

**UNIWERSYTET PRZYRODNICZY w LUBLINIE**

Wydział Inżynierii Produkcji

mgr inż. Sybilla Sara Nazarewicz

*Rozprawa doktorska*

**Zastosowanie ultradźwięków w kształtowaniu właściwości lodów  
z udziałem oleożeli**

*The use of ultrasound in shaping the properties of ice cream with oleogels*

Rozprawa doktorska wykonana w Katedrze Biologicznych Podstaw Technologii  
Żywności i Pasz

Promotor: dr hab. inż. Katarzyna Kozłowiec, prof. uczelni

Lublin, 2023

### Oświadczenie promotora rozprawy doktorskiej

Oświadczam, że niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego.

Data .....

Podpis promotora .....

### Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej

Świadom/a odpowiedzialności prawnej oświadczam, że:

- niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana przez mnie samodzielnie pod kierunkiem Promotora/~~Promotorów~~/~~Promotora pomocniczego~~\* i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.
- przedstawiona rozprawa doktorska nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia naukowego.
- niniejsza wersja rozprawy doktorskiej jest tożsama z załączoną na płycie CD/pendrive wersją elektroniczną.

Data .....

Podpis autora .....

\* niepotrzebne skreślić

# SPIS TREŚCI

|   |    |
|---|----|
| <b>STRESZCZENIE</b> .....   | 5  |
| <b>SUMMARY</b> .....  | 6  |
| <b>1. WSTĘP</b> .....   | 7  |
| <b>2. PRZEGLĄD LITERATURY</b> .....                                     | 8  |
| 2.1. Charakterystyka struktury lodów .....                              | 8  |
| 2.2. Funkcje składników w lodach .....                                  | 12 |
| 2.2.1. Tłuszcz .....  | 12 |
| 2.2.2. Substancje słodzące .....  | 13 |
| 2.2.3. Stabilizatory .....  | 15 |
| 2.2.4. Emulgatory .....   | 20 |
| 2.3. Charakterystyka otrzymywania oleożeli .....                        | 23 |
| 2.4. Charakterystyka olejów wykorzystanych w badaniach .....            | 27 |
| 2.4.1. Olej z nasion sezamu .....                                       | 27 |
| 2.4.2. Olej z awokado .....   | 28 |
| 2.4.3. Olej z pestek winogron .....                                     | 29 |
| 2.5. Technologia produkcji lodów .....                                  | 30 |
| 2.5.1. Dozowanie i mieszanie składników .....                           | 31 |
| 2.5.2. Pasteryzacja i homogenizacja .....                               | 32 |
| 2.5.3. Dojrzewanie .....  | 34 |
| 2.5.4. Proces zamrażania .....  | 35 |
| 2.5.5. Hartowanie .....   | 36 |
| 2.6. Charakterystyka ultradźwięków .....                                | 36 |
| 2.6.1. Rodzaje fal ultradźwiękowych .....                               | 39 |
| 2.6.2. Zjawiska zachodzące w materiale .....                            | 41 |
| 2.6.3. Zastosowanie ultradźwięków .....                                 | 43 |
| <b>3. PROBLEM NAUKOWO–BADAWCZY I CEL PRACY</b> .....                    | 46 |
| <b>4. MATERIAŁ I METODY BADAŃ</b> .....                                 | 47 |
| 4.1. Materiał badawczy .....  | 47 |
| 4.2. Oznaczenie właściwości fizycznych i składu chemicznego oleju ..... | 49 |
| 4.2.1. Analiza gęstości oleju .....                                     | 49 |
| 4.2.2. Analiza lepkości oleju .....                                     | 49 |
| 4.2.3. Analiza zawartości kwasów tłuszczowych .....                     | 49 |
| 4.3. Otrzymywanie oleożelu .....  | 50 |
| 4.4. Analiza oleożelu .....   | 50 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 4.5.      | Przygotowanie lodów .....   | 51         |
| 4.6.      | Analiza fizycznych właściwości lodów .....  | 52         |
| 4.6.1.    | Różnicowa kalorymetria skaningowa (DSC) .....   | 52         |
| 4.6.2.    | Analiza stopnia napowietrzenia .....  | 52         |
| 4.6.3.    | Analiza szybkość i całkowitego czasu topnienia lodów .....                                | 52         |
| 4.6.4.    | Analiza twardości i kleistości lodów .....  | 53         |
| 4.6.5.    | Analiza lepkości.....   | 53         |
| 4.6.6.    | Analiza barwy .....   | 53         |
| 4.6.7.    | Skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM).....   | 53         |
| 4.7.      | Analiza biochemicznych właściwości lodów.....   | 54         |
| 4.7.1.    | Analiza składu chemicznego, wartości kalorycznej i pH .....                               | 54         |
| 4.7.2.    | Analiza zawartości związków polifenolowych.....   | 54         |
| 4.8.      | Określenie akceptowalności konsumenckiej lodów.....                                       | 56         |
| 4.9.      | Analiza statystyczna wyników badań.....   | 56         |
| <b>5.</b> | <b>WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA .....</b>  | <b>57</b>  |
| 5.1.      | Charakterystyka fizycznych właściwości olejów oraz zawartość kwasów<br>tłuszczowych ..... | 57         |
| 5.2.      | Ocena stabilności oleożeli .....  | 58         |
| 5.3.      | Wyniki badań fizycznych właściwości lodów .....   | 60         |
| 5.3.1.    | Charakterystyka różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC).....                            | 60         |
| 5.3.2.    | Ocena stopnia napowietrzenia, szybkości i całkowitego czasu topnienia<br>lodów .....      | 62         |
| 5.3.3.    | Ocena lepkości .....  | 68         |
| 5.3.4.    | Ocena twardości i kleistości lodów .....  | 70         |
| 5.3.5.    | Wyniki oceny barwy lodów .....  | 73         |
| 5.3.6.    | Ocena skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM).....                                     | 75         |
| 5.4.      | Wyniki badań biochemicznych właściwości lodów.....  | 82         |
| 5.5.      | Wyniki oceny akceptowalności konsumenckiej lodów.....                                     | 91         |
| 5.6.      | Analiza składowych głównych właściwości fizycznych i biochemicznych<br>lodów .....        | 98         |
| 5.6.1.    | Analiza składowych głównych dla właściwości fizycznych lodów .....                        | 99         |
| 5.6.2.    | Analiza składowych głównych dla właściwości biochemicznych lodów                          | 102        |
| <b>6.</b> | <b>WNIOSKI.....</b>   | <b>107</b> |
| <b>7.</b> | <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>  | <b>109</b> |
| <b>8.</b> | <b>ANEKS .....</b>  | <b>123</b> |

## STRESZCZENIE

Celem pracy było zbadanie możliwości zastąpienia pasteryzacji i homogenizacji obróbką ultradźwiękową w procesie otrzymywania lodów oraz zastosowanie oleożeli na bazie oleju z nasion sezamu, miąższu awokado oraz pestek winogron, jako substytutu tłuszczu w lodach bogatych w niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe. Przeprowadzono analizę fizyczną i chemiczną olejów wykorzystanych w badaniach oraz stabilność oleożeli na ich bazie. Otrzymane lody poddano ocenie właściwości termofizycznych, chemicznych i ogólną akceptowalność w zależności od zastosowanej obróbki oraz udziału oleożeli w lodach. Wyznaczono temperaturę zamarzania i ilość wymrożonej wody w lodach metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej. Oznaczono puszystość, topliwość, twardość, kleistość i lepkość mieszanki lodowej przed i po dojrzewaniu oraz lodów. Dokonano analizy mikrostruktury oraz określono barwę lodów. Wyznaczono podstawowy skład chemiczny, wartość kaloryczną i pH, a także zawartość wybranych związków polifenolowych. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że obróbka ultradźwiękowa wpłynęła na wzrost twardości i kleistości oraz na obniżenie temperatury zamarzania i ilości wymrożonej wody. Lody z udziałem olejów poddane obróbce ultradźwiękami charakteryzowały się wyższym stopniem napowietrzenia w porównaniu do lodów z udziałem oleożeli. Ponadto lody poddane obróbce ultradźwiękowej wykazały się wyższą zawartością suchej masy, białka oraz błonnika pokarmowego, natomiast niższą zawartością tłuszczu oraz wartością kaloryczną. Lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej wykazały się znacznie dłuższym czasem topnienia w stosunku do pozostałych prób. Ogólna akceptowalności wykazała, że lody z 6% udziałem oleju z pestek winogron oraz 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej zostały najwyżej ocenione, natomiast najniższą notę uzyskały lody z 5% i 6% udziałem oleju z miąższu awokado poddane pasteryzacji.

## SUMMARY

The aim of the work was to investigate the possibility of replacing pasteurization and homogenization with ultrasonic treatment in the process of obtaining ice cream and the use of oleogels based on sesame seed oil, avocado oil and grape seed oil as a fat substitute in ice cream rich in essential fatty acids. A physical and chemical analysis of the oils used in the research and the stability of the oleogels based on them were carried out. The obtained ice cream was subjected to the assessment of thermophysical and chemical properties as well as overall acceptability depending on the applied processing and the content of oleogels in the ice cream. The freezing point and the amount of frozen water in the ice cream were determined using differential scanning calorimetry. The overrun, melting time, hardness, adhesiveness and viscosity of the ice cream mix before and after aging and ice cream were determined. The microstructure was analyzed and the color of the ice cream was determined. The basic chemical composition, caloric value and pH as well as the content of selected polyphenolic compounds were determined. Based on the research, it was shown that ultrasonic treatment increased hardness and adhesiveness, and reduced the freezing point and the amount of frozen water. Ice cream with oils treated with ultrasounds was characterized by a higher degree of overrun compared to ice cream with oleogels. In addition, ice cream subjected to ultrasonic treatment showed a higher content of dry matter, protein and dietary fiber, and a lower content of fat and caloric value. Ice cream with 10% oleogel based on sesame seed oil subjected to ultrasonic treatment showed a much longer melting time compared to other samples. Overall acceptability showed that ice cream with 6% grape seed oil and 6.8% grape seed oil-based oleogel subjected to ultrasonic treatment was rated the highest, while ice cream with 5% and 6% avocado oil subjected to pasteurized received the lowest score.

## 1. WSTĘP

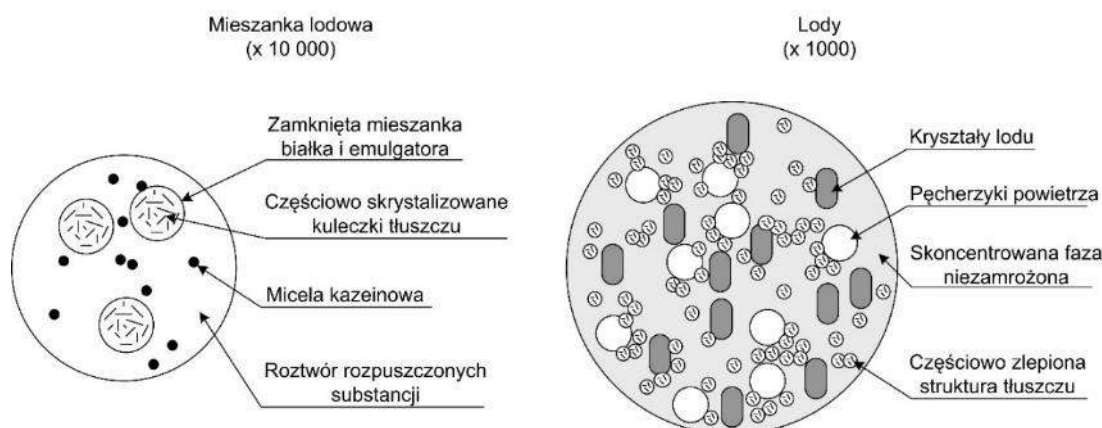
Lody są to produkty żywnościowe otrzymywane w procesie zamrażania spasteryzowanej i schłodzonej mieszanki, która została sporządzona na bazie mleka lub śmietanki uwzględniając dodatki w postaci emulgatorów i stabilizatorów oraz substancji smakowo-zapachowych. Pomimo tego, że producenci nieustannie doążą do zmiany receptur lodowych przez wprowadzanie nowych dodatków to sam produkcyjny nadal pozostaje w niezminionej formie. Na ogół zmiany procesu produkcyjnego lodów ograniczają się jedynie do zmian parametrów czasowo-temperaturowych w zależności od zastosowanych surowców i ich receptur. Proces ten zawiera w sobie dwa istotne etapy, takie jak pasteryzacja oraz homogenizacja. Mają one decydujące znaczenie, aby uzyskana struktura i konsystencja otrzymanych lodów była odpowiednia, a właściwości fizykochemiczne były akceptowalne oraz pożądane przez konsumentów. Lody są układem wielofazowym składającym się z fazy wodnej, tłuszczowej oraz pęcherzyków powietrza. Ich wzajemna proporcja, relacja wiązań oraz wielkość ziaren, determinuje strukturę lodów.

