

# WYKORZYSTANIE BADAŃ SYMULACYJNYCH DO OKREŚLENIA BUDOWY MIESZADŁA OLEJU W ZBIORNIKU RAFINACYJNYM

Streszczenie

*Celem pracy była analiza wpływu kształtu mieszadła w mieszalniku na intensywność ruchu oleju rzepakowego i ziemi bielącej. Przedstawiono przebieg i wyniki badań symulacyjnych mieszadła w zbiorniku do częściowej rafinacji surowego oleju rzepakowego. Na podstawie analiz wyników badań symulacyjnych określono kształt, wielkość i liczbę łopat oraz ich rozmieszczenie na wale napędowym w dolnej komorze mieszalnika.*

**Słowa kluczowe:** zbiornik rafinacyjny, olej rzepakowy, mieszadło oleju, badania symulacyjne

## Wprowadzenie

W Polsce olej roślinny produkowany jest głównie z rzepaku - rośliny oleistej zawierającej najwyższy udział oleju wśród roślin uprawianych w klimacie środkowej Europy. Nasiona rzepaku zawierają około 45% oleju, a plon wynosi średnio 28,8 dt·ha<sup>-1</sup> [3, 4, 6, 7, 9, 10]. Olej rzepakowy jest produktem spożywczym. Jednak, z uwagi na jego właściwości energetyczne, w ostatnich latach jest również surowcem do produkcji biopaliw - alternatywnego paliwa dla oleju napędowego [1, 3, 4, 6, 7, 9-11].

Surowy olej roślinny może być paliwem do zasilania odpowiednio dostosowanych silników z zapłonem samoczynnym (ZS) [1, 3, 4, 6, 7, 9-11]. W gospodarstwie rolnym można wykorzystać urządzenia lub instalacje do wytwarzania surowego oleju na potrzeby własne [1, 4]. Olej rzepakowy można uznać za biopaliwo pod warunkiem zgodności jego parametrów z niemiecką normą DIN 51605 [5]. Zawartość określonych substancji w surowym oleju roślinnym wpływa na jego jakość i przydatność jako biopaliwa [4, 6, 7, 9-11]. Jedną z istotnych właściwości olejów roślinnych jako paliwa dla silników ZS jest wysoka zawartość fosforu, magnezu i wapnia w oleju oraz krótki okres odporności na utlenianie. W zależności od technologii produkcji oleju, zawartość fosforu się zmienia. Tłoczenie na zimno, czyli do temperatury 70°C, gwarantuje niski poziom fosforu, poniżej 30 ppm, ale uzysk oleju wynosi zaledwie 60% oleju zawartego w nasionach. Tłoczenie i ekstrahowanie oleju na gorąco pozwala na uzyskanie nawet 90% oleju zawierającego do 200 ppm. Zgodnie z normą DIN 51605 [5] olej rzepakowy nie powinien zawierać więcej niż 3 ppm fosforu i po 1 ppm wapnia i magnezu. Małym zakładom tłuszczowym nie opłaca się instalować kolumny rafinacyjnej oleju z uwagi na duże koszty inwestycji, które nie są w stanie się zwrócić przy niewielkim poziomie produkcji.

Jednym z procesów, który pozwala zredukować ilość fosforu w wytlóczonym oleju rzepakowym jest stosowanie różnego rodzaju substancji o działaniu adsorbującym. Przykładem tego typu procesów rafinacyjnych jest *deguming* lub wybielanie, na skutek których następuje usuwanie fosfolipidów i barwników z oleju. Skuteczność procesów zależy od odpowiedniego doboru parametrów i jakości oleju. Istotny wpływ na efektywność procesu ma homogenizacja adsorbentów i oleju oraz temperatura [6]. Do redukcji fosforu, magnezu i wapnia oraz podwyższenia stabilności oksydacyjnej

