

PRODUCTION COSTS IN A NOVEL METHOD OF MANUFACTURE OF THE METHYL ESTERS FROM FALSE FLAX (*CAMELINA SATIVA L.*) OIL FOR FEED THE PISTON COMPRESSION-IGNITION ENGINES

Summary

*In European countries rapeseed oil is the primary fat raw material, but its potential resources are limited because the cultivation of rapeseed requires specific climatic and soil conditions. The paper concerns research on false flax (*Camelina sativa L.*), a forgotten oil plant, which history of cultivation in the Polish territory dates back to the era of the Lusatian culture. This plant has relatively low requirements both concerning soil and cultivation measures. An estimation of the costs was conducted for the production of biodiesel - fatty acid methyl esters (FAME) from seeds of false flax grown specially for this purpose under actual farming conditions of the Wielkopolska region. The oil was pressed from seeds in a conventional oil mill and from the oil, applying an esterification process newly patented by the IIAE employees, fuel for piston compression-ignition engines was produced. Production cost per 1 l of biodiesel was PLN 5.82, and when all EU subsidies were used, the production cost was 2.99 zlotys per 1 litre of fuel.*

KOSZTY PRODUKCJI NOWĄ METODĄ ESTRÓW METYLOWYCH Z OLEJU LNIANKI SIEWNEJ (*CAMELINA SATIVA L.*) DO ZASILANIA TŁOKOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH Z ZAPŁONEM SAMOCZYNNYM (ZS)

Streszczenie

*W krajach europejskich podstawowym surowcem tłuszczowym jest olej rzepakowy, ale jego potencjalne zasoby są ograniczone, gdyż uprawa rzepaku wymaga określonych warunków klimatycznych i glebowych. Praca poświęcona jest badaniom nad lnianką siewną (*Camelina sativa L.*), zapomnianą rośliną oleistą, której historia uprawy na ziemiach Polski sięga czasów kultury łżyckiej. Roślina ta jest stosunkowo mało wymagająca pod względem glebowym jak i zabiegów agrotechnicznych. Przeprowadzono ocenę kosztów wyprodukowania biopaliwa - estrów metylowych (FAME) z wyhodowanych specjalnie do tego celu w rzeczywistych warunkach rolnictwa wielkopolskiego nasion lnianki siewnej. Z nasion wyłoczono olej w standardowej olejarni który z kolei w wyniku nowo opatentowanego przez pracowników PIMR procesu estryfikacji wyprodukowano paliwo do tłokowych silników z napędem samoczynnym. Koszt wyprodukowania jednego litra biodiesla wyniósł 5,82 zł, a w przypadku wykorzystania wszystkich dopłat z Unii Europejskiej koszt produkcji wyniósł 2,99 zł z litr.*

1. Wstęp

Niniejsza praca poświęcona jest badaniom nad lnianką siewną (*Camelina sativa L.*), rośliną oleistą, której historia uprawy na ziemiach Polski sięga czasów kultury łżyckiej (ok. 1400-300 p.n.e.). Początkowo występowała i rozprzestrzeniła się jako chwast. Posiada ona wiele nazw ludowych, między innymi: lnianka, judra, rydz, ryżyk, rzyj, lennica. Jak podają Dubas i Gładysiak polskie przysłowie „Lepszy rydz niż nic” odnosi się nie do rydza grybą, jak się to wszystkim najczęściej kojarzy, którzy to przysłowie znają, ale właśnie do rośliny rydza (*Camelina sativa L.*). A wiąże się to z wieloletnią wiedzą rolników, że roślina ta może być wysiana wszędzie tam, gdzie nic innego nie optaca się już uprawiać [15], na uprawach przypadłych, przemarzłych, terenach podtopionych. Można ją wysiewać nawet jeszcze na początku maja, a zbiór dokonujemy w sierpniu. Jej plonowanie nie jest tak wysokie jak rzepaku, ale można ją uprawiać na glebach IV i gorszych klasach gruntów, wszędzie tam gdzie „wysoko zaawansowane hodowlanie” rośliny nie będą rosły.

