NAFTA-GAZ

Nafta-Gaz 2026, tom 82, nr 5, s. 501–512, DOI: 10.18668/NG.2026.05.06

Wpływ procesu rozpuszczalnikowego na zmianę właściwości niskotemperaturowych oleju jojoba

The effect of solvent processing on the low-temperature properties of jojoba oil

Stefan Ptak

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Woski pochodzenia naturalnego wykorzystywane są jako surowce odnawialne i stosowane w wytwarzaniu produktów, aby obniżać negatywne skutki związane z emisją i stosowaniem szkodliwych substancji degradujących środowisko naturalne. W artykule przedstawiono ogólną charakterystykę wosków. Woski roślinne mają szerokie zastosowanie, na przykład jako składniki środków smarowych i wyrobów parafinowych oraz komponenty do paliw stosowanych w silnikach o zapłonie samoczynnym. Przedstawiono informacje, w jakich strefach klimatycznych roślina jojoba rośnie i jakie ma wymagania do uprawiania. W sposób szczegółowy opisano skład chemiczny i właściwości fizykochemiczne oraz zastosowanie oleju jojoba uzyskiwanego z owoców rośliny jojoba. W dalszej kolejności przedstawiono wyniki badań próbki wosku roślinnego, oleju jojoba, którą poddano procesowi odparafinowania rozpuszczalnikowego mieszaniną metyloizobutyloketonu z metyloetyloketonem oraz metyloizobutyloketonem. W wyniku wykonanych badań uzyskano zmodyfikowane oleje jojoba, charakteryzujące się polepszonymi właściwościami niskotemperaturowymi, oraz drugi produkt – wosk utwardzony, stanowiący frakcję pozostającą na płótnie filtracyjnym. Po usunięciu rozpuszczalnika frakcja ta charakteryzuje się podwyższonymi właściwościami temperaturowymi w porównaniu ze wsadem, tj. surowym olejem jojoba. W konkluzji stwierdzono, że zastosowanie procesu prowadzonego w warunkach analogicznych do odparafinowania rozpuszczalnikowego, standardowo stosowanego do odparafinowania olejów pochodzenia naftowego, pozwala na uzyskanie pozytywnego efektu rozdziału wsadu, którym jest olej jojoba, na dwa produkty.

Słowa kluczowe: woski roślinne, olej jojoba, odparafinowanie rozpuszczalnikowe, właściwości niskotemperaturowe, metyloizobutyloketon, metyloetyloketon.

ABSTRACT: Natural waxes are used as renewable raw materials and in the manufacture of products designed to reduce the adverse effects of emissions and the use of harmful substances that degrade the environment. This article presents an overview of the characteristics of waxes. Vegetable waxes have a wide range of applications, including their use as components of lubricants, paraffin products, and fuels for compression-ignition engines. Information is provided on the climatic zones in which jojoba grows and its cultivation requirements. The chemical composition, physicochemical properties, and uses of jojoba oil obtained from the fruit of the jojoba plant are described in detail. The article then presents the results of tests conducted on a sample of vegetable wax (jojoba oil) subjected to solvent dewaxing using a mixture of methyl isobutyl ketone and methyl ethyl ketone, as well as methyl isobutyl ketone alone. The tests produced modified jojoba oils with improved low-temperature properties, as well as a second product, hardened wax, consisting of the fraction retained on the filter cloth. After solvent removal, this fraction exhibits higher values for temperature-related properties than the feedstock, i.e. crude jojoba oil. It was concluded that a process carried out under conditions similar to those used in conventional solvent dewaxing of petroleum-derived oils enables the effective separation of jojoba oil feedstock into two products.

Keywords: vegetable waxes, jojoba oil, solvent dewaxing, low-temperature properties, methyl isobutyl ketone, methyl ethyl ketone.

Autor do korespondencji: S. Ptak, e-mail: *stefan.ptak@inig.pl*

Artykuł nadesłano do Redakcji: 04.02.2026 r. Zatwierdzono do druku: 29.10.2026 r.

Wstęp

Rezerwy paliw kopalnych są coraz mniejsze, a obawy dotyczące degradacji środowiska i nadmiernej eksploatacji zasobów naturalnych doprowadziły do poszukiwania alternatywnych, odnawialnych źródeł energii dla paliw kopalnych w przyszłości (Martínez i in., 2018). Biogospodarka to nowy i główny paradygmat, który pozwala zmniejszyć nasze uzależnienie od zasobów naturalnych, a jednocześnie odpowiedzieć na obecne wyzwania środowiskowe. Komisja Europejska definiuje biogospodarkę jako produkcję odnawialnych zasobów biologicznych i ich przekształcanie w produkty o wartości dodanej, takie jak żywność, pasze, bioprodukty i bioenergia. W poszukiwaniu przyjaznych dla środowiska procesów inżynieryjnych dużą uwagę poświęca się wykorzystaniu odnawialnych surowców. Biorafineria jest obecnie powszechnie akceptowaną metodą rozdzielania odnawialnych surowców na biotechnologiczne strumienie procesowe, a ostatecznie na nadające się do obrotu chemikalia i paliwa (Bouaid i in., 2023).

Koncepcje zielonej chemii mają na celu ograniczenie, recykling lub wyeliminowanie stosowania szkodliwych związków chemicznych poprzez tworzenie nowatorskich strategii ograniczania szkód dla ludzi i środowiska bez ograniczania rozwoju nauki (Meselu i in., 2022).

W ramach koncepcji zielonej chemii i biorafinerii oleje roślinne i tłuszcze zwierzęce są szeroko stosowane jako surowce do otrzymywania różnych produktów i związków o zastosowaniach przemysłowych, takich jak środki smarowe, plastyfikatory, surfaktanty, poliuretany, biodiesel i produkty farmaceutyczne (Metzger, 2009; Gallezot, 2012; Martínez i in., 2017). Około 80,5% światowej produkcji olejów roślinnych jest wykorzystywane do celów spożywczych, 8,2% na biodiesel, a 11,3% do innych zastosowań przemysłowych (Martínez i in., 2017). Dużym zainteresowaniem w pracach badawczych w realizacji celów badawczych produktów przyjaznych dla środowiska cieszą się wosk, olej jojoba, z którego można uzyskiwać alkohole tłuszczowe, i estry alkilowe kwasów tłuszczowych (Martínez i in., 2017).

Ogólna charakterystyka wosków

Woski naturalne i syntetyczne

Terminem „woski" obejmuje się produkty różnorodnego pochodzenia, o różnorodnym składzie chemicznym, lecz mające kilka ważnych wspólnych cech, które decydują o ich przeznaczeniu do tych samych zastosowań w gospodarce. W gotowych produktach handlowych woski mogą spełniać funkcję komponentów bazowych, składników modyfikujących, względnie zamienników (Kirk-Othmer, 2007; Antosz i Ptak, 2022).

Pod względem chemicznym w większości są estrami kwasów tłuszczowych (tzw. kwasów woskowych) i wielocząsteczkowych alkoholi. Zawierają one również wolne kwasy tłuszczowe, alkohole, węglowodory i ich pochodne (Mieczkowski i Budziński, 2018). W skład wosków naturalnych wchodzą woski kopalne (np. wosk montanowy, ozokeryt oraz makro- i mikrokrystaliczne woski parafinowe), a także woski niekopalne. Woski niekopalne dzieli się na woski pochodzenia zwierzęcego (np. wosk pszczeli, szelak, lanolina, spermacet) i woski pochodzenia roślinnego (np. wosk carnauba, wosk kandelila, wosk ryżowy czy też olej jojoba).

Woski syntetyczne są to sztucznie otrzymywane substancje o właściwościach wosków naturalnych. Ze względu na sposób wytwarzania dzieli się je na całkowicie syntetyczne (m.in. woski poliolefinowe, wosk Fischera–Tropscha) i półsyntetyczne (estry lub mydła montanowe oraz woski na bazie amidów kwasów tłuszczowych) (Patent US4749517, 1988; Mieczkowski i Budziński, 2018).

