

WIKTORIA KAMIŃSKA, GRAŻYNA NEUNERT, MACIEJ JARZĘBSKI

## ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNYCH I CHARAKTERYSTYKA SPEKTROFOTOMETRYCZNA WYBRANYCH OLEJÓW ROŚLINNYCH

### Streszczenie

**Wprowadzenie.** Oleje roślinne są znanym źródłem jedno- i wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (MUFA i PUFA). Rosnący popyt na oleje roślinne, bogate w nienasycone kwasy tłuszczowe, zwiększa wykorzystanie do ich pozyskiwania coraz to nowych roślin oleistych. W niniejszej pracy zbadano właściwości fizykochemiczne (gęstość, pH, współczynnik załamania światła, lepkość dynamiczna, kąt zwilżania, napięcie powierzchniowe, barwę) oraz przeprowadzono analizę spektroskopową i określono właściwości przeciwutleniające. Do wyznaczenia wskazanych parametrów zastosowano proste i łatwo dostępne metody analityczne, które dostarczają kluczowych informacji o właściwościach olejów oraz służą jako wskaźniki do oceny ich jakości. Do badań wybrano sześć komercyjnie dostępnych olejów: z nasion wiesiołka dwuletniego (*Oenothera paradoxa*), z nasion ostropestu plamistego (*Silybum marianum*), z pestek dyni (*Cucurbita oleo*), z nasion lnu (lniany) (*Linum usitaissimum L.*), z nasion lnianki ozimej (rydzowy) (*Camelina silvestris*) oraz z nasion czarnuszki siewnej (*Nigella sativa*).

**Wyniki i wnioski.** Przeprowadzone badania dostarczyły istotnych spostrzeżeń dotyczących zależności między wyznaczonymi parametrami olejów roślinnych. Dodatnia korelacja między gęstością a współczynnikiem załamania światła jednocześnie podkreśla wpływ składu kwasów tłuszczowych na te właściwości. Zaobserwowana różnorodność barw przebadanych olejków podkreśla unikalny skład barwników charakterystyczny dla każdego oleju. Stwierdzono, że pH olejów roślinnych stanowi kluczowy wskaźnik, odzwierciedlający poziom kwasowości w oleju. Korelacja między kątem zwilżania a napięciem powierzchniowym ujawniła skomplikowane interakcje powierzchniowe.

**Słowa kluczowe:** właściwości fizykochemiczne, właściwości przeciwutleniające, oleje roślinne, nienasycone kwasy tłuszczowe

### Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się nowe trendy w podejściu do żywienia człowieka i zmianę nawyków żywieniowych na prozdrowotne. Zmiany w diecie po-

---

*Mgr inż. W. Kamińska ORCID: 0009-0002-5935-6135; dr hab. inż. G. Neunert ORCID: 0000-0001-8398-7143; dr hab. inż. M. Jarzębski ORCID: 0000-0001-9832-9274; Katedra Fizyki i Biofizyki, Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 38/42, 60-637 Poznań. Kontakt e-mail: wiktoria.kaminska@up.poznan.pl*

dyktowane zasadami zdrowego żywienia spowodowały ograniczenie spożywania nasyconych kwasów tłuszczowych (*ang.* Saturated Fatty Acids, SFA) takich jak np. kwas palmitynowy (C16:0) i dążenie do zwiększenia w diecie zawartości nienasyconych kwasów tłuszczowych jedno- (*ang.* Mono Unsaturated Fatty Acid, MUFA) i wielonienasyconych (*ang.* Poly Unsaturated Fatty Acid, PUFA) [3]. Co prawda ludzki organizm jest w stanie wytworzyć większość kwasów tłuszczowych, jakich potrzebuje, jednak wyjątkiem jest kwas linolowy (C18:2 n-6) i  $\alpha$ -linolenowy (C18:3 n-3), które są prekursorami pozostałych kwasów tłuszczowych, a których, z powodu braku niezbędnym enzymów, organizmy ssaków nie są w stanie samodzielnie syntetyzować. Powinny one zatem zostać dostarczone wraz z pożywieniem [25] i dlatego często określa się je mianem niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych - NNKT (*ang.* Essential Fatty Acids, EFA). Przy komponowaniu zbilansowanej diety należy jednak pamiętać, aby stosunek kwasów n-3 do n-6 mieścił się w zakresie od 1:5 do 1:10, gdyż zbyt duża ilość n-6 negatywnie wpływa na funkcjonowanie organizmu i może przyczynić się do powstawania wielu chorób [9, 10, 20]. Oleje roślinne stanowią mieszaninę różnych kwasów tłuszczowych, karotenoidów, fosfolipidów i naturalnych przeciwutleniaczy [24]. Oleje i tłuszcze roślinne odgrywają więc istotną rolę w diecie, przyczyniając się do właściwego funkcjonowania organizmu, dostarczając energii, NNKT, witaminy (A, D, E i K) oraz inne związki bioaktywne [10, 20]. Odgrywają szczególną rolę w funkcjach fizjologicznych (wzroście i rozwoju) organizmu, gdyż zawierając strukturalne składniki błon komórkowych, pełnią funkcję nośników związków rozpuszczalnych w tłuszczach. Oprócz tego, że tłuszcz i jego składniki lipidowe odgrywają ważną rolę w odżywianiu organizmu człowieka, poprawiają smak i konsystencję żywności oraz charakteryzują wiele produktów spożywczych [2, 4].

Rosnące zapotrzebowanie na oleje roślinne spowodowało wzrost zainteresowania alternatywnymi roślinami, których oleje charakteryzują się niską zawartością SFA oraz wysoką zawartością MUFA i PUFA. Szczególnie oleje tłoczone na zimno w temperaturze nieprzekraczającej 40 °C są bogate w kwasy tłuszczowe a także w składniki bioaktywne. Niska temperatura tłoczenia zapobiega bowiem utracie i degradacji tych substancji [8, 9]. Dostępne na rynku oleje roślinne różnią się zawartością nienasyconych kwasów tłuszczowych, a ich właściwości fizyczne oraz fizykochemiczne w znacznym stopniu zależą od profilu i proporcji poszczególnych kwasów.

W celu oceny właściwości olejów roślinnych, ich jakości i przydatności do określonych zastosowań w wielu gałęziach przemysłu, w tym w przemyśle spożywczym, wykorzystuje się połączenie technik chemicznych, fizycznych i instrumentalnych. Wyznaczane parametry, takie jak: skład kwasów tłuszczowych, gęstość, barwa, współczynnik załamania światła (RI), liczba nadtlenkowa (PV), liczba jodowa (IV), pH, wartość zmydlania (SV), zawartość naturalny przeciwutleniaczy, pozwalają na kompleksowe określenie właściwości olejów [5]. Powszechnie stosowane do tego metody

analityczne często wymagają jednak znacznego nakładu czasu i odpowiednich procedur chemicznych czy specjalistycznej aparatury pomiarowej. Wykorzystanie prostych i szybkich metod analizy podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych olejów wynika z potrzeby zoptymalizowania wydajności, opłacalności i łatwości ich użycia, zapewniając jednocześnie niezbędne narzędzia w kontroli jakości i zastosowaniach monitorujących.

W niniejszej pracy zbadano właściwości fizykochemiczne tłoczonych na zimno dostępnych komercyjnie olejów z: nasion wiesiołka dwuletniego (*Oenothera paradoxa*), nasion ostropestu plamistego (*Silybum marianum*), pestek dyni (*Cucurbita oleo*), nasion lnu (lniany) (*Linum usitaissimum* L.), nasion lnianki ozimej (rydzowy) (*Camelina silvestris*) oraz nasion czarnuszki siewnej (*Nigella sativa*). Wybrane oleje charakteryzują się wysoką zawartością pożądaných nienasyconých kwasów tłuszczowych, a także wykazują unikalne właściwości odżywcze wynikające z obecności różnych związków bioaktywnych.

Celem prezentowanej pracy było wykorzystanie szybkich i prostych metod analitycznych, takich jak np. pomiar gęstości, współczynnika załamania światła, barwy, które zapewnią ocenę kluczowych parametrów dla jakości i stabilności olejów roślinnych. Oceniono również możliwość zastosowania metod spektroskopowych do identyfikacji różnych olejów jadalnych. Przeprowadzone badania uzupełnią dotychczasową wiedzę o właściwościach fizykochemicznych olejów oraz będą stanowić podstawę do dalszych eksperymentów z wykorzystaniem bardziej zaawansowanych technik.