Modyfikacja receptur lodowych pod względem surowcowym, jakościowym oraz ilościowym wpływa na jakość końcową produktu. Ważne są nie tylko odczucia smakowe odbierane przez konsumenta, ale również ich tekstura, czyli: twardość, puszystość, topliwość, lepkość oraz ziarnistość. Aby uzyskać pożądany efekt istotne jest właściwe poznanie struktury lodów oraz wszystkie przemiany zachodzące wewnątrz mieszaniny na każdym etapie jej obróbki. Wiedza o charakterystyce składników, ich wiązań i oddziaływań jest istotne w opracowaniu produktu oraz projektowaniu nowych, coraz to doskonalszych lodów [Borin i in. 2017; Gabbi i in. 2017; Aboufazi i in. 2016; Akbari i in. 2016; Friedeck i in. 2003].

## 2. PRZEGLĄD LITERATURY

### 2.1. Charakterystyka struktury lodów

Lody są jednym z najbardziej złożonych produktów spożywczych, składających się z wielu faz, które wpływają na jakość i właściwości produktu. Składniki mieszanki to woda, tłuszcz, substancje stałe beztłuszczowe mleka (micele kazeinowe, białka serwatkowe, laktoza i sole mleka), cukry (sacharoza i częściowo zhydrolizowana skrobia, w tym glukoza, maltoza i wyższe sacharydy), stabilizatory i emulgatory. Wszystkie te składniki składają się na elementy strukturalne lodów (rys. 2.1) [Mehra i in. 2021; Syed i in. 2018]. Tłuszcz może pozostać w postaci częściowo krystalicznych, kulistych, zemulgowanych kropeł, albo być przekształcany w częściowo zlepione skupiska kuleczek tłuszczu. Proces ten znany jest jako destabilizacja tłuszczu, który zostaje wzmacniany przez działanie emulgatorów na powierzchni międzyfazowej kuleczek tłuszczu. Woda zamienia się w kryształki lodu. Powietrze przekształca się w małe pęcherzyki. Cukry i stabilizatory ulegają zamrożeniu w skoncentrowanej fazie niezamrożonej. Funkcjonalność białek przyczynia się do tworzenia struktur tłuszczowych i powietrznych poprzez adsorpcję na powierzchniach międzyfazowych oraz do tworzenia fazy niezamarzniętej poprzez nadawanie właściwości objętościowych i zatrzymywania wody, co w obu przypadkach zwiększa lepkość [Goff 2016].



Rys. 2.1. Schemat struktury mieszanki lodowej i lodów [Goff i Hartel 2013]

Struktury/składniki występujące w lodach obejmują:

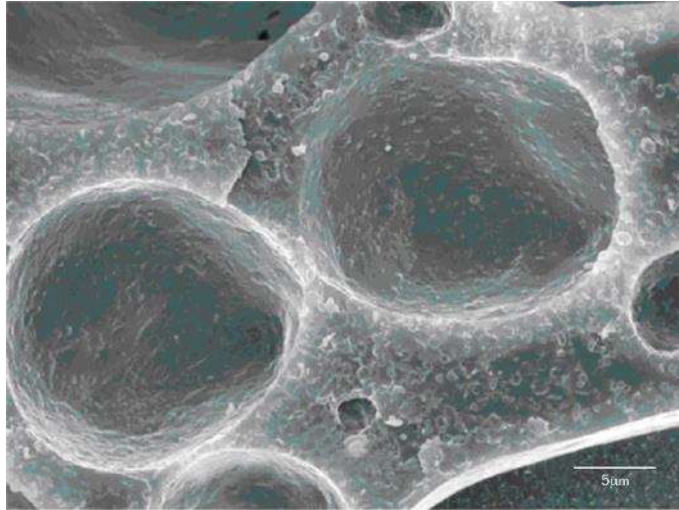
**Skoncentrowana ciągła faza niezamrożonego roztworu.** Lody stanowią złożony układ, powstały w wyniku rozprowadzenia powietrza pod postacią małych pęcherzyków w częściowo zamrożonej fazie ciągłej, złożonej w ok. 2/3 z wody. Składnikami znajdujące się w tej fazie występują w postaci zawiesin lub emulsji (stabilizatory, tłuszcze), roztworów



(sole, cukry) oraz koloidów (stabilizatory, białka). Faza niezamrożona tworzy płytkę pomiędzy innymi strukturami (lodem, powietrzem, kuleczkami i skupiskami tłuszczu, micelami itp.). Po schłodzeniu poniżej temperatury zeszklenia, skoncentrowana faza niezamrożona nabiera charakteru szklistego. Temperatura zeszklenia typowych lodów wynosi poniżej  $-32^{\circ}\text{C}$ , co oznacza, że skoncentrowana faza niezamrożona nie znajduje się w stanie szklistym w normalnych warunkach przechowywania.

**Kryształki lodu.** Podczas zamrażania wolna woda zawarta w mieszance lodowej ulega krystalizacji i tworzą się kryształki lodu, których wielkość decyduje o strukturze i teksturze lodów oraz szybkości topienia. Kryształki lodu mają zazwyczaj wielkość od kilku mikronów do ponad  $100\ \mu\text{m}$ , przy czym średnia wielkość mieści się w granicy od  $35$  do  $45\ \mu\text{m}$  dla hartowanych lodów. Taka wielkość kryształów lodu zapewnia odpowiednie odczucia gładkiej, kremowej konsystencji lodów. Dobór odpowiednich parametrów procesu zamrażania kształtuje odpowiednią krystalizację wody. Większa szybkość zamrażania powoduje szybkie procesowo przejście przez strefę maksymalnego wzrostu kryształów wyznaczoną przez zakres krioskopowy ( $-1/-7^{\circ}\text{C}$ ), co powoduje znaczny wzrost liczby kryształów o mniejszych rozmiarach. Podczas powolnego zamrażania powstają w mniejszej liczbie duże, regularne kryształy sześciokątne. Bardzo ważna jest konieczność kontrolowania wzrostu kryształów lodu podczas produkcji i przechowywania lodów, ze względu na występujący proces rekrystalizacji podczas ich przechowywania. Proces ten jest czynnikiem determinującym otrzymanie gładkiej, kremowej a szczególnie akceptowanej przez konsumentów konsystencji [Buyck i in. 2011].

**Pęcherzyki powietrza.** Powietrze stanowi około połowy objętości lodów, a stopień napowietrzenia może wahać się od zaledwie  $25\%$  do nawet  $150\%$ . Faza powietrzna występuje w postaci drobno rozproszonych pęcherzyków powietrza o wielkości od kilku mikronów do ponad  $100\ \mu\text{m}$ . Średni rozmiar pęcherzyków powietrznych wynosi często od  $20$  do  $25\ \mu\text{m}$ . Pęcherzyki powietrza nadają mrożonym deserom lekką konsystencję [Dickinson 2020, Sofjan i Hartel 2004; Chang i Hartel 2002a; Chang i Hartel 2002b]. Strukturę lodów z uwzględnieniem pęcherzyków powietrza przedstawiono na rysunku 2.2.

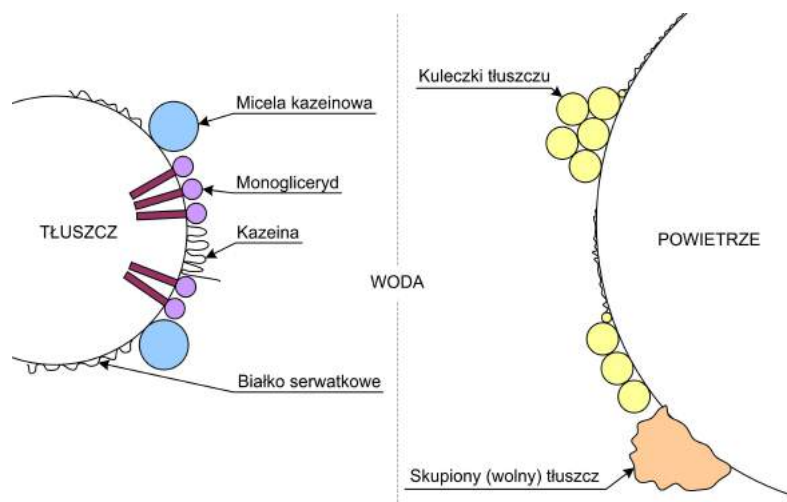


Rys. 2.2. Struktura lodów przeprowadzona metodą skaningowej mikroskopii elektronowej

**Kuleczki i skupiska tłuszczu.** W mieszance lodowej, pojedyncze kropelki emulsji mają wielkość od około 0,5 do 2 lub 3  $\mu\text{m}$ , przy średniej wielkości około 0,8  $\mu\text{m}$ . Po zamrożeniu, w wyniku częściowej koalescencji poszczególnych kuleczek, tworzą się skupiska kuleczek tłuszczu. Skupiska różnią się wielkością od 5–10 do 70–80  $\mu\text{m}$ , a niektóre skupiska osiągają nawet 100  $\mu\text{m}$ . Ta częściowa koalescencja kuleczek tłuszczu jest często charakteryzowana przez procent destabilizacji tłuszczu, podawany jako stosunek skupisk powyżej pewnego rozmiaru do początkowych kropelek emulsji. Skupiska kuleczek tłuszczu są jednym z ważnych parametrów określających właściwości zachowania kształtu i szybkości topnienia lodów [Méndez–Velasco i Goff 2012b].

**Struktura białek/stabilizatorów.** Mieszanka lodowa zawiera zarówno kazeiny, jak i białka serwatkowe w proporcji zależnej od źródeł mlecznych użytych w recepturze. Kazeiny występują w postaci micelarnej o średniej wielkości około 0,3–0,4  $\mu\text{m}$ , natomiast białka serwatkowe są rozpuszczone w fazie wodnej (skoncentrowanej fazie niezamrożonej). Różne stabilizatory (białka i gumi) stosowane w lodach przyjmują strukturę i orientację w zależności od charakteru cząsteczki i jej interakcji z innymi składnikami lodów. Niektóre mogą tworzyć słaby żel, podczas gdy inne pozostają rozpuszczone w fazie wodnej. Interakcje pomiędzy stabilizatorami, a białkami mlecznymi mogą również w znacznym stopniu wpływać na właściwości lodów, zwłaszcza gdy ulegają one termodynamicznej separacji faz [Méndez–Velasco i Goff 2012a].

Lody głównie składają się z dwóch powierzchni międzyfazowych: tłuszcz/woda oraz powietrze/woda (rys. 2.3) [Goff 2002].



Rys. 2.3. Granice faz tłuszcz/woda i powietrze/woda w lodach

Granica faz powietrze/woda jest stabilizowana przez zdenaturowane białka mleka, częściowo zdestabilizowany tłuszcz i zaglomerowane kuleczki tłuszczu. Monoglicerydy są głównie odpowiedzialne za częściową destabilizację emulsji tłuszczowej [Suhag i Dhiman 2022; Shah i in. 2017; Moonen i Bas 2014].

