

ACTA AGROPHYSICA



Jerzy Tys, Wiesław Piekarski, Izabella Jackowska,
Adam Kaczor, Grzegorz Zając, Paweł Starobrat

TECHNOLOGICZNE I EKONOMICZNE UWARUNKOWANIA PRODUKCJI BIOPALIW Z RZEPAKU

99

Instytut Agrofizyki
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
w Lublinie

Rozprawy i Monografie
Lublin 2003

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny

prof. dr hab. Ryszard T. Walczak, czł. koresp. PAN

Zastępca Redaktora Naczelnego

prof. dr hab. Józef Horabik

Rada Redakcyjna

Tomasz Brandyk, czł. koresp. PAN - przewodniczący

Ryszard Dębicki

Bohdan Dobrzański

Danuta Drozd

Franciszek Dubert

Tadeusz Filipek

Józef Fornal

Jan Gliński, czł. rzecz. PAN

Grzegorz Józefaciuk

Eugeniusz Kamiński

Andrzej Kędziora

Tadeusz Kęsik

Krystyna Konstankiewicz

Janusz Laskowski

Jerzy Lipiec

Piotr P. Lewicki

Stanisław Nawrocki, czł. rzecz. PAN

Edward Niedźwiecki

Viliam Novák, Słowacja

Josef Pecen, Czechy

Stanisław Radwan, czł. koresp. PAU

Jan Sielewiesiuk

Witold Stępniewski

Zbigniew Ślipek

Bogusław Szot

Saturnin Zawadzki, czł. rzecz. PAN

Opiniował do druku

prof. dr hab. Mieczysław Szpryngiel

Adres redakcji

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201
20-290 Lublin 27, tel. (0-81) 744-50-61, e-mail: editor@demeter.ipan.lublin.pl
[http: //www.ipan.lublin.pl](http://www.ipan.lublin.pl)

Publikacja indeksowana przez
Polish Scientific Journals Contents - Life Sci. w sieci Internet
pod adresem <http://www.psjc.icm.edu.pl>

© Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2003

ISSN 1234-4125

Wydanie I. Nakład 150 egz. Ark. wyd. 11,6
Skład komputerowy: Grzegorz Zajac
Druk: Drukarnia *ALF-GRAF*, ul. Kościuszki 4, 20-006 Lublin

SPIS TREŚCI

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ.....	5
1. WSTĘP.....	7
2. AGROTECHNIKA RZEPAKU	9
2.1. Dobór gleb	9
2.2. Wymagania klimatyczne.....	11
2.2.1. Przewidywanie roślin.....	12
2.3. Zabiegi agrotechniczne	14
2.4. Dawki nawozów i techniki nawożenia	15
2.4.1. Potrzeby pokarmowe rzepaku ozimego	15
2.4.2. Potrzeby nawozowe rzepaku ozimego	16
2.4.3. Sposoby obniżenia kosztów nawożenia rzepaku ozimego	22
2.4.4. Optymalizacja odczynu gleby	22
2.4.5. Nawożenie organiczne.....	25
2.5. Maksymalizacja plonu	25
2.6. Dolomitowane osady ściekowe jako źródło składników pokarmowych	27
2.6.1. Dolistne dokarmianie rzepaku ozimego.....	28
2.7. Techniki i technologie siewu.....	29
2.8. Chemiczna i mechaniczna ochrona roślin	31
3. TECHNOLOGIA ZBIORU RZEPAKU	35
3.1. Technologia i terminy zbioru	43
3.1.1. Zbiór jednoetapowy	43
3.1.2. Zbiór dwuetapowy	46
3.2. Masa 1000 nasion – MTN.....	48
4. SUSZENIE NASION	51
4.1. Suszenie wysokotemperaturowe	51
4.2. Niskotemperaturowa konserwacja nasion	53
5. PRZECHOWYWANIE NASION RZEPAKU	61
6. PARAMETRY I PRZEBIEG PROCESU PRODUKCJI PALIWA RZEPAKOWEGO.....	70
6.1. Otrzymywanie oleju	70
6.2. Metody produkcji estrów	72
6.3. Budowa i wyposażenie linii technologicznych.....	83

6.4. Zagospodarowanie produktów ubocznych i odpadowych	85
7. ZASTOSOWANIE ESTRÓW METYLOWCH OLEJU RZEPAKOWEGO DO ZASILANIA SILNIKÓW SPALINOWYCH.....	89
7.1. Właściwości paliwa rzepakowego.....	90
7.2. Właściwości fizykochemiczne paliwa i ich wpływ na pracę silnika o ZS.....	95
7.3. Jakość biopaliwa i problemy eksploatacyjne.....	99
7.4. Parametry pracy silników zasilanych estrami oleju rzepakowego.....	102
7.4.1. Parametry energetyczne	102
7.4.2. Parametry ekologiczne silników zasilanych estrami oleju rzepakowego.....	105
7.5. Właściwości rozruchowe silników zasilanych FAME	108
7.6. Wpływ FAME na niektóre elementy silnika	112
7.7. Stanowisko niektórych producentów silników wobec stosowania FAME	114
7.8. Korzyści i zagrożenia stosowania FAME	118
8. ASPEKTY EKONOMICZNE PRODUKCJI BIOPALIWA	119
8.1. Możliwości produkcyjne rzepaku przeznaczonego na biopaliwa.....	121
8.2. Koszt produkcji rzepaku.....	127
8.3. Koszt uzysku oleju oraz produkcji biopaliwa.....	132
9. EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PRODUKCJI BIOPALIWA RZEPAKOWEGO	135
10. PODSUMOWANIE	139
11. PIŚMIENNICTWO	143
12. STRESZCZENIE	151
13. SUMMARY	152

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

LK – Liczba kwasowa [$\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$],
LN – Liczba nadtlenkowa [$\text{mmole O} \cdot \text{kg}^{-1}$],
MTN – Masa tysiąca nasion [g],
 δ – Test punktu olejowego [MPa],
KRP – Kompleks rolniczej przydatności,
KAG – Kategoria agronomiczna gleby,
 Gp – Godzinowe zużycie paliwa [$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$],
 ge – Jednostkowe zużycie paliwa [$\text{g} \cdot (\text{kWh})^{-1}$],
RME Rapsed Methyl Ester – Estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego,
FAME Fatty Acid Methyl Esters – Estry metylowe kwasów tłuszczowych,
CO – Tlenek węgla,
CO₂ – Ditlenek węgla,
HC – Węglowodory,
NO_x – Tlenki azotu,
PM – Particulate Matter – Cząstki stałe,
SO₂ – Ditlenek siarki,
ZS – Zapłon samoczynny.

1. WSTĘP

Rzepak, wywodzący się z rodziny kapust liczącej ponad sto gatunków, znany jest w różnych odmianach. Nasiona tej rośliny są źródłem oleju do potraw i oświetlenia pomieszczeń od ponad czterech tysięcy lat. Uprawiany w Polsce rzepak był dotychczas wykorzystywany głównie jako surowiec do produkcji oleju jadalnego.

Wyczerpujące się rezerwy paliw kopalnych i żądania, wynikające z wysokiego poziomu życia, wytwarzania coraz większej ilości towarów i energii powodują konieczność zagwarantowania bezpieczeństwa energetycznego połączonego z ochroną środowiska. Rzepak może więc mieć realne znaczenie jako surowiec nadający się do przetwarzania na produkty przemysłowe, a w szczególności jako nośnik energii do napędu silników wysokoprężnych. Biopaliwo, nazywane również biodieslem, to ekologiczne, nietoksyczne i odnawialne paliwo o niemal identycznych właściwościach jak olej napędowy. Podejmowane próby produkcji biopaliwa w Polsce zakończyły się niepowodzeniem, bowiem koszt wytworzenia paliwa z rzepaku nie pozwalał na konkurencyjność z paliwami ropopochodnymi.

Szansą na realizację produkcji biopaliwa jest zmniejszenie nakładów na agrotechnikę rzepaku oraz zmiany organizacyjne polegające na lepszym wykorzystaniu i adaptacji lokalnej bazy surowcowej, jak również doskonalenie rozwiązań technologicznych podczas skupu, suszenia i przechowywania.

Rosnące zapotrzebowanie na nasiona rzepaku stanowiące surowiec dla przemysłu tłuszczowego i paliwowego będzie wymagało zwiększenia produkcji rzepaku, co będzie możliwe przy zapewnieniu odpowiedniej jego opłacalności. Daje to szansę zastosowania biopaliwa rzepakowego:

- jako samodzielne paliwo samochodowe,
- jako biokomponent paliwowy,
- jako surowiec dla przemysłu,
- w systemach grzewczych,
- do produkcji środków smarnych,
- w górnictwie,
- w transporcie wodnym,
- w transporcie kolejowym,
- do likwidacji skażeń.

Rozszerzenie zakresu stosowania biopaliw, jest możliwe jedynie przy znaczącym wzroście produkcji surowców rolnych (nie tylko rzepaku) przeznaczanych na cele energetyczne. Do głównych czynników, które wpływają na rozwój odnawialnych źródeł energii zaliczyć można:

- niebezpieczną emisję gazów cieplarnianych i związaną z tym realizacją umów międzynarodowych w zakresie ochrony środowiska,

- nadprodukcję żywności i wzrost rezerw gruntów rolnych, które można wykorzystać pod uprawę „roślin energetycznych”,
- kończące się zasoby energetyczne pochodzenia mineralnego,
- prowadzoną politykę gospodarczą w zakresie aktywizacji obszarów wiejskich (przyrost miejsc pracy, uprzemysłowienie wsi, rozwiązania prawne, administracyjne i ekonomiczne),
- organizację bazy surowcowej,
- rozwój przemysłu agrorefineryjnego,
- poprawę wykształcenia ogólnorolniczego i specjalistycznego producentów rolnych.

Znaczenie rzepaku, jako podstawowej rośliny energetycznej będzie więc stale rość. Atrakcyjność rzepaku polega bowiem na wysokiej wartości użytkowej nasion będących surowcem w przemyśle paliwowym, tłuszczowym i paszowym jako cenny komponent białkowy. Rzepak spełnia także istotną rolę w płodozmianie jako roślina strukturotwórcza, stanowiąca wartościowy przedplon w produkcji roślin zbożowych. Uprawa rzepaku stwarza dogodne warunki do rozłożenia prac w gospodarstwie oraz pozwala na stosowanie tych samych maszyn i narzędzi, co w uprawie zbóż. Uprawie rzepaku sprzyjają również warunki klimatyczno-glebowe, które sprawiają, że stanowi on silną konkurencję dla innych powszechnie uprawianych roślin w naszym kraju. Produkcja rzepaku może więc znacząco wpłynąć na aktywizację obszarów wiejskich.

Areał uprawy rzepaku w ostatnich kilkunastu latach, wynosi ok. 400-500 tys. ha i z trudem pokrywa zapotrzebowanie przemysłu spożywczego. Można wnosić, że rozszerzenie powierzchni uprawy tej rośliny będzie w najbliższym okresie bardzo trudne. Problem tkwi przede wszystkim w bardzo małej opłacalności produkcji nasion rzepaku jako surowca niezbędnego do wytwarzania biopaliwa. Wadą biopaliwa z rzepaku jest relatywnie wysoki koszt wytwarzania, wyższy o ok. 50% od ceny paliw mineralnych. Spowodowane jest to głównie ceną surowca stanowiącą ok. 60% kosztów biopaliwa, gdyż od lat utrzymuje się niekorzystny stosunek cen rzepaku do cen zbóż wynoszący 1,5-1,7 [115,117]. Dopiero w ostatnich latach stosunek ten stał się bardziej korzystny dla producentów rzepaku i wyniósł w roku 2002 około 2, a w 2003 nawet ponad 2,3. Wzrostu zainteresowania rzepakiem trudno oczekiwać mając na uwadze również brak stabilności plonowania tej kapryśnej rośliny. Analizując plony nasion w ostatnich 30 latach można bez trudu w każdym dziesięcioleciu wskazać 2-4 lata, w których plony spadają znacznie poniżej granicy opłacalności, osiągając poziom nawet $1,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Mając na uwadze powyższe realia należy sądzić, że wzrost produkcji rzepaku, który zrównoważy zapotrzebowanie na surowiec niezbędny dla celów paliwowych, jak i spożywczych może być możliwy jedynie poprzez maksymalne ograniczenie

kosztów jego produkcji (uzyskanie maksymalnych plonów przy minimalnych nakładach). Działania te powinny obejmować wszystkie elementy produkcji od zasiewu do przerobu. Rozwojowi produkcji biopaliw powinny służyć odpowiednie regulacje prawno-finansowe, dopracowanie technologii, organizacji produkcji oraz zbytu, również produktów ubocznych.

2. AGROTECHNIKA RZEPAKU

Uzyskanie wysokich plonów nasion rzepaku o odpowiednio wysokiej wartości technologicznej jest możliwe tylko w przypadku zastosowania sprawdzonych intensywnych metod uprawy. Należy zaznaczyć, że rzepak ma duże wymagania, zarówno w stosunku do struktury gleby, jak i jej sprawności i zasobności. Ekonomiczną opłacalność jego produkcji można uzyskać przestrzegając ściśle zaleceń wynikających z technologii uprawy i zbioru. Pozwala to zapewnić maksymalne wykorzystanie zastosowanych składników pokarmowych, skuteczną ochronę przed chorobami i szkodnikami oraz ograniczenie strat ilościowych i jakościowych nasion podczas dojrzwania i zbioru. Rzepak jest rośliną, która wymaga wysokich umiejętności i doświadczenia, zarówno podczas uprawy (stosowanie właściwych zabiegów, odpowiednia walka z chorobami i szkodnikami), zbioru (wybór odpowiedniej technologii zbioru, przestrzeganie okresów agrotechnicznych), suszenia (dobór właściwej temperatury w zależności od wilgotności nasion), a także przechowywania (kontrolowanie warunków w jakich nasiona są składowane). W efekcie wysokie – opłacalne plony uzyskują tylko nieliczni plantatorzy tej wymagającej rośliny.

2.1. Dobór gleb

W Polsce możliwa jest uprawa rzepaku zarówno ozimego, jak i jarego. Uprawa tego ostatniego jest jednak mało opłacalna, ale szerszego znaczenia nabiera w momencie wymarzania rzepaku ozimego. Rzepak jest rośliną o wysokich wymaganiach glebowych, w związku z czym tylko na glebach dobrych i bardzo dobrych można uzyskać dobre i stabilne plony. Pewne ilości rzepaku mogą być również uprawiane na glebach średnich, ale w tych warunkach plony będą już niższe. Pod uprawę rzepaku ozimego nadają się szczególnie gleby klasy: I, II, IIIa i IIIb (gleby kompleksów pszennych bardzo dobrych i dobrych), ale można również osiągnąć dobre wyniki uprawiając rzepak na glebach klasy: IVa i IVb, pod warunkiem, że gleby te znajdują się w wysokiej kulturze [25,42,83,142].

Gleby z natury żyzne, głębokie, zasobne w próchnicę i wapń o przepuszczalnym podłożu, są najbardziej odpowiednie pod uprawę rzepaku. Rzepak uprawia się

również na glebach żytnich pod warunkiem, że dzięki melioracjom i długoletniej starannej uprawie są one sprawne i zasobne w pokarmy. Plony uzyskiwane na glebach piaszczysto-gliniastych i gliniasto-piaszczystych dorównują w tych warunkach plonom osiąganym na glebach z natury bardziej żyznych, np. czarnoziemach i czarnych ziemiach. Uprawę rzepaku ozimego można zatem rozszerzyć na gleby lżejsze, uważane do niedawna za nieodpowiednie. Na glinach ciężkich uprawę można prowadzić tylko po przedplonach wcześniej schodzących z pola, aby mieć dostatecznie dużo czasu na przygotowanie roli pod zasiew [53].

Pod uprawę rzepaku nie nadają się gleby piaszczyste i na piaszczystym podłożu, gleby o wadliwym żelazistym podłożu lub nie drenowane o nieprzepuszczalnym podłożu, podmokłe i zakwaszone. Nadmiar wody i przesylenie gleby wodą powoduje gnicie roślin, zwłaszcza gdy woda zbiera się na polu w zagłębieniach i nieckach, brak jest odpływu lub gdy wskutek nie rozciągania głębszych warstw gleby woda nie może przeniknąć w głąb. Na torfach niskich korzenie rzepaku ozimego są często uszkodzane wskutek ruchów górnej warstwy gleby w okresie zimowym. Torfy wysokie z tych samych względów nie nadają się do uprawy rzepaku, a ponadto są ubogie w pokarmy. Wymagania glebowe rzepaku jarego są bardzo podobne do wymagań rzepaku ozimego. Jednak może być on uprawiany na murszach i torfach niskich o uregulowanym poziomie wody grunтовой [53].

Tabela 1. Przydatność gleb do uprawy rzepaku i potencjalne jego plony [81]

Table 1. Land capability for rape cultivation and its potential crops [81]

Gleby Soils	Kompleks przydatności rolniczej Agricultural suitability complex	Powierzchnia Area		Plon potencjalny Potential crop (t·ha ⁻¹)
		mln ha	%	
B. dobre ¹ Very good	1,2,10	3,65	24	3,6-4,0
Dobre ² Good	3,4,8,11	3,89	26	3,0-3,6
Średnie ³ Medium	5	2,42	16	2,5-3,0
Słabe ⁴ Weak	6,9	3,19	23	2,0-2,5
B. słabe ⁵ Very weak	7	1,64	12	1,5

Kompleksy przydatności rolniczej gleb: 1/ pszenney b. dobry (1), pszenney dobry (2) i pszenney górski (10); 2/ pszenney wadliwy (3), żytni b. dobry (4), zbożowo-pastewny mocny (8), zbożowy górski (11); 3/ żytni dobry (5); 4/ żytni słaby (6), zbożowo-pastewny słaby (9); 5/ żytni b. słaby (7).

Wybór pola pod rzepak jest związany nie tylko z jakością gleby lecz również z ukształtowaniem terenu. Pagórki i wzniesienia narażone na działanie wysuszających, mroźnych wiatrów, często pozbawione okrywy śnieżnej, a także stanowiska z zagłębieniami gromadzącymi większe ilości wody są zdecydowanie gorszym stanowiskiem niż pola równe o łagodnym spadku. Na terenach o większym nachyleniu, unika się zboczy północnych z powodu słabszego nasłonecznienia. Zbocza o wystawie typowo południowej, na skutek silnego nagrzewania się w godzinach południowych i oziębiania w nocy narażone są na występowanie dużych wahań temperatury gleby, które przyczyniają się do niszczenia systemu korzeniowego roślin [53].

Niektóre opracowania podają, że rzepak można uprawiać na glebach odłogowanych. Jest to informacja błędna, gdyż w warunkach polskich odłogowane są głównie gleby bardzo słabe, całkowicie nieprzydatne do uprawy rzepaku [81]. Rzekpak nie znosi gleb zakwaszonych, o zniszczonej strukturze, ubogich w próchnicę i zachwaszczonych.

2.2. Wymagania klimatyczne

Rzekpak ozimy jest rośliną dobrze rosnącą głównie w rejonach o wysokiej wilgotności powietrza, potwierdzają to wysokie plony uzyskiwane w klimacie morskim, także na wybrzeżach Morza Bałtyckiego. W Polsce plony rzepaku ozimego są wyższe w rejonach o opadach przekraczających 525 mm w skali roku, niż w rejonach o opadach niższych. Rzekpak ozimy jest „niewrażliwy lub tylko nieznacznie wrażliwy” na niedobory wody w okresie od wschodów do zahamowania vegetacji przed zimą. Roślina ta dzięki głęboko sięgającemu korzeniowi palowemu, pozwalającemu pobierać wodę z głębszych warstw gleby potrafi dobrze przetrwać nawet 3-6 tygodniowe susze, a w warunkach połowych polskiego klimatu nie występują jesienią susze przekraczające okres 9 tygodni. Większym problemem są susze występujące w okresie ruszenia vegetacji na wiosnę aż do osiągnięcia dojrzałości. Rzekpak jary natomiast jest bardzo wrażliwy na susze, co związane jest z wysychaniem i opadaniem pąków kwiatowych, powoduje to obniżenie plonu i zawartości tłuszczu w nasionach [53].

Rzekpak jest rośliną wrażliwą na zmiany pogody w okresie zimowym, a zwłaszcza wahania temperatur i mrozy. Stopniowe obniżenie temperatury i łagodne przejście od jesieni do zimowych mrozów powoduje zahartowanie roślin. Nagromadzone w tym okresie zapasy węglowodanów oraz większe stężenie soku komórkowego w komórkach roślinnych, pozwalają przetrzymać roślinom mrozy bez okrywy śniegowej do -15°C . W przypadku zimowania rzepaku pod okrywą śniegową rośliny mogą przetrzymać temperatury poniżej -25°C . Jest to możliwe tylko wtedy, gdy śnieg spadnie na zamrożoną już ziemię, w przeciwnym wypadku

rośliny pobudzone zostaną do intensywnej przemiany materii, wówczas wystąpią procesy gnilne w wyniku braku powietrza. Wahanie temperatury pod śniegiem są mniejsze, a jej spadek nie jest tak znaczny jak w łanie bez okrywy śniegowej. Rzepak jary już we wczesnej fazie liścienia jest odporny na temperatury do -4°C , a po wytworzeniu liści nawet na temperatury niższe. Destrukcyjne dla rzepaku w skutkach są również ostre wiatry wschodnie, które odwadniają tkanki i rośliny nie mogą uzupełnić niedoborów wody z zamrzniętych warstw gleby [53,82]. Przykładem niesprzyjających warunków klimatycznych w ostatnim okresie były lata 1996-1997 oraz rok 2003 kiedy wystąpiło wymarznienie roślin rzepaku na znacznej powierzchni (wymarznieniu uległo ok. 40% plantacji).

Rzepak jest również wrażliwy na zalanie wodą lub zabagnienie gleby. Części nadziemne i korzenie gniją wtedy z braku dostępu tlenu (wymakanie roślin). Wrażliwość rzepaku na wymakanie jest znacznie większa niż zbóż, dlatego powinien on być uprawiany na glebach drenowanych oraz na polach pozbawionych nieckowatych zagłębień [96].

2.2.1. Przechimowanie roślin

Rzepak zaczyna wschodzić na polu po 8-20 dniach od zasiewu w zależności od temperatury i wilgotności gleby. Po wschodach podczas jesiennej rozwoju rzepak tworzy silny system korzeniowy spulchniający głęboko glebę. Głęboki i rozbudowany korzeń jest warunkiem dobrego przechimowania i stabilnych plonów. Korzeń optymalnie przygotowany do przechimowania powinien mieć średnicę 1 cm i długość 20 cm. Jesienią w zależności od przebiegu wegetacji roślina tworzy rozetę liściową. Pozostałe zawiązki liści są uśpione lecz ich liczba (na wiosnę) jest już ustalona. Rozmiar rozety zależy (oprócz gęstości łanu) od temperatury oraz zasobności stanowiska w wodę i składniki pokarmowe. Wytworzona jesienią sucha masa ma wpływ na późniejszą zdolność plonowania roślin. Przy późnym siewie i słabo wyrosniętych roślinach zawiązuje się mało liści (optimum wynosi 8-10) oraz następuje słabe zawiązywanie części generatywnych przez co ograniczone jest tworzenie pędów bocznych i łuszczyń [166]. Niebezpieczne jest również doprowadzenie do nadmiernego wzrostu roślin. Następuje to przy dużym zagęszczeniu łanu (konkurencja w dostępie do światła) oraz przy zbyt obfitym nawożeniu azotowym. Należy zatem unikać wybujałego wzrostu roślin przed zimą, gdyż nieosłonięty stożek wzrostu ma gorsze szanse na przechimowanie). Zabezpieczeniem się przed tego typu zjawiskiem, może być stosowanie regulatorów wzrostu. W okresie jesiennym rzepak narażony jest również na liczne choroby grzybowe typu: sucha zgnilizna kapustnych, czerń krzyżowych, jasna plamistość liści, szara pleśń. Zaniechanie ochrony przed tymi chorobami, może spowodować straty plonu od kilku do kilkunastu procent.

Oceny przezimowania plantacji dokonuje się wczesną wiosną po rozmarznięciu gleby i zejściu wody. Sprawdzanie polega na próbie wyciągnięcia rośliny z gleby. Roślina przemarznięta posiada korzeń zbrunatniały, miękki, łatwo rozwarstwiający się. Bardzo groźne jest mrozowe uszkodzenie stożka wzrostu, na którego górnym wierzchołku znajduje się stożek szczytowy z zawiązkami pąków. Jego uszkodzenie nie powoduje śmierci rośliny bowiem wypuści ona zawiązki pędów bocznych i będzie miała pokrój miotlasty – dużo pędów bocznych zamiast głównego. Roślina wykazywać będzie znaczne zróżnicowanie pod względem dojrzewania poszczególnych jej części (jedne pędy będą kwitnące, gdy tymczasem inne już będą miały dojrzałe łuszczyzny). Łan będzie mało wyrównany i wystąpią znaczne trudności w prawidłowym określeniu właściwego terminu zbioru. Przy zbiorze jednoetapowym nieuniknione będzie stosowanie desykantów [5,6]. Zbiór takiego łanu nastęrcza znaczne trudności (blokada zespołu młocącego i czyszczącego), również nasiona charakteryzują się gorszymi właściwościami jako surowiec zarówno do zakładów tłuszczowych, jak i do produkcji biopaliwa. Nasiona mają małą masę 1000 nasion i zawierają dużo chlorofilu [10,11,23]. Uzyskany z nich olej charakteryzuje się wysoką ilością wolnych kwasów tłuszczowych (wysoka liczba kwasowa), a także gorszymi właściwościami oksydacyjnymi (wysokie wartości liczby nadutlenkowej) [78,79,80]. Białko pochodzące z nasion niedojrzałych będzie mniej zasobne w aminokwasy egzogenne (lizynę), co spowoduje gorszą jakość śruty i wytloku [36,127,150]. Nastąpi również znaczące zmniejszenie uzyskanego plonu nasion nawet do 60%. Dużą ilość takich plantacji stwierdzono po zimie w 2003 roku.

Stan przezimowanych roślin określany jest na wielokrotnej powierzchni 1 m². Na plantacjach małych (do 2 ha) stosuje się 6-8 powtórzeń, na 5-10 ha 12 powtórzeń, a na plantacjach powyżej 10 ha 15-20 powtórzeń [156].

1 m² powierzchni odpowiada:

Rozstawa rzędów		Długość rzędu rzepaku
45	—	222 cm
40	—	250 cm
35	—	286 cm
30	—	333 cm
25	—	400 cm
20	—	500 cm
15	—	666 cm
12	—	833 cm

Plantacje na których pozostało zaledwie 25-35 roślin zdrowych lub z niewielkimi śladami uszkodzeń liści można zostawić, ale pod warunkiem, że są one równomiernie rozmieszczone na polu. W przypadku gdy istnieje duża ilość pustych miejsc po wymarznionych roślinach, plantacja kwalifikuje się do zaorania.

Jednym z głównych warunków dobrego przezimowania roślin jest właściwa obsada roślin, która zapewni ich odpowiedni pokrój. Największe możliwości tworzenie odpowiedniej architektury łanu, zapewniającej dobre przezimowanie i wysoki plon nasion występują w momencie siewu. To właśnie termin siewu i obsada roślin tworzą zdolności kompensacyjne dobrego przystosowania się do warunków środowiska.

Za optymalną obsadę przyjmuje się $50 \text{ roślin} \cdot \text{m}^{-2}$, a jedna roślina produkuje od 2000 do 3000 nasion. Przy średniej masie 1000 nasion wynoszącej 5 g uzyskuje się z jednej rośliny 10-15 g. Przyjmując, te założenia uzyskamy plon $5,0\text{-}7,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Potencjał plonotwórczy rzepaku jest więc bardzo duży, należy tylko dołożyć starań aby był on w jak największym stopniu wykorzystany.

2.3. Zabiegi agrotechniczne

Sposób uprawy roli pod rzepak uzależniony jest w głównej mierze od przedplonu oraz od stanu pola: wilgotność gleby, ilość i jakość resztek poźniowych, zadarnienie, zachwaszczenie itp. [8].

Uprawa roli pod rzepak powinna być bardzo staranna, ze względu na drobne nasiona, a wierzchnia warstwa gleby (5-7 cm) powinna być zarówno dostatecznie pulchna, jak i wilgotna. Warstwa głębsza natomiast powinna być na tyle zwarta – odleżała, aby zapewnić właściwe podsiąkanie wody niezbędne do dobrego kiełkowania i rozwoju młodej rośliny. Ze względu na częsty brak czasu na naturalne „odleżenie i wydobrzeenie” roli należy stosować odpowiednie narzędzia ugniatające.

Wszelkie uproszczenia agrotechniczne polegające na powierzchniowej zmianie struktury ścierniska, np. po zastosowaniu glebogryzarki, czy siewie bezpośrednim wpływają negatywnie na plon, powodując jego obniżenie do 22% w stosunku do klasycznej uprawy płużnej.

Zależnie od warunków przeduprawowych (typ gleby, skład chemiczny gleby, przedplon i sposób nawożenia), przyjmuje się różne zabiegi uprawowe.

Zabiegi przedsiewne zależnie od jakości gleby mogą obejmować: podorywkę, bronowanie, talerzowanie lub kultywatorowanie. Czynności te mają na celu przygotowanie gleby, pod względem jej struktury do siewu nasion. Podorywka dodatkowo wpływa dodatnio na walkę z chwastami i pozwala na ograniczenie ilości zabiegów popłuźnych [53]. Rzekpak ze względu na głęboki system korzeniowy reaguje pozytywnie na spulchnianie gleby. Badania przeprowadzone przez Muśnickiego i Jerzaka [96] oraz Ojczyk i Jankowskiego [100] wykazały, że spłycenie głębokości orki do 10 cm wpływa niekorzystnie na plon (spadek nawet o 10%) oraz skutkuje silniejszym zachwaszczeniem plantacji. Jednak stosowanie zbyt głębokiej orki (ponad 20 cm) nie sprzyja plonowaniu, wpływając jednocześnie na znaczną energochłonność tego zabiegu.

W przypadku spóźnionej orki konieczne jest zastosowanie dodatkowego urządzenia – wału Campbela, w celu ugniecenia głębszych warstw gleby. Dobrze przygotowana gleba umożliwia płytki wysiew nasion, co jest warunkiem uzyskania wyrównanych wschodów. W dużych gospodarstwach coraz częściej stosuje się agregaty uprawowe, których praca ogranicza się tylko do jednego przejazdu po polu, pozostawiając glebę gotową do siewu. Agregaty z siewnikiem pozostawiają pole uprawione i obsiane. Stosowanie tego typu kompleksowych urządzeń zmniejsza czas, koszty uprawy i nie powoduje spadku plonu [42,53].

Przyczyną niskich plonów rzepaku jest – wg Sovy [138] – tradycyjna technologia uprawy. Jej rozwój polega na zmianie uprawy rzepaku w szerokim rozstawie rzędów z ochroną mechaniczną na system ochrony chemicznej i wąskim rozstawie rzędów. Nowa technologia uprawy opracowana przez Vašáka i in. [154] zapewnia plony $3\text{--}4\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Technologie tanie typu „low input”, których poszukiwano przez wiele lat preferowały plony około $2,5\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ przy bardzo niskich nakładach, lecz miały one destruktywny wpływ na urodzajność gleby. Podczas badań tej technologii dowiedziono, że najniższe nakłady na 1 tonę rzepaku ponosi się przy plonie $5\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Podstawą do wyciągnięcia tego wniosku był fakt obniżania się nakładów środków „stałych” przy wysokim plonie, a wzrost jedynie kosztów zmiennych związanych z nawożeniem, kosztem nasion, środków ochrony roślin itp. [138].

Pewne zastrzeżenia budzi także uprawa rzepaku w monokulturze, co jest możliwe, lecz w dotychczasowej agrotechnice nie jest zalecane z powodu zwiększonej podatności na choroby i szkodniki, a także kompensację chwastów [121].

2.4. Dawki nawozów i techniki nawożenia

2.4.1. Potrzeby pokarmowe rzepaku ozimego

Rzepak ozimy jest rośliną o bardzo wysokich wymaganiach pokarmowych. Wymagania te zależą w dużym stopniu od procentowej zawartości składników pokarmowych w nasionach i słomie, od stosunku nasion do słomy, a głównie od wysokości plonu (tab. 2).

Przeciętny stosunek nasion do słomy kształtuje się jak 1:2,4, a pobranie składników pokarmowych na jednostkę plonu przez roślinę dwukrotnie przewyższa analogiczne wartości dla zbóż [20,103].

Z badań przeprowadzonych przez Baraclougha i Merriena [za 103] wynika, że jeszcze przed nastaniem zimy rzepak pobiera $50\text{--}100\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ azotu i potasu, $20\text{--}40\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ wapnia i fosforu oraz $10\text{--}15\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ magnezu i siarki. Według Orloviusa [103] całkowite pobranie podstawowych składników przez rzepak ozimy kształtuje

się odpowiednio: azot – 250-300 kg N·ha⁻¹, potas – 300-400 kg K₂O·ha⁻¹, fosfor – 90-130 kg P₂O₅·ha⁻¹, magnez – 30-60 kg MgO·ha⁻¹, siarka – 60-80 kg S·ha⁻¹. Należy pamiętać również o tym, że wymagania pokarmowe rzepaku są wyższe od pobrania końcowego. W przypadku azotu i potasu pobranie maksymalne jest wyższe od końcowego o 15-20%, a fosforu o 5-10% [20].

Tabela 2. Końcowe pobranie składników pokarmowych przez rzepak ozimy przy różnych poziomach plonowania

Table 2. Final uptake of nutrients by winter rape at different cropping levels

Składnik plonu Crop element	Składniki pokarmowe, kg·ha ⁻¹ Nutrients					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
Nasiona Seeds, 2 t	60	36	20	10	6	10
Słoma Straw	60	24	140	90	10	20
Pobranie łączne Total uptake	120	60	160	100	16	30
Nasiona Seeds, 3 t	90	54	30	15	9	15
Słoma Straw	90	36	210	135	15	30
Pobranie łączne Total uptake	180	90	240	150	24	45
Nasiona Seeds, 4t	120	72	40	20	12	20
Słoma Straw	120	48	280	180	20	40
Pobranie łączne Total uptake	240	120	320	200	32	60

Potrzeby nawozowe mogą być niższe od potrzeb pokarmowych przy uprawie rzepaku na glebach bardzo zasobnych i zasobnych w składniki, ale z reguły są od nich wyższe przy usytuowaniu plantacji na glebach o średniej i niskiej zasobności.

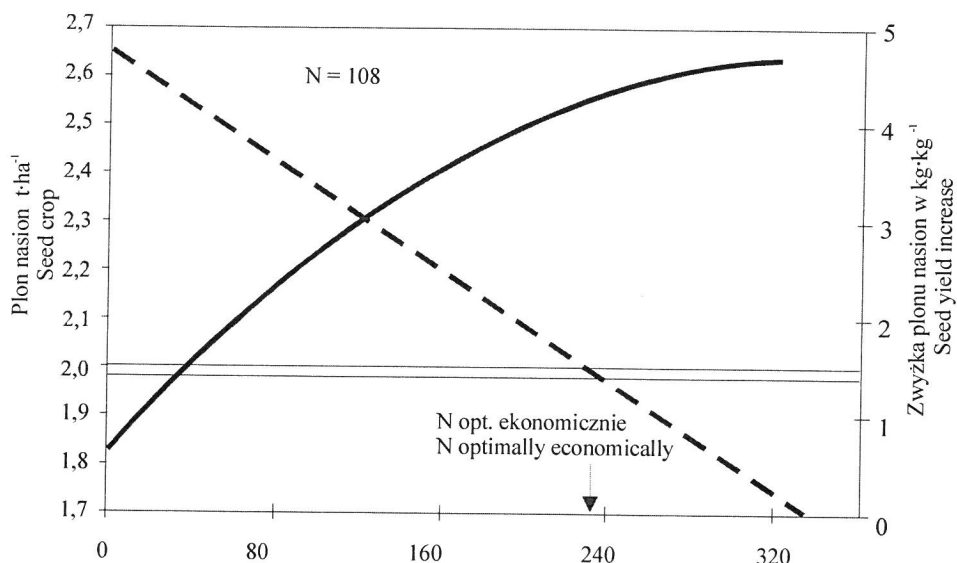
2.4.2. Potrzeby nawozowe rzepaku ozimego

Nawożenie rzepaku azotem

Rzepak ozimy należy do najbardziej azotolubnych roślin [26,160,164]. Z doświadczeń przeprowadzonych w kraju przez Fotymę [za 20] wynika, że optymalna dawka azotu pod rzepak wynosi około 240 kg N·ha⁻¹, chociaż dawki przekraczające tę wielkość nie powodują załamania plonu nasion (rys. 1).

Efektywność nawożenia azotem rzepaku ozimego zależy od ochrony chemicznej roślin. Z badań przeprowadzonych przez Budzyńskiego i współautorów [9] wynika, że na plantacjach niechronionych istotny przyrost plonu nasion obserwowano tylko do poziomu 120 kg N·ha⁻¹. W kombinacji chronionej przy najwyższej zastosowanej w eksperymencie dawce (160 kg N·ha⁻¹) obserwowano istotne zwiększenia nasion rzepaku. Podobne zależności wykazał Jankowski [60] w doświadczeniach z rzepakiem jarym. Stwierdził on mianowicie, że największą opłacalność tej rośliny

zapewnia pełna ochrona insektycydowa w interakcji z nawożeniem azotowym na poziomie $160 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$.



Rys. 1. Krzywa reakcji rzepaku na nawożenie azotem [37,20]: --- – efektywność krańcowa, — – granica opłacalności

Fig. 1. The curve of rape's reaction on fertilization with: --- – extreme effectiveness, — – profitability limit [37,20]

Dawki azotu pod rzepak określone przez IUNG w Puławach zamieszczono w tabeli 3. Z danych tych wynika, że poziom nawożenia azotem zależy od kompleksu rolniczej przydatności, kategorii agronomicznej gleby i potrzeb nawożenia tym składnikiem.

Na kompleksach najlepszych efektywność nawożenia ograniczana jest przez naturalną żyzność gleby, a na gorszych efektywność tę ograniczają inne czynniki (np. zachwiane stosunki wodno-powietrzne), uniemożliwiające uzyskanie wyższych plonów.

Najwyższa efektywność nawożenia ma miejsce zwykle na kompleksach średnich, na których przy intensywnym nawożeniu można otrzymać wysokie plony. Wyższe dawki azotu stosuje się na glebach średnich i cięższych niż na lekkich [160,164].

Wielkość dawek azotu zależy w znacznym stopniu od potrzeb nawożenia tym składnikiem, które rolnik musi ustalić samodzielnie. Potrzeby te zależą od odczynu gleby, ilości opadów w zimie, przedplonu i nawożenia pod przedplon, stosowanej ochrony roślin i odmiany. Efektywność nawożenia rzepaku azotem jest znacznie

wyższa w stanowiskach po zbożach, niż po roślinach pozostawiających w glebie dużo azotu. Na efektywność nawożenia tym składnikiem określony wpływ wywiera również sposób jesiennego i wiosennego nawożenia [9,8,59].

Tabela 3. Dawki azotu pod rzepak wg IUNG w Puławach [57]

Table 3. Nitrogen doses under rape acc. to IUNG in Puławy [57]

KRP	KAG	Plon Crop (t·ha ⁻¹)	Azot Nitrogen, (kg N)				
			Potrzeby nawożenia Fertilizing needs				
			I	II	III	IV	V
1	III	3,8	215	200	185	175	150
2	IV	3,6	235	220	205	190	170
3	III	3,4	220	205	190	170	150
4, 8, 10	III	3,6	235	220	205	185	165
5, 9, 11	II	2,8	175	160	145	125	105

KRP – kompleks rolniczej przydatności; KAG – kategoria agronomiczna gleby: I – bardzo lekkie, II – lekkie, III – średnie, IV – ciężkie; Potrzeby nawożenia N: I – bardzo duże, II – duże, III – średnie, IV – małe, V – bardzo małe.

KRP – agricultural suitability complex; KAG – soil agronomical category: I – very light, II – light, III – medium-heavy, IV – heavy; Fertilizing needs N: I – very large, II – large, III – medium-, IV – small.

Uwzględniając te wszystkie czynniki całkowita dawka azotu zawiera się najczęściej w przedziale od 160 do 240 kg N·ha⁻¹. Z tej ogólnej ilości około 20-30 kg N·ha⁻¹ stosuje się przedsiewnie. Jesienna dawka nawet na najuboższych stanowiskach nie powinna przekroczyć 50 kg N·ha⁻¹. Po dobrych przedplonach, takich jak: koniczyna, lucerna, groch, jare mieszanki zbóż z motylkowatymi, przedsiewne nawożenie azotem jest zbędne. Stosuje się je przy uprawie rzepaku po roślinach zbożowych, które wyczerpują glebę z azotu.

Pozostały azot należy wprowadzać wiosną, najlepiej w dwu dawkach. Pierwszą z nich w ilości 2/3 stosuje się wczesną wiosną przed ruszeniem wegetacji, a drugą około 2 tygodnie później [156].

Przy niedoborze azotu rośliny rzepaku jesienią są drobne, słabo rozwinięte. W okresie wegetacji wiosenno-letniej rośliny są słabo rozgałęziające się, nie wyrośnięte, o jasnozielonych liściach a najstarsze liście żółkną. Rzepak wcześniej zakwita, formuje mniej pąków kwiatowych a krótszy okres kwitnienia prowadzi do mniejszej liczby zawiązanych łuszczyń i ich opadania.

Nawożenie rzepaku fosforem, potasem i innymi składnikami

Nawozy fosforowe i potasowe stosuje się w całości przed siewem rzepaku. Całkowite dawki tych składników – podobnie jak w przypadku azotu – zależą od kompleksu rolniczej przydatności i kategorii agronomicznej gleby. Dawki tych składników zależą jednakże w największym stopniu od zasobności gleby w przyswajalne formy P i K (tab. 4).

Tabela 4. Dawki fosforu i potasu pod rzepak wg IUNG w Puławach [za 57]

Table 4. Phosphorus and potassium doses under rape [za 57]

KRP	KAG	Plon, Crop (t·ha ⁻¹)	Fosfor, Phosphorus (kg P ₂ O ₅)					Potas Potassium, (kg K ₂ O)				
			Zasobność gleby, Soil fertility									
			I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1	III	3,8	100	80	55	35	15	135	115	80	50	35
2	IV	3,6	100	80	55	35	14	135	115	85	55	35
3	III	3,4	100	80	55	35	14	140	115	80	55	35
4, 8, 10	III	3,6	105	85	60	40	15	110	120	85	60	35
5, 9, 11	II	2,8	85	65	45	30	11	105	95	70	45	40

KRP – kompleks rolniczej przydatności; KAG – kategoria agronomiczna gleby: I – bardzo lekkie, II – lekkie, III – średnie, IV – ciężkie; Zasobność gleby: I – bardzo niska, II – niska, III – średnia, IV – wysoka, V – bardzo wysoka.

KRP – agricultural suitability complex; KAG – soil agronomical category: I – very light, II – light, III – medium-heavy, IV – heavy; Soil fertility: I – very low, II – low, III – medium, IV – high, V – very high.

Z nawozów fosforowych korzystnie jest stosować superfosfat pojedynczy z dodatkiem boru, który obok fosforu zawiera również w swoim składzie wapń i siarkę. Z nawozów potasowych zasadniczą część dawki zaleca się wносить w formie wysokoprocentowej soli potasowej, ale około 1/3 ilości tego składnika można zastosować w postaci nawozów niskoprocentowych, zawierających w swoim składzie magnez, siarkę i mikroelementy.

Warto podkreślić, że fosfor zastosowany pod rzepak przyspiesza dojrzewanie roślin, co w efekcie powoduje skrócenie wegetacji umożliwiając wcześniejszy zbiór rzepaku. Odpowiednie zaopatrzenie roślin w fosfor wpływa na wykształcenie dorodnych nasion, charakteryzujących się wysoką jakością. Objawem niedoboru fosforu jest brudnozielone zabarwienie liści – plamistość chlorotyczna prowadząca do nekrozy. Następuje obumieranie części lub całych starszych liści. Wzrost roślin jest zahamowany, a kwitnienie opóźnione o 3-7 dni.

Nawożenie rzepaku potasem zwiększa jego wytrzymałość na niekorzystne warunki klimatyczne co łącznie z fosforem czyni rośliny odporniejszymi na wyleganie. Rola potasu jest także bardzo ważna z tego względu, że zwiększa on efektywność

nawożenia azotem. Wyraża się to zwiększeniem zawartości białka oraz zapobieżeniem obniżenia ilości tłuszczu w nasionach [156]. Przy niedoborach potasu liście rzepaku mają barwę ciemnozieloną, następnie występują na nich chlorotyczne, szybko powiększające się plamy z których powstają obumarłe powierzchnie o białawym zabarwieniu. Objawy te występują najpierw na liściach starszych. Młodsze liście są grubsze, kruche i drobne a pęd jest skrócony.

Przy uprawie rzepaku należy pamiętać o uwzględnieniu w dawce nawozowej magnezu i siarki. Duże prawdopodobieństwo wystąpienia deficytu tych składników występuje głównie na lżejszych glebach mineralnych [67,103]. Magnez stosuje się w całości przedsięwzięcie w ilości 30-50 kg $MgO \cdot ha^{-1}$ w formie kizerytu lub siarczanu magnezowego. Na glebach zakwaszonych składnik ten wprowadza się wraz z nawozami wapniowo-magnezowymi. Nawożenie rzepaku magnezem konieczne jest zwłaszcza na glebach o bardzo niskiej zasobności w ten pierwiastek. Brak magnezu objawia się jesienią czerwienieniem liści w czasie trwania niskiej temperatury. Wiosną liście rzepaku mają żółte zabarwienie i plamiste przejaśnienia przechodzące w brunatnoczerwone nekrotyczne plamy. Unerwienie liści pozostaje zielone, a brzegi są podwinięte.

Rzepak ozimy pobiera dużo siarki [87,88]. Składnik ten można zastosować w ilości 25-40 kg $S \cdot ha^{-1}$ w formie siarczanu amonu, siarczanu potasu lub w postaci nawozów wieloskładnikowych, takich jak Polimag S lub Amofoska NPKS.

Przez wiele lat w praktyce rolniczej nie występowała potrzeba nawożenia siarką nawet roślin o dużych wymaganiach w stosunku do tego składnika. Związane to było z tym, że duże ilości związków siarki były emitowane do atmosfery, z której następnie dostawały się one do gleby w postaci suchego względnie mokrego opadu. Zmniejszony dopływ siarki do atmosfery w ostatnich latach oraz mniejsze ilości tego pierwiastka wprowadzane z nawozami mineralnymi (NPK) spowodowało, że nawożenie siarką rzepaku w krajach europejskich stało się koniecznością.

Zwiększone zapotrzebowanie rzepaku w stosunku do siarki ma miejsce od początku formowania łodygi do początku zawiązywania łuszczyn. Właściwe zaopatrzenie rzepaku w siarkę korzystnie wpływa na procesy tworzenia białek i chlorofilu. Ponadto zwiększa zimotrwałość roślin, a także wydawnie poprawia wykorzystanie azotu z nawozów. Z badań Rotkiewicz i współautorów [123] wynika, że nawożenie siarką rzepaku ozimego jest korzystniejsze na początku okresu wegetacji, gdyż w mniejszym stopniu zwiększa zawartość szkodliwych dla zwierząt glukozynolanów. Objawem niedoboru siarki jest białawofioletowe zabarwienie młodych liści, częściowo zniekształconych. Międzynerwowe powierzchnie blaszek starszych liści rzepaku są wydłużone. Liście ulegają postępującemu od brzegów przebarwieniu. Początkowo są jaśniejsze, później jasno-żółte i brunatnożółte, nekrotyczne. Okolice wokół nerwów liściowych pozostają

zielone, liście są drobne, zwijają się łyżkowato i sprawiają wrażenie bardziej twardych i kruchych. Rośliny kwitną słabo, mają płatki kwiatów jasnożółte do białych, są wątłe, słabo rozgałęzione i wykształcają zdeformowane łuszczyzny z małą ilością drobnych nasion.

W nawożeniu rzepaku należy także uwzględniać mikroelementy, a zwłaszcza bor i mangan [46]. Niedostatek boru przyczynia się do jednej z poważniejszych chorób fizjologicznych rzepaku tzn. zahamowania tworzenia owoców. W efekcie niedobór tego mikroelementu może spowodować obniżenie plonu nasion nawet do 60-80%. Rzepak wykazuje kilkakrotnie wyższe potrzeby pokarmowe w stosunku do boru w porównaniu z roślinami zbożowymi. Roślina ta pobiera z plonem na obszarze 1 ha od 200 do 500 g tego składnika. Aby zaspokoić tak wysokie potrzeby pokarmowe na glebach o niskiej zawartości boru należy zastosować 1-3 kg B·ha⁻¹. Bor można wprowadzać z nawozami fosforowymi lub wieloskładnikowymi zawierającymi ten składnik. Można też zastosować go w formie boraksu, stosując ten nawóz dogłębowo w ilości 10-20 kg·ha⁻¹. Obecnie mikroelementy – w tym także bor – stosuje się najczęściej dolistnie. W przypadku boru w glebach o niskiej zasobności w ten pierwiastek zaleca się dwukrotny oprysk roztworem boraksu, zawierającym 0,5 kg B·ha⁻¹. Zabiegi przeprowadza się zwykle na początku zwiernia rzędów i w okresie pąkowania roślin. Przy niedoborach boru blaszki liściowe młodych liści rzepaku są pofałdowane, mają czerwonawofioletowe zabarwienie i podwinięte brzegi. Pojawia się zaburzenie wzrostu pędu, przedwczesne żółknięcie, zamieranie pąków kwiatowych. Roślina zawiązuje mniej łuszczyń, ma mniej nasion.

Na glebach o odczynie bliskim obojętnemu może zachodzić konieczność nawożenia manganem. Niedobór tego składnika wpływa na zmniejszenie zawartości tłuszczu w nasionach oraz obniża liczbę łuszczyń na roślinie. Objawem niedoboru manganu jest chlorotyczne przejaśnienie liści. Przy niskiej zasobności gleb w ten mikroelement, zaleca się stosowanie go dogłębowo w postaci siarczanu manganu względnie tlenku manganu. W formie siarczanu wprowadza się zwykle 10-20 kg Mn·ha⁻¹, a w postaci tlenku 20-50 kg Mn·ha⁻¹. Mangan można również zastosować dolistnie, wówczas jednokrotna dawka wynosi 0,5-1,0 kg Mn·ha⁻¹ w postaci roztworu MnSO₄ lub 0,1-0,2 kg Mn·ha⁻¹ w formie chelatu.

W przypadku nie stosowania nawozów organicznych mogą mieć miejsce niedobory także innych mikroelementów, takich jak miedź lub cynk. Objawem niedoboru miedzi są zniekształcenia najmłodszych liści rzepaku oraz obumieranie pąków kwiatowych na wierzchołku rośliny. Przy braku cynku na liściach występuje chlorotyczne przejaśnienie. Z badań Bobrzeckiej i Salamonika [3] wynika jednoznacznie, że nawożenie rzepaku miedzią wpływa bardzo korzystnie na plon nasion i na zawartość w nich tłuszczu. Autorzy cytowanych prac jednocześnie podkreślają, że korzystny wpływ miedzi na analizowane cechy

wystąpił przy dawkach 0,2 i 0,4 kg Cu·ha⁻¹. Zwiększenie nawożenia miedzią do poziomu 0,8 i 1,2 kg Cu·ha⁻¹ wiązało się już z istotnym spadkiem zarówno zawartości tłuszczu, jak i plonu nasion. Wyniki tych prac potwierdzają znaną prawidłowość, że optymalna dawka nawozowa w przypadku mikroelementów zawiera się w stosunkowo wąskim przedziale. Jej ustalenie winno być zatem precyzyjne i uwzględniać stan zasobności gleb w dany składnik oraz przewidywany plon.

2.4.3. Sposoby obniżenia kosztów nawożenia rzepaku ozimego

W 1991 roku koszty nawożenia mineralnego stanowiły aż około 44% całkowitych kosztów uprawy tej rośliny [96]. Z badań Jankowskiego i in. [61] wynika, że w 1997 roku koszty nawozów i nawożenia w stosunku do kosztów poniesionych na agrotechnikę rzepaku stanowiły 25%. W sezonie wegetacyjnym 2000/2001 w zależności od technologii udział kosztów nawozów i nawożenia w kosztach bezpośrednich wynosił 33-38% [156]. Przytoczone dane wyraźnie wskazują, że na ostateczną cenę nasion rzepaku znaczący wpływ mają koszty nawożenia. Stąd też w dalszej części pracy wskazano możliwości ich obniżenia.

2.4.4. Optymalizacja odczynu gleby

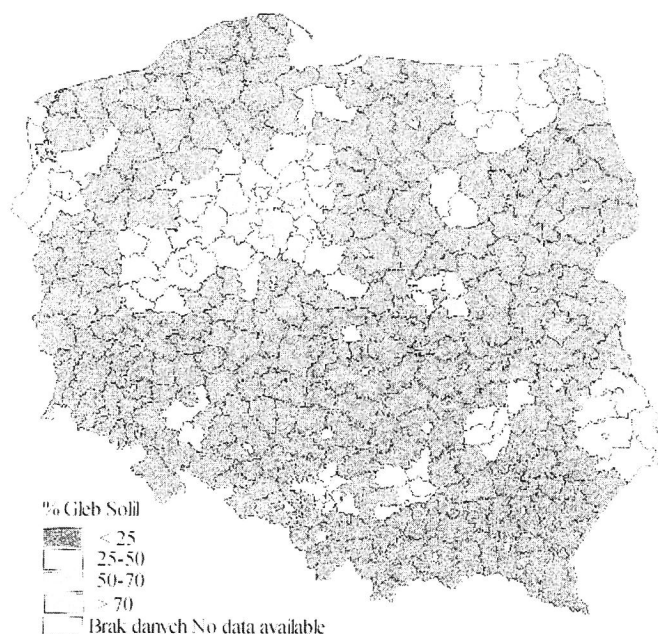
Podstawą stosowania racjonalnych dawek nawozów mineralnych pod rzepak ozimy oraz gwarancją odpowiedniej efektywności ich działania jest uregulowany odczyn gleby. Ze względu na to, że rzepak należy do roślin silnie reagujących na wapnowanie, pola przeznaczone pod uprawę tej rośliny powinny być regularnie poddawane temu zabiegowi. Okresowe wapnowanie pól poprawia właściwości fizyczne, chemiczne, biologiczne i fitosanitarne gleby. Rzekpak udaje się najlepiej na glebach o odczynie zbliżonym do obojętnego (pH 6-7) [37,161].