W innym artykule zamieszczonym w niniejszej monografii, jak również w poprzednich wydawanych przez PIMR monografiach [15, 16, 17] przedstawiono możliwość produkcji estrów metylowych oraz zbadano przydatność

biopaliwa pozyskanego z lnianki siewnej (*Camelina sativa L.*) do zasilania tłokowych silników spalinowych z zapłonem samoczynnym (ZS), w maszynach stosowanych w rolnictwie czy leśnictwie.

Nie mniej istotnym zagadnieniem, które należy rozważyć przy tego typu pracach badawczych jest ocena kosztów wyprodukowania 1 litra estrów metylowych (FAME - Fatty Acid Metyl Esters) z oleju lnianki siewnej (inaczej zwanej olejem lniankowy czy rydzowym). A więc jej opłacalność czy konkurencyjność w stosunku do olejów pochodzenia mineralnego. Nie uwzględnia się w niniejszej pracy tak istotnych aspektów tego zagadnienia jak:

1. uniezależnienie się Polski od źródeł energii które nazwać można „nieprzewidywalnymi” (Rosja, Kraje Bliskiego Wschodu),
2. ograniczanie deficytu wymiernych środków płatniczych (pieniądze zostają w kraju, w rękach rolników i ludzi związanych z tym sektorem)
3. Dyrektywy UE dotyczącej zwiększenia OZE (Odnawialnych Źródeł Energii) w bilansie energetycznym Polski,
4. zwiększanie zbytu na produkty rolników,
5. zwiększanie zatrudnienia w miejscach dotychczas najbardziej dotkniętych bezrobociem - zwłaszcza na wsi,

6. wzrost dobrobytu społeczeństwa polskiego.

2. Cel i zakres pracy

Głównym celem niniejszej pracy było sprawdzenie opłacalności procesu wytwarzania estrów metylowych z lnianki siewnej. W tym aspekcie brane były pod uwagę następujące czynniki: wyhodowanie nasion, wytłoczenie oleju z tych nasion, składowe koszty wytworzenia estrów metylowych, kalkulacje opłacalności, energochłonność i kosztowność tłoczenia i estryfikacji. Przy czym za cel postawiono sprawdzenie kosztów hodowli lnianki w warunkach wielkopolskich oraz przydatności nowej technologii estryfikacji opracowanej w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu.

3. Metodyka badań

Badania kosztów produkcji olejów napędowych w niniejszej pracy ograniczono do jednej rośliny oleistej, jaką jest lnianka siewna (*Camelina sativa* L.). Zakres badań obejmował hodowlę lnianki, wytłoczenie oleju oraz etap wyprodukowania z oleju estrów metylowych na skalę laboratoryjną oraz półprzemysłową.

3.1. Uprawa lnianki siewnej (*Camelina sativa* (L.))

Nasiona do uprawy uzyskano z Katedry Genetyki i Hodowli Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Uprawa lnianki została założona w gospodarstwie Jacka Bzdziela w Dusznikach. Wielkopolskich. Miejscowość ta, leży w województwie Wielkopolskim, ok. 60 km od Poznania. Powierzchnia uprawy wynosiła 1ha, miała kształt klina. Klasę gleby określono jako IVd/V. Ostatnio uprawianą tam rośliną była pszenica.

Powierzchnię zaorano 15 sierpnia 2007 r. wraz z wałem dogniatającym. Po orce nawieziono nawozem SuproFoska 25, 300 kg/ha. Następnie gleba została zbronowana i powłokowana w celu jak najlepszego zabezpieczenia gleby przed utratą wilgotności. Kolejnym etapem był siew. Lniankę wysiano na początku września, tego samego roku siewnikiem zbożowym.

Wiosną po wejściu siewek został wykonany oprysk środkiem chwastobójczym Lontrel 2,5 l/ha. W celu uzupełnienia składników mineralnych pod koniec marca zastosowano saletrę amonową (zawartość azotu N – 34%) w ilości 200 kg/ha. Kolejną dawką nawozu był salmiak z magnezem (zawartość azotu N – 27,5%). Salmiak zużyto 150 kg/ha.