Zdenaturowane białka mleka, micelle kazeinowe i monoglicerydy stabilizują powierzchnię międzyfazową tłuszcz/woda w mieszance lodowej. Białka są podstawowymi czynnikami emulgującymi w większości produktów mlecznych, a także w lodach. Tylko poprzez zastosowanie białek mleka możemy uzyskać bardzo dobre i stabilne emulsje. Białka są aktywne powierzchniowo i częściowo pokrywają kuleczki tłuszczu i pęcherzyki powietrza [Cheng i in. 2016; Ariyaprakai i Tananuwong 2015; Martinet i in. 2005]. Zwykle dawka monoglicerydów w lodach wynosi 0,15%, co nie wystarcza do pokrycia wszystkich powierzchni tłuszczu. Stabilność emulsji osiągnięta przy zastosowaniu jedynie białka mleka, jako materiału powierzchniowo czynnego, nie prowadzi do znacznej aglomeracji podczas zamrażania. Do kontroli procesu deemulgowania potrzebne są niskocząsteczkowe środki powierzchniowo czynne, takie jak monoglicerydy [Munk i in. 2014; Faergemand i Krog 2006].

Każda z wymienionych struktur i faz wpływa na fizyczne i sensoryczne właściwości lodów. Również interakcje między tymi strukturami i fazami podczas przechowywania powodują pogorszenie jakości produktu i koniec okresu przydatności do spożycia.

## 2.2. Funkcje składników w lodach

Głównymi składnikami strukturyzującymi lody są białka mleka, tłuszcz i emulgatory. Inne składniki, takie jak cukry i stabilizatory, wpływają głównie na ich właściwości sensoryczne i stabilność przechowywania.

### 2.2.1. Tłuszcz

Tradycyjnie do produkcji lodów wykorzystywany jest tłuszcz mleczny w postaci śmietanki lub mleka albo alternatywnie w postaci bezwodnego tłuszczu mlecznego lub oleju maślanego. Obecnie stosuje się również tłuszcz roślinny różnego pochodzenia. Ważnym wyróżnikiem przydatności tłuszczów roślinnych w produkcji lodów jest ich profil topnienia, ponieważ tłuszcz nadaje lodom gładkość, obniża szybkość topnienia i ułatwia napowietrzanie mieszanki. Zapewnia pełniejszą percepcję smaku lodów [Rolon i in. 2017; Ludvigsen 2014; Augustin i Versteeg 2006].

Składnik tłuszczowy w mieszankach mrożonych deserów zwiększa bogactwo smaku (zwłaszcza tłuszczu mlecznego), jest dobrym nośnikiem i synergetykiem dla dodanych składników smakowych, tworzy charakterystyczną gładką konsystencję, pomaga w tworzeniu pożądanых właściwości topnienia. Dodatek tłuszczu w zależności od rodzaju lodów powinien wynosić od 1% do 16%. Dodatek tłuszczu powyżej określonej ilości może obniżać zdolność mieszanki do napowietrzania. Podczas zamrażania lodów, występująca w mieszanke emulsja tłuszczowa, ulega częściowej koalescencji (destabilizacji) w wyniku działania emulgatora, napowietrzenia, krystalizacji lodu i dużych sił ścinających ostrzy dozownika i skrobaka we frezerze. Ta częściowa koalescencja jest konieczna do utworzenia struktury i tekstury lodów, która jest podobna do struktury bitej śmietany.

**Tłuszcz mleczny.** Tłuszcz ten występuje w mleku w postaci małych kuleczek o wielkości 0,1–10  $\mu\text{m}$ , otoczonych błoną o grubości około 8–10 nm, która składa się głównie z białka mleka i fosfolipidów. Błona stabilizuje kropelki tłuszczu przed koalescencją. Homogenizacja mleka zmniejsza wielkość kulek tłuszczowych, zwiększając tym samym ich powierzchnię. W rezultacie błona jest niewystarczająca, aby pokryć całą powierzchnię tłuszczu, przez co adsorbują się na niej inne związki amfifilowe obecne w mleku, czyli micelle kazeiny i białka serwatkowe.

Tłuszcz mleczny składa się z mieszaniny szerokiej gamy kwasów tłuszczowych i ma odpowiedni profil topnienia do produkcji lodów. Wynika to z faktu, że tłuszcz mleczny jest głównie, ale nie całkowicie stały, w temperaturze od  $-5^{\circ}\text{C}$  do  $+5^{\circ}\text{C}$ , czyli w zakresie

temperatur, w których podczas zamrażania tworzy się struktura tłuszczowa lodów. Ważne jest, aby na tym etapie procesu produkcyjnego tłuszcz nie był ani całkowicie stały, ani całkowicie płynny. Inną ważną cechą tłuszczu mlecznego jest to, że nadaje mleczny smak.

**Tłuszcz roślinny.** W UE istnieje kodeks postępowania, w który zastrzega się termin „lody mleczne” dla produktów zawierających co najmniej 5% tłuszczu mlecznego i niezawierających żadnego tłuszczu ani białka pochodzenia innego niż mleczne. W USA termin „mellorine” jest używany dla mrożonych deserów, które zawierają tłuszcz roślinny.

Trudno jest wyprodukować dobrej jakości lody z tłuszczów, których profil topnienia różni się znacznie od profilu tłuszczu mlecznego. Tłuszcze, które są w przeważającej mierze płynne w kluczowym zakresie temperatur, takie jak olej słonecznikowy, nie wytwarzają stabilnej piany. Głównymi tłuszczami roślinnymi wykorzystywanymi do produkcji lodów to olej kokosowy, olej palmowy (ekstrahowany z owoców palmy oleistej *Elaeis guineensis*) oraz olej z ziaren palmowych (z ziaren palmy oleistej), ponieważ mają one dość podobny profil topnienia do tłuszczu mlecznego. Olej kokosowy zawiera dużą ilość nasyconych kwasów tłuszczowych, około 90%. Nadaje się do produkcji lodów, ale jego wadą z żywieniowego punktu widzenia jest wysoka zawartość tłuszczów nasyconych. Olej palmowy ma niższą zawartość tłuszczów nasyconych około 50%, ale w temperaturze 35°C jest częściowo stały. Temperatura w jamie ustnej podczas jedzenia lodów jest zazwyczaj o kilka stopni niższa niż normalna temperatura ciała (37°C). W przypadku lodów wytwarzanych z użyciem oleju palmowego, podczas konsumpcji, w ustach może być obecna pewna ilość stałego tłuszczu, co powoduje nieprzyjemne uczucie woskowatości w ustach [Güven i in. 2018].

### 2.2.2. Substancje słodzące

Substancje słodzące są wprowadzane do mieszanki lodowej w celu nadania lodom odpowiedniej słodkości oraz kształtują teksturę lodów. Spośród najczęściej stosowanych substancji słodzących można wymienić: cukry proste (glukoza, fruktoza), dwucukry (sacharoza, laktoza), syropy skrobiowe, maltodekstryny, czy niskokaloryczne substancje słodzące. Oprócz nadawania lodom odpowiedniej słodkości substancje słodzące wpływają na obniżenie ich temperatury zamarzania, wprost proporcjonalnie do zastosowanego stężenia, a odwrotnie proporcjonalnie do ich masy cząsteczkowej [Cadena i in. 2012; Silva Junior i Lannes 2011].

**Glukoza.** D-glukoza (dekstroza) jest naturalnie występującym stereoizomerem glukozy i należy do cukrów prostych. Dekstroza jest w 3/4 tak słodka jak sacharoza, ale ma prawie dwukrotnie większy wpływ na obniżenie temperatury zamarzania. Zmniejszając ilość sacharozy i zwiększając ilość dekstrozy, można obniżyć słodycz, jednocześnie poprawiając teksturę. Dekstroza jest również higroskopijna, co oznacza, że zatrzymuje wodę, ograniczając tworzenie się kryształków lodu i kryształków cukru. Glukoza jest wytwarzana w wyniku hydrolizy skrobi. Jest zwykle dostarczana w postaci monohydratu kryształów, które zawierają około 91% glukozy i 9% wody (tj. na każdą cząsteczkę glukozy przypada cząsteczka wody w kryształach). Glukoza jest nieco mniej słodka niż sacharoza. Połączone dwie cząsteczki glukozy ze sobą tworzą dwucukier maltozę [Salik i Arslaner 2020].

**Fruktoza.** Fruktaza występuje naturalnie w owocach i miodzie. Fruktaza jest monosacharydem, który wraz z glukozą (dekstrozą) tworzy zarówno sacharozę, jak i syrop inwertowany. Charakteryzuje się tak samo wysokim obniżeniem temperatury zamarzania jak dekstroza, ale jest znacznie słodsza – około 25% słodsza niż stołowa sacharoza i 80% słodsza niż dekstroza. Fruktaza jest używana, aby zwiększyć zarówno słodycz, jak i obniżyć temperaturę zamarzania przy minimalnym zwiększeniu ilości substancji stałych. Podobnie jak dekstroza, fruktoza jest higroskopijna, co pomaga kontrolować wodę i ograniczać krystalizację [Salik i Arslaner 2020; Treciokiene i Sostakiene 2020].

**Sacharoza.** Sacharoza jest dwucukrem i składa się z cząsteczki glukozy połączonej z cząsteczką fruktozy. Pozyskuje się ją z trzciny cukrowej, która rośnie w klimacie tropikalnym, lub z buraków cukrowych, które rosną w klimacie umiarkowanym. Sacharoza może być hydrolizowana albo przez ogrzewanie z kwasem, albo przez użycie enzymu, inwertazy. Powstały produkt, równa mieszanina glukozy i fruktozy, nazywany jest cukrem inwertowanym i jest czasami używany jako składnik lodów [Ozdemir i in. 2015].

**Laktoza.** Laktoza jest dwucukrem złożonym z glukozy i galaktozy naturalnie występującym w mleku. Laktoza jest znacznie mniej słodka niż sacharoza. Ma również stosunkowo niską rozpuszczalność, w wyniku czego może wykrystalizować się z lodów jako monohydrat. Kryształy tworzą piaszczystą teksturę, przez co produkt jest nie do zaakceptowania. Laktoza może być hydrolizowana przez enzym laktazę, dając glukozę i galaktozę. Nietolerancja laktozy, która występuje często u ludzi, jest spowodowana brakiem lub wadą laktazy [[Salik i Arslaner 2020; Abbasi i Saeedabadian 2015].

**Trehaloza.** Trehaloza to naturalnie występujący disacharyd składający się z dwóch sklejonych ze sobą cząsteczek glukozy. Jest znacznie mniej słodka niż sacharoza, ale

ma te same właściwości obniżenia temperatury zamarzania. Jego właściwości są bardzo zbliżone do właściwości laktozy. Trehaloza ma szerokie zastosowanie w sorbetach, gdzie bardzo ważne jest uzyskanie odpowiedniej zawartości substancji stałych i temperatury zamarzania. Wadą trehalozy jest znacznie mniejsza rozpuszczalność, więc zwykle jej ilość jest ograniczona do kilku procent [Moriani i Alamprese 2017].

**Syrop kukurydziany.** Syrop kukurydziany jest mieszaniną glukozy, maltozy, maltotriozy i wyższych oligomerów glukozy, otrzymaną w wyniku częściowej hydrolizy skrobi kwasem i/lub enzymami. Dokładny skład zależy od warunków hydrolizy. Syropy kukurydziane są określane za pomocą odpowiednika dekstrozy. Im wyższy odpowiednik dekstrozy, tym niższa średnia masa cząsteczkowa. Glukoza ma odpowiednik dekstrozy równy 100, a skrobia ma odpowiednik dekstrozy równy 0. Dostępne na rynku syropy kukurydziane mają zwykle wartości odpowiednika dekstrozy w zakresie 35–65. Jednakże sama wartość odpowiednika dekstrozy nie opisuje w pełni mieszanki cukrów, ponieważ różne mieszanki glukozy i jej oligomerów mogą mieć taką samą wartość odpowiednika dekstrozy. Słodycz syropów kukurydzianych wzrasta wraz ze spadkiem wartości odpowiednika dekstrozy; większość z nich jest mniej słodka niż sacharoza. Syropy kukurydziane są zazwyczaj dostarczane jako ciecze zawierające około 20% wody lub jako suszone rozpyłowo proszki [Ozdemir i in. 2008].