Na glebach kwaśnych o niskiej zasobności w przyswajalny magnez najkorzystniej jest stosować nawozy wapniowo-magnezowe. Na gleby ciężkie bardziej nadaje się wapno magnezowe tlenkowe (CaO+MgO), a na lżejsze wapno węglanowe magnezowe (CaCO₃·MgCO₃). Z tego względu, że rzepak jest rośliną o bardzo wysokim zapotrzebowaniu na siarkę, korzystnie jest stosować odpadowe wapno poflotacyjne zawierające około 40% CaO w formie węglanowej i do 1,5% siarki [32,161]. Nie bez znaczenia jest fakt, że wapno to na ogół jest udostępniane rolnikom bezpłatnie. Nawozy wapniowe najlepiej jest wnieść pod przedplon, gdyż ich działanie odkwaszające jest największe w drugim roku po zastosowaniu (tab. 5).

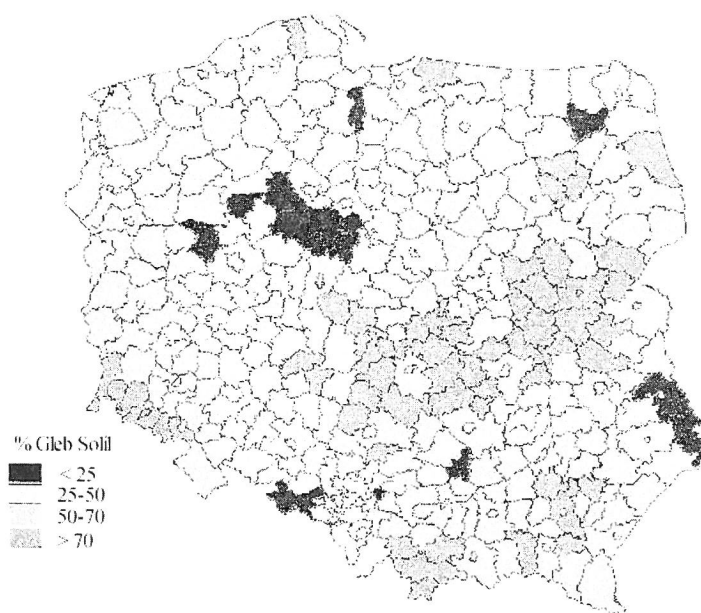
Tabela 5. Całkowite zapotrzebowanie na nawozy wapniowe dla obszaru Polski w mln ton CaO [37]
Table 5. Total demand for limestone in Poland in mln ton CaO [37]

Przedział odczynu pH range	Kategoria agronomiczna Agronomical category				Razem Total
	I	II	III	IV	
B. kwaśne Very acidic	4,86	4,02	2,29	1,32	12,49
Kwaśne Acidic	2,54	3,72	3,06	2,16	11,48
Lekko kwaśne Slightly acidic	0,94	1,84	1,56	0,98	5,24
Obojętne i zasadowe Neutral and alkaline	0,00	0,00	0,00	0,31	0,31
Razem Total	8,34	9,58	6,91	4,77	29,5

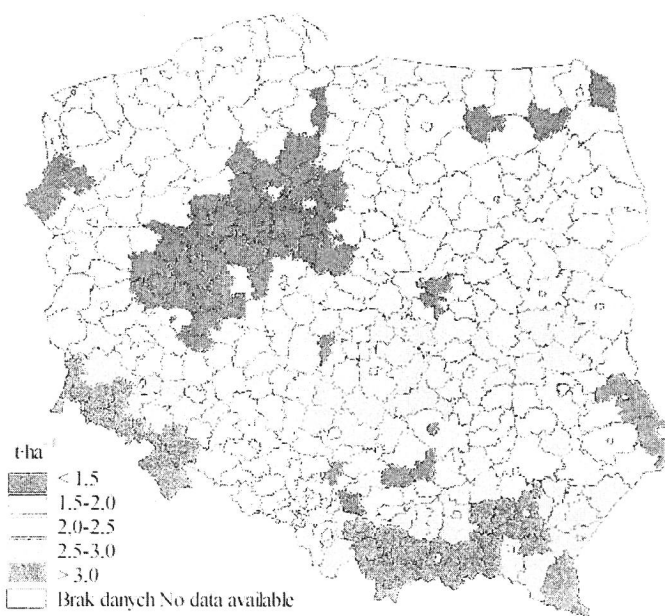
Kategoria agronomiczna gleby: I – bardzo lekkie, II – lekkie, III – średnie, IV – ciężkie.
 Agronomical category: I – very light, II – light, III – medium-heavy, IV – heavy.



Rys. 2. Rozmieszczenie gleb obojętnych i alkalicznych ($\text{pH} > 6,5$) w Polsce
Fig. 2. Distribution of neutral and alkaline soils ($\text{pH} > 6.5$) in Poland



Rys. 3. Rozmieszczenie gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych (pH do 5,5) w Polsce
Fig. 3. Distribution of very acid and acid (pH up to 5.5) soils in Poland



Rys. 4. Zapotrzebowanie na nawozy wapniowe w Polsce (t CaO·ha⁻¹)
Fig. 4. The demand for limestone in Poland (t CaO·ha⁻¹)

Efektywność wapnowania zależy w dużym stopniu od wyjściowego pH gleby. Na glebach o odczynie bardzo kwaśnym rzepak na ten zabieg reaguje kilkudziesięcioprocentową wyższą ploną nasion. W przypadku odczynu lekko kwaśnego zwiększa ta nadal jest znacząca i wynosi od 10 do 20% [37].

2.4.5. Nawożenie organiczne

Rzepak ozimy korzystnie reaguje na nawożenie obornikiem. Stosowanie tego nawozu bezpośrednio pod rzepak jest jednakże utrudnione. Wynika to z tego, że zabieg ten opóźnia siew roślin. Jeżeli nie ma możliwości przeorania obornika na 2-4 tygodnie przed siewem rzepaku można nawóz ten wnieść pod przedplon. Obornik w zależności od kategorii agronomicznej gleby stosuje się w ilości 20-40 t·ha⁻¹ [156].

Obornik w swoim składzie obok podstawowych składników pokarmowych (NPK) zawiera także magnez, wapń, siarkę i sód oraz wszystkie niezbędne mikroelementy. Nie bez znaczenia jest fakt, że nawóz ten oddziałuje bardzo korzystnie na szereg właściwości gleby, co w efekcie poprawia wzrost i rozwój rzepaku. Uwzględniając rytm pobierania składników przez rzepak z obornika można przy systematycznym stosowaniu tego nawozu obniżyć coroczne dawki nawozów mineralnych o 25-30%.

Pod rzepak można również stosować gnojowicę. Zabieg ten można wykonać tak przed siewem, jak i w trakcie wegetacji. Dawki gnojowicy należy dostosować do aktualnych potrzeb roślin. Całkowita dawka tego nawozu nie powinna przekroczyć 60 m³·ha⁻¹. Koszty dostarczenia roślinom składników pokarmowych zawartych w oborniku względnie gnojowicy są kilkakrotnie niższe od składników pobranych w postaci nawozów mineralnych. Stąd też umiejętne łączenie nawożenia organicznego z mineralnym wpływa istotnie na zmniejszenie udziału kosztów nawożenia rzepaku w całkowitych kosztach uprawy tej rośliny.

2.5. Maksymalizacja plonu

W optymalnych warunkach glebowo-klimatycznych, można uzyskać plony nasion rzepaku ozimego na poziomie około 9 t·ha⁻¹. Warunki glebowo-klimatyczne panujące w naszym kraju pozwalają na otrzymanie plonu w granicach 1,9-4,0 t·ha⁻¹, jednakże rolnicy uzyskują tylko 1,6-2,5 t·ha⁻¹ [46]. W efekcie od dłuższego czasu średni plon nasion rzepaku w Polsce kształtuje się na poziomie 2 t·ha⁻¹, co jest granicą opłacalności uprawy tej rośliny (tab. 6).

Osiągany plon rzepaku w warunkach produkcyjnych stanowi około 50% plonu możliwego do osiągnięcia w warunkach naszego kraju i tylko niecałe 25% w stosunku do plonu biologicznie potencjalnego.

Tabela 6. Niektóre dane dotyczące bilansu rzepaku w latach gospodarczych w tys. ton [115]
Table 6. Some data concerning rape balance in the economic years in thousands of tons [115]

Wyszczególnienie Specification	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01
Areal uprawy (tys. ha) Cropping area	500	468	417	348	370	606	283	317	466	545	430
Plony ($t \cdot ha^{-1}$) Crops	2,41	2,23	1,82	1,71	2,04	2,27	1,59	1,87	2,36	2,08	2,00
Zbiory Harvest	1206	1043	758	594	756	1377	449	595	1099	1132	850
Import Import	0	3	23	17	5	1	374	126	14	30	30
Zasoby ogółem Total resources	1411	1188	842	664	824	1437	905	811	1141	1250	918
Zużycie krajowe Home expenditure	600	571	579	568	756	944	815	783	959	885	905
Eksport Export	669	556	210	33	9	411	0	0	94	327	0
Zużycie ogółem Total expenditure	1269	1127	789	601	765	1355	815	783	1053	1276	905
Cena ($PLN \cdot t^{-1}$) Price	127,3	145,2	240,0	358,6	621,9	563,8	859,5	868,5	895,1	670,0	790,0

Przyczyna uzyskiwania tak niskich plonów rzepaku tkwi w popełnianych błędach agrotechnicznych. Zakłócenie wzrostu roślin występuje już na ogół we wczesnych fazach rozwojowych rzepaku, kiedy to trzeba mu zapewnić wszystkie składniki (N, K, P, Mg, S, mikroelementy) i kompleksową ochronę chemiczną [161]. Maksymalizacja plonu wymaga lokalnych strategii nawożenia, najczęściej odmiennych w poszczególnych gospodarstwach, a nawet polach. W dłuższej perspektywie czasowej bardzo ważnym elementem jest zapewnienie odpowiedniego zmianowania.

W Polsce rolnicy dobrze uświadamiają sobie działanie plonotwórcze azotu, lecz jednocześnie zapominają o tym, że przetworzenie tego składnika w białko zależy od optymalnego odżywienia rzepaku pozostałymi składnikami. Stąd można wnioskować, że poprawienie stanu zasobności gleb w potas podniesie plon nasion tej rośliny do $3,0 t \cdot ha^{-1}$, a dopiero w następnym etapie odżywienie jej magnezem i siarką pozwoli uzyskać $3,5-4,0 t \cdot ha^{-1}$. Od kilkunastu lat szczególnej uwagi wymaga nawożenie siarką [67]. Wynika to z tego, że przy uprawie tak wymagających roślin w stosunku do tego składnika, jak rzepak jej bilans w glebach jest zwykle ujemny (tab. 7).

Tabela 7. Uproszczony bilans siarki w glebach Polski (lata 90.) [67]**Table 7.** Simplified sulphur balance in Polish soils (the 90-ties) [67]

Czynniki bilansowe Balance factors	kg S·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹ kg S·ha ⁻¹ ·year ⁻¹
Atmosfera Atmosphere	23
Nawozy mineralne Mineral fertilizers	10
Nawozy organiczne Organic fertilizers	6
Resztki poźniwne Crop residue	3-7
Wynos z plonem Removal with crop	10-30 (-)
Wymycie Washout	25-50 (-)
Ogółem Total	7(+)-34(-)

Plony na poziomie 4,5-5,0 t·ha⁻¹, stanowiące około 50% maksymalnego plonu biologicznego można osiągnąć dopiero przy zastosowaniu pełnego, zbilansowanego odżywienia roślin. Należy zaznaczyć, że pełne zbilansowane nawożenie, połączone z kompleksową ochroną roślin wymaga wyższych nakładów. Nakłady te stanowią tylko niewielką część kwoty, którą rolnik uzyska za sprzedaż nasion wynikających ze wzrostu plonów. W efekcie koszty jednostkowe produkcji nasion rzepaku będą istotnie niższe.

2.6. Dolomitowane osady ściekowe jako źródło składników pokarmowych

Osady ściekowe powstają przy oczyszczalniach ścieków. Są one źródłem wielu składników pokarmowych i substancji organicznej [32,86]. Odwodnione mają konsystencję obornika i mogą być stosowane w podobnych ilościach. Największym ich mankamentem jest to, że są one pokaźnym źródłem metali ciężkich [86]. Biodostępność tych metali można znacząco obniżyć poprzez ich dolomitowanie. Proces ten polega na wymieszaniu osadu z wapnem dolomitowym w odpowiedniej proporcji (20% dolomit, 80% osad). Po 6-miesięcznej stabilizacji osad nie zawiera już form rozwojowych pasożytów, a ilości w nim ruchomych form niektórych metali ciężkich są nawet 2-3-krotnie niższe [56]. Jak wynika z tabeli 8 z dawką 30 t osadu wnosi się około 387 kg azotu, 63 kg fosforu, 27 kg potasu, 390 kg wapnia i 54 kg magnezu.

Tabela 8. Skład chemiczny osadów ściekowych z 29 oczyszczalni ścieków komunalnych w kraju na tle składu obornika [86]

Table 8. Chemical content of sewage sludge sediments from 29 communal sewage treatment plants in Poland against manure content [86]

Składnik Element	% świeżej masy (zawartości średnie) % of fresh mass (average contents)		Ilość składników w kg wprowadzona z 30 t Number of elements in kg introduced from 30 t	
	Osady ściekowe Sewage sludge sediments	Obornik Manure	Osadu of Sediment	Obornika of Manure
Azot (N) Nitrogen	1,29	0,50	387	150
Fosfor (P ₂ O ₅) Phosphorus	0,21	0,30	63	90
Potas (K ₂ O) Potassium	0,09	0,70	27	210
Wapń (CaO) Calcium	1,30	0,50	390	150
Magnez (MgO) Magnesium	0,18	0,20	54	60
Sód (Na ₂ O) Sodium	0,04	–	12	–
Subst. organ. Organic substance	16,8	21	5040	6300

Należy w tym miejscu podkreślić, że rzepak wykorzystuje stosunkowo dobrze składniki pokarmowe z nawozów organicznych. Znacznie węższy stosunek C:N w osadach niż w oborniku wiąże się z faktem, że składniki z tych osadów szybciej ulegają mineralizacji i tym samym w stosunkowo krótkim czasie stają się dostępne dla roślin. Można założyć, że zastosowanie osadów w ilości 30 t·ha⁻¹ pozwoli, na obniżenie co najmniej 50-procentowe ilości azotu, fosforu i magnezu wprowadzanych w nawozach mineralnych.

Nie bez znaczenia jest fakt, że oczyszczalnie ścieków chcąc pozbyć się osadów w miejscu ich wytwarzania, oddają je osobom zainteresowanym bezpłatnie. Nierzadko w dużej części partycypują one w kosztach transportu.

2.6.1. Dolistne dokarmianie rzepaku ozimego

Rzepak ozimy można dokarmiać dolistnie kilkakrotnie w okresie od rozpoczęcia wiosennej wegetacji do fazy zielonego pąka. Jest to okres intensywnego pobierania składników pokarmowych oraz największej dynamiki wzrostu roślin rzepaku.

Dolistne dokarmianie rzepaku opłaca się stosować tylko w warunkach przewidywania wysokich i bardzo wysokich plonów [141]. Najlepsze efekty

uzyskuje się stosując roztwory mocznika z siarczanem magnezu i mikroelementami. W warunkach właściwej agrotechniki i optymalnego odczynu gleb efektywność dolistnego dokarmiania jest znacznie wyższa, niż przy nawożeniu doglebowym. W przypadku makroelementów efekt jest odpowiednio wyższy 1,5-3-krotnie, a w przypadku mikroskładników aż 10-15-krotnie [156].

Tabela 9. Nawozy do dolistnego dokarmiania roślin rzepaku [156]

Table 9. Foliar fertilizers of winter oilseed rape [156]

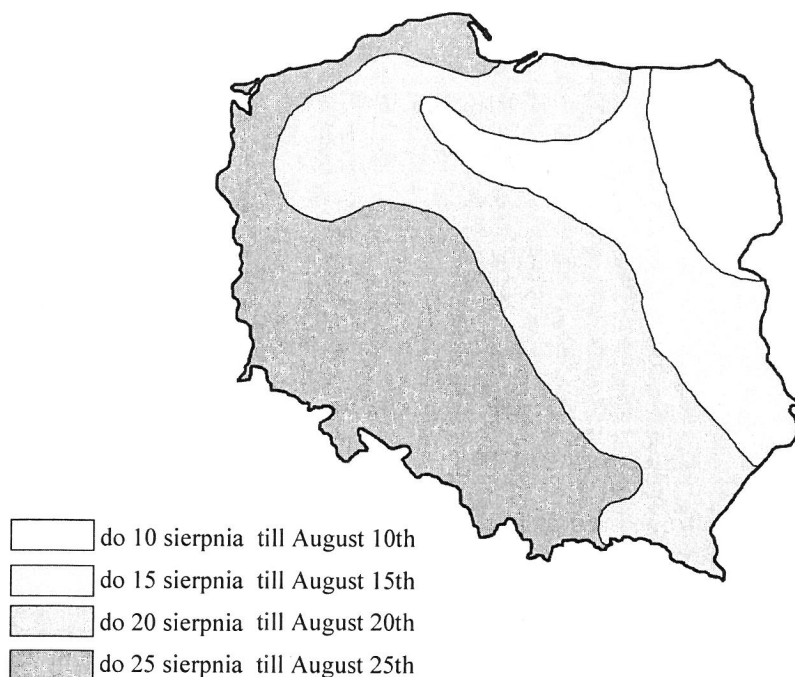
Nawóz Fertilizer	Stężenie roztworu Concentration of solution %	Liczba opryskiwań Number of sprays	Całkowita dawka nawozu w sezonie wegetacyjnym Total fertilizer rate during vegetation season (kg·ha ⁻¹) lub (dm ³ ·ha ⁻¹)
Agrosol R	0,5-1	1-2	1,5-3
Basofoliar 12-4-6	2-4	1-2	6-12
Basofoliar 36 Extra	2-4	1-2	6-12
Boraks Borax	0,2-0,4	1-2	0,5-1
Insol 5	0,5-1	1-2	1,5-3
Kwas borny Boric acid	0,1-0,2	1-2	0,3-0,5
Mocznik Urea	5-15	2-3	20-80
Siarczan magnezu Magnesium sulphate	2-4	2	5-12
Siarczan sodu Sodium sulphate	2-4	2	5-12
Solubor DF	0,3-0,6	1-2	1-2

Przeprowadzone badania [125] wykazały, że dolistne dokarmianie N wpływa pozytywnie na cechy wytrzymałościowe łuszczyń oraz zmniejsza ich skłonność do pęknięcia i osypywania nasion.

2.7. Techniki i technologie siewu

Rzepak należy do roślin wysoce wrażliwych na termin siewu, dlatego też należy pamiętać o właściwym terminie ściśle dostosowanym do rejonu. Siew spóźniony o 10-14 dni w stosunku do terminu optymalnego, może spowodować obniżenie plonu do 10%. Każdy dzień opóźnienia siewu powoduje obniżkę plonu średnio o 15-50 kg·ha⁻¹. Zbyt wcześnie zasiany rzepak może w sprzyjających dla niego warunkach, tj. cieplej i wilgotnej jesieni, wybuchać (wybujaniem nazywamy wydłużenie łodygi przy jednoczesnym utworzeniu dużej masy liści), a nawet zakwitnąć. Z drugiej strony, rzepak wysiany zbyt późno, nie zdąży wytworzyć odpowiedniego korzenia palowego przed zahamowaniem wegetacji,

w wyniku czego powstanie roślina słaba, mało odporna na warunki zimowania i dająca niski plon. Siewy rzepaku najwcześniej (do 10 sierpnia) należy zakończyć w woj. podlaskim i na wschodnich krańcach woj. warmińsko-mazurskiego. Idąc w kierunku Polski południowo-zachodniej termin siewu rzepaku jest coraz późniejszy. W południowo-zachodniej części kraju siewy rzepaku powinny być zakończone do 25 sierpnia (rys. 5). Bardzo istotne jest również właściwe przygotowanie materiału siewnego, ponieważ dobrej jakości nasiona mają ogromny wpływ na jakość i wysokość plonów. Najtańszym i najłatwiejszym sposobem ochrony roślin przed szkodnikami i chorobami we wczesnej fazie jego rozwoju jest zaprawianie nasion.



Rys. 5. Terminy zakończenia siewu rzepaku w różnych regionach Polski [158]

Fig. 5. Rape sowing periods ends in different regions of Poland [158]

W ostatnich latach coraz częściej przeprowadzane są próby uszlachetniania materiału siewnego przy pomocy biostymulacji nasion. Przedsiewne naświetlanie nasion światłem generatora, przyczynia się do lepszego wzrostu i rozwoju roślin, wzrostu plonu i poprawy jakości nasion [29,53,75,96,158].

Optymalna liczba roślin na 1 m² (pożądana liczba siewek) powinna wynosić [157]:

- 60-80 roślin w przeciętnych warunkach glebowo-klimatycznych,
- 50-60 w bardzo dobrych warunkach glebowo-klimatycznych,
- 90-120 na stanowiskach słabych.

Ilość wysiewu nasion można obliczyć ze wzoru [156]:

$$\text{Wysiew} = \frac{\text{PLS} \times 10\,000 \times \text{MTN (g)}}{\text{ZK} \times \text{Cz} \times \text{PZW}} \quad [\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

- PLS – pożądana liczba siewek na 1 m² – określana na podstawie stanowiska, jakości i zasobności gleby,
- MTN – masa 1000 nasion odczytana z etykiety dołączonej do materiału siewnego (g),
- ZK – zdolność kiełkowania (%) – odczytana z etykiety dołączonej do materiału siewnego,
- Cz – czystość nasion (%) odczytana z etykiety dołączonej do materiału siewnego,
- PZW – polowa zdolność wschodów (%).

Polowa zdolność wschodów jest to oczekiwana ilość siewek, którą określamy na podstawie wilgotności gleby, odpowiedniego przygotowania roli, przewidywanego przebiegu pogody (ilości opadów deszczu). Przy korzystnych warunkach podczas siewu na glebach lżejszych, można liczyć przynajmniej na 90% ilość wschodów, natomiast na zwięzłych glebach ilastych na 80%. Słabych wschodów (70%) należy oczekiwać na glebach zbyt mokrych i bardzo zbrylonych. Na polach o dużej zmienności glebowej wschody będą nierównomierne. Tam ilość wysiewu należy zwiększyć o 30%, w stosunku do optymalnej [166].

O jakości wschodów decyduje również głębokość umieszczenia nasion w glebie. Drobne nasiona rzepaku wymagają idealnie poprawionej gleby. Optymalna głębokość siewu powinna wynosić od 2 do maksymalnie 3,5 cm (maksymalną głębokość stosować na glebach lekkich i przesuszonych).

2.8. Chemiczna i mechaniczna ochrona roślin

Ochrona przed chwastami

Wśród głównych gatunków roślin uprawianych rolniczo, rzepak wykazuje największą ujemną reakcję na zachwaszczenie. Wielkość strat w plonach, będących wynikiem zaniechania walki z chwastami, może wahać się w szerokich

granicach i mogą dochodzić nawet do 40% w stosunku do plantacji z pełną ochroną chemiczną. Według Budzyńskiego i współ. [12] szczególnie groźne jest zachwaszczenie jednym gatunkiem chwastu, który skutecznie konkurując z rośliną uprawną powoduje znaczny spadek plonu. Natomiast przy występowaniu wielu gatunków zachodzi zjawisko konkurencji nie tylko między rośliną uprawną a chwastami, lecz również między poszczególnymi gatunkami chwastów.

Zachwaszczenie plantacji ujemnie wpływa również na proces zbioru roślin. Szczególnie groźna jest przytulia i rumiany. Powodują one gorszą pracę dziobowego rozdzielacza biernego w kombajnie i często konieczne jest użycie rozdzielacza aktywnego, który skutecznie i bez strat oddziela skoszony pokos od reszty ładu. Rumiany natomiast zasklepiają otwory sit czyszczących oraz powodują wtórne nawilżenie masy nasion (wilgotność chwastów jest wielokrotnie większa niż wilgotność zbieranych nasion), co wpływa na wzrost kosztów związanych z dosuszaniem.

Oprócz chemicznej walki z chwastami można na plantacjach rzepaku zastosować również pielęgnację mechaniczną. Zabiegi te są możliwe pod warunkiem, że wystarczająca jest szerokość międzyrzędzi. Skuteczność mechanicznej walki z chwastami przy odpowiedniej wilgotności gleby jest wysoka, lecz jej pracochłonność jest znacznie wyższa niż w przypadku walki chemicznej.

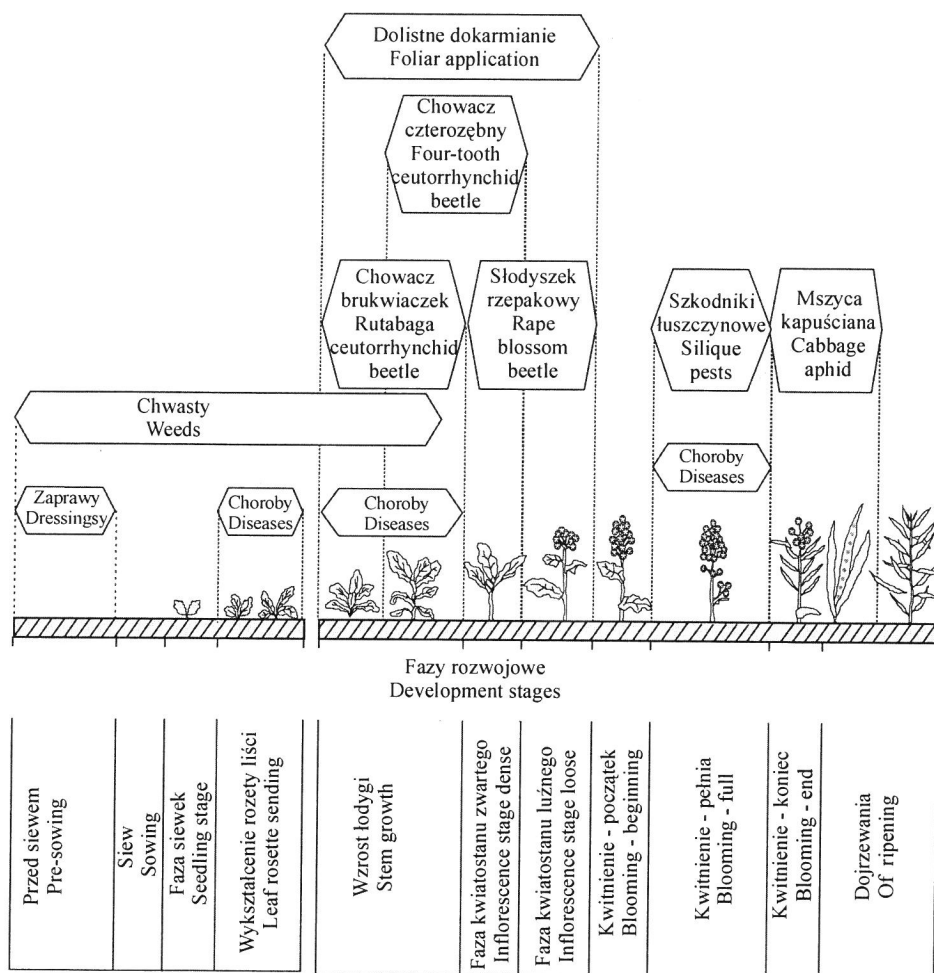
Ochrona przed chorobami i szkodnikami

Nasilenie występowania chorób jest różne w różnych regionach Polski oraz uzależnione w dużym stopniu od wilgotności powietrza, ilości i rozkładu opadów, przebiegu pogody. Lata ciepłe i wilgotne sprzyjają rozwojowi chorób grzybowych. Do najgroźniejszych chorób rzepaku należą: czerń rzepakowa, sucha zgnilizna kapustnych, zgnilizna twardzikowa, szara pleśń i biała plamistość liści, zwana cylindrosporiozą. Choroby mogą powodować np. przedwczesne dojrzewanie i zamieranie roślin, przedwczesne pęknięcie łuszczyń i osypywanie się nasion, a także utrudnioną asymilację. Straty związane z występowaniem chorób wahają się w szerokich granicach zależnie od rodzaju grzyba. Powodują obniżenie plonu o 30-40%, a przy dużym nasileniu występowania patogenów, wartości te mogą osiągać nawet 70-80% [124]. Plantacje ze skłonnością do wylegania powodują powstawanie specyficznego mikroklimatu, korzystnego dla rozwoju szkodliwych grzybów, dlatego zaleca się w takich przypadkach wraz z fungicydami zastosować regulatory wzrostu [66,107,124, 140].

Istnieje kilka sposobów profilaktyki i zwalczania patogenów w celu zapewnienia roślinom optymalnego rozwoju [12,75,158]:

- stosowanie około 3-4 letniej przerwy w uprawie rzepaku na tym samym polu,

- zaniechanie niektórych zabiegów pielęgnacyjnych w latach o większym nasileniu chorób w celu uniknięcia zakażenia,
- wprowadzenie do uprawy odmian odporniejszych na choroby,
- zastosowanie ochrony chemicznej.



Rys. 6. Schemat terminów występowania największych zagrożeń dla rzepaku ze strony chorób i szkodników [158]

Fig. 6. Occurrence periods chart for the worst rape diseases and pests [158]

Znaczne straty powodowane są przez szkodliwe owady. Obniżki plonów przez nie powodowane wynoszą średnio 15-50%. Jest to na tyle niebagatelne zagrożenie

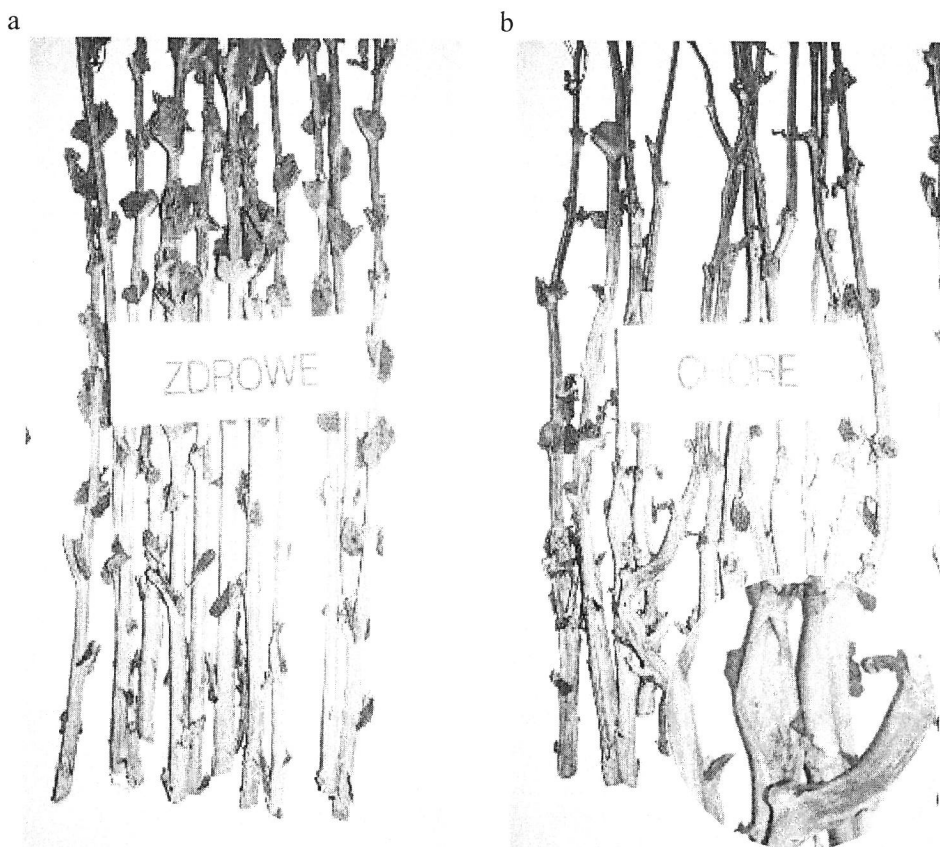
opłacalności plonowania, że wymaga stałej kontroli plantacji. W przypadku podejrzenia, że przekroczony został próg szkodliwości, należy niezwłocznie wykonać określone zabiegi. Największe szkody powodują: gnatarz rzepakowy, chowacze, słodyszek rzepakowy, pryszczarek kapustnik oraz mszyca kapuściana. Zależnie od regionu Polski szkodniki te występują w różnym nasileniu oraz wykazują dużą zmienność w poszczególnych sezonach. Ich zwalczanie polega na wykonaniu 2-3 zabiegów insektobójczych [75].

Znaczne szkody powodowane są także przez chowacze [102,107], których larwy mogą uszkadzać nie tylko łuszczyny lecz także łodygi powodując przedwczesne dojrzewanie porażonych roślin (rys. 7). Uzyskane z nich nasiona są małe, brązowe i osypują się przed osiągnięciem przez łan właściwej fazy dojrzałości. Powstałe w ten sposób straty w plonie mogą sięgać do kilku procent. Potwierdzają to badania Kelm [69].

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że łuszczyny roślin porażonych przez chowacze łodygowe są o 20-30% bardziej podatne na pękanie w porównaniu do roślin zdrowych. Również sztywność łodyg, szczególnie w ich dolnej strefie ulega zmniejszeniu o ponad 40% [151].

Rośliny porażone znacznie wcześniej osiągały pełną dojrzałość (średnio o ok. 3-4 dni), ponadto posiadały mniejszą ilość wykształconych łuszczyń, a także znacznie obniżone wartości parametrów odpowiedzialnych za plonowanie np. masę 1000 nasion. MTN obliczona dla roślin zdrowych różniła się w porównaniu do roślin chorych o 1,27 g. Przyjmując, że na jednej plantacji wszystkie rośliny są porażone, a na drugiej tylko zdrowe to różnica w plonie wyniesie $1,27 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wynika stąd, że są to bardzo znaczące wielkości, które mogą zadecydować o opłacalności produkcji. Ponieważ porażonych roślin w łanie stwierdzono około 20% oznacza to, że o około 0,25 t zmalał uzyskany plon. Nie wzięto przy tym pod uwagę zdecydowanie łatwiejszego osypywania się nasion roślin porażonych w czasie dojrzewania oraz podczas zbioru (agresywna praca zespołu żniwnego – listwa tnąca, nagarniacz i rozdzielacz). W efekcie plon pochodzący z roślin porażonych może ulec zmniejszeniu o ponad 35%. Zostało to potwierdzone w badaniach wykonanych przez Kelm [69].

Znaczne szkody, przy cieplej i wilgotnej pogodzie, wyrządzają również ślimaki występujące w południowo-zachodniej części kraju. Największe spustoszenie powodują po siewie i w okresie wschodów. Jeden ślimak pomrowik plamisty w warunkach laboratoryjnych niszczył w ciągu 13 dni żerowania 10 siewek rzepaku (powodując 95% ich uszkodzenia). Oprócz zabiegów uprawowych populację ślimaków ograniczają: wykaszanie miedzi i rowów, osuszanie zbyt wilgotnych pól, wapnowanie gleb, zbieranie słomy, kamieni. Intensywna walka ze szkodnikami jest tym istotniejsza, że koszty jej stosowania stanowią zaledwie 5,2% całości kosztów bezpośrednich poniesionych na produkcję rzepaku [75,77,96].



Rys. 7. Rośliny rzepaku: a – bez uszkodzeń, b – z wyraźnymi deformacjami łodyg powodowanymi przez chowacze lodygowe

Fig. 7. Rape plants: a – unaffected, b – with clear stalk deformations caused by cabbage curculio

Terminy wykonywania zabiegów związanych z ochroną roślin przed chorobami i szkodnikami oraz zabiegów chwastobójczych, w większości przypadków są bardzo podobne. Przestrzeganie łącznego ich stosowania pozwala często ograniczyć ilość środków, ze względu na wzajemne uzupełnianie się komponentów mieszanin.

3. TECHNOLOGIA ZBIORU RZEPAKU

Rzepak jest rośliną, która stwarza szereg trudności podczas mechanicznego zbioru. Wynika to z szybkiej zmiany dojrzałości łanu pod koniec procesu dojrzewania. Rośliny rzepaku w ciągu zaledwie kilku godzin, przy słonecznej pogodzie,

są w stanie zmienić diametralnie właściwości mechaniczne swoich owoców. Przyczyną jest duża utrata wody spowodowana dojrzewaniem łuszczyń, co wpływa na wzrost skłonności do ich pęknięcia i osypywania nasion.

Końcowy okres dojrzewania, to także gwałtowne zmiany zachodzące w nasionach. Nasiona wprawdzie zakończyły już „nalewanie nasion olejem”, który to proces zdaniem Bartkowiak-Brody i Krzymańskiego [1] zakończył się w 40 dniu po kwitnieniu, ale MTN nasion wzrastała nawet do 70 dnia po kwitnieniu. W nasionach następuje również spadek zawartości wody oraz spadek zawartości chlorofilu. Nasiona uzyskują również niezbędną wytrzymałość, która będzie decydować o ich zachowaniu w czasie obróbki pozbiorowej, a szczególnie w czasie składowania.

Przebieg wilgotności łuszczyń i nasion w okresie od wczesnej dojrzałości technicznej do opóźnionej dojrzałości pełnej, przedstawiono na rysunku 8. Nad linią opisującą wilgotność łuszczyń podano ilości samoosypanych nasion ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), które zostały stwierdzone podczas dojrzewania łanu. Zaznaczono również moment, w którym powinno nastąpić zakończenie pokosowania oraz moment rozpoczęcia zbioru jednoetapowego.

Analizując przebieg wilgotności należy stwierdzić, że najsilniejszym zmianom ulegały łuszczyń. Zmiany wilgotności istotnie wpływały na wzrost skłonności do pęknięcia łuszczyń i osypywanie nasion. Takie zachowanie roślin w końcowej fazie dojrzewania oraz w czasie zbioru jest przyczyną znacznych strat nasion, które w niektórych przypadkach wynoszą nawet 25-30% biologicznego plonu. Tak znaczne straty nasion stawiają pod znakiem zapytania opłacalność produkcji tej rośliny. Dotyczy to nie tylko końcowej fazy dojrzewania roślin, chociaż ten okres jest prawdopodobnie najważniejszy.

Jak wynika z wieloletnich badań [151] długość okresu wegetacji wpływa na cechy wytrzymałościowe łuszczyń. Lata o długim okresie wegetacji charakteryzują się znacznie wyższymi wartościami parametrów wytrzymałościowych łuszczyń. Niesprzyjający przebieg pogody ujemnie oddziałuje na warunki pracy maszyn zbierających, co odbija się wzrostem ilości o sypanych nasion [145]. Stąd wyższe straty, pomimo dostosowania poszczególnych podzespołów kombajnu do warunków zbioru. Rzepak posiada bardzo delikatne owoce, szczególnie pod koniec dojrzewania i wtedy w bardzo znacznym stopniu narażony jest na wszelkie gwałtowne zmiany pogody [151]. Również częste deszcze występujące na przemian z pogodą słoneczną bardzo osłabiają wytrzymałość łuszczyń. Stwierdzono, że straty wywołane pracą kombajnu były kilka razy większe w porównaniu do kombinacji kontrolnej. Również wielokrotne nawilżanie i suszenie łuszczyń przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych powodowały znaczny spadek ich wytrzymałości w porównaniu do łuszczyń nie poddanych temu zabiegowi [151].

Przeprowadzone badania, których celem było określenie wielkości samoosypywania nasion różnych odmian, wskazują na istotny wpływ warunków klimatycznych na skłonność łuszczyń do pęknięcia i osypywania nasion. Wzrost i rozwój roślin, przy bardzo zróżnicowanych rozkładach opadów i temperatur powietrza w kolejnych latach, powodował w wielu przypadkach większą zmienność właściwości mechanicznych łuszczyń niż cechy odmianowe. Takie diametralne różnice zanotowano w dwu kolejnych latach 1990 i 1991 (tab. 10).

Tabela 10. Porównanie cech wytrzymałościowych łuszczyń ze stratami nasion odmiany Ceres w latach 1990-1991 [151]

Table 10. Comparison of silique endurance features with seeds losses in Ceres cultivar in the years 1990-1991 [151]

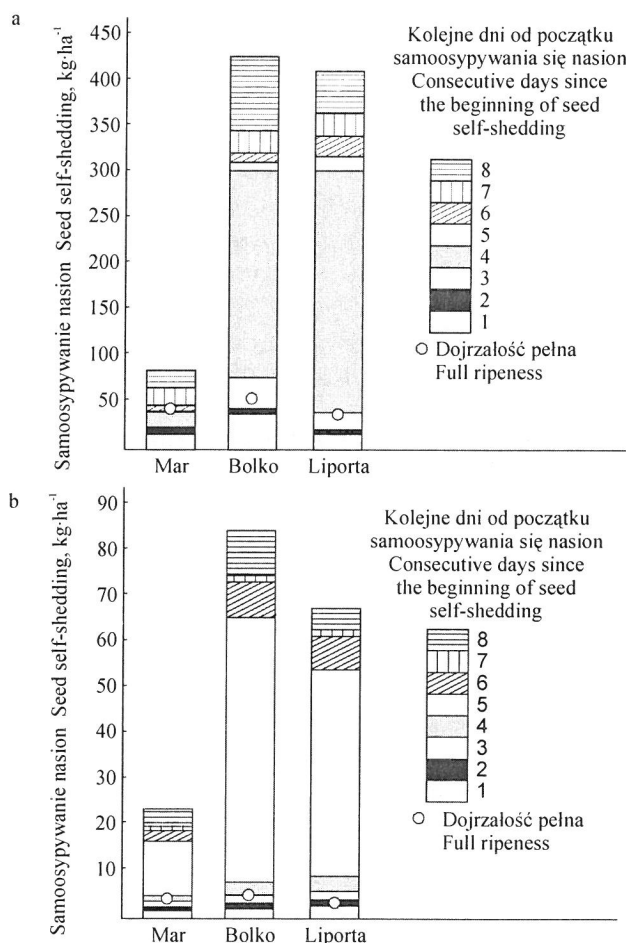
Rok badań Year of research	Wytrzymałość łuszczyń Silique endurance (mJ)	Samoosypywanie nasion w łanie Self-shedding of seeds in a field (%)	Straty nasion przy zbiorze (%) Seed losses at cropping	
			Termin badań Research time	
			Optymalny Optimum	Opóźniony Delayed
1990	4,75	7,3	13,3	68,0
1991	6,01	1,0	4,9	6,5

Zestawione wartości, dają obraz zależności jakie występują pomiędzy wytrzymałością łuszczyń, a rzeczywistymi ubytkami nasion podczas całego okresu dojrzewania i zbioru. Spadek wytrzymałości łuszczyń o ok. 20% w roku 1990 w stosunku do roku 1991 spowodował aż siedmiokrotny wzrost samoosypywania nasion (z 1% w 1991 r. do 7,3% w 1990 r.). Natomiast straty nasion jakie stwierdzono podczas mechanicznego zbioru wzrosły w terminie optymalnym trzykrotnie (z 4,9 do 13,3%), natomiast w terminie opóźnionym, aż o dziesięciokrotnie (z 6,5% w roku 1991 do aż 68% w 1990 r.).

Wynika z tego, że w czasie zbioru opóźnionego w 1990 r. ponad połowa potencjalnego plonu osypała się bez możliwości jego odzyskania. Współzależności pomiędzy parametrami wytrzymałościowymi łuszczyń, a występującymi stratami nasion ujawniają się dopiero przy zaistnieniu warunków brzegowych jakie zostały stworzone przez warunki klimatyczne. Były one przyczyną nałożenia się szeregu niesprzyjających czynników jak np. większe porażenie roślin przez choroby i szkodniki jakie w roku 1990 stwierdzono na plantacjach rzepaku. Podatność łuszczyń na pęknięcie i straty nasion są uzależnione od szeregu czynników genetyczno-klimatyczno-glebowo-technologicznych, na co wskazuje szereg autorów [66,84,143,145,151] to one kształtują bezpośrednio wielkości

osypanych nasion lub wpływają na parametry mechaniczne łuszczyń modyfikując ich podatność na pękanie.

Po zbiorze na jednym metrze kwadratowym pola może zostać nawet ponad 10 000 nasion [145]. Wpływają na to straty wynikające z samoosypywania nasion w końcowej fazie dojrzewania jak i straty powodowane pracą kombajnu. Jeżeli przyjmie się, że masa 1000 nasion wynosi 5 g, to ilość osypanych nasion wyniesie $0,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.



Rys. 9. Straty nasion spowodowane samoosypywaniem w końcowej fazie dojrzewania łanu (przez 8 dni):

a – rok o korzystnych warunkach pogodowych, b – rok o niekorzystnych warunkach pogodowych [151]

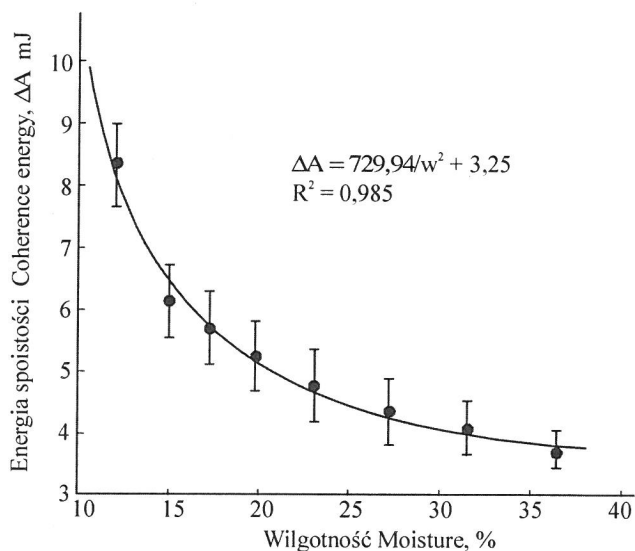
Fig. 9. Seed loss caused by self-shedding in the final phase of a stand's ripening (for 8 days):

a – year with favourable weather conditions, b – year with unfavourable weather conditions [151]

Z danych zamieszczonych na rysunku 9. wynika, że wielkość tych strat wykazuje znaczny rozrzut od $25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ do prawie $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wystąpiły również bardzo istotne różnice pomiędzy latami. Tak znaczne zróżnicowanie strat w poszczególnych latach jest wynikiem zbiegu szeregu czynników (szczególnie meteorologicznych), które sprawiają, że w jednym roku są one jedynie symboliczne, gdy tymczasem w innym mogą zagrozić opłacalności produkcji. Straty te mogą być zwielokrotnione przez niewłaściwe przystosowanie kombajnu do zbioru, a także niewłaściwy dobór sprzętu.

Innym istotnym czynnikiem decydującym o wielkości strat nasion w czasie dojrzwania i zbioru jest wilgotność łuszczyń. Zmienia się ona nie tylko w zależności od stanu dojrzałości roślin, opadów deszczu lub występującej rosy, ale również od wilgotności powietrza i siły wiatru.

Przeprowadzone laboratoryjne badania cech wytrzymałościowych łuszczyń (pobranych w fazie dojrzałości pełnej) o szerokim zakresie wilgotności (12-47%) wykazały, że czynnik ten w istotny sposób wpływa na zmienność ich cech mechanicznych. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem wilgotności gwałtownie spada odporność łuszczyń na pękanie (wartości energii spoistości szwów spadły z 8,52 mJ przy 12% wilgotności łuszczyń do 3,74 mJ przy wilgotności 36%) niezależnie od odmiany i roku badań, aczkolwiek i te czynniki ujawniają swój wpływ (rys. 10).

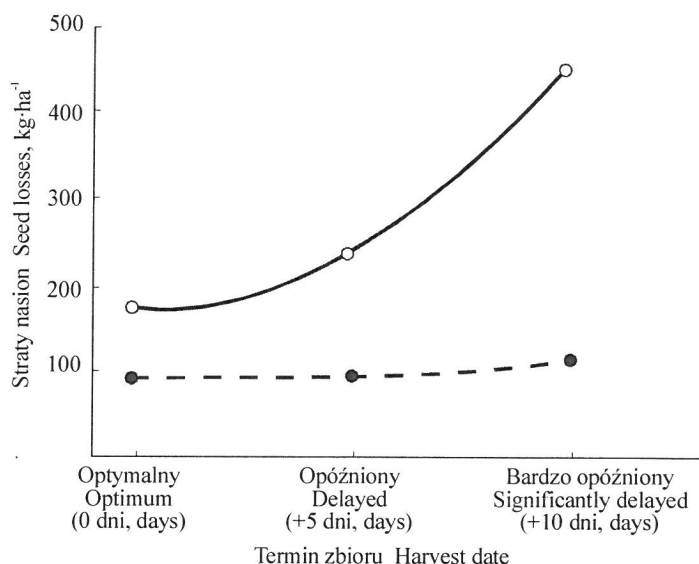


Rys. 10. Przebieg zmian energii spoistości szwów łuszczyń w funkcji wilgotności [151]

Fig. 10. Changeability of silique raphes coherence energy in moisture function [151]

Najbardziej gwałtowny spadek wytrzymałości łuszczyń występuje przy wilgotności 12-15%. Zmiany wynikające z różnic pomiędzy poszczególnymi odmianami są niewielkie, a wzrost wilgotności łuszczyń powoduje, że różnice międzyodmianowe zanikają [151].

Innym istotnym czynnikiem, który może doprowadzić do strat zagrażających opłacalności produkcji są choroby i szkodniki rzepaku. Wpływają one nie tylko na straty ilościowe nasion lecz również na jakościowe.



Rys. 11. Straty nasion powodowane przez kombajn Bizon w zależności od jego adaptacji oraz terminu zbioru [143]: — – zespół żniwny standardowy, ---- – zespół żniwny adaptowany

Fig. 11. Seed loss caused by the combine-harvester Bizon depending on its adaptation and time of harvest [143]: — – harvest complex standard, ---- – harvest complex adapted

Tabela 11. Straty nasion rzepaku określone dla kombajnu CLAAS (kg-ha⁻¹) [139]

Table 11. Rape seed losses determined for the CLAAS combine-harvester (kg-ha⁻¹) [139]

Szerokość zespołu żniwnego Harvesting complex width, (m)	Typ zespołu żniwnego Harvesting complex type		Rozdzielacz łań Field separator		Młocarnia Tresher
	Wydłużony Elongated	Standardowy Standard	Aktywny Active	Pasywny Passive	
5,10	279	311	46	118	68
3,00	172	256	72	92	64

Osypane nasiona to nie tylko znacznie niższy plon, to także bardzo istotny problem dotyczący jakości nasion.

Przeprowadzone badania [16,93] wykazały, że znaczna część nasion nie kiełkuje bezpośrednio po zbiorze lecz dopiero w następnych latach. Stają się one chwastami i powodują „zanieczyszczenie” genetyczne nowych plantacji rzepaku. Zapyłone w ten sposób rośliny wytwarzają nasiona z wysoką zawartością kwasu erukowego i glukozyzolanów, które mogą nawet przekroczyć obowiązujące normy [16]. Wysoki udział rzepaku w strukturze zasiewu i w związku z tym częsty jego powrót na to samo pole sprawia, że zagrożenie niepożądanego zapylenia jest stosunkowo wysokie. Zagrożenia te są związane również z występowaniem chwastów z rodziny krzyżowych.

Na straty nasion wpływa szereg różnych czynników takich jak:

- cechy odmianowe,
- warunki meteorologiczne,
- nasilenie chorób i szkodników,
- czynniki agrotechniczne.

Każdy z tych czynników wpływa na rośliny i łuszczyzny modyfikując skłonność do osypywania nasion. Nałożenie się kilku takich czynników, np. niesprzyjająca pogoda oraz występowanie chorób i szkodników doprowadza do tak znacznych strat, że ponad połowa biologicznego plonu może ulec utracie.

Straty można ograniczać:

1. Stosując odmiany przystosowane do mechanicznego zbioru, to jest rzepak o niepękających łuszczyznach. Wieloletnie badania, oceniające podatność poszczególnych odmian na pękanie i osypywanie nasion (przebadano kilkadziesiąt jarych i ozimych form) pozwoliły wykazać, że pomiędzy najlepszymi a najgorszymi odmianami istnieją prawie 3-krotne różnice.

2. Stosując odpowiednie maszyny zbierające – przystosowane do zbioru tej rośliny. Za straty nasion odpowiedzialna jest przede wszystkim praca: listwy nożowej, podajnika ślimakowo-palcowego, nagarniacza, rozdzielacza łań. Łącznie są one szacowane na ok. 70% globalnych strat wywołanych przez kombajn (resztę stanowią straty wywołane pracą zespołu młocącego i czyszczącego).

3. Stosując odpowiednią technologię zbioru to znaczy taką, która zapewni niskie straty, a jednocześnie wysoką wartość użytkową nasion. Technologia taka powinna uwzględniać różne odmiany będące w uprawie, oraz terminy zbioru, np. bardzo wczesny i bardzo późny, a także stan plantacji, zachwaszczenie, stosowanie środków chemicznych czy regulatorów dojrzewania. Wszystkie te czynniki w istotny sposób zmieniają biologiczne, chemiczne i mechaniczne właściwości roślin (łodyg, łuszczyzn, nasion), a to wymaga odpowiedniego przystosowania sprzętu do zbioru.

W większości krajów w których uprawiany jest rzepak w tym również i w Polsce, stosowane są dwie technologie zbioru jedno- i dwuetapowa.

3.1. Technologia i terminy zbioru

3.1.1. Zbiór jednoetapowy

Jednoetapowy zbiór rzepaku chociaż daje niewątpliwe korzyści ekonomiczne i organizacyjne, to stosując go zmienia się jednak zasadniczo proces dojrzewania roślin, który przerywany jest dość gwałtownie.