## **Materialy i metody badań**

### *Material badany*

Material badany stanowiło sześć olejów z: nasion wiesiołka dwuletniego (*Oenothera paradoxa*) (OW), nasion ostropestu plamistego (*Silybum marianum*) (OO), pestek dyni (*Cucurbita oleo*) (OD), nasion lnu (lniany) (*Linum usitaissimum* L.) (OL), nasion lnianki ozimej (rydzowy) (*Camelina silvestris*) (OR) oraz nasion czarnuszki siewnej (*Nigella sativa*) (OCZ). Oleje pochodziły z oferty handlowej firmy SemCo (SemCo Sp. z o.o. Sp.k., Szamotuły, Polska). Według deklaracji producenta oleje były tłoczone na zimno w temperaturze nieprzekraczającej 38 °C i nierafinowane oraz bogate w nienasycone kwasy tłuszczowe. W tabeli 1 przedstawiono skład nasyconých kwasów tłuszczowych (SFA), jednonienasyconých kwasów tłuszczowych (MUFA) oraz wielonienasyconých kwasów tłuszczowych (PUFA) badanych olejów. Dane te pozyskano z informacji dostępnych na stronie internetowej producenta oraz danych umieszczonych na etykietach. Dodatkowo producent podaje zawartość dominujących kwasów w poszczególnych olejach. W oleju z nasion wiesiołka dominuje kwas linolowy (C18:2) oraz kwas  $\gamma$ -linolowy (C18:3), których zawartości odpowiednio wynoszą 70 %

i 10 % oraz inne kwasy tłuszczowe, takie jak: palmitynowy (C16:0), oleinowy (C18:1) i stearynowy (C18:0). Olej z nasion ostropestu w swoim składzie zawiera 60 % kwasu linolowego (C18:2), 30 % kwasu oleinowego (C18:1) oraz 9 % kwasu palmitynowego (C16:0). W przypadku oleju z pestek dyni dominują cztery kwasy: oleinowy (C18:1) 43,8 %, linolowy (C18:2) 33,1 %, palmitynowy (C16:0) 13,4 % i stearynowy (C18:0) 7,8 %. Olej lniany ma charakterystyczny profil kwasów tłuszczowych, w skład którego wchodzi kwas  $\gamma$ -linolenowy (C18:3) (52 %), linolowy (C18:2) (17 %), oleinowy (C18:1) (20 %), palmitynowy (C16:0) (6 %) i stearynowy (C18:0) (4 %). Olej z lnianki bogaty jest w kwas:  $\gamma$ -linolenowy (C18:3) (36 %), linolowy (C18:2) (17 %), kwas oleinowy (C18:1) (14 %) oraz palmitynowy (C16:0) (5 %). W oleju z czarnuszki dominują natomiast kwasy: linolowy (C18:2) (55 %), oleinowy (C18:1) (24 %) oraz palmitynowy (C16:0) (13 %).

Tabela 1. Skład nasyconych i nienasyconych kwasów tłuszczowych badanych olejów: z nasion wiesiołka (OW), z nasion ostropestu (OO), z pestek dyni (OD), lniany (OL), rydzowy (OR) oraz z nasion czarnuszki (OCZ) (według danych udostępnionych przez producenta)

Table 1. The composition of saturated and unsaturated fatty acids of the oils tested: evening primrose seed (OW), milk thistle seed oil (OO), pumpkin seed oil (OD), linseed oil (OL), camelina oil (OR) and black cumin seed oil (OCZ) (according to data provided by the manufacturer)

Skład kwasów tłuszczowych w 100 ml oleju / The fatty acid content of oil [g]	Kwasy tłuszczowe nasycone / Saturated fatty acids (SFA)	Kwasy tłuszczowe jednonienasycone / Monounsaturated fatty acids (MUFA)	Kwasy tłuszczowe wielonienasycone / Polyunsaturated fatty acids (PUFA)
OW	8	5	87
OO	20	30	50
OD	14	49	37
OL	10	20	70
OR	9	34	48
OCZ	14	26	60

#### Ocena właściwości fizykochemicznych

Do pomiaru gęstości wykorzystano zestaw areometrów klasy A ("S.P. Areometr" Warszawa). Pomiar pH wykonano za pomocą przenośnego pH-metru S2-Food-Kit Seven2Go (Mettler Toledo, USA) wyposażonego w elektrodę InLab Solids Go-ISM. Pomiar gęstości oraz pH wykonano jednokrotnie. Za pomocą refraktometru Abbego AR4 (KRÜSS, Niemcy) wykonano pomiar współczynnika załamania światła próbek olejów. Przy użyciu goniometru firmy Ossila przeprowadzono badania zwilżalności badanych próbek na szklanym podłożu metodą siedzącej kropli. Układ pomiarowy wyposażony był w źródło światła monochromatycznego, kamerę o wysokiej rozdzielczości i system analizy Ossila Contact Angel. Wykonano dziesięć prób osadzenia kro-

pli na podłożu za pomocą mikrostrzykawki Hamiltona o pojemności 25  $\mu\text{l}$  przy zachowaniu jednakowej wysokości igły nad badaną powierzchnią. Kąt zwilżania wyznaczono poprzez analizę kształtu kropli przy wykorzystaniu dedykowanego oprogramowania. Pomiar napięcia powierzchniowego badanych olejów, wykonany w dziesięciu powtórzeniach, przeprowadzono za pomocą tego samego zestawu pomiarowego wykorzystując metodę wiszącej kropli. Pomiar barwy został wykonany za pomocą przenośnego kolorymetru PCE – XXMS 30 (PCE Instruments, Niemcy), który jako źródło światła wykorzystuje diodę LED o długości fali od 400 do 700 nm. Badane oleje ( $3\text{ cm}^3$ ) umieszczono w kuwecie z białym tłem i zmierzono barwę w skali  $L^*a^*b^*$  (system CIEL $^*a^*b^*$  1976). Badanie właściwości reologicznych olejów przeprowadzono za pomocą lepkościomierza rotacyjnego ViscoQC 300 (Anton Paar GmbH, Graz, Austria) z wykorzystaniem dwóch metod: speed scan i stop at time. Podczas pomiaru metodą speed scan, prędkość obrotowa wrzeciona zmieniała się od 1 do 50 obr/min i z każdą zmianą prędkości rejestrowano pomiar. W przypadku metody stop at time ustawiono stałą wartość prędkości obrotowej 30 obr/min oraz czas pomiaru, który wynosił 30 minut. Do prób wykorzystano dwuszczelinowy kubek pomiarowy C-DG26 i wrzeciono CC18. Testy wykonywano w temperaturze 23,5 °C z dodatkową regulacją zapewnioną przy użyciu łaźni wodnej Julabo Pura (Szwajcaria).

#### *Analiza spektrofotometryczna*

Wykorzystując spektrometr Spectrum Two FT-IR (PerkinElmer, Waltham, MA, USA) wyposażony w moduł Universal ATR z diamentowym kryształem, zarejestrowano widma FTIR badanych próbek w trzech powtórzeniach w zakresie spektralnym  $\lambda$  od 500 do 4000  $\text{cm}^{-1}$ . Pomiaru widm absorpcji w zakresie UV-Vis dokonano na spektrofotometrze Shimadzu UV-1201. Do pomiaru badane oleje rozcieńczono 20-krotnie w n-heksanie. Pomiaru absorpcji dokonano w zakresie długości fal  $\lambda = 200 \div 700\text{ nm}$  w kuwecie kwarcowej o wymiarach wewnętrznych 10x10 mm w temperaturze pokojowej. Pomiaru widm całkowitej fluorescencji dokonano na spektrofluorymetrze Shimadzu RF 5000PC w zakresie wzbudzenia 250  $\div$  500 nm i emisji fluorescencji 260  $\div$  700 nm. Pomiaru wykonano dla olejów nierozcieńczonych w geometrii kąta prostego. Wyjątek stanowił olej z pestek dyni, który ze względu na brak przezroczystości do badań spektrofotometrycznych rozcieńczono 20-krotnie w n-heksanie. Pomiaru całkowitej fluorescencji wykonano w kuwecie kwarcowej o wymiarach wewnętrznych 3x3 mm w temperaturze pokojowej.