Olej jojoba

Olej jojoba, otrzymywany ze zmiażdżonych nasion wiecznie zielonego, wieloletniego krzewu pustynnego simonsidii kalifornijskiej, występującego naturalnie na obszarze północno-zachodniego Meksyku, w tym Baja California i pustyni Sonora, oraz w południowo-zachodnich Stanach Zjednoczonych, jest cennym surowcem pochodzenia naturalnego (Sánchez i in., 2016; El Gendy, 2023). Jojoba jest jedynym przedstawicielem rodziny Simmondsiaceae (El Gendy, 2023). Roślina jojoba jest wyjątkowo tolerancyjna na różne środowiska, może być uprawiana na poziomie morza i na wysokości 1500 m n.p.m. (Kirk-Othmer, 2007), co pokazuje jej wszechstronność w zupełnie różnych warunkach. Jojoba jest uprawiana w wielu krajach na całym świecie, głównie w strefach suchych i półpustynnych, takich jak różne regiony USA, Izraela, Meksyku, Indii i Republiki Południowej Afryki, Arabii Saudyjskiej, Egiptu, Tunezji, Chile, Argentyny i Australii (Dréau i in., 2009; Yang i in., 2014; Sánchez i in., 2016; Perry i in., 2021; El Gendy, 2023).

Roślina jojoba jest uprawiana ze względu na nasiona, które zawierają około 50% jasnożółtego, bezwonnego wosku, powszechnie nazywanego olejem jojoba (Patent US4749517, 1988). W przeciwieństwie do innych olejów roślinnych i tłuszczów olej jojoba nie jest mieszaniną triacylogliceroli, lecz składa się z prostołańcuchowych monoestrów jednonienasyconych kwasów tłuszczowych o długim łańcuchu i długołańcuchowych pierwszorzędowych alkoholi tłuszczowych, w szczególności dwóch cząsteczek estrów, zawierających 40 i 42 atomy węgla, które stanowią do 80% oleju (Patent US4749517, 1988).

Dlatego też olej jojoba, ze względu na swój skład chemiczny, jest „woskiem". Olej jojoba zawiera również niewielkie

ilości wolnych kwasów tłuszczowych i alkoholi, fitosteroli, tokoferoli, fosfolipidów oraz śladowe ilości triacylogliceroli (Patent US4749517, 1988).

Ogólny wzór strukturalny oleju jojoba wygląda następująco (Patent US4749517, 1988; Yang i in., 2014):

$$CH_3(CH_2)_7CH = CH(CH_2)_mCOO(CH_2)_nCH = CH(CH_2)_7\ CH_3$$

gdzie *m* może mieć wartość 7, 9, 11 lub 13, a *n* ma wartość 8, 10, 12 i 14.

Zawartość głównych kwasów tłuszczowych w estrach oleju jojoba powiązana z indeksem *m* we wzorze* jest następująca:

– dla *m* = 7: 7–11%;
– dla *m* = 9: 69–71%;
– dla *m* = 11: 13–17%;
– dla *m* = 13: 2–3%.

Zawartość głównych alkoholi tłuszczowych w estrach oleju jojoba powiązana z indeksem *n* we wzorze* przedstawia się natomiast jak poniżej:

– dla *n* = 8: 1–2%;
– dla *n* = 10: 42–46%;
– dla *n* = 12: 41–47%;
– dla *n* = 14: 7–8%.

Powyższe wartości procentowe są wyrażone w % masowych (Patent US4749517, 1988; Yang i in., 2014).

Właściwości fizykochemiczne i skład oleju jojoba przedstawione w artykule Yang i in. (2014) zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne i skład oleju jojoba (Yang i in., 2014)

Table 1. Physicochemical properties and composition of jojoba oil (Yang et al., 2014)

Skład (sumaryczna ilość atomów węgla C w estrach)	Jednostka	Wynik badania
C34–C36	% (*m*/*m*)	0,2
C38	% (*m*/*m*)	6,6
C40	% (*m*/*m*)	30,2
C42	% (*m*/*m*)	50,9
C44	% (*m*/*m*)	9,0
C46–C50	% (*m*/*m*)	0,9
Właściwości	**Jednostka**	**Wynik badania**
Temperatura topnienia	°C	9
Gęstość	g/cm^3	0,862
Liczba jodowa	g/100 g	83
Liczba kwasowa	mg KOH/g	0,36
Lepkość	mm^2/s	26,6
Wilgotność	%	0,03
Temperatura zapłonu	°C	225
CFPP	°C	10
Stabilność oksydacyjna	godz.	41,3

Zastosowania oleju jojoba

Olej jojoba jest mieszaniną estrów, która nadaje temu specyficznemu woskowi wiele różnych właściwości, takich jak możliwość do siarkowania, wysoka stała dielektryczna i łatwość uwodornienia (Yang i in., 2014). Wosk, olej jojoba charakteryzuje się niską reaktywnością chemiczną i bardzo wysoką temperaturą wrzenia (398°C), co nadaje temu produktowi bardzo ważne właściwości fizykochemiczne i zastosowania (Patent US4749517, 1988).

Dzięki posiadaniu specyficznych właściwości olej jojoba znajduje zastosowanie w wielu różnych gałęziach przemysłu, np. w kosmetykach, farmaceutykach, środkach smarowych, środkach pianotwórczych, smarach przekładniowych, smarach wysokociśnieniowych, olejach grzewczych, plastyfikatorach, środkach zmniejszających palność, olejach transformatorowych, środkach przeciwpiennych, detergentach, środkach zwilżających, do produkcji kwasów dwuzasadowych, długołańcuchowych, eterów hydroksylowych, siarczanowanych środków powierzchniowo czynnych, w środkach zmniejszających palność, oleju do lamp, wosku do świec, pastach do polerowania i innych (Patent US4749517, 1988; Bhatia i in., 1990; Al-Widyan i Al-Muhtaseb, 2010; Palla i in., 2014; Yang i in., 2014; Turky i El-Adly, 2017; Heba i in., 2021).

Olej jojoba jest coraz częściej stosowany jako składnik biodiesla, bezpośrednio lub po procesie transestryfikacji. Ponadto olej jojoba jest unikatowym źródłem prostych, jednonienasyconych alkoholi, takich jak 11-eikosenol, 13-dokosenol i 15-tetrakosenol, które ze względu na swoje właściwości są pożądanym surowcem w przemyśle farmaceutycznym (Yang i in., 2014).

Olej jojoba jako składnik paliwa do silników Diesla

Olej jojoba, mający energię spalania około 42,4 MJ/kg i wartość energetyczną dość porównywalną z olejem napędowym, badano dla porównania pomiędzy konwencjonalnym olejem napędowym a mieszanką 20% (*m*/*m*) oleju jojoba + 80% (*m*/*m*) oleju napędowego i innych mieszanek oraz czystego oleju jojoba pod względem jakości paliwa i związanej z tym emisji na silniku wysokoprężnym. Stwierdzono, że mieszanka oleju jojoba i oleju napędowego pogorszyła pracę układu hamulcowego (zmniejszona sprawność cieplna hamulca, siła hamowania, zwiększone zużycie paliwa podczas hamowania). Równocześnie, jeśli chodzi o generowane emisje, zastosowanie mieszanki oleju jojoba i oleju napędowego w silniku zwiększa emisję CO i CO_2, ale redukuje emisję SO_x i NO_x (Huzayyin, 2004; Shehata i Razek, 2011; Selim, 2022).

Ramakrishnan i in. (2017) przeprowadzili prace eksperymentalne dotyczące osiągów silnika, emisji spalin, drgań bloku i hałasu zewnętrznego dla silnika wysokoprężnego z bezpośrednim wtryskiem zasilanego surowym olejem jojoba

w porównaniu z olejem napędowym. Wykazano, że surowy olej jojoba jest dobrym, obiecującym olejem do stosowania w silnikach wysokoprężnych z niewielkimi modyfikacjami oleju (np. lepkości).