Zbiór jednoetapowy powinien rozpoczynać się po uzyskaniu przez rośliny dojrzałości pełnej. Koszenie ładu w terminie wcześniejszym powoduje większą ilość niedomłotów, a tym samym wzrost strat nasion [151]. Ponadto nasiona uzyskane z niedojrzałych roślin są pośladem podatnym na samozagrzewanie i pleśnienie oraz charakteryzują się niskimi walorami technologicznymi (wysoka zawartość chlorofilu, LK i LN, mała MTN).

Niezmienne ważne jest równomierne dojrzewanie wszystkich roślin i właściwy dobór terminu zbioru. Stąd coraz częściej, stosuje się środki służące regulacji dojrzewania roślin i nasion mające na celu przyspieszenie i wyrównanie dojrzewania ładu, szczególnie w czasie mokrego lata, gdy okres kwitnienia jest dłuższy.

Konieczność stosowania regulatorów dojrzewania jest związana z opryskiwaniem plantacji, co wymaga dodatkowych nakładów pracy oraz wyższych kosztów (zniszczenia wywołane przejazdem ciągnika oraz koszty preparatu i oprysku). W ten sposób traci się poważny atut jaki daje jednoetapowa technologia zbioru. Na takich plantacjach, wymagających stosowania tego typu zabiegów, najczęściej jest stosowana dwuetapowa technologia zbioru. Na plantacji w lata suche, zastosowanie środka Reglone wpływa ujemnie na cechy mechaniczne łuszczyń, stąd łatwiejsze ich pękanie i osypywanie nasion. Stosowany natomiast w lata wilgotne istotnie podnosi odporność łuszczyń na pękanie.

Muśnicki, Horodyski [95] w swoim kluczu podają następujące informacje przydatne do określania dojrzałości pełnej:

- w łuszczyńach nie ma już nasion zielonych, a tylko ok. 10% brunatnieje jeszcze po bokach, reszta nasion brunatna na całej powierzchni,
- łuszczyzny żółte i brunatniejące są jeszcze jędrne lecz łatwo pękają pod wpływem czynników zewnętrznych,
- łodygi ciemne i zaczynają zasychać,
- zawartość wody w nasionach poniżej 20%.

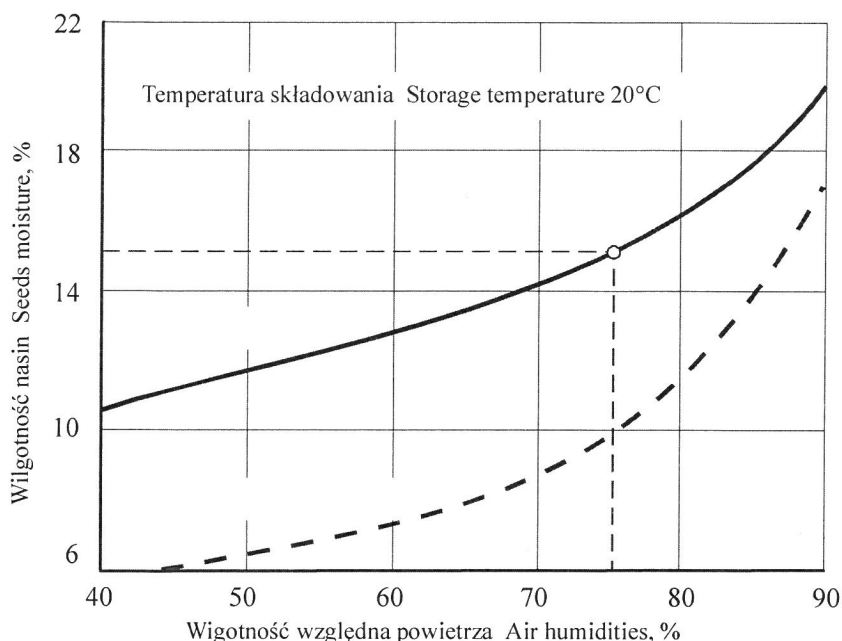
Określenie dojrzałości pełnej wg propozycji klucza, ze względu na opisowy charakter informacji, jest przydatne przede wszystkim dla celów biologicznych. Dla mechanizatorów istotna jest zmiana (wynikająca z dojrzewania roślin) takich charakterystycznych cech roślin, które można w prosty i jednoznaczny sposób określić. Dobrze, jeśli cecha ta ma wpływ na pracę maszyn zbierających,

bać też wpływa na jakość uzyskanych nasion. Taką cechą, jest niewątpliwie wilgotność nasion. Jest to informacja zarówno o dojrzałości zbieranych nasion, jak i o koniecznym zakresie regulacji podzespołów roboczych kombajnu, którym będzie dany łan koszony. Parametr ten można w prosty sposób określić za pomocą niezbyt drogiego aparatu do szybkiego określania wilgotności. Łan rzepaku w fazie dojrzałości pełnej przybiera charakterystyczny rudawy kolor.

Jako moment odpowiedni – początek zbioru – należy przyjąć fazę dojrzałości, gdy nasiona osiągną wilgotność poniżej 17% (patrz dynamika schnięcia rysunek 8). Analiza przebiegu wilgotności nasion dokonana na ośmiu odmianach podczas czterech sezonów wegetacyjnych pozwoliła przyjąć tę wartość jako maksymalną, która zapewnia właściwą dojrzałość (ilość chlorofilu, LK, LN oraz wytrzymałość mechaniczną). Uzasadnienie granicznej wilgotności nasion wynoszącej 17% wynika z podatności takich nasion do szybkiego samozagrzewania. Związane jest to ze wzmocnionym oddychaniem nasion, które nie przeszły jeszcze okresu spoczynku oraz z silnym rozwojem mikroorganizmów.

Należy zaznaczyć, że nasiona zbierane kombajnem bardzo szybko ulegają wtórnemu zawilgoceniu. Następuje to pod wpływem zanieczyszczeń, np. resztek słomy, której wilgotność w czasie zbioru wynosi ok. 70% oraz nasion chwastów, również o znacznej wilgotności. Stąd jeżeli zmierzmy wilgotność nasion zebranych z pojedynczych roślin, to należy także uwzględnić fakt, że tuż po zbiorze ich wilgotność (w masie) natychmiast wzrośnie o 1,5-2%. Stąd decydując się na taki sposób zbioru musimy mieć zapewniony dostęp do suszarni o stosunkowo dużej wydajności.

Wilgotność nasion nie jest cechą stałą, lecz zależną od wilgotności otaczającej je atmosfery. Znajomość wilgotności kondycjonalnej (gdy prawie 100% wody jest związana przez koloidy komórkowe) ma duże znaczenie dla określania właściwych warunków przechowywania nasion, bowiem wtedy obserwuje się znaczne osłabienie procesów przemiany materii. Górna granica tej wilgotności określana jest mianem wilgotności krytycznej lub granicznej. Jej przekroczenie doprowadza do pojawienia się w nasionach tzw. wody wolnej, następstwem czego jest wzmocnienie procesów enzymatycznych i pobudzenie nasion do intensywnego życia. Nasiona jako ciała koloidalno – kapilarno – porowate mogą wydzielać lub pochłaniać parę wodną z powietrza. W stanie powietrznie suchym nasiona utrzymują tzw. wilgotność równoważną. Oznacza to, że zawartość wody w nasionach zależy od nasycenia powietrza (w określonej temperaturze) parą wodną, ale nie jest mu równa. Wilgotność równoważną dla nasion rzepaku i pszenicy w zależności od wilgotności względnej powietrza przedstawiono na rysunku 12.

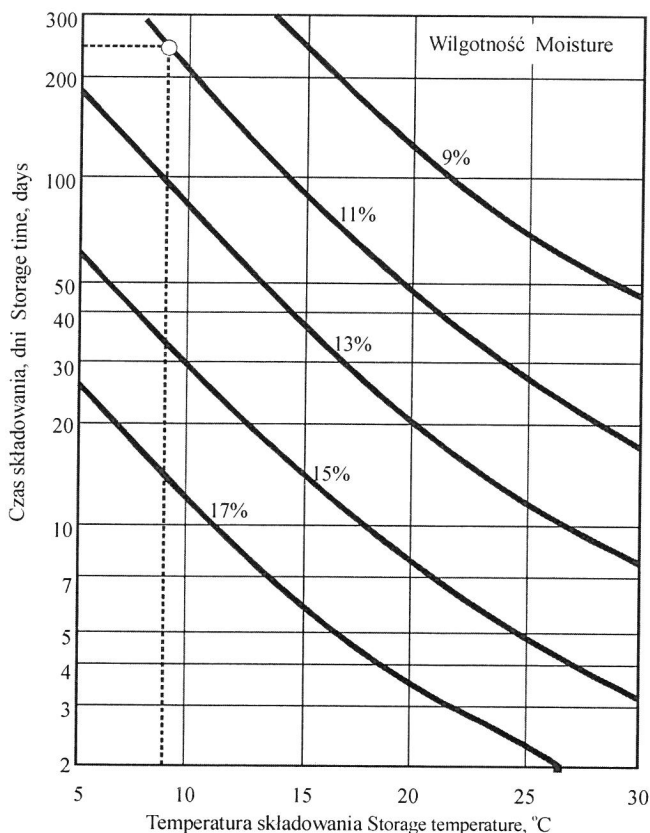


Rys. 12. Wilgotność równoważna nasion rzepaku i pszenicy dla różnej wilgotności powietrza: — pszenica, ---- rzepak

Fig. 12. Rapeseed and wheat seeds counterbalance moisture for different air humidities: — wheat, ---- rapeseed

Z rysunku 12 wynika, że w powietrzu o 75% wilgotności, nasiona rzepaku o wilgotności 10% oraz pszenica o wilgotności 15%, znajdują się w higroskopijnej równowadze (nasiona nie pobierają wilgoci z powietrza, ani jej nie oddają).

Wysoka zawartość w nasionach tłuszczu (ok. 40%), jako substancji hydrofobowej powoduje, że nasiona o wilgotności 15% będą zawierały w częściach beztłuszczowych 25% wody. Dlatego aby uniknąć ryzyka związanego z pogorszeniem jakości przy długotrwałym przechowywanych, nasiona rzepaku nie powinny zawierać więcej wody niż 7%. Rysunek 12 zawiera jeszcze inną istotną informację mającą zastosowanie w przechowywaniu. Mianowicie atmosfera wypełniająca przestrzeń międzynasienne rzepaku, o wilgotności ok. 17%, jest prawie całkowicie nasycona wodą. Maksymalny czas przechowywania nasion o wilgotności 17% w temperaturze 25-30°C, a więc takiej, jaka występuje w okresie zniw rzepakowych jest praktycznie zerowy (rys. 13). Podobne informacje podają również Muir i Sinha [94] ograniczając dla tych warunków bezpieczny czas składowania do kilku godzin. Informacja ta nabierze dodatkowego znaczenia przy określaniu właściwego terminu rozpoczęcia zbioru jednoetapowego.



Rys. 13. Wpływ wilgotności nasion i temperatury na bezpieczny czas przechowywania nasion rzepaku [133]

Fig. 13. Influence of seeds moisture and temperature on the safe storage period for rapeseeds [133]

Obserwacje wykonane na różnych plantacjach rzepaku wykazały, że opis roślin zawarty w kluczu, odpowiada przyjętej granicy wilgotności. Określanie tym sposobem początku zbioru jednoetapowego (dojrzałości pełnej nasion) w poszczególnych latach i dla różnych odmian nie nastręcza żadnych trudności. Przedstawiona dynamika schnięcia łuszczyń i nasion pozwala również na określenie, która z odmian wcześniej dojrzeje, co można wykorzystać w gospodarstwie do wydłużenia okresu żniw rzepakowych (uprawiając odmianę wczesną i późną).

3.1.2. Zbiór dwuetapowy

Zbiór dwuetapowy realizowany jest przy użyciu kosiarki pokosującej, ścinającej zielone rośliny na pokosy oraz kombajnu, który służy do ich omłotu. Pokosy mogą być omłacane przez kombajn wyposażony w podbieracz do pokosów, bądź też może

być zastosowana metoda tzw. „podwójnego cięcia”. W tym przypadku kombajn, aby omłócić pokos ścina ściery, na której on leży. Dwuetapowy sposób zbioru był przez wiele lat uważany za najbardziej ekonomiczny, przynoszący najniższe straty i pozwalający uzyskać nasiona o najwyższych walorach użytkowych [25]. Jego niekwestionowane atuty, to przyspieszenie zbioru o 7 do 10 dni, co jest ważne przy właściwym rozkładzie prac w gospodarstwie. Pozwala ekonomicznie wykorzystać maszyny zbierające (nie nakładanie się „małych żniw” rzepakowych z „dużymi” zbóż). Użyte nasiona charakteryzują się niższą wilgotnością (o ok. 2%). Jednak skrócenie o 10 dni wegetacji w miesiącu lipcu nie może pozostać bez wpływu na plon i jakość nasion. Ten sposób zbioru daje również możliwości popełnienia większej ilości błędów, które mogą „zaowocować” powstawaniem większych strat nasion, zarówno ilościowych, jak i jakościowych.

Najistotniejsze przy zbiorze dwuetapowym jest właściwe określenie momentu rozpoczęcia koszenia roślin na pokosy. Optymalną dojrzałością, przy której rzepak powinien być pokoszony i gwarantującą wysoki plon (dobre wypełnienie nasion, wysoka MTN) oraz dobrą wartość technologiczną nasion (niską zawartość chlorofilu, odpowiednią liczbę kwasową oraz nadtlenkową), jest dojrzałość techniczna.

Muśnicki i Horodyski [95] w kluczu do określania stadiów rozwojowych rzepaku proponują dojrzałość techniczną oceniać na podstawie barwy roślin, łuszczyń oraz nasion.

Pełna dojrzałość techniczna:

- 10% łuszczyń na pędzie głównym matowozielone, pozostałe brunatnieją po bokach lub są już brunatne. Brunatnieć zaczynają również nasiona z pędów bocznych,
- zawartość wody w nasionach ok. 40%,
- łuszczyńy pożółkłe,
- łodygi bladezielone.

Również w tym przypadku jak przy dojrzałości pełnej, opisowy charakter informacji powoduje powstawanie niejasności w określeniu właściwego terminu dojrzałości technicznej. Opis taki nie zawiera informacji istotnych dla mechanizatora, a mianowicie cech świadczących o wytrzymałości łuszczyń. W czasie pokosowania ścinane rośliny poddawane są dość energicznemu traktowaniu przez zespoły kosiarki. Czynnikiem decydującym o zakończeniu pokosowania roślin jest bowiem wysoki procent pękniętych łuszczyń i osypanych nasion. Z dynamiki schnięcia roślin (rys. 8) wynika, że wilgotność łuszczyń podczas dojrzewania (w pierwszej połowie lipca), ma początkowo przebieg monotoniczny i utrzymujący się na poziomie ok. 70%. Następnie w ciągu jednego dnia następuje bardzo gwałtowny spadek wilgotności łuszczyń do poziomu ok. 30%. Występujące wahania spowodowane były opadami deszczu, jak również zmianą wilgotności powietrza w poszczególnych porach dnia (doby).

Ten gwałtowny spadek wyznacza końcową, bezpieczną granicę pokosowania roślin. Koszenie roślin na pokosy po tym terminie wiąże się ze znacznymi stratami nasion, gdyż spadek wilgotności łuszczyń pociąga za sobą wzrost ich podatności na pękanie i osypywanie nasion. Problemem jest określenie momentu rozpoczęcia pokosowania, gdyż zbyt wczesne koszenie roślin ma wpływ na jakość nasion. Skoszone rośliny nie mogą odpowiednio „wyżywić” nasion.

Kilkuletnie badania wykazały możliwość zastosowania, prostej i skutecznej metody pozwalającej na wyznaczenie właściwego momentu rozpoczęcia koszenia roślin na pokosy. Metoda ta, polega na testowaniu wytrzymałości łuszczyń poprzez ich zginanie w palcach na kształt litery „U” (metoda została opracowana przez firmę „Mandops” do określania optymalnego momentu stosowania preparatu Spodnam DC). Łan o tej dojrzałości zachowuje typową barwę przechodzącą z koloru soczystozielonego do jasnozielonego. Zginane łuszczyńy lekko pękają na zgięciach, a w łanie powinno ich być około 60-70%.

Metoda zginania, czy skręcania łuszczyń w palcach, w celu określenia ich wytrzymałości jest metodą tak starą, jak stara jest hodowla rzepaku w kierunku uzyskania odmian niepękających. Obserwacje wykonane na różnych plantacjach rzepaku potwierdziły jej przydatność, a także prostotę tej metody. Natomiast informacje zawarte w kluczu doskonale uzupełniają metodę zginania łuszczyń, co pozwala precyzyjnie określić moment rozpoczęcia koszenia roślin na pokosy. Prawidłowe określenie dojrzałości technicznej, jest dość często utrudnione ze względu na nierównomiernie dojrzewające rośliny w łanie.

Korzystanie z metody klucza fenologicznego utrudniają zmiany barwy łuszczyń po zabiegach dolistnego nawożenia azotem. Rośliny tak nawożone zachowują bardzo intensywną barwę zieloną, co może wpływać na niewłaściwe zdiagnozowanie ich dojrzałości.

3.2. Masa 1000 nasion – MTN

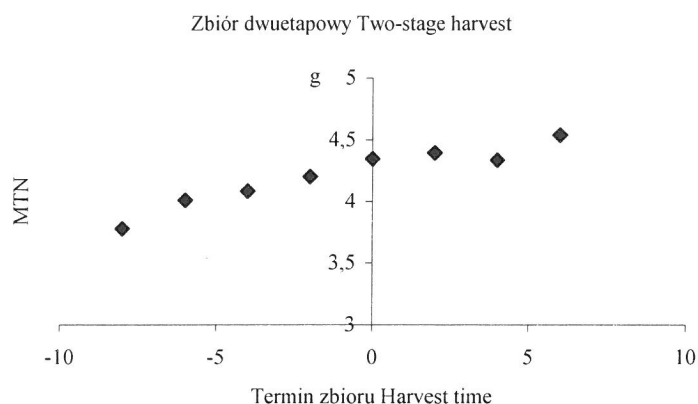
Jednym z podstawowych wyróżników jakości nasion uzależnionym od terminu zbioru jest masa 1000 nasion. Bartkowiak-Broda i Krzymański [1] stwierdzili, że przyrost masy 1000 nasion uzależniony jest od długości okresu wegetacji oraz czasu nasłonecznienia. Ujemnie natomiast wpływają na ten parametr niskie średnie dobowe temperatury oraz częste opady. Badania Budzyńskiego i in. [11] wskazują także na istotny wpływ różnych sposobów sprzętu na tę cechę nasion.

Przeprowadzona ocena masy 1000 nasion wykazała uzależnienie tego wskaźnika zarówno od terminów, jak i technologii zbioru (tab. 12). Porównując oba sposoby zbioru należy stwierdzić, że nasiona uzyskane w zbiorze dwuetapowym (analizowano MTN w dojrzałości technicznej) wykazują podobną MTN (średnia z odmian i lat wynosi 4,22 g), jak te zebrane w dojrzałości pełnej (odpowiednio 4,21).

Tabela 12. Wpływ odmian i warunków zbioru na MTN (g) nasion rzepaku
Table 12. Effect of cultivars and cropping conditions on MTN (g) of rape seeds

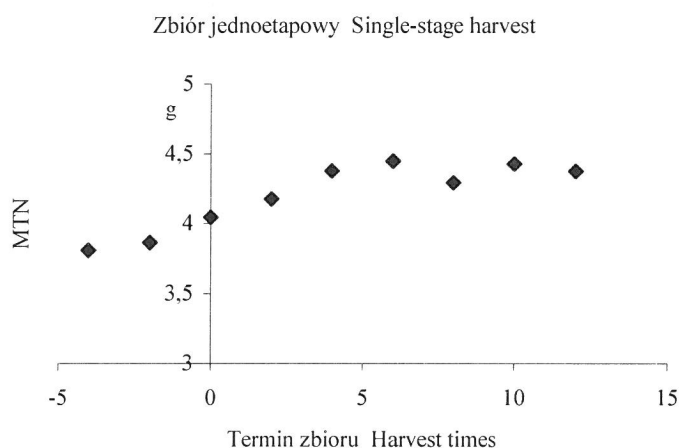
Metoda Zbioru Harvest method	Termin zbioru Harvest time		Odmiany Cultivars											
	2001	2002	Contakt		Kasimir		Kaszub		Lisek		Lirajet		Rasmus	
			02	01	02	01	02	01	02	01	02	01	02	01
Zbiór II etapowy II-Phase harvest	7.07	20.06	4.30	4.03	3.69	4.16	4.01	3.93	3.68	4.01	3.71	4.13	3.81	
	9.07	22.06	4.41	4.23	3.88	4.39	4.26	4.12	3.90	4.41	3.78	4.30	3.94	
	11.07	24.06	4.68	4.36	4.01	4.33	4.39	4.12	3.89	4.69	3.84	4.35	4.19	
	13.07	26.06	4.91	4.39	4.15	4.29	4.41	4.50	4.01	4.49	3.89	4.61	4.22	
	15.07	28.06	4.89	4.44	4.33	4.30	4.44	4.49	4.08	4.40	3.96	4.54	4.33	
		30.06	4.88		4.38		4.40		4.14		4.10		4.40	
		2.07	4.87		3.91		4.22		4.32		3.88		4.28	
	Średnia Average		4,68	4,29	4,72	4,29	4,30	3,61	4,00	4,40	3,63	4,37	4,17	
	15.07	4.07	4.11	4.18	3.65	4.19	3.89	3.33	3.71	4.19	3.91	4.13	3.90	
	17.07	6.07	4.28	4.20	3.76	4.19	4.10	3.33	3.93	4.19	3.92	4.14	4.05	
Zbiór I etapowy I-Phase harvest	19.07	8.07	4.46	4.39	3.82	4.20	4.19	3.68	4.10	4.32	4.20	4.29	4.28	
	21.07	10.07	4.87	4.32	4.13	4.21	4.24	4.05	4.31	4.47	4.34	4.56	4.41	
	23.07	12.07	4.99	4.36	4.51	3.79	4.22	4.48	4.50	4.36	4.61	4.44	4.39	
	25.07			4.49		4.30		4.52		4.36		4.45		
	27.07			4.53		4.16		4.55		4.36		4.44		
	Średnia Average		4,54	4,35	3,97	4,29	4,13	3,99	4,11	4,32	4,10	4,35	4,21	

NIR_{0.05} pomiędzy odmianami /A/ - 0.12 - „ - latami /B/ - 0.18 we współdziałaniu A × B - 0.38
 NIR_{0.05} between cultivars /A/ - 0.12 - „ - years/B/ - 0.18 in interaction A × B - 0.38



Rys. 14. Wpływ terminów zbioru dwuetapowego na masę 1000 nasion [127]

Fig. 14. Influence of the two-stage harvest times on the mass of 1000 seeds [127]



Rys. 15. Wpływ terminów zbioru jednoetapowego na masę 1000 nasion [127]

Fig. 15. Influence of the single-stage harvest times on the mass of 1000 seeds [127]

Analizując terminy pozyskiwania nasion przy zastosowaniu obu technologii stwierdzono, że w każdym przypadku nasiona zebrane zbyt wcześnie charakteryzowały się mniejszą masą w porównaniu do nasion zebranych w dojrzałości optymalnej. Jest również charakterystyczne, że przy zbiorze dwuetapowym stabilizacja MTN następowała w momencie uzyskania przez nasiona dojrzałości technicznej, natomiast przy zbiorze jednoetapowym dopiero 3-4 dni po uzyskaniu przez rośliny dojrzałości pełnej (rys. 14 i 15). Zauważono także w niektórych

kombinacjach doświadczenia istotny spadek MTN w czasie opóźnionego zbioru, a różnica pomiędzy masą nasion zebranych w terminach optymalnych i opóźnionych wynosiła w skrajnych przypadkach nawet 1,22 g [127].

Analiza różnic MTN w poszczególnych latach (2001 i 2002) nie wykazała istotności tego czynnika.

4. SUSZENIE NASION

4.1. Suszenie wysokotemperaturowe

Suszenie nasion rzepaku stanowi jeden z bardziej istotnych elementów w kompleksie zabiegów określanych jako obróbka pozbiorowa. Efektywność tego procesu ma wpływ zarówno na poniesiony koszt, jak i jakość uzyskiwanego oleju i śrutę poekstrakcyjnej. Niska kondycja finansowa przedsiębiorstw rolniczych powoduje, że do suszenia nasion rzepaku używane są często suszarnie nie spełniające wymogów techniczno – eksploatacyjnych.

Z przeprowadzonych w rejonie surowcowym ZT „Kruszwica” S.A. badań wynika, że ponad 24% suszarni używanych do suszenia rzepaku, była wykonana przed rokiem 1980, a 44% po roku 1990 [126]. Z tym problem wiąże się zarówno ich sprawność techniczna, jak i sposób kontrolowania oraz rejestracji temperatury czynnika suszącego. Taka sytuacja zmusza do dokładnej oceny przydatności technologicznej nasion rzepaku suszonych w tych warunkach. Dotyczy to szczególnie suszarni bębnowych, jak również suszarni, w których nasiona suszone są ogrzanym powietrzem wdmuchiwanym bez wykorzystania wymienników ciepła bądź przy ich uszkodzeniu. Ze względu na różne systemy, zdolności przerobowe i typy suszarni jakość końcowa nasion może być bardzo różna [35].

W końcowym efekcie może dojść do skażenia, suszonych w ten sposób nasion, substancjami o działaniu mutagennym i rakotwórczym. Należą do nich wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Najgroźniejszym przedstawicielem tej grupy jest składnik smoły węglowej i pogazowej oraz produkt niecałkowitego spalania związków organicznych – benzo(a)piren. Jego zawartość w produktach spożywczych (wg norm FAO/WHO) nie powinna przekraczać $10 \mu\text{m}\cdot\text{kg}^{-1}$ [61]. Przeprowadzone badania oleju rzepakowego, słonecznikowego i sojowego wykazały zawartość benzo(a)pirenu na poziomie $0,3\text{--}3,7 \mu\text{m}\cdot\text{kg}^{-1}$, to jest znacznie niższą od przewidywanej normy. Największe ilości tego związku i jego pochodnych występowały w tłoczonym oleju rzepakowym.

Niezmienne ważne jest więc, aby do suszenia rzepaku stosować jedynie suszarnie spełniające bardzo zaostrzone rygory technologiczne (ustabilizowana temperatura, równomierność suszenia, brak dostępu spalin).

Suszenie ogrzanym powietrzem, nazywane też suszeniem średnio- lub wysokotemperaturowym, jest jedną z metod suszenia nasion rzepaku, która może przebiegać w grubym, nieruchomym złożu, czyli metodą suszenia wsadowego (porcjowego), albo też w złożu ruchomym, czyli metodą suszenia przepływowego (ciągłego). W tym drugim wypadku nasiona przemieszczają się grawitacyjnie, natrafiając po drodze na różnego rodzaju elementy kierujące ich ruchem. Powietrze natomiast przepływa przez nasiona w kierunku zgodnym z ich ruchem (współprądowo), przeciwnym (przeciwprądowo) lub w poprzek (prąd skrzyżowany).

Suszenie ogrzanym powietrzem stosuje się wówczas, gdy warunki atmosferyczne są niekorzystne, albo gdy rzepak zawiera po żniwach dużo wody. Wówczas ani przewietrzanie nasion, ani też suszenie niskotemperaturowe nie mogą spełnić swoich zadań, tak aby ochronić nasiona przed szybkim zepsuciem. Innym powodem stosowania tych technologii jest chęć uzyskania w jak najkrótszym czasie produktu o wysokiej jakości.

Prędkość procesu suszenia nasion rzepaku jest niższa niż suszenia ziarna zbóż. Jest to spowodowane większymi oporami przepływu powietrza przez gęsto upakowane złoże nasion. Opory te wzrastają wraz ze wzrostem ilości zanieczyszczeń w przedmuchiwanej warstwie nasion [63]. Wentylator, pracujący wg parametrów dostosowanych na ogół do suszenia ziarna zbóż, wytwarza wyższe ciśnienie statyczne, przy niższym strumieniu objętości powietrza, w związku z czym temperatura powietrza dostarczanego do zbiornika może ulec podwyższeniu. Innym problemem bywa czasami nieszczelność instalacji suszącej. Suszarnie rolnicze zaprojektowane do ziarna zbóż mogą mieć nieszczelności prowadzące do strat nasion, a podwyższone ciśnienie statyczne stanowi tu dodatkowy, niekorzystny czynnik. Ważne jest, aby nasiona były dobrze oczyszczone przed procesem suszenia, gdyż często zdarza się, że lekkie zanieczyszczenia ulegają zapłonowi, negatywnie wpływając na jakość suszonych nasion.

Zmiana odporności mechanicznej nasion rzepaku jest jednym z najistotniejszych następstw niewłaściwego ich suszenia. Stąd po suszeniu, sam transport nasion może powodować aż 50% ogólnej ilości uszkodzeń powstających w procesie zbioru i obróbki pozbiorowej [150]. Zdaniem Franzkego i wsp. [38] przechowywanie nasion o znacznej ilości uszkodzeń obniża wydajność procesu ekstrakcji i znacznie pogarsza jakość oleju mierzoną wartościami liczb kwasowej i nadtlenkowej. Wynika to z zastosowania zbyt wysokiej temperatury suszenia lub dłuższego czasu suszenia. Dochodzi wtedy do przesuszenia nasion, gdy ich wilgotność spada poniżej 6%. W efekcie wrasta poziom uszkodzeń nasion, który jest następstwem obniżenia ich wytrzymałości mechanicznej. Nasiona takie cechują się również w czasie przerobu nadmierną kruchością i pylistością, co wpływa na wzrost zawartości oleju w śrucie poekstrakcyjnej lub wydłuża czas ekstrakcji

niektórych partii nasion (niewłaściwa perkolacja rozpuszczalnika podczas ekstrakcji oleju). Rośnie również ilość wolnych kwasów tłuszczowych oraz nasila się ilość procesów oksydacyjnych w tłuszczu.

Z badań Fornala [34,35], który analizował jakość chemiczną, biologiczną i strukturalną (analiza mikroskopowa) nasion wynika, że podczas suszenia obserwuje się silniejszy skurcz liścieni niż łupiny (wynikający głównie z odmiennej zawartości wody w tych częściach nasion), co powoduje powstanie pomiędzy nimi wolnej przestrzeni wypełnionej powietrzem. Cecha ta wpływa na osłabienie wytrzymałości mechanicznej nasion i decyduje o ich właściwościach reologicznych. Zjawisko nierównomiernego skurczu nasion zostało wykorzystane przy ocenie stopnia sprężystości złoża, które określa stopień powrotu objętości złoża do objętości przed ściskaniem. Według Fornala [35] jest to jeden z istotnych parametrów służących do oceny poprawności późniejszego suszenia nasion rzepaku.

Również badania innych autorów [35,165] zajmujących się mikrostrukturą nasion rzepaku podczas zabiegów obróbki pozbiorowej wykazały, że głównie zmiany denaturacyjne występujące w nasionach (wynikłe z niewłaściwie dobranych parametrów temperatury suszenia) są przyczyną spadku ich wytrzymałości mechanicznej. Jedną z głównych przyczyn jest niewłaściwe suszenie wilgotnych (lub zbyt wilgotnych) nasion tuż po zbiorze.

Zmiany denaturacyjne struktur białkowych pod wpływem jednoczesnego oddziaływania ciepła i wody doprowadzają do kurczenia się treści komórki i powstawania wolnych przestrzeni, które przed odwodnieniem nasion wypełnione były tłuszczem. Kropelki tłuszczu na skutek działania temperatury tracą fosfoproteinowe otoczki i zlewają się w większe skupiska. Zjawiskom tym towarzyszy (zależnie od temperatury i wilgotności nasion) rozpad małych kulistych ciał białkowych i powstawanie w ich miejsce włóknistych form częściowo połączonych ze ścianami komórkowymi. Stąd w przesuszonych nasionach o wysokiej wilgotności początkowej obserwuje się tworzenie struktur włóknisto – granularnych [2,104] oraz zanik drożności wiązek przewodzących, które odgrywają istotną rolę w transporcie rozpuszczalnika [129].

4.2. Niskotemperaturowa konserwacja nasion

Produkcja nasion rzepaku w warunkach gospodarki rynkowej mobilizuje z jednej strony do minimalizacji ponoszonych kosztów, z drugiej zaś wymusza na producentach dostarczanie towaru o wysokiej jakości. Niska opłacalność produkcji rzepaku zmusza do poszukiwania energooszczędnych sposobów zarówno uprawy, jak i obróbki pozbiorowej. Szczególną uwagę kładzie się na te elementy produkcji, które wymagają najwyższych nakładów. Należy do nich niewątpliwie proces suszenia [17]. Zastosowanie niskotemperaturowej metody konserwacji

i suszenia nasion jest więc coraz szerzej propagowanym sposobem przechowywania nasion wilgotnych. Zainteresowanie tym sposobem wynika również z niskiej wydajności suszarni w porównaniu do wydajności kombajnów zbierających zboża, kukurydzę czy rzepak jak również z wysokiej jakości uzyskiwanego materiału. Stąd rozwiązywaniem tego problemu zaczęto zajmować się w USA, Kanadzie, Anglii. Tam też powstały liczne prace teoretyczne, w których na odpowiednio opracowanych modelach matematycznych próbowano rozwiązywać problem doboru odpowiedniej temperatury czasu przechowywania, wysokości złoża i intensywności przepływu powietrza [18,24,66]. Użyte modele matematyczne stały się podstawą do lepszego zrozumienia procesów fizycznych zachodzących w procesie suszenia nasion. W tradycyjnym wysokotemperaturowym sposobie obniżenia wilgotności nasion, przy znacznej początkowej i końcowej wilgotności nasion i ilości zużytej energii, można obliczyć przerób suszarni oraz koszt całego procesu suszenia [130]. W warunkach suszenia niskotemperaturowego sytuacja jest bardziej skomplikowana. Musimy wówczas uwzględnić wilgotność początkową nasion, dojrzałość, poziom uszkodzeń, grubość warstwy, tempo przepływu czynnika suszącego, wilgotność i temperaturę otoczenia, ilość zanieczyszczeń, czas suszenia oraz wzajemne związki pomiędzy tymi czynnikami. Dobry model powinien być kompromisem pomiędzy mnogością uwzględnionych czynników, a stosowaniem prostych wyrażeń, które wprawdzie zaniedbują mało istotne czynniki, ale przez to czynią go prostym i łatwym w użyciu [131].

Prognozowanie zachowania nasion w silosie przy niskotemperaturowym suszeniu napotyka jednak na znaczne trudności zarówno ze względu na zmieniające się ciągle warunki zewnętrzne, jak i z powodu znacznej ilości czynników decydujących o stanie składowanych nasion. Zagadnienia te częściowo przybliża w swojej pracy Kaleta [68].

Metoda chłodzenia może być wykorzystywana zarówno do:

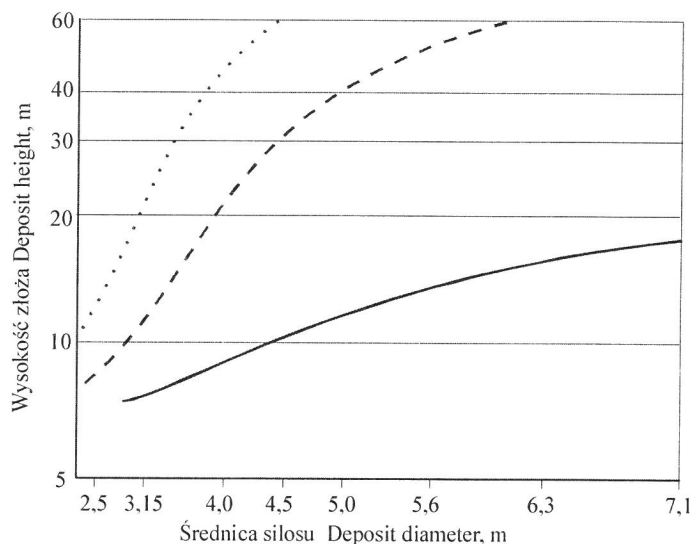
- konserwacji mokrych nasion bezpośrednio po zbiorze, w celu zapewnienia ciągłości pracy suszarni (zapewnienie dostaw wilgotnych nasion bez obawy ich zepsucia),
- dłuższego przechowywania z jednoczesnym dosuszaniem.

Do zalet tego sposobu przechowywania i suszenia zaliczyć można zmniejszenie strat powodowanych: oddychaniem, rozwojem mikroorganizmów, samozagrzewaniem, zmianami biochemicznymi, rozwojem szkodników oraz zmniejszenie zużycia energii. Suszenie w niskiej temperaturze jest jednak procesem powolnym zachodzącym w ciągu kilku tygodni. Należy również uwzględnić fakt, że bezpieczne przechowywanie nasion w niskiej temperaturze może odbywać się tylko przez ściśle określony czas. Decyduje o tym ich stan początkowy – wilgotność, dojrzałość.

Przy zbiorze rzepaku problem natychmiastowego zabezpieczenia wilgotnych nasion (poprzez suszenie lub schłodzenie), jest w porównaniu do innych zbieranych na taką skalę płodów znacznie istotniejszy. Wynika to zarówno ze składu chemicznego nasion, jak i krótkiego czasu przechowywania nasion wilgotnych.

W zmagazynowanych nasionach zachodzą procesy biochemiczne, które uzależnione są od dojrzałości nasion, wilgotności, poziomu uszkodzeń, temperatury, ilości zanieczyszczeń oraz od stopnia rozwoju drobnoustrojów. Czynniki te wpływają na intensywność oddychania w wyniku czego powstaje ditlenek węgla, woda oraz ciepło. Wpływa to na samopobudzenie układu do dalszych jeszcze intensywniejszych zmian (samonawilżanie, samozagrzewanie), czego efektem jest również strata suchej masy. Nasiona o wilgotności 15% przechowywane przez 30 dni w temperaturze 35°C tracą trzydzieści dwa razy więcej suchej masy niż nasiona przechowywane w temperaturze 10°C [149]. Jak istotne są to ilości świadczą poniższe dane. W 1000 t składowanego zboża o zawartości wody 15% i temperaturze składowania 35°C przez 1 miesiąc występuje strata 5,5 t suchej masy. Tymczasem w temperaturze 10°C straty te są redukowane do 0,2 t. Oznacza to, że straty wynikające z oddychania ulegają zmniejszeniu o 80-90% w wyniku konserwacji chłodniczej.

Chłodzenie nasion polega na wymianie ciepła i wilgoci między nasionami, a zimnym powietrzem jako czynnikiem chłodzącym. Nasiona rzepaku charakteryzują się większym przewodnictwem cieplnym niż zboże, jednak do schładzania konieczny jest wymuszony przepływ zimnego powietrza. Zaletą takiego układu jest to, że utrzymuje długo niską temperaturę, a jedno chłodzenie wystarcza na wiele miesięcy magazynowania. Jego wadą jest słabe odprowadzenie ciepła, które doprowadza do powstawania ognisk z wysoką temperaturę miejscową, trudnych do wykrycia. Ogniska takie są bardzo niebezpieczne w przechowywaniu, stanowią bowiem początek niekorzystnych procesów zagrażających jakości całego materiału zgromadzonego w silosie. Ma to kluczowe znaczenie dla ilości i planu rozmieszczenia czujników w silosie. Przewodnictwo ziarna zbóż wynosi 0,54-0,63 kJ·mh⁻¹ (podobne, jak powietrza i azbestu). Oznacza to, że jeżeli źródło ciepła o 70°C znajduje się 1,5 m od czujnika, to wskaże on temperaturę 25°C. Dlatego tak ważne jest, aby podczas suszenia i składowania rzepaku działał sprawny system monitorowania temperatury i wilgotności nasion [70]. Mała porowatość złoża nasion rzepaku w silosie, którą pogarszają zanieczyszczenia i obciążenia, wpływa na znaczny opór stawiany przepływającemu powietrzu [63,148]. Ta cecha złoża jest jedną z najistotniejszych i jej określenie jest niezbędne do prawidłowego zaprojektowania układu do suszenia i przewietrzania nasion.



Rys. 16. Maksymalna wysokość składowania nasion grochu, pszenicy i rzepaku w zależności od średnicy silosu [133]: – groch, ---- – pszenica, ——— – rzepak

Fig. 16. The maximum storage height of pea, wheat and rape seeds depending on silo diameter [133]: – pea, ---- – wheat, ——— – rapeseed

Na wykresie przedstawiono maksymalną wysokość usypu nasion grochu, pszenicy i rzepaku. Wynika z niego, że wykorzystanie powierzchni magazynowej silosu zależy od gatunku przechowywanych nasion. Przy średnicy silosu 5 m możliwe jest przedmuchiwanie (np. schłodzonym powietrzem) wysokości usypu rzepaku do 12 m, a pszenicy do ok. 42 m.

Przy wymuszonym przepływie zimnego powietrza pod uwagę można brać dwa sposoby schładzania:

- chłodzenie powietrzem atmosferycznym (gdy warunki na to pozwalają),
- chłodzenie powietrzem oziębionym technicznie w agregatach schładzających.

Skuteczność chłodzenia jest uzależniona od wilgotności początkowej nasion. Jeżeli wilgotność zapewnia bezpieczne, dłuższe przechowywanie nasion w silosie wtedy wystarczy mechaniczna wentylacja złoża pod warunkiem, że temperatura powietrza jest niższa co najmniej o 4-5°C od temperatury nasion. Analiza wieloletnich danych meteorologicznych w Polsce wykazuje, że w sierpniu jest tylko ok. 40% godzin z temperaturą poniżej 15°C, co umożliwia proces wstępnego schładzania i to zazwyczaj w porze nocnej. Wrzesień i październik są znacznie lepsze do tego celu, pozwalają bowiem na schładzanie nasion nawet do temperatury 10°C [149]. Przytoczone dane wskazują na nierealność stosowania pierwszej wersji schładzania w naszym klimacie. Rzepak

ozimy jest zbierany w lipcu, a jary nieco później stąd wykorzystanie tylko powietrza atmosferycznego nie może być brane pod uwagę. Natomiast możliwy jest sposób kombinowany, gdzie agregaty chłodnicze umożliwiają szybkie schłodzenie nasion, natomiast w terminie późniejszym następuje dochładzanie za pomocą powietrza atmosferycznego.

Do schładzania używa się nowoczesnych agregatów schładzająco – suszących (są to urządzenia przewoźne umożliwiające ich stosowanie nawet w kilkunastu silosach). Wyposażone są one nie tylko w urządzenia schładzające, lecz również w parowniki, które powodują wysuszenie powietrza [133-137].

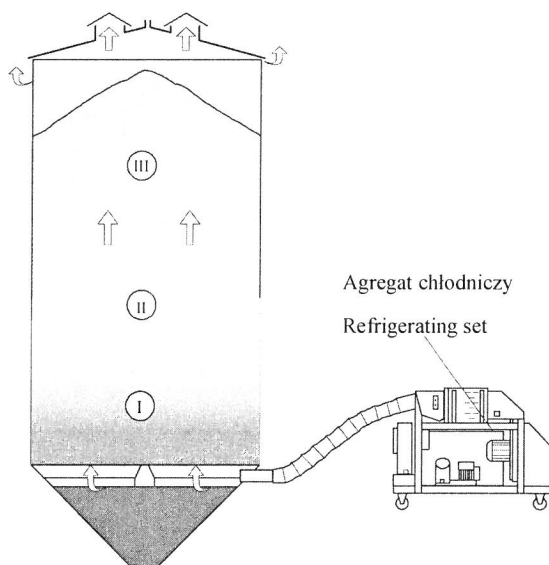
Chłodzenie rzepaku wymaga, aby silos był wyposażony w odpowiednie urządzenia rejestrujące, zarówno temperaturę, jak i wilgotność składowanych nasion i to dość gęsto rozłożone na różnej wysokości. Aparatura kontrolno – pomiarowa powinna współpracować z odpowiednim programem sterującym pracą agregatu, aby zabezpieczyć na czas włączenie i wdmuchiwanie odwodnionego i ochłodzonego powietrza bądź też wtłoczenie powietrza z otoczenia.

Coraz częściej bierze się pod uwagę konieczność wkomponowania do niskotemperaturowego sposobu suszenia również tradycyjnego – wysokotemperaturowego. Rosną wtedy koszty, ale maleje ryzyko zepsucia materiału.

Właściwą temperaturą do dłuższego przechowywania nasion wilgotnych jest 10-12°C. Stosowanie niższych temperatur jest wskazane, gdy rzepak posiada dużą wilgotność – ponad 12%, zawiera dużo zanieczyszczeń oraz nasion uszkodzonych i niedojrzałych. Badania przeprowadzone w warunkach symulujących silosy przemysłowe wykazały, że bezpieczne składowanie nasion o wilgotności 11% w temperaturze 7°C i pod obciążeniem, jakie może wystąpić w silosie wynosi około 60 dni. Po tym okresie następuje wzrost LK do wartości powyżej obowiązującej normy. Należy jednak zaznaczyć, że nasiona w czasie składowania nie były przewietrzane, co wpływało na kumulację wilgotności oraz ciepła pod wpływem oddychania nasion oraz rozwoju mikroorganizmów [48,49].

W czasie przepływu powietrza przez warstwę nasion zmianom ulega zarówno stan powietrza, jak i stan nasion. Nasiona oddają ciepło przepływającemu powietrzu i stają się zimniejsze, a powietrze ogrzewa się i może wchłonać więcej wody z nasion. Mamy tu więc klasyczną wymianę ciepła i masy. Duże różnice w temperaturze, wilgotności nasion i powietrza wpływają na dodatkowy proces chłodzenia wyparnego masy nasion. Powoduje to wzrost wymiany ciepła, jak również wzrost efektu chłodzenia. Stąd uzyskuje się bardzo istotny dla tego procesu efekt suszenia. Mianowicie przy schłodzeniu nasion do temperatury 10°C oraz przy każdym następnym dochładzaniu następuje obniżenie wilgotności minimum o 1 do 1,5%. Niektórzy podają nawet większe efekty [133].

Powietrze o temperaturze otoczenia lub podgrzane o kilka stopni Celsjusza (do 5°C) przepływa przez złożę, najczęściej w układzie od wentylatora przez podgrzewacz powietrza, komorę pod dnem (podłogą) perforowaną zbiornika, otwory w tym dnie, przez całe złożę nasion, po czym wydostaje się ze zbiornika przez otwory w dachu, unosząc ze sobą w postaci pary wodnej wilgoć odparowaną z nasion (rys. 17).

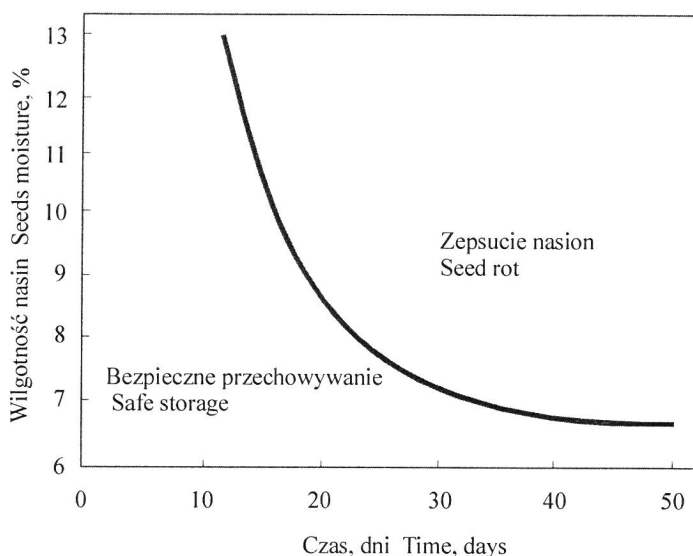


Rys. 17. Przemieszczanie się temperatury i wilgoci w złożu podczas jego schładzania: I – schładzanie, II – stan równowagi, III – nawilżanie

Fig. 17. Translocation of temperature and moisture in the grains during their cooling: I – cooling, II – equilibrium state, III – moistening

W każdym procesie chłodzenia, a szczególnie przy ponownym dochładzaniu należy uwzględnić fakt, że w zależności od wysokości usypu złoża, dochodzi bądź to do sorpcji lub desorpcji pary wodnej. W efekcie następuje (na określonej jego wysokości) wzrost temperatury w usypie. Miejsce to jest nazywane „gniazdem ciepłym”. Umieszczenie go na wysokości silosu jest uzależnione, zarówno od wilgotności składowanego materiału, jak i od prędkości przepływu czynnika suszącego. Temperatura i wilgotność w tej warstwie nasion najpierw wzrasta, natomiast ochłodzenie ze względu na dużą masę danej partii nasion, następuje bardzo powoli. Z tego względu nasiona w tej warstwie narażone są szczególnie na zepsucie. W strefie powyżej górnej granicy suszenia, wzrasta wilgotność powietrza w przestrzeniach pomiędzy nasionami do wartości powyżej 75%. Jest to graniczna wartość wilgotności względnej powietrza zajmującego przestrzenie międzynasienne, która gwarantuje bezpieczne

składowanie. Za sytuację alarmową uznaje się, gdy wilgotność rośnie powyżej 85%, temperatura nasion ponad 13°C, a stan taki utrzymuje się dłużej niż 48 godzin. Sprawia to, że nasiona są otoczone powietrzem o bardzo znacznej wilgotności względnej (czyli prawie parą wodną). Są to warunki idealne do silnego rozwoju grzybów. Taka sytuacja w silosie stwarza zagrożenie dla nasion. Warunki bezpiecznego przechowywania nasion przez czas dłuższy niż cztery miesiące przedstawiono na rysunku 18.



Rys. 18. Warunki bezpiecznego przechowywania nasion rzepaku przez okres dłuższy niż 4 miesiące [159]

Fig. 18. Conditions of rapeseeds safe storage for a period longer than 4 months [159]

Zastosowanie większej wydajności wentylatora, czyli tłoczenie do silosu większej ilości wysuszonego powietrza nie jest rozwiązaniem najlepszym, gdyż dochodzi wtedy do przesuszenia nasion leżących w dolnej strefie silosu. Proces chłodzenia wymaga znacznie mniejszych wartości natężenia przepływu powietrza ($23\text{-}100\text{ m}^3\cdot\text{th}^{-1}$) w porównaniu do suszenia przy zastosowaniu mechanicznej wentylacji.

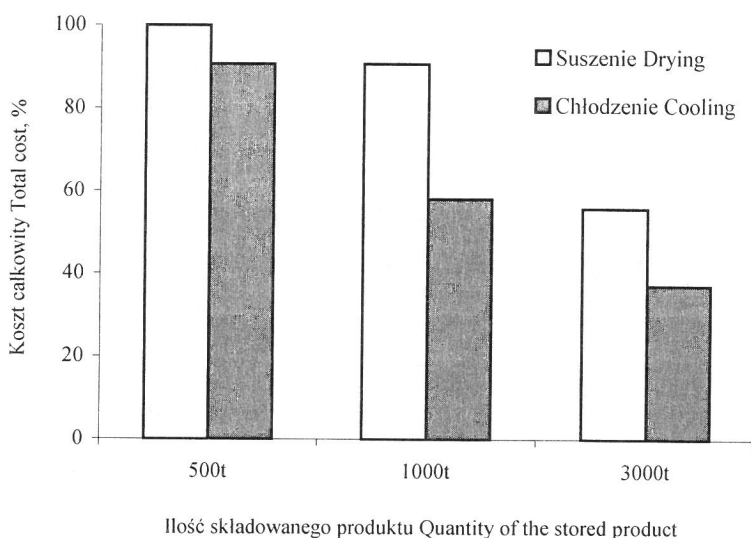
Przesuszenie jest zjawiskiem równie niebezpiecznym (wzrost uszkodzeń mechanicznych, gorsza LK, LN), jak niekontrolowany wzrost wilgotności. Można zastosować mieszanie nasion przy użyciu mieszadeł ślimakowych, jednak powoduje to znaczny wzrost uszkodzeń mechanicznych.

W trakcie przechowywania mogą powstawać również przemieszczenia ciepła wynikające ze zmiany dobowej temperatury na zewnątrz silosu. Nasiona znajdujące się w warstwie przysiennej narażone są na schłodzenie i nawilżenie

(przekroczenie punktu rosy przy nocnym spadku temperatury). Przy spadku temperatury z 20 do 5°C na ścianach silosu, wydzieli się 6,1 g wody z każdego 1 m³ powietrza [135]. Powoduje to, że nasiona przylegające do ścian silosu ulegają silnemu nawilżeniu i szybszemu zepsuciu. Po opróżnieniu silosu pozostają na jego ścianach, stanowiąc idealne ogniska do rozwoju pleśni na nasionach z następnego zasypu.

Czas chłodzenia do właściwej temperatury jest uzależniony od wydajności agregatu chłodzącego oraz od ilości nasion poddawanych temu procesowi.

Cytowane wyniki wskazują na wysoką przydatność tej technologii konserwacji rzepaku zarówno, co do jakości uzyskiwanych nasion, jak i wielkości poniesionych kosztów. Brak prac opisujących zachowanie nasion (jakości) odmian uprawianych w warunkach klimatu polskiego wskazuje na zachowanie pewnej ostrożności przed przenoszeniem i wzorowaniem się tylko na wynikach uzyskanych w innych krajach. Ta technologia wymaga opracowania optymalnych warunków zapewniających zarówno bezpieczeństwo, jak i wysoką jakość surowca.



Rys. 19. Porównanie kosztów wysokotemperaturowego i niskotemperaturowego suszenia nasion rzepaku [131]

Fig. 19. Cost comparison between high-temperature and low-temperature rapeseeds drying [131]

Jedną z istotniejszych zalet niskotemperaturowego przechowywania i suszenia nasion są względy ekonomiczne. Na rysunku 19. przedstawiono porównanie kosztów chłodzenia i suszenia. Założono, że koszt suszenia 500 t nasion rzepaku wynosi 100% i porównano go z suszeniem i chłodzeniem większych partii nasion.