**Alkohole cukrowe.** Alkohole cukrowe powstają w wyniku reakcji cukrów z wodorem w obecności katalizatora, np. sorbitol z glukozy, laktitol z laktozy, mannitol z mannozy. Są one nieco mniej słodkie niż sacharoza. Są niekompletnie trawione przez układ pokarmowy człowieka i dlatego mają około połowy wartości kalorycznej cukrów. Negatywnym skutkiem tego jest to, że mogą mieć efekt przeczyszczający, gdy są spożywane w dużych ilościach. Niektóre alkohole cukrowe są jednak stosowane jako zamienniki cukru w niskokalorycznych lodach [Grembecka 2015].

### 2.2.3. Stabilizatory

Stabilizatory, czyli hydrokoloidy, to polimery o dużym powinowactwie do wody. Rozproszone i uwodnione w wodzie stabilizatory zmniejszają ilość wolnej wody poprzez wiązanie części cząsteczek wody za pomocą wiązań wodorowych oraz poprzez tworzenie trójwymiarowej sieci, zmniejszając tym samym ruchliwość wody. Skutkuje to zwiększeniem lepkości fazy ciągłej i kontrolą wzrostu kryształów lodu wywołaną wahaniami temperatury podczas przechowywania, a tym samym wpływają na cechy

sensoryczne i stabilność przechowalniczą lodów. Pochodzenie stabilizatorów jest głównie roślinne, takie jak karagen i alginian pozyskiwane z roślin morskich, guma guar i mączka chleba świętojańskiego z nasion roślin strączkowych oraz guma celulozowa z włókien drzewnych lub bawełnianych. Całkowita dawka stabilizatorów mieści się zwykle w zakresie 0,15–0,5% [Genovese i in. 2022; Syed i Shah 2016; Murtaza i in. 2004].

Stabilizatory to grupa składników (najczęściej polisacharydów) powszechnie stosowanych w recepturach lodów. Podstawowymi celami stosowania stabilizatorów w lodach są:

- zwiększenie lepkości mieszanki;
- stabilizowanie mieszanki, aby zapobiec tworzeniu się serwatki;
- pomoc w zawieszeniu cząstek aromatu;
- wytworzenie stabilnej piany;
- opóźnienie lub zmniejszenie wzrostu kryształów lodu i laktozy podczas przechowywania, zwłaszcza w okresach wahań temperatury, zwanych szokiem termicznym;
- spowolnienie migracji wilgoci z produktu do opakowania lub powietrza;
- pomoc w zapobieganiu kurczenia się objętości produktu podczas przechowywania;
- zapewnienie jednorodności produktu i odporności na topnienie;
- zapewnienie gładkiej tekstury podczas konsumpcji.

Wiele z tych funkcji przypisuje się zwiększonej lepkości fazy niezamrożonej w lodach. Stabilizatory muszą mieć również czysty, neutralny smak, nie mogą wiązać się z aromatami lodów, muszą przyczyniać się do akceptowalnego topnienia lodów i zapewniać pożądaną teksturę podczas konsumpcji. Zbyt duży dodatek stabilizatorów powoduje powstawanie gumowatej konsystencji i lody stają się trudno topliwe. Zbyt mała dawka powoduje, że lody są szybko topliwe i kruche oraz podatne na odkształcenia podczas transportu. Chociaż stabilizatory zwiększają lepkość mieszanki, mają niewielki wpływ na obniżenie temperatury zamarzania lodów.

Wśród hydrokoloidów stosowanych jako stabilizatory w mrożonych deserach lodowych można wyróżnić:

**Alginian (E401).** Alginian jest wyciągiem z brązowych alg, wodorostów. Jest to polisacharyd składający się z monomerów kwasu cukrowego – kwasu mannuronowego i kwasu guluronowego, jako polimery każdego z nich lub jako polimery mieszane. Jest



to naładowany polimer, który jest neutralizowany jonem. Rozpuszczalna forma, sól, jonizuje się w wodzie, a polimer reaguje z jonami wapnia, tworząc nierozpuszczalny żel alginianu wapnia; reakcja ta jest wykorzystywana do tworzenia szeregu gotowych produktów spożywczych żelowanych alginianem sodu i chlorkiem wapnia. Najczęstszą formą dla lodów jest alginian sodu, ale czasami stosuje się również alginian glikolu. Aby zapobiec reakcji żelowania z jonami wapnia w mleku, alginian sodu jest mieszany ze środkiem chelatującym wapń, takim jak fosforan disodowy, który następnie reaguje tworząc fosforan trójwapniowy. Alginian sodu łatwo rozpuszcza się w zimnej lub gorącej wodzie, ale może ulec degradacji, jeśli będzie zbyt długo trzymany w wysokiej temperaturze. Nie jest on powszechnie stosowany w lodach [Goraya i in. 2021].

**Karagen (E407).** Karageny to złożone polisacharydy estrów galaktozy i  $\alpha$ -3,6-anhydro-L-galaktozy, które występują w czerwonych wodorostach morskich (*Rhodophyceae*), takich jak *Chondrus crispus* (mech irlandzki), *Kappaphycus alvarezii* i *Eucheuma denticulatum*. Jest to polimer galaktozy z zawartością estrów siarczanowych 20% lub więcej. Istnieją co najmniej trzy formy naturalne klasyfikowane na podstawie ilości siarczanów w cząsteczkach. Lambda ( $\lambda$ )-karagen ma ~35% grup estrowych siarczanów i jest rozpuszczalny na zimno, jota ( $\iota$ )-karagen ma ~32% grup estrowych siarczanów i jest mniej rozpuszczalny i kappa ( $\kappa$ )-karagen ma ~25% grup estrowych siarczanów i może tworzyć sztywne, termoodwracalne, bardzo wytrzymałe żele. Karageny są naładowane ujemnie, dlatego mogą być neutralizowane jonami potasu, sodu i wapnia. Te ekstrakty z czerwonych wodorostów nie występują w czystej postaci. Zamiast tego są sprzedawane jako mieszaniny, w których dominująca frakcja decyduje o klasyfikacji. W zastosowaniach do lodów, frakcje ( $\kappa$ )-karagenu są często używane nie jako główny stabilizator, ale jako drugorzędny hydrokoloid, aby zapobiec rozwarstwianiu się mieszanki, co jest stanem promowanym przez inne stabilizatory z powodu ich niezgodności w roztworze z białkami mleka. Dlatego jest zawarty w większości mieszanych preparatów stabilizujących w dawkach 0,01–0,015%. Przy wyższych stężeniach karagen zacząłby żelować i nie spełniałby dobrze swojej funkcji. Przy typowych poziomach stosowania, karagen ma bardzo mały wpływ na lepkość gorących mieszanek. Jednakże, gdy mieszanki stygną, ( $\kappa$ )-karagen ulega zmianie konformacyjnej z cewki do spirali w około 40°C. Forma spiralna tworzy struktury, które zwiększają lepkość i tworzą słaby żel, wzmocniony dodatkiem jonów potasu, który jest łatwo łamany przez ścinanie. W stanie spoczynku żel ten jest w stanie utrzymać w zawieszynie zdyspergowane cząstki (np. włókna kakaowe w mleku

czekoladowym). Po homogenizacji i schłodzeniu mieszanki, gdy micelle kazeinowe zaczynają się oddzielać od polisacharydów w roztworze, ten słaby żel ( $\kappa$ )–karagenu stabilizuje micelle kazeinowe, aby zapobiec dalszej separacji faz na poziomie wizualnym. Karageny kappa i jota reagują również elektrostatycznie z dodatnimi regionami ( $\kappa$ )–kazeiny, co przyczynia się do zapobiegania separacji faz poprzez oddziaływanie z siecią karagenu. Zjawiska te zwiększają odporność na separację faz bogatych w białka i polisacharydy w mieszankach lodowych. Może to stanowić szczególny problem w przypadku mieszanek do bezpośredniego spożycia lub szejków do zastosowań w restauracjach typu fast food, kiedy mieszanka musi mieć kilkudniowy okres przydatności do spożycia, a także w lodach podczas ich topnienia [Mahajan i in. 2022; Seo i Oh 2022].

**Mączka chleba świętojańskiego (LBG) (E410).** LBG pochodzi z ziaren starożytnego drzewa *Ceratonia siliqua* uprawianego głównie w okolicach morza śródziemnego. LBG jest polisacharydem składającym się ze szkieletu mannozowego z bocznymi odgałęzieniami galaktozy na około 1/4 jednostek mannozowych. Gałęzie boczne występują w blokach, dając LBG „gładkie” regiony wolnego szkieletu mannozowego i „włochate” regiony grup bocznych galaktozy. LBG jest tylko częściowo rozpuszczalna w zimnej wodzie i musi być podgrzana do temperatury  $>85^{\circ}\text{C}$ , aby w pełni się uwodnić. W roztworze pomiędzy dużymi gładkimi regionami szkieletu mogą tworzyć się silne wiązania wodorowe. W pewnych warunkach prowadzi to do tworzenia się żelu. LBG jest najlepszym stabilizatorem dla wielu zastosowań w lodach [Bessaire i in. 2021; Herald 2020].

**Guma guar (E412).** Guma guar jest pozyskana z nasion *Cyamopsis tetragonolba*. Zawarta jest w bielmie fasoli, w ilości około 80% wagowo. Guma guar ma podobną strukturę do LBG. Ma szkielet złożony z jednostek mannozy, z których około połowa ma boczne odgałęzienia galaktozy. Guma guar ma większą masę cząsteczkową niż LBG, a grupy boczne są bardziej równomiernie rozmieszczone. Większy udział jednostek galaktozy sprawia, że guma guar jest rozpuszczalna w zimnej wodzie ( $10\text{--}30^{\circ}\text{C}$ ). Obszary rdzenia, które są wolne od łańcuchów bocznych i są mniejsze niż w LBG. Wiązanie wodorowe między nimi nie jest więc na tyle silne, by tworzyć trwałe wiązania krzyżowe, ale powoduje powstawanie „hiper–związków”. Są one silniejsze niż sploty czysto topologiczne i odpowiadają za wysoką lepkość roztworów gumy guar w niskich stężeniach. Guma guar jest znacznie tańsza niż LBG [Mehditabar i in. 2020; Javidi i in. 2016].

**Ksantan (E415).** Ksantan jest wytwarzany przez bakterię *Xanthomonas campestris*. Jest to polisacharyd składający się z łańcucha reszt glukozy z naładowanymi grupami

bocznymi trisacharydów. Ksantan ma doskonałą rozpuszczalność i nadaje się do stosowania w produktach kwaśnych, np. w wodnych lodach. Jest polimerem przypominającym pręty. W roztworze pręty są skierowane w różnych kierunkach i oddziałują ze sobą tworząc słabą sieć. Gdy zastosuje się niewielkie ścinanie, wszystkie pręty ustawiają się w jednej linii i sieć zostaje przerwana. Po usunięciu ścinania, sieć się odbudowuje. W rezultacie lepkość roztworów ksantanu gwałtownie spada przy ścinaniu, ale szybko wraca do normy po usunięciu ścinania. Ta właściwość jest przydatna w sosach do lodów. Podczas dozowania, lepkość jest niska, ale jak tylko ustaną siły ścinające, lepkość znacznie wzrasta. Dzięki temu uzyskuje się sos, który pozostaje na miejscu po dozowaniu na produkt [Liu i in. 2018].

**Pektyna (E440).** Pektyna jest ekstrahowana ze skórki cytrusów i wycieków jabłkowych. Jest to polisacharyd składający się z liniowych łańcuchów kwasu galakturonowego i jednostek estru metylowego kwasu galakturonowego. Pektyny są klasyfikowane według stopnia estryfikacji. Pektyny wysokometylowane (>50% estryfikacji) i metoksyłu pektyny niskometylowane (<50%) posiadają różne właściwości. Na przykład pektyny niskometylowane wymagają wapnia do żelowania, natomiast pektyny wysokometylowane żelują w niskim pH i w obecności wysokich stężeń cukru. Pektyna wiążącym ma właściwości żelujące i stosowana jest w produkcji dżemów. Wszystkie owoce zawierają pektyny. Niektóre owoce, takie jak jabłka i agrest, zawierają zazwyczaj wystarczającą ilość naturalnej pektyny, aby utworzyć żel, podczas gdy w przypadku innych owoców, takich jak truskawki i wiśnie, konieczne jest dodanie pektyny w celu dżemu wytworzenia struktury żelu [Zhang i in. 2018].