Rys. 1. Nasiona lnianki siewnej
Fig. 1. Seeds of false flax

Zbiór nastąpił na przełomie lipca i sierpnia (2008 r.)

jednoetapowo, kombajnem Bizon. Nasiona lnianki siewnej charakteryzują się stosunkowo niewielkimi wymiarami (rys. 1). Przeciętnie 1000 nasion waży od 0,8 do 2 g. Tak mała średnica nasion, stanowi dość duże utrudnienie przy ich zbieraniu i omłoceniu. Z tego też powodu oraz z uwagi na nieszczelności w samej maszynie, zanotowano straty plonu przy omłoceniu wielkości około 10%. Zebrano 1150 kg nasion, co daje plon 11,5 q z hektara.

3.2. Wytłoczenie oleju z nasion lnianki siewnej (*Camelina sativa* L.)

Jak już wspomniano średnica nasion lnianki siewnej jest stosunkowo nieduża. Te małe wymiary nasion, stanowią również znaczne utrudnienie przy wyłaczaniu z nich oleju. Zwłaszcza najczęściej spotykanymi prasami ślimakowymi, z tego względu do wyłaczania oleju lniankowego, (w niektórych rejonach nazywanego rydzowym), wykorzystuje się prasy tłokowe. Prasy tego typu są bardziej uniwersalne, umożliwiają wyciskanie oleju z nasion o dowolnych wymiarach i kształtach, ale ich stosowanie jest stosunkowo bardziej pracochłonne.

Olej z nasion lnianki wytłoczony został metodą tłoczenia „na zimno” w Zakładzie Wyłaczania Oleju w Grodzisku Wielkopolskim. Sam proces prowadzony jest tradycyjnymi metodami, z wykorzystaniem maszyn nie najnowszej generacji. Tym samym jest on dość praco- i czasochłonny, ale jakość otrzymywanego oleju jest znacznie wyższa, niż olejów ekstrahowanych w nowoczesnych olejarniach, że o olejach ekstrahowanych nie wspomnimy. Oleje tłoczone na zimno zawierają w swoim składzie więcej nienasyconych kwasów tłuszczowych oraz pierwiastki takie jak: fosfor, potas i żelazo. Odznaczają się też intensywniejszą barwą i zapachem.

W pierwszym etapie, nasiona pozbawiono zanieczyszczeń i trafiły one do płatkownicy (rys. 4) Przechodząc w niej przez 4 rzędy walców, zostały zgniecione, co później ułatwiło wytłoczenie z nich oleju.



Rys. 2. Poletko lnianki z zawiązanymi nasionami
Fig. 2. Field of false flax with set seeds



Rys. 3. Kłós lnianki siewnej
Fig. 3. Ear of false flax



Rys. 4. Płatkownica
Fig. 4. Flaking machine

Następnie nasiona przenoszone były do urządzenia zwanego podgrzewaczem (rys. 5), gdzie ich temperaturę podnoszono do około 60°C. W tym momencie do nasion dodawana jest pewna ilość wody, celem zapewnienia jak najwyższej wydajności procesu. Wielkość udziału wody jest tajemnicą firmy i stanowi jeden z istotnych elementów prawidłowego i optymalnego procesu technologicznego.



Rys. 5. Podgrzewacz
Fig. 5. Heater

Po upływie około 30 minut nasiona przetrucane były do

piłonowej prasy tłokowej (rys. 6), w której nasiona nasypywano warstwowo, każdą porcję oddzielając blaszaną przekładką i warstwą pergaminu. Jednorazowy wsad do prasy to około 100 kg nasion. Po uruchomieniu prasy nasiona są zgniatanie siłownikami hydraulicznymi a wyciśnięty olej wypływa szczelinami, które znajdują się na obwodzie cylindra. Po wyciśnięciu oleju w prasie pozostają wytłoki (makuch) (rys. 7).