W przedstawionym kosztorysie uwzględniono ceny urządzeń niezbędnych do suszenia i chłodzenia oraz koszty zużytej energii. Najwyższe oszczędności uzyskano w przypadku dużych ilości nasion. Wynoszą one wtedy nawet do 45%. Natomiast suszenie mniejszych partii jest mniej opłacalne. Należy wziąć pod uwagę fakt, że koszty suszenia stanowią niebagatelną część w ogólnych nakładach na produkcję rzepaku. Stąd oprócz konwencjonalnych źródeł ciepła stosowane są również baterie słoneczne. Koszty związane z suszeniem niskotemperaturowym uzależnione są również od warunków klimatycznych, a różnice pomiędzy rejonami słonecznymi a pochmurnymi i wilgotnymi mogą sięgać nawet 35% [131]. Istotnie na wielkość kosztów wpływa również możliwość monitorowania zmian zachodzących w silosie i odpowiednie włączanie pracy wentylatora. Może to przynieść oszczędności do 14%.

5. PRZECHOWYWANIE NASION RZEPAKU

Nasiona rzepaku w czasie magazynowania są o wiele bardziej narażone na zepsucie niż ziarno zbóż, a dzieje się to za sprawą tłuszczu, który szczególnie w nasionach wilgotnych i uszkodzonych ulega łatwemu rozkładowi pod wpływem enzymów (lipaz) i tlenu z powietrza [47,155]. W następstwie takich procesów powstają wolne kwasy tłuszczowe i zwiększa się kwasowość nasion, a wzrost temperatury podczas przechowywania powoduje nasilenie procesów oksydacyjnych, których efektem jest wzrost liczby nadtlenkowej [113].

Intensywność procesów biologicznych i chemicznych zachodzących w nasionach uzależniona jest zarówno od warunków przechowywania, jak i od ich kondycji wyjściowej w momencie załadowania do silosu. Uszkodzenia odgrywają w tych procesach niebagatelną rolę, stymulując między innymi, intensywność reakcji chemicznych, a także ułatwiając penetrację wnętrza nasienia przez drobnoustroje. Obecność w masie nasiennej, oprócz nasion uszkodzonych i pogniecionych, nasion niedojrzałych sprzyja szybkiemu zepsuciu całej partii nasion. Z pracy Grabskiej i in. [45] wynika, że ilość nasion uszkodzonych wpływa szczególnie na wzrost liczby kwasowej oraz aktywność lipolityczną, natomiast w znacznie mniejszym stopniu na zmiany oksydacyjne zachodzące w nasionach (wyrażane wzrostem liczby nadtlenkowej). Liczba nadtlenkowa wzrasta natomiast gwałtownie w trakcie przechowywania. Zjawiska te są szczególnie niebezpieczne w nasionach wilgotnych, a także podczas składowania, gdy nasiona są obciążone.

Długotrwałe przechowywanie nasion rzepaku w silosach (w celu zapewnienia ciągłości produkcji) sprawia, że nasiona są narażone na długotrwałe obciążenia mechaniczne. Są one wynikiem parcia górnych warstw nasion – obciążenia pionowe. Oprócz stałych obciążeń pionowych (wynikających z wysokości złoża),

nasiona podlegają również obciążeniom poziomym. Jest to parcie warstwy nasion na ścianę silosu.

W typowych warunkach magazynowania iloraz naporu poziomego do pionowego wynosi około 0,5. Wraz ze spadkiem współczynnika tarcia o ścianę (np. ociekanie ścian olejem) rośnie napór pionowy. Obciążenia nasion wynikające z tego powodu nie powinny jednak przekraczać 200 kPa (przy wysokości złoża 30 m). W rozważaniach nie uwzględniono jednak wzrostu naporu poziomego, który w czasie przechowywania nasion może wzrosnąć nawet kilkakrotnie [22].

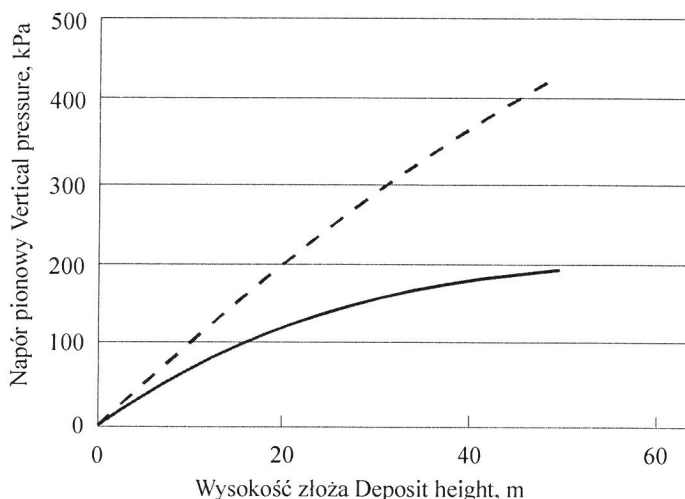
Napór nasion na ścianę i dno silosu zależy od:

- właściwości przechowywanego materiału,
- warunków tarcia nasion o ścianę silosu,
- geometrii silosu,
- metody napełniania i opróżniania.

Do obliczeń konstrukcyjnych silosów większość norm państwowych, w tym PN-89/B-03262, zaleca stosować równanie Janssena. Przyjmuje się, że stosunek naporu poziomego do pionowego (iloraz naporu oznaczany – λ) wewnątrz złoża ma stałą wartość. Napór pionowy na dowolnej głębokości $p_v(z)$ zależy od: wysokości złoża z , pola przekroju poziomego silosu A , wewnętrzne-go obwodu silosu U , gęstości materiału sypkiego γ , współczynnika tarcia materiału sypkiego o ścianę f oraz ilorazu naporu λ i wyraża się wzorem:

$$p_v(z) = \frac{\gamma A}{f U} \left(1 - e^{-\frac{f U z}{A}} \right) \quad (2)$$

Przykładowy przebieg naporu pionowego dla silosu o średnicy 20 m i wysokości 50 m przedstawiono na rysunku 20. Założono, że w betonowym silosie przechowywany jest rzepak i przyjęto parametry materiałowe wg normy: gęstość $\gamma = 8,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$, współczynnik tarcia $f = 0,35$, iloraz naporu $\lambda = 0,53$. W tych warunkach napór poziomy w sąsiedztwie dna osiąga wartość 187 kPa (linia ciągła). Zakładając niską wartość współczynnika tarcia $f = 0,1$ (jednak możliwą w warunkach smarowania ściany); gęstość $10,64 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ [63] oraz iloraz naporu $\lambda = 0,41$, jak w eksperymencie Horabika i Molendy [55] otrzymujemy znacznie wyższe wartości naporu pionowego (ilustrowane na wykresie linią ciągłą). Maksymalna wartość naporu pionowego wynosi w tych niekorzystnych warunkach 428 kPa i jest 2,3 krotnie wyższa niż obliczona według normy.



Rys. 20. Przykładowy przebieg naporu pionowego dla silosu o średnicy 20 m i wysokości 50 m: ----- wg normy PN, ——— eksperyment

Fig. 20. A sample vertical pressure course for a silo 20 m in diameter and 50 m tall: ---- – according to the norm PN, ——— – experiment

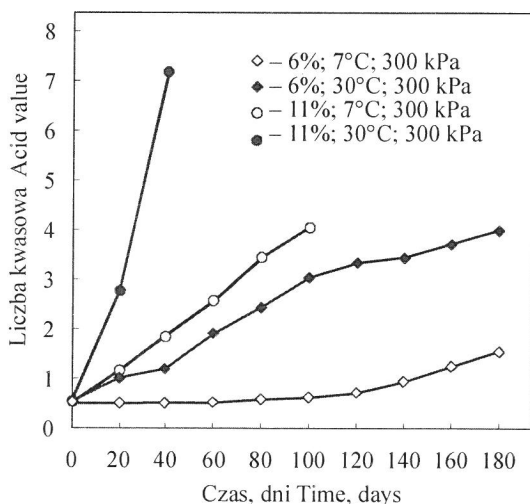
Badania Horabika i Molendy [54] i Molendy i in. [92] wskazują, że niekontrolowany wzrost wilgotności wywołany, np. nieszczelnością zbiornika, nadmiernym oddychaniem, rozwojem drobnoustrojów powoduje zmianę wytrzymałości mechanicznej okrywy nasiennej oraz przyrost objętości nasion (pęcznienie nasion). Wzrost obciążeń poziomych w silosie będzie wywołany również zmianami temperatury (dobowej czy sezonowej) – rozszerzalność i kurczliwość materiału. Efektem działania tych czynników wywołujących obciążenia pionowe i obciążenia poziome będzie, między innymi, odkształcenie nasion, powstawanie struktury gruzelkowej (łączenia się kilku lub kilkunastu nasion), a w ostateczności ich zbrylania się. Końcowym efektem może być zacopowanie wylotu silosu i zawieszenie znajdujących się w nim nasion oraz wyciek oleju [14].

Odkształcone i uszkodzone nasiona, a także zanieczyszczenia, mogą lokalnie tak znacznie zmniejszyć objętość wolnej przestrzeni w warstwie nasion, że staje się ona nieprzepuszczalna dla powietrza. Takie obszary nie mogą być przewietrzane, co sprzyja występowaniu lokalnych dużych gradientów temperatury i wilgotności. Dopuszcza to do szybkiego rozwoju bakterii i grzybów, które wywierają znaczny wpływ na jakość magazynowanego materiału [2,14]. Dzieje się tak pod wpływem groźnych dla zdrowia mykotoksyn [47], które mogą zagrażać zdrowiu ludzi i zwierząt. Powodują one silne uszkodzanie wątroby, nerek i centralnego układu nerwowego. Najgroźniejszą jest alfatoksyna wytwarzana przez *Aspergillus flavus* i *Aspergillus restrictus* [137]. Badania przeprowadzone na przechowywanych nasionach rzepaku

[74] wykazały znaczne ilości kolonii grzyba *Aspergillus flavus*. Najbardziej podatne na rozwój grzybów są nasiona niedojrzałe. Jak wykazały badania Bieleckiej i in. [2] na rozwój mikroflory (bakterii mezofilnych, proteolitycznych, lipolitycznych, drożdży, pleśni) wpływa wysoka wilgotność nasion oraz stopień ich uszkodzeń. Do dłuższego przechowywania nasion rzepaku istotne jest również stwierdzenie – że wysoką jakość mikrobiologiczną nasion zapewnia wilgotność poniżej 6%, gdyż gwarantuje ona zahamowanie rozwoju mikroflory.

Większa ilość wody w nasionach oraz poziom ich uszkodzeń powoduje, że w czasie składowania intensywniej one oddychają. Wpływa to na dalszy wzrost wilgotności oraz temperatury, a w następstwie przyspieszone utlenienie tłuszczów, a tym samym zepsucie surowca. Nasiona dojrzałe zawierają więcej związków wysokospolimeryzowanych i przez to są trwalsze od niedojrzałych. Zawierają również dużo barwników chlorofilowych, co daje olej o ciemnej, niepożądanej barwie i obniżonej trwałości. Dlatego też temperaturę 25°C dla nasion rzepaku uważa się za krytyczną, gdyż powoduje ona przyspieszenie przemian biochemicznych oraz aktywne rozmnażanie się mikroorganizmów, co prowadzi do szybkiego obniżenia wartości technologicznej nasion rzepaku.

Ocenę wpływu zróżnicowanych warunków przechowywania na jakość nasion rzepaku, prowadzono na stanowisku symulującym silosy przemysłowe. W badaniach uwzględniono: temperaturę przechowywanych nasion (7, 20 i 30°C), ich wilgotność (6 i 11%), obciążenie (150 i 300 kPa) oraz czas przechowywania.



Rys. 21. Wpływ warunków przechowywania (wilgotność nasion, temperatura przechowywania, obciążenie) na zmiany wartości liczby kwasowej

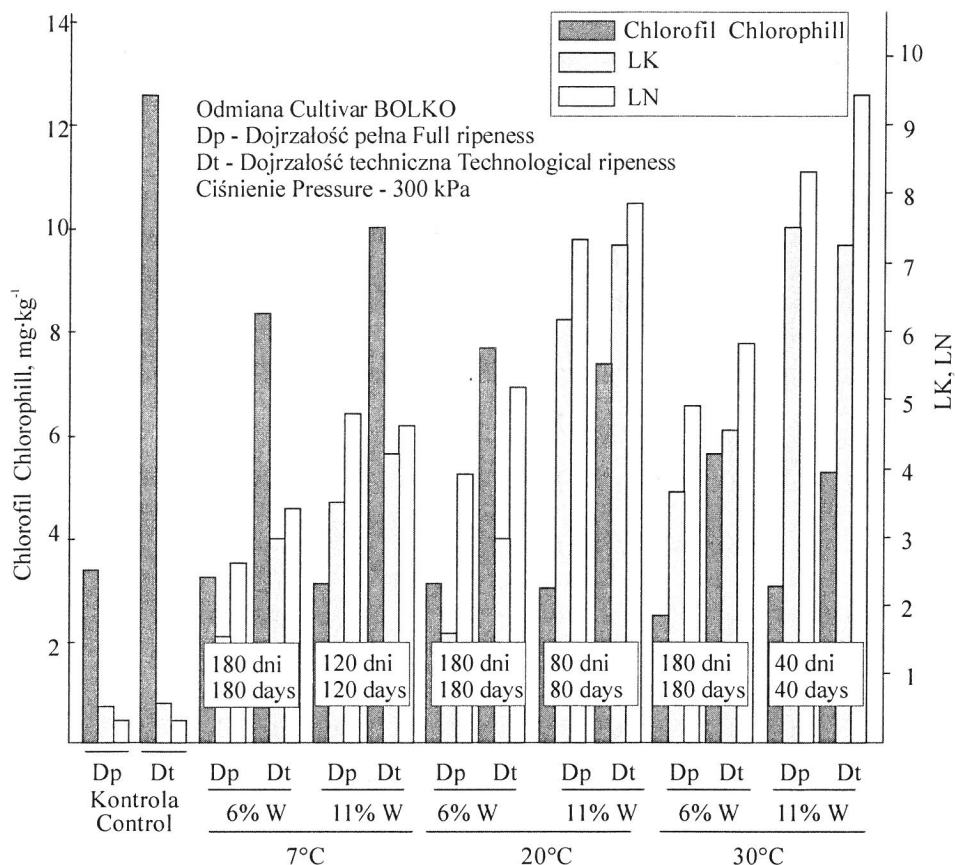
Fig. 21. Influence of storage conditions (seeds moisture, storage temperature, load) on the changeability of acid value

Uzyskane wyniki badań wskazują, że niska temperatura przechowywania 7°C oraz niska wilgotność 6% wpływały najkorzystniej na jakość przechowywanych nasion rzepaku (rys. 21). Znalazła tu potwierdzenie stara maksyma przechowalników „sucho i chłodno”. Stąd bardzo niewielkie zmiany LK (po 180 dniach przechowywania wzrost wartości do 1,2). Natomiast nasiona o wilgotności 11%, przechowywane w tych samych warunkach wykazywały stały wzrost LK, aby po 100 dniach uzyskać wartość 4,2. Po tym okresie na nasionach zaobserwowano sukcesywny rozwój mikroorganizmów (pomimo niskiej temperatury), co doprowadziło do stopniowego zbrylenia badanej próbki i zaniechania dalszej oceny. Tymczasem próba określenia maksymalnego czasu składowania nasion o wilgotności 11% w temperaturze 7°C w oparciu o publikowane dane [94,133] wykazała, że bez żadnych obaw materiał taki można składować przez ponad 300 dni (nawet 372 dni).

Wysoka temperatura przechowywanych nasion (30°C) wpływała na wzrost liczby kwasowej nawet pomimo niskiej wilgotności nasion (6%). Po 180 dniach wystąpił wzrost wartości tego parametru do 4,1. Nasiona o wysokiej wilgotności (11%) przechowywane w tych samych warunkach (30°C) wykazały już po 20 dniach wzrost liczby kwasowej do 2,8, a po 40 dniach do wartości 7,5, co dyskwalifikuje je, jako materiał dla przemysłu tłuszczowego.

Kompleksową ocenę wpływu warunków przechowywania na cechy jakościowe nasion przedstawiono na przykładzie odmiany Bolko. Dodatkowym czynnikiem, który uwzględniono była dojrzałość nasion i zawartość chlorofilu (rys. 22).

Analizując zawartość chlorofilu w nasionach stwierdzono, że jego ilość malała z czasem przechowywania. Barwniki chlorofilowe są wrażliwe na temperaturę i działanie światła słonecznego, które powodują ich rozkład. Spadek ten przebiegał najszybciej w nasionach o najwyższej wilgotności (11%) oraz przechowywanych w wysokiej temperaturze (30°C). Niska temperatura działała nie tylko konserwująco na zawartość liczby kwasowej czy nadtlencowej lecz również na zawartość chlorofilu w nasionach. Zapewniła ona także skład chemiczny podobny do tego, jaki występował w nasionach tuż po zbiorze. Zwraca uwagę znacznie wyższy udział chlorofilu w nasionach pochodzących ze zbioru dwuetapowego ($12,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) podczas, gdy w nasionach pochodzących ze zbioru jednoetapowego wynosił $3,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. LK rosła wraz z temperaturą przechowywania i wilgotnością nasion. Najwyższe wartości LK (6,1-7,3) wystąpiły w nasionach o 11% wilgotności, przechowywanych w temperaturze 20°C (80 dni składowania) oraz 30°C (40 dni składowania). Dojrzałość nasion miała w tym przypadku mniejszy wpływ na LK oraz LN. Najwyższe wartości LN wahały się w przedziale od 7,2 (dojrzałość pełna, 11% i 20°C) do 9,1 (dojrzałość techniczna, 11%, 30°C). Nasiona kontrolne, przechowywane w worku w warunkach magazynowych miały LK i LN ok. 0,5.



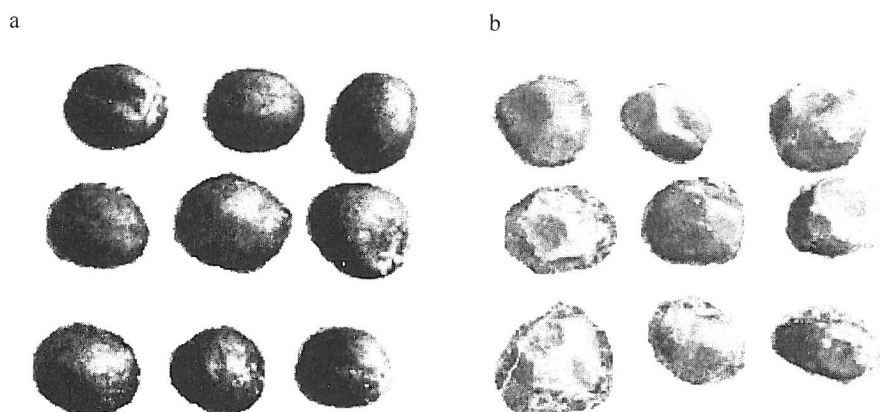
Rys. 22. Wpływ warunków przechowywania na wartość technologiczną nasion rzepaku (chlorofil, LK, LN)

Fig. 22. Influence of storage conditions on the technological value of rape seeds (chlorophyll, LK, LN)

Przechowywane nasiona rzepaku ze względu na skład chemiczny, dojrzałość i wilgotność, charakteryzują się bardzo niejednorodną wytrzymałością mechaniczną. Poznanie tych właściwości umożliwi z jednej strony interpretację zachodzących w czasie składowania zjawisk, z drugiej zaś strony przyczyni się do optymalizacji procesu przechowywania nasion rzepaku.

Przeprowadzone badania wykazały, że w przypadku stałych obciążeń (wywołanych stałym ciśnieniem w komorze) głównymi czynnikami decydującymi o deformacji nasion, a co się z tym wiąże o ich skłonności do zbrylania, są wilgotność nasion i temperatura przechowywania. Nieoczekiwanym innym czynnikiem, który w bardzo znacznym stopniu wpływał na stopień odkształcenia okazała się dojrzałość nasion. Na rysunkach 23 a i b przedstawiono nasiona rzepaku o wilgotności 11%, przechowywane w 7°C, przy obciążeniu 300 kPa po

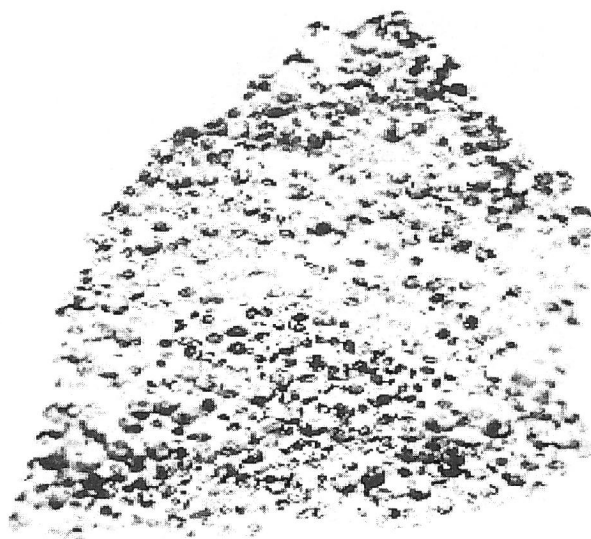
40 dniach przechowywania. Największym odkształceniom uległy nasiona o niepełnej dojrzałości (nasiona ciemno – czerwone i czerwono – brunatne.



Rys. 23. Nasiona po 180 dniach przechowywania: a – nasiona dojrzałe, b – nasiona niedojrzałe
Fig. 23. Rapeseed after 180 days of storage: a – mature seed, b – immature seed

Nasiona takie dłużej przechowywanie inicjują stopniowy proces zbrylania, a także rozwój szkodliwych mikroorganizmów, co doprowadza do groźnego zjawiska jakim jest zbrylanie nasion. Zlegiwanie nasion jest zjawiskiem niekorzystnym, które powstaje w wyniku wzajemnego nacisku nasion na siebie, co wpływa na wydostawanie się oleju na okrywę nasienną, towarzyszy temu często rozwój mikroorganizmów, które znajdują łatwą pożywkę do swego rozwoju. Deformacja nasion (uzależniona od wielkości naprężeń stykowych między przechowywanymi nasionami) wywołana warunkami przechowywania wynika z właściwości samych nasion (mają zbyt małą wytrzymałość). Przyczyny te, a także większa wilgotność nasion oraz ich niewłaściwa dojrzałość doprowadzają do zbrylania nasion (rys. 24). Powoduje to obniżenie przepuszczalności oraz zmianę przewodnictwa cieplnego w wyniku czego dochodzi do samozagrzewania.

Początkiem zbrylania (I faza) jest odkształcenie nasion czyli uszkodzenie struktury nasienia, co powoduje uwalnianie enzymów wpływając w ten sposób na wartości technologiczne i mechaniczne nasion, obniżają przepuszczalność gazów, a także zmieniają przewodnictwo cieplne. Najczęstszym powodem zlegiwania jest ciśnienie górnych warstw nasion lub powstawanie warunków jakie sprzyjają samozagrzewaniu (duża wilgotność nasion, niewłaściwa ich dojrzałość, zbyt duże obciążenie). A więc, utrata naturalnej sypkości nasion doprowadza do pogorszenia ich wartości technologicznej (wzrost liczby kwasowej i nadtlenkowej), a także intensyfikuje rozwój szkodliwych grzybów i bakterii.

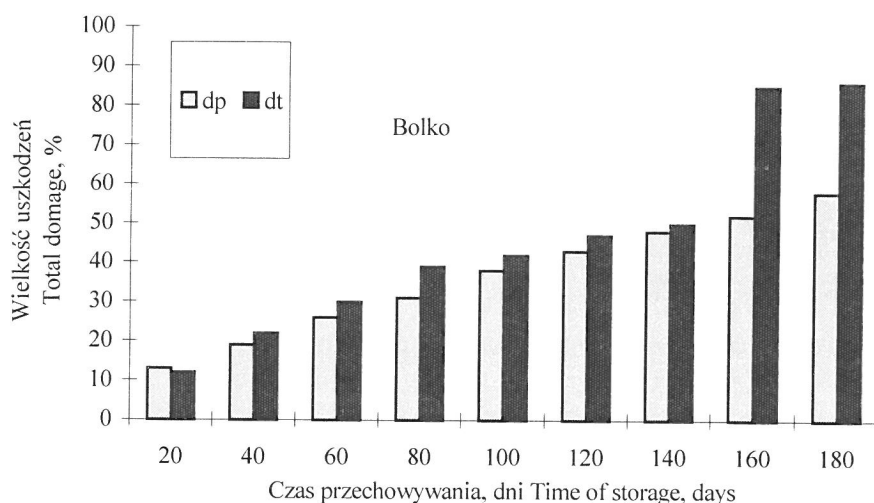


Rys. 24. Nasiona rzepaku całkowicie zbrylone i opanowane przez mikroorganizmy. Czas składowania 180 dni, wilgotność nasion 11%, temperatura składowania 30°C

Fig. 24. Rapeseed completely caked and contaminated with microorganismus storage period 180 days, rapeseed humidity 11%, storage temperature 30°C

Monitorowanie zmian zachodzących w nasionach rzepaku, poddanych składowaniu w warunkach symulujących silosy przemysłowe (temperatura przechowywania, wilgotność nasion ich dojrzałość, oraz wielkość obciążenia) może być przyczynkiem do lepszego poznania procesów zachodzących w nasionach. Na tej podstawie można również wskazywać graniczne czasy przechowywania uwzględniające wartości parametrów, które decydują o jakości przechowywanych nasion.

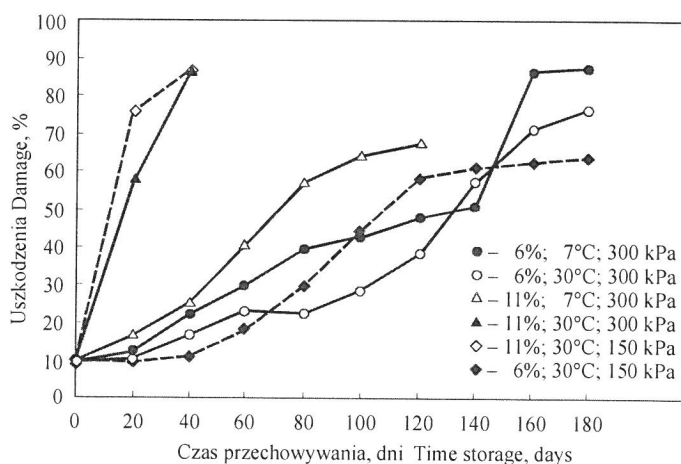
Badania przeprowadzono na aparacie, umożliwiającym ocenę wytrzymałości nasion na obciążenia dynamiczne. Wykazały one (rys. 25), że nasiona poddane procesowi przechowywania wykazują znacznie gorsze właściwości mechaniczne (ponad 60% nasion uszkodzonych) w porównaniu do kontroli (ok. 10% nasion uszkodzonych). Wyrażna różnica występuje również w wytrzymałości nasion pochodzących ze zbioru jedno- i dwuetapowego. Nasiona pochodzące ze zbioru dwuetapowego charakteryzują się gorszymi (o ok. 20%) wartościami tego parametru. Odporność ta maleje wraz z czasem składowania i ulega pogorszeniu pod wpływem niekorzystnych warunków składowania (wysoka temperatura, wilgotność).



Rys. 25. Wpływ czasu przechowywania na wielkość uszkodzeń nasion

Fig. 25. Amount of damage rapeseed after 180 days of storage

Odporność nasion na uszkodzenie uzależniona jest nie tylko od czasu przechowywania, odmian, lecz również od warunków w jakich nasiona przebywają. Dla odporności nasion na uderzenie najgorszymi czynnikami są: wysoka wilgotność nasion (11%) i wysoka temperatura przechowywania (30°C) – rysunek 26.



Rys. 26. Zmiany wytrzymałości nasion rzepaku odmiany Bolko podczas przechowywania w zależności od wilgotności, temperatury przechowywania i obciążenia nasion

Fig. 26. Endurance changeability of Bolko rape cultivar seeds during storage depending on moisture, storage temperature and seeds load

Najwyższą wytrzymałość mechaniczną wykazywały nasiona o 6% wilgotności przechowywane w temperaturze 30°C i poddane obciążeniu 150 kPa. Ich ocena po 180 dniach przechowywania wykazała, że ok. 60% nasion uległo uszkodzeniu. Nieco gorsze okazały się nasiona o 6% wilgotności przechowywane w 7 i 30°C i poddane obciążeniu 300 kPa.

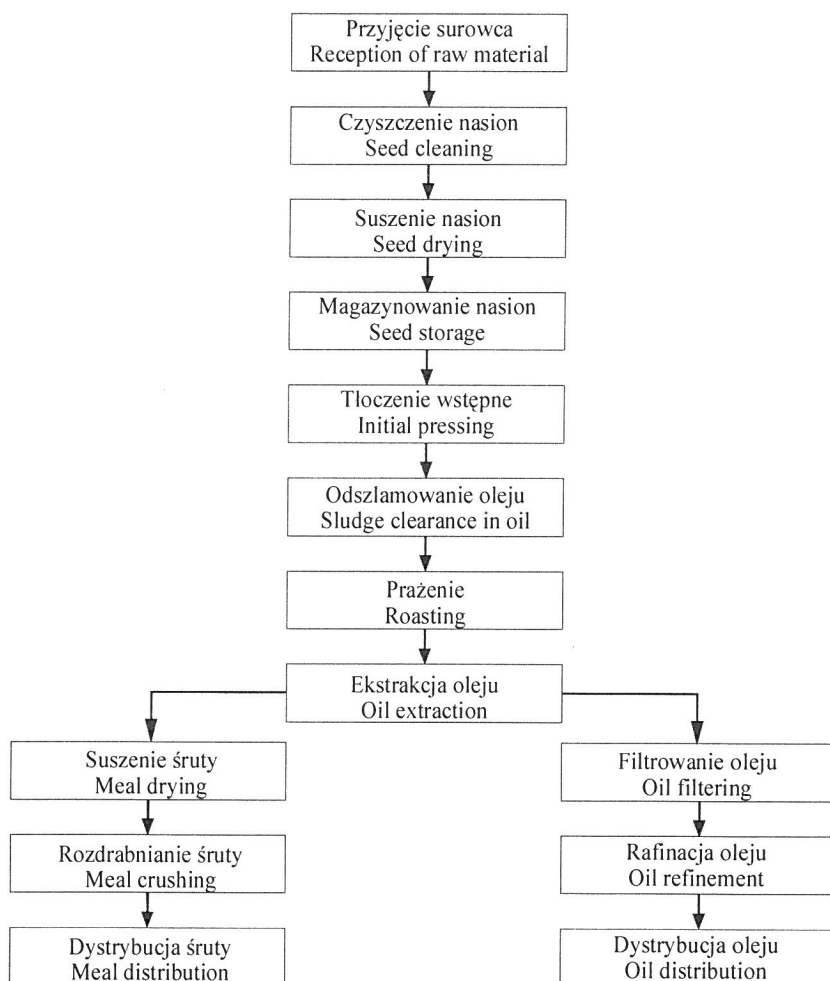
6. PARAMETRY I PRZEBIEG PROCESU PRODUKCJI PALIWA RZEPAKOWEGO

6.1. Otrzymywanie oleju

W Polsce stosuje się trzy podstawowe technologie olejarskie, uzależnione od skali uzysku produktu finalnego. Duże olejarnie przemysłowe stosują technologię polegającą na wstępnym tłoczeniu oleju przy pomocy pras ślimakowych z ziarna uprzednio poddanego kondycjonowaniu w prażalni. Drugim etapem jest ekstrakcja pozostałej części oleju z wytloku przy pomocy rozpuszczalnika. Technologia ta pozwala na uzyskanie trzech produktów końcowych: oleju surowego, oleju poekstrakcyjnego oraz śrutu poekstrakcyjnej. Wskaźnik uzysku oleju otrzymanego w przypadku tej technologii waha się w granicach 0,41-0,42. Zdolności przerobowe olejarni wykorzystujących technologię klasyczną zawierają się w granicach 200-700 ton rzepaku na dobę. Technologia klasyczna posiada jednak pewne wady. Śruta poekstrakcyjna ma zdecydowanie mniejszą przydatność paszową ze względu na silnie zdenaturowane białko oraz zawiera resztki rozpuszczalnika. Instalacja do ekstrakcji posiada wysoki wskaźnik zagrożenia wybuchem, emituje do atmosfery węglowodory alifatyczne, a wody technologiczne są skażone węglowodorami oraz produktami siarkoorganicznymi.

Olejarnie małe, o zdolnościach przerobowych około 50 ton na dobę, stosują proces jedno- lub dwustopniowego tłoczenia na gorąco oleju z nasion rzepaku. Przed przystąpieniem do procesu właściwego tłoczenia, nasiona są odpowiednio rozdrabniane oraz kondycjonowane. W efekcie otrzymuje się olej surowy oraz wytlók. Uzysk oleju surowego jest w tym przypadku odpowiednio mniejszy i waha się w granicach 0,32-0,38, zależnie od zastosowanego procesu oraz stężenia oleju w surowcu wyjściowym. W przeciwieństwie do technologii klasycznej, technologia tłoczenia końcowego na gorąco jest proekologiczna, a walory paszowe wytloku są zdecydowanie większe (wyższa zawartość białka rozpuszczalnego, wyższa wartość energetyczna, brak resztek rozpuszczalnika).

Olejarnie bardzo małe, mające zdolności przerobowe 1-15 ton na dobę, tzw. miniolejarnie wykorzystują technologię końcowego tłoczenia na zimno, stosując proces jedno lub dwustopniowy po uprzednim częściowym rozdrobnieniu nasion i podgrzaniu ich do temperatury nie wyższej niż 45°C. Stosowanie tej technologii pozwala na otrzymanie wskaźnika uzysku oleju z nasion rzepaku 0,25-0,29 [147].



Rys. 27. Schemat technologiczny produkcji oleju rzepakowego

Fig. 27. Technological draft of rape oil production

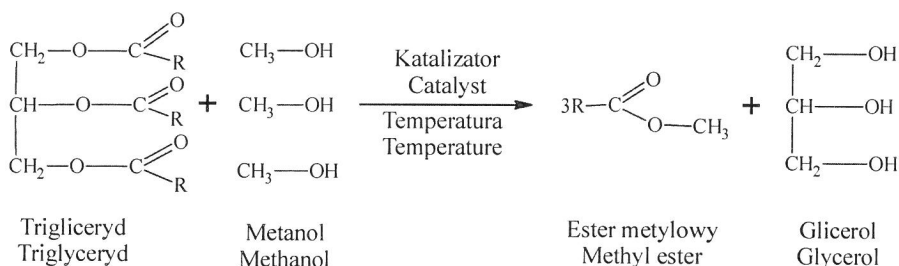
Proces otrzymywania oleju rzepakowego jako surowca do produkcji estrów oleju rzepakowego, składa się z trzech podstawowych operacji technologicznych: rozdrabnianie nasion rzepaku, tłoczenie oleju, filtracja oleju. Zabiegi te mogą być prowadzone w małych olejarniach o niewielkich zdolnościach przerobowych, tj. 0,1-0,5 t nasion na godzinę, jak również w olejarniach przemysłowych o znacznie większej wydajności osiągających nawet 50 000 ton rocznie. W zakładach olejarskich o dużych zdolnościach przerobowych proces pozyskiwania oleju z nasion jest wzbogacony w dodatkowe procesy: ekstrakcję, bielenie i ponowną filtrację [106].

6.2. Metody produkcji estrów

Istnieje wiele metod produkcji biopaliwa z olejów roślinnych, np.: kraking termiczny i katalityczny, elektroliza i metoda transestryfikacji. Przemysłowe wykorzystanie znalazła przede wszystkim metoda transestryfikacji, polegająca na otrzymywaniu estrów niższych alkoholi i wyższych kwasów tłuszczowych olejów roślinnych w reakcji mieszaniny oleju z alkoholem etylowym lub metylowym w obecności alkalicznego katalizatora. W standardowym procesie wytwarzania biopaliwa z oleju rzepakowego wyodrębnia się następujące operacje technologiczne:

- estryfikacja oleju rzepakowego,
- rozdzielanie produktów estryfikacji,
- oddestylowanie metanolu,
- oczyszczanie estru.

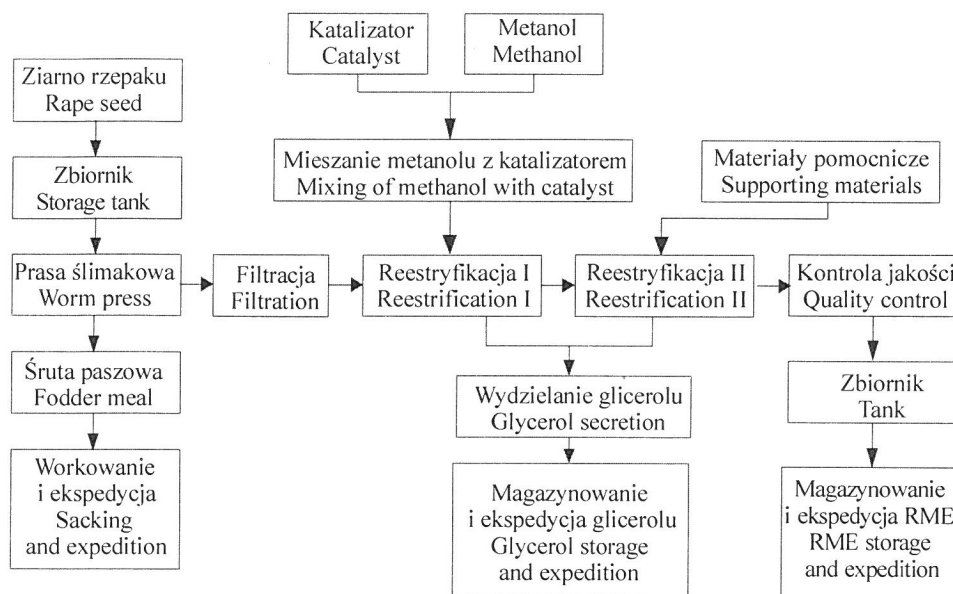
Główny etap procesu oparty jest na reakcji transestryfikacji alkoholem (metanol, etanol) oleju rzepakowego w wyniku, której powstają estry alkoholi oraz glicerol. Każda cząsteczka alkoholu tworzy z resztą kwasu tłuszczowego odrębną cząsteczkę monoestru. W przypadku, gdy trigliceryd zawiera trzy różne kwasy tłuszczowe w swej cząsteczce, uzyskuje się mieszaninę estrów oleju rzepakowego. W większości stosowanych procesów produkcyjnych używa się do prowadzenia procesu metanol, głównie ze względu na koszt surowca.



Rys. 28. Ogólny schemat przebiegu reakcji estryfikacji

Fig. 28. General draft of estrification reaction course

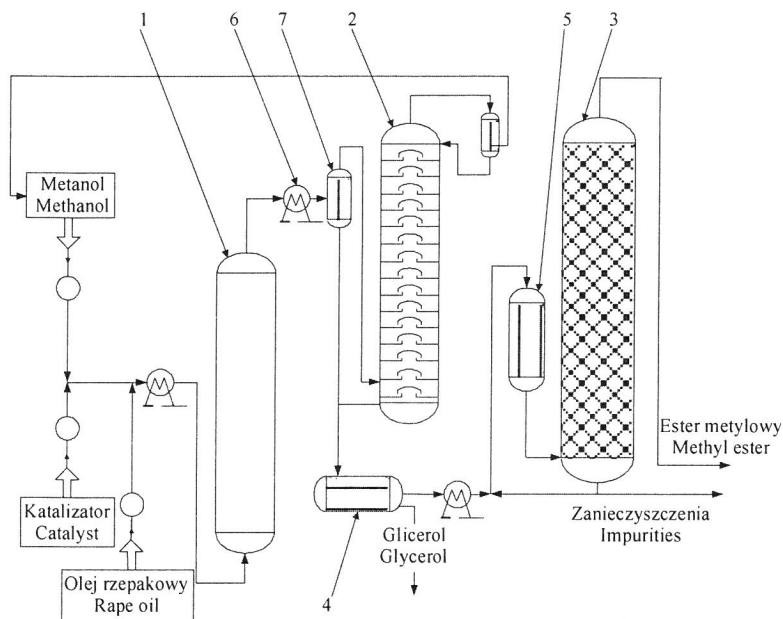
Proces produkcji estrów alkoholowych oleju rzepakowego można prowadzić metodą ciśnieniową i bezciśnieniową. Metoda ciśnieniowa wymagająca zastosowania dużych ciśnień oraz metoda bezciśnieniowa, w której proces przebiega pod ciśnieniem atmosferycznym. Obecnie wśród znaczących producentów biopaliw (osiągających wydajności kilkaset ton paliwa na dobę) w Europie i na Świecie, najczęściej stosowaną metodą wytwarzania estrów jest reestryfikacja olejów roślinnych metanolem [39].



Rys. 29. Ogólny schemat procesu przetwarzania ziarna rzepakowego na biopaliwo do silników o ZS [41]
 Fig. 32. General draft of the process of rape grains processing into biofuel for engines with ZS [41]

Metoda ciśnieniowa polega na prowadzeniu procesu w systemie ciągłym w temperaturze 240°C i pod ciśnieniem około 9 MPa. Surowy olej rzepakowy wraz z metanolem i katalizatorem w odpowiednich proporcjach jest pompowany do kolektora, gdzie następuje zmieszanie. Następnie mieszanina trafia do podgrzewacza, w którym następuje zainicjowanie reakcji. Podgrzana mieszanka podawana jest do reaktora. Wypływające z reaktora reagenty są rozprężane i rozdzielane w rozdzielaczu metanolowym na metanol oraz estry i glicerol. Metanol jest kierowany do kolumny destylacyjnej i po oczyszczeniu jest zawracany do procesu reestryfikacji. Mieszanina estrów i glicerolu odpływająca z dolnej części rozdzielacza metanolowego przepływa rurociągiem do rozdzielacza glicerynowego. Pod wpływem różnicy gęstości obu substancji następuje ich naturalna sedymentacja.

Znajdujący się w dolnej warstwie glicerol jest odprowadzany, zaś estry przechodzą do kolejnego etapu produkcji. Z rozdzielacza glicerynowego „czyste” estry metylowe podawane są przy pomocy pompy do podgrzewacza, skąd kierowane są do kolumny destylacyjnej. W zależności od wymaganej jakości i kierunku zastosowania estrów, poddaje się je destylacji frakcjonującej lub odpędowej [39].

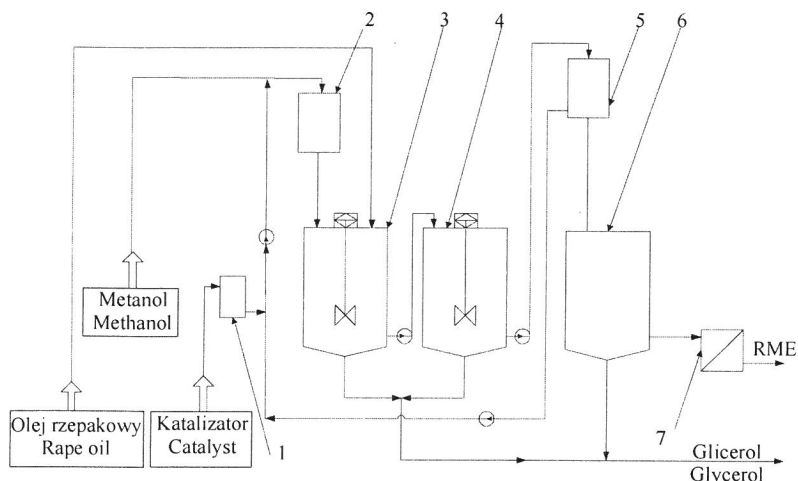


Rys. 30. Schemat linii technologicznej do produkcji estrów metylowych oleju rzepakowego metodą ciśnieniową: 1 – reaktor, 2 – kolumna destylacyjna metanolu, 3 – kolumna destylacyjna estrów, 4 – rozdzielacz glicerolu, 5 – wymiennik ciepła, 6 – podgrzewacz, 7 – rozdzielacz mieszaniny reakcyjnej

Fig. 29. Draft of technological line for the production of rape oil methyl esters by compression method: 1 – reactor, 2 – methanol distillation column, 3 – esters distillation column, 4 – glycerol distributor, 5 – heat exchanger, 6 – heater, 7 – reaction mixture distributor

Metoda bezciśnieniowa. W metodzie tej proces reestryfikacji przebiega pod ciśnieniem atmosferycznym, zaś temperatura procesu zawiera się w granicach 20-70°C. Niezbędna jest jednak obecność katalizatora alkalicznego, którego ilość zależy w dużym stopniu od temperatury prowadzenia reakcji. Im niższa temperatura tym większa ilość katalizatora. Zmniejszenie ilości katalizatora wpływa dodatkowo na ułatwienie rozdzielania produktów reakcji oraz na zmniejszenie ilości odpadów poprodukcyjnych. Takie warunki prowadzenia procesu pozwalają na zmniejszenie nadmiaru metanolu w stosunku do ilości oleju rzepakowego. W tej metodzie stosuje się mieszaninę katalizującą sporządzoną z metanolu i katalizatora alkalicznego, najczęściej w postaci wodorotlenku potasu lub wodorotlenku sodu.

Po przeprowadzeniu reakcji w mieszalniku z mieszadłem pionowym, reagenty są rozdzielane na dwie fazy: estrową (warstwa górna) i glicerynową (warstwa dolna). Glicerol jest odprowadzany na zewnątrz, natomiast surowy ester poddany jest oczyszczaniu. W przeciwieństwie do procesu ciśnieniowego, prowadzenie reakcji estryfikacji metodą bezciśnieniową wymaga zastosowania surowca o niskiej zawartości wolnych kwasów tłuszczowych [39].



Rys. 31. Schemat linii technologicznej do produkcji estrów metylowych oleju rzepakowego metodą bezciśnieniową [39]: 1 – zbiornik katalizatora, 2 – zbiornik mieszaniny katalizującej, 3 – zbiornik reakcyjny I, 4 – zbiornik reakcyjny II, 5 – urządzenie do odzysku metanolu, 6 – zbiornik końcowy, 7 – prasa filtracyjna

Fig. 30. Draft of technological line for the production of rape oil methyl esters by non-compression method [39]: 1 – catalytic converter tank, 2 – catalytic mixture tank I, 3 – reaction tank I, 4 – reaction tank II, 5 – methyl recycling device, 6 – final tank, 7 – filtration press

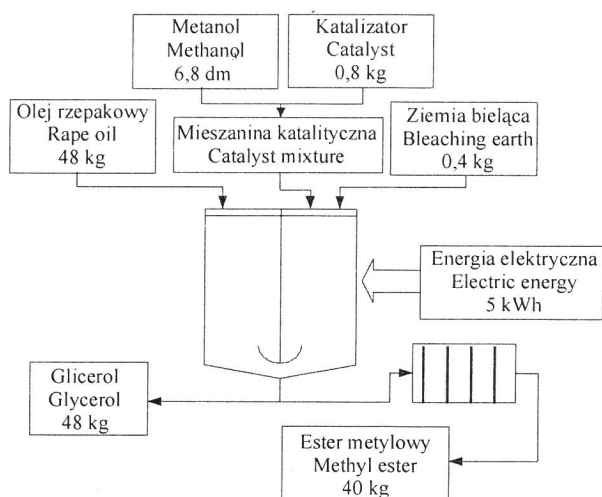
Obie metody posiadają wady i zalety. Proces wysokociśnieniowy pozwala uzyskać paliwo wyższej jakości, a jednostkowy koszt przerobu jest stosunkowo niski. Wymaga jednak zapewnienia dostaw dużych ilości surowca oraz dość znacznych nakładów inwestycyjnych, wynikających z konieczności budowy skomplikowanej instalacji, spełniającej parametry pracy w wysokich ciśnieniach i wysokiej temperaturze. Natomiast w procesie prowadzonym pod ciśnieniem atmosferycznym, wykorzystuje się olej rzepakowy o niskiej zawartości wolnych kwasów tłuszczowych, ale otrzymuje się produkt finalny o niższej jakości. Koszt jednostkowy przerobu w tej metodzie jest wyższy, jednak nie wymaga zastosowania drogiej aparatury ciśnieniowej i może być realizowany w niewielkich przetwórnich wiejskich. Przerób w agro rafineriach pozwala na zmniejszenie kosztów związanych z transportem surowca na duże odległości oraz kosztów inwestycyjnych [39].

Metody te zależnie od założeń technologii produkcji, mogą występować w różnych modyfikacjach. W Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych (PIMR), były podejmowane prace zmierzające do opracowania uproszczonej technologii wytwarzania biopaliwa do silników wysokoprężnych. Założeniami technologii opracowanej w PIMR, było obniżenie kosztów inwestycyjnych oraz związana z nimi możliwość wytwarzania biopaliwa w gospodarstwach rolnych. Technologia ta była badana w doświadczalnej wytwórni działającej w systemie okresowym [39].

Obejmuje ona pięć etapów produkcji:

- przygotowanie oleju do reestryfikacji,
- przygotowanie mieszaniny katalitycznej,
- reestryfikację,
- sedymentację,
- filtrację.

Przygotowanie oleju rzepakowego do reakcji reestryfikacji obejmuje przepompowanie go ze zbiornika magazynowego, do zbiornika będącego reaktorem odpowiedniej (odmierzonej) ilości oleju oraz jego podgrzanie.



Rys. 32. Schemat uproszczonej reestryfikacji oleju rzepakowego metanolem według technologii PIMR [41]

Fig. 31. Draft of simplified rape oil reestrication by methanol according to PIMR technology [41]

Mieszanina katalityczna sporządzana jest w specjalnie przygotowanym do tego celu zbiorniku z mieszadłem, do którego podawany jest metanol i katalizator w odpowiednich proporcjach. Mieszanina katalizująca jest gotowa do użycia po całkowitym rozpuszczeniu się katalizatora w metanolu.

Gdy olej osiągnie właściwą temperaturę otwiera się zawór spustowy zbiornika z mieszką katalityczną, rozpoczynając właściwy proces produkcji estrów. Dla prawidłowego procesu reakcji oraz skrócenia jego czasu, stosuje się w reaktorze intensywne mieszanie. Cały proces zachodzi pod ciśnieniem atmosferycznym, natomiast gdy reakcja dobiegnie końca przerywa się mieszanie.

W tym momencie w reaktorze rozpoczyna się czwarty etap procesu produkcji – sedymentacja. Następuje wtedy grawitacyjny rozdział produktów reakcji na dwie warstwy. Produkt uboczny reakcji – glicerol – osiada w dolnej stożkowej

części zbiornika, po czym jest odprowadzany poprzez otwarcie zaworu spustowego w dolnej części reaktora do zbiornika glicerolu.

Po całkowitym odprowadzeniu glicerolu tym samym zaworem odprowadza się estry, które trafiają do prasy filtracyjnej pracującej pod ciśnieniem. Po przefiltrowaniu gotowe estry trafiają do zbiornika produktu finalnego [39]. Szczegółowy przebieg procesu produkcji paliwa rzepakowego według technologii opracowanej przez PIMR, podano w tabeli 13 [41].

Tabela 13. Szczegółowy przebieg procesu produkcji biopaliwa rzepakowego według technologii opracowanej w PIMR [41]

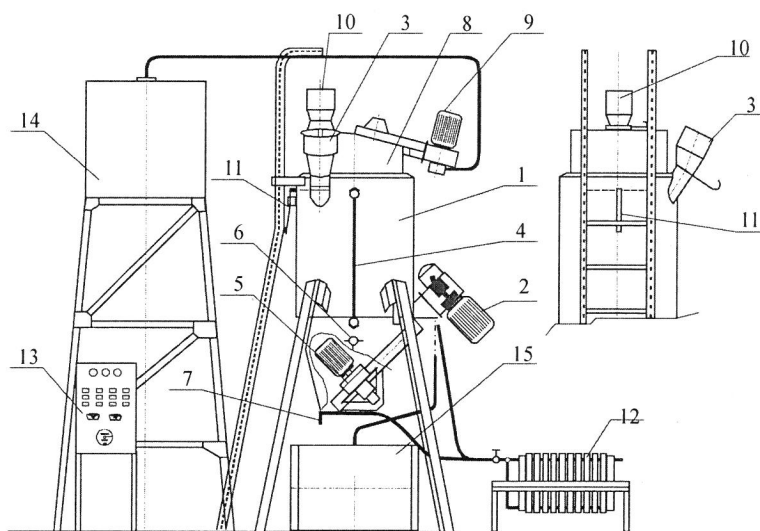
Table 13. Detailed description of the production process of rape biofuel according to the technology developed at PIMR [41]

Zbiornik główny – reaktor Main tank – reactor		Zbiornik mieszalnik Agitation tank	
Czynność Activity	Czas Time min	Czynność Activity	Czas Time min
1. Przygotowanie oleju do pierwszej reestryfikacji oraz sporządzenie mieszaniny katalitycznej pierwszej Preparation of oil to reestricification I and production of catalyst mixture I			
Napełnianie zbiornika olejem rzepakowym 400 dm ³ Filling the tank of rape oil 400 dm ³	16	Napełnianie zbiornika metanolem 48 dm ³ Filling the tank with methanol 48 dm ³	8
Podgrzewanie i mieszanie – do temperatury 60°C Heating and agitation – to temperature 60°C	30	Wsypanie do zbiornika katalizatora 5,5 kg Addition of catalyst to the tank 5.5 kg	1
		Wymieszanie katalizatora z metanolem Mixing of the catalyst with methanol	10
2. Reestryfikacja pierwsza (następuje po podgrzaniu oleju surowego do temperatury 60°C) Reestricification I (occurs after heating raw oil to the temperature 60°C)			
Wlanie do zbiornika mieszaniny katalitycznej Adding the catalyst mixture to the main tank	4	Spuszczenie mieszaniny katalitycznej Letting the catalyst mixture out of the tank	4
Reestryfikacja – mieszanie i podgrzewanie Reestricification – agitation and heating	30		
Sedymentacja Sedimentation	120		
Spuszczanie glicerolu Letting glycerol out	30		
3. Przygotowanie mieszaniny estrów do drugiej reestryfikacji oraz sporządzenie mieszaniny katalitycznej drugiej Preparation of esters mixture to reestricification II and production of catalystmixture II			
Podgrzewanie i mieszanie – do temperatury 60°C Heating and agitation – to the temperature 60°C	16	Napełnianie zbiornika metanolem 5,8 dm ³ Filling the tank with methanol 5.8 dm ³	1
		Wsypanie do zbiornika katalizatora 0,63 kg KOH Addition of catalyst to the tank 0.63 kg KOH	1
		Wymieszanie katalizatora z metanolem Mixing of the catalyst with methanol	10
4. Reestryfikacja druga (następuje po podgrzaniu mieszaniny estrów pozostałych w zbiorniku do temperatury 60°C) 4. Reestricification II (occurs after the heating of the esters mixture remaining in the tank to the temperature 60°C)			
Wlanie do zbiornika mieszaniny katalitycznej Adding the catalyst mixture to the main tank	4	Spuszczenie mieszaniny katalitycznej Letting the catalyst mixture out of the tank	4
Reestryfikacja druga – mieszanie i podgrzewanie Reestricification II – agitation and heating	30		
Sedymentacja Sedimentation	960		
Spuszczanie glicerolu Letting glycerol out	10		

Tabela 13. cd.