**Żelatyna (E441).** Żelatyna jest mieszaniną wysokocząsteczkowych polipeptydów pochodzących z kolagenu z tkanki łącznej zwierząt. gumowatości pęcznieje w zimnej wodzie, a całkowite następuje w temperaturze powyżej 60°C. Jako substancja żelująca może być stosowana z innymi hydrokolidami. Tworzy elastyczny, zwięzły, gumowaty i termoodwracalny żel. Żel jest wrażliwy na oddziaływania mechaniczne. Żelatyna wykazuje dobrą stabilność podczas zamrażania [Ayudiarti i Oktavia 2020].

**Karboksymetyloceluloza (CMC) (E466).** CMC, znana również jako guma celulozowa, pochodzi z celulozy materiału roślinnego. Celuloza składa się z monomerów glukozy, ale nie jest trawiona przez organizm ludzki, ponieważ jest silnie usieciowana przez wiązania wodorowe. Aby uczynić ją rozpuszczalną i użyteczną jako składnik żywności, celuloza jest derywatyzowana poprzez dodanie składników grup bocznych, takich jak grupy karboksymetylowe, które otwierają strukturę szkieletową polimeru, ponieważ CMC jest

neutralizowana jonem, zwykle sodowym. Parametry istotne przy wyborze CMC do celów spożywczych obejmują stopień podstawienia grup karboksymetylowych (im bardziej podstawione, tym bardziej rozpuszczalne), jednorodność podstawienia (im bardziej przypadkowe podstawienie, tym bardziej tiksotropowe zachowanie w wodzie ze względu na obecność niepodstawionych regionów, które mogą oddziaływać ze sobą; tiksotropowe oznacza rozrzedzanie w czasie ścinania) oraz stopień polimeryzacji (im dłuższa cząsteczka, tym bardziej lepki roztwór). CMC łatwo rozpuszcza się w mieszance i ma wysoką zdolność do zatrzymywania wody, dlatego jest uważany za bardzo dobry stabilizator lodów [Brockow i in. 2021].

**Hydroksypropylometyloceluloza (HPMC) (E464).** HPMC jest rozpuszczalną w wodzie niejonową celulozową cząsteczką amfifilową [Petrovic i in. 2010; Pérez i in. 2008] o wysokiej aktywności powierzchniowej, która jest szeroko stosowana w przemyśle spożywczym, kosmetycznym i farmaceutycznym [Schulz i Daniels 2000]. Jej działanie zależy od segmentów lipofilowych przyczepiających się do granicy faz tłuszcz/woda oraz segmentów hydrofilowych rozciągających się do fazy wodnej. Wollenweber i in. (2000) określili powierzchnię zajmowaną przez zaadsorbowaną cząsteczkę HPMC oraz grubość zaadsorbowanej warstwy HPMC na granicy faz tłuszcz/woda. Tylko kilka segmentów polimeru jest zaadsorbowanych na granicy międzyfazowej. Z grubości tej struktury wywnioskowano, że zaadsorbowana powłoka jest wielowarstwowa, tak, że emulsje stabilizowane HPMC mają silną stabilność.

#### **2.2.4. Emulgatory**

W lodach stosuje się kilka rodzajów emulgatorów, z których najczęściej stosowane są mono- i diglicerydy. Mono- i diglicerydy są często stosowane samodzielnie, natomiast inne emulgatory, takie jak polisorbaty, Lactemy i estry mono- i diglicerydów z glikolem propylenowym (PGMS), są często stosowane w połączeniu z mono- i diglicerydami. Przy wyborze emulgatora czy mieszanki emulgatorów należy wziąć pod uwagę efekt jaki mają wywołać (termostabilność, interakcje ze składnikami mieszanki), przepisy prawne o emulgatorach dopuszczonych do stosowania oraz cenę [Golodnizky i Davidovich-Pinhas 2020; Amador i in. 2017].

Emulgatory obniżają napięcie powierzchniowe płynnych lodów [Jensen 2013]. Podczas napowietrzania i zamrażania lodów zachodzą następujące zmiany [Pei i Schmidt 2010; Goff 2002]:

- częstotliwość kolizji kuleczek tłuszczu wzrasta, a kryształki lodu wypychają kuleczki tłuszczu w mniejsze przestrzenie, co powoduje zmianę kształtu;
- zamrażanie wody może odvodnić zaadsorbowane błony białkowe, niszcząc w ten sposób kompleksy białko–emulgator;
- lepkość powierzchniowa i krystalizacja kuleczek tłuszczu mogą powodować unieruchomienie części lipofilowej emulgatora;
- zmienia się ogólna charakterystyka powłoki, tj. zwiększona kruchość i skłonność do pęknięcia. Po pęknięciu z kuleczki tłuszczowej wypływa płynny olej, którego część sprzyja aglomeracji częściowo uszkodzonych kuleczek.

Pewna ilość destabilizacji tłuszczu jest pożądana do pokrycia komórek powietrznych płynnym olejem, przy jednoczesnym zachowaniu wystarczającej liczby skupisk nienaruszonych kuleczek tłuszczu, aby zapewnić ciągłą matrycę białka w skoncentrowanej fazie niezamrożonej. Równowaga między aglomeracją pękniętych i nienaruszonych kuleczek tłuszczu daje pożądane właściwości lodów [Warren i Hartel 2018; Rybak 2016; Marshall i in. 2003].

Emulgatory hydrofilowe sprzyjają aglomeracji tłuszczu w lodach ze względu na słabą powłokę białkowo–emulgującą utworzoną wokół cząstek tłuszczu [Goff i Spagnuolo 2001; Koxholt i in. 2001].

Rozwój sieci koalescencyjnej zależy od stosunku tłuszczu stałego do płynnego w mieszance lodów na etapie zamrażania. Na ten stosunek wpływa rodzaj użytego tłuszczu, jak również emulgator, gdyż emulgator wspomaga zarodkowanie kryształów tłuszczu podczas dojrzewania mieszanki lodowej [Sung i Goff 2010; Lucas i in. 2005]. Emulgatory stosowane do produkcji lodów to:

**Mono– i diglicerydy kwasów tłuszczowych (E471).** Najczęściej stosowanymi emulgatorami do produkcji lodów są mono– i diglicerydy. Mono– i diglicerydy są mieszaninami monoglicerydów i diglicerydów. Podczas gdy tłuszcze są triglicerydami (tj. estrami glicerolu z trzema cząsteczkami kwasu tłuszczowego), monoglicerydy są estrami glicerolu z jedną cząsteczką kwasu tłuszczowego, a diglicerydy są estrami glicerolu z dwoma cząsteczkami kwasu tłuszczowego. Mono– i diglicerydy są aktywne powierzchniowo, ponieważ koniec glicerolu w cząsteczce jest hydrofilowy, a koniec kwasu tłuszczowego jest hydrofobowy. Podobnie jak w przypadku triglicerydów, różne kwasy tłuszczowe nadają mono– i diglicerydom różne właściwości. Mono– i diglicerydy są wytwarzane przez częściową hydrolizację tłuszczów roślinnych, takich jak olej sojowy

i olej palmowy. Zwykle zawierają 40–60% monoglicerydów wraz z diglicerydami i niewielką ilością triglicerydów. W pełni nasycone mono- i diglicerydy, które zawierają głównie kwasy stearynowy i palmitynowy, takie jak monostearynian glicerolu, są często używane do produkcji lodów i stanowią zwykle około 0,3% mieszanki lodowej [Kara i Yasemin 2019].

**Polisorbat 80 (E433).** Spośród polisorbatów, polisorbat 80 jest najczęściej stosowany w lodach. Rzadko stosuje się go samodzielnie ze względu na jego silne działanie, ale powszechnie stosuje się go w połączeniu z mono- i diglicerydami. Polisorbat 80 jest bardziej hydrofilny w porównaniu z mono- i diglicerydami i jest bardzo skuteczny w wypieraniu białek z błony kuleczek tłuszczowych. Dlatego też jest stosowany ze względu na jego zdolność do kontrolowania aglomeracji tłuszczu i tworzenia małych pęcherzyków powietrza. Wytwarza sztywność lodów wymaganą przy produkcji lodów ekstrudowanych i poprawia ich topnienie. Efekt końcowy w lodach uzyskany dzięki polisorbatowi 80 jest tego samego rodzaju, co efekt uzyskany dzięki zastosowaniu nienasyconych mono- i diglicerydów [Chazelas i in. 2021; Partridge i in. 2019; Lee i in. 2018].

**Mono- i diglicerydy estru kwasu mlekowego (LAKTEM) (E472b).** Ze względu na właściwości ubijania, stwierdzono, że estry kwasu mlekowego z mono- i diglicerydami (LACTEM) mają duży wpływ na stabilność napowietrzenia i pianki, gdy są stosowane w połączeniu z mono- i diglicerydami kwasów tłuszczowych w lodach. Bez estrów kwasu mlekowego z mono- i diglicerydami struktura w lodach o wysokim stopniu napowietrzenia jest bardzo puszysta i niestabilna, brakuje w nich kremowej konsystencji, ale stabilne lody o 150–185% napowietrzenia można wytworzyć przez dodanie estrów kwasu mlekowego z mono- i diglicerydami i jednoczesne zastosowanie wyższego ścinania we frezerze [Moonen i Bas 2014]. Dodatek estrów kwasu mlekowego z mono- i diglicerydów wpływa na właściwości topnienia lodów [Ludvigsen 2014].

**Monostearynian glikolu propylenowego (PGMS) (E477).** W lodach stosuje się monostearynian glikolu propylenowego (PGMS), ze względu na jego wpływ na wielkość wytworzonych kryształów lodu. Dodatek PGMS do lodów powoduje zmniejszenie wielkości kryształów lodu zarówno w lodach miękkich, jak i poddanych hartowaniu [Aleong i in. 2008]. Efekt ten jest widoczny tylko w przypadku zastosowania ścinania podczas procesu zamrażania, co powoduje silną interakcję pomiędzy kuleczkami tłuszczu, a przejściem międzyfazowym tłuszcz/woda, gdzie sugeruje się, że kuleczki tłuszczu blokują wzrost kryształów lodu [Barfod 2007]. Na wielkość kryształów lodu ma również wpływ skład mono- i diglicerydów użytych wraz z PGMS. Jakość użytego PGMS oraz mono-

i diglicerydów ma również znaczenie dla wielkości komórek powietrznych. Połączenie PGMS i nienasyconych mono- i diglicerydów tworzy mniejsze kryształki lodu niż PGMS i nasycone mono- i diglicerydy [Aleong i in. 2008].

### 2.3. Charakterystyka otrzymywania oleożeli

Tłuszcz jest jednym z podstawowych składników lodów i wpływa na ich cechy fizyczne oraz jakość sensoryczną i żywieniową. W procesach produkcyjnych często wykorzystuje się tłuszcze naturalnie stałe, które zawierają głównie nasycone lub nienasycone kwasy tłuszczowe w konfiguracji *trans*. Ich obecność wpływa pozytywnie na teksturę tłuszczów, jednak nadmierne spożywanie izomerów *trans* sprzyja występowaniu m.in. chorób układu krążenia. Większa świadomość konsumentów oraz zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia powodują, że producenci żywności poszukują rozwiązań w celu ograniczenia spożywania tłuszczów nasyconych [EFSA 2012; FAO 2010].