#### *Oznaczenie właściwości przeciwutleniających metodą DPPH*

50  $\mu\text{l}$  każdego z badanych olejów rozcieńczono w 1950  $\mu\text{l}$  octanu etylu, a następnie dodano 500  $\mu\text{l}$  rodnika DPPH $^{\bullet}$  (0,5 mM). Próbę kontrolną stanowiła mieszanina 2000  $\mu\text{l}$  octanu etylu i 500  $\mu\text{l}$  rodnika. Po 30 min inkubacji bez dostępu światła zmie-

rzono absorbancję wszystkich próbek przy długości fali 517 nm względem próby kontrolnej. Pomiaru dokonano na spektrofotometrze absorpcyjnym Shimadzu UV-1201. Korzystając ze wzoru (1) obliczono % inhibicji (aktywność antyrodnikową) badanych olejów po 30 min od dodania do próby rodnika DPPH<sup>\*</sup>:

$$\% \text{ inhibicji} = [(A_0 - A)/A_0] \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:  $A_0$  – absorbancja roztworu rodnika DPPH<sup>\*</sup> (próby kontrolnej),  $A$  – absorbancja próbki badanej oddziałującej z DPPH<sup>\*</sup>. Jako odnośnik przygotowano roztwór  $\alpha$ -tokoferolu w octanie etylu o stężeniu 16  $\mu\text{M}$ .

#### *Analiza statystyczna*

Przeprowadzone oznaczenia zostały wykonane w 3 powtórzeniach (chyba że w opisie metody podano inaczej). Wartości analizowanych zmiennych przedstawiono za pomocą średniej  $\pm$  odchylenia standardowego. Dla pomiarów wykonanych jednokrotnie jako błąd przyjęto dokładność przyrządu. Uzyskane wyniki zostały opracowane statystycznie przy użyciu programu OriginPro Software for Windows, Version 2023b (OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA). Istotność różnic między grupami określano w oparciu o jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA oraz test post-hoc Tukeya ( $p \leq 0,05$ ).

### **Wyniki i dyskusja**

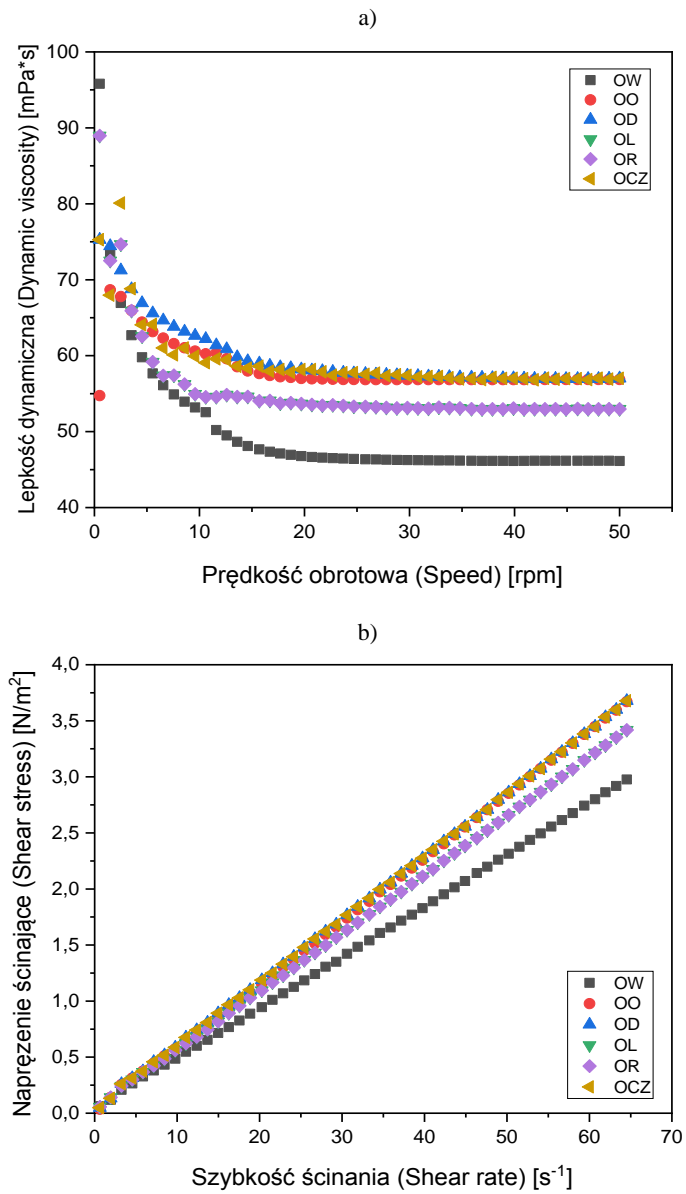
#### *Właściwości fizykochemiczne*

Wybrane oleje poddano badaniom właściwości fizykochemicznych takich jak: gęstość, pH, współczynnika załamania światła, lepkość dynamiczna oraz kąt zwilżania i napięcie powierzchniowe. Wyznaczone wartości parametrów fizykochemicznych przebadanych olejów przedstawiono w tabeli 2. Zmierzone wartości pH wahały się od 5,63 do 7,52, natomiast wartości współczynnika załamania światła wynosiły od 1,4715 do 1,4760. Dotychczasowe doniesienia literaturowe wskazują, że wartości pH dla olejów oscylują wokół 7. Na kwasowość lub zasadowość olejów roślinnych wpływają takie czynniki jak: metoda ekstrakcji i rafinacji, warunki przechowywania czy zachodzące reakcje utleniania. Obecność wolnych kwasów tłuszczowych warunkuje pH olejów: im niższa jest ich zawartość tym niższa kwasowość i w konsekwencji wartość pH bliższa obojętnej. Spośród wszystkich przebadanych olejów najniższą wartość pH zaobserwowano dla oleju z czarnuszki, co prowadzi do wniosku, że olej ten charakteryzował się największą ilością wolnych kwasów tłuszczowych w swoim składzie [21]. Wyznaczone gęstości dla większości przebadanych olejów przyjmowały zbliżone wartości, co sugeruje, że mają one podobną średnią masę molekularną oraz budowę [17]. Skrajne wartości zaobserwowano dla oleju z nasion ostropestu i oleju z nasion wiesioł-

ka, odpowiednio 0,918 i 0,925 g/cm<sup>3</sup>. Zauważono również, że zmiana wartości współczynnika załamania światła skorelowana była ze zmianą gęstości badanych próbek (ze wzrostem gęstości wzrastała wartość współczynnika załamania światła). Olej z nasion ostropestu charakteryzował się największym udziałem SFA w stosunku do nienasyconych kwasów tłuszczowych (tabela 1). Najmniejszy udział SFA był natomiast w oleju z nasion wiesiołka, który to charakteryzował się największą gęstością. Zarejestrowane wartości potwierdzają zatem wcześniejsze doniesienia, że współczynnik załamania światła jest odwrotnie proporcjonalny do stopnia nasycenia kwasów tłuszczowych [5].

Spośród przebadanych olejów największe i zbliżone do siebie wartości lepkości zaobserwowano dla oleju z pestek dyni (57,36 mPa·s), oleju z nasion czarnuszki (57,21 mPa·s) oraz oleju z nasion ostropestu (57,14 mPa·s). Olej z nasion wiesiołka charakteryzował się natomiast najniższą wartością lepkości (46,81 mPa·s). Z danych literaturowych wynika, że właściwości reologiczne olejów zależą od składu kwasów tłuszczowych w analizowanych próbkach [17]. Wcześniejsze badania wykazały, że wraz ze wzrostem zawartości kwasu oleinowego (C18:1) wzrasta lepkość oleju natomiast wraz ze wzrostem kwasu linolowego (C18:2) lepkość maleje [21]. Spowodowane jest to obecnością podwójnego wiązania o konfiguracji *cis*, które powoduje załamanie w łańcuchu prostym. Podwójne wiązanie nie pozwala cząsteczkom kwasów tłuszczowych na ściśle ułożenie, co wpływa na organizację w stanie krystalicznym. Kwasy tłuszczowe o większej liczbie wiązań podwójnych nie mają sztywnej i stałej struktury, za to są mniej upakowane i płynne [15]. Tak jak wspomniano wcześniej, badane oleje były bogate w kwas oleinowy (C18:1), kwas linolowy (C18:2) oraz kwas  $\alpha$ -linolenowy (C18:3). Wśród wszystkich przebadanych próbek olej z pestek dyni oraz olej z nasion czarnuszki i ostropestu zawierały najwięcej kwasu oleinowego. Kwas linolowy natomiast dominował w oleju z nasion wiesiołka co przełożyło się na najniższą zaobserwowaną wartość lepkości. Przeprowadzone badania reologiczne potwierdzają wykazaną wcześniej zależność lepkości od składu i rodzaju kwasów tłuszczowych [21]. Zarejestrowane liniowe zależności między naprężeniem ścinającym a szybkością ścinania były zgodne z prawem lepkości Newtona ( $\sigma = \eta \cdot \dot{\gamma}$ ), co wskazuje, że przebadane oleje są cieczami newtonowskimi (rycina 1a). Analogiczne wnioski wyciągnęli wcześniej inni badacze, którzy zaobserwowali, że oleje są cieczami newtonowskimi o wysokiej lepkości ze względu na zawartość związków charakteryzujących się długołańcuchową strukturą [1, 19].