Pozostałości te (z lnianki siewnej) wykorzystywane są jako dodatki do pasz, dla trzody chlewnej, bydła i innych przeżuwaczy. Nie nadają się w zasadzie dla drobiu. Mogą być również używane jako materiał opałowy. W niektórych tłoczniach służą do wytworzenia energii potrzebnej do prowadzenia procesu lub zapewnienia odpowiedniej temperatury pomieszczeń.



Rys. 6. Prasa tłokowa
Fig. 6. Ram baler



Rys. 7. Wytłoki
Fig. 7. Pressed residues

4. Wyniki badań

W całkowitym koszcie wyprodukowania paliwa uwzględniono wszystkie koszty związane z wyhodowaniem nasion, wytłoczeniem z nasion oleju i koszt estryfikacji tego oleju.

4.1 Koszty wyhodowania lnianki siewnej

W zamieszczonych niżej wynikach uwzględniono koszty zabiegów agrotechnicznych oraz zużycie oleju

napędowego przy pracach, w których był wykorzystywany własny ciągnik (tab. 1-6). Uwzględnione zostały również koszty materiałów użytych podczas hodowli i pielęgnacji (wartości i ilości) i koszty ogólnogospodarcze. Sumę wszystkich kosztów przeliczono na 1ha powierzchni.

Nie zostały tutaj uwzględnione przychody pomniejszające koszty (tab. 4) w postaci dopłaty bezpośredniej, ONW – dopłaty do trudnych warunków

Tab. 1. Koszty zabiegów agrotechnicznych oraz zużycie oleju napędowego w uprawie 1 ha lniarki

Table 1. Costs of cultivation measures and consumption of diesel oil in false flax cultivation (1 ha)

Lp.	Rodzaj zabiegu	Zużycie ON [l/ha]	Koszt [zł/ha]	Uwagi
1.	Orka	20	68	2h, 3,40zł/1 ON ¹
2.	Bronowanie, włókowanie + siew	-	100	Usługa
5.	Oprysk chwastobójczy	-	25	Usługa
6.	Nawożenie Saletrą, Salmiakiem i Suprofoską 25 (przedsięwzięcie)	-	75	(3 x 25 zł) usługa
7.	Zbiór	-	273,00	1,3h; (210 zł/h)
8.	Suma	-	541 zł	-

¹) Na dzień 1 września 2007 roku inicjalna cena paliwa wynosiła 3,80 zł/l, jednak rolnikom Urząd Gminy w tamtym okresie zwracał 40gr od każdego litra zakupionego paliwa, stąd cena 3,40 zł/l

Tab. 2. Koszty materiałów i koszty ogólnogospodarcze poniesione na uprawę lniarki

Table 2. Costs of materials and general economic costs incurred for cultivation of false flax

Lp.	Składnik kosztów	[zł/ha]	Uwagi
1.	Suprofoska 25	234 zł	300kg/ha, (780zł/t)
2.	Mocznik	8,5 zł	10kg/5kg nasion (850zł/t)
3.	Saletra amonowa N-34%	142zł/ha	200kg; (710zł/t)
4.	Salmak z magnezem N-27,5%	102zł/ha	150 kg; (680zł/t)
5.	Lontrel	145zł/ha	2,5l/ha
6.	Nasiona	- ¹⁾	-
8.	Suma	631,5 zł	-
8.	Suma + Koszty ogólnogospodarcze (10% sumy kosztów)	694,65 zł	-
9.	Suma kosztów na ha	694,65	-
10.	Suma wszystkich kosztów na ha	1235,65	-

¹) Koszt nasion nie został uwzględniony, gdyż uzyskano je z Katedry Genetyki i Hodowli Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu

Tab. 3. Przychody pomniejszające koszty wytworzenia oleju z 1 ha

Table 3. Revenue reducing the costs of the false flax oil production from 1 ha of cultivation field

Lp.	Rodzaj przychodu	Wysokość dopłaty [zł]
1.	Dopłata bezpośrednia	589,73
2.	Dopłata ONW	170,10
3.	Dopłata energetyczna	175,50
4.	Dochód ze sprzedaży wyłoków	828,00
5.	Suma	1763,33

4.2. Koszty tłoczenia nasion lniarki siewnej

Wyniki próby tłoczenia nasion dotyczą ilości otrzymanego oleju jak i pozostałych produktów powstałych w procesie. Koszt wyłoczenia 1 l oleju zawiera w sobie koszty robocizny oraz zużytej energii elektrycznej. Amortyzacja maszyn używanych w procesie tłoczenia została pominięta, z uwagi na zaawansowany wiek maszyn.