Table 13. Cont.

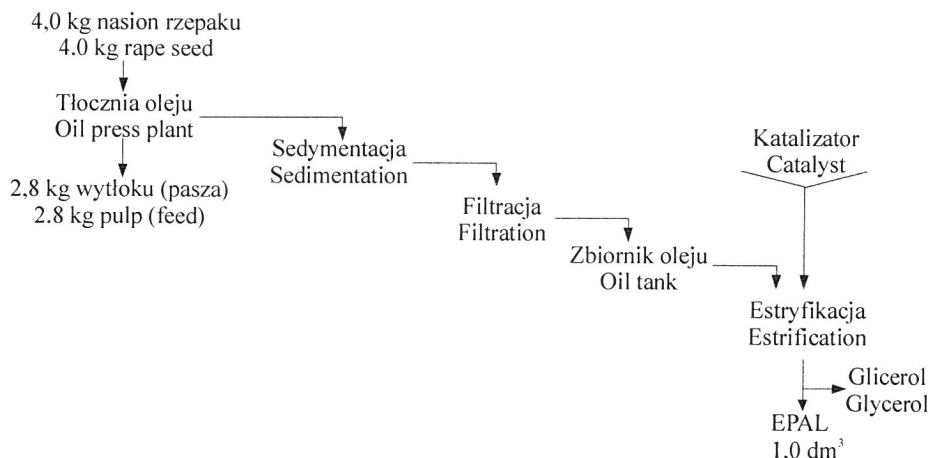
5. Przygotowanie mieszaniny estrów do oczyszczania Preparation of esters mixture to refinement	
Podgrzewanie i mieszanie – do temperatury 70°C Heating and agitation – to the temperature 70°C	30
6. Oczyszczanie (następuje po podgrzaniu mieszaniny estrów pozostałych w zbiorniku do temperatury 70°C) Refinement (occurs after the heating of the esters mixture remaining in the tank to the temperature 70°C)	
Wsypianie do zbiornika ziemi bielącej 3,7 kg Addition of bleaching earth to the tank 3.7 kg	1
Oczyszczanie – mieszanie i podgrzewanie Refinement – agitation and heating	30
7. Filtracja Filtration	
Przepompowywanie paliwa ze zbiornika – reaktora przez filtr do zbiornika magazynowego Pumping the fuel from the reactor-tank through the filter to the storage tank	30



Rys. 33. Wytwórnia o wydajności 400 dm³ paliwa na dobę zaprojektowana w PIMR [41,58]: 1 – zbiornik reaktora dolny, 2 – zespół napędowy I, 3 – zasyp ziemi bielącej, 4 – wskaźnik poziomu paliwa, 5 – mieszadło, 6 – grzałka elektryczna, 7 – zawór spustowy, 8 – zbiornik mieszalnik górny, 9 – zespół napędowy II, 10 – zasyp katalizatora z zasuwą, 11 – dźwignia zaworu spustowego, 12 – prasa filtracyjna, 13 – szafa sterownicza, 14 – zbiornik metanolu, 15 – beczka z olejem rzepakowym

Fig. 33. Fuel factory with the daily production of 400 dm³ designed in PIMR [41,58]: 1 – bottom reactor tank, 2 – driving unit I, 3 – whitewashing earth fill, 4 – fuel level gauge, 5 – agitator, 6 – electric heater, 7 – drain valve, 8 – top agitator tank, 9 – driving unit II, 10 – catalytic converter fill with a bolt, 11 – drain valve lever, 12 – filtration press, 13 – control cabinet, 14 – methanol tank, 15 – barrel with rape oil

Proces technologiczny według Adamczyka zastosowany w Agrorafinerii Mochelek (Stacja Badawcza Wydziału Zootechnicznego Akademii Techniczno – Rolniczej w Bydgoszczy), pozwala uzyskać 1 kg biopaliwa nazwanego EPAL z 4 kg nasion rzepaku. Oprócz paliwa uzyskuje się 2,8 kg wytloku oraz pewne ilości glicerolu, mydeł i wolnych kwasów tłuszczowych [112].

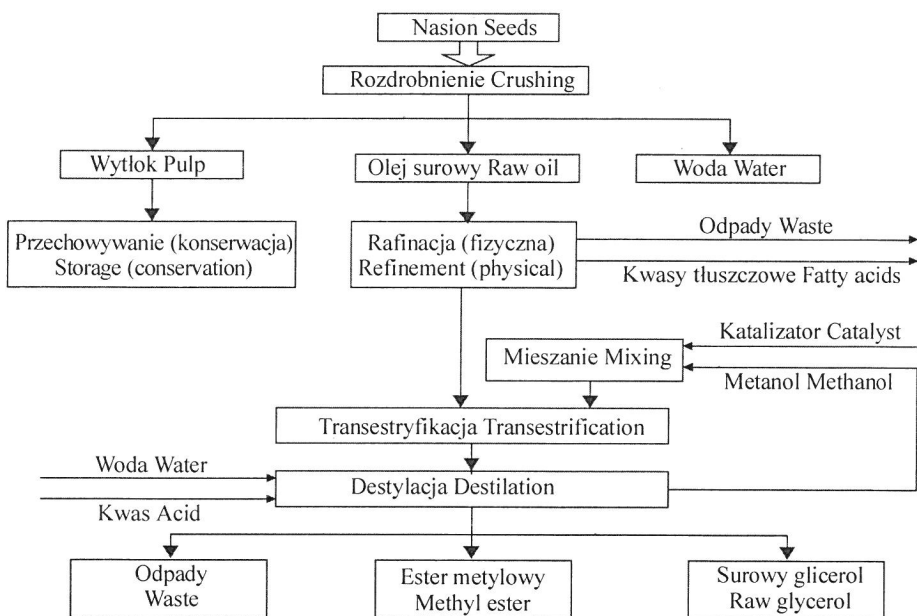


Rys. 34. Schemat ideowy produkcji biopaliwa EPAL [112]

Fig. 34. Ideological draft of EPAL biofuel production [112]

Znacznie pełniejszą technologią pozyskiwania biopaliwa jest austriacka technologia BIO-DIESEL firmy Vogel i Noot. Korzystające z tej technologii agrorafinerie wytwarzają około 1500 dm³ biodiesla na dobę, tj. ok. 450 tys. dm³ rocznie. W pełni zautomatyzowaną wytwórnę może obsługiwać jedna osoba. W technologii austriackiej produkcja rozpoczyna się od nasion, które po odpowiednim przygotowaniu (oczyszczanie, suszenie) poddawane są rozdrabnianiu. Rozdrobnione nasiona są wytłaczane na tłocznich ślimakowych, które rozdzielają produkty tłoczenia na wytlók, wodę i surowy olej. Wytłók kierowany jest do przechowywania i konserwacji, gdyż ze względu na swój skład stanowi bardzo cenną wysokobiałkową paszę dla zwierząt gospodarskich. Niewielkie ilości wody zgromadzone w nasionach są odprowadzane z procesu. Surowy olej przed trafieniem do skierowaniem etryfikacyjnego poddawany jest rafinacji w celu usunięcia ewentualnych zanieczyszczeń i wolnych kwasów tłuszczowych. W tym samym momencie przygotowywana jest mieszanina katalityczna z metanolu i katalizatora w specjalnym mieszalniku. Oczyszczony olej po rafinacji oraz przygotowana uprzednio mieszanina katalityczna trafia do reaktora i następuje transestryfikacja. Następnie mieszanina kierowana jest do destylacji, podczas której następuje oddestylowanie metanolu. Dodatek kwasu powoduje

zneutralizowanie katalizatora alkalicznego, a wody – wpływa na ułatwienie rozdzielania mieszaniny. Metanol krąży w obiegu zamkniętym i z destylacji zawracany jest ponownie do procesu. Pozostałe produkty są rozdzielane na czysty ester metylowy, odpady (woda, zneutralizowany katalizator), surowy glicerol [91].

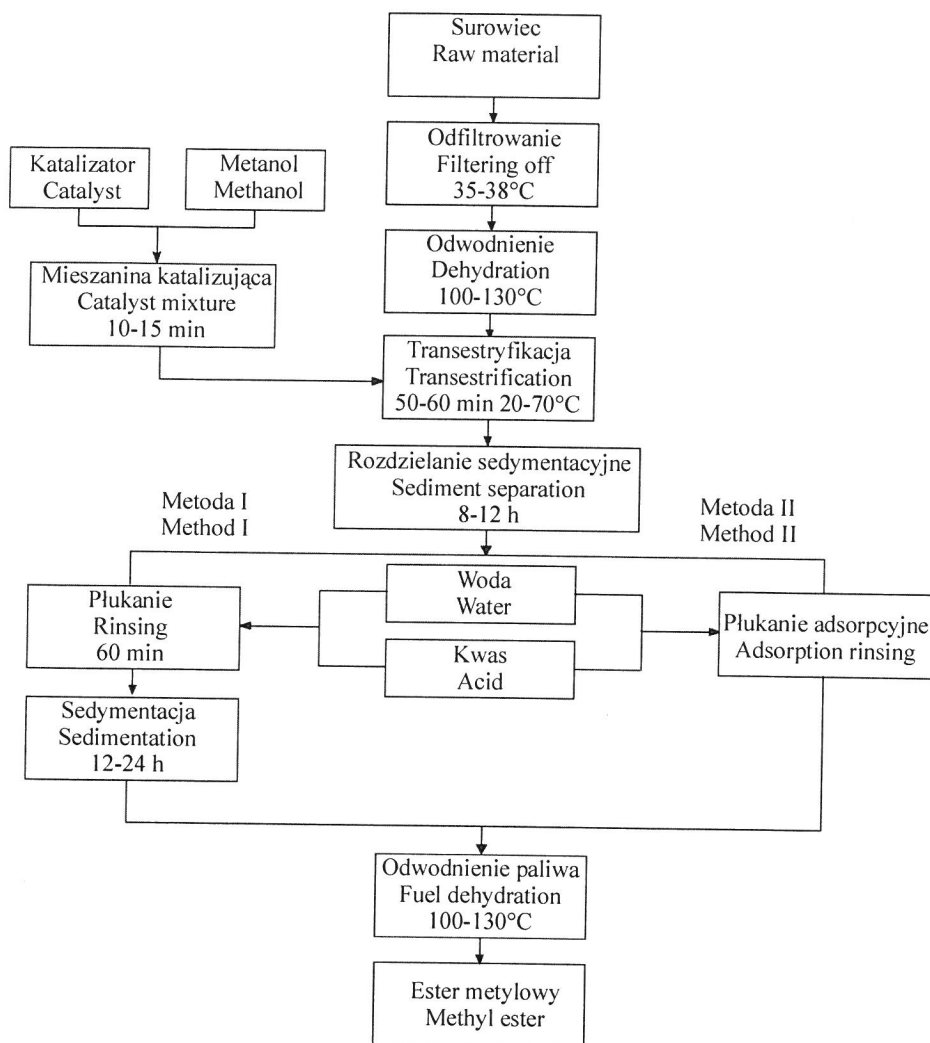


Rys. 35. Schemat produkcji estrów metylowych oleju rzepakowego według technologii BIO-DIESEL, Austria [91]

Fig. 35. Draft of rape oil methyl esters production according to the BIO-DIESEL technology, Austria [91]

Na uwagę zasługuje sposób pozyskania biodiesla podany przez Górskiego, Ostaszewskiego i Wiślickiego [43]. Według autorów technologii „biodiesel w stodole” olej napędowy z rzepaku na potrzeby własnego gospodarstwa, może wytworzyć każdy rolnik. Instalacje stosowane w tej technologii mogą być wykonane z ogólnie dostępnych materiałów.

Surowcem do produkcji bipaliwa, może być olej rzepakowy, zarówno świeży, jak i olej zużyty w gastronomii. Stare oleje spożywcze z frytownic zakładów gastronomicznych należą do najbardziej wypróbowanych surowców, z których uzyskano nowe, pełnowartościowe biopaliwo. Austriackie firmy należą do produjących w świecie w zakresie tego typu technologii produkcyjnych. Dotychczas najnowocześniejszy zakład produkcyjny uruchomiono w październiku 1998 roku w Kentucky [72].



Rys. 36. Schemat produkcji „biodiesla w stodole”

Fig. 36. Draft of the production of ‘biodiesel in a barn’

W przypadku użycia oleju gastronomicznego należy zastosować odfiltrowanie oleju, aby usunąć cząstki stałe. Proces filtracji najlepiej zachodzi w nieco podwyższonej temperaturze (35-38°C), wówczas lepsza jest płynność oleju. Zarówno olej surowy jak i „przepracowany” olej gastronomiczny, może zawierać pewne ilości wody. W celu jej usunięcia stosuje się odwadnianie poprzez podgrzanie go w pierwszej kolejności do temperatury 100°C, następnie 130°C

i schłodzenie do temp. około 48-54°C. Mieszaninę katalizującą sporządza się z metanolu i wodorotlenku sodu (NaOH). Można to wykonać w oddzielnym naczyniu odpornym na temperaturę, najlepiej z mieszadłem, gdyż po dodaniu do metanolu NaOH, mieszanina ulega znacznemu samoistnemu podgrzaniu. Niezbędną ilość metanolu do przeprowadzenia reakcji transestryfikacji, stanowi 15-20 ilości oleju. W przypadku oleju świeżego i niezawodnionego dobiera się następujące proporcje składników do reakcji: 100 dm³ oleju, 20 dm³ metanolu, 0,35 kg wodorotlenku sodu.

Transestryfikację można prowadzić w reaktorze zbudowanym z zbiornika z mieszadłem o odpowiedniej pojemności. Czas trwania reakcji jest w granicach 50-60 minut, a temperatura 20-70°C. Podczas trwania reakcji należy zapewnić ciągle, niezbyt intensywne mieszanie. Rozdzielanie sedymentacyjne przebiega identycznie, jak w innych technologiach. Optymalny czas trwania procesu to 8-12 godzin.

Płukanie estrów można prowadzić dwiema metodami. Jedną z nich prowadzi się dwuetapowo. Wstępny etap przebiega w zbiorniku z dodatkiem 5-10% wody w stosunku do objętości estru oraz z dodatkiem kwasu octowego w ilości 0,5 dm³ na 100 dm³ estru, w celu zneutralizowania i usunięcia resztek katalizatora. Proces ten wymaga mieszania, a optymalny czas jego trwania to 60 minut [43]. Drugi etap polega na naturalnej sedymentacji składników, trwającej około 12-24 h, gdzie górną warstwę stanowi ester, a dolną woda wraz z zanieczyszczeniami. Po rozdzieleniu składników mieszaniny, wodę należy spuścić, a operacje płukania powtórzyć, zależnie od efektu, 2-3-krotnie. Proces płukania powinien spowodować, że paliwo będzie miało odczyn zbliżony do obojętnego lub lekko kwaśny.

Druga z metod płukania paliwa została opracowana na Uniwersytecie w Idaho w Stanach Zjednoczonych. Istotą metody płukania bąbelkowego (adsorpcyjnego), jest adsorpcja zanieczyszczeń na pęcherzykach powietrza zawierających niewielkie ilości wody. Pęcherzyki powietrza powstają na dnie zbiornika w wyniku przejścia przez kamień porowaty. Kierując się ku górze przechodzą najpierw przez fazę wodną, porywając ze sobą niewielkie ilości wody. W momencie przechodzenia pęcherzyków powietrza przez fazę estrową cząstki zanieczyszczeń są adsorbowane na ich powierzchni. Pęcherzyki wraz z zanieczyszczoną wodą dostają się na powierzchnię. Powietrze zostaje uwolnione do otoczenia, a krople wody wraz z zanieczyszczeniami opadają przez fazę estrową ponownie ją oczyszczając. Woda i ester w zbiorniku powinny mieć tę samą temperaturę (opt. pokojową), oraz zbliżoną objętość. Proces ten jest bardziej czasochłonny, lecz pozwala na dokładniejsze oczyszczenie paliwa. Końcowym etapem całego procesu produkcji jest odwodnienie paliwa, przebiegające podobnie jak w przypadku oleju. Dodatek depresatora jest uzasadniony

w przypadku stosowania paliwa w okresie zimowym, w celu obniżenia temperatury gęstnienia paliwa [43].

6.3. Budowa i wyposażenie linii technologicznych

Przedstawione technologie produkcji wymagają odpowiednich dla swojej specyfiki maszyn i urządzeń. Technologia stosowana w PIMR była badana na doświadczalnym urządzeniu opracowanym w 1995 roku, o wydajności 63 dm^3 na dobę. Po uzyskaniu kolejnych pozytywnych wyników pracy, na podstawie prototypu zbudowano na terenie PIMR w Poznaniu wytwórnię o wydajności 400 dm^3 paliwa na dobę [58].

Podstawowymi podzespołami urządzenia są:

- zbiornik reaktor o pojemności 460 dm^3 wykonany z blachy stalowej z pokrywą stalową, złożony z części walcowej oraz dolnej stożkowej, ustawiany na 4 nogach. W części stożkowej wykonane są specjalne otwory do zamontowania grzałki, wziernika oraz mieszanadła, a u jej wylotu zamontowany jest zawór spustowy. Grzałka zanurzona w przetwarzanym oleju pracuje przy napięciu 220V, a jej moc wynosi 4 kW. Mieszanadło w postaci wirnika klatkowego o średnicy $\phi = 160 \text{ mm}$ osadzone jest na łożyskowanym wale. W celu uszczelnienia wału zastosowano dwa pierścienie typu Simmera. Napęd mieszanadła jest realizowany poprzez przekładnię pasowo-klinową, przenoszącą moment obrotowy z silnika na wał mieszanadła. Dzięki zastosowaniu jednokierunkowego sprzęgła bocznego, możliwe jest równoczesne zasilanie pompy zębatej, która tłoczy paliwo otrzymane w reaktorze do prasy filtracyjnej. Silnik elektryczny o mocy 2,2 kW jest przymocowany do płyty umocowanej zawiasowo, co pozwala łatwo regulować napinanie paska klinowego. Silnik, pompa oraz grzałka są uruchamiane za pomocą styczników w postaci wyłączaczy termobimetalowych, a współpracą wszystkich układów kieruje programator.
- mieszalnik jest zbiornikiem o objętości 70 dm^3 umiejscowionym na zbiorniku reaktora, wyposażonym w króciec zasypowy katalizatora z zasuwą oraz zawór spustowy. W zbiorniku mieszalniku zainstalowano mieszanadło napędzane silnikiem elektrycznym o mocy 5,5 kW.
- prasa filtracyjna, składająca się z 18 płyt filtracyjnych i 18 komór osadczych, w której zastosowano jako przegrody filtracyjne przegrody kartonowe [41,58].

Specyfikację urządzeń zastosowanych w wytwórni paliwa rzepakowego przedstawiono w tabeli 14.

Tabela 14. Specyfikacja urządzeń występujących w wytwórni paliwa rzepakowego zbudowanej według technologii PIMR [58]

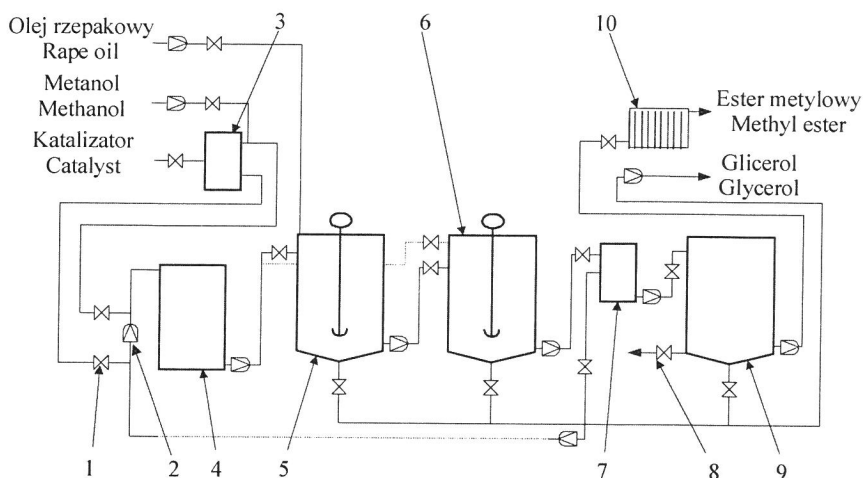
Table 14. Properties of fatty acid methyl esters in rape oil (rape fuel) obtained according to PIMR technology [58]

Urządzenie Facility	Wytwórnia paliwa o wydajności Fuel factory with the yield of	
	400 dm ³ ·(24 h) ⁻¹	1200 dm ³ ·(24 h) ⁻¹
Węzeł tłoczący Pressing unit		
Prasa ślimakowa Worm press	60 kg ziarna (grain)·h ⁻¹ 1440 kg ziarna (grain)·h ⁻¹	180 kg ziarna (grain)·h ⁻¹ 4320 kg ziarna (grain)·h ⁻¹
Kosz zasypowy ziarna Grain loading hopper	1,1 m ³	3,3 m ³
Przenośnik ślimakowy ziarna Grain auger	6 t·h ⁻¹	6 t·h ⁻¹
Przenośnik ślimakowy wylotu Pulp auger	6 t·h ⁻¹	6 t·h ⁻¹
Jednostka rektyfikacyjna Rectification unit		
Jednostka rektyfikacyjna Rectification unit	400 dm ³ paliwa/24 h (fuel)	400 dm ³ paliwa/24 h (fuel)
Zbiornik odstożnikowy Sedimentation tank	–	1,6 m ³
Prasa filtracyjna Filtering press	18 przegród filtracyjnych 18 filtering walls 400×400 mm	18 przegród filtracyjnych 18 filtering walls 400×400 mm
Zbiorniki surowców i gotowych produktów Tanks for raw materials and processed products		
Zbiornik ziarna Grain tank	4,5 m ³	13,5 m ³
Zbiornik oleju Oil tank	2,5 m ³	7,5 m ³
Zbiornik glicerolu Glycerol tank	1,0 m ³	2,5 m ³
Zbiornik paliwa Fuel tank	2,5 m ³	7,5 m ³
Zbiornik metanolu Methanol tank	0,2 m ³	0,2 m ³
Zbiornik wylotu Pulp tank	2,0 m ³	6,0 m ³
Zbiornik katalizatora Catalyst tank	50 kg	50 kg

Wytwórnia austriacka bazująca na technologii BIO-DIESEL posiada 300 udziałowców – rolników uprawiających rzepak na powierzchni 500 ha. Jest w pełni zautomatyzowana i składa się z:

- budynku o wymiarach 22×14 m,
- 4 zbiorników na olej napędowy o pojemności 30 tys. dm³,
- składowiska rzepaku o pojemności 80 ton,

- składowiska wylłoku o pojemności 60 ton,
- 8 tłoczn ślimakowych o wydajności 5 ton na dobę.



Rys. 37. Schemat instalacji do produkcji oleju napędowego z oleju rzepakowego firmy Vogel i Noot [91]: 1 – zawór, 2 – pompa, 3 – mieszalnik, 4 – zbiornik wstępny, 5 – zbiornik reakcyjny I, 6 – zbiornik reakcyjny II, 7 – urządzenie do odzysku metanolu, 8 – zawór do pobierania analiz, 9 – zbiornik końcowy, 10 – filtr

Fig. 37. Draft of the Vogel & Noot company installation for the production of engine oil from rape oil [91]: 1 – valve, 2 – pump, 3 – agitator, 4 – entrance tank, 5 – reaction tank I, 6 – reaction tank II, 7 – methanol recycling device, 8 – sample taking valve, 9 – exit tank, 10 – filter

W skład linii technologicznej do prowadzenia transestryfikacji wchodzi:

- mieszalnik do sporządzania mieszanek katalitycznej,
- zbiornik wstępny mieszanek katalitycznej,
- zbiornik reakcyjny I i II,
- urządzenie do odzysku metanolu,
- zbiornik końcowy z zaworem do pobierania próbek gotowego estru,
- filtr estru,
- zbiornik glicerolu.

6.4. Zagospodarowanie produktów ubocznych i odpadowych

Produkcja biopaliwa z rzepaku związana jest z powstawaniem produktów ubocznych. Do podstawowych produktów odpadowych należą:

- wylłok rzepakowy,
- słoma rzepakowa,
- glicerol.

Wytłok rzepakowy powstaje w procesie tłoczenia oleju rzepakowego z nasion. Jego ilość jest znaczna, gdyż stanowi 70% w stosunku wagowym, a olej stanowi pozostałe 30%. Wytłok jest cenną paszą białkową dla wszystkich gatunków i grup produkcyjnych zwierząt gospodarskich. Średnią zawartość składników pokarmowych w wytłoku podano w tabeli 15. Wytłok rzepakowy zawierają około 12% tłuszczu, 32,6% białka, i 11,2 surowego włókna roślinnego. Uwagę również zwraca wysoka zawartość cennych aminokwasów – przyswajalnej lizyny oraz metioniny i cystyny. Suma glukozyzolanów przekracza $23 \mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$, a kwas taninowy występuje w ilości $24 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Tabela 15. Skład chemiczny i wartość pokarmowa wytłoku otrzymanego metodą tłoczenia przy zastosowaniu prasy ślimakowej [112]

Table 15. Chemical content and nutritional value of pulp obtained by pressing method by means of a worm press [112]

Składnik Element	Jednostka Unit	1 kg zawiera 1kg contains
Woda Water	g	91,4
Tłuszcz surowy Raw fat	g	128,0
Białko ogólne Total protein	g	326,0
Włókno surowe Raw fiber	g	112,0
Lizyna ogólna Total lysine	g	17,6
Lizyna przyswajalna Available lysine	g	16,4
Metionina i cystyna Methionine and cystine	g	6,9
Glukozyzolanany Glucosinolate	μmol	23,5
Kwas taninowy (garbniki) Tannin acid (tannins)	g	24,0
Ca	g	6,1
P	g	9,3
Mg	g	50,1
Na	g	0,7
K	g	11,1
Białko strawne Digestible protein		
Drób Poultry	g	263,0
Trzoda chlewna Swine	g	266,0
Przeżuwacze Ruminants	g	271,0
Energia metaboliczna Metabolic energy		
Drób Poultry	MJ	9,8
Trzoda chlewna Swine	MJ	13,4
Energia netto-przeżuwacze Nett energy-ruminants	MJ	7,7

Wysoka wartość energetyczna wytłoku wynika przede wszystkim z wysokiej zawartości tłuszczu. Liczne badania żywieniowe wykazały, że wytłok jest są chętnie zjadany przez zwierzęta i korzystnie wpływa na ich produkcję.

Wytłok rzepakowy może być wykorzystany jako komponent pasz lub jako składnik lepiszcza do wytwarzania paliwa bezdymnego z odsiarczanego węgla, jako dodatek do brykietów opałowych ze słomy oraz jako podstawowy składnik mat do pokrywania hałd kopalnianych. Sensowność tych zastosowań nie została jednak dotychczas gruntownie przebadana i wymaga analiz [112].

Wcześniej powstającym produktem ubocznym jest **słoma rzepakowa**. Powstaje ona już na początku cyklu produkcyjnego. Słoma rzepakowa może być wykorzystywana w różny sposób. Część słomy w postaci siewki może zostać przyorana już na polu i stanowi w ten sposób cenny nawóz organiczny. Odpowiednio przygotowana słoma może stanowić również cenny komponent pasz objętościowych. Słoma jest także cennym surowcem energetycznym, ponieważ jej wartość opałowa wynosi około 30-40% wartości opałowej węgla kamiennego, a popiół powstały z jej spalania może być wykorzystany jako nawóz mineralny.

Zastosowanie słomy jako surowca opałowego jest celowe w czasach rosnącego zużycia energii, istotnie kurczących się zasobów nieodnawialnych oraz związanego z tym wzrostu cen paliw kopalnych. Bilans energetyczny słomy budują podstawowe składniki chemiczne w niej zawarte, tj. węgiel (ok. 48%), tlen (ok. 41%), wodór (ok. 6%). Dodatkowo istotna z punktu widzenia ekologicznego, jest znikoma zawartość siarki w słomie (0,05-0,12%) w porównaniu z węglem kamiennym (1-2%). Średnia wartość opałowa słomy wynosi $12 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, zaś drewna $15 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, a węgla kamiennego $24,5\text{-}33,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Słoma używana do spalania może występować w postaci luźnej, pociętej na siewkę, małych bel wysokiego zgniotu lub dużych bel okrągłych i prostopadłościennych oraz brykietów. Zależnie od zastosowanej formy opału należy stosować odpowiednie urządzenia przygotowujące słomę do spalania (prasy, brykietciarki, siewkarnie itp.) urządzenia spalające (kotły, piece), jak również odpowiednie techniki spalania (np. automatyczne podawanie luźnej słomy do pieca, automatyczne dozowanie ilości powietrza w odpowiednie strefy pieca itp.).

Badania [52] wykazują, że ilość energii uzyskanej ze słomy dla 1 m^3 materiału opałowego jest największa, gdy ma ona postać brykietów. Dodatkową zaletą brykietów jest także niewielka ilość zajmowanego miejsca przy magazynowaniu. Tabela 17 ilustruje techniczną ocenę spalania różnych postaci materiału opałowego ze słomy. Dobrym przykładem celowości zastosowania słomy jako materiału opałowego jest fakt, iż ze zbioru słomy z 1 ha (ok. 5 t) można uzyskać ciepło do ogrzania domu w miesiącach zimowych lub wysuszenia rzepaku z 14 ha. O wprowadzeniu w gospodarstwach rolnych słomy, jako materiału opałowego, decydują następujące czynniki: zasoby słomy w danym regionie oraz racjonalne jej wykorzystanie, koszt zbioru, koszt transportu i magazynowania, zapotrzebowanie na energię cieplną, koszt inwestycji zainstalowania instalacji do spalania, itp.

Tabela 16. Ocena techniczna spalania słomy [52]**Table 16.** Technological assessment of straw burning [52]

Wyszczególnienie Specification	Słoma cięta Cut straw	Bele małe Small bales duży zgniot Big squeeze	Bele duże Big bales		Brykiety Briquettes
			okragłe round	prostopadłe perpendicular	
Gęstość usypowa Bulk density, (kg·m ⁻³)	40-60	70-120	60-90	60-160	300-600
Masa jednostkowa Unitary mass, kg	-	8-25	300-400	200-600	0,02-0,2
Średnia objętość magazynowania Mean storage volume (m ³ ·(6000kWh) ⁻¹)	250-370	125-215	170-250	90-250	25-50
Transport:*					
– krótki odcinek – short distance	2	4	5	5	5
– długi odcinek – long distance	1	2	3	4	5
Ładunek materiału do pieca Loading of the material to the oven	ciągły	okresowy	okresowy	okresowy	ciągły okresowy
Automatyzacja ładunku* Loading automation*	5	2	2	3	5
Możliwość regulacji mocy cieplnej* Possibility of thermal power regulation*	5	4	4	4	5
Korzystne systemy spalania Effective combustion systems	piec pneumatyczny lub z mechanicznym zadawaniem pneumatic or automatically fed oven piec z dolnym paleniskiem z komorą do opalania oven with a lower furnace and combustion chamber				

*Oceny: 1 – b. niekorzystna, 2 – niekorzystna, 3 – średnio korzystna, 4 – korzystna, 5 – b. korzystna

*Assesment: 1 – v. ineffective, 2 – ineffective, 3 – medium effective, 4 – effective, 5 – v. effective

Glicerol jest produktem ubocznym powstającym w procesie estryfikacji oleju rzepakowego. Wraz z nim w procesie tym powstają również mydła i wolne kwasy tłuszczowe. Faza glicerynowa przedstawiająca właściwie wysoko skoncentrowany glicerol (około 80% roztwór), może być przekazywana do zakładów specjalizujących się w oczyszczaniu glicerolu (np. zakłady kosmetyczne, farmaceutyczne).

Możliwe jest również zastosowanie instalacji do oczyszczania glicerolu połączonej z urządzeniem do reestryfikacji, ale wiąże się to ze znacznym podwyższeniem kosztów inwestycyjnych. Koszt uzyskania glicerolu surowego podczas estryfikacji olejów roślinnych jest niższy od kosztów w dotychczasowo stosowanych tradycyjnych metodach rozszczepiania tłuszczów.

Glicerol z olejów roślinnych wykorzystywany jest zarówno w celach kosmetycznych, jak i farmakologicznych. Coraz częściej i w szerszym zakresie, jest ekologicznym surowcem do wyrobu niektórych produktów spożywczych oraz używa się go do wyrobu materiałów wybuchowych. Przy zastosowaniu własnej oczyszczalni glicerolu, otrzymuje się dodatkowy produkt uboczny w postaci cennego nawozu mineralnego fosforowo – wapniowego.

W przypadku małych przetwórni, gdzie nieopłacalnym jest budowanie instalacji oczyszczającej oraz nie jest zorganizowany skup glicerolu, można go utylizować poprzez rozcieńczenie wodą w stosunku 1:100 i dodanie do gnojówki. Mydła i wolne kwasy tłuszczowe również zależnie od otrzymywanej ilości, mogą być przekazywane do odpowiednich zakładów przetwórczych, bądź wykorzystywane we własnym gospodarstwie [41].

Szlam powstający w procesie odszlamowania paliwa może stanowić cenny dodatek do karm dla dżdżownic kalifornijskich produkujących biohumus – nawóz mineralny [19].

7. ZASTOSOWANIE ESTRÓW METYLOWCH OLEJU RZEPAKOWEGO DO ZASILANIA SILNIKÓW SPALINOWYCH

Ocenę olejów rzepakowych jako biopaliw do silników o zapłonie samoczynnym należy odnosić do trzech możliwości ich wykorzystania:

- surowy olej rzepakowy,
- estry olejów rzepakowych – FAME,
- mieszanina estrów z olejem napędowym.

Zastosowanie surowego oleju rzepakowego jest możliwe tylko w specjalnych konstrukcjach, np. silnik Elsbetta. W nieprzystosowanym technicznie silniku ze względu na gorsze właściwości robocze, zasychanie oleju powodujące unieruchamianie elementów tłoczących pomp wtryskowych, tworzenie osadów w komorze spalania oraz emisję zanieczyszczeń, stosowanie nie jest korzystne. Zastosowanie mieszaniny z olejem napędowym również nie rozwiązuje problemu, gdyż powoduje to jedynie zmniejszenie intensywności zjawiska. Zastosowanie estrów metylowych oleju rzepakowego rozwiązuje większość problemów. Optymalnym rozwiązaniem wydaje się jednak zastosowanie mieszanek estrów oleju rzepakowego z olejem napędowym.

7.1. Właściwości paliwa rzepakowego

Właściwości wyprodukowanego paliwa rzepakowego zależą przede wszystkim od zastosowanego surowca (odmiany rzepaku, jakości nasion względnie zastosowanego gotowego oleju rzepakowego) i technologii produkcji (wartości temperatury, ciśnienia, rodzaju i ilości katalizatora, stosunku molowego metanol – katalizator, czasu reakcji, itp.).

Właściwości fizykochemiczne paliwa rzepakowego, otrzymywanego według bazowej technologii PIMR, szczegółowo przebadano w Instytucie Technologii Nafty w Krakowie, a otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 17. Wyniki te porównano z wymogami austriackiej normy ÖNORM C1190. Stwierdzono, iż z wyjątkiem dużej pozostałości po koksowaniu, paliwo to spełnia większość wymagań normy przedmiotowej ÖNORM C1190. Należy nadmienić, że według badań PIMR – Poznań, przekraczająca normę pozostałość po koksowaniu nie powodowała zakłóceń pracy silników. Do niewątpliwych zalet otrzymanego biopaliwa, należy zaliczyć między innymi niską zawartość siarki, która jest 11 razy mniejsza od dopuszczalnej dla paliwa rzepakowego, oraz ponad 100-krotnie mniejsza od dopuszczalnej dla paliwa ropopochodnego.

Badania prowadzone przez Instytut Ciężkiej Syntezy Organicznej w Kędzierzynie-Koźlu, nad otrzymywaniem paliwa pochodzenia roślinnego (z oleju rzepakowego), pozwoliły już w 1988 roku na przedstawienie „Danych wyjściowych do opracowania projektu instalacji do wytwarzania estrów metylowych kwasów rzepakowych metodą transestryfikacji”. Paliwo EMKOR było testowane w Wyższej Szkole Inżynierskiej w Radomiu na samochodzie marki Tarpan. Właściwości tego paliwa potwierdziły m.in. Instytut Technologii Nafty w Krakowie oraz Instytut Lotnictwa w Warszawie [31].

Autor technologii produkcji biopaliwa o nazwie EPAL, Adamczyk podaje niektóre z ważniejszych właściwości fizykochemicznych i zaznacza, że jest to zgodne z wymaganiami polskiej normy, jak i norm zagranicznych dotyczących paliw lotniczych do silników wysokoprężnych [112].

Budowa chemiczna cząsteczek olejów roślinnych jest całkowicie odmienna od oleju napędowego pochodzącego z ropy naftowej. Oleje roślinne są estrami glicerolu i kwasów tłuszczowych. Kwasy tłuszczowe wchodzące w skład olejów roślinnych zawierają od 14 do 24 atomów węgla z wyraźną przewagą kwasów z 16-18 atomów węgla w cząsteczce. Są to m.in. kwasy mirystynowy ($C_{14:0}$), palmitynowy ($C_{16:0}$), stearynowy ($C_{18:0}$), oleinowy ($C_{18:1}$), linolowy ($C_{18:2}$), linolenowy ($C_{18:3}$), arachidowy ($C_{20:0}$), behenowy ($C_{22:0}$), erukowy ($C_{22:1}$), lignocerynowy ($C_{24:0}$). Kwasy te różnią się długością łańcucha węglowego oraz ilością wiązań podwójnych.

Tabela 17. Właściwości estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (paliwa rzepakowego) otrzymanego według technologii PIMR

Table 17. Properties of fatty acid methyl esters in rape oil (rape fuel) obtained according to PIMR technology

Właściwości Properties	Jednostka Unit	Wynik i błąd wg danej metody Result and error according to a given method	Zastosowane metody badań Applied research methods	Wymagania wg normy Requirements according to the standard ÖNORMC1190
Gęstość w 15°C Density at 15°C	g·cm ⁻³	0,8850±0,0001	ASTM D4052-91	0,87÷0,89
Temperatura zapłonu Ignition temperature	°C	65±1	PN-75/C-04009	n.n. 100
Temperatura zablokowania zimnego filtra Cold filter plugging point	°C	-12±0,5	PN-92/C-04114	I gat. n.w. 0 First quality II gat.n.w. -15 Second quality
Lepkość kinematyczna w 20°C Kinematic viscosity at 20°C	mm ² ·s ⁻¹	7,73±0,02	PN-81/C04111	6,5÷8,0
Zawartość siarki Sulphur content	mg·kg ⁻¹	18±2	PN-ISO 8754	n.w. 200 (0,02% m/m)
Pozostałość po koksowaniu Coking residue	% (m/m)	0,12±0,01	PN-85/C04075	n.w. 0,05
Popiół siarczanowy Sulphate ash	% (m/m)	0,046±0,003	PN-82/C-04077	n.w. 0,02
Liczba cetanowa Cetane number	-	48,2±0,4	ASTM D613-93	n.n. 48
Liczba kwasowa Acid number	mg KOH·g ⁻¹	0,51±0,01	PN-88/C04049	n.w. 0,80
Zawartość metanolu Methanol content	% (m/m)	0,54±0,01	Chromatografia gazowa Gas chromatography	n.w. 0,20
Zawartość wolnego glicerolu Free glycerol content	% (m/m)	0,05±0,01	Chromatografia gazowa Gas chromatography	n.w. 0,02
Zawartość całkowitego glicerolu Total glycerol content	% (m/m)	0,46±0,01	Chromatografia gazowa Gas chromatography	n.w. 0,24
Zawartość fosforu Phosphorus content	mg·kg ⁻¹	42±6	ASTM 5185	n.w. 20
Zawartość wody Water content	mg·kg ⁻¹	800	-	-
Wartość opałowa Fuel value	kJ·kg ⁻¹	37 100	PN-86/04062	-

n.w. – nie większa niż not larger than, n.n. – nie niższa niż not lower than, m/m – w stosunku masowym in mass relation

Tabela 18. Parametry biopaliwa EPAL i standardowego oleju napędowego letniego (Standard Diesel Fuel) [112]

Table 18. Biofuel EPAL and standard summer engine oil (Standard Diesel Fuel) parameters [112]

Wyszczególnienie Specification	Jednostka Unit	EPAL	SDF
Ciężar właściwy w 20°C Specific gravity at 20°C	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	878	835
Lepkość kinematyczna w 20°C Kinematic viscosity at 20°C	$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$	4,5	2,41
Liczba atomowa Atomic number	—	56	53
Wartość kaloryczna Calorific value	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	38,2	42,7
Zawartość siarki Sulphur content	%	0,018	0,28
CFPP	°C	−8	−12
Punkt zapłonu Ignition point	°C	173	60

Większość olejów roślinnych w ponad 50%, składa się z estrów kwasów nienasyconych o 1-3 wiązaniach podwójnych. Zawartość tych kwasów decyduje o ich lepkości i im większa jest ich zawartość, tym lepkość oleju jest mniejsza. W konsekwencji decyduje to o obniżeniu temperatury krzepnięcia, dzięki czemu odznacza się korzystniejszymi cechami ze względu na zastosowanie w silniku. Jednak oleje takie są mniej stabilne termicznie oraz bardziej skłonne do polimeryzacji, w wyniku czego wytwarzają osady węglowe na elementach aparatury wtryskowej i komory spalania silnika.

Z kolei oleje o dużej zawartości kwasów nasyconych (np. tłuszcze zwierzęce), mają zdolność do krzepnięcia w temperaturze pokojowej i nie mogą być stosowane jako paliwa silnikowe. Duże cząsteczki oleju roślinnego (m.c. 850-900), są około czterokrotnie cięższe od cząsteczek oleju napędowego z ropy naftowej (m.c. ok. 200) a także zawartość w nich tlenu powodują, że niektóre właściwości olejów roślinnych, znacznie odbiegają od właściwości paliw ropopochodnych. Zawartość glicerydów w przeciętnym oleju rzepakowym wynosi 95-98%. Głównym problemem stosowania naturalnego oleju rzepakowego do zasilania silników wysokoprężnych jest duża lepkość, gorsza lotność oraz niska temperatura rozkładu termicznego w porównaniu do ON. Rozwiązaniem tego problemu jest przebudowa struktury molekularnej triglicerydów oleju rzepakowego. Duże i ciężkie cząsteczki oleju rzepakowego zmniejszyć można poddając go procesowi transestryfikacji.

Głównymi korzyściami uzyskanymi z przeestryfikowania naturalnego oleju rzepakowego są:

- istotne zmniejszenie cząsteczek i zmniejszenie lepkości (nawet 10-krotnie),
- wyeliminowanie obecności triglicerydów powodujących osady w komorze spalania,
- obniżenie temperatury mętnienia i krzepnięcia oraz polepszenie lotności paliwa.

Tabela 19. Porównanie właściwości fizykochemicznych oleju i paliwa rzepakowego z olejem napędowym

Table 19. Comparison of rape oil and fuel parameters with the engine oil ones

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Olej rzepakowy Rape oil	Paliwo rzepakowe Rape fuel	Olej napędowy Engine oil
Masa cząsteczkowa Molecular mass	—	840	300	120-320
Gęstość przy 20°C Density at 20°C	g·cm ⁻³	0,92	0,88	0,81-0,84
Lepkość kinematyczna przy 20°C Kinematic viscosity at 20°C	mm ² ·s ⁻¹	76	6,9-8,2	2,8-5,9
Liczba cetanowa Cetane number	—	34	56	50
Temperatura zapłonu Ignition temperature	°C	285	168	60
CFPP	°C	20	-7-(-12)	0-(-12)
Wartość opałowa Fuel value	kJ·kg ⁻¹	37 400	3 700-3 900	42 800
	kJ·dm ⁻³	34 400	33 200-34 320	35 950
Bilans paliwa Fuel balance	kg CO ₂	2,3	2,5	3,6

Obecność grup estrowych oraz wiązań nienasyconych powoduje, że paliwo rzepakowe różni się pod względem chemicznym od paliwa naftowego. Jedyne podobieństwo stanowić może obecność w obu paliwach długich łańcuchów węglowodorowych. Jest to istotna zaleta pozwalająca na mieszanie obu paliw w dowolnym stosunku ze sobą, ze względu na ich wzajemną rozpuszczalność. Estry metylowe kwasów oleju rzepakowego cechują się lepszą smarnością, niż niskosiarkowe oleje napędowe. Po przeestryfikowaniu oleju, nienasycone estry mogą ulegać jeszcze polimeryzacji, lecz nie następuje to w tak znacznym stopniu, jak w przypadku oleju naturalnego. W wyniku rozbicia triglicerydu ograniczone zostają zarówno rozmiary monomerów, jak i liczba molekuł zawierających podwójne wiązania.

W tabeli 20 zamieszczono wybrane właściwości polskiego paliwa rzepakowego EMKOR i porównano z zimowym olejem napędowym (IZ-35). Mniejsza wartość opałowa wynika głównie z mniejszej zawartości w paliwie węgla i wodoru.

W przypadku zastosowania innego alkoholu w procesie transestryfikacji wartość opałowa może być większa. Wynika to z długości łańcucha węglowego w cząsteczce alkoholu, stąd największą wartość opałową mają estry alkoholu butylowego (C₄H₉OH), gdyż w cząsteczce zawierają więcej o 3 atomy węgla oraz o 6 atomów wodoru niż CH₃OH, zaś estry alkoholu etylowego (C₂H₅OH) zawierają 1 dodatkowy atom węgla i 2 atomy wodoru. Nieco gorsze niż dla ON są również właściwości

niskotemperaturowe. Wyższa temperatura mętnienia, zablokowania zimnego filtra oraz temperatura krzepnięcia powodują, że stosowanie tego paliwa w okresie zimowym, kiedy temperatura często obniża się w naszym kraju poniżej -10°C , bez zastosowania depresatorów, jest utrudnione.

Tabela 20. Wybrane właściwości fizykochemiczne estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (EMKOR) i zimowego oleju napędowego IZ-35 [142]

Table 20. Selected physical-chemical properties of fatty acid methyl esters in rape oil (EMKOR) and winter engine oil IZ-35 [142]

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Estry metylowe oleju rzepakowego (EMKOR) Methyl esters of rape oil)	Olej napędowy IZ-35 Engine oil IZ-35
Gęstość w 20°C Density at 20°C	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	880	830
Lepkość kinematyczna w 20°C Kinematic viscosity at 20°C	$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$	6,9-8,2	4,2
Wartość opałowa Fuel value	$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	37-39	42,3-42,7
Przeciętny skład elementarny Average elements composition			
– C	%	75-77	84-86
– H	%	12-13	12-14
– O	%	10-11	0
– S	%	0,023	0,3-0,6
Zawartość kwasów tłuszczowych Fatty acids content			
– C18:1	%	59,5	–
– C18:2	%	21,0	–
– C18:3	%	11,0	–
– C20:1	%	1,8	–
Liczba cetanowa LC Cetane number	–	min. 49	min. 45
Temperatura zapłonu Ignition temperature	$^{\circ}\text{C}$	ok. 170	30-60
Temperatura mętnienia Turbidity temperature	$^{\circ}\text{C}$	$-3-(-6)$	-16
CFPP	$^{\circ}\text{C}$	$-7-(-12)$	-20
Temperatura krzepnięcia Coagulation temperature	$^{\circ}\text{C}$	-15	-35
Przebieg destylacji: Distillation course:			
– początek destylacji – distillation start	$^{\circ}\text{C}$	302	176
– 50%	$^{\circ}\text{C}$	339	280
– do 350°C destyluje min. – till 350°C distillates min.	%	93	95
– koniec destylacji – distillation end	$^{\circ}\text{C}$	386	358

Tlen zawarty w paliwie, charakteryzuje się większą aktywnością chemiczną podczas procesu spalania, niż tlen cząsteczkowy, zawarty w powietrzu. Zdecydowaną zaletą estrów metylowych kwasów tłuszczowych jest bardzo niska lub prawie zerowa zawartość siarki, co jest nie tylko istotne z punktu widzenia mniejszej emisji cząstek stałych, lecz także obniża korozyjne zużycie elementów silnika.

Niewątpliwą wadą estrów metylowych kwasów tłuszczowych jest zawartość w nich wody, którą w przeciwieństwie do oleju napędowego stosunkowo trudno oddzielić od estru. Zawartość wody w paliwie rzepakowym powyżej $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ jest przyczyną znacznego wzrostu rozwoju bakterii, co osłabia jego stabilność. Obecność w cząsteczce grupy estrowej powoduje skłonność paliwa do rozpuszczania niektórych lakierów i uszczelnień gumowych. Występujące w niewielkiej ilości wolne kwasy tłuszczowe mogą być przyczyną korozji niektórych elementów silnika. Łatwość utleniania i polikondensacji, szczególnie w obecności wody, prowadzi do wytwarzania szlamów zatykających elementy układu paliwowego i nagarów na wtryskiwaczach, dlatego paliwo EMKOR powinno zawierać jak najmniejsze ilości nieprzereagowanego metanolu, glicerolu i alkaliów. Ze względu na zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych, paliwo rzepakowe nie nadaje się do długotrwałego przechowywania, gdyż ma ono skłonność do utleniania. Proces starzenia się estrów zależy nie tylko od surowca i procesu produkcji takiego paliwa, lecz także od technologii wytłaczania i rafinowania oleju [142].

7.2. Właściwości fizykochemiczne paliwa i ich wpływ na pracę silnika o ZS

Właściwości fizykochemiczne paliwa decydują o charakterystyce eksploatacyjnej silnika zarówno pod względem efektywności pracy silnika, jak i toksyczności emitowanych przez silnik spalin. Do najważniejszych właściwości charakteryzujących paliwa do silników o ZS należą:

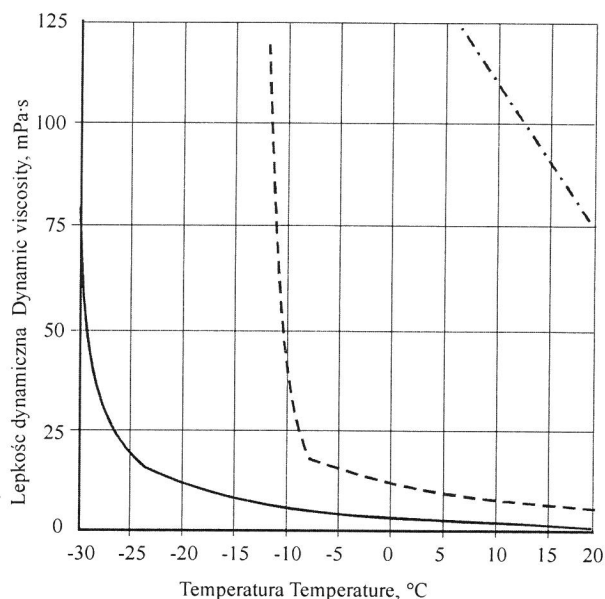
- lepkość,
- gęstość,
- skład frakcyjny,
- liczba cetanowa,
- temperatura zablokowania zimnego filtra.

Przedstawione właściwości są od siebie zależne i decydują o przebiegu podstawowych procesów zachodzących w silniku takich jak: rozpylanie czy tworzenie mieszaniny paliwowo powietrznej oraz mają istotny wpływ na przydatność w warunkach eksploatacji.

Lepkość

Lepkość charakteryzuje opór jaki występuje przy przepływie paliwa przez przewody i filtry, stanowi o strukturze strugi paliwa, jej zasięgu i rozwarłośc stożka rozpylonego paliwa. Ponadto ma istotny wpływ na smarowanie pomp wtryskowych.

Zwiększenie lepkości powoduje obniżenie stopnia rozpylenia i odparowania strumienia paliwa, zwiększa się natomiast zasięg strumienia paliwa. Zbyt mała lepkość pogarsza warunki smarowania pompy wtryskowej oraz zmniejsza zasięg strumienia paliwa. Stąd też dla każdego rodzaju silnika istnieje graniczna lepkość paliwa, która uniemożliwia prawidłową pracę silnika. Wpływ temperatury na lepkość paliw rzepakowych, przedstawiono na rysunku 38.



Rys. 38. Wpływ temperatury na lepkość dynamiczną olejów napędowych i paliw rzepakowych [142]: — — olej napędowy IZ-53, - - - EMKOR, — · — olej rzepakowy

Fig. 38. Effect of temperature on dynamic viscosity of engine oils and rape fuels [142]: — — engine oil IZ-53, - - - EMKOR, — · — rape oil

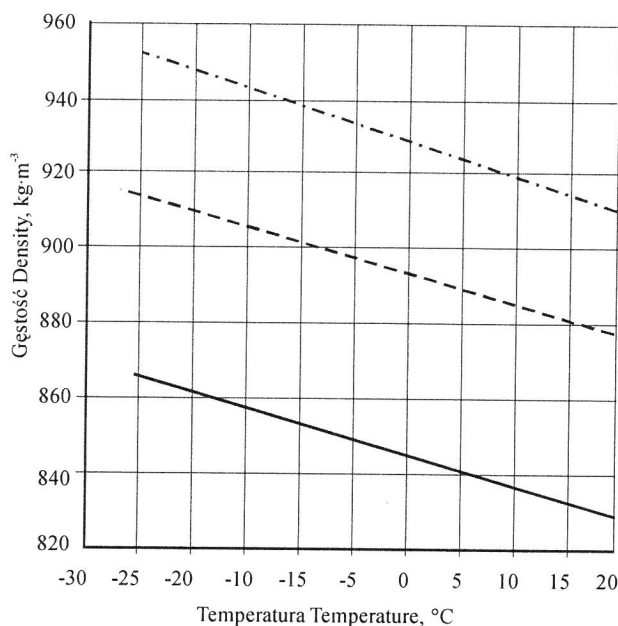
Analiza przebiegu krzywych wpływu temperatury na lepkość dynamiczną wskazuje, że lepkość dynamiczna estrów oleju rzepakowego w temp 20°C jest zbliżona do oleju napędowego. Jednak obniżenie temperatury estrów powoduje większy wzrost lepkości niż dla olejów napędowych natomiast przy temperaturze ok. -7°C lepkość tego paliwa gwałtownie wzrasta, zaś dla oleju napędowego gwałtowny wzrost lepkości występuje dopiero przy temperaturze -25°C. Wynika stąd, że większa lepkość estrów oddziałuje na parametry wtrysku paliwa, jednak na parametry te będą miały wpływ również inne cechy paliwa np. napięcie powierzchniowe.