Kąt zwilżania był uzależniony od napięcia powierzchniowego badanej cieczy, tj. im wyższe napięcie powierzchniowe, tym większy kąt zwilżania cieczy dla danej powierzchni. Najwyższe wartości napięcia powierzchniowego i kąta zwilżania zarejestrowano dla oleju z nasion wiesiołka oraz ostropestu, natomiast najmniejsze – dla oleju z nasion lnianki (rydzowego). Na napięcie powierzchniowe wpływają siły



Rycina 1. a) Zależność lepkości dynamicznej od prędkości obrotowej, b) Zależność naprężeń ścinających od szybkości ścinającej zarejestrowane w badanych olejów

Figure 1. a) The dependence of dynamic viscosity on rotational speed, b) The dependence of shear stress on shear rate recorded for the oils tested



międzymolekularne, które zależą od budowy i przestrzennej geometrii cząsteczek kwasów tłuszczowych wchodzących w skład badanej substancji. Oddziaływania te, generowane dipolami elektrycznymi, wynikają z rozkładu elektronów w cząsteczkach. Zauważono na przykład, że dla cząsteczek kwasu oleinowego (C18:1) były one silniejsze niż w cząsteczkach kwasu linolowego (C18:2), których molekuly były nieco krótsze od kwasu oleinowego [13]. Przestrzenna struktura molekularna kwasów tłuszczowych wpływa również na ich polarność i tym samym np. kwas oleinowy oraz linolowy mają słabe właściwości polarne [22].

Barwa stanowi kolejną ważną cechą określającą produkty spożywcze. Zawartość naturalnych barwników w tłuszczach jest istotnym parametrem jakościowym determinującym ich barwę. Wyznaczone współrzędne CIEL\*a\*b\* ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) badanych olejów przedstawiono w tabeli 2. Analizowane oleje różniły się między sobą wyznaczonymi parametrami. Zarejestrowane wartości  $a^*$  i  $b^*$  dla przebadanych olejów sugerowały obecność żółtopomarańczowych i zielonych barwników, takich jak karotenoidy i chlorofile. Oleje z nasion ostropestu oraz nasion wiesiołka wykazały wyższe wartości  $L^*$  w porównaniu z pozostałymi przebadanymi olejami. Najwyższą wartość parametru  $L^*$  uzyskano dla oleju z nasion ostropestu, co wskazywało na to, że olej ten był najjaśniejszy spośród wszystkich analizowanych. Najniższą wartość  $L^*$  zaobserwowano dla oleju z pestek dyni. Barwa tego oleju była ciemnozielona i uzyskane wyniki sugerowały obecność zielonych barwników, takich jak chlorofile. Olej z nasion czarnuszki był znacznie ciemniejszy od reszty analizowanych olejów, ale jaśniejszy od oleju z pestek dyni, o czym świadczyły zarejestrowane wartości  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , wskazując na obecność zarówno chlorofili, jak i karotenoidów.

Tabela 2. Zarejestrowane właściwości fizykochemiczne badanych olejów: z nasion wiesiołka (OW), z nasion ostropestu (OO), z pestek dyni (OD), lniany (OL), rydzowy (OR) oraz z nasion czarnuszki (OCZ)

Table 2. Recorded physicochemical properties of the oils tested: evening primrose seed (OW), milk thistle seed (OO), pumpkin seed (OD), linseed (OL), camelina (OR) and black cumin (OCZ)

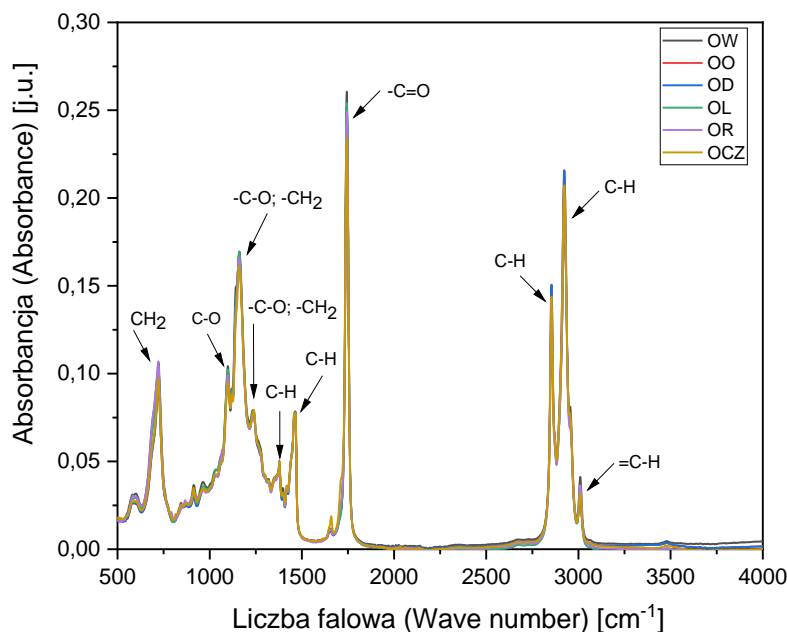
Próbka / Sample	Gęstość w 20°C / Density at 20°C [g/cm <sup>3</sup> ]	pH [-]	Współczynnik załamania światła / Refracting index [-]	Lepkość Dynamiczna/ Dynamic viscosity [mPa·s]	Kąt zwilżania / Contact angle [°]	Napięcie powierzchniowe / Surface tension [N/m]	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
OW	0,925 ± 0,001	7,52 ± ,01	1,4760 <sup>a</sup> ± 0,0005	46,8 <sup>d</sup> ± 0,3	38,2 <sup>a</sup> ± 1,7	40,1 <sup>a</sup> ± 3 ,2	36,2 <sup>b</sup> ± 0,1	-14,8 <sup>d</sup> ± 0,4	2,6 <sup>bc</sup> ± 0,1
OO	0,918 ± 0,001	6,34 ± 0,01	1,4715 <sup>a</sup> ± 0,0003	57,1 <sup>a</sup> ± 0,7	40,8 <sup>b</sup> ± 1,9	39,6 <sup>a</sup> ± 2,4	40,3 <sup>a</sup> ± 0,3	-12,1 <sup>c</sup> ± 0,8	0,65 <sup>d</sup> ± 0,02
OD	0,921 ± 0,001	6,11 ± 0,01	1,4750 <sup>a</sup> ± 0,0004	57,4 <sup>a</sup> ± 0,5	32,0 <sup>de</sup> ± 0,9	36,0 <sup>c</sup> ± 2,6	12,3 <sup>f</sup> ± 0,2	0,33 <sup>b</sup> ± 0,02	23,4 <sup>a</sup> ± 0,5
OL	0,923 ± 0,001	7,51 ± 0,01	1,4755 <sup>a</sup> ± 0,0001	50,6 <sup>b</sup> ± 0,3	34,2 <sup>cd</sup> ± 1,2	36,3 <sup>c</sup> ± 1,8	31,4 <sup>d</sup> ± 0,1	-14,7 <sup>d</sup> ± 0,6	2,2 <sup>c</sup> ± 0,1
OR	0,921 ± 0,001	6,40 ± 0,01	1,4750 <sup>a</sup> ± 0,0003	48,8 <sup>c</sup> ± 0,5	30,6 <sup>e</sup> ± 0,7	33,7 <sup>d</sup> ± 1,4	32,7 <sup>c</sup> ± 0,1	-15,1 <sup>d</sup> ± 0,6	2,4 <sup>c</sup> ± 0,1
OCZ	0,920 ± 0,001	5,63 ± 0,01	1,4725 <sup>a</sup> ± 0,0001	57,2 <sup>a</sup> ± 0,7	35,4 <sup>c</sup> ± 0,7	38,0 <sup>b</sup> ± 1,9	17,4 <sup>e</sup> ± 0,3	16,3 <sup>a</sup> ± 0,3	2,8 <sup>b</sup> ± 0,1

Objaśnienia / Explanatory notes:

Różnice pomiędzy wynikami dla poszczególnych olejów oznaczone tą samą literą w tej samej kolumnie są nieistotne statystycznie ( $p \leq 0,05$ ) / Differences between results for respective oils marked with the same letter in the same column are statistically insignificant ( $p \leq 0.05$ )

*Analiza Spektroskopowa*

Zarejestrowane widma FTIR badanych olejów przedstawiono na rycinie 2.



