycje handlowego lekkiego oleju opałowego z:		
		10% olejem rzepakowym	20% olejem rzepakowym	30% olejem rzepakowym
Gęstość w 20°C, g/cm ³	0,870	0,872	0,878	0,882
Lepkość kinematyczna w temp. 20°C, mm ² /s	4,1	5,5	7,05	7,3
Temperatura zapłonu, °C	94	100	110	112
Temperatura krzepnięcia, °C	-20	-31	-30	-27
Wartość opałowa, MJ/kg	44,2	41,6	40,6	40,5

Na Politechnice Warszawskiej i Politechnice Radomskiej od kilku lat są prowadzone prace nad otrzymywaniem paliw ciekłych na bazie olejów roślinnych, estrów metylowych, ich kwasów tłuszczowych oraz ich kompozycji z paliwami ropopochodnymi [Tabor 1999, Zwierz 2002, Rosiński i in. 2005a i b]. Rozwiązanie takie wychodzi na przeciw względem praktycznym, często wymuszającym konieczność mieszania różnych paliw.

BADANIA PROCESU SPALANIA PALIW CIEKŁYCH NA BAZIE OLEJU ROŚLINNEGO

Badania prowadzono na stanowisku badawczym do badania procesów spalania kompozycji paliwowych lekkich i ciężkich z nagrzewnicą Clean Burn typu CB-90-AHI [Rosiński i in. 2005b].

Podgrzewacz powietrza typu CB-90-AHI jest przystosowany do spalania paliw ciekłych lekkich i ciężkich. Wyposażony jest w podgrzewacz paliwa (w celu obniżenia lepkości paliwa) oraz efektywny układ sporządzania mieszanki paliwowo-powietrznej. Umożliwia spalanie paliw o bardzo zróżnicowanym pochodzeniu i właściwościach.

Ciśnienie oleju w palniku wytwarzane jest przy pomocy pompy. Powietrze potrzebne do spalania mieszanki paliwowej w palniku dostarczane jest dwoma drogami:

1) za pośrednictwem sprężarki – praca sprężarki sterowana jest przez układ automatyki palnika;

2) przez żaluzje, którymi dopływa powietrze z otoczenia, natężenie przepływu można sterować za pomocą dławika wlotu powietrza.

Podstawowe dane techniczne podgrzewacza powietrza CB-90-AHI zestawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Podstawowe dane techniczne podgrzewacza CB-90-AHI [Katalog firmy Clean Burn]

Table 7. Basic performance characteristics of the recuperator CB-90-AHI

Charakterystyka podgrzewacza	Wartość
Maksymalna wydajność cieplna (wg producenta)	46500 kcal/kg 54,2 kW
Maksymalne zapotrzebowanie oleju	5 kg/h
Paliwo	Paliwa ciekłe lekkie i ciężkie
Strumień objętości powietrza	62 m ³ /min
Wymagany strumień objętości sprężonego powietrza	0,0566 m ³ /min
Wymagane ciśnienie sprężonego powietrza	0,246 MPa

Badania procesu spalania oleju roślinnego prowadzono przy różnych ilościach powietrza kierowanego do spalania. Wyniki analizy składu spalin przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Wpływ składu kompozycji na bazie oleju roślinnego rafinowanego oraz warunków spalania na skład spalin

Table 8. The influence of mixture ratio on the basis of the refined vegetable oil and conditions of the combustion on the composition of the mixture of fumes

Rodzaj kompozycji	Składnik spalin					
	O ₂ %	CO ₂ %	SO ₂ ppm	CO ppm	H ₂ ppm	NO _x ppm
Olej roślinny	9,6	10,1	0	64	0	58
	8,9	10,6	0	54	0	62
	7,9	11,24	0	44	0	62

W trakcie badań stwierdzono znikomy wpływ ilości powietrza kierowanego do spalania na skład spalin. Zaobserwowano brak wodoru i dwutlenku siarki w spalinach. Niska zawartość tlenku węgla oraz brak wodoru świadczy o prawidłowym przebiegu procesu spalania.

UWARUNKOWANIA TECHNICZNO-EKONOMICZNO-PRAWNE I ORGANIZACYJNE ZASTOSOWANIA OLEJÓW ROŚLINNYCH W SUSZARNICTWIE

Ważną przesłanką w doborze potencjalnych komponentów cieczy opałowych jest ich lokalna dostępność i cena. W dystrybucji naftowych olejów opałowych dominują

podmioty gospodarcze, które, wzorem rozwiązań zachodnich, oferują oleje opałowe produkcji krajowej lub importowane z dostawą do odbiorcy transportem samochodowym. Należy przy tym podkreślić brak własnych zasobów ropy naftowej w Polsce i uzależnienie w tym względzie od dostaw z importu, a tym samym od wszelkiego rodzaju zakłóceń na rynku naftowym. Pokrycie potrzeb na oleje opałowe z własnych źródeł nabiera więc ważnego znaczenia gospodarczego i warunkuje dalszy rozwój ciepłownictwa bazującego na tym paliwie. W tej sytuacji wszelkie potencjalne komponenty cieczy opałowych jako bezpiecznych i tanich zamienników olejów opałowych powinny być rozpatrzone również pod kątem racjonalnej ekonomiki.

Opłacalność stosowania oleju roślinnego i produktów jego przerobu jako paliwa lub dodatku do paliw ciekłych w ciepłownictwie wzbudza wiele wątpliwości. Podstawową przyczyną jest cena świeżego oleju roślinnego wynosząca ok. 2,8 zł/kg netto. Cena ta jest znacznie wyższa niż koszt 1 kg lekkiego oleju opałowego, wynoszący ok. 2,3 zł netto, a także cena 1 kg oleju opałowego ciężkiego (ok. 1,0 zł). Stawia to pod znakiem zapytania celowość stosowania oleju roślinnego jako paliwa bez odpowiednich ulg podatkowych i dotacji cenowych.