Z badań wynika, że po odliczeniu wszelkich przychodów, czy to z tytułu dopłat, czy sprzedaży

produkcji rolniczej, której wysokość dotyczy powierzchni do 50 ha, oraz dopłaty energetycznej. Tą ostatnią wprowadzono w 2007 roku w wysokości 45 euro/ha do roślin wykorzystywanych na cele energetyczne. Właściciel powierzchni badawczej, na której była hodowana lniarka, nie skorzystał z wyżej wymienionych dopłat, jednak można było je z powodzeniem wykorzystać. W tab. 3 podano wysokości dopłat.

makuchu, koszt wyprodukowania i wyłoczenia 1150 kg nasion wyniósł 173,52 zł (nie biorąc pod uwagę kosztu zakupu nasion). Koszt uprawy 1 ha lniarki, pomniejszony o kwoty dopłat wyniósł 300,32 zł. Dopłaty bezpośrednie, unijne i przychód ze sprzedaży makuchu obniżają koszt wytworzenia oleju o 84,36%. Korzystając z dopłat, wyprodukowanie 1 l oleju lniarkowego będzie kosztowało 0,48 zł, czyli o 2,59 zł mniej niż w przypadku, gdy z nich nie korzystamy.

4.3. Koszty procesu estryfikacji

Najważniejszym aspektem procesu estryfikacji jest ilościowe ujęcie substratów i produktów reakcji na skalę laboratoryjną i półprzemysłową. Pewien pogląd na ten obraz reakcji mogą dać procentowe wykresy udziału substratów i produktów. Ich szczegółowe wartości przedstawiono w artykule o procesie produkcji estrów z lnianki siewnej [18] zawartym w niniejszej monografii. Kolejnym co do wagi czynnikiem jest kosztowność

procesu. Jest ona uzależniona od ceny składników niezbędnych do jego przeprowadzenia. Z ekonomicznego punktu widzenia ważna jest opłacalność procesu, o czym waży cena finalnego produktu oraz procentowy udział poszczególnych składników kosztowych. Sporządzono analizę kosztową w oparciu o wynik estryfikacji przeprowadzonej według nowej technologii opracowanej w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu.

Tab. 4. Wyniki próby tłoczenia
Table 4. Results of pressing tests

Lp.	Parametr	Ilość	Uwagi
1.	Ilość nasion	122,5 kg	
2.	Zaolejenie nasion	35,00%	
3.	Uzysk oleju na prasie	28,00 %	
4.	Ilość oleju (l)	38,45 l	
5.	Ilość oleju (kg)	34,3 kg	Gęstość 0,892 g/cm ³
6.	Olej pozostały w wytlókach	10,6 kg	
7.	Masa wytlóków	88,2 kg	72% wagi nasion
8.	Zaolejenie wytlóków	12,00 %	