Rycina 2. Zarejestrowane widma FTIR przebadanych olejów

Figure 2. Recorded FTIR spectra of the investigated oils

Jednym z najbardziej dominujących pasm był sygnał między 2800 a 3000  $\text{cm}^{-1}$ , który reprezentował drgania rozciągające wiązań C-H łańcuchów alifatycznych. Zarejestrowane sygnały w tym obszarze odpowiadają wiązaniom C-H nienasyconych wiązań węgiel-węgiel, co świadczy o nienasyconych kwasach tłuszczowych obecnych w próbkach. Podobny sygnał, silniejszy i przesunięty w kierunku mniejszej liczby falowej 1750  $\text{cm}^{-1}$  pochodzi również od wspomnianych kwasów, a dokładniej od wiązań karbonylu i reprezentuje wiązanie C=O. Przy niższych liczbach falowych: 1460  $\text{cm}^{-1}$ , 1170  $\text{cm}^{-1}$ , 720  $\text{cm}^{-1}$  obserwowano słabsze sygnały drgania deformacyjnego O-H oraz drgania rozciągające C-O. Niska intensywność sygnałów powyżej 3000  $\text{cm}^{-1}$  jest zazwyczaj wynikiem obecności grupy hydroksylowej, niskiej obfitości alkoholi i rzadko spotykanych wiązań wodorowych w olejach [12, 27]. W tabeli 3 przedstawiono charakterystyczne rozkłady pasm absorpcji w zakresie średniej podczerwieni dla badanych olejów roślinnych. Wszystkie wspomniane powyżej pasma są widoczne na zarejestrowanych widmach. Przy czym nie zaobserwowano wyraźnych różnic w ich położeniu ani intensywności pomiędzy badanymi olejami.

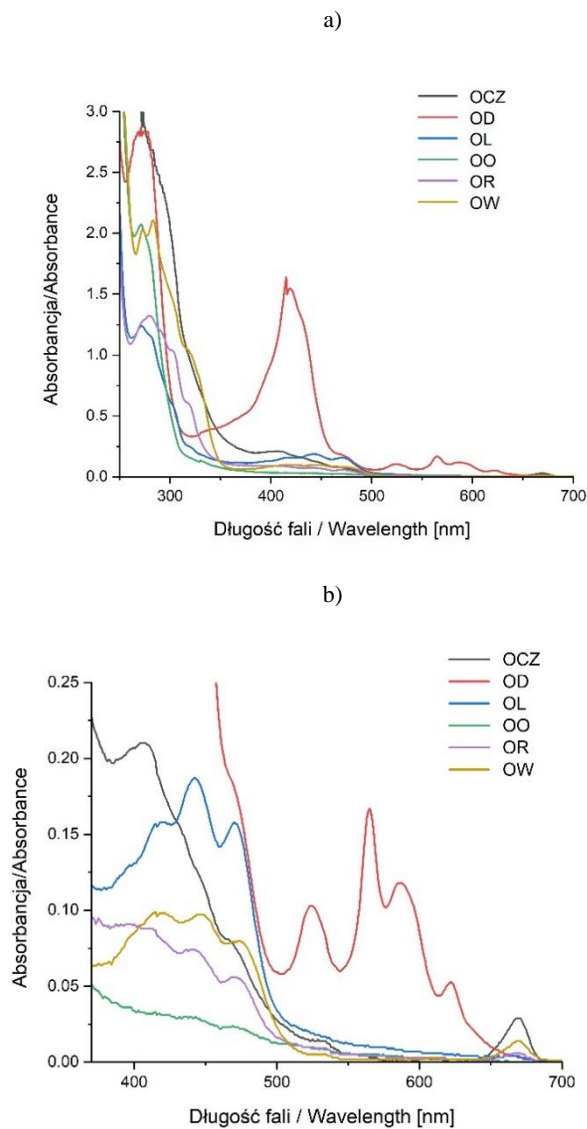
Tabela 3. Rozkład pasm absorpcji charakterystycznych dla olejów roślinnych

Table 3. The distribution of absorption bands characteristic of vegetable oils

Liczba falowa / Wave number [cm <sup>-1</sup> ]	Grupa funkcyjna / Functional group	Typ drgań / Mode of vibration
3475-3467	-C=O	Nadton / Overtone
3030-2994	=C-H (trans) =C-H (cis)	Rozciągające / Stretching
2994-2800	-C-H -C-H (CH <sub>2</sub> )	Rozciągające / Stretching Rozciągające (asymetryczne) / Stretching (asymmetric)
2884-2751	-C-H (CH <sub>2</sub> )	Rozciągające (symetryczne) / Stretching (symmetric)
1861-1623	-C=O	Rozciągające / Stretching
1497-1404	-C-H (CH <sub>2</sub> )	Zginające / Bending
1389-1338	-C-H (CH <sub>3</sub> )	Zginające (symetryczne)
1326-1209	-C-O -CH <sub>2</sub> -	Rozciągające / Stretching Zginające / Bending
1213-1126	-C-O -CH <sub>2</sub> -	Rozciągające / Stretching Zginające / Bending
1113-1086	-C-O	Rozciągające / Stretching
784-648	-O-H	Zginające / Bending

Na rysunku 3 przedstawiono widma absorpcji uzyskane dla badanych olejów w zakresie UV-Vis. Dla wszystkich próbek zaobserwowano pasma absorpcji w zakresie UV z maksimumami przy około 270, 282, 290, 305 i 320 nm (rycina 3a). Największe natężenia pasm w zakresie 270 ÷ 280 nm odnotowano dla oleju z pestek dyni oraz oleju z nasion czarnuszki. Najniższe natomiast dla oleju lnianego a także rydzowego. Olej rydzowy, w porównaniu z lnianym, charakteryzował się jednak wyższą intensywnością pozostałych pasm w zakresie UV. Olej z nasion czarnuszki wykazywał również największą intensywność w przypadku pozostałych pasm analizowanego zakresu absorpcyjnego. Przy czym dla oleju z nasion wiesiołka intensywność pasma z maksimum przy około 320 nm była porównywalna z natężeniem tego pasma dla oleju z nasion czarnuszki.

Najniższe natężenie pasm w zakresie 300 ÷ 320 nm zaobserwowano dla oleju z nasion ostropestu. W widmie absorpcji dla oleju z czarnuszki w zakresie 200 ÷ 300 nm (zakres niepokazany na widmach absorpcyjnych ze względu na znacznie wyższe wartości absorpcji niż dla zakresu UV-VIS z ryc. 3) zarejestrowano również szerokie pasmo z maksimum przy długości fali 254 nm. W zakresie widzialnym (Vis) w widmach absorpcji większości badanych olejów występowało kilka intensywnych pasm w zakresie długości fali 410 ÷ 520 nm oraz pasmo z maksimum przy około 670 nm. W widmach absorpcji w zakresie widzialnym, podobnie jak w zakresie UV,



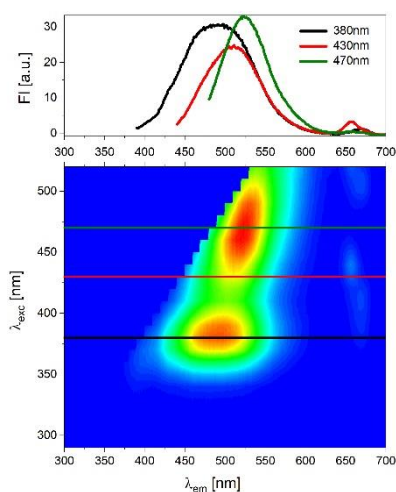
Rycina 3. Widma absorpcji badanych olejów: a) cały zakres pomiarowy; b) zakres widzialny (Vis)  
Figure 3. Absorption spectra of the oils tested: a) the entire measurement range; b) visible range (Vis)

również zaobserwowano różnice w ich intensywności w zależności od rodzaju oleju. Najbardziej intensywne pasma zarejestrowano dla oleju z pestek dyni (z maksimum przy ok. 420 nm) i nasion czarnuszki (z maksimum przy ok. 410 nm i 670 nm). W widmie absorpcyjnym oleju z pestek dyni występowało ponadto kilka pasm o sto-

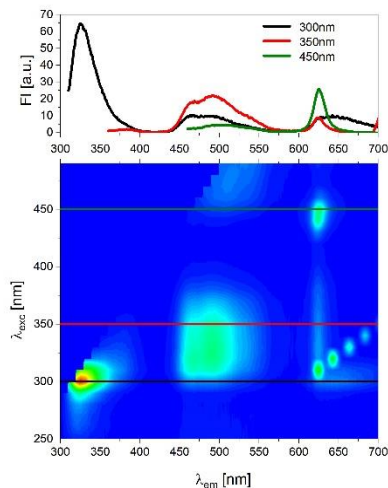
sunkowo dużych natężeniach w zakresie  $500 \div 650$  nm. Spośród pozostałych badanych olejów, najbardziej intensywne pasma w zakresie  $450 \div 470$  nm widoczne były dla oleju lnianego. Dla oleju z nasion ostropestu natomiast pasma te miały najniższe natężenia. Ponadto dla oleju z nasion ostropestu nie zarejestrowano pasma z maksimum przy około 670 nm.