WNIOSKI

Prędkość obrotowa wału korbowego silnika jest jednym z ważniejszych czynników, od których zależy skuteczny rozruch. Wzrastające koszty energii cieplnej i zaostrzające się przepisy ochrony środowiska zachęcają do poszukiwania tańszych, dostępnych, czystych ekologicznie i bezpiecznych paliw płynnych. Dotychczasowe wyniki prac badawczych wskazują, że można zaliczyć do nich paliwa zawierające w swoim składzie oleje roślinne i ich kompozycje z innymi komponentami. Lokalna dostępność tworzy przesłanki do ich wykorzystania w urządzeniach grzewczych stosowanych w przemyśle rolno-spożywczym.

Do zalet takich paliw można zaliczyć:

- minimalną zawartość siarki, metali ciężkich,
- brak chloru (dioksyn),
- odnawialność,
- ekologiczność,
- biodegradowalność.

Wadą takich paliw jest niższa w stosunku do paliw naftowych wartość opałowa i wyższa cena. Koszt produkcji ropopochodnych paliw płynnych, licząc wprost, jest niższy od kosztu produkcji płynnych biopaliw grzewczych. Koszty eksploatacji źródeł ciepła zasilanych olejem roślinnym są wyższe niż w przypadku oleju opałowego lekkiego i ciężkiego olejów opałowych. Takie relacje występują praktycznie na całym świecie i Polska nie jest tutaj wyjątkiem. Uwzględniając jednak kompleksowy rachunek kosztów i korzyści, wprowadzenie do powszechnego stosowania takich paliw przynosi wymierne efekty. Bardzo ostrożne szacunki wskazują następujące korzyści:

- zmniejszenie obciążenia środowiska poprzez redukcję gazów cieplarnianych,
- wzrost bezpieczeństwa paliwowego kraju, zmniejszenie ryzyka związanego z przerwaniem dostaw ropy, amortyzacja tempa wzrostu cen na surowce i produkty ropopochodne,
- aktywne wspieranie procesu restrukturyzacji i modernizacji rolnictwa poprzez zagwarantowanie trwałych i stabilnych dochodów dla gospodarstw podejmujących produkcję surowców rolniczych z przeznaczeniem na produkcję paliw.

W technice suszarniczej oleje roślinne mogą być stosowane do zasilania pośrednich systemów grzewczych. W pewnych warunkach mogą być także przeznaczone do bezpośredniego suszenia określonych produktów, np. paszy, siana.

PIŚMIENNICTWO

- Chomiak J. 1990: Combustion. A study in Theory, Fact, and Application. New York, Abacus Press.
- Furtak L., Skalmowski K. 1998: Termiczne metody unieszkodliwiania odpadów komunalnych. Polski Instalator, 2.
- Furtak L. 2000: Ciepło dla produkcji pod osłonami. Hasło Ogrodnicze 9.
- Graboski M.S., McCormick R.L. 1998: Combustions of fat and vegetable oil derieved fuels in diesel engines. Prog. Energy Combust, 24.
- Hzmalian D.M., Kagan J.A. 1976: Tieoria gorienija i topocznyje ustroistwa. Moskwa, Energia.
- Jarosiński J. 1996: Techniki czystego spalania. Warszawa, WNT.
- Katalog firmy Clean Burn. Nagrzewnica Clean Burn CB-90-AHI.
- Morin C., Chauveau Ch., Gokalp I. 2000: Droplet vaporisation characteristics of vegetable oil derived biofuels at high temperatures. Experimental Thermal and Fluid Science, 21, 41–50.
- PN-EN 14213:2005 (U). Oleje opałowe. Estry metylowe kwasów tłuszczowych (FAME). Wymagania i metody badań.
- Praca zbiorowa pod redakcją W. Kordylewskiego 2001: Paliwa i spalanie. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- Rosiński M., Furtak L., Stępień A. 2005a: Jakość procesu spalania kompozycji biopaliw ciekłych w kotłach małej mocy. XI International Conference Air Conditioning Protection & District Heating, Szklarska Poręba.
- Rosiński M., Furtak L., Stępień A. 2005b: Właściwości fizykochemiczne palnych komponentów biopaliw ciekłych w aspekcie ich spalania w źródłach ciepła małej mocy. XI International Conference Air Conditioning Protection & District Heating, Szklarska Poręba.
- Spalding D. B. 1979: Combustion and Mass Transfer. Oxford et al., Pergamon Press.
- Tabor I. 1999: Badanie procesu spalania paliw płynnych różnego pochodzenia w palnikowym urządzeniu Clean Burn. Praca dyplomowa napisana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. A. Łuksy. Politechnika Radomska.
- Williams F. A. 1985: Combustion Theory. Menlo Park. The Benjamin.
- Zwierz B. 2002: Lekkie oleje opałowe na bazie komponentów naturalnych i mineralnych. Praca dyplomowa napisana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. A. Łuksy. Politechnika Radomska.

THE UTILIZATION OF VEGETABLE OILS AND INCINERATORS TO THE COMBUSTION THEM IN DRYING-PROCESSES

Summary. Results of the estimation of the use of vegetable oils and special incinerators to their combustion for heating the air in the food-processing industry (grain driers, greenhouses, cultivation buildings) were shown in the paper.

Key words: grain driers, vegetable oils, combustion, the composition of combustion gases

Recenzent: prof. dr hab. inż. Eugeniusz Krasowski