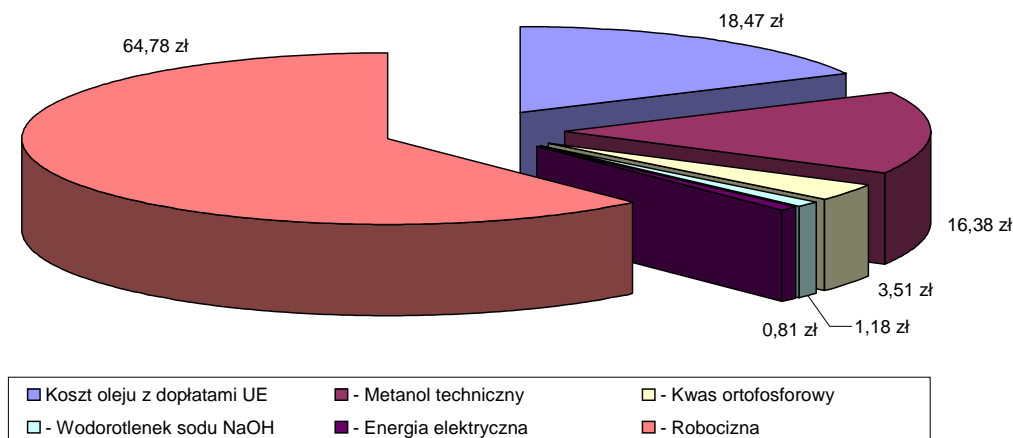
Tab. 5. Koszt wyprodukowania oleju lniankowego z uwzględnieniem kosztów wytworzenia
Tab. 5. Cost of producing of false flax oil taking into consideration the production costs

Lp.	Koszty	Ilość	Wartość [zł]	Wartość pomniejszona o dopłaty [zł]
1.	Koszt wytworzenia nasion	1150 kg	1235,65	300,32
2.	Koszt wytworzenia nasion	1 t	1074,47	261,14
3.	Koszt wytłoczenia nasion	1150 kg	702,20	-
4.	Koszt wyprodukowania 1 litra oleju	1 l.	3,07	0,48
5.	Koszt wyprodukowania oleju z całości pozyskanych nasion	1150 kg	1109,85	173,52

Tab. 6. Koszt wyprodukowania FAME z oleju lniankowego
Tab. 6. Costs of FAME production from false flax oil

Koszt	j.m	Ilość	Wartość [zł]	Uwagi
Reaktor o wydajności 60 l/dobę, moc grzałek 1,8 kW, silników 0,8 kW				nie uwzględniono jego amortyzacji
Koszt wyprodukowania oleju lniankowego	l	38,45	118,04	3,07 zł/litr
Ilość uzyskanego FAME	l.	35,17		Wydajność metanolizy 89,65 %
Koszt ekstrakcji				
- Metanol techniczny	l	9,81	16,38	1,35 zł/l + 22% VAT (1,65 zł)
- Kwas ortofosforowy	l	0,12	3,51	24,00 zł/l + 22% VAT (29,28zł)
- Wodorotlenek sodu NaOH	kg	0,37	1,18	2,61 zł/kg + 22% VAT (3,18zł)
- Energia elektryczna	kWh	2,38	0,81	0,34 zł/kWh
- Robocizna	h	3,31	64,78	19,57zł/h
SUMA			204,70	
Koszt wyprodukowania oleju po uwzględnieniu dopłat UE	l	38,45	18,47	0,48 zł/litr
Suma po uwzględnieniu dopłat UE			105,13	
Koszt produkcji 1 l biopaliwa - FAME	zł		5,82	204,70/35,17=5,82
Koszt produkcji 1 l biopaliwa FAME z uwzględnieniem dopłat UE	zł		2,99	105,13/35,17=2,99

Koszt wyprodukowania FAME z lniarki siewnej



Rys. 8. Koszt wyprodukowania FAME z oleju lniankowego przy wykorzystaniu dopłat UE

Fig. 8. Costs of FAME production from false flax oil using EU subsidies

Całkowity koszt wyprodukowania jednego litra estrów metylowych oleju lniankowego jest wysoki i wynosi 5,82 zł za jeden liter. Tak wysoki koszt produkcji jednego litra paliwa wynika z bardzo wysokiej stawki kosztów robocizny. Gdyby w trakcie hodowli skorzystano z dopłat możliwych do uzyskania z Unii Europejskiej, jej koszt znacznie by się obniżył. Przyjmując średni koszt pracy rolnika na poziomie 19,57 zł/h [19] koszt wyprodukowania jednego litra FAME spadłby do 2,99 zł.