Powszechnie stosowane są trzy metody przekształcania olejów roślinnych w tłuszcze stałe. Są to uwodornienie, interesterefikacja i frakcjonowanie [Başoğlu 2006]. Proces uwodornienia dzieli się na 3 grupy, do których należą: uwodornienie pełne (całkowite wysycenie całych wiązań podwójnych w łańcuchach kwasów tłuszczowych), uwodornienie częściowe (w celu ustalenia temperatury topnienia tłuszczów poniżej temperatury otoczenia) oraz uwodornienie selektywne (reagowanie kwasów tłuszczowych w zależności od liczby ich wiązań podwójnych od 3 wiązań podwójnych do 1 wiązania podwójnego). Uwodornienie obejmuje 3 reakcje, którymi są wysycenie wiązań podwójnych między węglami, zmiana izomerów geometrycznych *cis* na izomery *trans* oraz tworzenie nowych izomerów pozycyjnych w łańcuchach kwasów tłuszczowych. Temperatura topnienia tłuszczów wzrasta poprzez nasycenie i izomeryzację (*cis* do *trans*). Chłodzenie uwodornionych tłuszczów poniżej ich temperatury topnienia toruje drogę do wstępnego efektu krystalizacji materiału [Marangoni i Rogers 2003; Marangoni 2000]. Technika interesterefikacji opiera się na zastąpieniu rodników kwasów tłuszczowych jako międzycząsteczkowych lub wewnątrzcząsteczkowych w cząsteczkach glicerydów bez przekształcania izomerów. Interesterefikacja ma dwa rodzaje, są to interfermentacja enzymatyczna i chemiczna. Proces frakcjonowania polega na oddzieleniu składników ciekłych lub stałych olejów, które mają wysokie temperatury topnienia za pomocą niskich temperatur topnienia i ma trzy rodzaje; chromatografii, krystalizacja frakcyjna i ekstrakcja w układzie ciecz–ciecz [Başoğlu 2006].

Oleożelacja jest obiecującą alternatywą utwardzania olejów bogatych w nienasycone kwasy tłuszczowe. Umożliwia ona zmianę ich konsystencji i nadanie olejom roślinnym struktury właściwej tłuszczom stałym, bez obecności w ich składzie nasyconych kwasów tłuszczowych i izomerów w konfiguracji *trans*. Proces ten pozwala na ograniczenie spożycia wymienionych związków, zwiększając tym samym jakość żywieniową produktów spożywczych.

Oleożele to oleje strukturalne przygotowywane w procesie oleożelizacji ciekłego oleju przy użyciu oleożelatorów, takich jak woski roślinne, monodiglicerydy, alkohole lub estry kwasów tłuszczowych, fosfolipidy i fitosterole [Pérez–Monterroza i in., 2014]. Wyniki badań związane z oleożelami wykazały, że mogą być stosowane w recepturach ciast, ciasteczek, produktów mięsnych, czekolad i lodów w celu obniżenia zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych. Cechy jakościowe badanych produktów zawierających oleożele były na akceptowalnym poziomie. Oleożele mogą być również stosowane do eliminacji niektórych wad jakościowych produktu, takich jak zapobieganie lub zmniejszanie migracji tłuszczu istotnej dla powstawania wykwitów tłuszczowych oraz zwiększania temperatury topnienia czekolady lub produktów czekoladopodobnych, jak również zmniejszanie zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych w odpowiednich produktach [Hughes i in. 2009].

Organożelacja lub oleożelacja to nowa definicja formowania ciekłych olejów w strukturę żelową. Oleożelacja ma szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach, takich jak farmacja, chemia spożywcza, czy kosmetyczna [Dassanayake i in. 2011; Marangoni i Garti 2011]. Polega na przekształceniu płynnych olejów w strukturę żelową, która posiada cechy (właściwości reologiczne, lepkość, sprężystość, smarowność, jędrność itp.) tłuszczu stałego, nie zawierając przy tym dużej ilości tłuszczów nasyconych [Patel i in. 2014; Co i Marangoni 2012; Stortz i in. 2012; Zulim Botega 2012; Rogers i in. 2009].

Oleożele można opisać jako złożony mikrostrukturalny układ, który umożliwia otrzymanie oleożeli o właściwościach zbliżonych do ciała stałego [Patel 2015] poprzez zdolność do zatrzymania płynnych olejów [Van Esch i Feringa 2000; Marangoni 2004] w trójwymiarowej, termoodwracalnej sieci żelowej z dodatkiem środka żelującego [Marangoni 2012; Sánchez i in. 2008; Stortz i in. 2014].

Historyczny rozwój oleożeli opiera się na określeniu żelu zdefiniowanym przez Thomasa Grahama w 1861 roku. Po 65 latach Jordan Lloyd stworzył definicję „stanu koloidalnego” lub „żelu”, która obecnie jest również szeroko stosowana. Zgodnie z definicją żelu Lloyda, wszystkie żele muszą mieć co najmniej dwa główne składniki, fazę ciekłą



i środek żelujący, a układ ten ma podobne właściwości mechaniczne jak ciało stałe [Marangoni i Garti 2011; Weiss i Terech 2006].

Oleozele powstają z 3 różnych układów, którymi są: (a) cząsteczki krystaliczne i struktury samoorganizujące się o małej masie cząsteczkowej, (b) struktury samoorganizujące się z polimerów lub nitek polimerowych oraz (c) różne struktury lub cząsteczki nieorganiczne [Patel 2015; Co i Marangoni 2012; Bot i in. 2009; Hughes i in. 2009; Perneti i in. 2007; Gronwald i in. 2002]. Podczas pierwszego formowania, żelowanie następuje poprzez uwięzienie ciekłej fazy olejowej w cząsteczkach triacylogliceroli (TAG) [Bot i in. 2007; Marangoni 2004]. Również diacyloglicerole (DAG), monoacyloglicerole (MAG) i kwasy tłuszczowe są zdolne do tworzenia podobnych struktur jak triacyloglicerole (TAG) [Patel 2015; Lupi i in. 2012; Calligaris i in. 2010; Da Pieve i in. 2010; Perneti i in. 2007; Wright i Marangoni 2006; Ojijo i in. 2004]. Samoorganizujące się sieci włókniste powstają dzięki zastosowaniu środka żelującego, który ma niską masę cząsteczkową [Abdallah 2000] jak fitosterole (oryzanol, kwas 12-hydroksystearynowy [Rogers i in. 2008] i kwas rycynolowy [Wright i Marangoni 2006]. Spiralne i skręcone krystaliczne wstęgi są otrzymywane przez ten układ [Patel 2015; Marangoni i Garti 2011; Sahoo i in. 2011]. W drugiej metodzie, żelowanie jest tworzone przez samoorganizujące się struktury, które wykorzystują polimer lub nici polimerowe, takie jak etyloceluloza [Patel 2015; Marangoni i Garti 2011]. Etyloceluloza, która jest hydrofobową celulozą, jest chemicznie otrzymana z celulozy. Polisacharydy i białka, które również są cząsteczkami hydrofobowymi, również mogą być wykorzystane jako środek żelujący [Patel 2015; Guenet 2008]. Ostatnia metoda, w której niektórzy badacze zastosowali cząstki nieorganiczne w celu uzyskania sieci żelowej, wykorzystali krzemionkę koloidalną do żelowania oleju słonecznikowego. Ogólne metody wytwarzania oleożelu, obejmują topienie oleożelatorów, podgrzanie olejów do temperatury topnienia oleożelatorów, mieszanie oleożelatora i oleju oraz chłodzenie powstałych żeli [Patel i Dewettinck, 2015].

Zdolność żelowania żelatorów różni się w zależności od składu kwasów tłuszczowych, masy cząsteczkowej i długości łańcucha acyloglicerolowych olejów jadalnych. Mniejsze ilości żelatorów mogą być stosowane podczas przygotowywania oleożeli z olejów roślinnych o wysokiej zawartości kwasu oleinowego, takich jak oliwa z oliwek, olej z otrębów ryżowych i wysokooleinowy olej słonecznikowy. Zastosowanie mniejszej ilości żelatorów może przynieść korzyści ekonomiczne. Z drugiej strony, zdrowy aspekt (wysoka zawartość wielonienasyconych kwasów tłuszczowych) i szeroka dostępność mogą być brane pod uwagę oprócz niskich kosztów i właściwości teksturalnych.

Podczas konwersji ciekłego oleju do substancji twardej konieczne jest jego unieruchomienie, co osiąga się za pomocą oleożelatorów, czynników strukturyzujących, odpowiedzialnych za tworzenie trójwymiarowej sieci. Szeroko stosowane oleożelatory to woski roślinne, monodiglicerydy, alkohole lub estry kwasów tłuszczowych, fosfolipidy i fitosterole [Pérez–Monterroza i in., 2014]. Stężenie organożelatorów niższe niż 0,5% jest odpowiednie do żelowania rozpuszczalnika organicznego [Hughes i in. 2009]. Jednak w zastosowaniach spożywczych preferowany jest wyższy poziom, w zależności od oczekiwanych cech jakościowych oleożeli. Oleożelatory powinny zazwyczaj charakteryzować się następującymi właściwościami:

- obecnością części lipofilowych i wchodzących w interakcje;
- aktywnością powierzchniową;
- właściwościami termoodwracalnymi;
- naturalnym pochodzeniem;
- powinny być uznane za bezpieczne (*Generally Recognized as Safe – GRAS*) [Doan i in. 2015; Patel i in. 2013].

Zachowanie żelujące oleożelatorów klasyfikuje się w czterech grupach jako następujące [Patel i Dewettinck 2015]:

a) cząsteczki krystaliczne:

- woski naturalne: wosk Carnauba [Airoldi i in. 2022]; wosk Candelilla [Lim i in. 2017]; wosk słonecznikowy [Holey i in. 2020]; wosk pszczeli [Barragán–Martínez i in. 2022]; wosk jagodowy [Doan i in. 2017]; wosk owocowy [Okuro i in. 2018]; wosk szelakowy [Puşcaş i Mureşan 2022]; guma ksantanowa [Ghasemi i in. 2021]; wosk z otrębów ryżowych [Zulim Botega i in. 2013];
- monoacyloglicerole (MAG) i diacyloglicerole (DAG) [Lopez–Martínez i in. 2015],
- kwasy tłuszczowe oraz alkohole tłuszczowe: policosanol [Tian i Acevedo 2018]; cholesterol [Almeida i Bahia 2006]; D–limonen i średniołańcuchowy trygliceryd [Zahi i in. 2015]; kwasy dikarboksyłowe [Gandolfo i in. 2004];

b) samoorganizujące się struktury ze związkami małowcząstkowymi:

- samoorganizujące się sieci włókniste tworzące kwasy tłuszczowe: kwas hydroksystearynowy [Sagiri i in. 2015]; kwas rycynowy [Wright i Marangoni 2006]; sfingolipidy [Domingues i in. 2015],

- fitosterole i estry steroli: monostearynian sorbitanu, tristearynian sorbitanu;  $\gamma$ -oryzanol i  $\beta$ -sitosterol [Moriano i Alamprese 2017]; lecytyna i tristearynian sorbitanu; fosfolipidy i tokoferole;  $\alpha$ -tokoferol i lecytyna [Okuro i in. 2018];
- c) samoorganizujące się struktury polimerów: etyloceluloza [Liu i in. 2020b; Munk i in. 2018]; metyloceluloza; hydroksypropylometyloceluloza [Nazarewicz i in. 2022; Żbikowska i in. 2017]; chitozan i chityna [Nikiforidis i Scholten 2015]; żelatyna [Saffold i Acevedo 2021]; etylenowo-winylocetatekopolimer [Martín-Alfonso i Franco 2015]; homopolimer Isoplen PP 070 [Martín-Alfonso i Franco 2015]; białka hydrofilowe; białka hydrofobowe,
- d) różne struktury lub cząsteczki nieorganiczne: krzemionka koloidalna [Patel 2015]; żele HIPE: polirycynooleinian glicerolu i mączka chleba świętojańskiego [Patel i Dewettinck 2015].

Zastosowanie oleożeli (organożeli) zarówno w przemyśle, jak i w nauce, stopniowo wzrasta [Airoldi i in. 2022; Dassanayake i in. 2011; Marangoni i Garti 2011] ze względu na ich obiecujące właściwości. Głównym celem stosowania oleożeli w przemyśle spożywczym jest zmniejszenie zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych, ponieważ ich nadmierne spożycie wiąże się z wieloma problemami zdrowotnymi, takimi jak otyłość, choroby układu krążenia, zespół metaboliczny i cukrzyca [Gravelle i in. 2014; Marangoni i Garti 2011]. Stosowane w przemyśle spożywczym tłuszcze stałe są wątpliwe dla zdrowia człowieka ze względu na zawartość nasyconych kwasów tłuszczowych. Zastosowanie oleożeli w przetworzonej żywności zamiast tłuszczów stałych wytwarzanych w procesach uwodornienia, estryfikacji i frakcjonowania wzrosło z powodu niekorzystnego wpływu spożycia nasyconych kwasów tłuszczowych. Jednak przydatność do spożycia produktów zależy również od innych pożądaných parametrów jakościowych, jak również od korzystnych efektów zdrowotnych.