W publikacji tej stwierdzono także, że badane mieszanki naftowego oleju napędowego z olejem jojoba w ilości 10%, 20% i 30% (*m*/*m*) dobrze spełniały swoją funkcję jako paliwo w klasycznym, niemodyfikowanym silniku o zapłonie samoczynnym ZS (Ramakrishnan i in., 2017).

Proces transestryfikacji niejadalnego oleju jojoba – a więc biodiesel z tego surowca należy do biopaliw drugiej generacji – był szczegółowo opisywany przez wielu badaczy. W wyniku metanolizy oleju jojoba powstają estry metylowe kwasów tłuszczowych wraz z alkoholami jednonienasyconymi. Estry alkilowe pochodzące z transestryfikacji oleju jojoba mogą być wykorzystane jako biopaliwo po oddzieleniu od długołańcuchowych alkoholi jednonienasyconych, co zwiększa opłacalność całego procesu metanolizy, ponieważ wydzielone alkohole są cennym surowcem i mają wysoką wartość rynkową (Yang i in., 2014).

Na podstawie uzyskanych wyników przedstawionych przez autorów publikacji stwierdzono, że olej jojoba zmieszany w ilości 60% (*V*/*V*) z klasycznym węglowodorowym z powodzeniem może być paliwem dla silników wysokoprężnych z zapłonem samoczynnym (Ramakrishnan i in., 2017).

W tabeli 2 przedstawiono porównanie parametrów jakościowych czystego oleju jojoba z olejowym napędowym oraz zawartości poszczególnych kwasów tłuszczowych w estrach oleju jojoba.

Porównując przedstawione w tabeli 2 właściwości oleju jojoba z właściwościami oleju napędowego, można stwierdzić, że ich lepkości kinematyczne w temperaturze 40°C są różne, lepkość oleju jojoba jest o 18 cSt większa od górnej granicy lepkości oleju napędowego. Olej jojoba charakteryzuje się większą masą cząsteczkową, gęstością, temperaturą wrzenia i temperaturą zapłonu w stosunku do oleju napędowego. Olej jojoba i olej napędowy wykazują podobne wartości liczby cetanowej.

Właściwości niskotemperaturowe oleju jojoba

Woski są produktami naturalnymi, ale różnią się nieznacznie od tłuszczów i olejów w swoim podstawowym składzie. Są mieszaniną estrów wyższych alkoholi wielowodorotlenowych, innych niż glicerole, z kwasami tłuszczowymi i charakteryzują się wysokimi temperaturami krzepnięcia.

Olej jojoba w porównaniu z innymi woskami roślinnymi i zwierzęcymi posiada znacznie niższą temperaturę krzepnięcia, która kształtuje się na poziomie około 10°C. Wysoka lepkość i słabe właściwości niskotemperaturowe oleju jojoba, czyli wysoka temperatura mętnienia (CP) i temperaturą płynięcia (PP), to dwa z najpoważniejszych problemów związanych z wykorzystaniem oleju jojoba do produkcji biodiesla (Ramakrishnan i in., 2017).

W ramach przeprowadzonych badań zastosowano metody technologiczne, rozpuszczalnikowe dla surowca pochodzenia odnawialnego oleju jojoba. Wykorzystano proces odparafinowania rozpuszczalnikowego, który jest standardowo stosowany do odparafinowania olejów i stanowi jeden z etapów wytwarzania mineralnych olejów bazowych z destylatów próżniowych uzyskiwanych z ropy naftowej. Wykorzystanie klasycznego

Tabela 2. Porównanie właściwości oleju jojoba z olejem napędowym (Ramakrishnan i in., 2017)
Table 2. Comparison of the properties of jojoba oil and diesel fuel (Ramakrishnan et al., 2017)

Właściwości	Olej jojoba	Olej napędowy	Skład kwasów tłuszczowych	Wartość [%]
Masa cząsteczkowa (średnia)	606	200	C16:0 Kwas palmitynowy	3,0
Gęstość w temp. 20°C [kg/m^3]	905	820	C16:1 Kwas palmitynowy	1,0
Gęstość właściwa w temp. 20°C	0,91	0,82	C18:0 Kwas stearynowy	5,0
Temperatura wrzenia [°C]	398	180–340	C18:1 Kwas oleinowy	5,0–15,0
Lepkość kinematyczna w temp. 40°C [cSt]	22	3–4	C20:0 Kwas arachidowy	3,0
Ciepło parowania [kJ/kg]	–	230	C20:1 Kwas gadoleinowy	65,0–80,0
Dolna wartość opałowa [kJ/kg]	38,100	42,700	C22:0 Kwas behenowy	1,0
Temperatura zapłonu [°C]	225	74	C22:1 Kwas erukowy	10,0–20,0
Temperatura palenia [°C]	338	81	C24:1 Kwas nerwonowy	3,0
Temperatura samozapłonu [°C]	<250	250	Inne kwasy tłuszczowe	3,0
Granica palności [% (*V*/*V*)]	1,0–5,2	1,0–6,0		
Zawartość wilgoci [% wody]	<0,05	–		
Liczba jodowa [g J2/100 g]	82	–		
Liczba zmydlenia [mg KOH/g]	92	–		
Liczba cetanowa [–]	45–48	45–50		

procesu odparafinowania rozpuszczalnikowego wsadów z ropy naftowej do modyfikacji oleju jojoba jest innowacyjnym rozwiązaniem technologicznym. Celem tych badań jest ocena efektywności poprawy właściwości niskotemperaturowych uzyskanego komponentu z oleju jojoba jako komponentu paliwa do silników o zapłonie samoczynnym.

Część doświadczalna

Metody badań

Opis eksperymentu

Krystalizację frakcji substancji wytrącających się z olejów roślinnych prowadzono wg metody własnej, opracowanej na potrzeby modelowania procesu odparafinowania rozpuszczalnikowego w INiG – PIB, polegającej na stopniowym oziębianiu znajdującego się w krystalizatorze roztworu odparafinowanego surowca (oleju jojoba) w rozpuszczalniku, a następnie filtracji oziębionej mieszaniny (rysunek 1). W tym przypadku znaczenie słowa „odparafinowanie" należy rozumieć jako poddanie oleju jojoba procesowi rozdzielania rozpuszczalnikowego na filtrat (np. zmodyfikowany olej jojoba) i osad (substancje stałe – wosk utwardzony) na podstawie zasad procesu rozpuszczalnikowego odparafinowania.



Rysunek. 1. Laboratoryjne stanowisko do modelowania procesu odparafinowania rozpuszczalnikowego (fot. INiG – PIB)

Figure. 1. Laboratory setup for modeling the solvent dewaxing process (photo: INiG – PIB)

Krystalizator zawierający 300 g wyjściowego oleju roślinnego umieszczony jest w łaźni chłodzącej, wyposażonej w programator cyklu chłodzenia pozwalający na ustalenie końcowej temperatury krystalizacji oraz odpowiedniej szybkości schładzania w kolejnych etapach procesu.

Proces krystalizacji prowadzony jest metodą rozcieńczeń poprzez dodawanie do schładzanej mieszaniny surowca z rozpuszczalnikiem kolejnych porcji oziębionego rozpuszczalnika.

W procesie krystalizacji stosuje się ciągłe mieszanie zawartości krystalizatora za pomocą mieszadła z końcówką kotwiczną, o szybkości mieszania dostosowanej do zwiększającej się lepkości mieszaniny.

Po osiągnięciu końcowej temperatury krystalizacji następuje odfiltrowanie wydzielonych substancji stałych, zawierających zaokludowany rozpuszczalnik, z wykorzystaniem nuczy próżniowej. Odfiltrowane substancje stałe przemywa się kilkoma porcjami zimnego rozpuszczalnika, którego pozostałości następnie usuwane są w procesie strippingu azotem. W wyniku usunięcia rozpuszczalnika z filtratu na wyparce próżniowej uzyskano zmodyfikowany olej roślinny o poprawionych właściwościach niskotemperaturowych.