oleju rzepakowego w małych zakładach tłuszczowych opracowano technologię i zaprojektowano oraz wykonano instalację do częściowej rafinacji oleju. Głównym elementem tej instalacji jest dwukomorowy zbiornik do schładzania (górna komora) i rafinacji (dolna komora) tłoczonego i ekstrudowanego oleju z nasion rzepaku (rys. 1) [2]. Prawa autorskie współtwórców tego urządzenia, odnoszące się do jego kształtu, budowy i zasady działania są chronione wspólnym zgłoszeniem do Urzędu Patentowego RP. Omawiane urządzenie zostało zgłoszone jako wzór użytkowy, który otrzymał numer zgłoszenia W.124870 [12]. W pracy zawarto analizę wyników badań symulacyjnych mieszadła w dolnej komorze zbiornika, gdzie zachodzi proces bielenia polegający na ujednorodnieniu ziemi bielącej w oleju, w efekcie powstaje emulsja.

## Cel badań

Celem pracy było wykonanie symulacji procesu mieszania ziemi bielącej z olejem. Analizowano wpływ zmiennych niezależnych: kształt, wielkość i ilość łopat w cylindrycznym zbiorniku na przestrzeń, w której mieszanie było mało efektywne. Celem przeprowadzonych wstępnych badań laboratoryjnych i badań symulacyjnych było uzyskanie możliwie wysokiej sprawności procesu mieszania. Wyniki badań posłużyły do zaprojektowania łopat.

## Przebieg i metodyka badań

Przedmiotem badań był model prototypu zbiornika do schładzania i rafinacji oleju surowego, który został zaprojektowany i wykonany w ramach realizacji Projektu INNOTECH-K2/IN2/5/181835/NCBR/13 (rys. 1).

Zbiornik rafinacyjny został podzielony na dwie komory. Górna komora zbiornika jest przeznaczona do schładzania oleju do odpowiedniej temperatury (35°C). Dolna komora jest przeznaczona do prowadzenia procesu rafinacji schłodzonego oleju. Proces polega na intensywnym mieszaniu ziemi bielącej w postaci granulatu o średnicy do 70 μm i oleju w celu uzyskania emulsji o jak największym stopniu ujednoczenia. Aby przebieg rafinacji był prawidłowy, bardzo ważny jest odpowiedni kształt łopat mieszadła i ich wzajemne ustawienie na wale. W przypadku opracowanego zbiornika, ze względów technologicznych i konstrukcyjnych, mieszadło nie zostało umieszczone w osi zbiornika. Centralne ustawienie mieszadła

spowoduje laminarny ruch warstw oleju, co w tym przypadku uniemożliwi równomierne rozprowadzenie ziemi bielącej w całej masie oleju. Przeprowadzenie testów symulacyjnych pracy mieszadła, wykluczy występowanie miejsc zastoju mieszanego oleju z ziemią bielącą [2].



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 1. Przekrój modelu zbiornika rafinacyjnego oleju  
Fig. 1. The cross section of refining tank of oil

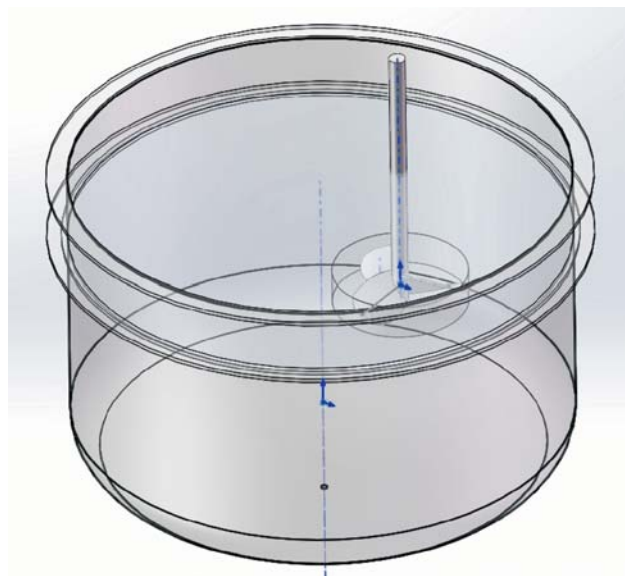
Obliczenia symulacyjne mieszadła dolnej komory zbiornika rafinacyjnego wykonano posługując się systemem Obliczeniowej Mechaniki Płynów (CFD - Computational Fluid Dynamics), wykorzystującym metody numeryczne do rozwiązywania zagadnień przepływu płynów. Systemy te bazują na równaniach Naviera-Stokesa (równania zachowania masy, pędu i energii dla płynu), a dyskretyzują je za pomocą metody objętości skończonych.