## **2.4. Charakterystyka olejów wykorzystanych w badaniach**

### **2.4.1. Olej z nasion sezamu**

Sezam (*Sesamum indicum L.*) jest krótkotrwałą rośliną uprawianą przez cały rok, należąca do rodziny *Pedaliaceae*. Nazywany jest "Królową nasion oleistych" ze względu na doskonałe właściwości nasion, oleju i mączki [Johnson i in. 2011]. Sezam jest jedną z najważniejszych roślin oleistych, uprawianą w Indiach, Sudanie, Chinach i Birmie, które są głównymi krajami produkującymi sezam, przyczyniając się do 60% światowych zbiorów

[Majdalawieh i Mansour 2019]. Nasiona sezamu zawierają 50% oleju i 25% białka. Nasiona brązowe lub czarne są cenione bardziej ze względu na pozyskiwanie oleju, natomiast białe są bogate w żelazo. Nasiona sezamu mają właściwości trawienne, odmładzające, przeciwstarzeniowe, są bogate w witaminy E, A i z grupy B oraz minerały takie jak: wapń, fosfor, żelazo, miedź, magnez, cynk i potas. Olej bogaty w kwas linolowy może być łatwo uwodorniony do tłuszczów o średniej temperaturze topnienia, między innymi stosowanych w margarynach, co czyni sezam niemal idealnym pożywieniem [Onsaard 2012]. Mączka lub wyłok sezamowy jest produktem ubocznym po ekstrakcji oleju. Odtłuszczona mączka sezamowa jest dobrym źródłem składników odżywczych, zawiera około 50% białka. Jedną z głównych cech tego białka jest wysoka zawartość metioniny i tryptofanu [Bandyopadhyay i Ghosh 2002], która odróżnia sezam od innych nasion oleistych. Mączka ta ma duży potencjał do wykorzystania jako źródło białka lub jako składnik w przemyśle spożywczym [Bukya i Vijayakumar 2013].

#### **2.4.2. Olej z awokado**

Awokado (*Persea americana Mill.*) to owoc pochodzący z Ameryki Środkowej, uprawiany w ciepłym klimacie umiarkowanym i subtropikalnym na całym świecie. Owoc zawiera około 60% oleju w miąższu, 7% skórki i około 2% z pestki [Tan i in. 2017]. Głównymi producentami oleju z awokado na świecie są Nowa Zelandia, Meksyk, Stany Zjednoczone, RPA i Chile [Berasategi i in. 2012]. Olej z awokado wzbudza coraz większe zainteresowanie w żywieniu człowieka, przemyśle spożywczym i kosmetyce. Zawartość lipidów, głównie jednonienasyconych kwasów tłuszczowych, wiąże się z korzyściami dla układu sercowo–naczyniowego i działaniem przeciwzapalnym [Carvajal–Zarrabal i in. 2014a; Carvajal–Zarrabal i in. 2014b]. Nie ma zdefiniowanych międzynarodowych parametrów dla oleju z awokado. Powszechnie stosowane są wartości zalecane dla oliwy z oliwek. Standard jakościowy dla oliwy z oliwek dostępny jest w Codex Alimentarius i Międzynarodowej Radzie Oliwy z Oliwek (IOC) [Di Stefano i in. 2017]. Woolf i in. (2009) zaproponowali klasyfikację dla oleju z awokado na podstawie metody ekstrakcji i jakości owoców. Olej z awokado typu „extra virgin”, odpowiada olejowi wyprodukowanemu z owoców wysokiej jakości, pozyskiwanemu wyłącznie metodami mechanicznymi, przy zastosowaniu temperatury poniżej 50°C i bez użycia rozpuszczalników chemicznych. Olej z awokado typu „virgin” jest produkowany z owoców niższej jakości (z małymi obszarami gnicia i zmianami fizycznymi), ekstrahowanych metodami mechanicznymi, przy użyciu

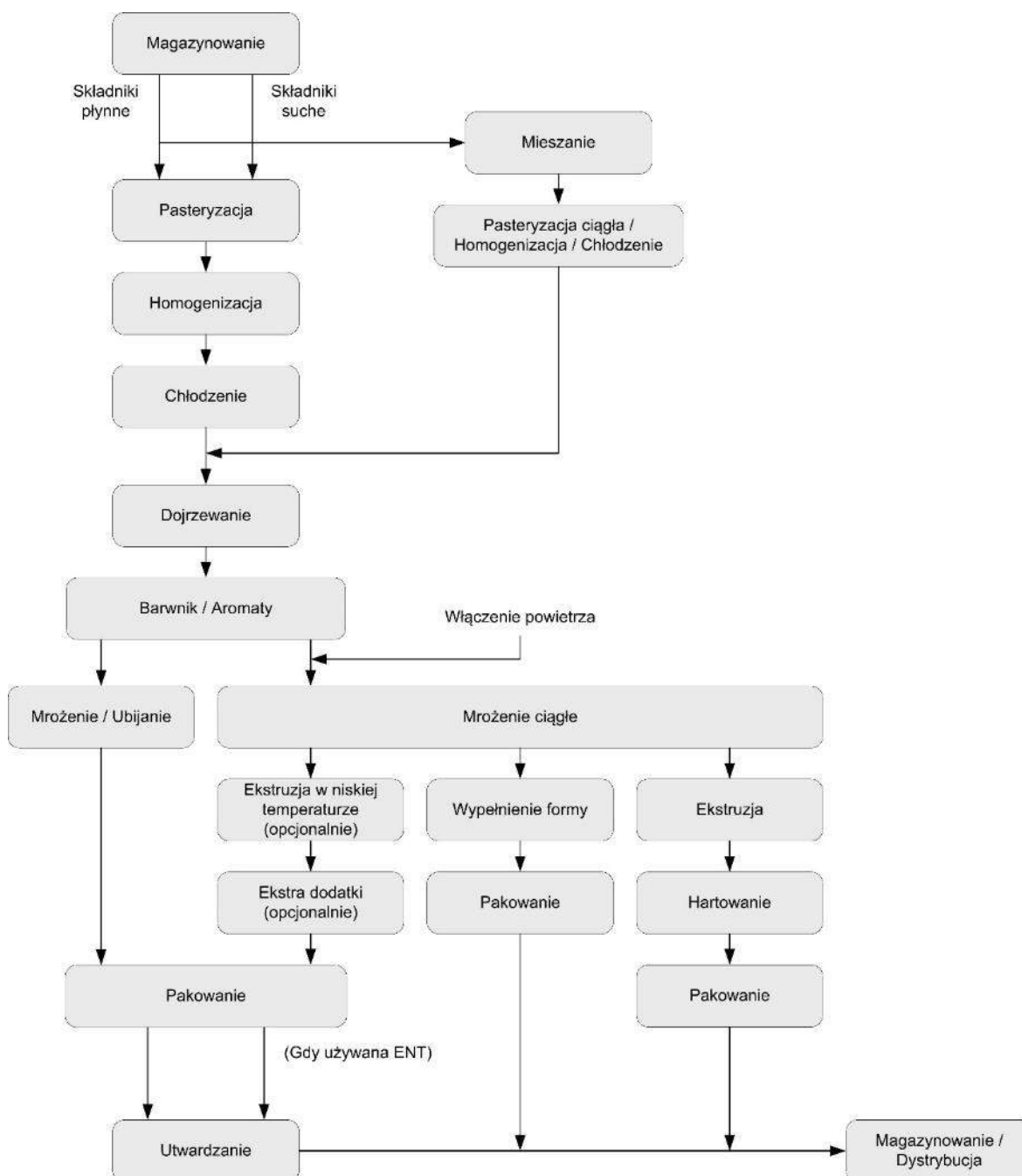
temperatury poniżej 50°C i bez użycia rozpuszczalników chemicznych. Olej z awokado typu „pure” to rodzaj oleju, do produkcji którego jakość owoców nie jest ważna; jest to olej bielony i dezodoryzowany, nasycony naturalnym smakiem ziół lub owoców [Wong i in. 2010]. Norma meksykańska [NM 2008] podaje, że „surowy olej z awokado” jest cieczą tłuszczową o lekko bursztynowej barwie, otrzymywaną w wyniku fizycznej ekstrakcji miąższu i pestki owocu (*Persea americana Mill.*). Olej z awokado typu „pure” to produkt zawierający co najmniej 98,5% rafinowanego oleju z awokado. Oleje z pierwszego tłoczenia mają wysoką zawartość chlorofilu i duże ilości innych rozpuszczalnych barwników (karotenoidów), co nadaje olejowi charakterystyczny brązowo-zielony lub szmaragdowo-zielony kolor [Woolf i in. 2009]. Wysoka zawartość chlorofilu sprawia, że olej jest bardzo podatny na efekty utleniania przy ekspozycji na światło i z tego powodu musi być pakowany w ciemne butelki [Finau 2007; Woolf i in. 2009].

### **2.4.3. Olej z pestek winogron**

Pestki winogron (*Vitis vinifera L.*) to między innymi produkt uboczny produkcji wina. Mogą być źródłem oleju i powstałej w jego wyniku mączki bogatej w związki fenolowe. Ponieważ pestki winogron są zwykle odrzucane w procesie produkcji wina, ekstrakcja i sprzedaż może być efektywnym wykorzystaniem produktów ubocznych. Olej z pestek winogron znany jest ze swoich korzystnych wartości odżywczych dzięki wysokiej zawartości kwasu linolowego (ok. 65%). Może być stosowany do smażenia potraw (ma bardzo wysoką temperaturę dymienia) lub wchodzić w skład dressingów i sosów, a także do kosmetyków, gdyż ma właściwości nawilżające skórę. Ponieważ z każdej pestki uzyskuje się niewielką ilość oleju, olej z pestek winogron jest zwykle ekstrahowany rozpuszczalnikiem [Matthäus 2008]. Ekstrakt z pestek winogron, otrzymywany zwykle w procesie ekstrakcji ciała stałe-ciecz różnymi rozpuszczalnikami z odtłuszczonych pestek, ma charakterystyczny profil flawanolowy [Karvela 2009] i wyjątkową zawartość polifenoli ogółem, która może sięgać nawet 13,8% w przeliczeniu na suchą masę [Pezzuto 2008]. Związki te cieszą się dużym zainteresowaniem przemysłu spożywczego i farmaceutycznego ze względu na korzyści, jakie przynoszą jako związki o działaniu przeciwstarzeniowym, przeciwzapalnym, antykancerogennym, antymutagennym, przeciwrzodowym oraz ze względu na to, że są związane ze zmniejszonym ryzykiem chorób układu krążenia [Da Porto i in. 2013; Leifert i Abeywardena 2008].

## 2.5. Technologia produkcji lodów

Proces produkcji deserów lodowych jest podobny i obejmuje przygotowanie płynnej mieszanki; dynamiczne ubijanie i zamrażanie do miękkiej, częściowo zamrożonej zawiesziny; włączenie dodatkowych składników; pakowanie lub formowanie produktu oraz



Rys. 2.4. Schemat technologiczny produkcji lodów [Goff i Hartel 2013]

dalsze hartowanie (rys. 2.4). Płynną mieszankę przygotowuje się poprzez wymieszanie pożądaných składników, a następnie pasteryzację (okresową lub ciągłą), homogenizację i dojrzewanie. Pasteryzacja okresowa jest bardzo popularna ze względu na łatwość

mieszania składników. Frezery ze skrobakiem są używane do pierwszego etapu zamrażania (zwykle w temperaturze  $-5^{\circ}\text{C}$ ). Frezery ciągle dominują w przemyśle przetwórczym na średnią i dużą skalę produkcyjną, natomiast frezery okresowe ograniczają się do małych przetwórców, sprzedawców detalicznych, w tym restauracji, oraz zastosowań związanych z rozwojem produktu. Zamrażarki z wymuszonym obiegiem powietrza, takie jak tunele powietrzne lub zamrażarki płytowe są używane do drugiego etapu zamrażania, aby obniżyć temperaturę lodów od  $-25$  do  $-30^{\circ}\text{C}$ . Materiały aromatyzujące, które są jednorodne w całym produkcie, są dodawane przed pierwszym etapem zamrażania, natomiast materiały aromatyzujące, które pozostaną odrębne w produkcie (owoce, orzechy, cukierki lub kawałki pieczywa) są dodawane po pierwszym etapie zamrażania. Lody typu włoskiego lub na patyku są wytwarzane poprzez formowanie miękkich mrożonych lodów lub ekstruzję i cięcie sztywnych mrożonych lodów z zamrażarek ciągłych.