5. Analiza wyników

5.1 Analiza wyników uprawy

Podobne badania do przeprowadzonych w tej pracy, wykonał w roku 2007 Michał Bruchwałd. Badał on możliwości wykorzystania wybranych olejów roślinnych do zasilania tłokowych silników spalinowych ZS (z zapłonem samoczynnym) w maszynach leśnych. W trakcie swoich badań przebadał koszty wytworzenia, tłoczenia i estryfikacji oleju lniankowego. W niniejszej analizie otrzymane wyniki porównano do rezultatów badań Bruchwałda.

Ogólny koszt uzyskania nasion lniarki wynosi 1245,65 zł i zawiera w sobie: koszty zabiegów agrotechnicznych, koszty środków ochrony roślin, nawozów, usług oraz koszty ogólnogospodarcze. Uzyskano 1150 kg nasion, co daje plon 115 q z hektara. Bardzo ważnym elementem uprawy lniarki jest korzystanie z dopłat bezpośrednich proponowanych przez Unię Europejską. Dopłaty te pozwoliły obniżyć koszty wytworzenia nasion lniarki o około 76%. Przyrównując je do wyników obliczonych przez Bruchwałda, uzyskano koszt wytworzenia niższy o około 39%. Wiąże się to bezpośrednio z niższą ceną oleju napędowego w roku 2008, co ma wpływ na koszt zabiegów agrotechnicznych. Różnice w wynikach mogą też wynikać z faktu, iż w uprawie opisanej w tej pracy zostało zastosowanych mniej nawozów i środków ochrony roślin. W kalkulacji nie uwzględniono ceny nasion użytych do wysiewu gdyż, T. Łuczkiwicz z Katedry Genetyki i Hodowli Roślin U P w Poznaniu, przekazał je nieodpłatnie w ramach badań.

5.2 Analiza wyników z próby tłoczenia

Olej tłoczony był w tradycyjnej i pracochłonnej technologii z uwagi na to, iż tłocznia ta zajmuje się głównie tłoczeniem olejów do celów konsumpcyjnych na niewielką skalę, a nie do celów przemysłowych. Skutkiem tego jest wysoki koszt tłoczenia. Na koszt pozyskanego oleju mają wpływ: koszt wytworzenia nasion lniarki, koszt tłoczenia i wartość dochodu uzyskanego ze sprzedaży wytlóków. Lniarka jest rośliną o niskim zaolejeniu nasion, w wyniku czego uzysk oleju jest nieduży. Również i w wytlókach pozostaje znaczna ilość oleju, co jest wynikiem prostoty procesu. Chociaż ma to i swoją zaletę, gdyż jak w przypadku opisanym w tej pracy, przychody z tytułu sprzedaży wytlóków przewyższają koszt tłoczenia nasion.

5.3 Analiza wyników procesu estryfikacji

Bardzo ważnym elementem analizy kosztów estryfikacji jest jej efektywność. Wiąże się ona ze stosunkiem ilości uzyskanych estrów do ilości użytego oleju. Wyraża się to w procentach. W rozpatrywanym przypadku wskaźnik ten wynosi 89,65%. Im jest on bliższy 100% tym wyższa jest wydajność i korzystniejszy bilans reakcji.

Na koszt wytworzenia estrów z oleju lniankowego składają się koszty: wytworzenia oleju, robocizny, metanolu, katalizatora i energii elektrycznej. W warunkach przydomowych lub przemysłowych wartość robocizny ulegałaby wielokrotnemu zmniejszeniu i najbardziej znaczącym czynnikiem byłby koszt oleju. Koszt użytego metanolu oraz reszta składników ma znaczenie marginalne. W analizach Bruchwałda koszt oleju stanowi 89,9% ogólnego kosztu. Wiąże się to z faktem, iż przeanalizowany przez niego proces przeprowadzony został na skale przemysłową i wyniki jego są bardziej realistyczne.

W niniejszej pracy stwierdzono, że w przypadku korzystania z dopłat z UE największy udział w kosztach wyprodukowania biopaliwa z lniarki siewnej (*Camelina sativa* L.) stanowi robocizna (przy stawce 19,57 zł/h), a drugą znaczącą pozycję stanowi koszt wyprodukowania oleju lniankowego. Użyte komponenty do procesu

chemicznego nie mają większego znaczenia.