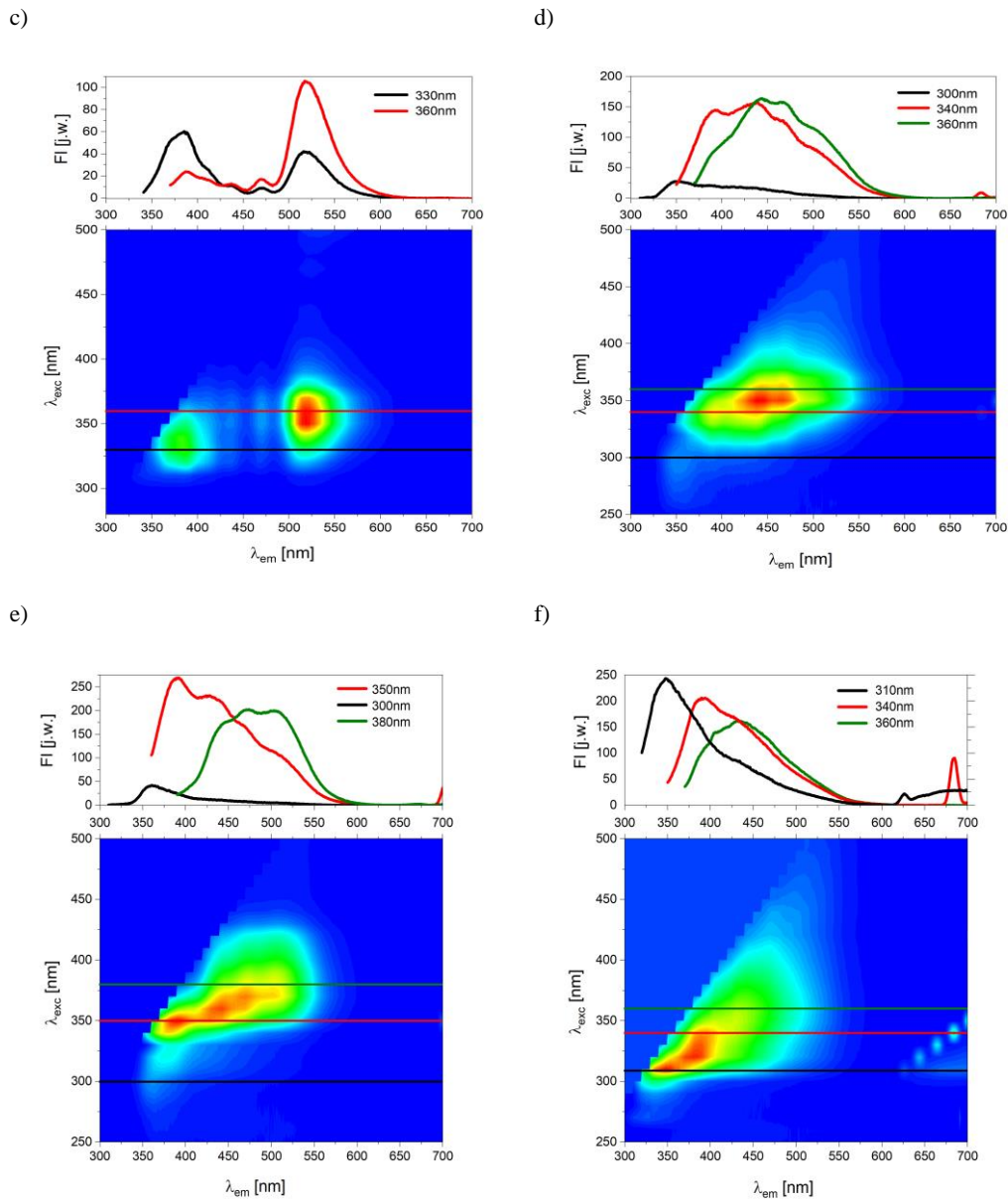
Wyraźne różnice pomiędzy badanymi olejami widoczne były także w zarejestrowanych widmach całkowitej fluorescencji (rycina 4). Na mapach całkowitej fluorescencji oleju z nasion wiesiołka, ostropestu, lnianki i pestek dyni występowały pasma z zakresu wzbudzenia  $250 \div 320$  nm i emisji  $300 \div 350$  nm. Olej z pestek dyni wyróżniał się stosunkowo intensywnym pasmem w zakresie około 320 nm, natomiast dla oleju lnianego pasmo to miało stosunkowo znikome natężenie. Nie zarejestrowano pasm emisji w tym zakresie tylko w przypadku oleju z nasion czarnuszki. Wyraźnie widoczne na mapach fluorescencji oleju z nasion czarnuszki były natomiast, podobnie jak dla oleju z nasion ostropestu i pestek dyni, długofalowe pasma emisji z zakresu  $650 \div 700$  nm. Dla większości badanych olejów największe natężenia wykazywały pasma leżące w zakresie  $350 \div 550$  nm przy czym położenia maksimum oraz ich intensywność zależała od rodzaju badanego oleju. Największe natężenia pasm w tym zakresie wykazywał olej z nasion wiesiołka oraz z nasion ostropestu a najmniejsze zarejestrowano dla oleju z nasion czarnuszki i oleju z pestek dyni. Dodatkowo dla oleju z pestek dyni i lnianego nie występowały pasma przy długościach fali odpowiednio 420 nm i 450 nm.

a)



b)





Rycina 4. Widma całkowitej fluorescencji nierozcieńczonych olejów roślinnych (za wyjątkiem oleju z pestek dyni) w geometrii kąta prostego: a) olej z nasion czarnuszki (OCZ); b) olej z pestek dyni (OD); c) olej lniany (OL); d) olej rydzowy (OR); e) olej z nasion wiesiołka (OW); f) olej z nasion ostropestu (OO)

Figure 4. Total fluorescence spectra of undiluted vegetable oils (except for pumpkin seed oil) in right angle geometry: a) nigella seed oil (OCZ); b) pumpkin seed oil (OD); c) flax seed oil (OL); d) camelinaoil (OR); e) evening primrose seed oil (OW); f) milk thistle seed oil (OO)

Objaśnienia / Explanatory notes:

FI – natężenie fluorescencji;  $\lambda_{exc}$  – długość fali wzbudzenia;  $\lambda_{em}$  – długość fali emisji. Ze względu na stosunkowo duże różnice w intensywności pasm fluorescencji dla poszczególnych olejów, skala intensywności na każdym rysunku przedstawia wartość maksymalnego natężenia dla danego oleju /

FI – fluorescence intensity;  $\lambda_{exc}$  – excitation wavelength;  $\lambda_{em}$  – emission wavelength. Due to relatively large differences in the intensity of the fluorescence bands for individual oils, the intensity scale on each graph shows the maximum intensity value for a given oil.

Nierafinowane oleje jadalne zróżnicowane są pod względem zawartości, jak i rodzaju substancji bioaktywnych, takich jak tokochromanole, karotenoidy, chlorofile oraz różne związki fenolowe [14, 23, 28]. Substancje te wykazują odmienne właściwości spektroskopowe. Pasma absorpcji w zakresie UV występują w widmach absorpcyjnych związków fenolowych i tokochromanoli [27]. W widmach emisyjnych pasma fluorescencji leżące w zakresie 300 ÷ 350 nm pochodzą od emisji tokoferoli, a występujące w zakresie 350 ÷ 550 nm charakterystyczne są dla różnych związków fenolowych [6]. W zakresie widzialnym absorbują z kolei karotenoidy (w zakresie długości fali 450 ÷ 520 nm) oraz chlorofile i ich pochodne [23]. Maksima w widmie absorpcyjnym występujące przy około 430/662 i 453/642 nm charakterystyczne są odpowiednio dla chlorofilu *a* i *b*, a pasma leżące w zakresie 500 ÷ 650 nm charakterystyczne są dla pochodnej chlorofilu protofeofityny *a* należącej do grupy barwników, którym różne substancje zawdzięczają charakterystyczną ciemnozieloną barwę [7, 30]. Każdy z badanych olejów wykazał inny profil widm absorpcji, jak i emisji fluorescencji. Różnice w widmach poszczególnych olejów dotyczyły zarówno położenia maksimum obserwowanych pasm, jak i ich intensywności. Obserwowana odmienność mogła być spowodowana obecnością różnych grup i stężeń związków bioaktywnych w badanych próbkach, a także wzajemnego przekrywania się pasm pochodzących od poszczególnych składników.