Opis surowca i parametry technologiczne prowadzonych prób zamieszczono w tabelach 3 i 4.

Charakterystyka surowców

W badaniach wykorzystano olej jojoba wyprodukowany w warunkach przemysłowych. Wybrane właściwości fizykochemiczne oleju jojoba zostały przedstawione w tabeli 3.

Tabela 3. Właściwości badanego oleju jojoba

Table 3. Properties of the tested jojoba oil

Lp.	Właściwości	Jednostka	Olej jojoba	Metoda badań
1	Nadany kod próbki	–	**OJ01**	–
2	Lepkość kinematyczna w temperaturze 40°C	mm^2/s	24,87	PN-EN ISO 3104
3	Lepkość kinematyczna w temperaturze 100°C	mm^2/s	6,509	PN-EN ISO 3104
4	Wskaźnik lepkości	–	237	PN-ISO 2909/Ap1
5	Temperatura mętnienia	°C	9	PN-ISO 3015
6	Temperatura płynięcia	°C	8	PN-ISO 3016
7	Temperatura krzepnięcia	°C	7	EN ISO 3016
8	Temperatura zablokowania zimnego filtra CFPP	°C	19	EN 116
9	Zawartość oleju	% (*m*/*m*)	14,86	ASTM D 721

Próbki wosków roślinnych poddano procesowi odparafinowania rozpuszczalnikowego, stosując jako rozpuszczalnik metyloizobutyloketon (MIBK) z metyloetyloketonem (MEK) oraz metyloizobutyloketon (MIBK).

Dodatkowo, do wybranych wosków roślinnych uzyskanych w przeprowadzonych eksperymentach, wprowadzano

modyfikator krystalizacji z firmy EVONIC INDUSTRIES o nazwie handlowej VISCOPLEX 9-327, w ilościach zalecanych przez producenta.

Bilanse masowe oraz właściwości uzyskanych zmodyfikowanych wosków roślinnych i substancji stałych uzyskanych w przeprowadzonych eksperymentach zamieszczono w tabelach 3 i 4.

Wyniki badań

Poprawa właściwości wosków roślinnych

Poniżej przedstawiono parametry technologiczne prowadzonych eksperymentów z wykorzystaniem badanego oleju jojoba i rozpuszczalników MIBK – MEK i MIBK oraz bilans masowy uzyskanych zmodyfikowanych olejów jojoba

Tabela 4. Parametry technologiczne i bilans masowy przeprowadzonych prób oraz właściwości zmodyfikowanych olejów jojoba i utwardzonych wosków

Table 4. Process parameters and mass balance of the tests conducted, and properties of the modified jojoba oils and hardened waxes

Numer parafinowania	IO	IIO	IIIO	IVO	VO	VIO
Rodzaj rozpuszczalnika	MIBK-MEK	MIBK-MEK	MIBK-MEK	MIBK-MEK	MIBK-MEK	MIBK
Modyfikator lepkości Viscoplex 9-327, ppm	–	–	–	500	500	–
Oznaczenie próbki surowca, oleju jojoba	OJ01	OJ01	OJ01	OJ01	OJ01	OJ01
Oznaczenie zmodyfikowanego oleju jojoba	ZOL01	ZOL02	ZOL03	ZOL04	ZOL05	ZOL06
Oznaczenie utwardzonego wosku	UOL01	UOL02	UOL03	UOL04	UOL05	UOL06
Parametry technologiczne procesów odparafinowania						
Rozpuszczalnik, stosunek mas.	60 : 40	60 : 40	90 : 10	50 : 50	20 : 80	–
Temperatura krystalizacji/filtracji [°C]	−26	−16	−25	−30	−25	−25
Całkowity stosunek rozpuszczalnika do surowca [*m*/*m*]	4,5 : 1	6,0 : 1	5,5 : 1	7,0 : 1	2,8 : 1	7,0 : 1
Rozcieńczenie I, temperatura 60°C, stosunek rozpuszczalnik/surowiec [*m*/*m*]	2,4 : 1	3,0 : 1	2,4 : 1	4,0 : 1	1,4 : 1	4,0 : 1
Rozcieńczenie II, temperatura −2°C, stosunek rozpuszczalnik/surowiec [*m*/*m*]	1,3 : 1	2,5 : 1	2,0 : 1	2,5 : 1	1 : 1	2,5 : 1
Rozcieńczenie III, temperatura −11°C, stosunek rozpuszczalnik/surowiec [*m*/*m*]	0,5 : 1	–	0,5 : 1	–	–	–
Mycie w temperaturze sączenia [*m*/*m*]	0,3 : 1	0,5 : 1	0,6 : 1	0,5 : 1	0,4 : 1	0,5 : 1
Bilans masowy procesów odparafinowania						
Wydajność zmodyfikowanego oleju jojoba [% (*m*/*m*)]	29,4	28,7	21,4	28,5	32,4	22,5
Wydajność utwardzonego wosku [% (*m*/*m*)]	59,6	63,4	69,5	60,1	56,3	67,8
Straty [% (*m*/*m*)]	11,0	8,9	9,1	11,4	11,3	9,7
Czas sączenia, sekundy	11	14	13	11	15	24
Czas schładzania mieszaniny od temperatury 60°C do temperatury filtracji [°C]	1 h 31 min	1 h 31 min	1 h 33 min	1 h 43 min	1 h 28 min	1 h 31 min
Właściwości zmodyfikowanego oleju jojoba						
Temperatura mętnienia [°C]	−1	1	−2	−2	2	−2
Temperatura płynięcia [°C]	−2	−1	−3	−4	0	−3
Temperatura krzepnięcia [°C]	−3	−2	−4	−6	−1	−4
Temperatura zablokowania zimnego filtru, CFPP [°C]	19	19	18	18	19	18
Lepkość kinematyczna w 40°C [mm^2/s]	24,08	24,31	24,21	24,04	24,21	24,53
Lepkość kinematyczna w 100°C [mm^2/s]	6,262	6,312	6,287	6,259	6,273	6,324
WL	231	227	228	232	231	229
Zawartość oleju [% (*m*/*m*)]	19,24	21,03	20,42	19,86	18,53	18,23
Właściwości utwardzonego wosku						
Temperatura mętnienia [°C]	14	17	18	15	13	19
Temperatura płynięcia [°C]	11	13	12	12	11	14
Temperatura krzepnięcia [°C]	9	10	10	10	9	12
Lepkość kinematyczna w 40°C [mm^2/s]	25,63	25,57	25,71	25,74	25,58	25,60
Lepkość kinematyczna w 100°C [mm^2/s]	6,661	6,587	6,619	6,687	6,657	6,668
WL	233	224	226	233	233	224
Zawartość oleju, [% (*m*/*m*)]	8,94	11,86	11,23	12,04	12,47	11,43

i wydzielonych substancji stałych wraz z ich właściwościami fizykochemicznymi. Ponadto dla wybranych wosków olejów jojoba (nr próby IVO i VO) w procesie odparafinowania wprowadzano modyfikator krystalizacji w ilości 500 ppm.

Procesy laboratoryjnego odparafinowania rozpuszczalnikiem metyloizobutyloketonem z metyloetyloketonem oraz metyloizobutyloketonem z oleju jojoba oznaczonego kodem OJ01 zostały przedstawione w tabeli 4.

W przeprowadzonych pięciu próbach procesu poprawy właściwości niskotemperaturowych z wykorzystaniem rozpuszczalnika MIBK-MEK uzysk zmodyfikowanych olejów jojoba wynosił od 21,4% (*m*/*m*) do 32,4% (m/m), natomiast uzysk wydzielonych substancji stałych (utwardzonego wosku jojoba) zawierał się w przedziale od 56,3% (*m*/*m*) do 69,5% (*m*/*m*). Zaobserwowano zbliżone i krótkie czasy sączenia, zawierające się w przedziale od 11 sekund do 15 sekund. Straty masowe w bilansie procesu odparafinowania wyniosły od 8,9% (*m*/*m*) do 11,4% (*m*/*m*) i związane są głównie z ręcznym przekładaniem placka filtracyjnego do zlewki, a więc mają wpływ na zaniżony uzysk wosku utwardzonego.