Przed rozpoczęciem badań symulacyjnych przeprowadzono, w skali laboratoryjnej, badania pozwalające na przyjęcie wstępnych zakresów wartości podstawowych wielkości fizycznych charakteryzujący analizowany proces mieszania. Na podstawie tych badań, w celu przeprowadzenia badań symulacyjnych przyjęto założenie, że prędkość obrotowa wału mieszadła nie powinna przekraczać  $25 \text{ min}^{-1}$  [2]. Dla prawidłowej interpretacji wyników przyjęto gęstość właściwą oleju na poziomie  $880 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , a jego lepkość dynamiczną  $54 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ . Wartości tych wielkości przyjęto dla oleju o temperaturze  $40^\circ\text{C}$  [6].

### Wyniki badań i ich analiza

Rozpoczynając badania symulacyjne mieszania oleju mieszadłem śmigłowym, dokonano analizy kierunku i prędkości przepływu medium przez te elementy. W celu wykonania tych analiz posłużono się wynikami uzyskanymi podczas wstępnych badań laboratoryjnych. Następnie opracowano pierwszy model dolnej komory wraz mieszadłem. Na podstawie analizy konstrukcji i działania podobnych urządzeń przyjęto, że będzie

jeden rząd łopat, umiejscowiony na środku przestrzeni komory. Zaproponowano także kształt łopat wirnika. Model pierwszej wersji komory wraz z mieszadłem przedstawiono na rys. 2.

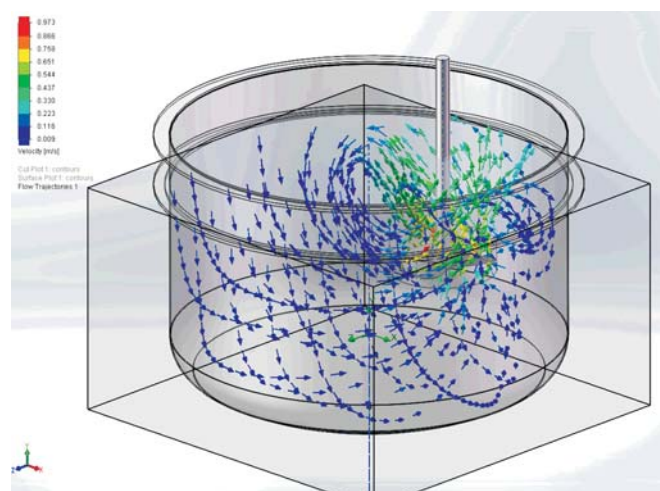


Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 2. Pierwsza wersja dolnej komory zbiornika rafinacyjnego wraz z mieszadłem jednorzędowym  
Fig. 2. The first version of the lower chamber of the refining oil tank with single mixer

Przeprowadzone obliczenia symulacyjne tej wersji urządzenia wykazały zachodzenie niekorzystnego zjawiska występowania zastoju w pewnych rejonach komory mieszania, co przedstawiono na rys. 3.

Widoczne na rys. 3 linie prądu przepływu medium w modelu komory potwierdzają występowanie martwych stref w komorze zbiornika.