Gęstość

Gęstość paliwa wpływa głównie na zasięg strumienia paliwa. Wzrostowi gęstości paliwa towarzyszy zwiększenie strumienia i odwrotnie. Niezależnie od tego

zmniejszenie gęstości paliwa powoduje redukcję emisji cząstek stałych ale jednocześnie zmniejszenie wartości opałowej. Stąd zależnie od nastaw regulacyjnych silnik albo rozwija mniejszą moc albo zużywa objętościowo więcej paliwa. Gęstość powinna być raczej mała i powinna zmieniać się w niewielkim zakresie.

Wpływ temperatury na gęstość dla oleju napędowego i estrów oleju rzepakowego przedstawia rysunek 39.



Rys. 39. Wpływ temperatury na gęstość olejów napędowych i paliw rzepakowych [142]: — — olej napędowy IZ-53, - - - - EMKOR, — · — olej rzepakowy

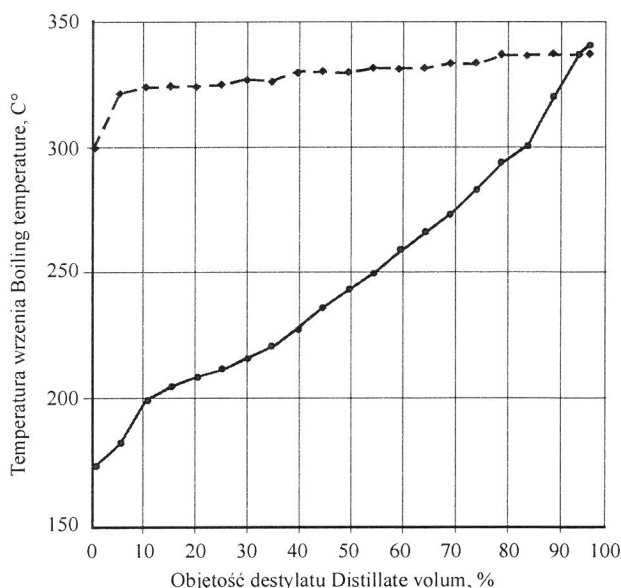
Fig. 39. Effect of temperature on density of engine oils and rape fuels [142]: — — engine oil IZ-53, - - - - EMKOR, — · — rape oil

Skład frakcyjny

Skład frakcyjny określany metodą destylacji normalnej charakteryzuje zdolność przechodzenia paliwa w stan pary i jest parametrem lotności paliwa. Temperatura początku destylacji ma wpływ na charakterystykę rozruchową silnika, temperatura oddestylowania 50% objętości ma wpływ na ustabilizowany przebieg procesów odparowania i spalania, a także na łatwość rozruchu. Temperatura oddestylowania 90% i końca destylacji wpływa na emisję toksycznych składników spalin i tworzenie nagarów.

Krzywe destylacji oleju napędowego i estrów oleju rzepakowego różnią się znacznie od siebie co widać na rysunku 40. Temperatury wrzenia oleju napędowego

zawierają się w zakresie 160-340°C, podczas gdy dla estrów temperatury zmieniają się w dość wąskim zakresie 300-340°C. Oznacza to brak niskowrzących frakcji w paliwie. Wysokie wartości temperatur początku wrzenia paliwa oraz wyższa o około 60°C temperatura oddestylowania 50% wskazuje na gorsze właściwości rozruchowe silników zasilanych estrami.



Rys. 40. Krzywe destylacji oleju napędowego i estrów metylowych oleju rzepakowego [142]:
 — olej napędowy, ---- EMKOR

Fig. 40. Distillation curves for engine oil and rape oil methyl esters [142]: — engine oil, ---- EMKOR

Temperatura zablokowania zimnego filtra

Temperatura zablokowania zimnego filtra jest jednym ze wskaźników określających zdolności przepływowe paliwa w niskich temperaturach. W przypadku oleju napędowego w miarę spadku temperatury następuje wytrącenie się kryształków parafiny, które przepływając przez filtr paliwa będą zatykały wkład filtracyjny i przerywały przepływ paliwa. Paliwa rzepakowe są praktycznie pozbawione parafin co powoduje że badania temperatury zablokowania zimnego filtra dla oleju napędowego nie są reprezentatywne dla paliw rzepakowych. W niskich temperaturach w paliwach tych mogą krystalizować estry nienasycone oraz woda zawarta w paliwie

Liczba cetanowa

Liczba cetanowa jest miarą zdolności paliwa do samozapłonu, określaną przez okres opóźnienia samozapłonu. Większa liczba cetanowa skraca okres opóźnienia

samozapłonu, a tym samym dając mniejszy przyrost ciśnienia w czasie, powodując zmniejszenie hałasu i obciążeń dynamicznych układu korbowego.

Należy zaznaczyć, że liczba cetanowa jest uniwersalnym wskaźnikiem porównawczym, a nie parametrem fizycznym paliwa, mającym określoną wartość bezwzględną, mimo że zależy od składu chemicznego paliwa także od właściwości fizycznych. Ponieważ oznacza się ją na podstawie pomiaru całkowitego okresu opóźnienia samozapłonu, stąd nie rozróżnia się fizycznego i chemicznego okresu opóźnienia samozapłonu. Jej wartość wskazuje, że jedno paliwo jest lepsze od drugiego do zastosowania w silniku, ale nie wyraża ilościowo tej przewagi [142].

Do określania liczby cetanowej wykorzystuje się metodę silnikową, przy użyciu silników o ściśle określonych parametrach pracy. Jednak własności samozapłonowe paliwa wyznaczone na silniku wzorcowym w ściśle określonych umownych warunkach pracy mogą okazać się nieprzydatne dla paliw pochodzenia roślinnego. Wynika to z faktu że ich skłonność do samozapłonu bardziej zależy od temperatury paliwa i powietrza niż dla olejów napędowych. Bazując na tradycyjnej metodzie pomiarów większe wartości liczby cetanowej estrów oleju rzepakowego nie dają podstaw do przewidywania lepszej zdolności do samozapłonu w porównaniu z olejem napędowym. Przy niższych temperaturach w komorze spalania skłonność do samozapłonu może być niższa, natomiast przy wysokich temperaturach w cylindrze może być taka sama lub wyższa [142].

7.3. Jakość biopaliwa i problemy eksploatacyjne

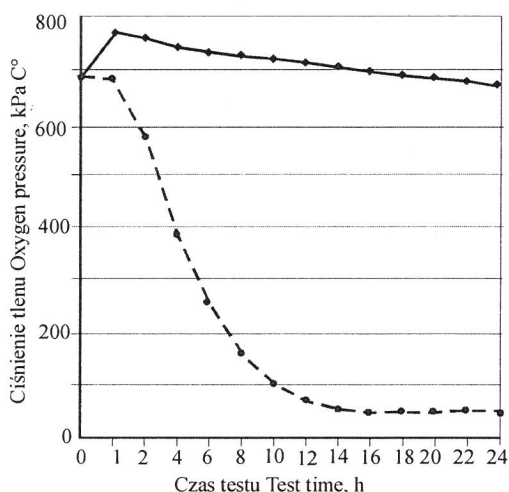
Bardzo istotnym elementem warunkującym poprawną eksploatację silników zasilanych biopaliwami, jest zapewnienie jego odpowiedniej jakości, przed zmieszaniem z olejem napędowym. Jednym z podstawowych parametrów decydujących o jakości estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego jest temperatura zapłonu, która zazwyczaj wynosi ok. 150°C. Obniżenie temperatury zapłonu do poziomu poniżej 100°C jest sygnałem, że w trakcie prowadzenia procesu technologicznego nie został usunięty nadmiar metanolu. Ponadto obecność alkoholu w paliwie niekorzystnie wpływa na uszczelnienia, elastomery oraz zakłóca procesy zasilania paliwem, a także spalania. Należy zaznaczyć, że zawartość metanolu w paliwie w ilości 0-0,25% obniża temperaturę zapłonu paliwa z około 170°C do blisko 80°C. Przy stężeniach większych zależność ta przebiega nieco łagodniej, bo już dla zawartości około 0,8% temperatura zapłonu tego paliwa spada zaledwie o 10-15°C.

Popiół siarczanowy, którego zawartość informuje o dokładności usunięcia katalizatora może być przyczyną korozji oraz uszkodzenia wtryskiwaczy. Powstające osady mogą również powodować blokowanie filtrów paliwa. Zawartość wolnego glicerolu, oraz ogólna zawartość glicerolu informuje o głębokości

konwersji tłuszczów w paliwie rzepakowym. Podwyższona zawartość tego składnika informuje, że proces reestryfikacji nie został przeprowadzony do końca, a stosowanie takiego paliwa może być zagrożeniem dla silnika [71].

W ocenie przydatności estrów wyższych kwasów tłuszczowych FAME jako paliw lub komponentów paliw silnikowych, bardzo istotnym problemem są ich właściwości użytkowe, które związane są bezpośrednio z procesami zachodzącymi w tych produktach podczas przechowywania w kontakcie z wodą i tlenem atmosferycznym. Procesy te nie zostały do końca zbadane i wciąż stanowią poważny problem badawczy i technologiczny. Bardzo istotną rolę odgrywa w tych procesach degradacji, zanieczyszczenie estrów pozostałe po procesie transestryfikacji oleju rzepakowego [28].

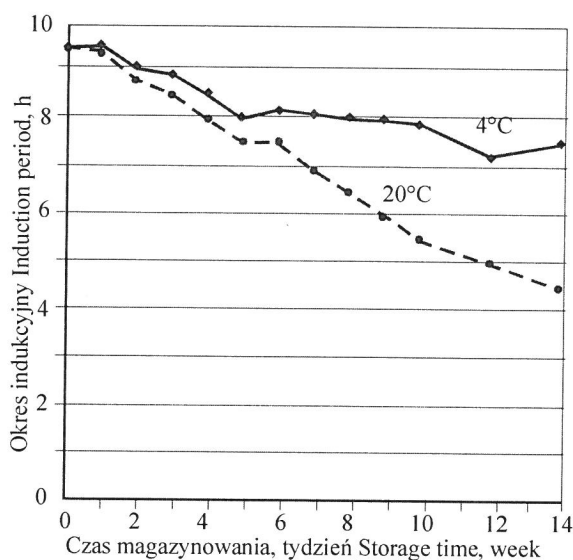
Obecność wiązań nienasyconych w cząsteczkach estrów FAME jest główną przyczyną ich niskiej odporności na działanie tlenu i wody. Ze względu na odmienny charakter chemiczny estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych, zachodzące w nich procesy starzenia przebiegają inaczej niż znane nam dotąd procesy starzenia przebiegające w olejach napędowych. W czasie utleniania FAME zachodzą procesy degradacji estrów, wyrażające się m.in. zmianą zapachu i barwy produktu oraz przyrostem jego liczby kwasowej i lepkości. Podczas gdy utlenianie olejów napędowych prowadzi głównie do wytrącania osadów i ciemnienia paliwa. Różnice w skłonności do utleniania paliwa rzepakowego i oleju napędowego w obecności tlenu przedstawiono na rysunku 41.



Rys. 41. Porównanie odporności na utlenianie estrów FAME i oleju napędowego w badaniu wg normy ASTM D 5304 [28]: — olej napędowy, ---- – EMKOR

Fig. 41. Comparison of resistance to oxidation between FAME and engine oil esters in tests according to the norm ASTM D 5304 [28]: — engine oil, ---- – EMKOR

Intensywność procesów utleniania estrów uzależniona jest w znacznym stopniu od warunków ich przechowywania. Należy nadmienić, że temperatura znacznie przyspiesza przebieg procesu. Na rysunku 42 zamieszczono wyniki badań zależności zmian okresu indukcyjnego, oznaczonego wg metody PR EN 1411 2:2001 (ISO 6886), od czasu przechowywania dwóch identycznych próbek FAME w odmiennych warunkach środowiskowych.



Rys. 42. Wpływ temperatury przechowywania estrów FAME na intensywność procesów starzenia wg metody Pr EN 14112:2001 [28]

Fig. 42. Effect of FAME esters storage temperature on the intensity of staling processes according to the method Pr EN 14112:2001 [28]

Odrębny problem stanowi sposób oceny intensywności przebiegu procesów utleniania i starzenia olejów napędowych zawierających FAME jako komponent. Zmieszanie frakcji węglowodorowych z produktami pochodzenia roślinnego, jakimi są FAME, ma istotny wpływ na stabilność termooksydacyjną paliw gotowych. Zakres tych zmian uzależniony jest od ilości biokomponentu w paliwie oraz jego właściwości. Do zapewnienia odpowiedniego poziomu jakości paliw wprowadzanych na rynek, przemysł rafineryjny winien dysponować właściwymi narzędziami badawczymi do oceny swoich produktów oraz do oceny surowców stosowanych do ich produkcji.

Bardzo istotnym zagadnieniem związanym z wprowadzaniem biopaliw jest ich podatność na rozkład mikrobiologiczny. Rozwój mikroorganizmów w paliwach powoduje szereg problemów w trakcie magazynowania i użytkowania. Podatność biopaliw na rozkład mikrobiologiczny, wiąże się z obecnością dwóch

czynników: pożywki i wody. Ze względu na obecność tlenu w cząsteczce, estry olejów roślinnych stanowią znacznie lepszą pożywkę dla szerokiej grupy mikroorganizmów niż węglowodory. Prowadzone badania paliwa rzepakowego i paliwa węglowodorowego wykazały, że produkcja biomasy może być nawet 7-krotnie wyższa w przypadku estrów metylowych oleju rzepakowego niż paliw konwencjonalnych.

W przypadku mieszanek paliwa węglowodorowego dodatek niewielkiej ilości FAME, rzędu kilku procent, powoduje zwiększoną podatność na rozkład mikrobiologiczny biopaliwa, co w konsekwencji prowadzi do powstania dużej ilości biomasy. Najwyższa skłonność do rozwoju mikroorganizmów wystąpiła w biopaliwie zawierającym 20% FAME, ilość biomasy powstałej w wyniku rozwoju mikroorganizmów w tym przypadku przekroczyła nawet 14-krotnie wartość uzyskaną dla paliwa węglowodorowego.

Bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na skłonność biopaliw do rozkładu mikrobiologicznego jest obecność wody w zbiornikach paliwowych. Rozpuszczalność wody w estrach metylowych oleju rzepakowego jest większa niż w paliwach węglowodorowych, co dodatkowo sprzyja rozwojowi mikroorganizmów. Zawartość wody ma bardzo niekorzystny wpływ na jakość i stabilność estrów FAME. Podczas magazynowania i dystrybucji, paliwo jest najbardziej narażone na kontakt z wodą i wilgocią, zachodzi wówczas adsorpcja wody w FAME, której sprzyja zawartość mono- i diglicerydów. Woda pod wpływem katalitycznego działania wolnych kwasów tłuszczowych może spowodować hydrolizę estrów oraz glicerydów zawartych w biopaliwie. Obecne w FAME glicerydy tworzą osady w silniku, które zatykają rozpylacze paliwa i gromadzą się w komorze spalania. Dlatego też utrzymanie wysokiego stopnia czystości estrów i dokładne ich oczyszczenie ze związków powstałych po procesie transestryfikacji (glicerydów, wolnych kwasów, katalizatora i wody) jest tak bardzo istotne [28].

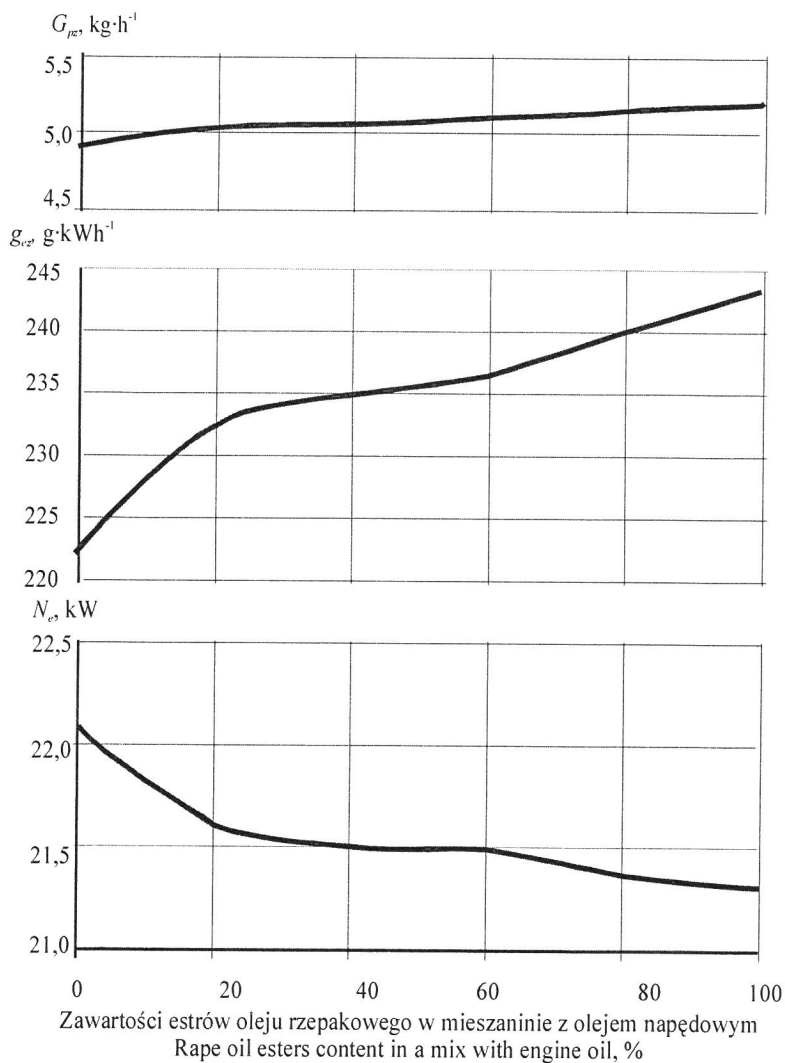
Wysoka jakość estrów metylowych ma ogromne znaczenie dla ich stabilności. Należy zaznaczyć, że w przypadku stosowania paliw mineralnych z dodatkiem biopokomponentów, te pierwsze również powinny być odpowiednio wysokiej jakości.

7.4. Parametry pracy silników zasilanych estrami oleju rzepakowego

7.4.1. Parametry energetyczne

Prezentowane w różnych publikacjach wyniki stosowania do zasilania silników o ZS, estrów metylowych oleju rzepakowego w postaci czystej lub w mieszaninie z olejem napędowym są na ogół zbliżone. Sprawność ogólna silni-

ków zasilanych estrami metylowymi jest praktycznie taka sama jak dla oleju napędowego, natomiast uzyskuje się nieznacznie mniejszą moc rzędu 3-7%.



Rys. 43. Wpływ zawartości estrów oleju rzepakowego w mieszaninie z olejem napędowym na parametry pracy silnika S-4002 przy prędkości momentu max. $n = 1600 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$

Fig. 43. Effect of rape oil esters content in a mix with engine oil on a S-4002 engine's working parameters at the max. moment speed $n = 1600 \text{ rpm}$

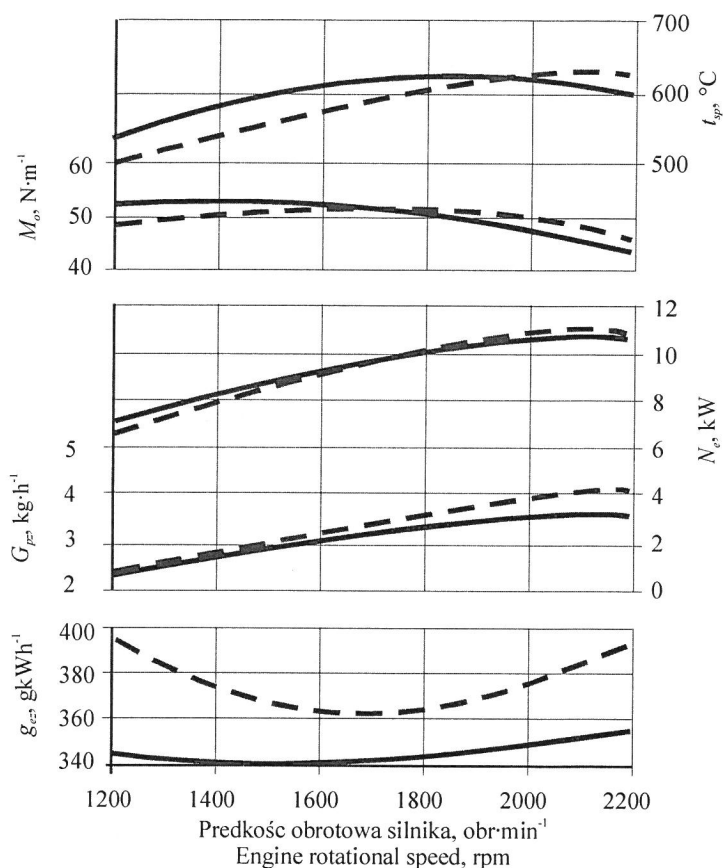
Badania parametrów energetycznych i ekologicznych dotyczących wskaźników pracy i składników spalin silnika S-4002, zasilanego estrami oleju rzepakowego (FAME) i mieszaninami z olejem napędowym (ON) wykonano w Katedrze Pojazdów i Silników Akademii Rolniczej w Lublinie.

Badania przeprowadzono dla dwóch prędkości obrotowych silnika: przy prędkości momentu maksymalnego ($1600 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$) oraz przy prędkości mocy maksymalnej ($2000 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$). Wyniki badań przy prędkości momentu maksymalnego dowodzą, że dodatek biokomponentu do oleju napędowego wywiera istotny wpływ na moc efektywną N_e silnika (rys. 43). Wraz ze wzrostem udziału FAME w mieszance paliwowej, pomimo większego wydatku pompy wtryskowej wynikającego z większej gęstości paliwa moc efektywna maleje. Związane jest to z mniejszą wartością opałową FAME [108].

Tendencję wzrostową wraz ze wzrostem udziału paliwa rzepakowego w mieszaninie wykazuje czasowe zużycie paliwa G_p oraz jednostkowe zużycie paliwa g_e . Czasowe zużycie paliwa przy niewielkiej ilości dodatku biokomponentu (do około 20%) wyraźnie wzrasta, lecz już w przedziale 20-60% tendencja wzrostowa jest zdecydowanie łagodniejsza. Dalszy wzrost udziału FAME w mieszaninie, aż do czystego paliwa rzepakowego powoduje nieco wyraźniejszy wzrost zużycia paliwa G_p . Jednostkowe zużycie paliwa jest nieco niższe dla oleju napędowego i wraz ze wzrostem udziału FAME w mieszance – rośnie. Większe zużycie paliwa G_p i g_e jest związane z obniżaniem wartości opałowej mieszanki paliwowej w miarę wzrostu udziału FAME w mieszance, jak i wpływem większej lepkości biopaliwa, która wpływa ujemnie na proces wytwarzania mieszaniny palnej i spalania [108].

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że silnik osiąga największą moc podczas zasilania czystym olejem napędowym, przy czym spadek mocy dla mieszanek ON z FAME mieści się w granicach 2-3%. Zużycie paliwa jest nieco wyższe dla mieszanek paliw niż dla czystego oleju napędowego, lecz jego wzrost jest nieznaczny i mieści się w granicach 2-6% zależnie od zawartości estru w mieszance.

Charakterystykę prędkościową silnika 1HC.102 przedstawiono na rysunku 44. Stwierdzono, że przy takich ilościach dawkowanego paliwa na cykl, godzinowe zużycie paliwa EMKOR, było większe niż oleju napędowego. Jednak uwzględniając mniejszą wartość opałową tego paliwa, godzinowe zużycie energii było mniejsze. Przy niewielkich różnicach mocy, jednostkowe zużycie energii było mniejsze, a sprawność ogólna większa w całym zakresie prędkości obrotowej dla paliwa EMKOR.



Rys. 44. Charakterystyka prędkościowa silnika 1HC.102 zasilanego estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego lub olejem napędowym [142]: — — olej napędowy, ---- — EMKOR

Fig. 44. Speed characteristics of an engine 1HC.102 fed with methyl esters of rape oil fatty acids or engine oil [142]: — — engine oil, ---- — EMKOR

7.4.2. Parametry ekologiczne silników zasilanych estrami oleju rzepakowego

Zasilanie silników estrami metylowymi jest korzystne ze względu na poziom emisji toksycznych składników spalin. Przeprowadzone badania wykazały, że silniki zasilane estrami metylowymi oleju rzepakowego nie wytwarzały spalin przekraczających normy dla silników stosujących oleje napędowe. Przeciwnie, wiele ze składników spalin było na znacznie niższym poziomie. Zastosowanie w badanych silnikach estrów spowodowało zmniejszenie emisji węglowodorów i tlenków węgla, cząstek stałych oraz spowodowało zmniejszenia zadyminienia

spalin. W większości badań daje się jednak zauważyć wzrost emisji tlenków azotu. Porównanie wartości składników spalin silników o ZS zostały przedstawione są w tabeli 21 i ukazują, że różni autorzy podają bardzo podobne wartości. Istniejące różnice wynikają z różnic konstrukcyjnych silników, wskaźników pracy czy różnego stanu technicznego silnika.

Tabela 21. Procentowe zmiany emisji normowanych toksycznych składników spalin, zasilanych estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego w stosunku do zasilania olejem napędowym [142]

Table 21. Per cent emission changeability of standardized toxic fumes contents from engines fed with rape oil fatty acids methyl esters relatively to the feeding with engine oil [142]

Składnik spalin Fumes element	Zmiana w stosunku do oleju napędowego Change in relation to engine oil
Tlenek węgla Carbon monoxide	↓ 0-40
	↓ 44 (test ECE R-49)
	↓ 10-30 (IDI)
	bez zmian (DI) no change
Niespalone węglowodory Unburnt hydrocarbons	↓ do 40
	↓ 21 (test ECE R-49)
	↓ 20 (DI)
	↓ 30 (IDI)
Tlenki azotu Nitrogen oxides	↑ 2-5
	↑ 21 (test ECE R-49)
	↑ 10
Cząstki stałe (PM) Particulate matter	↓ 10-60
	↓ 68 (test ECE R-49)
	bez zmian (DI)
Zadymienie spalin Fumes smokiness	↓ 50-80
	↓ 40

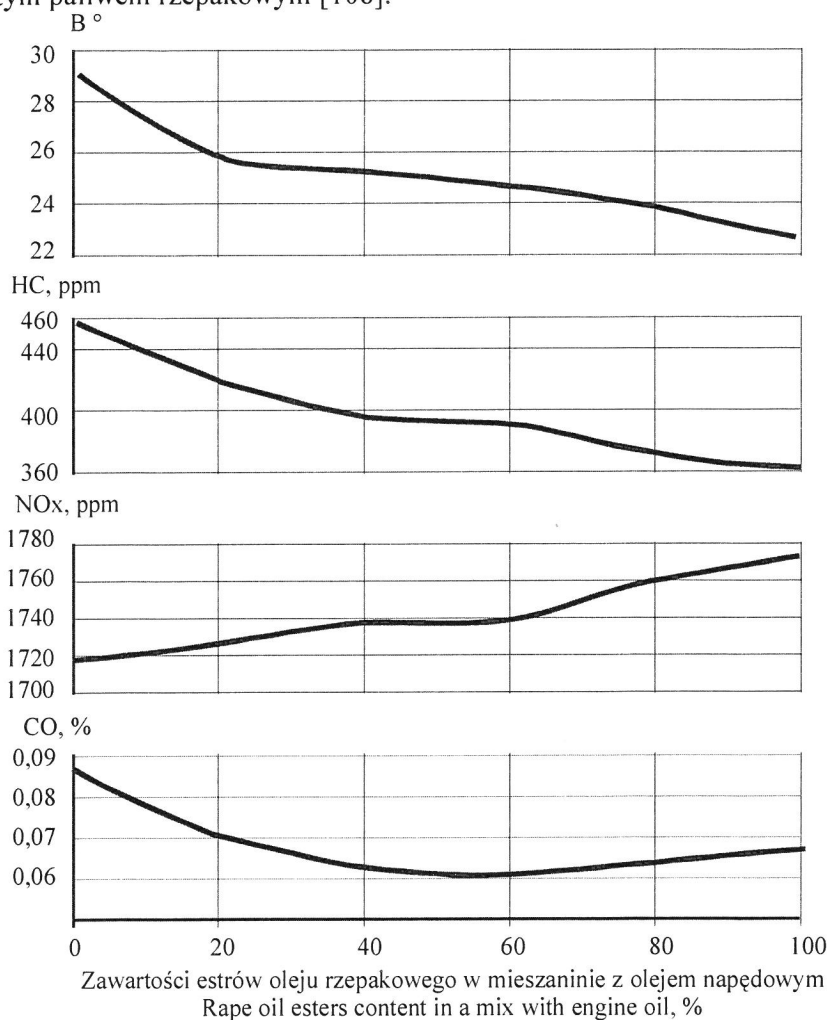
IDI – silnik o wtrysku pośrednim, DI – silnik o wtrysku bezpośrednim

IDI – engine with indirect injector, DI – engine with direct injector

Wyniki badań parametrów ekologicznych dotyczących składników spalin silnika S-4002 są przedstawione na rysunku 45. Przedstawiona krzywa zadymienia spalin wykazuje, że zadymienie spalin wraz z udziałem biokomponentu maleje. Udział tlenku węgla (CO) w spalinach przy dodatku do 60% zmniejsza się, natomiast po przekroczeniu tej granicy zaczyna nieznacznie wzrastać. Krzywe udziału w gazach spalinowych węglowodorów (HC) oraz tlenków azotu (NO_x) przedstawione na wykresie wykazują względem siebie całkowitą odwrotność zawartość HC w spalinach wyraźnie spada, natomiast zawartość NO_x wyraźnie rośnie [108].

Stosowanie paliwa ropopochodnego z dodatkiem biokomponentów prowadzi do znacznego obniżenia emisji tlenków węgla oraz sumarycznej ilości

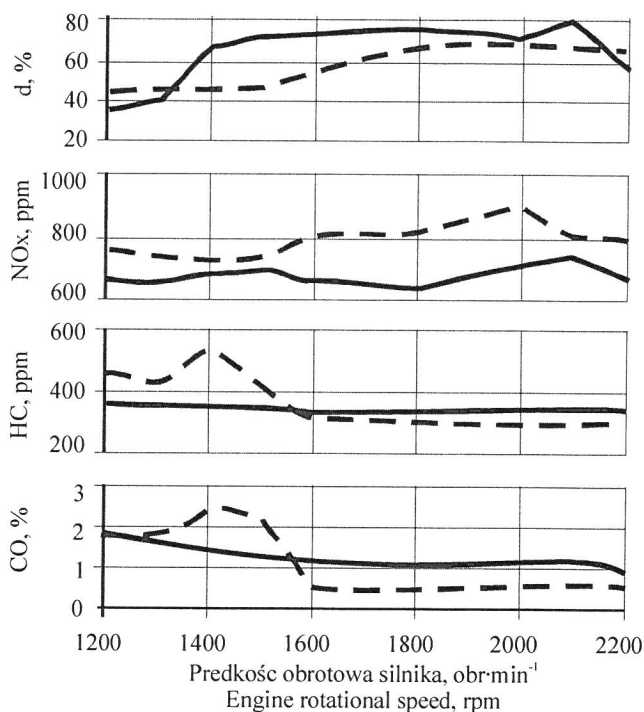
węglowodorów przy nieznacznym wzroście emisji tlenków azotu. Zadymienie spalin wyraźnie spada dla mieszaniny zawierającej do 20% FAME, natomiast powyżej ok. 30% dodatku biokomponentu proces obniżania się jest mniejszy. Zadymienie spalin jest najniższe podczas zasilania silnika wysokoprężnego czystym paliwem rzepakowym [108].



Rys. 45. Wpływ zawartości estrów oleju rzepakowego w mieszaninie z olejem napędowym na zawartość w spalinach toksycznych składników silnika S-4002 przy prędkości momentu max. $n = 1600 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$

Fig. 45. Effect of rape oil esters content in a mix with engine oil on toxic elements content in the fumes of a S-4002 engine at the max. moment speed $n = 1600 \text{ rpm}$

Zawartość toksycznych składników spalin przy zasilaniu silnika jest ściśle uzależniona od prędkości obrotowej silnika (rys. 46). Przy wyższych prędkościach obrotowych silnika zawartość tlenku węgla i niespalonych węglowodorów była dla tego paliwa mniejsza. Nieco większa była natomiast emisja tlenków azotu w całym zakresie prędkości obrotowej silnika, zaś zadymienie spalin praktycznie w całym zakresie prędkości obrotowej silnika było mniejsze [51,142].



Rys. 46. Wpływ prędkości obrotowej (w warunkach charakterystyki prędkościowej) silnika 1HC.102 zasilanego dwoma rodzajami paliwa na toksyczność spalin [142]: — – olej napędowy, ---- – EMKOR

Fig. 46. Effect of rotational speed (in the conditions of speed characteristics) in a 1HC.102 engine fed with two kinds of fuels on fume toxicity [142]: — – engine oil, ---- – EMKOR

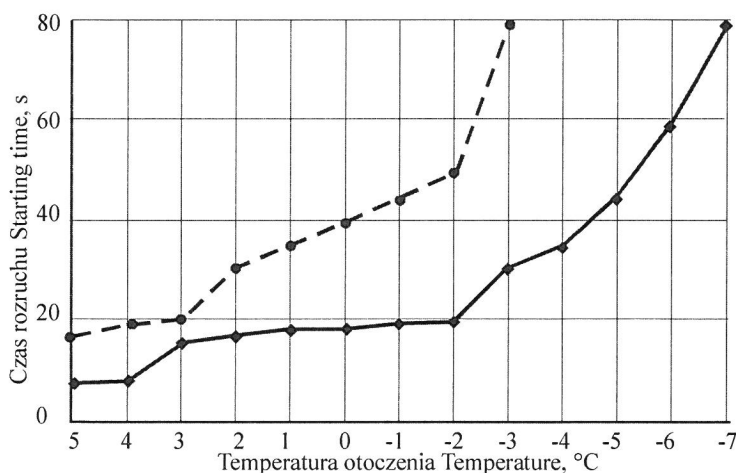
7.5. Właściwości rozruchowe silników zasilanych FAME

Ze względu na swoje właściwości, paliwa pochodzenia roślinnego mogą powodować pewne problemy z rozruchem silników w obniżonych temperaturach. Związane jest to nie tylko ze stosunkowo wysokimi temperaturami mętnienia

wynoszącymi ok. -7°C oraz zablokowania zimnego filtra wynosząca ok. -13°C ale również z gwałtownie rosnącą lepkością w temperaturze ok. -10°C , która powoduje wzrost oporów przepływu przez filtry paliwa. Na właściwości rozruchowe duży wpływ ma również niekorzystna krzywa destylacji tj. brak niskowrzących frakcji oraz wysokie temperatury wrzenia wymagające wyższych temperatur w komorze spania [142].

Badania właściwości rozruchowych silników zasilanych FAME prowadzone w ośrodkach naukowych wskazują, że stosowanie estrów metylowych powoduje pogorszenie właściwości rozruchowych w stosunku do zasilania ich olejem napędowym.

W Politechnice Szczecińskiej prowadzono badania na silniku badawczym SB.3.1. mające na celu sporządzenie charakterystyki rozruchowej tego silnika zasilanego estrami metylowymi. Charakterystyka ta została przedstawiona na rysunku 47. Jak widać z prezentowanego rysunku, graniczna temperatura rozruchu wyniosła -3°C i jest o 4° niższa od granicznej temperatury dla oleju napędowego. W ujęciu procentowym daje to właściwości rozruchowe estrów oleju rzepakowego, gorsze o 57% [98].



Rys. 47. Charakterystyka rozruchowa silnika SB.3.1 zasilanego estrami metylowymi oleju rzepakowego (EMKOR) i olejem napędowym [98]

Fig. 47. Starting characteristics of a SB.3.1 engine fed with methyl esters of rape oil (EMKOR) [98]

Właściwości niskotemperaturowe można jednak poprawić poprzez wprowadzenie depresatorów podobnie, jak w przypadku olejów napędowych lub poprzez mieszanie estrów z olejami napędowymi o dobrych właściwościach niskotemperaturowych. Graniczne temperatury rozruchu silnika SB3.01 dla różnych rodzajów paliw są przedstawione w tabeli 22.

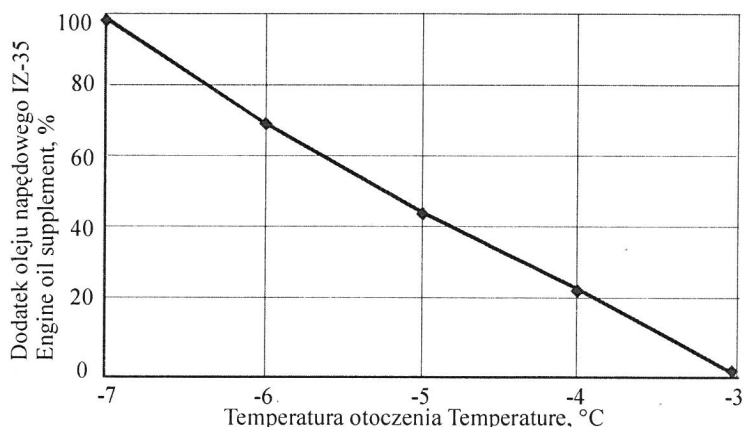
Tabela 22. Graniczne temperatury rozruchu silnika SB3.01 przy zasilaniu różnymi paliwami [98]
Table 22. Limiting starting temperature in a SB.3.1 engine [98]

Paliwo Fuel	Graniczna temperatura rozruchu Limit starting temperature
Olej napędowy IZ 35 Engine oil	-7
Estry oleju rzepakowego (EMKOR) Rape oil esters	-3
80%EOR+20%ON	-4
30%EOR+70%ON	-6
70%EOR+30%D	-7

ON – olej napędowy engine oil; D – depresator depressator

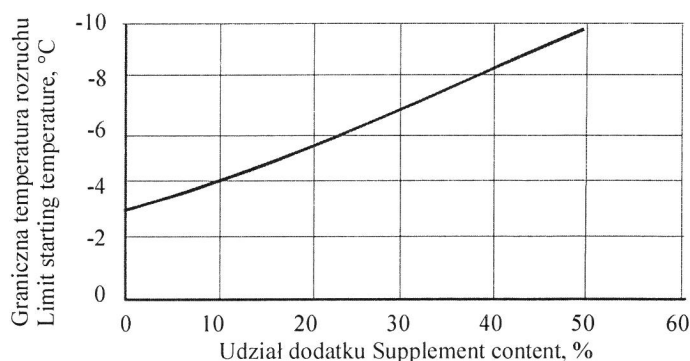
Na rysunku 48 przedstawiono wpływ zawartości FAME w mieszaninie z olejem napędowym na graniczną temperaturę rozruchu, a na rysunku 49. Wpływ procentowego udziału dodatku na graniczną temperaturę rozruchu.

Jak widać na wykresach obie zależności mają charakter liniowy, co pozwala na łatwe dobranie procentowego udziału oleju napędowego bądź dodatków w zależności od oczekiwanej temperatury rozruchu. Zawartość dodatku w mieszaninie powyżej 30% powoduje obniżenie temperatury rozruchu poniżej temperatury dla oleju napędowego, jednak ze względów ekonomicznych i eksploatacyjnych nie jest to wskazane.



Rys. 48. Wpływ zawartości estrów metylowych oleju rzepakowego w mieszaninie z olejem napędowym na graniczną temperaturę rozruchu silnika SB.3.1 [98]

Fig. 48. Effect of rape oil esters content in a mix with engine oil on the limiting starting temperature in a SB.3.1 engine [98]



Rys. 49. Zależność granicznej temperatury rozruchu od zawartości w paliwie dodatków uszlachetniających [98]

Fig. 49. Dependency of the limit starting temperature on the purifying additives content in fuel [98]

Podobne wyniki jak dla silnika SB3.01 uzyskano i dla innych silników. W IBMER Kłudzienko przeprowadzono badania rozruchowe silników najczęściej spotykanych w ciągnikach rolniczych tj. silniki AD3.152, AD3.152UR, Z8401.1, Z8402.1. stosowane w ciągnikach Ursus 2812, Ursus 3512, Ursus 914 i Ursus 1614. Wyniki tych badań przedstawione są w tabeli 23.

Tabela 23. Graniczne temperatury rozruchu silnika dla oleju napędowego i estrów metylowych oleju rzepakowego [142]

Table 23. Limiting starting temperature engine [142]

Typ silnika Engine type	AD3.152	AD3.152UR	Z8401.1	Z8402.1
Liczba cylindrów Number of cylinders	3	3	4	6
Urządzenie ułatwiające rozruch Start facilitator	Świeca płomieniowa w kolektorze ssącym Spark plug in fan collector	Świeca płomieniowa w kolektorze ssącym Spark plug in fan collector	Brak	Brak
Graniczna temperatura rozruchu dla: Limit starting temperature for:				
– oleju napędowego IZ-35, °C – engine oil IZ-35, °C	–18	–17	–12	–13
– estrów metylowych oleju rzepakowego (EMKOR), °C – methyl esters of rape oil (EMKOR), °C	–11	–11	–8	–9

Problematykę modyfikowania właściwości niskotemperaturowych estrów metylowych oleju rzepakowego podejmowano również w Wojskowej Akademii

Technicznej w Warszawie stwierdzając że korzystniejsze jest stosowanie różnego rodzaju depresatorów niż dodatek paliw ropopochodnych [142].

7.6. Wpływ FAME na niektóre elementy silnika

Zmiany właściwości niektórych metali spowodowane oddziaływaniem mineralnego oleju napędowego są znane już od dawna. Metale takie, jak miedź, ołów, cynk i cyna katalizują proces utleniania paliwa. W przypadku FAME oddziaływanie to nie jest jeszcze do końca udokumentowane i wymaga przeprowadzenia szczegółowych badań, szczególnie do konstrukcji eksploatowanych i produkowanych w Polsce pojazdów [71].

Badania przeprowadzone do tej pory dowodzą, że w urządzeniach lub ich podzespołach mogących mieć kontakt z estrami metylowymi oleju rzepakowego, należy unikać połączeń lutem cynowo-ołowiowym, cynkowych powłok, miedzianych przewodów, regulatorów wykonanych z brązu oraz wszelkich elementów wykonanych z miedzi. Dłuższy kontakt paliwa rzepakowego z tymi metalami powoduje zmianę zabarwienia zarówno paliwa, jak i metalu, ponadto powstają osady, które będą zalegać w układzie filtracyjnym.

Aluminium, stal nierdzewna, fluorowany polietylen, fluorowany polipropylen oraz teflon są materiałami najbardziej nadającymi się do budowy zbiorników magazynowych estrów metylowych oleju rzepakowego.

Jakość procesu pozyskiwania biopaliwa ma bardzo istotny wpływ na właściwości fizyko-chemiczne paliwa. Nieprawidłowo przeprowadzony proces technologiczny pozyskiwania FAME, np. pominięcie lub niedokładne usunięcie resztek katalizatora, będzie skutkowało nasileniem agresywności oddziaływania FAME na materiały konstrukcyjne. Przykładem takiego efektu może być nadmierne zużywanie się pierścieni tłoka.

Obecność grupy estrowej upodabniającej chemicznie FAME do niektórych lakierów oraz tworzyw sztucznych, powoduje skłonność tego paliwa do rozpuszczania niektórych lakierów i uszczelnień gumowych. Ponadto istnieje skłonność do wymywania wszystkich naniesionych podczas eksploatacji sprzętu osadów i zanieczyszczeń, w każdym miejscu układu paliwowego. Szlam zbierający się przez okres eksploatacji w układzie paliwowym podczas zasilania olejem napędowym, będzie rozpuszczany przez FAME, co w efekcie może spowodować zatkanie układów filtracyjnych, a nawet uszkodzenie wtryskiwaczy. Stopień nasilenia tego zjawiska jest ściśle uzależniony od składu procentowego stosowanej mieszanki paliwowej. W przypadku niewielkiego dodatku FAME charakter zjawiska będzie miał przebieg łagodny, bądź w ogóle nie wystąpi [71].

W Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych prowadzono doświadczenia dotyczące wpływu paliwa ekologicznego z rzepaku na wybrane elementy

gumowe i polimerowe silników. Badania te wykazały, że paliwo FAME wykazuje zdecydowanie większą agresywność w stosunku do materiałów gumowych i tworzyw sztucznych, niż olej napędowy ropopochodny. Objawia się to znacznie większym pęcznieniem, tzn. przyrostem masy oraz wymiarów, a także zmianą charakteru powierzchni, szczególnie elementów gumowych. W niektórych przypadkach różnice przyrostu masy sięgały 100-400% po upływie 1000 h. Pęcznienie elementów gumowych jest ściśle uzależnione od rodzaju mieszanki gumowej, z której został wykonany element. W związku z tym zachodzi konieczność poszukiwania i wykonywania elementów uszczelniających silnik z gumy wykazującej stosunkowo dobrą odporność na działanie ekologicznego oleju napędowego. Tworzywa sztuczne, zaś są bardziej odporne na działanie FAME. Stwarza to możliwość i celowość przeprowadzenia gruntownej analizy, które elementy silnika i układu paliwowego dotychczas wykonywane z gumy, będą mogły być zastąpione elementami wykonywanymi z tworzyw sztucznych [13].

Pierwsze doświadczenia z estrami FAME jako paliwami silnikowymi, wykazały niszczący wpływ tych produktów na niektóre tworzywa sztuczne, stosowane jako elementy konstrukcyjne i uszczelniania układów paliwowych pojazdów, a także rozpuszczanie starych powłok lakierniczych. Najbardziej podatne na działanie estrów FAME okazały się: polistyren, wysokociśnieniowy polipropylen, polichlorek winylu (PVC-P) a także kauczuk nitrylowy, a z powłok lakierniczych żywic syntetyczne, poliuretan i polietylen.

Uszkodzenia wielu pojazdów, w których stosowano FAME zmobilizowały producentów silników do wprowadzenia w połowie lat 90, nowych materiałów konstrukcyjnych, odpornych na działanie estrów. W tabeli 24, przedstawiono ocenę kompatybilności szeregu tworzyw sztucznych z FAME, przeprowadzoną zgodnie z metodą DIN 53476. Badania trwałości powłok lakierniczych wykazały, że odporność na działanie estrów FAME wykazują powłoki epoksydowe dwuskładnikowe oraz poliuretanowe dwuskładnikowe [28].

Powszechne wprowadzenie biopaliw na rynek paliw węglowodorowych w Polsce wiąże się z szeregiem operacji związanych z ich magazynowaniem, transportem, przepompowywaniem itp. Należy zaznaczyć, że estry FAME, a także oleje napędowe zawierające biokomponenty, wprowadzone do systemu produkcji i dystrybucji oleju napędowego mogą powodować uszkodzenia materiałów uszczelniających i elementów konstrukcyjnych stosowanych dotychczas w zaworach zbiorników i cystern, w pompach przeładunkowych itp., a także wymywanie powłok lakierniczych stosowanych w systemach magazynowania i dystrybucji oleju napędowego. Pominięcie gruntownej analizy tego zagadnienia i odpowiedniego przygotowania oraz wystąpienie ewentualnych błędów związanych ze zbyt powierzchownym potraktowaniem tego problemu mogą spowodować

poważne konsekwencje, zarówno dla dystrybutorów, jak i bezpośrednich użytkowników paliw do silników wysokoprężnych [28].

Tabela 24. Kompatybilność estrów FAME z tworzywami sztucznymi, wg DIN 53476 [28]
Table 24. FAME esters compatibility with plastics, acc. to DIN 53476 [28]

Tworzywo sztuczne Plastic	Barwa Colour	Przyrost masy Mass growth	
		(mg)	(%)
Octan celulozy (CA)	czarna	3	0,3
Celulose acetate	black		
Acetylomaślan celulozy (CAB)	brązowa	6	0,6
Celulose acetyl-butyrate	brown		
Żywica melaminowo-formaldehydowa (MF)	jasno-zielona	1	<0,1
Melamin-formaldehyde resin	light-green		
Poliamidy (PA)	ciemno-zielona	2	0,2
Polyamides	dark -green		
Poliwęglany (PC)	przezroczysta	2	0,2
Polycarbonates	transparent		
Polietylen wysokiej gęstości (PE HD)	biała	6	0,7
High density polyethylene	white		
Żywice fenolowo-formaldehydowe (PF)	żółta	1	<0,1
Phenol-formaldehyde resins	yellow		
Polimetakrylan metylu (PMMA)	brązowa, przezroczysta	1	0,1
Methyl polymethacrylene	brown, transparent		
Polioksymetylen (POM)	szara	1	<0,1
Polyoxymethylene	gray		
Polipropylen (PP)	żółta	1	0,1
Polypropylene	yellow		
Polistyren (PS)	brązowa, przezroczysta	Rozpuszczalny	
Polystyrene	brown, transparent		
Polichlorek winylu (PVC-P)	przezroczysta	56	1,5
Polyvinyl chloride	transparent		
Polichlorek winylu (PVC-U)	szara	0	0
Polyvinyl chloride	gray		
Kauczuk styrenowo-butadienowy	niebieska	3	0,4
Styrene-butadiene rubber	blue		
Nienasycone poliestry (UP)	żółta	1	<0,1
Unsaturated polyesters	yellow		

7.7. Stanowisko niektórych producentów silników wobec stosowania FAME

Stosunek producentów silników do stosowania w urządzeniach ich produkcji paliw rzepakowych jest bardzo zróżnicowany. Niektórzy producenci wyszli na przeciw oczekiwaniom zwolenników stosowania FAME, jako paliwa do silników wysokoprężnych stwierdzając, że przy dodatku biokomponenetu do 20% nie limitują ich stosowania. Są też tacy, którzy nie ograniczają stosowania paliwa

FAME w żadnym stopniu np. Hurliman czy Farymann Diesel GmbH, dając pełną gwarancję na swoje produkty, nawet przy zastosowaniu 100% paliwa rzepakowego. Niektóre zaś, jak np. Daihatsu Germany czy DAF Germany nie wyrażają zgody na stosowanie FAME w silnikach swojej produkcji.

Stanowisko niektórych producentów silników odnośnie stosowania FAME, przedstawiono w tabeli 25.

Tabela 25. Stanowisko niektórych producentów silników wobec stosowania FAME

Table 25. Some engines producers' standpoint concerning use of FAME

Nazwa producenta Manufacturer's name	Rodzaj pojazdu Vehicle kind	Deklaracja producenta Manufacturer's declaration
1	2	3
Audi AG	Samochody Cars	Generalnie w stosunku do nowych modeli od 1996; modele TDI serii A3, kabriolety, A4, A6 i A8 wyprodukowane przed 09/95 są dostosowywane do zasilania FAME wg DIN 51606; W odniesieniu do modeli wyprodukowanych przed 09/95 należy zasięgnąć opinii producenta. Brak możliwości stosowania w starszych modelach. Generally compared to new models since 1996 TDI models series A3, pick-ups, A4, A6 and A8 produced before 95.09. are adapted for FAME feeding according to DIN 51606; As to the models produced before 95.09. manufacturer has to be contacted. No possibility of application in the older models.
BMW AG	Samochody Cars	Modele 525 TDS E39 TOURING dostępne z akceptacją FAME od marca 1997; dopłata za specjalne wyposażenie o numerze 201 DM 330. Models 525 available with FAME acceptance since March 1997; extra payment for special application No 201 DM 330.
Caterpillar Overseas S.A.	Pojazdy Vehicles	Jedynie w odniesieniu do niektórych modeli, należy zasięgnąć opinii producenta. Only concerning some models manufacturer must be contacted.
Citroen Germany AG	Samochody Cars	Mieszanina 30% FAME zgodnego z E DIN 51606 jest dopuszczona, ale brak generalnej akceptacji. 30 % FAME mix acc. to E DIN 51606 is permitted but there is no general permission.
Daihatsu Germany GmbH	Samochody Cars	Brak zgody na stosowanie FAME. No permission for FAME application.
DAF Ciężarówki Germany GmbH	Ciężarówki Lorries	Brak zgody na stosowanie FAME. No permission for FAME application.
Fiat	Ciągniki Tractors	Dopuszczone dla wszystkich nowych modeli bez wpływu na gwarancję. Permitted for all the new models with no guarantee consequences.

Tabela 25. cd.
Table 25. Cont.