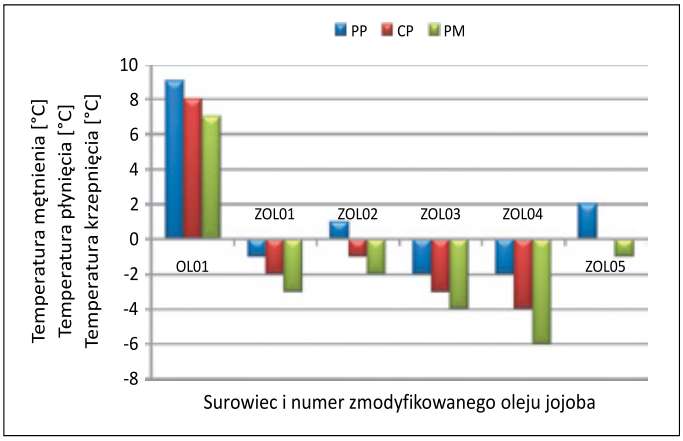
W wyniku prowadzonych eksperymentów stwierdzono, że zmodyfikowane oleje jojoba uzyskane z próbki oleju jojoba OJ01 charakteryzują się poprawionymi właściwościami niskotemperaturowymi. Zaobserwowano obniżenie temperatury mętnienia o 7°C do 11°C, obniżenie temperatury płynięcia o 8°C do 12°C i obniżenie temperatury krzepnięcia o 8°C do 13°C. Dodatkowo dla zmodyfikowanych olejów jojoba zaobserwowano zwiększenie zawartości oleju z jednoczesnym niewielkim zmniejszeniem lepkości w temperaturze 40°C i 100°C.

Ilustrację graficzną wpływu procesu prowadzonego w warunkach odparafinowania rozpuszczalnikowego na zmianę właściwości niskotemperaturowych oleju jojoba OJ01 przedstawiono na rysunku 2.

W badanym zakresie zmienności parametrów technologicznych, tj. stosunku rozpuszczalnika do wsadu, temperatury filtracji oraz rodzaju rozpuszczalnika, uzyskano podobną tendencję do poprawy właściwości niskotemperaturowych z oleju jojoba OJ01.

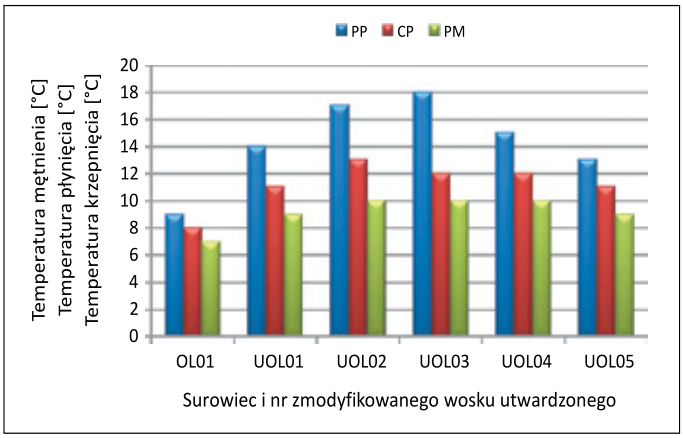
Analizując szczegółowo, można stwierdzić, że zastosowanie jako rozpuszczalnika MIBK-MEK jest efektywne, a skuteczność obniżenia temperatury mętnienia, płynięcia i krzepnięcia jest najlepsza dla największego całkowitego stosunku rozpuszczalnika do wsadu 7 : 1 wraz z zastosowaniem modyfikatora krystalizacji.

W wyniku prowadzonych eksperymentów stwierdzono, że woski utwardzone uzyskane z próbki oleju jojoba OJ01 charakteryzują się podwyższonymi właściwościami temperaturowymi. Zaobserwowano podwyższenie temperatury mętnienia o 4°C do 9°C, podwyższenie temperatury płynięcia o 3°C do 5°C i podwyższenie temperatury krzepnięcia o 2°C do 3°C. Dodatkowo dla zmodyfikowanych olejów jojoba zaobserwowano zmniejszenie zawartości oleju z jednoczesnym niewielkim zwiększeniem lepkości w temperaturze 40°C i 100°C.



Rysunek 2. Właściwości niskotemperaturowe surowca oleju jojoba OJ01 i zmodyfikowanych olejów jojoba uzyskanych w odparafinowaniu rozpuszczalnikiem MIBK-MEK

Figure 2. Low-temperature properties of crude jojoba oil OJ01 and modified jojoba oils obtained by dewaxing with the MIBK-MEK solvent mixture



Rysunek 3. Właściwości temperaturowe surowca oleju jojoba OJ01 i utwardzonych wosków uzyskanych w odparafinowaniu rozpuszczalnikiem MIBK-MEK

Figure 3. Temperature properties of crude jojoba oil OJ01 and hardened waxes obtained by dewaxing with the MIBK-MEK solvent mixture

Ilustrację graficzną wpływu procesu prowadzonego w warunkach odparafinowania rozpuszczalnikowego na zmianę właściwości temperaturowych w utwardzonych woskach z oleju jojoba OJ01 przedstawiono na rysunku 3.

W próbie odparafinowania oleju jojoba OJ01 z użyciem rozpuszczalnika MIBK zarejestrowano porównywalny uzysk zmodyfikowanego oleju jojoba i wosku utwardzonego w oraz porównywalną poprawę właściwości niskotemperaturowych jak w przypadku prób odparafinowania oleju jojoba rozpuszczalnikiem MIBK-MEK.

Tabela 5. Wyniki badań składu kwasów tłuszczowych i alkoholi tłuszczowych
Table 5. Results of the analysis of fatty acids and fatty alcohols composition

Wsad (olej jojoba) OL01		Zmodyfikowany olej jojoba ZOL03		Utwardzony olej jojoba UOL03	
Skład kwasów tłuszczowych:					
KT 16:1	0,9	KT 16:1	2,1	KT 16:1	0,1
KT 18:1	8,7	KT 18:1	21,4	KT 18:1	4,2
KT 20:1	73,5	KT 20:1	65,8	KT 20:1	76,5
KT 22:1	15,2	KT 22:1	9,4	KT 22:1	17,3
KT 24:1	1,7	KT 24:1	1,3	KT 24:1	1,9
Skład alkoholi tłuszczowych:					
alk C16:1	1,9	alk C16:1	2,5	alk C16:1	0,1
alk C18:1	2,5	alk C18:1	0,9	alk C18:1	0,1
alk C20:1	40,2	alk C20:1	71,0	alk C20:1	36,4
alk C22:1	44,3	alk C22:1	20,1	alk C22:1	50,0
alk C22:0	1,1	alk C22:0	0,5	alk C22:0	1,3
alk C24:1	10,0	alk C24:1	5,0	alk C24:1	12,1

Badania składu kwasów tłuszczowych i alkoholi tłuszczowych

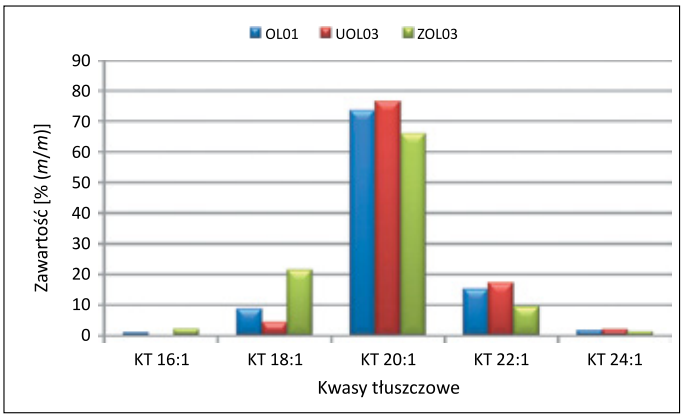
Oznaczenie kwasów tłuszczowych i alkoholi tłuszczowych w badanych próbkach wykonano techniką wysokotemperaturowej chromatografii gazowej z detekcją płomieniowo-jonizacyjną GC-FID. W celu obliczenia zawartości poszczególnych kwasów tłuszczowych i alkoholi tłuszczowych zastosowano sposób obliczania i wartości tablicowe podane w publikacji (Martínez i in., 2017).