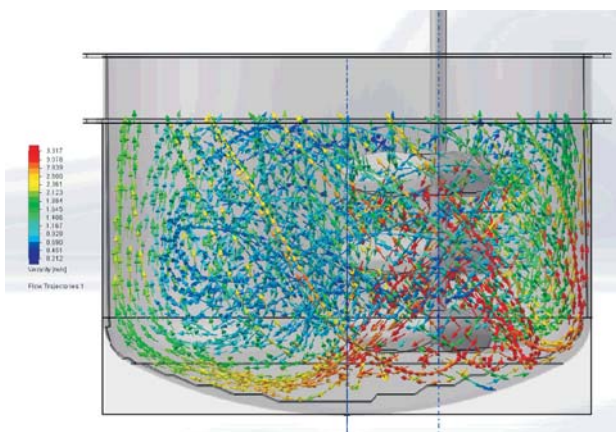


Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 3. Kierunki przepływu mieszanych substancji w komorze zbiornika rafinacyjnego - pierwsza wersja mieszadła  
Fig. 3. Directions of mixed substances flow in the mixer chamber of oil refining tank - first version of mixer

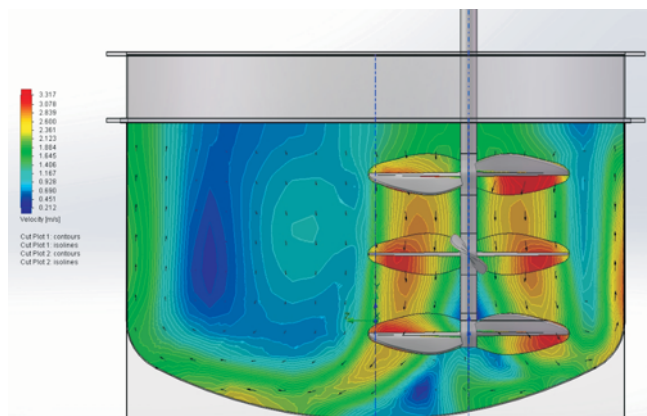
W wyniku przeprowadzonych badań symulacyjnych, dla zapewnienia właściwego przebiegu mieszania oleju z ziemią bielącą, powiększono powierzchnię łopat mieszadła i zmodyfikowano ich zarys. Wprowadzono trzy rzędy łopat wraz z ich odpowiednim, wzajemnym rozmieszczeniem. Wynik symulacji z zastosowanymi zmianami przedstawiono na rys. 4 i 5. Wprowadzona w wyniku badań symulacyjnych zmiana ilości,

kształtu łopat i ich wzajemnego ustawienia spowodowała mieszanie oleju w całej objętości dolnej komory zbiornika rafinacyjnego (rys. 4 i 5). Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz symulacyjnych opracowano dokumentację konstrukcyjną zbiornika rafinacyjnego i zbudowano jego prototyp.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 4. Kierunki przepływu mieszanych substancji w komorze zbiornika rafinacyjnego - mieszadło po modyfikacji  
Fig. 4. Directions of mixed substances flow in the mixer chamber of oil refining tank - version after modifications



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 5. Gradienty prędkości przepływu cieczy w komorze zbiornika rafinacyjnego po modyfikacjach  
Fig. 5. Graph of gradients of liquid flow rate in the chamber of refining oil tank after modifications

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania symulacyjne mieszania oleju i ziemi bielącej przez mieszadło w dolnej komorze zbiornika

rafinacyjnego umożliwiły odpowiednie wyprofilowanie jej elementów, pozwalające na mieszanie w całej objętości komory, a tym samym na zachowanie prawidłowych parametrów przebiegu procesu rafinacji. W wyniku przeprowadzonych analiz symulacyjnych opracowano odpowiedni kształt łopat mieszadła oraz wskazano ich właściwe rozmieszczenie na wale mieszadła. Wyniki analiz symulacyjnych pracy mieszadła pozwoliły na opracowanie prototypu urządzenia teoretycznie spełniającego przyjęte w projekcie założenia. Praktyczna walidacja opracowanych elementów nastąpi podczas badań prototypu zbiornika rafinacyjnego.