#### *Właściwości przeciwutleniające olejów*

Wyznaczony ze wzoru (1) % inhibicji dla substancji, które silniej redukują rodnik DPPH<sup>•</sup>, czyli wykazują silniejsze właściwości antyoksydacyjne, przyjmuje większe wartości. Jako odnośnik posłużył roztwór  $\alpha$ -tokoferolu o stężeniu 16  $\mu$ M. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Przeprowadzone badania wykazały działanie antyoksydacyjne wszystkich badanych olejów. Największą zdolność do zmiatania wolnych rodników wśród badanych olejów wykazał olej z nasion czarnuszki. Procent redukcji rodnika DPPH<sup>•</sup> dla tego oleju był tylko ok. 3 % niższy niż dla tokoferolu. Dla pozostałych prób procent inhibicji zawarty był w przedziale 80,3 ÷ 70,5 %, w którym najwyższą aktywnością przeciwutleniającą charakteryzował się olej z pestek dyni, a najniższą – olej lniany.



Tabela 4. Wyznaczony ze wzoru (1) % inhibicji w badanych olejów roślinnych: z nasion wiesiołka (OW), z nasion ostropestu (OO), z pestek dyni (OD), lniany (OL), rydzowy (OR) oraz z nasion czarnuszki (OCZ)

Table 4. Determination from formula (1) % inhibition for the vegetable oils tested: evening primrose seed (OW), milk thistle seed (OO), pumpkin seed (OD), linseed (OL), camelina (OR) and black cumin (OCZ)

Próba / Sample	Tokoferol / Tocopherol	OCZ	OW	OO	OL	OR	OD
% inhibicji / inhibition	95.20 <sup>a</sup> ± 0,72	92.50 <sup>b</sup> ± 1,03	78.40 <sup>cd</sup> ± 0,72	74.19 <sup>e</sup> ± 0,70	70.60 <sup>f</sup> ± 0,78	76,20 <sup>dc</sup> ± 0,85	80.30 <sup>c</sup> ± 1,09

Objaśnienia/ / Explanatory notes:

Różnice pomiędzy wynikami w poszczególnych olejach oznaczone tą samą literą w tym samym wierszu są nieistotne statystycznie ( $p \leq 0,05$ ) / Differences between results for respective oils marked with the same letter in the same row are statistically insignificant ( $p \leq 0.05$ ).

Na właściwości antyoksydacyjne badanych olejów wpływa zawartość związków bioaktywnych. Najwyższą aktywność przeciwutleniającą, oznaczaną wobec rodnika DPPH•, wykazał olej z nasion czarnuszki. Wyróżnił się on spośród pozostałych badanych olejów pod tym względem, pomimo iż w zarejestrowanych widmach emisji intensywność pasm fluorescencji w porównaniu z pozostałymi badanymi olejami była stosunkowo niska. Jak wiadomo jednak z danych literaturowych, olej z nasion czarnuszki zawdzięcza swoją wysoką aktywność antyrodnikową obecności tymochinonu, związku o bardzo silnych właściwościach przeciwutleniających [ 18, 30]. W widmie absorpcji dla oleju z nasion czarnuszki jako jedynego spośród badanych olejów, zarejestrowano szerokie pasmo z maksimum przy długości fali 254 nm, którego położenie, według danych literaturowych, jest charakterystyczne dla tego związku [31]. Uzyskane wyniki mogą zatem świadczyć o dużym udziale tego składnika w badanym oleju. Drugim pod względem zdolności do zmiatania wolnych rodników okazał się olej z pestek dyni, dla którego na mapie całkowitej fluorescencji zaobserwowano najintensywniejsze pasmo w okolicach 320 nm. Jak podali Fruhwirth i wsp. [11], olej z pestek dyni charakteryzował się wysoką zawartością tokoferoli oraz związków fenolowych. Szczególnie duża ilość w całkowitej zawartości tokoferoli była homologu gamma, który wykazywał lepsze właściwości przeciwutleniające niż alfa. Ponadto autorzy ci zbadali, że nie tylko tokoferole, ale także polarne związki fenolowe obecne w oleju z pestek dyni miały duży udział w obserwowanym działaniu antyoksydacyjnym. Spośród pozostałych olejów olej lniany wykazywał najniższą aktywność przeciwutleniającą, chociaż niektóre badania dowodzą, iż olej ten posiada silniejsze działanie przeciwutleniające niż kwas askorbinowy [16]. Najniższy % inhibicji może być wynikiem mniejszej zawartości związków wykazujących właściwości antyoksydacyjne w porównaniu z pozostałymi badanymi olejami. Omawiane bowiem wcześniej widma oleju lnianego charak-

teryzowały się najmniejszymi intensywnościami poszczególnych pasm absorpcyjnych w zakresie UV oraz najmniejszą intensywnością i różnorodnością pasm emisyjnych w porównaniu z olejem rydzowym czy olejem z nasion ostropestu.

### **Wnioski**

1. Badane oleje wykazują zróżnicowane wartości przebadanych parametrów. Zaobserwowano dodatnią korelację między gęstością a współczynnikiem załamania światła w całym spektrum przebadanych olejów roślinnych. Zależność ta podkreśla wpływ składu kwasów tłuszczowych na te właściwości.
2. Stwierdzono, że pH olejów roślinnych stanowi wskaźnik odzwierciedlający poziom kwasowości w oleju. Oleje z wyższą zawartością wolnych kwasów tłuszczowych charakteryzowały się niższymi wartościami pH, dostarczając ilościowej miary kwasowości.
3. Obecność naturalnych barwników, takich jak karotenoidy i chlorofile, w olejach roślinnych była istotnym czynnikiem wpływającym na barwę. Te składniki nadawały olejom charakterystyczne odcienie, od intensywnych żółci po głębokie zieloności, podkreślając ich rolę w definiowaniu walorów wizualnych.
4. Kąt zwilżania i napięcie powierzchniowe wykazały odwrotnie proporcjonalną zależność. Oleje z wyższą zawartością kwasów tłuszczowych o krótszym łańcuchu węglowodorowym wykazywały niższe wartości napięcia powierzchniowego, co przełożyło się na zaobserwowanie niższych wartości kąta zwilżania.
5. Spektroskopia w podczerwieni nie wykazała znaczących różnic widmowych pomiędzy przebadanymi olejami.
6. W widmach absorpcyjnych i mapach fluorescencji badanych olejów zaobserwowano istotne różnice w ilości i intensywności poszczególnych pasm. Spektroskopia UV-Vis i emisyjna może zatem stanowić narzędzie umożliwiające rozróżnienie poszczególnych rodzajów olejów.
7. Wyznaczony procent inhibicji wskazał na właściwości antyoksydacyjne wszystkich badanych olejów, a w połączeniu z analizą spektroskopową może stanowić kryterium oceny jakościowej olejów.

### **Literatura**

- [1] Abramovič H., Klofutar C.: The temperature dependence of dynamic viscosity for some vegetable oils. *Acta Chim. Slov.*, 1998, 45(1), 69-77.
- [2] Ackman R.G., Agustin Y.T.V., Alexandersen K.A., Basiron Y.: Fish Oils. In *Bailey's Industrial Oil and Fat Products Sixth Edition*. Wiley-Interscience, 2005, vol.3. pp 279-318.
- [3] Ajayi I.A., Oderinde R.A., Kajogbola D.O., Uponi J.I.: Oil content and fatty acid composition of some underutilized legumes from Nigeria. *Food Chem.*, 2006, 99(1), 115-120.