W tabeli 5 przedstawiono wyniki badań składu kwasów tłuszczowych i alkoholi tłuszczowych dla oleju jojoba oraz dla zmodyfikowanego oleju jojoba i wosku utwardzonego, które potwierdzają selektywność procesu rozdzielania rozpuszczalnikowego mieszaniną rozpuszczalników metyloizobutyloketon (MIBK) z metyloetyloketonem (MEK), polegającą na zmianie udziału masowego poszczególnych kwasów i alkoholi uzyskanych w próbie IIIO.

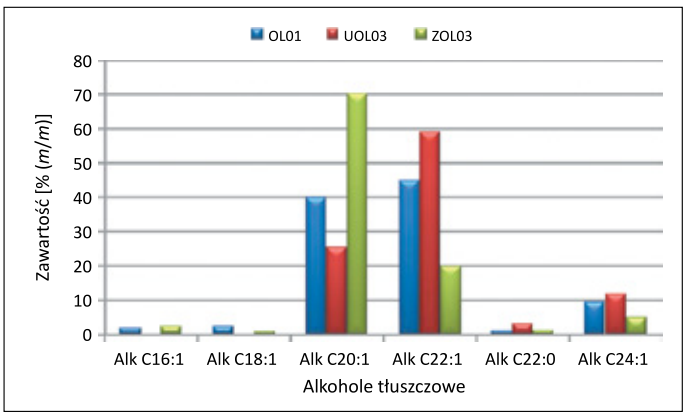
Wykonane badania składu kwasów tłuszczowych i alkoholi tłuszczowych oleju jojoba oraz zmodyfikowanego oleju jojoba i wosku utwardzonego uzyskanych w procesie rozdzielania rozpuszczalnikowego wykazują różnice w zawartościach ilościowych określonych estrów, a więc potwierdzają selektywność procesu rozdzielania rozpuszczalnikowego mieszaniną rozpuszczalników dla wybranych prób odparafinowania metyloizobutyloketonem (MIBK) z metyloetyloketonem (MEK).

Ilustrację graficzną wpływu procesu odparafinowania na zmianę zawartości alkoholi tłuszczowych w surowcu, oleju jojoba OJ01, wybranego zmodyfikowanego oleju jojoba ZOL03 i wosku utwardzonego UOL03 przedstawiono na rysunku 4.

Ilustrację graficzną wpływu procesu odparafinowania na zmianę zawartości kwasów tłuszczowych w surowcu, oleju jojoba OJ01, wybranego zmodyfikowanego oleju jojoba ZOL03 i wosku utwardzonego UOL03 przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 4. Wpływ procesu odparafinowania oleju jojoba na zmianę zawartości kwasów tłuszczowych
Figure 4. Effect of jojoba oil dewaxing on fatty acid content



Rysunek 5. Wpływ procesu odparafinowania oleju jojoba na zmianę zawartości alkoholi tłuszczowych
Figure 5. Effect of jojoba oil dewaxing on fatty alcohol content

Analiza profili kwasów tłuszczowych i alkoholi tworzących estry pozwala na stwierdzenie, że badany proces odparafinowania rozpuszczalnikowego powoduje usunięcie z surowego roślinnego oleju jojoba związków estrowych, które są przyczyną wyższych temperatur PP, CP i CM. W wyniku badanego procesu poprawie ulegają właściwości niskotemperaturowe, przy niewielkich zmianach składu chemicznego zmodyfikowanego oleju jojoba.

Bardziej wnikliwą analizę wpływu wielocząsteczkowych kwasów tłuszczowych i wielocząsteczkowych alkoholi na zmianę właściwości fizykochemicznych w procesie odparafinowania w próbie IIIO oleju jojoba OJ01 z użyciem rozpuszczalnika MIBK-MEK przedstawiono w tabeli 6.

Analiza wyników badań procesu odparafinowania oleju jojoba OJ01 z użyciem rozpuszczalnika MIBK-MEK wskazuje, że w zmodyfikowanym oleju jojoba ZOL03, w porównaniu z utwardzonym woskiem UOL03, odnotowano znaczący wzrost ilości estrów zawierających mniejsze łańcuchy kwasów tłuszczowych i krótsze łańcuchy alkoholi z jednoczesnym zmniejszeniem się estrów o dłużnych łańcucha kwasów tłuszczowych i alkoholi tłuszczowych.

W tabeli 7 zamieszczono również ocenę wpływu procesu odparafinowania oleju jojoba OJ01 z użyciem rozpuszczalnika MIBK-MEK w próbie IIIO w zakresie oceny właściwości fizykochemicznych w zmodyfikowanym oleju jojoba.

W zmodyfikowanym oleju jojoba odnotowano wzrost ilości estrów o większej zawartości kwasów i alkoholi reprezentujących krótkie łańcuchy oraz zmniejszenie ilości estrów zawierających kwasy i alkohole o dłuższych łańcuchach w odniesieniu do surowca oleju jojoba, co wpłynęło na obniżenie

Tabela 6. Ocena procesu odparafinowania oleju jojoba OJ01 z użyciem rozpuszczalnika MIBK-MEK w próbie IIIO w zakresie zmiany zawartości kwasów tłuszczowych i alkoholi w zmodyfikowanym oleju jojoba oraz wosku utwardzonym

Table 6. Evaluation of the effect of dewaxing jojoba oil OJ01 using the MIBK-MEK solvent mixture in test IIIO on changes in fatty acid and fatty alcohol content in the modified jojoba oil and hardened wax

Rodzaj kwasów tłuszczowych i alkoholi w estrach	Nazwa					
	Olej jojoba OJ01 [g]	Wosk utwardzony UOL03 [g]	Zmiana [%(*m*/*m*)]	Zmodyfikowany olej jojoba ZOL03 [g]	Zmiana [%(*m*/*m*)]	Różnica zmiany ZOL03 – UOL03 [%]
KT 16:1	0,45	0,0	8,5	0,2	54,9	46,4
KT 18:1	4,40	1,6	36,5	2,5	57,3	20,8
KT 20:1	36,70	29,2	79,7	7,7	21,1	−58,6
KT 22:1	7,60	6,6	87,0	1,1	14,6	−72,5
KT 24:1	0,85	0,7	85,5	0,2	18,0	−67,4
alk C16:1	0,95	0,0	4,0	0,3	31,0	27,0
alk C18:1	1,35	0,0	2,8	0,1	7,8	5,0
alk C20:1	19,65	13,9	70,8	8,4	42,5	−28,3
alk C22:1	22,45	19,1	85,1	2,4	10,5	−74,6
alk C22:0	0,55	0,5	90,4	0,1	10,7	−79,7
alk C24:1	5,05	4,6	91,6	0,6	11,7	−79,9
Suma	**100,00**	**76,46**	–	**23,5**	–	–

Tabela 7. Wpływ odparafinowania oleju jojoba OJ01 z użyciem rozpuszczalnika MIBK-MEK w próbie IIIO w zakresie oceny właściwości fizykochemicznych w zmodyfikowanym oleju jojoba

Table 7. Effect of dewaxing jojoba oil OJ01 using the MIBK-MEK solvent mixture in test IIIO on the physicochemical properties of the modified jojoba oil

Właściwość	Jednostka	Olej jojoba OJ01	Zmodyfikowany olej jojoba	Różnica mtemperatur i lepkości
Temperatura mętnienia	°C	9	−2	−11
Temperatura płynięcia	°C	8	–3	−11
Temperatura krzepnięcia	°C	7	–4	−11
Lepkość w temperaturze 40°C	mm^2/s	24,87	24,21	−0,66
Lepkość w temperaturze 100°C	mm^2/s	6,509	6,287	−0,231

temperatury mętnienia o 11°C, temperatury płynięcia o 11°C i temperatury krzepnięcia o 11°C.