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i dokonanej kalkulacji kosztów produkcji FAME można wysunąć następujące wnioski:

1. Nowa technologia estryfikacji różniąc się od poprzedniej zastosowaniem neutralizatora, wykorzystana w badaniach, okazała się odpowiednia do wytworzenia estrów metylowych oleju lniankowego i nie wpływa znacząco na koszt tego procesu.
2. Wyprodukowanie 1 litra estrów metylowych z lnianki siewnej przy przyjętym średnim koszcie roboczogodziny rolnika polskiego równym 19,57 zł/h kosztuje 2,99 zł.
3. Bez dopłat Unijnych koszt produkcji estrów metylowych jest nieopłacalny.
4. Największy udział w kosztach wyprodukowania estrów metylowych stanowiła robocizna przy estryfikacji i wynosiła 64,78 zł.
5. Dość wysokie są koszty komponentów procesu chemicznego ekstrakcji: olej lniankowy i metanol techniczny. Pozostałe odczynniki chemiczne nie są tak ważne.

7. Literatura

- [1] Bocheński C. I.: Paliwa i oleje smarujące w rolnictwie. Wyd. SGGW, Warszawa 2005.
- [2] Cisek J., Zabłocki M.: Zastosowanie oleju rzepakowego do napędu silników wysokoprężnych. Mat. Konf. Rzepak – stan obecny i perspektywy. Radzików 1993.
- [3] Connemann J.: Modern Production of Diesel Fuels Based on Vegetable Oils. Fuels. 1st International Colloquium. Technische Akademie, Esslingen 1997.
- [4] Lotko W.: Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi., Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
- [5] Jastrzębska G.: Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
- [6] Kasedorf J.: Zasilanie wtryskowe olejem napędowym. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1990.
- [7] Kasedorf J.: Układy wtryskowe i katalizatory. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1998.
- [8] Polska - Arkusz informacyjny o energii ze źródeł odnawialnych. Dyrekcja Generalna ds. Energii i Transportu, Warszawa 23.01.2008.
- [9] Szlachta Z.: Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
- [10] Układ wtryskowy Common-Rail. Informacja Techniczna BOSH, Wydanie 2000/2001.
- [11] Układ wtryskowy Unit Injector System (Unit Pump System). Informacja techniczna BOSH, Wydanie 2000/20001.
- [12] Ulbrich R.: Alternatywne źródła energii. Oficyna wydawnicza, Opole 2000.
- [13] Wajand J. A., Wajand J. T.: Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
- [14] Wasilewski J., Kresowski E.: Tłokowe silniki spalinowe. Wyd. AR Lublin, Lublin 2007.
- [15] Wojtkowiak R., Łuczkiwicz T., Dubowski A.: Olej z lnianki siewnej (*Camelina sativa* L.) jako paliwo do zasilania silników spalinowych. Red. nauk. Pawłowski T. Monografia, tom 2: Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Część 2: Proekologiczne działania we współczesnym rolnictwie. PIMR, Poznań 2005.
- [16] Wojtkowiak R., Frąckowiak P., Bruchwałd M., Glazar K.: Olej lniankowy jako paliwo do zasilania silników z zapłonem samoczynnym. Monografia pod redakcją Z. Zbytka. tom 4: Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych, Poznań 2007, s. 204-214.
- [17] Wojtkowiak R., Frąckowiak P., Bruchwałd M., Glazar K.: Koszt produkcji paliwa z oleju lniankowego do silników z zapłonem samoczynnym. Monografia pod redakcją Z. Zbytka, tom 4: Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych, Poznań 2007, s. 215-230.
- [18] Wojtkowiak R., Frąckowiak P., Kaczyński P.: Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering 2009, Vol. 54(4).
- [19] Mały rocznik statystyczny. Zakład Wydawnictw Statystycznych GUS, Warszawa 2008.