- [4] Amat Sairin M., Abd Aziz S., Yoke Mun C., Khaled A.Y., Rokhani F.Z.: Analysis and prediction of the major fatty acids in vegetable oils using dielectric spectroscopy at 5-30 MHz. *PloS One*, 2022, 17(5), #0268827.
- [5] Baig A., Zubair M., Sumrra S.H. et al. Heating effect on quality characteristics of mixed canola cooking oils. *BMC Chem.* 16 (1), #3.
- [6] Burdge G.C., Calder P.C.: Conversion of  $\alpha$ -linolenic acid to longer-chain polyunsaturated fatty acids in human adults. *Reprod. Nutr. Develop.*, 2005, 45(5), 581-597.
- [7] Carvalho D.G., Ranzan L., Jacques R.A., Trierweiler L.F., Trierweiler J.O.: Analysis of total phenolic compounds and caffeine in teas using variable selection approach with two-dimensional fluorescence and infrared spectroscopy. *Microchem. J.*, 2021, 169, #106570.
- [8] Chouaibi M., Rezig L., Gaout N., Daoued K. Ben Msaada K., Hamdi S.: Cold pressed Pistacia lentiscus seed oils. In *Cold Pressed Oils*, Elsevier, 2020, pp. 373-384.
- [9] Cichocki W., Czerniak A., Smarzyński K., Jeżowski P., Kmiecik D., Baranowska H.M., Walkowiak K., Ostrowska-Ligęza E., Różańska M.B., Lesiecki M., Kowalczewski P.Ł.: Physicochemical and Morphological Study of the *Saccharomyces cerevisiae* Cell-Based Microcapsules with Novel Cold-Pressed Oil Blends. *Appl. Sci.*, 2022, 12(13), #6577.
- [10] Cichocki W., Kmiecik D., Baranowska H.M., Staroszczyk H., Sommer A., Kowalczewski P.Ł.: Chemical Characteristics and Thermal Oxidative Stability of Novel Cold-Pressed Oil Blends: GC, LF NMR, and DSC Studies. *Foods*, 2003, 12(14), #2660.
- [11] Fruhwirth G.O., Hermetter A.: Seeds and oil of the Styrian oil pumpkin: Components and biological activities. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 2007, 109(11), 1128-1140.
- [12] Garrett R.H., Grisham C.M. *Biochemistry* 5th Ed. In PhD Proposal, 2012, vol. 1.
- [13] Gharsallah K., Rezig L., Msaada K., Chalh A., Soltani T.: Chemical composition and profile characterization of *Moringa oleifera* seed oil. *South Afr. J. Botany*, 2021, 137, 475-482.
- [14] Grilo E.C., Costa P.N., Gurgel C.S.S., Beserra A.F. de L., Almeida F.N. de S., Dimenstein R.: Alpha-tocopherol and gamma-tocopherol concentration in vegetable oils. *Food Sci. Technol.*, 2014, 34(2), 379-385.
- [15] Hasan M., Jahan R., Alam M., Khatun M., Al-Reza S.: Study on Physicochemical Properties of Edible Oils Available in Bangladeshi Local Market. *Archiv. Curr. Res. Int.*, 2016, 6(1), 1-6.
- [16] Kaithwas G., Majumdar D.K.: In vitro antioxidant and in vivo antidiabetic, antihyperlipidemic activity of linseed oil against streptozotocin induced toxicity in albino rats. *E. J. Lipid Sci. Technol.*, 2012, 114(11), 1237-1245.
- [17] Kałdoński T.J., Gryglewicz Ł., Stańczyk M., Kałdoński T.: Badanie właściwości powierzchniowych i smarnościowych wybranych olejów perfluoropolieteryowych, *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*, 2011, 60, 165-183.
- [18] Khither H., Sobhi W., Khenchouche A., Mosbah A., Benboubetra M.: In-vitro Antioxidant Effect of Thymoquinone. *Ann. Res. Rev. Biol.*, 2018, 25(5), 1-9.
- [19] Kim J., Kim D.N., Lee S.H., Yoo, S.H., Lee S.: Correlation of fatty acid composition of vegetable oils with rheological behaviour and oil uptake. *Food Chem.*, 2010, 118(2), 398-402.
- [20] Kmiecik D., Fedko M., Siger A., Kowalczewski P.Ł.: Nutritional Quality and Oxidative Stability during Thermal Processing of Cold-Pressed Oil Blends with 5:1 Ratio of  $\omega 6/\omega 3$  Fatty Acids. *Foods*, 2022, 11(8), #1081.
- [21] Kuselman I., Tur'yan Y.I., Berezin O.Y., Kogan L., Shenhar A.: pH-Metric Determination of the Acid Value of Vegetable Oils without Titration. *J. AOAC Int.*, 1998, 81(4), 873-879.
- [22] Maskan M.: Change in colour and rheological behaviour of sunflower seed oil during frying and after adsorbent treatment of used oil. *Eur. Food Res. Technol.* 2023, 218(1), 20-25.

- [23] Mecozzi M., Pietrantonio E., Pietroletti M.: The roles of carbohydrates, proteins and lipids in the process of aggregation of natural marine organic matter investigated by means of 2D correlation spectroscopy applied to infrared spectra. *Spectrochim. Acta Part A: Mol. Biomol. Spectroscopy*, 2009, 71(5), 1877-1884.
- [24] Mukhametov A., Mamayeva L., Kazhymurat A., Akhlan T., Yerbulekova M.: Study of vegetable oils and their blends using infrared reflectance spectroscopy and refractometry. *Food Chem. X*, 17, 2023, #100386.
- [25] Orsavova J., Misurcova L., Ambrozova J.V., Vicha R., Mlcek J.: Fatty Acids Composition of Vegetable Oils and Its Contribution to Dietary Energy Intake and Dependence of Cardiovascular Mortality on Dietary Intake of Fatty Acids. *Int. J. Molec. Sci.*, 2015, 16(6), 12871-12890.
- [26] Rizza M.A., Wijayanti W., Hamidi N., Wardana I.N.G.: Role of Intermolecular Forces on the Contact Angle of Vegetable Oil Droplets during the Cooling Process. *The Sci. World J.*, 2018, 1-8.
- [27] Rodríguez-Delgado M.A., Malovaná S., Pérez J.P., Borges T., García Montelongo F.J.: Separation of phenolic compounds by high-performance liquid chromatography with absorbance and fluorimetric detection. *J. Chrom. A*, 2001, 912(2), 249-257.
- [28] Shahidi F., de Camargo A.: Tocopherols and Tocotrienols in Common and Emerging Dietary Sources: Occurrence, Applications, and Health Benefits. *Int. J. Mol. Sci.*, 2016, 17(10), 1745.
- [29] Taniguchi M., Lindsey J.S.: Absorption and Fluorescence Spectral Database of Chlorophylls and Analogues. *Photochem. Photobiol.*, 2021, 97(1), 136-165.
- [30] Wei P.L.J., Xin C.K., Akowuah G.A.: Effect of different extraction solvents on the content of Thymoquinone content of *Nigella sativa* L. seeds using UV-Visible spectroscopy and evaluation of the free radical scavenging activity. *Ind. J. Nat. Prod. Resour.*, 2023, 14(1), 22-27.
- [31] Zielińska M., Dereń K., Polak-Szczybyło E., Stępień A.E.: The Role of Bioactive Compounds of *Nigella sativa* in Rheumatoid Arthritis Therapy-Current Reports. *Nutrients*, 2021, 13(10), #3369.

## ANALYSIS OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND SPECTROPHOTOMETRIC CHARACTERISTICS OF SELECTED VEGETABLE OILS

### S u m m a r y

**Introduction.** Vegetable oils are a known source of mono- and polyunsaturated fatty acids (MUFA and PUFA). The growing demand for vegetable oils, rich in unsaturated fatty acids, increases the use of new oil plants to obtain them. In this study, the physicochemical properties (density, pH, refractive index, dynamic viscosity, contact angle, surface tension, color) were examined, a spectroscopic analysis was carried out and antioxidant properties were determined. In order to determine the indicated parameters, simple and easily accessible analytical methods were used, which provide key information about the properties of oils and serve as indicators for assessing their quality. Six commercially available oils were selected for the study: evening primrose seeds (*Oenothera paradoxa*), milk thistle seeds (*Silybum marianum*), pumpkin seeds (*Cucurbita oleo*), linseed (*Linum usitaissimum* L.), winter camelina seeds (*Camelina silvestris*) and black cumin seeds (*Nigella sativa*).

**Results and conclusions.** The conducted research provided significant insights into the relationship between the determined parameters of vegetable oils. The positive correlation between density and refractive index also highlights the influence of fatty acid composition on these properties. The observed diversity of colors of the oils tested highlights the unique composition of dyes characteristic of each oil. It was

found that the pH of vegetable oils is a key indicator reflecting the level of acidity in the oil. The correlation between contact angle and surface tension revealed complex surface interactions.

**Key words:** physicochemical properties, antioxidant properties, vegetable oils, unsaturated fatty acids 