1	2	3
General Motors	Samochody Cars	Nie udzielono dopuszczeń dla silników Diesla GM. No permissions granted for DIESEL GM engines.
Honda Germany GmbH	Samochody Cars	Brak dopuszczeń. No permissions
IVECO Magirus AG	Ciężarówki Lorries	Dopuszczenie dla pojedynczych modeli silników pod ścisłą obserwacją podczas specjalnych przeglądów. Jakość paliwa zgodna z wymaganiami E DIN 51606. Brak dopuszczenia dla silników z rozdzielaczą pompą wtryskową EDC lub ze sprężarką. Permission for single engine models under strict control during special surveys. Fuel quality fulfilling the E DIN 51606 requirements. No permission for engines with a separating injector pump EDCD or with a compressor.
Mercedes	Samochody Cars Ciężarówki Lorries Ciągniki Tractors	Przyznano dopuszczenie dla: typ 202, 210 C200 CDI, C220 CDI, E200 CDI, E220 CDI z silnikiem 611 od 03/00 typ 203: C200 CDI, C220 CDI CDI z silnikiem 611 od 09/00 C220 D i Taxi, E220 D i Taxi z silnikiem 604 od 09/95, C 200 D Taxi, 200 D (124, 120) Taxi z silnikiem 601 tylko razem z SA-code 921 i dla silników modeli 300 i 400, dla LK model 900 i Actrosów model 500 są dopuszczenia. Dopuszczenie dla ciągników produkowanych od 1988. Permission granted for : type 202, 210 C200 CDI, C220 CDI, E200 CDI, E220 CDI with an engine 611 since 2002. 03. type 203: C200 CDI, C220 CDI CDI with an engine 600 since 2002.09. C220 D and Taxi, E220 D and Taxi with an engine 604 since 1995.09. C 200 D Taxi, 200 D (124, 120) Taxi with an engine 601 only together with SA-code 921 and for the engines models 300 and 400, for LK model 900 and Actros model 500 there are permissions. There is permission for tractors produced since 1988
Mitsubishi Auto Germany GmbH	Samochody Cars	Nie przyznano ogólnego dopuszczenia, ale 10% mieszanka FAME z paliwem jest dopuszczalna No general permission has been granted but 10 % mix of FAME with fuel is permissible.
Renault LKW Germany GmbH	Ciężarówki Lorries	Wszystkie modele z MWM- water-cooled i silnikami air-cooled Deutz. All the models with MWM- water-cooled and the engines air-cooled Deutz.
Same-Lamborghini	Ciāgniki Tractors	FAME dopuszczone od 1980. Fame permitted since 1980.

Tabela 25. cd.
Table 25. Cont.

1	2	3
Scania Germany GmbH	Ciężarówki Lorries	Mieszanina 5% FAME w powiązaniu ze szwedzką normą SS 155436 dopuszczona. Technicznie użycie 100% biodiesla jest możliwe, jednak konieczna jest konsultacja z producentem. 5% FAME mix in relation with the Swedish standard SS 155436 is permitted. Technically it is possible to use 100% biodiesel but it is necessary to consult the manufacturer.
Seat Germany GmbH	Samochody Cars	Dopuszczone od modeli 97 (produkcja od 9/96) i możliwość przystosowania starszych. Permitted since the 97 models (production since 1996.09) and there is a possibility to adapt the older models.
Volkswagen	Samochody Cars	Ogólne dopuszczenie dla wszystkich modeli od roku produkcji 1996. Polo Diesel (A3)/Polo Classic (za wyjątkiem Post Polo) są seryjnie przystosowane do FAME. Przystosowanie Post Polo jest planowane. Możliwość przerobienia wszystkich modeli Golf/Vento od modelu z roku 1992, za wyjątkiem TDI. Seryjny Golf Ecomatic Type 1 HXO przystosowany do FAME od numeru podwozia 1 HRP 491791, dla starszych modeli możliwe jest przerobienie. Limousine/Variany od modelu numer 31PE240001 i 31PB240001. Seryjny Sharan przystosowany do FAME od modelu numer 70TH012212 i 70TX019998 (za wyjątkiem 4- cylindrowego diesla bez katalizatora i pojazdów z dodatkowym podgrzewaniem). LT (stary) nie jest przystosowany do użycia FAME, aktualny model jest dopuszczony po przeróbkach. L80 jest badany do seryjnego użycia FAME. General permission for all the models since the production year 1996. Polo diesel (A3)/Polo Classic (except Post Polo) are serially adapted for FAME. Post Polo adaptation is being planned. There is a possibility of adaptation of all the Golf/Vento models since the 1992 model except TDI. Serial Golf Ecomatic Type 1 HXO adapted to FAME since the chassis number 1 HRP 491791; adaptation is possible for the older models. Limousine/Variany since the model number 31PE240001 i 31PB240001. Serial Sharan adapted to FAME since the model number 70TH012212 and 70TX019998 (except the 4-cylinder diesel without a catalyst and vehicles with extra heating). LT (the old one) is not adapted to FAME use, the current model has got the permission after adaptations. L80 is tested for the serial FAME use.
Skoda Germany GmbH	Samochody Cars	Seryjna Oktawia odpowiednia do użycia biodiesla. Serial Octavia suitable for biodiesel use.

Tabela 25. cd.
Table 25. Cont.

1	2	3
Volvo	Samochody Cars	Dopuszczenie dla S80 D od momentu produkcji. Dopuszczenie dla S70 TDI od podwozia numer 498.287. Dopuszczenie dla V70 TDI od podwozia numer 449.405. Nie dopuszcza się i nie ma możliwości przerobienia modeli S40/V40. Permission for S80 D since the moment of production. Permission for S70 TDI since the chassis number 498.287. Permission for V70 TDI since the chassis number 449.405. No permission and no possibility of adaptation for the models S40/V40.
Zetor/ZTS (Semex GmbH)	Ciągniki Tractors	Dopuszczalna mieszanina 30% w ciągnikach UR1 i UR3. Permission for the 30% mix in the tractors UR1 and UR3.

7.8. Korzyści i zagrożenia stosowania FAME

Korzyści wynikające z zastosowania FAME jako paliwa do silników ZS:

- znaczne zmniejszenie emisji CO, HC, PM, SO₂ w spalinach oraz zadymienia spalin,
- obniżenie emisji CO₂ (częściowe zamknięcie łańcucha obiegu CO₂),
- niewielkie działanie toksyczne i drażniące na organizm ludzki (m.in. brak zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych),
- dobra biodegradowalność,
- wysoka liczba cetanowa daje możliwość uzyskiwania wyższych prędkości obrotowych i opóźnienia wtrysku,
- dobre właściwości smarne poprawiające smarność niskosiarkowych olejów napędowych,
- mniejsza zawartość siarki powoduje mniejsze oddziaływanie na katalityczne układy oczyszczania spalin,
- obniżona hałaśliwość silnika,
- bezpieczeństwo w transporcie i użytkowaniu ze względu na wysoką temperaturę zapłonu.

Zagrożenia wynikające z zastosowania FAME jako paliwa do silników ZS:

- niższa wartość opałowa powodująca większe zużycie paliwa,
- wyższa lepkość wpływa na pogorszenie przebiegu procesu rozpylania paliwa i maksymalne ciśnienie wtrysku,
- możliwy wzrost emisji NO_x (do 15%),
- zwiększenie emisji aldehydów,
- gorsze właściwości niskotemperaturowe, utrudniony rozruch silnika w niskich temperaturach otoczenia,

- obniżenie zdolności dyspergowania oleju silnikowego współpracującego z paliwem estrowym,
- obniżenie trwałości elementów stykających się z paliwem, a wykonanych z typowych elastomerów i gum,
- korozja pokryw lakierniczych elementów stykających się z paliwem,
- silne działanie korozyjne na stopy zawierające miedź, powiązane z tworzeniem osadów i znacznie niższe oddziaływanie korozyjne na stal, cynk i ołów,
- intensywna chłonność wody,
- niska odporność na hydrolizę, prowadząca do powstawania szlamu i wytrąceń, blokujących filtry paliwa,
- większa podatność na skażenia mikrobiologiczne,
- gorsza stabilność termooksydacyjna, szybkie pogarszanie właściwości paliwa w czasie przechowywania,
- niezbadane skutki oddziaływania tych paliw na silniki samochodowe najnowszej generacji, szybkoobrotowe z wtryskiem bezpośrednim,
- na układ paliwowy (elektroniczne lub piezokwarcowe wtryskiwacze dla układów typu Common Rail oraz pompowtryskiwaczowych o najwyższych ciśnieniach wtrysku do 210 MPa, zapychanie się filtrów dokładnego oczyszczania),
- na zaawansowane układy oczyszczania spalin (reaktory katalityczne DeNO_x, absorbery NO_x, filtry cząstek stałych z układami regeneracji).

8. ASPEKTY EKONOMICZNE PRODUKCJI BIOPALIWA

Zastosowanie estrów oleju rzepakowego jako biopaliwa w silnikach z zapłonem samoczynnym w Polsce pozwoliłoby na zmniejszenie uzależnienia od importu paliw pochodzących z przerobu ropy naftowej. Podaż i ceny tych paliw są ściśle uzależnione od czynników politycznych. Kolejne kryzysy na Bliskim Wschodzie powodowały drastyczne podwyżki cen ropy naftowej. Państwa zrzeszone w OPEC (Organizacja Państw Eksportujących Ropę Naftową) ograniczają roczne wydobycie celem zapewnienia wysokiego poziomu cen surowca. Dysponowanie zasobem paliw własnej produkcji dawałoby większą niezależność od czynników zewnętrznych. W Stanach Zjednoczonych oszczędności na imporcie ropy naftowej w ciągu 15 lat, wynikające ze wzrostu zużycia biopaliw od 0,8 do 5,0% ogólnego zużycia paliw mają przynieść efekt w kwocie 54,5 mld USD. Produkcja paliwa z rzepaku stwarza również możliwość lepszego wykorzystania zasobów ziemi oraz przyczynia się do tworzenia nowych miejsc pracy i rozwoju obszarów wiejskich.

Należy nadmienić, że rzepak jest jednak rośliną niezmiernie trudną w uprawie, a zmienność w wysokości plonowania może wynosić nawet 20-25%.

Koszty uprawy rzepaku są wysokie w związku z dużą ilością stosowanych nawozów (dwukrotnie wyższe dawki azotu i fosforu oraz pięciokrotnie wyższe dawki wapnia niż w przypadku pszenicy). Wskutek tego koszty uprawy 1 ha rzepaku są o 20-25% wyższe niż w przypadku pszenicy ozimej, co potwierdzają badania Instytutu Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej. Natomiast plony rzepaku są o około 35% niższe niż, w przypadku pszenicy [105].

Znaczne rozdrobnienie gospodarstw w Polsce powoduje, że tylko niewielka ich część może prowadzić uprawę rzepaku na dużą skalę. Wyjściem z tej sytuacji byłoby zawieranie między sąsiadami porozumień, umożliwiających ustalenie jednego płodozmianu dla kilku gospodarstw i wspólne magazynowanie zbiorów. Uprawa roli pod rzepak przypada na okres spiętrzenia prac polowych w gospodarstwach rolnych. Dlatego też sprawą o podstawowym znaczeniu jest ustalenie właściwego harmonogramu prac i zapewnienie odpowiedniej liczby personelu, ciągników i maszyn.

Niemniej istotnym jest optymalne oraz szczególnie staranne i terminowe wykonywanie prac pielęgnacyjnych, jak również przestrzeganie odpowiedniego terminu zbioru rzepaku. Terminowe wykonywanie prac polowych jest znacznie łatwiejsze do wykonania w przypadku współpracy międzysąsiedzkiej i w grupach producenckich. Zastosowanie tej formy współpracy umożliwia wykorzystanie nowych bardziej wydajnych technologii oraz maszyn, gwarantujących wysoką jakość i dużą efektywność pracy oraz dotrzymywanie terminów, będących niezwykle istotnymi w agrotechnice rzepaku. Wspólne użytkowanie maszyn rolniczych przyczynia się do poprawy efektywności produkcji, dzięki zmniejszeniu nakładów inwestycyjnych na sprzęt rolniczy oraz zmniejszeniu kosztów stałych eksploatacji maszyn.

W ocenie zasadności produkcji nośników energii z surowców pochodzenia roślinnego, należy brać pod uwagę nie tylko efekty bezpośrednie, ale i skutki natury gospodarczej, społecznej i ekologicznej. Ponadto niezwykle istotnym jest poszukiwanie, weryfikowanie w warunkach praktycznych i wdrażanie rozwiązań poprawiających efektywność produkcji biopaliw, gdyż jest to jedyna droga dla zapewnienia ich konkurencyjności w stosunku do paliw tradycyjnych [105].

Przerób rzepaku na biopaliwo jest znaczącym problemem badawczym i technologicznym. Od dłuższego czasu występuje duże zainteresowanie rolników agrorafineriami, które należy traktować jako inwestycje ekologiczne. Prawidłowa ocena ekonomiczna agrorafinerii jest niezbędna dla uruchomienia wytwórni, bądź nawet sieci wytwórni biopaliwa z rzepaku. Ta gałąź techniki rolniczej w naszym kraju charakteryzuje się dużymi zaległościami w dziedzinie technologii produkcji w stosunku do krajów UE (w szczególności Austria, Niemcy, Francja, Włochy). Z tego powodu należy dążyć do optymalizacji systemu wytwarzania biopaliwa z rzepaku, z uwzględnieniem ochrony środowiska oraz zasad inżynierii procesów rolniczych [91].

W celu prawidłowego przeprowadzenia oceny przerobu rzepaku na paliwo, należy przeanalizować nakłady i efekty obejmujące cały system wytwarzania z uwzględnieniem zagospodarowania produktów ubocznych, w tym słomy, wytloku i glicerolu. Należy też dokonać oceny i analizy popytu na biopaliwo poprzez przeprowadzenie badań marketingowych.

Jedną z metod oceny efektywności ekonomicznej agrorafinerii, może być metoda zaproponowana przez Mikuckiego [91]:

$$t_z = \frac{C_a}{(P_p + P_g + P_m) - (k_k + k_r + k_{rob} + k_{napr})} \quad (3)$$

$$e_a = \frac{1}{t_z} \cdot 100\%$$

gdzie:

- C_a – cena agrorafinerii,
- k_k – koszty komponentów,
- k_r – koszty rzepaku,
- k_{rob} – koszty robocizny,
- k_{napr} – koszty napraw,
- P_p – przychody ze sprzedaży paliwa,
- P_m – przychody ze sprzedaży wytloku,
- P_g – przychody ze sprzedaży glicerolu,
- t_z – czas zwrotu nakładów na agrorafinerię,
- e_a – efektywność agrorafinerii.

8.1. Możliwości produkcyjne rzepaku przeznaczonego na biopaliwa

Zasadnicze problemy związane z produkcją biodiesla wynikają z braku surowców do jego wytwarzania. W chwili obecnej jest to zagadnienie dość złożone, które dotyka w podobny sposób zarówno nasz kraj, jak i kraje UE. Bazując na danych niemieckich [128], można określić możliwości produkcyjne rzepaku. Areal ziem uprawnych w Niemczech wynosi ok. 12 mln ha. Przestrzegając zasad zmianowania i uprawy, ok. 20% tego arealu może być obsiane rzepakiem, czyli 2,4 mln ha. Przyjmując plon $3,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ i zawartość tłuszczu w nasionach na poziomie 40%, otrzymamy 3 mln t oleju rzepakowego. Z tego 2 mln t może być przeznaczony na produkcję biodiesla. Ponieważ w Niemczech zużywa się ok. $27 \text{ mln t} \cdot \text{rok}^{-1}$ oleju mineralnego (dane z roku 1999), a więc ok. 7,4% tego zapotrzebowania może być pokryte przez biodiesel. Aktualnie jego udział wynosi 1,3%. Wyliczenia te wskazują wyraźnie, że paliwo to nie zastąpi definitywnie paliw kopalnianych. Z tego powodu powinno być ono stosowane wyłącznie

w obszarach wrażliwych środowiskowo (las, parki, miejscowości uzdrowiskowe) lub przez pojazdy szczególnie niekorzystnie wpływające na środowisko lokalne (komunikacja miejska, itp.).

Podobne wyliczenia zastosowane dla warunków polskich wskazują, że na ok. 14 mln ha gruntów rolnych i obsianiu rzepakiem „tylko” 10% z nich uzyskamy 1,4 mln ha rzepaku (niektórzy szacują te możliwości na 2 mln ha). Obecnie powierzchnia zasiewów rzepaku oscyluje w granicach 500 tys. ha (od 392 tys. ha w 2003 do 545 tys. ha w 1999 roku). Szacuje się, że wzrost upraw rzepaku będzie następował kosztem innych upraw. Część rzepaku będzie (tak, jak w innych krajach UE) uprawiana na glebach przeznaczonych do przymusowego odłogowania (nie będą to gleby najgorsze). Tak znaczny wzrost powierzchni jego zasiewów wiązałby się z obsianiem około 13% gleb dobrych i bardzo dobrych, a po uwzględnieniu gleb średnich rzepak zajmowałby około 10% gleb bardzo dobrych, dobrych i średnich. Jest to możliwe pod warunkiem zapewnienia opłacalności i konkurencyjności rzepaku w stosunku do innych płodów rolnych [82,116,157].

Plon rzepaku w ostatnim dziesięcioleciu wynosił średnio około 2 t·ha⁻¹, jest mniejszy o 50% w porównaniu z plonem w krajach UE. Duży wpływ mają na to warunki pogodowe, szczególnie w trzech okresach krytycznych (jesień, zima oraz faza kwitnienia). Także niedobór wody w Polsce w ostatnich latach był dużo większy niż w większości krajów UE. Wzrostu plonowania rzepaku należy oczekiwać poprzez zastosowanie gruntownej poprawy technologii produkcji oraz ograniczenia działania czynników redukujących plon, do których należą przede wszystkim [81]:

- niedobory składników pokarmowych,
- szkody powodowane przez owady, choroby i chwasty,
- zaniedbania agrotechniczne,
- straty podczas zbioru,
- straty pozbiorowe.

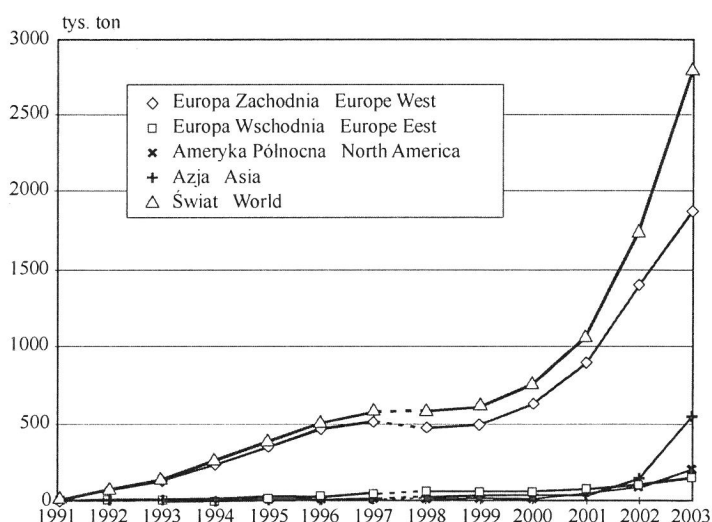
Pewne możliwości zwiększenia plonowania rzepaku można wiązać również z wprowadzeniem do produkcji nowych odmian mieszańcowych rzepaku, które w wyniku heterozji dają o 20-30% wyższe plony od uprawianych obecnie. Stosując założenia optymalizacji produkcji rzepaku można w warunkach polskich uzyskać plon 2,5 t·ha⁻¹ (od 1,7 t·ha⁻¹ w 2003 do 2,4 t·ha⁻¹ w 2004 roku). Zakładając trzykrotny wzrost areалу rzepaku do powierzchni 1,4 mln ha możemy uzyskać około 3,5 mln t nasion.

Potrzeby surowcowe związane z zapotrzebowaniem na cele spożywcze wynoszą ok. 1-1,5 mln t. Natomiast krajowe zapotrzebowanie surowcowe na produkcję biodiesla określane na rok 2005, uwzględniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego (21003/30/EC), wynosi 450-500 tys. ton. Mając na uwadze stan przemysłu agrorefineryjnego, jak i organizację bazy surowcowej

można przypuszczać, że ich obecna dynamika rozwoju może być niewystarczająca do podjęcia tego wyzwania.

Trzykrotny wzrost powierzchni uprawy rzepaku jest działalnością przyszłościową i bardzo realną do uzyskania, należy jednak doprowadzić do tego, aby firmy zainteresowane surowcem (zakłady tłuszczowe, agorafinerie biopaliwowe) energicznie przystąpiły do podniesienia ogólnorolniczej wiedzy (szkolenia) producentów rzepaku. O potrzebie podnoszenia kwalifikacji rolniczych świadczy fakt, że w Niemczech stosuje się obecnie ok. $242 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ nawozów mineralnych, gdy tymczasem w Polsce tylko $86 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Istotny przyrost uprawy rzepaku nie może nastąpić w tempie skokowym. Systematyczne działania w tym kierunku powinny być wspomagane zarówno przez władze krajowe, samorządowe jak również firmy zainteresowane tym zagadnieniem oraz placówki naukowe.

Dynamikę wzrostu światowej produkcji biopaliwa przedstawiono na rysunku 50. Wynika z niego, że zainteresowanie tym nośnikiem energii jest ogromne i w ostatnich kilku latach produkcja biopaliwa wzrosła kilkakrotnie.



Rys. 50. Światowa produkcja biopaliwa [73]

Fig. 50. Biofuels production in the world [73]

Wielkość produkcji biopaliwa w wybranych krajach Europy przedstawia się następująco: Niemcy ~ 1 mln t, Francja ~ 500 tys. t, Włochy ~ 190 tys. t, Czechy ~ 90 tys. t [73].

Dane spisu rolnego z 1996 r. w Polsce przedstawiają się następująco: w 167 powiatach areal uprawy rzepaku był niewielki (poniżej 1% w strukturze zasiewów), natomiast w 60 powiatach mały (poniżej 3%), zaś w pozostałych 81

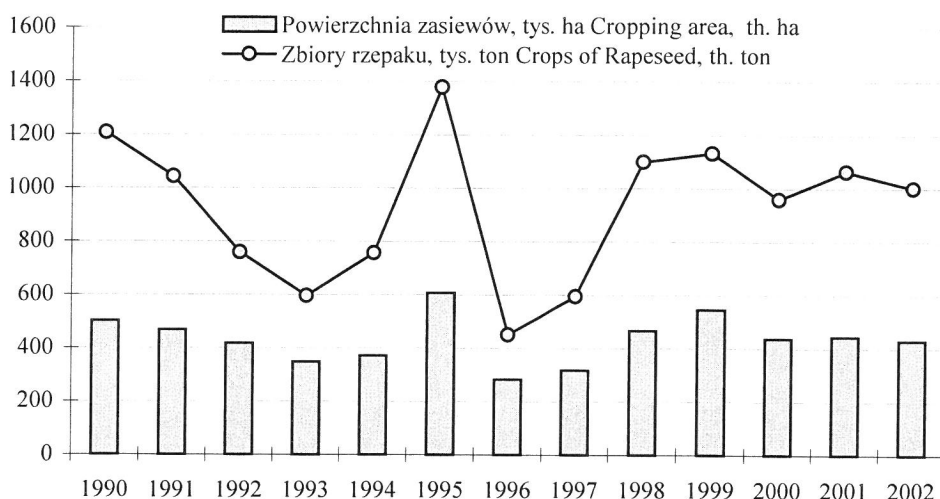
powiatach rzepakiem obsiewano większą ilość gruntów ornych (w granicach 3-12%). Największą rolę w produkcji rzepaku odegrały województwa: dolnośląskie, warmińsko-mazurskie oraz zachodniopomorskie. Szczegółowe dane dotyczące powierzchni zasiewów oraz plonowania rzepaku zaprezentowane zostały w tabeli 26 i rysunku 51.

Tabela 26. Powierzchnia zasiewów, plony i zbiory rzepaku w Polsce w latach 1996-2002 [115]

Table 26. Sowing area, crops and harvests of rapeseed in Poland in the years 1996-2002 [115]

Wyszczególnienie Specification	Jednostka Unit	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003*
Powierzchnia Area	tys. ha th. ha	283	317	466	545	436	443	428	
Plony Crops	q·ha ⁻¹	15,9	18,6	23,6	20,8	21,9	24,0	22,3	17,5
Zbiory Harvests	tys. ton th. ton	449	595	1009	1132	985	1064	940	
Cena Price	zł·t ⁻¹ PLN·t ⁻¹	845	865	896	643	806	822	880	1016
Cena rzepaku/pszenicy Price of rape/wheat		1,48	1,71	1,92	1,47	1,62	1,67	1,99	2,31

*dane nie publikowane unpublished data



Rys. 51. Powierzchnia uprawy oraz zbiory rzepaku i rzepiku w latach 1990-2002 [116]

Fig. 51. Cropping area and crops of rapeseed and turnip-like rape in the years 1990-2002 [116]

Istotnymi czynnikami określającymi lokalizację zasiewów są:

- jakość gleb,
- ukształtowanie terenu,
- lokalne warunki klimatyczne (wymarzenie, sumy opadów, temperatura itp.),
- struktura obszarowa gospodarstw (rozdrobnienie agrarne).

Tabela 27. Powierzchnia (tys. ha i % ogółu gruntów ornych) gleb przydatnych do uprawy rzepaku w poszczególnych województwach oraz areal uprawy rzepaku (1999-2000) [82]

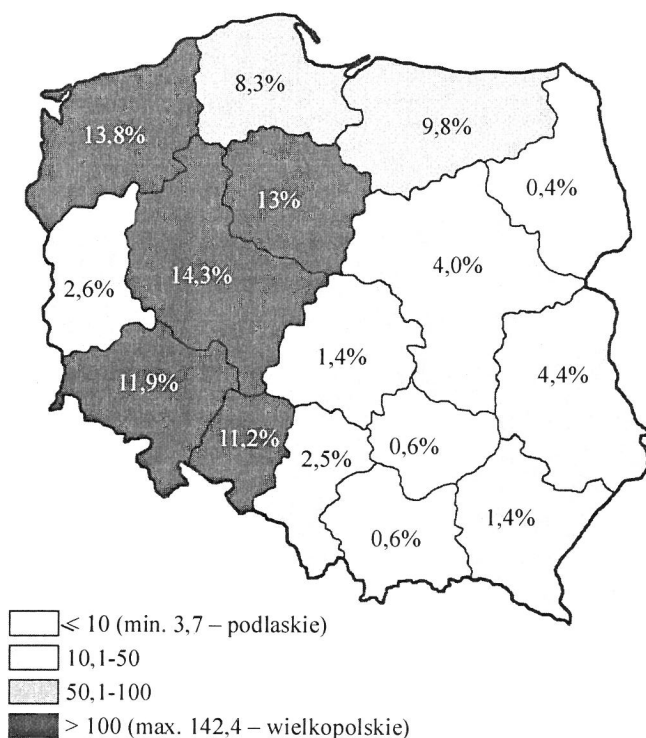
Table 27. Area (ha thousands and % of the total arable land) of the land capable for rape cultivation in particular voivodships and the rapeseed cultivation area (1999-2000) [82]

Województwo Voivodship	Gleby Soils						Areal uprawy rzepaku Rape cropping area	
	Bardzo dobre Very good		Dobre Good		Średnie Medium			
	tys. ha th. ha	%	tys. ha th. ha	%	tys. ha th. ha	%	tys. ha th. ha	%*
Dolnośląskie	408	46	209	24	106	12	72	11,2
Kujawsko-pomorskie	228	22	321	31	197	19	49	8,9
Lubelskie	447	31	377	26	266	19	16	1,9
Lubuskie	37	9	83	20	89	21	20	16,6
Łódzkie	129	12	232	21	197	18	5	1,4
Małopolskie	300	39	231	30	27	4	2	0,4
Mazowieckie	219	11	438	22	334	17	9	1,5
Opolskie	238	48	115	23	87	17	50	14,2
Podkarpackie	299	48	187	26	52	7	6	1,2
Podlaskie	91	10	261	30	141	16	1	0,4
Pomorskie	192	25	175	23	142	19	36	9,8
Śląskie	107	21	128	25	71	14	11	4,7
Świętokrzyskie	202	32	169	27	48	8	3	0,8
Warmińsko-mazurskie	377	35	282	26	151	14	49	7,4
Wielkopolskie	213	13	403	25	304	19	66	10,7
Zachodnio-pomorskie	162	18	279	31	205	22	82	18,6
Polska	3650	24	3891	26	2416	16	475	6,2

* w stosunku do powierzchni gleb bardzo dobrych i dobrych

Szacując możliwości zwiększenia powierzchni uprawy rzepaku w Polsce należy przyjmować, że w początkowym okresie wzrost jego udziału w strukturze zasiewów będzie występował w obecnych rejonach produkcyjnych. Analizując jakość gleb i warunki atmosferyczne oraz większą ilość dużych gospodarstw, najkorzystniejsze tereny znajdują się w rejonie Kujaw i Wielkopolski. Nieco

w mniejszym stopniu w południowej części województwa lubelskiego i północno-wschodniej województwa podkarpackiego. Natomiast w rejonach o dość znacznym rozdrobnieniu agrarnym, gdzie większość gospodarstw posiada powierzchnię użytków rolnych poniżej 10 ha, pomimo odpowiednich warunków glebowo-klimatycznych, możliwości zwiększenia uprawy rzepaku są niewielkie. Jest to uwarunkowane głównie zmniejszoną wydajnością pracy nowoczesnych urządzeń oraz zwiększonym nasileniem skutków działalności szkodników na pojedynczych plantacjach nie przekraczających 2 ha. Do takich rejonów w Polsce należy zaliczyć przede wszystkim województwa: małopolskie, świętokrzyskie oraz pozostałą część podkarpackiego [82].



Rys. 52. Zbiory rzepaku i rzepiku w 2002 roku w tys. ton. Procentowy udział województw w zbiorach [111]

Fig. 52. Crops of rape and turnip-like rape in 2002 in thousands of tons. Per cent of voivodship participation in the crops [111]

W wielu innych opracowaniach [111] autorzy również wskazują, że największy potencjał rzepakowy (rys. 52) występuje w rejonach Polski zachodniej i północnej (Wielkopolska, Kujawy, Mazury). Te rejon są w największym

stopniu „nasycone rzepakiem” (w niektórych gospodarstwach udział rzepaku dochodzi nawet do 30%). Stąd też w tych rejonach istnieje ograniczona możliwość wzrostu areалу uprawy, a zwiększenie podaży rzepaku może odbywać się wyłącznie poprzez wzrost plonu. Znaczne możliwości istnieją natomiast w rejonie Polski centralno-wschodniej. Tam koncentracja rzepaku jest niewystarczająca, zarówno ze względów płodozmianowych, jak i jakości gleby.

8.2. Koszt produkcji rzepaku

Rozwój współczesnego rolnictwa doprowadził do tego, że jest ono w stanie produkować wystarczającą ilość żywności tylko na części ziemi dostępnej do uprawy. W krajach UE aby nie dopuścić do nadwyżki i spadku cen produktów rolniczych, część gruntów ornych (5-15%) podlega odłogowaniu. W celu utrzymania sprawności rolniczej tych gleb (zapobieganie przed erozją i wypłukiwaniem związków mineralnych, szczególnie azotowych) należy utrzymywać je w „czarnym ugorze” lub obsiewać roślinami „energetycznymi”, a dla producentów stosować dopłaty.

Rośliną spełniającą te wymagania jest rzepak. Może być on uprawiany na odłogowanej ziemi, a olej rzepakowy będzie wykorzystany jako źródło energii. Gwarancją opłacalności produkcji powinna być umowa kontraktacyjna podpisana pomiędzy producentem a kupującym. Ten sposób postępowania spotkał się z zainteresowaniem zarówno rolników krajów UE, w tym szczególnie niemieckich (tab. 28).

Tabela 28. Uprawa roślin oleistych na gruntach ornych odłogowanych [128]

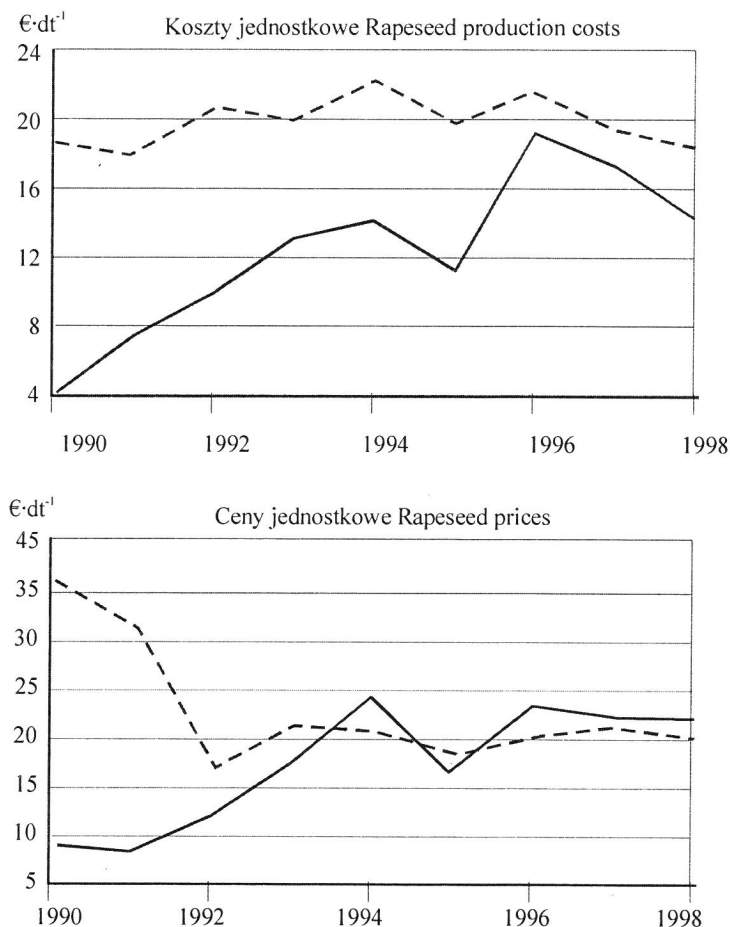
Table 28. Oleiferous plants cultivation on idle land [128]

Rok Year	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Powierzchnia, tys. ha Area, th. ha									
EU	203	612	968	650	383	415	945	834	794
Niemcy Germany	61	147	350	235	110	146	368	341	329

W Niemczech na glebach odłogowanych uprawia się obecnie ok. 329 tys. ha, a w krajach UE 794 tys. ha. Uprawa rzepaku na glebach przeznaczonych do odłogowania, pozwala rolnikowi oprócz dopłaty z UE również uzyskać dochód z uprawy rzepaku na cele energetyczne [128].

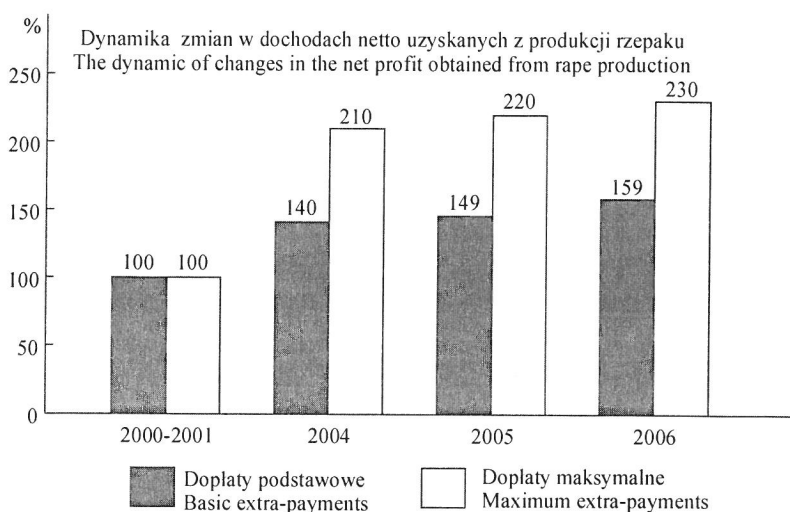
W Polsce w latach 90-tych produkcja rzepaku przynosiła rolnikom stosunkowo niskie dochody rolnicze, dodatkowo bardzo zmienne w latach. W roku 1999 wskaźnik opłacalności, tj. stosunek uzyskanych przychodów z uprawy do poniesionych na nią kosztów, osiągnął w przypadku tej rośliny nawet wartość ujemną. Jednostkowe koszty produkcji i ceny zbytu rzepaku w roku 1990 w Polsce były

czterokrotnie niższe niż w UE, zaś w latach 1991-1998 koszty produkcji w Polsce wyraźnie wzrosły i praktycznie zrównały się z kosztami produkcji w UE (rys. 53). W tym samym czasie w Polsce ceny zbytu rzepaku znacznie wzrosły, zaś w UE po wprowadzeniu dopłat bezpośrednich zmniejszyły się prawie dwukrotnie. W efekcie doprowadziło to do wyrównania poziomu cen rzepaku w Polsce i UE. W celu zapewnienia konkurencyjności polskiego rzepaku, konieczne jest obniżenie kosztów jednostkowych produkcji. Większość specjalistów proponuje obniżyć koszty poprzez wzrost wydajności plonów i obniżenie kosztów nawożenia [82].



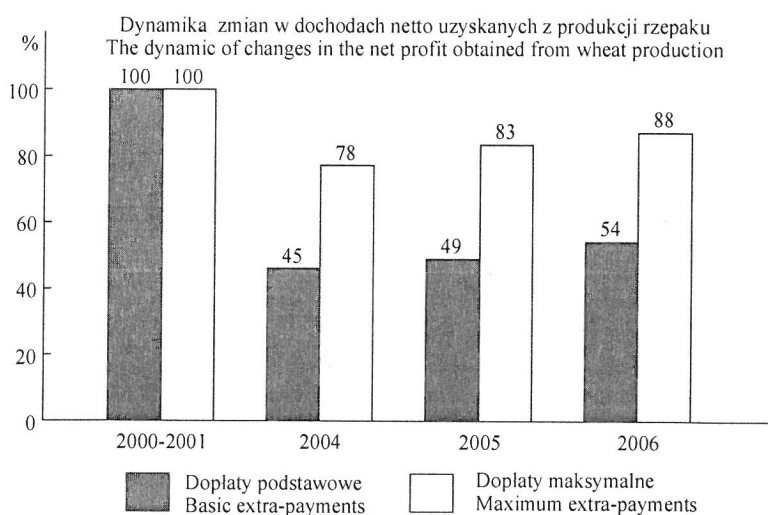
Rys. 53. Koszty produkcji i ceny rzepaku w Polsce i Unii Europejskiej w latach 1990-1998 [81]

Fig. 53. Rape production costs and rape prices in Poland and the EU in the years 1990-1998 [81]



Rys. 54. Dynamika zmian w dochodach netto uzyskanych z produkcji rzepaku [116]

Fig. 54. The dynamic of changes in the net profit obtained from rape production [116]



Rys. 55. Dynamika zmian w dochodach netto uzyskanych z produkcji pszenicy [116]

Fig. 55. The dynamic of changes in the net profit obtained from wheat production [116]

Po znaczącym spadku cen rzepaku w 1999 roku, w ostatnich latach ceny rzepaku ponownie wzrastają. W roku 2003 wskutek nieurodzaju nastąpiła przewaga popytu nad podażą, co spowodowało istotny wzrost cen rzepaku nawet do 1100 zł·t⁻¹. W tym czasie cena pszenicy wynosiła 478,8 zł·t⁻¹ (bez dopłaty). Znacząco wyższy wzrost ceny skupu rzepaku niż pszenicy, oznacza względną

poprawę opłacalności jego produkcji [116]. Przystąpienie Polski do UE spowoduje procesy dostosowawcze cen rynkowych, stąd ceny rzepaku będą w większym stopniu uzależnione od cen nasion na rynku europejskim. Będzie to również miało dodatni wpływ na stabilizację cen nasion rzepaku w najbliższych latach z powodu odbudowy światowych zapasów, które ostatnio zostały znacząco zredukowane [116].

Podjęcie produkcji rzepaku, szczególnie na dużą skalę wymaga przeprowadzenia szczegółowego rachunku ekonomicznego. Kalkulacja kosztów produkcji rzepaku przeprowadzona przez Dobka [27], powinna uwzględniać zarówno koszty utrzymania maszyn i urządzeń wchodzących w skład parku maszynowego, jak i koszty ich wykorzystania w procesie produkcji rzepaku. Obliczenia jednostkowych kosztów eksploatacji maszyny czy urządzenia można przeprowadzić korzystając ze wzoru:

$$K_e = K_{utr} + K_{uż} + K_c + K_t + K_{rob} \quad [\text{zł} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (4)$$

gdzie:

- K_e – koszt eksploatacji maszyn i urządzeń,
- K_{utr} – koszt utrzymania maszyn i urządzeń,
- $K_{uż}$ – koszt użytkowania maszyn i urządzeń,
- K_c – koszt eksploatacji ciągnika,
- K_t – koszt transportu,
- K_{rob} – koszt robocizny.

Wszystkie wymienione składniki jednostkowych kosztów produkcji wyrażone są w $\text{zł} \cdot \text{h}^{-1}$. Na koszty utrzymania maszyny lub urządzenia biorącego udział w procesie produkcyjnym składają się trzy różne rodzaje kosztów:

- koszt amortyzacji K_a (obliczany na podstawie ilorazu ceny maszyny wyrażonej w zł oraz liczby godzin pracy w okresie użytkowania),
- koszt przechowywania i konserwacji K_k , (należy przyjąć, że wynosi on ok. 2% wartości ceny nowej maszyny rocznie),
- koszt ubezpieczenia K_{ub} (tylko dla maszyn i urządzeń podlegających ubezpieczeniu, dla pozostałych wartość ta jest równa zero).

Na koszty użytkowania maszyn i urządzeń składają się:

- koszty napraw K_n ,
- koszty paliwa i smarów K_p ,
- koszty materiałów pomocniczych K_{mp} .

Poszczególne składniki kosztów użytkowania maszyn i urządzeń oblicza się na podstawie następujących zależności:

Koszty napraw:

$$K_n = \frac{k_n \cdot C_m}{T_n \cdot 100} \quad [\text{zł} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (5)$$

gdzie:

k_n – procentowy wskaźnik kosztów napraw w odniesieniu do ceny maszyny [%],

T_n – normatywny czas użytkowania maszyny w procesie produkcji [h],

C_m – cena początkowa maszyny [zł].

Koszty paliwa i smarów:

$$K_p = g_e \cdot 1,2 \cdot C_p \quad [\text{zł} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (6)$$

gdzie:

g_e – jednostkowe zużycie paliwa [$\text{dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$],

C_p – cena paliwa [$\text{zł} \cdot \text{dm}^{-3}$],

1,2 – współczynnik obliczeniowy wynikający z relacji ilościowo-cenowych zużycia paliwa i smarów przez ciągnik.

Koszt materiałów pomocniczych K_{mp} oblicza się według danych własnych.

Zdecydowanie najistotniejszym czynnikiem decyzyjnym przy podejmowaniu produkcji przez rolnika, jest jej opłacalność. Ściśle związany z opłacalnością produkcji jest dochód z tytułu jej prowadzenia. Wartość dochodu bezpośredniego (brutto) wynikającego z produkcji rzepaku w określonych warunkach, wyznacza się na podstawie różnicy uzyskanych przychodów ze sprzedaży rzepaku i kosztów poniesionych na jego wyprodukowanie, tzn:

$$D_{pr} = P_s - K_{pr} = p_{rz} \cdot C_{rz} - (K_e + K_{ms} + K_{us}) \quad [\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}] \quad (7)$$

gdzie:

D_{pr} – dochód z produkcji rzepaku, [$\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$],

P_s – przychody ze sprzedaży rzepaku, [$\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$],

K_{pr} – koszty produkcji rzepaku, [$\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$],

p_{rz} – plon rzepaku, [$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$],

C_{rz} – cena zbytu rzepaku, [$\text{zł} \cdot \text{t}^{-1}$],

K_e – koszty eksploatacji maszyn i urządzeń, [$\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$],

K_{ms} – koszty zużytych materiałów i surowców, [$\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$],

K_{us} – koszty usług prac maszynowych, [$\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$].

Niezwykle istotnym, jak zauważa Dobek, jest wdrażanie coraz nowszych technologii produkcji oraz nowocześniejszych maszyn i urządzeń, które zastępują pracę

ludzką pracą maszyn i narzędzi. Praca nowoczesnych maszyn w rolnictwie jest w większości przypadków pracą tańszą i bardziej efektywną od pracy ludzkiej.

Dla rolników nie posiadających własnego zaplecza maszynowego, praca najemna jest bardzo istotnym składnikiem kosztów, dlatego też niezwykle ważny jest prawidłowy i optymalny dobór zabiegów agrotechnicznych wykonywanych na zlecenie. Najbardziej pracochłonnym zabiegiem agrotechnicznym w uprawie rzepaku ozimego jest orka. Proces ten w przypadku zastosowania tradycyjnego pługa zagonowego pochłania $2,08 \text{ rbh} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wykorzystanie do tego celu brony talerzowej ($0,47 \text{ rbh} \cdot \text{ha}^{-1}$) lub kultywatora podorywkowego ($0,45 \text{ rbh} \cdot \text{ha}^{-1}$) znacznie obniża pracochłonność wykonania orki. Oszczędność pracy, wynikająca z wykorzystania tych urządzeń może sięgać $1,61\text{--}1,63 \text{ rbh} \cdot \text{ha}^{-1}$, co w wyrażeniu procentowym wynosi około 78% [27].

Zużycie paliwa przez ciągniki i maszyny rolnicze jest niewątpliwie bardzo istotnym składnikiem kosztów uprawy rzepaku. Największym zużyciem paliwa przy produkcji rzepaku charakteryzują się technologie tradycyjne, w których wykonuje się podorywkę orkę siewną oraz doprawianie gleby przed siewem. Ilość zużywanego paliwa w przypadku tych technologii może osiągać ok. $83,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ [27]. Nieco mniejsze zużycie paliwa $75,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, wykazują technologie z głębosowaniem (w technologii wykorzystującej agregaty o mniejszej wydajności) natomiast $64,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ w technologii wykorzystującej agregaty o wydajności większej. Wyniki tych badań przemawiają na korzyść zastosowania w uprawie rzepaku agregatów o większej wydajności, ponieważ pozwala to na zmniejszenie zużycia paliwa od ok. 12,4 do 14,1% zależnie od zastosowanej technologii. Na uwagę zasługuje fakt, iż najmniejsze zużycie paliwa na hektar występuje w technologii siewu bezpośredniego ($32,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ w technologii wykorzystującej agregaty o wydajności większej oraz $41,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ w technologii wykorzystującej agregaty o mniejszej wydajności) oraz siewu z kombajnu ($24,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Różnica w zużyciu paliwa może dochodzić do $59,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Reasumując, należy stwierdzić, że wprowadzając uproszczenia w agrotechnice można zdecydowanie zmniejszyć zużycie paliwa, co pociąga za sobą dodatkowe efekty w postaci obniżenia kosztów produkcji. Dodając do tego zmniejszenie energochłonności, jak i pracochłonności zabiegów, nakłady energii można zmniejszyć o około 77% [27].

8.3. Koszt uzysku oleju oraz produkcji biopaliwa

Biopaliwa ciekłe są ciągle zdecydowanie droższe od paliw ropopochodnych. Opłacalność ich wykorzystania na cele paliwowe wynika wyłącznie ze stosowania przez poszczególne państwa zróżnicowania (obniżenia) stawek w podatku akcyzowym [73]. Państwo rezygnuje z części dochodów, aby promować tę produkcję

w celu wspomagania dochodów rolniczych, ochrony środowiska, tworzenia nowych miejsc pracy oraz bezpieczeństwa paliwowego [167]. Zwolnienia z akcyzy paliw pochodzących ze źródeł odnawialnych zastosowały Niemcy i Francja, natomiast inne państwa takie, jak Dania, nie stosują żadnych zwolnień [30].

Przeprowadzona analiza w Unii Europejskiej wykazuje, że przy cenie ropy naftowej 30 USD za baryłkę, dodatkowe koszty produkcji paliwa rzepakowego wynoszą około 250-350 euro·1000 dm⁻³. Kalkulacja wykonana dla polskich warunków wskazuje, że koszt wytworzenia jednego dm³ paliwa z oleju rzepakowego wynosi 2,0-2,2 zł, zakładając pominięcie wszelkich obciążeń fiskalnych. W przypadku włączenia do rachunku akcyzy oraz podatku takiego, jak dla paliwa ropopochodnego (oleju napędowego), cena biodiesla wynosi 3,5 zł·dm⁻³. Stąd też obecnie, ekonomicznie bardziej uzasadnione jest stosowanie mieszanin estrów metylowych oleju rzepakowego z olejem napędowym. W związku z relatywnie wysokimi kosztami produkcji biodiesla w stosunku do wydobycia i przetworzenia ropy naftowej we wszystkich krajach, wprowadzaniu biopaliw płynnych winien towarzyszyć pakiet rozwiązań prawno-finansowych, umożliwiający zwolnienie ich produkcji z podatku akcyzowego lub jego obniżenie na paliwa ropopochodne zawierające pewne ilości biopaliw w postaci biokomponentów [82,122,142].

Jak twierdzi Szulc [147] istnieją dwa podstawowe wyróżniki opłacalności przerobu olejarskiego. Pierwszym z nich jest stosunek wartości uzyskanych z przerobu produktów do wartości surowca. Wskaźnik ten można wyznaczyć ze wzoru:

$$E_p = \frac{P_o + P_m}{N} \quad (8)$$

gdzie:

E_p – wyróżnik efektywności przerobu olejarskiego,

P_o – wartość oleju uzyskanego z przerobu nasion, [zł·t⁻¹],

P_m – wartość wyloku lub śruty uzyskanej z przerobu nasion, [zł·t⁻¹],

N – wartość użytych do przerobu nasion, [zł·t⁻¹].

Jeżeli wskaźnik ten jest na poziomie wartości co najmniej 1,15 można liczyć na powodzenie gospodarcze.

Drugi wskaźnik ekonomicznej zasadności prowadzenia procesu wydobycia oleju z nasion rzepaku to stosunek wartości wydobytego oleju do wartości zużytych nasion. Jeśli stosunek jest bliski jedności, to zastosowaną technologię przerobu można ocenić jako dobrą, tzn. wartość kosztów poniesionych na surowiec jest pokryta przez wartość oleju, natomiast wartość śruty lub wyloku przeznaczona zostaje na pokrycie kosztów przerobu (tab. 29).

Tabela 29. Przykładowe wskaźniki E i P_o/N , dla wybranych technologii dla roku 1995 i 2003
Table 29. Sample parameters E and P_o/N , for selected technologies in the years 1995 and 2003

Rok year	Technologia Technology	Technologia klasyczna Classic technology	Technologia Szulca Szulc technology	Technologia French'a French technology	Technologia tłoczenia na zimno „Bispomasz” ‘Bispomasz’ technology of cold pressing
1995	Wskaźnik uzysku oleju Oil yield index	0,41	0,3708	0,4	0,3212
	Wskaźnik uzysku śruty lub wyloku Meal or pulp yield index	0,58	0,6092	0,59	0,6688
	Cena oleju surowego, zł·t ⁻¹ Price of raw oil, PLN·t ⁻¹	2000	2000	2000	2000
	Cena śruty lub wyloku, zł·t ⁻¹ Meal or pulp price, PLN·t ⁻¹	315	360	360	360
	Cena nasion rzepaku, zł·t ⁻¹ Price of rape seeds, PLN·t ⁻¹	800	800	800	800
	E	1,25	1,20	1,27	1,10
	Po/N	1,025	0,927	1	0,803
2003	Wskaźnik uzysku oleju Oil yield index	0,41	0,3708	0,4	0,3212
	Wskaźnik uzysku śruty lub wyloku Meal or pulp yield index	0,58	0,6092	0,59	0,6688
	Cena oleju surowego, zł·t ⁻¹ Price of raw oil, PLN·t ⁻¹	2749,2	2749,2	2749,2	2749,2
	Cena śruty lub wyloku, zł·t ⁻¹ Meal or pulp price, PLN·t ⁻¹	514,52	569,16	569,16	569,16
	Cena nasion rzepaku, zł·t ⁻¹ Price of rape seeds, PLN·t ⁻¹	1059,5	1059,5	1059,5	1059,5
	E	1,35	1,29	1,35	1,19
	Po/N	1,064	0,962	1,038	0,833

Należy zaznaczyć, że na pełną ekonomiczną ocenę wprowadzenia biopaliw, składa się również wiele innych czynników, tj.:

- dodatkowe miejsca pracy w rolnictwie i jego otoczeniu. Z badań statystycznych przeprowadzanych w różnych krajach Unii Europejskiej wynika, że wyprodukowanie 1000 ton biopaliw płynnych wymaga zatrudnienia od 12 do 16 osób. Z wstępnych szacunków wynika, że w warunkach polskich liczba ta mogłaby być nawet dwukrotnie wyższa, ze względu na mniejszy stopień zmechanizowania prac w rolnictwie oraz niższe średnie plony,
- wpływy do budżetu państwa z podatku od środków produkcji zużytych w rolnictwie i przetwórstwie na biopaliwa (nawozy, środki ochrony roślin, herbicydy, paliwa i inne nośniki energii itp.),

- efekty środowiskowe, których dokładna wycena jest bardzo złożona,
- wielofunkcyjny rozwój infrastruktury wsi, głównie dzięki nowym miejscom pracy w rolnictwie i jego otoczeniu,
- wzrost zasobów krajowych pasz białkowych,
- poprawę gospodarki płodozmianowej.

Proces produkcji biopaliwa z rzepaku na skalę przemysłową jest dobrze rozpoznany. Produkcja biodiesla winna gwarantować uzyskanie wymaganej jakości dla tych paliw, a także uwzględniać wymogi związane z ochroną środowiska. Wymogi takie mogą być spełnione tylko w dużych, przemysłowych jednostkach produkcyjnych.

9. EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PRODUKCJI BIOPALIWA RZEPAKOWEGO

Bardzo istotnym składnikiem oceny produkcji biopaliw w sensie globalnym jest przeprowadzenie rachunku efektywności energetycznej procesu produkcji. Rachunek ten pozwoli określić, jakie nakłady energetyczne należy przeznaczyć na wytworzenie jednostki energii biopaliwowej. Zaletą rachunku energetycznego jest uniwersalność wynikająca z niezależności od cen. Umożliwia to porównanie wyników uzyskiwanych w różnych krajach lub też w wybranych przedziałach czasowych. Kompleksowym miernikiem jest tutaj wskaźnik efektywności energetycznej E_e liczony według wzoru [147]:

$$E_e = \frac{P_e}{N_e} \quad (9)$$

gdzie:

- P_e – wartość energetyczna plonu uzyskanego z 1 ha wyrażona w MJ,
- N_e – wielkość nakładów energetycznych ponoszonych na uzyskanie tego plonu, która obejmuje: nawozy, paliwa, energię elektryczną, nasiona, środki ochrony roślin, ewentualne deszczowanie itp. Natomiast coraz częściej w tym rachunku pomija się nakłady robocizny.

Przy obliczaniu nakładów energetycznych najczęściej stosuje się współczynniki obliczeniowe przedstawione w tabeli 30.