## Bibliografia

- [1] Adamczyk F., Frąckowiak P., Zbytek Z.: Sposoby wykorzystania biomasy stałej na cele energetyczne. Część 1. Oleje roślinne. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2010, 5, 2-4.
- [2] Adamczyk F., Frąckowiak P., Jankowiak S., Spychała W., Wąchalowski G.: Opracowanie technologii oraz przygotowanie do wdrożenia produkcji surowego oleju rzepakowego o podwyższonej jakości. Zadanie 5. Opracowanie założeń instalacji rafinacji oleju rzepakowego. Projekt INNOTECH-K2/IN2/5/181835/NCBR/13. Maszynopis. PIMR-8084.
- [3] Barabás I., Todoruț I-A.: Biodiesel Quality, Standards and Properties. [w:] *Biodiesel - Quality, Emissions and By-Products* (ed. G. Montero and M. Stoytcheva), InTech, 2011, 3-28.
- [4] Bocheński C.I.: Biodiesel paliwo rolnicze. Warszawa: Wydawnictwa SGGW, 2003.
- [5] DIN 51605:2010-09. Fuels for vegetable oil compatible combustion engines - Fuel from rapeseed oil - Requirements and test methods.
- [6] Golimowski W.: Dobór surowca do produkcji biopaliw do pojazdów rolniczych. Monografia nr 14. ITP Falenty, 2013.
- [7] Golimowski W., Pasyniuk P., Berger W.A.: Common rail diesel tractor engine performance running on pure plant oil. *Fuel*, 2013, 103, 227-231.
- [8] Joźwiak D., Szlęk A.: Ocena oleju rzepakowego jako paliwa kotłowego. *Energetyka i ekologia*, 2006, 6, 449-451.
- [9] Łaska B., Golimowski W., Adamczyk F., Pasyniuk P.: Wpływ warunków tłoczenia i dynamiki schładzania oleju rzepakowego jako biopaliwa na jego liczbę kwasową. *Przemysł Chemiczny*, 2015, 94(8), 1411-1414.
- [10] Łaska B.: Produkcja nasion roślin oleistych. [w:] *Oil plants and their use as fuel for agricultural tractors* (red. W. Golimowski). Monografia nr 11. ITP, Falenty 2012, 11-43.
- [11] Wu Yo-Ping, Ya-Fen Lin, Jhen-Yu Ye: The Effect of Storage Condition on Biodiesel [w:] *Biodiesel - Quality, Emissions and By-Products* (ed. G. Montero and M. Stoytcheva), InTech, 2011, 71-88. ISBN 978-953-307-784-0.
- [12] Wąchalowski G., Szaroleta M., Frąckowiak P., Adamczyk F., Golimowski W., Pasyniuk P., Łaska B., Trawiński A.: Zbiornik do rafinacji oleju roślinnego. Zgłoszenie patentowe na wzór użytkowy nr W.124870 z dnia 12.02.2016 r.

Pracę wykonano w ramach realizacji projektu INNOTECH-K2/IN2/5/181835/NCBR/13 Opracowanie technologii oraz przygotowanie do wdrożenia produkcji surowego oleju rzepakowego o podwyższonej jakości”. Projekt został dofinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

## THE USE OF SIMULATION TESTS TO DETERMINE THE CONSTRUCTION OF THE OIL MIXER IN THE REFINING TANK

### Summary

The paper presents the process and results of mixer work simulations in tank for refining crude rapeseed oil. There was determined shape and size of the blades in the lower chamber of the mixer based on the results of analysis. Set also number of blades and their location on the drive-shaft were specified.

**Key words:** refining tank, rapeseed oil, oil mixer, simulation tests