Ponadto w zmodyfikowanym oleju jojoba nastąpił spadek lepkości w temperaturze 40°C o około 2,5%, co powiązane jest z przedstawioną powyżej zmianą struktury estrów.

Ocenę wpływu procesu odparafinowania oleju jojoba OJ01 z użyciem rozpuszczalnika MIBK-MEK w próbie 2/21 w zakresie oceny właściwości fizykochemicznych w wosku utwardzonym oleju jojoba przedstawiono w tabeli 8. W utwardzonym wosku oleju jojoba, odwrotnie niż w zmodyfikowanym oleju jojoba, odnotowano wzrost ilości estrów o większej zawartości kwasów i alkoholi o dłuższych łańcuchach i zmniejszenie ilości estrów zawierających kwasy i alkohole o krótszych łańcuchach w porównaniu z surowcem oleju jojoba.

Zmiana profili kwasów i alkoholi w estrach utwardzonych wosków oleju jojoba wpływa na zwiększenie temperatury mętnienia o 9°C, temperatury płynięcia o 4°C i temperatury krzepnięcia o 3°C. Ponadto w utwardzonym wosku oleju jojoba nastąpiło zwiększenie lepkości w temperaturze 40°C o około 33%, co powiązane jest ze zmianą struktury estrów.

W tabeli 9 przedstawiono wyniki badania wpływu zmodyfikowanych olejów jojoba zmieszanych w ilości 40% (*V*/*V*) z olejem napędowym na zmianę parametrów jakościowych.

Przedstawione w tabeli 4 wyniki badania wykazały pozytywny efekt obniżenia temperatur mętnienia i płynięcia zmodyfikowanych olejów jojoba w porównaniu z surowcem oleju jojoba. Jednak badanie temperatury zablokowania zimnego filtru (CFPP) pokazuje brak poprawy tej temperatury, co zdaniem autora jest spowodowane prawie 6-krotnie wyższą lepkością w temperaturze 40°C, zmodyfikowanych olejów jojoba od maksymalnej lepkości oleju napędowego zgodnie z normą EN 590 (Norma EN 590, 2025). Powoduje to, że objętość paliwa, chłodzona w normalizowanych warunkach, nie przepływa w określonym czasie przez znormalizowany układ filtracyjny, nie oddając rzeczywistej poprawy właściwości niskotemperaturowych zmodyfikowanych olejów jojoba w badaniu normowym CFPP.

Wykonane i przedstawione w tabeli 9 wyniki badania temperatury zablokowania zimnego filtru dla mieszanek zawierających 60% (*V*/*V*) oleju napędowego z 40% (*V*/*V*) oleju jojoba i zmodyfikowanych olejów jojoba pokazują pozytywny efekt poprawy o około 5 stopni temperatury CFPP dla mieszanek zawierających zmodyfikowany olej jojoba.

Tabela 8. Wpływ odparafinowania oleju jojoba OJ01 z użyciem rozpuszczalnika MIBK-MEK w próbie IIIO w zakresie oceny właściwości fizykochemicznych w utwardzonym wosku oleju jojoba

Table 8. Effect of dewaxing jojoba oil OJ01 using the MIBK-MEK solvent mixture in test IIIO on the physicochemical properties of the hardened jojoba oil wax

Właściwość	Jednostka	Olej jojoba OJ01	Utwardzony wosk oleju jojoba UOL03	Różnica mtemperatur i lepkości
Temperatura mętnienia	°C	9	18	9
Temperatura płynięcia	°C	8	12	4
Temperatura krzepnięcia	°C	7	10	3
Lepkość w temperaturze 40°C	mm^2/s	24,87	25,71	0,84
Lepkość w temperaturze 100°C	mm^2/s	6,509	6,619	0,11

Tabela 9. Porównanie właściwości oleju napędowego z mieszankami oleju jojoba z olejem napędowym

Table 9. Comparison of the properties of diesel fuel and blends of jojoba oil and diesel fuel

Lp.	Właściwości	Jednostka	Olej napędowy ON01	60% olej napędowy ON01 + 10% olej jojoba OLI	60% olej napędowy ON01 + 40% zmodyfikowany olej jojoba ZOLI	60% olej napędowy ON01 + 40% zmodyfikowany olej jojoba ZOLIII	60% olej napędowy ON01 + 40% zmodyfikowany olej jojoba ZOLV	Wymagania wg PN-EN 590 Olej D w okresie przejściowym
1	Lepkość kinematycznej w temperaturze 40°C	mm^2/s	2,790	6,743	6,731	6,738	6,740	2,00–4,500
2	Gęstość w temperaturze 15°C	kg/m^3	835,1	847,6	847,3	847,4	847,4	min. 815,0
3	Temperatura zablokowania zimnego filtru (CFPP)	°C	−17	−9	−14	−15	−13	−10

Podsumowanie

Wyniki badań oleju jojoba i uzyskanych produktów (zmodyfikowanych olejów jojoba) w procesie odparafinowania rozpuszczalnikiem MIBK-MEK dają pozytywne rezultaty związane z poprawą właściwości niskotemperaturowych uzyskanych zmodyfikowanych olejów jojoba, z wyjątkiem CFPP.

Proces odparafinowania rozpuszczalnikowego oleju jojoba przebiega prawidłowo z krótkimi czasami filtracji i pozwala na uzyskanie w badaniach zmodyfikowanych olejów jojoba, charakteryzujących się widocznym efektem obniżenia temperatury mętnienia, płynięcia i krzepnięcia. Nie zaobserwowano natomiast poprawy temperatury zablokowania zimnego filtra. Jednocześnie uzyskany wosk utwardzony charakteryzuje się wyższymi temperaturami przemian fazowych w porównaniu z wsadem, którym był olej jojoba. Przeprowadzone badania temperatury zablokowania zimnego filtru dla mieszanek zawierających olej napędowy z olejem jojoba i zmodyfikowane oleje jojoba pokazują pozytywny efekt poprawy temperatury CFPP dla mieszanek zawierających zmodyfikowany olej jojoba w porównaniu z mieszankami składającymi się z oleju napędowego i oleju jojoba.

W wyniku prowadzenia procesu z wykorzystaniem jako rozpuszczalników MIBK-MEK i MIBK uzyskano w zmodyfikowanym oleju jojoba maksymalne obniżenie temperatury mętnienia do poziomu −11°C, płynięcia do −12°C i temperatury krzepnięcia do −13°C.

Mieszanki zawierające 60% (*V*/*V*) oleju napędowego z 40% (*V*/*V*) zmodyfikowanych olejów jojoba spełniają wymagania temperatury CFPP dla oleju napędowego w okresie przejściowym, zgodnie z normą PN-EN 590.

Proces odparafinowania rozpuszczalnikowego wosku oleju jojoba umożliwia uzyskiwanie podobnych pozytywnych efektów poprawy właściwości niskotemperaturowych produktu, analogicznego do efektów obserwowanych we wcześniejszych badaniach, jakie uzyskiwano w przypadku innych surowców pochodzenia lipidowego, w szczególności estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAME) (Ptak, 2024, 2025) oraz olejów roślinnych (Ptak i in., 2024).

Wykonane oznaczenie składu kwasów tłuszczowych i alkoholi tłuszczowych oleju jojoba oraz zmodyfikowanego oleju jojoba i wosku utwardzonego wskazuje na selektywność procesu rozdzielania rozpuszczalnikowego, potwierdzoną zmianą udziału masowego poszczególnych kwasów i alkoholi będących składnikami estrów w surowcu i uzyskanych produktach.

Literatura

Al-Widyan M.I., Al-Muhtaseb M.A., 2010. Experimental investigation of jojoba as a renewable energy source. *Energy Conversion and Management*, 51: 1702–1707.