Ogromną część nakładów energetycznych na produkcję biopaliwa rzepakowego pochłania sama produkcja rzepaku. Energochłonność określona jako nakłady materiałowo energetyczne produkcji, obejmuje kilka podstawowych składników, do których należą:

- energochłonność uprawy gleby,
- energochłonność nawożenia (bez energii skumulowanej w nawozach),

- energochłonność siewu (bez energii skumulowanej w nasionach),
- energochłonność chemicznej ochrony roślin (bez energii skumulowanej środkach chemicznych),
- energochłonność zbioru,
- energochłonność materiałów użytych do produkcji (bez paliw).

Tabela 30. Współczynniki obliczeniowe poszczególnych nakładów energetycznych
Table 30. Calculation coefficients for particular energy requirements

Składnik Element	Współczynnik Coefficient (MJ·kg ⁻¹)
Nawozy mineralne Mineral fertilizers	
N	40
P ₂ O ₅	14
K ₂ O	10
Chemiczne środki ochrony roślin (substancja biologicznie czynna) Chemical pesticides (biologically active ingredient)	300
Paliwa Fuels	
Olej napędowy Engine oil	44-45
Olej opałowy Fuel oil	41
Biodiesel	36-38
Etylina Ethylene	44-45
Bioetanol Bioethanol	30
Zużycie ciągników i maszyn rolniczych Tractors' and agricultural machines' wear	112
Części zamienne Spare parts	80
Robocizna Labour cost	40 MJ·rbh ⁻¹

Energochłonność wykonanych zabiegów, można wyrazić sumą energochłonności [27]:

- pracy ciągników,
- pracy maszyn i narzędzi,
- pracy środków transportu,
- pracy ludzkiej,
- zużytego paliwa.

Ze względu na szybki postęp techniczny w przemyśle, zdążający do jak największego ograniczenia nakładów energetycznych, dokładne przeprowadzenie

rachunku jest niezwykle trudne. Z tego względu wskaźniki te powinny być systematycznie aktualizowane. W literaturze krajowej brak jest jednak informacji na temat wielu wskaźników energetycznych dla procesów technologicznych przetwarzania płodów rolnych na biopaliwa, w związku z tym brakujące wskaźniki zaczerpnięto z angielskich źródeł [114]. W analizowanym rozwiązaniu przerób jednej tony rzepaku na biopaliwo, łącznie ze zużytymi materiałami był obciążony nakładem energetycznym – 4228 MJ. Natomiast w produktach uzyskano:

- 370 kg biodiesla o wartości energetycznej $36 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 13320 \text{ MJ}$,
- 580 kg śruty o wartości energetycznej $0,55 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 319 \text{ MJ}$,

Tabela 31. Nakłady energetyczne na technologię produkcji rzepaku ozimego oraz efektywność energetyczna produkcji biodiesla [114]

Table 31. Energy requirements of the technology of winter rape production and energetic effectiveness of biodiesel production [114]

Wyszczególnienie Specification	Współczynnik Coefficient ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Plon rzepaku ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) Rape crop	1,08
Nakłady energetyczne w $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ Energy requirements	
Agrotechnika razem Soil cultivation technology in total	4687
Nawozy; Fertilizers:	
N ($40 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	6840
P_2O_5 ($14 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	150
K_2O ($10 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	200
Chemiczne środki ochrony roślin Chemical pesticides	377
Nasiona Seeds	35
Transport plonu Crop transport	723
Razem nakłady energetyczne Total energy input	13 254
Przetworzenie plonu na biopaliwo $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ * Crop's processing into biofuel $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ *	17 251
Nakłady energetyczne ogółem $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ Total energy input $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$	30 505
Uzyskany biodiesel $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ** Obtained diesel $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ **	1510
Wartość energetyczna biopaliwa $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ** Energetic value of the biofuel $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ **	54 346
Wytłok rzepakowy $2,7 \text{ t} \cdot \text{kg}^{-1}$ Rape pulp ¹	1316
Razem uzysk energii $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ Total energy yield $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$	55 662
Wskaźnik efektywności energetycznej (E_e) Energy efficiency index (E_e)	1,81
Uzysk energii netto $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ Nett energy yield $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$	25 157
Plon słomy $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ Straw yield $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	4
Wartość energetyczna słomy $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ Straw energetic value $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$	60 000

*4228 $\text{MJ} \cdot \text{t}^{-1}$ rzepaku, ** 370 kg biodiesla $\cdot \text{t}^{-1}$ rzepaku

*4228 $\text{MJ} \cdot \text{t}^{-1}$ rapeseed, ** 370 kg biodiesel $\cdot \text{t}^{-1}$ rapeseed

Tabela 32. Nakłady energetyczne na ekstensywną i intensywną technologię produkcji rzepaku ozimego oraz efektywność energetyczna produkcji biodiesla [82]

Table 32. Energetic requirements of the extensive and intensive technology of winter rape production and energetic effectiveness of biodiesel production [82]

Wyszczególnienie Specification	Technologia Technology	
	Ekstensywna Extensive	Intensywna Intensive
Plon rzepaku ($t \cdot ha^{-1}$) Rape crop	2,2	3,5
Nakłady energetyczne w $MJ \cdot ha^{-1}$ Energy input in $MJ \cdot ha^{-1}$		
Uprawa roli i siew Soil cultivation and sowing	1650	1650
Wysiew nawozów /2- i 3- krotny/ Fertilizers broadcast /in 2 or 3 repetitions/	430	570
Zabiegi ochrony roślin (3 i 6 zabiegów) Plant protection measures /in 2 or 3 repetitions/	540	1080
Zbiór kombajnem Combine harvesting	1430	1430
Agrotechnika razem Soil cultivation technology in total	4050	4730
Nawozy Fertilizers:		
N ($40 MJ \cdot kg^{-1}$)	160 kg 6400	200 kg 8000
P_2O_5 ($14 MJ \cdot kg^{-1}$)	60 kg 840	80 kg 1120
K_2O ($10 MJ \cdot kg^{-1}$)	90 kg 900	130 kg 1300
Chemiczne środki ochrony roślin Chemical pesticides	510	1020
Nasiona Seeds	40	40
Transport plonu Crop transport	520	910
Razem nakłady energetyczne Total energy input	13 140	16 855
Przetworzenie plonu na biopaliwo $MJ \cdot ha^{-1}*$ Crop's processing into biofuel $MJ \cdot ha^{-1}*$	9302	14 980
Nakłady energetyczne ogółem $MJ \cdot ha^{-1}$ Total energy input $MJ \cdot ha^{-1}$	22 442	31 835
Uzyskany biodiesel $kg \cdot ha^{-1}**$ Obtained diesel $kg \cdot ha^{-1}**$	814	1295
Wartość energetyczna biopaliwa $kg \cdot ha^{-1}**$ Energetic value of the biofuel $kg \cdot ha^{-1}**$	29304	46620
Wytłok rzepakowy (1276 i $2030 kg$) $\times 0,55 MJ \cdot kg^{-1}$ Rape pulp (1276 i $2030 kg$) $\times 0,55 MJ \cdot kg^{-1}$	638	1116
Razem uzysk energii $MJ \cdot ha^{-1}$ Total energy yield $MJ \cdot ha^{-1}$	29 942	47 436
Wskaźnik efektywności energetycznej (E_e) Energy efficiency index (E_e)	1,33	1,5
Uzysk energii netto $MJ \cdot ha^{-1}$ Nett energy yield $MJ \cdot ha^{-1}$	7500	15 900
Plon słomy $t \cdot ha^{-1}$ Straw yield $t \cdot ha^{-1}$	2,2	3,5
Wartość energetyczna słomy $MJ \cdot ha^{-1}$ Straw energetic value $MJ \cdot ha^{-1}$	33 000	52 500

*4228 $MJ \cdot t^{-1}$ rzepaku, ** 370 kg biodiesla t^{-1} rzepaku

*4228 $MJ \cdot t^{-1}$ rapeseed, ** 370 kg biodiesel t^{-1} rapeseed

Dodatkowo z jednej tony rzepaku uzyskiwano około 40 kg fazy glicerynowej, której nie uwzględniono w rachunku energetycznym. Jednostka energii zaangażowana w produkcję dawała 1,8 jednostki energii w gotowym produkcie. Bezpośrednie przeniesienie analizowanego przykładu badawczego (tab. 31) do warunków polskich nie jest możliwe, głównie ze względu na bardzo wysoki plon, a także odmienne zalecenia dotyczące dawkowania nawozów, związane z zasobnością gleb [81].

Efektywność energetyczną produkcji biodiesla realną do osiągnięcia w polskich warunkach, przedstawiono w tabeli 32. Przeanalizowano dwie technologie uprawy rzepaku: ekstensywną (plon $2,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), oraz intensywną (plon $3,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Nakłady energetyczne na uprawę rzepaku w technologii ekstensywnej wynosiły 13, a w intensywnej 16 tys. $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$, przy pominięciu amortyzacji maszyn i robocizny. Niezależnie od technologii około 50% tych nakładów przypada na nawozy azotowe, a 30% na paliwo zużyte na wykonanie zabiegów agrotechnicznych i zbiorów nasion.

W warunkach ekstensywnej technologii produkcji z $2,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ można uzyskać około 810 kg biodiesla. Technologia intensywna przy założonym plonie $3,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ pozwala na wytworzenie około 1300 kg paliwa. Reasumując, wartość energetyczna biopaliwa w technologii ekstensywnej jest większa o 30% ($E_e = 1,3$), a w intensywnej o 50% ($E_e = 1,5$) w odniesieniu do poniesionych nakładów energetycznych na uprawę rzepaku i przetworzenie go na paliwo. Należy zauważyć, że dodatkowo pewne ilości energii zawiera jeszcze poekstrakcyjna śruta rzepakowa [81].

Prawdopodobnie, w wyniku mniejszej energochłonności zastosowanych technologii w zakładach produkcyjnych biodiesla w krajach UE (Niemcy, Wielka Brytania, Francja), wskaźnik efektywności energetycznej osiąga tam w zależności od wysokości plonu i wielkości zakładu przetwórczego wyższą wartość $E_e = 2,3\text{-}3,0$ [15].

Efektywność energetyczną produkcji biopaliw płynnych można zwiększyć poprzez poprawę plonowania rzepaku, wykorzystanie na cele energetyczne przynajmniej części uzyskiwanej słomy rzepakowej oraz poszukiwanie mniej energochłonnych technologii przetwarzania płodów.

10. PODSUMOWANIE

Rzepak w Polsce uprawiany był dotychczas głównie jako surowiec do produkcji oleju jadalnego. Krajowa produkcja rzepaku nie pokrywa możliwości przetwórczych polskiego sektora olejarskiego, ocenianych na ponad 1,1 mln ton. Otwierające się możliwości produkcji biodiesla na bazie oleju rzepakowego stwarzają nowe zapotrzebowanie na ten cenny surowiec. Natomiast często występujące na rynku problemy ze zbytem innych produktów rolnych, zwłaszcza zbóż powinno mobilizować producentów do rozszerzenia uprawy rzepaku.

W warunkach glebowo-klimatycznych naszego kraju, rzepak ma realne znaczenie jako surowiec nadający się do przetwarzania na produkty przemysłowe, w tym na nośnik energii do napędu silników wysokoprężnych, zwany biopaliwem. Próby produkcji biopaliwa były w Polsce podejmowane, jednak koszt wytworzenia paliwa z rzepaku nie pozwalał na konkurencyjność z paliwami ropopochodnymi. Szansą na realizację produkcji biopaliwa jest zmniejszenie nakładów na agrotechnikę przy produkcji nasion rzepaku (dobór odmian, nawożenie i mechaniczny zbiór), zmiany organizacyjne przez wykorzystanie i adaptację lokalnej bazy, jak również doskonalenie rozwiązań technologicznych podczas skupu i przechowywania.

Rzepak ozimy należy do roślin o bardzo wysokich wymaganiach pokarmowych. Do wytworzenia 3 ton nasion i odpowiedniej ilości słomy musi pobrać 180 kg azotu, 90 kg fosforu (P_2O_5), 240 kg potasu (K_2O), 150 kg wapnia, 24 kg magnezu i 45 kg siarki. Wysokość dawek nawozowych pod rzepak zależy od kompleksu rolniczej przydatności i kategorii agronomicznej gleb oraz ich zasobności w przyswajalne formy fosforu, potasu i magnezu. Na poziom nawożenia rzepaku – zwłaszcza azotem – wpływa znacząco przedplon, opady zimowe i stosowana ochrona chemiczna. Najwyższa efektywność nawożenia roślin ma zwykle miejsce przy uprawie ich na średnich kompleksach glebowych.

Zawodność plonowania rzepaku oraz niskie plony (średnia krajowa ok. $2,2 \text{ t ha}^{-1}$, przy założeniu, że dopiero plon $2,3 \text{ t ha}^{-1}$ pokrywa poniesione koszty) nie stwarzają warunków do takiego rozszerzenia areалу upraw rzepaku, który zapewniał by wystarczającą ilość surowca zarówno dla potrzeb zakładów tłuszczowych oraz na potrzeby energetyczne do zasilania silników wysokoprężnych.

Produkcja takiej ilości nasion wymagać będzie opracowania maksymalnie tanich sposobów produkcji z wykorzystaniem produktów odpadowych. Maksymalizacja plonu wymaga lokalnych strategii nawożenia, najczęściej odmiennych w poszczególnych gospodarstwach. Zbilansowane nawożenie połączone z kompleksową ochroną roślin, wymaga wyższych nakładów. W celu zmniejszenia kosztów produkcji rzepaku, do nawożenia można wykorzystać osady ściekowe. Osady ściekowe są źródłem wielu składników pokarmowych i substancji organicznej. Odwodnione mają konsystencję obornika i mogą być stosowane w podobnych ilościach. Optymalizacja odczynu gleby przy pomocy odpadowego wapna zawierającego siarkę oraz stosowanie w nawożeniu dolomitowanych osadów ściekowych pozwoli na wyddatne obniżenie kosztów nawożenia rzepaku.

Oszczędności należy także poszukiwać w oszczędnej technologii zbioru kombajnowego, która uwzględni przystosowanie kombajnów do zbioru rzepaku. Nowe odmiany rzepaku często są mniej odporne i łatwo osypują nasiona, stąd zebrany plon bardzo często znacznie odbiega od plonu biologicznego.

Nasiona rzepaku są bardzo wrażliwym materiałem reagującym spadkiem swojej jakości również pod wpływem sposobu i warunków obróbki pozbiorowej, a szczególnie suszenia, czyszczenia, transportu i przechowywania. Tak znaczna ilość czynników warunkująca cechy jakościowe nasion rzepaku wynika między innymi z ich budowy morfologiczno-anatomicznej oraz składu chemicznego.

Przeprowadzona ocena wartości technologicznej nasion wykazała, że zarówno technologia zbioru, warunki suszenia jak i przechowywania wywierają bardzo znaczny wpływ na te cechy nasion rzepaku, które warunkują ich przydatność dla przemysłu tłuszczowego oraz paszowego. Decydujące znaczenie ma niewątpliwie właściwa dojrzałość nasion w momencie zbioru. Wpływają na to zarówno czynniki meteorologiczne, obrona technologia zbioru jak i stan fizyczny łanu (dojrzałość, wyrównanie, wilgotność). Odpowiednio dobrane parametry obróbki pozbiorowej powinny uwzględniać te czynniki.

Suszenie i magazynowanie tak wrażliwego towaru jakim są nasiona rzepaku odbywa się z pewnym ryzykiem i to znacznie większym niż suszenie i magazynowanie np. zbóż. Wartość technologiczna nasion jest uzależniona zarówno od cech odmianowych, jak i od właściwego doboru parametrów technicznych w obróbce pozbiorowej. Prognozowane granicznego – bezpiecznego czasu składowania nasion ma kapitalne znaczenie zarówno dla producentów, jak i przetwórców, gdzie nasiona są przechowywane przez rok, a nawet dłużej w celu stworzenia pewnych zapasów. Takie składowanie powinno bowiem nie tylko zapewnić ciągłości produkcji, ale również zabezpieczyć przed importem w przypadku znaczącego spadku produkcji w roku następnym, co jest związane z małą wiernością plonowania rzepaku. Monitorowanie warunków suszenia i przechowywania oraz opis procesów zachodzących w składowanym materiale, pozwala na poznanie wpływu wymienionych czynników na jakość uzyskiwanego oleju oraz umożliwia opracowanie technologii, która ze względu na skalę produkcji nasion rzepaku, może przynieść wymierne korzyści ekonomiczne.

Niska opłacalność produkcji rzepaku zmusza do poszukiwania technologii oszczędnościowych w całym cyklu produkcyjnym rzepaku. Taką przyszłościową, energooszczędną technologią suszenia i przechowywania jest niskotemperaturowa konserwacja nasion o dużej wilgotności. Jej stosowanie do suszenia i przechowywania nasion rzepaku jest związane z opisaniem reakcji (zachowania) uprawianych odmian na zmianę warunków, które mają wpływ na wartość technologiczną nasion.

W opracowaniu przedstawiono zagrożenia związane z produkcją nasion rzepaku o najwyższych walorach użytkowych, jak również zastosowanie optymalnych rozwiązań, które przyczynią się do ograniczenia strat ilościowych i jakościowych nasion w procesach uprawy, zbioru, suszenia i przechowywania.

Tak kompleksowe badania obejmujące zarówno czynniki agrotechniczne, stanowiące, jak również badania określające przydatność oleju rzepakowego do produkcji paliwa silnikowego, pozwolą wykazać rzeczywiste zalety, jak i zagrożenia wynikające z jego powszechnego stosowania. Uwzględnienie w badaniach analiz ekonomicznych przyczyni się do rozpoznania opłacalności produkcji paliwa rzepakowego i możliwości jej zwiększenia.

11. PIŚMIENNICTWO

1. **Bartkowiak-Broda I., Krzymański J.:** Zmiany w składzie chemicznym nasion ozimego rzepaku bezerukowego K-2040 w czasie formowania i dojrzewania. Biuletyn IHAR – Radzików, 146, 25-33, 1981.
2. **Bielecka M., Biedrzycka E., Śmieszek M.:** Warunki zbioru i przechowywania a jakość nasion rzepaku. Cz.II. Jakość mikrobiologiczna. Rośliny Oleiste, 135-143, 1994.
3. **Bobrzecka D., Salomonik S.:** Zależność między technologią nawożenia miedzią a plonem i zawartością tłuszczu w nasionach podwójnie ulepszonych odmian rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste, XVIII, 221-225, 1997.
4. **Bocheński C.I.:** Biodiesel paliwo rolnicze. Wydawnictwo SGGW Warszawa, 2003.
5. **Bowerman P.:** Oilseed Rape Harvesting. Spray Or Direct Cut. British Crop Protection Conference – Weeds, 255-260, 1985.
6. **Bowerman P.:** Results of Recent Agronomy Trials on Oilseed Rape in England. Bulletin GCIRC. 2, 77-80, 1985.
7. **Brogan I.W.:** Control of rapeseed quality for crushing. Oilseed Rape. Edited by DH Scarisbrick and RW Daniels. 282-300, 1989.
8. **Budzyński i in.:** Rzepak. Produkcja surowca olejarskiego. ART. Olsztyn, 1996.
9. **Budzyński W., Jankowski K.:** Wpływ sposobu jesiennego nawożenia azotem na plonowanie i koszt uprawy rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste, XXI, 73-84, 2000.
10. **Budzyński W., Majkowski K.:** The effect of the time and method of harvesting on the yields and seed quality of doubly improved winter rape. Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olsstenensis. Agricultura, 42, 81-92, 1986.
11. **Budzyński W., Ojczyk I., Szempliński M., Jasińska Z., Horodyski A., Malarz W., Sikora B.:** Dynamika przyrostu masy nasion i zmiany niektórych cech jakościowych podczas dojrzewania rzepaku. Zeszyty Problemowe IHAR, 266-276, 1987.
12. **Budzyński W., Ojczyk T.:** Rzepak. Produkcja surowca olejarskiego. Akademia Rolniczo-Techniczna Olsztyn, 1996.
13. **Bugajski S., Szymański W.:** Wpływ paliwa ekologicznego z rzepaku i oleju napędowego na wybrane elementy gumowe i polimerowe stosowane w silnikach URSUS. Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, 3, 1997.
14. **Bulisiewicz T., Matzke W., Smarzyński E., Świątek H.:** Magazynowanie ziarna zbóż, nasion strączkowych i oleistych. WNT, Warszawa, 1975.
15. **Chwieduk D., Karbowski A.:** Analiza możliwości stosowania biopaliw. Krajowa Agencja Poszanowania Energii. <http://www.mos.gov.pl/oze/dokumenty/>, 2002.
16. **Cichy H.:** Występowanie surowca technicznego rzepaku ozimego o parametrach nie odpowiadających normom rzepaku „00”. Praca wykonana dla Zakładów Przemysłu Tłuszczowego Kruszwica S.A. 2000.
17. **Colliver G.D., Peart R.M., Brook R.C., Barrett J.R.:** Energy usage for low temperature grain drying with optimized management. Transactions of the ASAE, 594-600, 1983.
18. **Crisp J., Woods J.L.:** The drying of rapeseed. J. Agric. Engng Res, 57, 89-97, 1994.
19. **Cygan Z.:** Polskie rzepakowe paliwo ekologiczne do silników wysokoprężnych (EKOL). Zeszyty naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie., Rolnictwo, LVI, 159, 1993.
20. **Czuba R.(red.):** Nawożenie. PWRiL, Warszawa 1986.
21. **Czuba R., Górecki K.:** Zespólone metody dolistnego dokarmiania i ochrony rzepaku ozimego. Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa, Puławy, 1991.
22. **Dale A.C., Robinson R.N.:** Pressure in deep grain storage structures. Agricultural Engineering, 38 (8), 570-573, 1954.
23. **Daun J.K.:** Chlorophyll in Canadian Canola and Rapeseed and its Role in Grading. 7 Int. Rapeseed Congress. Poland, 1451-1456, 1987.

24. **Davison E., Meiering A.G., Middendorf F.J.:** A theoretical stress model of rapeseed. *Canadian Agricultural Engineering*, 21, 45-46, 1979.
25. **Demiński F.:** Jak uprawiać rzepak i rzepik. PWRiL, Warszawa, 1983.
26. **Diepenbrock W., Becker H.C.:** Physiological potentials for yield improvement of annual oil and protein crops. Blackwell wissenschafts-Verlag, Berlin, 1995.
27. **Dobek T.:** Energetyczna i ekonomiczna ocena technologii produkcji rzepaku ozimego. AR Szczecin, 2003.
28. **Duda A., Łukasik Z., Skręt I., Kossowicz L.:** Estrы metylowe wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego jako paliwo lub komponent olejów napędowych. Paliwa, oleje i smary w eksploatacji, 104-105, 2002.
29. **Dziamba Sz., Dziamba M.:** Tania, ekologiczna metoda zwiększania plonów rzepaku metodą przedświejnej biostymulacji nasion światłem. Eko-Oil-Forum. Wykorzystanie biopaliw w Polsce, Zwierzyniec, 2002.
30. **Entwistle G., Walker K.C., Both E.J., Walker R.L.:** Biodiesel in Europe – outlook and policy issues. 11th International Rapeseed Congress, 2, 608-610, 2003.
31. **Fabisz E., Morawski I.:** Wytwarzanie estrów metylowych kwasów oleju rzepakowego (EMKOR) jako komponentów i zamienników paliw do silników wysokoprężnych. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2, 1994.
32. **Filipek T. (red.):** Podstawy i skutki chemizacji agroekosystemów. Wyd. AR, Lublin 1999.
33. **Finck A.:** Fertilizers and fertilization. Verlag Chemie. Weinheim, Deerfield Beach, Florida, Basel, 1982.
34. **Fornal J., Jaroch R., Kaczyńska B., Ornowski A.:** The influence of hydothermal treatment of rapeseeds on their selected physical properties and ability to crush during grinding. *Fat Sci. Technol.*, 94, 5, 192-196, 1989.
35. **Fornal J., Sadowska J., Jaroch R., Kaczyńska B., Winnicki T.:** Effect of drying of rapeseeds on their mechanical properties and technological usability. *Int. Agrophysics*, 8, 215-224, 1994.
36. **Fornal J., i in.:** Wpływ suszenia i przechowywania nasion rzepaku na ich fizyczne właściwości. Projekt Badawczy 5 S307 085 04. 1995.
37. **Fotyma M., Zięba S.:** Wapnowanie – czym, jak, dlaczego? PWRiL Warszawa, 1989.
38. **Franzke C., Hollstein E., Diaz Gonzalez J.A.:** Über den Einfluss von zerschlagenen Rapskörnern auf die Qualität der Fette. *Lebensmittelindustrie*, 17(2), 57-60, 1970.
39. **Frąckowiak P.:** Otrzymywanie ekologicznego paliwa ciągnikowego z oleju rzepakowego w warunkach wiejskich. Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych. Prace PIMR, 1, 2001.
40. **Frąckowiak P.:** Określenie optymalnych proporcji mieszaniny ekologicznego paliwa rzepakowego z paliwem pochodzenia mineralnego. Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, 2, 2002.
41. **Frąckowiak P., Jankowiak S.:** Konstrukcja urządzenia do rafinacji paliwa ciągnikowego z oleju rzepakowego dla potrzeb gospodarstw wiejskich. Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, 1, 1999.
42. **Górnaś Z.:** A może rzepak ozimy? *Magazyn Rolniczy „AURA”* 7-8, 2002.
43. **Górski W., Ostaszewski W., Wiślicki B.:** Biodiesel w stodole. Paliwa, oleje i smary w eksploatacji, 99-100, 2003.
44. **Grabska J., Piskula M., Kubicka E., Waszczuk K.:** Warunki zbioru i przechowywania a jakość nasion rzepaku. Cz. I. Aktywność enzymów lipolitycznych i liczby charakterystyczne oleju. *Rośliny Oleiste*, 125-134, 1994.
45. **Grabska J., Piskula M., Kubicka E., Waszczuk K.:** Warunki zbioru i przechowywania a jakość nasion rzepaku. Cz. I. Aktywność enzymów lipolitycznych i liczby charakterystyczne oleju. *Rośliny Oleiste*, 125-134, 1994.

46. **Grzebisz W., Gaj R.:** Zbilansowane nawożenie rzepaku ozimego. W: Zbilansowane nawożenie rzepaku (aktualne problemy). Wyd. AR Poznań, 83-98, 200.
47. **Grzesiuk S., Górecki R.:** Fizjologia plonów, wprowadzenie do przechowalnictwa. Wyd. ART, Olsztyn, 1994.
48. **Grzesiuk S., Kulka K.:** Fizjologia i biochemia nasion. PWRiL, Warszawa, 1981.
49. **Grzesiuk S., Luczyńska J.:** Przemiany w nasionach podczas spoczynku i przechowywania. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Zagadnienia Biologii i Nasienictwa, 113, 70-96, 1971.
50. **Gutowski K.:** Uwarunkowania prawne biopaliw w Polsce. Paliwa, oleje i smary w eksploatacji, 101, 2002.
51. **Gylling M.:** The cost of CO₂ reduction using Biodiesel (RME). 11th International Rapeseed Congress, 2, 611, 2003.
52. **Hejft R.:** Słoma jako surowiec energetyczny. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2, 1994.
53. **Herse J.:** Szczegółowa uprawa roślin. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1986.
54. **Horabik J., Molenda M.:** Grain pressure in a model silo affected by moisture content increase. Int. Agrophysics, 14, 385-392, 2000.
55. **Horabik J., Molenda M.:** Influence of filling method on radial distribution of vertical pressure of rapeseed on bottom of a model bin. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 427, 91-97, 1995.
56. **Jackowska I., Piotrowski J.:** Zastosowanie dolomitu do stabilizacji chemicznej osadów pościekowych. Acta Agrophysica, 70, 173-179, 2002.
57. **Jadczyszyn T., Kowalczyk J., Sroczyński W.:** Zalecenia nawozowe dla gospodarstw korzystających z oznaczeń odczynu i zasobności gleb stacji chemiczno-rolniczych. IUNG, Puławy, 1996.
58. **Jankowiak S.:** Budowa i działanie wytwórni paliwa ciągnikowego z oleju rzepakowego opracowanej w PIMR. Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, 1, 2001.
59. **Jankowski K., Budzyński W., Szempliński W.:** Rolnicza, energetyczna i ekonomiczna ocena różnych sposobów wiosennego nawożenia azotem rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste, XIX, 113-124, 1998.
60. **Jankowski K.:** Efektywność nawożenia azotem rzepaku jarego chronionego i niechronionego przed szkodnikami. II, Koszt produkcji nasion. Rośliny Oleiste, XXI, 527-537, 2000.
61. **Jankowski P.S., Karpiński R., Cozel A., Krygier K., Cieślak B., Bartkowska E., Obiedziński M.W.:** Badania porównawcze wybranych skażeń chemicznych w olejach roślinnych. Rośliny Oleiste. 279-289, 1998.
62. **Jayas D.S., Sokhansanj S., Moysey E.B., Barber E.M.:** The effect airflow direction on the resistance of canola (rapeseed) to airflow. Can. Agric. Eng., 29, 2, 189-192, 1987.
63. **Jayas D.S., Sokhansanj S., Withe N.D.G.:** Bulk density and porosity of two canola species. Transactions of the ASAE, 291-294, 1989.
64. **Jayas D.S., Sokhansanj S.:** Design data on resistance to airflow through canola (rapeseed). American Society of Agric. Eng., 32, (1), 285-296, 1990.
65. **Jayas D.S., Sokhansanj S., Sosulski F.W.:** Resistance of bulk canola seed to airflow in the presence of foreign material. Can. Agric. Eng., 47-53, 1990.
66. **Josefsson E.:** Investigations on Shattering Resistance of Cruciferous Oil Crops, Zeitschrift für Pflanzenzüchtung, Bd. 59, 4, 384-395, 1968.
67. **Kaczor A., Kozłowska J.:** Wpływ kwaśnych opadów na agroekosystemy. Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, 204 (81), 55-68, 2000.
68. **Kaleta A.:** Modelowanie procesu konwekcyjnego suszenia ziarna w silosach. Wyd. Techniki Rolniczej i Leśnej SGGW, Warszawa, 1996.
69. **Kelm M.:** Reakcje różnych odmian rzepaku ozimego na uszkodzenia spowodowane przez chowacze łodygowe (Ceutorhynchus sp.). Materiały XXXI Sesji Naukowej IOR, 1994.

70. **Kobosko A.:** Systemy pomiarowo-kontrolne stosowane w magazynach materiałów sypkich i ziarnistych. PIAP, Warszawa, 1996.
71. **Kolczyński J.:** Niektóre aspekty techniczne, organizacyjne i inne wprowadzenia ustawy (uwarunkowania i zagrożenia). Paliwa, oleje i smary w eksploatacji, 101, 2002.
72. **Körbitz W.:** Olej napędowy z rzepaku lub starych olejów i tłuszczów spożywczych. Austriacki Instytut Paliw Biologicznych., SYMPOZJUM „Różnorodność modeli jako szansa polskiego rolnictwa w Unii Europejskiej – prognozy naukowo-teoretyczne i doświadczenia praktyczne” Wiedeń 11-13. Listopada 1999. <http://www.vpivienna.org/refpol.htm#art8>, 1999.
73. **Körbitz W.:** New trends in developing biodiesel world-wide. 11th Int. Rapeseed Congr., 2, 603-607, 2003.
74. **Kornilowicz-Kowalska T., Szwed A., Szwed G.:** Charakterystyka mykologiczna nasion rzepaku w zależności od warunków ich przechowywania. Acta Agrophysica, 37, 83-94, 2000.
75. **Kościelniak W.:** Wybrane elementy z agrotechniki rzepaku ozimego. Krajowe Zrzeszenie Producentów Rzepaku <http://kzpr.com.pl/agrotechnikrzepaku.doc>, 2002.
76. **Kotowski W.:** Olej napędowy w drodze fotosyntezy. Paliwa, oleje i smary w eksploatacji, 77, 2000.
77. **Kozłowski J., Kozłowska M.:** Assessment of plant damages and intensity of *Deeroceras reticulatum* (Muller) occurrence in winter oilseed rape and winter wheat. Journal of Plant Protectin Research, 42, 3, Warszawa, 2002.
78. **Krygier K., Domian K., Drąka D.:** Porównanie jakości i trwałości olejów rzepakowych: tłoczonego na zimno i na gorąco oraz rafinowanego. Rośliny Oleiste, XVI, 301–306, 1995.
79. **Krygier K., Ratusz K., Supel B.:** Jakość olejów tłoczonych na zimno. Rośliny Oleiste, XVI, 307-313, 1995.
80. **Krygier K., Wroniak M., Grześkiewicz S.:** Badania wpływu zawartości nasion uszkodzonych na jakość oleju rzepakowego tłoczonego na zimno. Rośliny Oleiste IHAR, 587-596, 2000.
81. **Kuś J.:** Biodiesel – baza surowcowa i znaczenia dla rolnictwa. Seminarium „Możliwości wykorzystania biopaliw w Polsce”. Senat RP 5.03.2002.
82. **Kuś J.:** Stan i możliwości zwiększenia produkcji rzepaku ozimego w Polsce. Paliwa, oleje i smary w eksploatacji, 101, 2002.
83. **Kuś J.:** Biodiesel (olej rzepakowy) – możliwości produkcyjne i znaczenie dla rolnictwa. Mat. Sem. nt. „Możliwości wykorzystania biopaliw w Polsce”, Warszawa, 05.03.2002.
84. **Loof B., Jonsson R.:** Resultat av udersokningar rörande drasfaheten hos raps. Sartryck ur Sveriges Utsadesforenings Tidskrift argang, 80, 4, 193-205, 1970.
85. **Lotko W.:** Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi WN-T Warszawa, 1997.
86. **Maćkowiak Cz.:** Nawozowa użyteczność osadów ściekowych w świetle badań IUNG. Mat. Konf. nt. „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych”. Puławy – Lublin – Jeziórko, 1996.
87. **McGrath S.P., Zhao F.J., Withers P.J.A.:** Development of sulphur deficiency in crops and its treatment. The Fertiliser Society, London, 3–47, 1996.
88. **McGrath S.P., Zhao F.J.:** Sulphur uptake, yield responses and the interaction between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). J. Agri. Sci., 126, 53-62, 1996.
89. **Merkisz J.:** Zanieczyszczenie środowiska przez transport samochodowy. <http://www.auto-online.com.pl/serwis/wykaz/emisja/emisja.htm>, Politechnika Poznańska, 2003.
90. **Merkisz J., Kozak M.:** Przegląd techniczno-eksploatacyjnych korzyści i zagrożeń związanych ze stosowaniem biopaliw w silnikach spalinowych. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Biopaliwa 2003” SGGW, Warszawa, 2003.
91. **Mikucki K.:** Wstępna ocena budowy agorafinerii w Polsce. Ekologia i Technika, 5, 1994.

92. **Molenda M., Horabik J., Thompson A.S., Ross I.J.:** Asymetria naporu wywołana niesymetrycznym napełnianiem i opróżnianiem silosu zbożowego. Żelbetowe i sprężone zbiorniki na materiały syckie i ciecze. XI Konferencja. Świeradów Zdrój. Wrocław. 143-150, 2000.
93. **Morgan C.L., Bruce D.M., Child R., Ladbroke Z.L., Arthur A.E.:** Genetic variation for pod shatter resistance among lines of oilseed rape developed from synthetic B. Napus. *Field Crops Research*, 58, 153-165, 1998.
94. **Muir W.E., Sinha R.N.:** Theoretical rates of flow of air at near – ambient conditions required to dry rapeseed. *Can. Agric. Eng.*, 28 (1), 45-49, 1986.
95. **Muśnicki Cz., Horodyski A.:** Projekt klucza do oznaczania stadiów rozwojowych rzepaku ozimego. *Zesz. Probl., Inst. Hod. i Aklimat. Rośl., Radzików*, 1, 152-165, 1989.
96. **Muśnicki Cz., Jerzak M.:** Produkcja i ekonomiczne skutki uproszczeń w agrotechnice rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste*, XIV, 318-334, 1992.
97. **Mysłowski J.:** Niektóre aspekty eksploatacji silników o zapłonie samoczynnym zasilanych paliwem alternatywnym. *Eksploatacja i Niezawodność*, 3, 2003.
98. **Mysłowski J.:** Rozruch silników samochodowych z zapłonem samoczynnym. WN-T, Warszawa, 1996.
99. **Nowosielski C.:** Jak produkuje się biodiesel? Paliwa płynne, 3, 2001.
100. **Ojczyk T., Jankowski K.:** Głębokość orki a zimowanie i plonowanie rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste*, 249-255, 1996.
101. **Olejnik M.:** Biopaliwo rzepakowe celem strategicznym polskiego rolnictwa. *Wiś Jutra*, 2, 2002.
102. **Olsson G.:** Oil Crop Cultivation in Sweden in 1986 and 1987. *Bulletin GCIRC*, 4, 39-41, 1988.
103. **Orlovius K.:** Wyniki badań nad wpływem nawożenia potasem, magnezem i siarką na rośliny oleiste w Niemczech. W: *Zbilansowane nawożenie rzepaku (aktualne problemy)*. Wyd. AR Poznań, 229-239, 2000.
104. **Pathak P.K., Agrawal Y.C., Singh B.P.N.:** Effect of elevated drying temperature on rapeseed oil quality. *Journal of the AOCS*, 68(8), 580-582, 1991.
105. **Pawlak J.:** Czy biopaliwo może być opłacalne. *Technika Rolnicza*, 4, 2000.
106. **Pągowski Z.:** Perspektywy przemysłowego wykorzystania roślin oleistych. Nowe rośliny uprawne – na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii. Instytut Lotnictwa, Warszawa, 1993.
107. **Piekarczyk K.:** Terminy i sposoby zwalczania najważniejszych szkodników rzepaku. *Biul. Inst. Hod. i Aklimat. Rośl.*, 6, 123-126, 1967.
108. **Piekarski W.:** Analiza oddziaływania agregatów ciągnikowych na środowisko przyrodnicze. *Rozprawy Naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie*. Wyd. AR Lublin, 1997.
109. **Piekarski W.:** Skażenie środowiska przyrodniczego paliwami eksploatacyjnymi ciągników rolniczych. *Inżynieria Rolnicza*, 1, 1997.
110. **Pietrzak K.:** Próby oceny strat spowodowanych przez chowacza podobnika. *Biuletyn Inst. Ochrony Roślin*, 34, 131-146, 1966.
111. **Piotrowski D.:** Przemysł tłuszczowy w Polsce stan obecny i perspektywy. *Polagra-farm. Forum producentów roślin zbożowych, kukurydzy i rzepaku*, 46-48, 2003.
112. **Podkówa W., Podkówa Z.:** Rzepak – roślina przyszłości. *Przegląd Hodowlany*. 11, 1996.
113. **Ratusz K., Krygier K.:** Wpływ temperatury i dodatku przeciwutleniacza naturalnego na zmiany oksydacyjne oleju rzepakowego tłoczonego na zimno. *Rośliny Oleiste*, 467-476, 1997.
114. **Richards I.R.:** Energy balances in the growth of oilseed rape for biodiesel and of wheat for bioethanol. *Levington Agriculture Report, British Association for Bio Fuels and Oils*, 2000.

115. Roczniki Statystyczne. GUS, Warszawa, 1990-2003.
116. **Rosiak E.:** Krajowy rynek rzepaku. Rynek rolny. 12/2002. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Warszawa, 2002.
117. **Rosiak E.:** Perspektywy opłacalności produkcji rzepaku po wstąpieniu do Unii Europejskiej. Forum producentów roślin zbożowych, kukurydzy i rzepaku, 37-44, 2003.
118. **Rosiak E.:** Sytuacja na krajowym rynku rzepaku – stan obecny i prognoza na sezon 2002/2003. IHAR. Rośliny Oleiste, XXIII, 73-83, 2002.
119. **Roszkowski A.:** Produkcja roślinna a paliwa alternatywne. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2, 1994.
120. **Roszkowski A.:** Biopaliwo z rzepaku a ekologia. Problemy Inżynierii Rolniczej. 3, 1996.
121. **Roszkowski A.:** Rzepak jako surowiec dla przemysłu oleochemicznego (stan i perspektywy). Problemy Inżynierii Rolniczej, 2, 1996.
122. **Roszkowski A.:** Płynne paliwa roślinne – mrzonki rolników, czy ogólna niemożliwość? Wieś Jutra, 9, 2001.
123. **Rotkiewicz D., Ojczyk T., Konopka I.:** Nawożenie siarką a wartość użytkowa i technologiczna nasion rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste, XVII, 257-264, 1996
124. **Rożej A.:** Podatność różnych odmian rzepaku ozimego (*Brassica Napus* L var.oleifera) na porażenie przez *Alternaria brassicae* (Bek.) Sacc., Roczn. Nauk Roln., 100, 2, 67-71, 1974.
125. **Rudko T., Tys J.:** Wstępne badania wpływu zróżnicowanych form nawozów azotowych na plonowanie i cechy agrofizyczne łuszczyń rzepaku. Poznań, IHAR, Rośliny Oleiste, 431-436, 1989.
126. **Rybacki R., Skawiński P., Lampkowski M.:** Stan suszarnictwa nasion rzepaku w rejonie surowcowym Zakładów Tłuszczowych „Kruszwica” S.A. Rośliny Oleiste, IHAR, XXII, 539-550, 2001.
127. **Rybacki R.:** Czynniki kształtujące cechy jakościowe nasion rzepaku. Instytut Agrofizyki PAN, 2003.
128. **Scharmer K.:** Biodiesel. Energy-and environmental evaluation rapeseed-oil-methyl-ester. Union Zur Förderung Von Oel-Und Prpteinpflanzen, V, 2001.
129. **Schneider F.H., Rutte U.:** Flüssigkeitsbindung in Olsaaten: Bindungsrelevante Strukturelemente. Fat. Sci. Technol., 91, 337-346, 1989.
130. **Sharp J.R.:** A review of low temperature drying simulation models. Can. Agric. Eng. Res., 27, 169-190, 1982.
131. **Sharp J.:** The design and management of low temperature grain dryers in England – a simulation study. J. Agric. Engng Res., 29, 123-131, 1984.
132. **Sienkiewicz-Cholewa U.:** Znaczenie mikroelementów w nawożeniu rzepaku. Postępy Nauk Rolniczych. PAN, OWD. 5, 299, 2002.
133. **Skriegan E.:** Qualitätserhaltung geernteter Kornerfruchte im Lager mit unterschiedlichen Verfahren und Kosten. Die Muhle Mischfuttermitteltechnik, 129, 6, 67-70, 1992.
134. **Skriegan E.:** Urządzenia chłodzące. „goldsaat”. Magazynowanie i chłodzenie rzepaku. GRAINPOL. Wrocław, 1992.
135. **Skriegan E.:** Kaltlagerung von Kornerfruchten in Silos. Die Muhle und Mischfluttermitteltechnik, 130,11, 125-129, 1993.
136. **Skriegan E.:** Kaltlagerung von Kornerraps. RAPS, 2, 78-87, 1989.
137. **Skriegan E.:** Kuchlung von Kornerfruchten. (Referat in Polen), 2-12, 1992.
138. **Sova A.V.:** Warianty technologii uprawy rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste, XIX, 1998.
139. **Spiess E., Wildbolz P.:** Ernteverluste bei Raps. Blatter für Landtechnik, 230, 1-7, 1983.
140. **Strzelczyk E., Rożej A.:** Wpływ CCC i Alaru na porażenie różnych odmian rzepaku ozimego przez *Alternaria brassicae* (Berk.) Sacc., Roczn. Nauk Roln., 100, 1, 7-15, 1974
141. **Szewczuk C., Michałojć Z.:** Praktyczne aspekty dolistnego dokarmiania roślin. Acta Agrophysica, 85, 19-29, 2003.

142. **Szlachta Z.:** Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2002.
143. **Szot B., Szpryngiel M., Grochowicz M., Tys J., Rudko T., Stępniewski A., Żak W.:** Optymalna technologia pozyskiwania nasion rzepaku. Instrukcja wdrożeniowa. Instytut Agrofizyki PAN Lublin, 1996.
144. **Szot B., Tys J., Rudko T.:** Estimation of the influence of nitrogen fertilization (ammonium nitrate or urea) on mechanical properties of rape siliques. *Int. Agrophysics*, 8, 143-146, 1994
145. **Szot B., Tys J., Szpryngiel M., Grochowicz M.:** Determination of the reasons for rapeseed losses at combine harvesting and some methods of their limitation. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 389, 221-232, 1991.
146. **Szukalski H.:** Mikroelementy w produkcji roślinnej. PWRiL, Warszawa, 1973.
147. **Szulec R.M.:** Stan olejarstwa i jego najbliższe perspektywy rozwojowe. *IHAR. Rośliny Oleiste*, XVI, 315-322, 1995.
148. **Szwed G.:** Kształtowanie fizycznych i technologicznych cech nasion rzepaku w modelowanych warunkach przechowywania. *Acta Agrophysica*, 27, 2000.
149. **Szysło J.:** Technika i technologia konserwacji ziarna metodą schładzania. *Probl. Tech. Rol. i Leśnej*. Warszawa, 427-430, 1992.
150. **Tys J., Rybacki R.:** Rzepak-jakość nasion. Procesy zbioru, suszenia, przechowywania. *Acta Agrophysica*, 44, 2001.
151. **Tys J.:** Czynniki kształtujące właściwości agrofizyczne rzepaku. *Acta Agrophysica*, 6, 1997.
152. **Tys J.:** Jak zwiększyć opłacalność produkcji rzepaku. *Eksploracja i Niezawodność*, 3, 9, Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne, Warszawa, 32-42, 2003.
153. Uzasadnienie do Projektu ustawy o biokomponentach stosowanych w paliwach ciekłych i biopaliwach ciekłych, www.minrol.gov.pl/bprasowe/UstBiouzasad.pdf, 2003.
154. **Vašák J., Fábry A., Bervidová L., Balik J., Filípek I.:** Rzepak ozimy w Czechach – technologia i marketing. *Rośliny Oleiste*, XV, 183-192, 1994.
155. **Vertucci C.W.:** A calorimetric study of the changes in lipids during seed storage under dry conditions. *Plant Physiology*, 99(1), 310-316, 1992.
156. **Wąlkowski T. (red.):** Rzepak ozimy. *IHAR Poznań*, 1-150, 2002
157. **Wąlkowski T., Bartkowiak-Broda I.:** Possibilities of increase of oilseed rape production in Poland. 11th Int. Rapeseed Congress, 2, 612, 2003.
158. **Wąlkowski T., Krzymański J.:** Rzepak ozimy. Instrukcja wdrożeniowa. Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Poznań, 1995.
159. **Weres J.:** Technologia suszenia i przechowywania rzepaku a jego jakość. AR Poznań. Dane niepublikowane.
160. **Wielebski F., Wójtowicz M.:** Reakcja odmian rzepaku ozimego na wzrastające dawki azotu na glebach żytnych w Zielęcinie. *Rośliny Oleiste*, 19(2), 507-514, 1998.
161. **Wielebski F.:** Aktualne problemy nawożenia rzepaku w Polsce. W: *Zbilansowane nawożenie rzepaku (aktualne problemy)*. Wyd. AR Poznań, 261-276, 1997.
162. **Wiślicki B.:** Eksploatacja silników Diesla w aspektach ochrony środowiska w Polsce. *Paliwa, oleje i smary w eksploatacji*, 73, 2000.
163. **Wiślicki B., Krzyżanowski R., Wolańska M.:** Fizykochemia własności użytkowych estrów metylowych kwasów oleju rzepakowego – paliwa do silników Diesla. *Paliwa alternatywne do silników spalinowych*. IBMER, Warszawa, 1993.
164. **Wojnowska T., Panak H., Sienkiewicz S.:** Reakcja rzepaku ozimego na wzrastający poziom nawożenia azotem w warunkach czarnych gleb kętrzyńskich. *Rośliny Oleiste*, 16(1), 173-181, 1995.
165. **Yiu S.H., Altosaar I., Fulcher R.G.:** The effect of processing on the structure and microchemical organization of rapeseed. *Food Microstr.*, 2, 165-173, 1983.

166. **Zbiorowa red. Bujoczek K.:** Profesjonalna uprawa rzepaku. Magazyn Nowoczesnego Rolnictwa – top agrar, 2001.
167. **Żmuda K.:** Możliwości wykorzystania zbóż i innych surowców roślinnych do celów energetycznych. Forum producentów roślin zbożowych, kukurydzy i rzepaku, 37-44, 2003.

12. STRESZCZENIE

Rzepak jest rośliną o bardzo wysokich wymaganiach pokarmowych i nawozowych. Wymaga on terminowego siewu, optymalnego odczynu gleby i starannej jej uprawy oraz pełnej ochrony chemicznej. W efekcie koszty wytwarzania nasion są stosunkowo wysokie, co jest główną przeszkodą w zwiększeniu powierzchni uprawy tej rośliny.

Zmniejszenie kosztów jednostkowych uprawy rzepaku można uzyskać m.in. poprzez zastosowanie wapna odpadowego zawierającego siarkę oraz osadów ściekowych będących źródłem substancji organicznej i wielu niezbędnych składników pokarmowych. Obniżenie tych kosztów wymaga także zastosowania kompleksowej uprawy oraz zmian organizacyjnych przez wykorzystanie i adaptację lokalnej bazy podczas skupu, suszenia i przechowywania nasion. W efekcie tych działań można będzie zwiększyć areal uprawy rzepaku i znaczną część surowca przeznaczyć na produkty przemysłowe w tym na nośnik energii do napędu silników wysokoprężnych. Rozwojowi produkcji biopaliw powinny służyć odpowiednie regulacje prawno-finansowe, dopracowanie technologii, organizacji produkcji oraz zbytu w tym również produktów ubocznych.

W ocenie zasadności produkcji nośników energii z surowców pochodzenia roślinnego, należy brać pod uwagę nie tylko efekty bezpośrednie, ale i skutki natury gospodarczej, społecznej i ekologicznej. Ponadto niezwykle istotnym jest poszukiwanie, weryfikowanie w warunkach praktycznych i wdrażanie rozwiązań poprawiających efektywność produkcji, jak i jakości biopaliw, gdyż jest to jedyna droga dla zapewnienia ich konkurencyjności w stosunku do paliw tradycyjnych. Z tych powodów należy dążyć do optymalizacji systemu wytwarzania biopaliwa z rzepaku, z uwzględnieniem ochrony środowiska oraz zasad inżynierii procesów rolniczych.

W warunkach glebowo-klimatycznych naszego kraju, rzepak ma realne znaczenie jako surowiec nadający się do przetwarzania na produkty przemysłowe, w tym na nośnik energii do napędu silników wysokoprężnych. Szansą na realizację produkcji biopaliwa jest zmniejszenie nakładów na agrotechnikę przy produkcji nasion rzepaku, zmiany organizacyjne przez wykorzystanie i adaptację lokalnej bazy, jak również doskonalenie rozwiązań technologicznych podczas skupu, suszenia i przechowywania.

Mając na uwadze powyższe realia należy sądzić, że wzrost produkcji rzepaku, który zrównoważy zapotrzebowanie na surowiec niezbędny dla celów paliwowych, jak i spożywczych może być możliwy jedynie poprzez maksymalne ograniczenie kosztów jego produkcji. Działania te powinny obejmować wszystkie elementy produkcji od zasiewu do przerobu.

Słowa kluczowe: rzepak, uprawa, biodiesel, ekonomia

13. SUMMARY

Rape is a plant with very high nutritional and fertilizing demands. It requires sowing on time, the optimum soil pH, careful cultivation and full chemical protection. The resulting relatively high cost of the seeds production does not allow for an increase of this plant's cultivation area. A drop in rape's cultivation cost per piece may be achieved, among others, by the use of waste lime containing sulphur and sewage sludge sediments serving as a source of organic substance as well as of many indispensable nutrients. The drop of this cost also requires an application of integrate cultivation and organizational changes by the use and adaptation of a local base during the purchasing, drying and storage of the seeds.

Due to this action it will be possible to increase rape cultivation area and use a significant part of the raw material in industrial production, among others in the production of an energy carrier for the driving of compression-ignition engines. Biofuels production should be encouraged by suitable legal and financial regulations, development of technologies, organization of production and sales, including waste materials.

The evaluation of the need for the production of energy carriers from plant raw materials should consider not only the immediate effects but also side effects of economic, social and ecological nature. Moreover it is especially significant to look for, verify in practice and endorse the solutions that improve both the production efficiency and biofuels quality as this is the only way to ensure their competitiveness in relation to traditional fuels. That is why an optimization of rape biofuel production system should be aimed at, taking into consideration the protection of environment and the principles of the engineering of agricultural processes.

In the soil and climactic conditions of our country rape is a really significant raw material suitable for the processing into industrial articles, including an energy carrier for the driving of compression-ignition engines. A chance for the realization of biofuels production is a drop in cultivation technology financial requirements at rape seeds production, organizational changes through the use and adaptation of a local base as well as development of better technological solutions during the purchasing, drying and storage.

Considering the above-mentioned issues the conclusion is that an increase of rape production to balance the demand for the raw material both for fuel and food purposes may be possible only via the maximum reduction of its production cost. This action should involve all the production stages from the sowing to the processing.

Keywords: rapeseed, agriculture, biodiesel, economy

Adresy autorów:

Doc. dr hab. Jerzy Tys
Instytut Agrofizyki PAN
ul. Doświadczalna 4
skr. poczt. 201
20-290 Lublin 27
e-mail: jtys@demeter.ipan.lublin.pl

Prof. dr hab. Adam Kaczor
Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej
Akademia Rolnicza w Lublinie
ul. Akademicka 15
20-950 Lublin
e-mail: adamk@agros.ar.lublin.pl

Prof. dr hab. Izabella Jackowska
Katedra Chemii
Akademia Rolnicza w Lublinie
ul. Akademicka 15
20-950 Lublin
e-mail: ijack@agros.ar.lublin.pl

Prof. dr hab. inż. Wiesław Piekarski
Mgr inż. Grzegorz Zając
Mgr inż. Paweł Starobrat
Katedra Energetyki i Pojazdów
Akademia Rolnicza w Lublinie
ul. Głęboka 28
20-612 Lublin
e-mail: pojazd@hortus.ar.lublin.pl