Antosz A., Ptak S., 2022. Badania możliwości powtórnego wykorzystania surowców odpadowych powstających w trakcie produkcji świec. *Nafta-Gaz*, 10: 760-775. DOI: 10.18668/NG.2022.10.07.

Bhatia V.K., Chaudhry A., Sivasankaran G.A., Bisht R.P.S., Kashyap M., 1990. Modification of Jojoba Oil for Lubricant Formulations. *Journal of the American Oil Chemists Society (JAOCS)*, 67: 1.

Bouaid A., Tardon N., Hurtado O., Marchetti J.M., 2023. Enzymatic production of sustainable jojoba fatty alcohols. A Biorefinery approach. *Food and Bioproducts Processing*, 139: 89–97. DOI: 10.1016/j.fbp.2023.03.006.

Dréau Y.L., Dupuy N., Gaydou V., Joachim J., Kister J., 2009. Study of jojoba oil aging by FTIR. *Analytica Chimica Acta*, 642: 163–170.

El Gendy S.N., Elmotayam A.K., Samir R., Ezzat M.I., El Sayed A.M., 2023. A review of the desert gold jojoba (Simmondsia chinensis) whole plant, oil, and meal: Phytochemical composition, medicinal uses, and detoxification. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 100: 591–614. DOI: 10.1002/aocs.12712.

Gallezot P., 2012. Conversion of biomass to selected chemical products. *Chemical Society Reviews*, 41: 1538–1558. DOI: 10.1039/c1cs15147a.

Heba A.G., Autumn R., Samirah H.H., Haidy A.G., Ilham T., Ahmed E.A., Osama A.K., Ashour M.L., 2021. Jojoba Oil: An Updated Comprehensive Review on Chemistry, Pharmaceutical Uses, and Toxicity. *Polymers*, 13: 1711. DOI: 10.3390/polym13111711.

Huzayyin A., 2004. Experimental evaluation of diesel engine performance and emission using blends of jojoba oil and diesel fuel. *Energy Convers Manage*, 45: 2093–2112.

Kirk-Othmer R.E., 2007. Encyclopedia of Chemical Technology. *John Wiley & Sons, Inc., New York*.

Martínez P.A., García-Martínez N., del Mar Durán-del-Amor M., Quesada-Medina J., 2018. Advances on kinetics and thermodynamics of non-catalytic supercritical methanol transesterification of some vegetable oils to biodiesel. *Energy Conversion and Management*, 173: 187–196. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.07.069.

Martínez P.A., García-Martínez N., Quesada-Medina J, Román-Figueroa C., Paneque M., 2017. Synthesis of value added fatty alcohols and FAMEs by non-catalytic supercritical methanol transesterification of jojoba (Simmondsia chinensis) Wax. *Energy Conversion and Management*, 154: 430–439. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.11.028.

Meselu E.A., Thevabakthi S., Muthu A.J., 2022. The Technology of Green Chemistry and Its Function in Redox Response and: Environmentally Friendly Technology for Sustainable Development: Assessment of Recent Findings. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 12: 131–144. DOI: 10.4236/aces.2022.123010.

Metzger O.J., 2009. Fats and oils as renewable feedstock for chemistry. *European Journal of Lipid Science and Technology,* 111: 865–876.

Mieczkowski P., Budziński B., 2018. Wpływ wosku polietylenowego na wybrane właściwości asfaltów i betonów asfaltowych. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 17(4): 29–37. DOI: 10.22630/ASPA.2018.17.4.38.

Norma EN 590:2025. Automotive fuels. Diesel. Requirements and test methods.

Palla C., Hegel P., Pereda S., Bottin S., 2014. Extraction of Jojoba oil with liquid CO_2 + propane solvent mixtures. *Journal of Supercritical Fluids*, 91: 37–45.

Patent US4749517. Ethoxylated jojoba oil. Alcolac INC, z 7.06.1988.

Perry A., Tel-Zur N., Dag A., 2021. Vegetative and Reproductive Response to Fruit Load in Two Jojoba (Simmondsia chinensis) Cultivars. *Agronomy*, 11: 889. DOI: 10.3390/agronomy11050889.

Ptak S., 2024. Wpływ procesu odparafinowania rozpuszczalnikowego na właściwości niskotemperaturowe estrów metylowych kwasów tłuszczowych. *Rynek Energii*, 6(175): 77–87.
Ptak S., 2025. Badania wpływu procesu rozpuszczalnikowego na zmianę właściwości niskotemperaturowych estrów metylowych kwasów tłuszczowych. *Nafta-Gaz*, 8: 538–550. DOI: 10.18668/NG.2025.08.06.
Ptak S., Krasodomski W., Antosz A., Żółty M., 2024. Improvement of the low-temperature properties of vegetable oils. *Rynek Energii*, 1(170): 92–100.
Ramakrishnan C., Devan P.K., Karthikeyanc R., 2017. Experimental Study on the Performance and Emission Characteristics of Jojoba Oil Fueled DICI Engine. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(1): 248–258. DOI 10.1002/ep.12484.
Sánchez M., Avhad M.R., Marchetti J.M., Martínez M., Aracil J., 2016. Jojoba oil: A state of the art review and future prospects. *Energy Conversion and Management*, 129: 293–304.
Selim M.Y.E., Ghannam M.T., Abdo B.N., Attai Y.A., Radwan M.S., 2022. Raw Jojoba Oil as a Sustainable Fuel to Diesel Engines and Comparison with Diesel Fuel. *Energies*, 15: 5770. DOI: 10.3390/en15165770.
Shehata M.S., Razek A.S.M., 2011. Experimental investigation of diesel engine performance and emission characteristics using Jojoba/diesel blend and sunflower oil. *Fuel*, 90: 86–97.
Turky G.M., El-Adly R.A., 2017. Study of phase separation and anomalous molecular behavior of Jojoba oil using dielectric spectroscopy. *Journal of Molecular Liquids*, 242: 1–7.
Yang L., Takase M., Zhang M., Zhao T., Wu X., 2014. Potential non-edible oil feedstock for biodiesel production in Africa: A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38: 461–477.



Dr inż. Stefan PTAK
Adiunkt; kierownik Zakładu Olejów,
Środków Smarowych i Asfaltów
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A, 31-503 Kraków
E-mail: *stefan.ptak@inig.pl*

OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU ZRÓWNOWAŻONYCH TECHNOLOGII CHEMICZNYCH

- Opracowywanie, doskonalanie i wdrażanie innowacyjnych technologii:
  - wytwarzania benzyn silnikowych, paliw lotniczych, olejów napędowych i opałowych, biopaliw klasycznych i zaawansowanych, paliw syntetycznych, paliw stałych (odpadowych, RDF, biomasowych itp.) i gazowych oraz komponentów paliw;
  - otrzymywania wodoru z surowców kopalnych, odnawialnych i odpadowych;
  - wytwarzania materiałów (katalizatory, sorbenty, modyfikatory) dedykowanych dla zrównoważonych procesów i technologii;
  - zagospodarowania produktów ubocznych/pozostałościowych powstających w procesach wytwarzania paliw ciekłych, stałych i gazowych.
- Obszar naszego działania obejmuje również:
  - ocenę technologii pod kątem spełnienia kryteriów zrównoważonego rozwoju w oparciu o analizę cyklu życia produktów (LCA);
  - opracowywanie wodorowych procesów katalitycznych, ocenę testową i procesową katalizatorów stosowanych w procesach hydrokonwersji;
  - nadzór technologiczny nad opracowanymi i/lub wdrożonymi technologiami;
  - badania skażenia mikrobiologicznego paliw w systemie produkcji oraz dystrybucji paliw i biopaliw ciekłych.



Kierownik: dr hab. Grażyna Żak, prof. INiG – PIB Adres: ul. Łukasiewicza 1, 31-429 Kraków
Telefon: 12 617 75 90 Faks: 12 617 75 22 E-mail: grazyna.zak@inig.pl

INSTYTUT NAFTY I GAZU
– Państwowy Instytut Badawczy