### **2.5.1. Dozowanie i mieszanie składników**

Pierwszym etapem w produkcji lodów jest przygotowanie mieszanki. Proces mieszania ma na celu połączenie, rozproszenie i uwodnienie (rozpuszczenie) składników w jak najkrótszym czasie przy optymalnym zużyciu energii [Kilara i Chandan 2015]. Składniki muszą być dozowane w dokładnych ilościach, w określonej kolejności, aby osiągnąć optymalną i stałą jakość mieszanki oraz maksymalne wykorzystanie składników. Składniki sypkie są zazwyczaj dozowane do zbiornika mieszanki automatycznie, podczas gdy mniejsze ilości są ważone i dozowane ręcznie. Zbiornik mieszanki posiada środki do podgrzewania mieszanki, mieszadło wspomagające mieszanie oraz jest zwykle izolowany, aby zminimalizować straty ciepła. Ogrzewanie i mieszanie są starannie kontrolowane, tak aby składniki były skutecznie rozproszone i rozpuszczone oraz aby składniki wrażliwe na ciepło nie zostały uszkodzone.

Składniki płynne (woda, mleko, śmietana itp.) są dozowane jako pierwsze, po czym rozpoczyna się ogrzewanie i mieszanie. Tłuszcze stałe są topione przed dodaniem. Następnie dodaje się suche składniki (cukry, stabilizatory, mleko w proszku itp.). Stabilizatory są najtrudniejszymi do rozpuszczenia składnikami. Aby ułatwić ich rozpuszczanie, miesza się je na sucho, z co najmniej taką samą ilością cukru przed dodaniem do zbiornika mieszania. Mieszanka ta jest dodawana powoli do zbiornika, aby zapewnić równomierne rozproszenie i uniknąć tworzenia się grudek niecałkowicie rozpuszczonego stabilizatora. Mleko i serwatka w proszku są również dodawane powoli, aby zapobiec tworzeniu się

grudek. Produkty mleczne, szczególnie białka serwatkowe, ulegają denaturacji w wysokich temperaturach, dlatego w momencie ich dodawania mieszanka nie powinna być cieplejsza niż 85°C. Barwniki i aromaty są zwykle dodawane na tym etapie, chyba że są wrażliwe na ciepło, w takim przypadku są wprowadzane po pasteryzacji [Kilara i Chandan 2015].

Po dodaniu wszystkich składników, mieszanina powinna być jednorodna i mieć temperaturę około 65°C lub wyższą. Siły ścinające pochodzące z mieszania powodują powstanie gruboziarnistej emulsji typu olej w wodzie ze stosunkowo dużymi kroplami tłuszczu (o średnicy około 10 µm).

### 2.5.2. Pasteryzacja i homogenizacja

Właściwa pasteryzacja polega na szybkim podgrzaniu do określonej minimalnej temperatury, utrzymaniu tej temperatury przez określony czas, a następnie szybkim schłodzeniu do <5°C. Pasteryzacja wprowadza substancje stałe do roztworu, pomaga w mieszanii poprzez topienie tłuszczu i zmniejszanie lepkości, poprawia smak większości mieszanek, przedłuża trwałość do kilku tygodni oraz zwiększa jednorodność produktu.

Istnieją dwie podstawowe metody pasteryzacji: okresowa lub niskotemperaturowa długotrwała prowadzona w temperaturze 69°C przez 30 minut (LTLT – *Low – Temperature – Long – Time*) oraz ciągła lub wysokotemperaturowa krótkotrwała prowadzona w temperaturze 80°C przez 25 sekund lub w temperaturze 83°C przez 15 sekund (HTST – *High – Temperature – Short – Time*) [Marshall i in. 2003].

W metodzie okresowej mieszanka jest zwykle mieszana w zbiorniku o podwójnych ścianach (z płaszczem). Mniejsze zbiorniki są zwykle wyposażone w mieszadło łopatkowe, podczas gdy większe mogą wymagać mieszadła z przegrodami, aby zapewnić dobre mieszanie i wymianę ciepła. Podczas procesu pasteryzacji, ciepło jest stosowane, poprzez cyrkulację gorącej wody między podwójnymi ścianami zbiornika, podczas gdy składniki są dodawane i mieszane. Po dodaniu wszystkich składników do zbiornika i osiągnięciu minimalnej temperatury 65°C (155°F), lub wyższej, jeśli jest to pożądane, rozpoczyna się czas pasteryzacji. Po upływie minimalnego czasu ogrzewania wynoszącego 30 minut, mieszanina jest pompowana przez homogenizator, a następnie do urządzenia o ciągłym chłodzeniu, jakim jest płytowy wymiennik ciepła. Tylko w bardzo małych zakładach mieszanka jest chłodzona w zbiorniku technologicznym. Ogrzewanie i chłodzenie w zbiorniku znacznie zwiększa całkowitą obróbkę cieplną, co powoduje stosunkowo dużą intensywność smaku gotowej mieszanki. Zwiększona hydratacja białek i stabilizatorów



wywołana metodą LTLT może nadać lepszą konsystencję i teksturę, zwiększyć odporność na szok termiczny i skrócić czas potrzebny do starzenia się mieszanki [Mohan i in. 2014].

Pasteryzacja ciągła może być prowadzona w kilku kombinacjach temperatury i czasu. Pasteryzatory o przepływie ciągłym ułatwiają stosowanie regeneracyjnego ogrzewania i chłodzenia, co w konsekwencji prowadzi do dużych oszczędności kosztów energii. Większość pasteryzatorów o przepływie ciągłym składa się z szeregu równoległych płyt o powierzchniach rowkowanych lub gofrowanych. Ciepło jest wymieniane z cieplejszej cieczy przepływającej w jednym kierunku przepływu po jednej stronie płyt do cieczy chłodniejszej przepływającej w odwrotnym kierunku przepływu po przeciwnej stronie tych samych płyt. Inne wymienniki ciepła o przepływie ciągłym obejmują konstrukcje dwururowe, trójrurowe i z wtryskiem pary. W takich systemach konieczne są kontrole w celu zapewnienia, że w mieszance pozostaje właściwa ilość całkowitych substancji stałych.

Zastosowanie obróbki cieplnej zmniejsza ilość potrzebnego stabilizatora nawet o 25%, poprawia gęstość i teksturę ze względu na denaturację białek i wynikający z tego wzrost ich zdolności do zatrzymywania wody oraz zwiększa odporność na utlenianie.

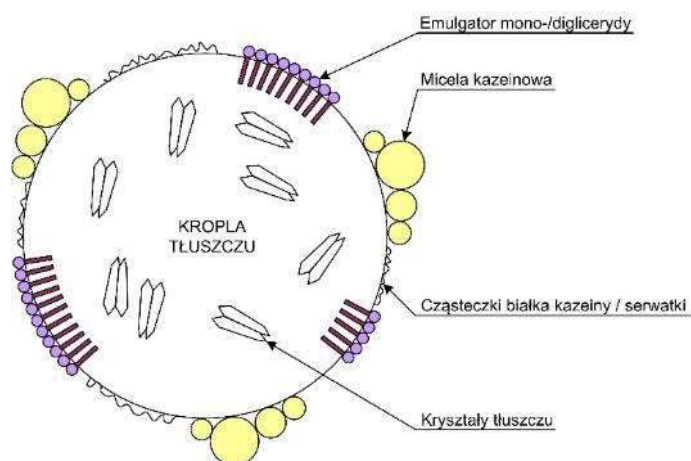
W homogenizatorze gorąca mieszanka ( $>70^{\circ}\text{C}$ ) jest wtłaczana przez mały zawór pod wysokim ciśnieniem (zwykle do około 15,20 MPa). Duże krople tłuszczu są wydłużane i rozbijane na drobną emulsję o znacznie mniejszych kroplach (o średnicy około 1  $\mu\text{m}$ ), co znacznie zwiększa powierzchnię tłuszczu. Czasami stosuje się drugi etap homogenizacji przy niższym ciśnieniu (około 3,55 MPa), aby zmniejszyć grupowanie się małych kropeł tłuszczu po pierwszym etapie. Homogenizacja pod bardzo wysokim ciśnieniem (do 202,65 MPa) pozwala uzyskać jeszcze mniejsze kropelki tłuszczu, a zatem większą powierzchnię tłuszczu w danej objętości. Pozwala to na bardziej efektywne wykorzystanie tłuszczu, co może mieć wiele korzyści. Na przykład w mieszankach o niskiej zawartości tłuszczu sprawia to, że pęcherzyki powietrza są bardziej stabilne, a tym samym zmniejsza się szybkość topnienia [Akdeniz i Akalın 2019].

Po homogenizacji, białka mleka łatwo adsorbują się na powierzchni kropli tłuszczu. Białka są w większości zaadsorbowane po wodnej stronie powierzchni międzyfazowej tłuszcz/woda, z hydrofobowymi częściami na granicy faz. Wolna kazeina, micelle kazeinowe i serwatka mają różne aktywności powierzchniowe, więc adsorbują się w różny sposób na kropelkach tłuszczu, np. kazeina adsorbuje się bardziej niż serwatka. Białka są bardzo dobre w stabilizowaniu emulsji typu olej w wodzie przed koalescencją, ponieważ zapewniają mocną, grubą membranę wokół kropli tłuszczu.

Po pasteryzacji i homogenizacji mieszanka jest chłodzona w trzech etapach. Najpierw ciepło jest przekazywane do napływającej mieszanki ze zbiornika mieszającego, następnie jest ona chłodzona wodą, na końcu jest chłodzona do temperatury 4°C za pomocą glikolu. Schłodzoną mieszankę poddaje się procesowi dojrzewania.

### 2.5.3. Dojrzewanie

Podczas dojrzewania zachodzą dwa ważne procesy. Emulgatory adsorbują się na powierzchni kropelek tłuszczu, zastępując część białka mleka (rys. 2.5). Proces ten jest wspomagany w taki sposób, że podczas schładzania mieszanki mono-/diglicerydy zaczynają krystalizować, przez co stają się bardziej hydrofobowe i silniej przylegają do kropeł tłuszczu.



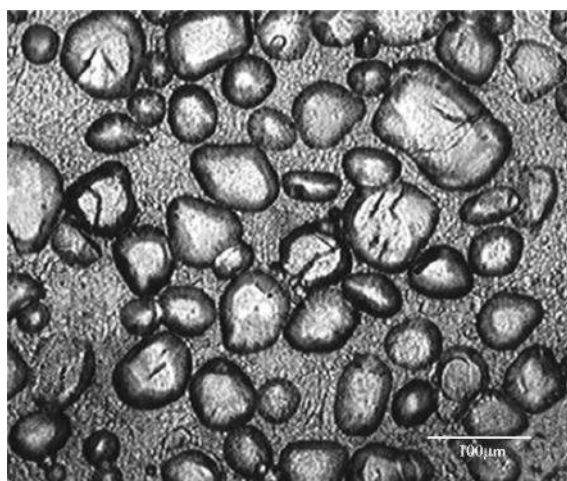
Rys. 2.5. Schemat kroplek tłuszczu podczas dojrzewania, obrazujący adsorpcję białek mleka oraz emulgatorów na powierzchni kropli tłuszczu oraz krystalizację tłuszczu

Ponadto, tłuszcz wewnątrz kropelek zaczyna krystalizować. Istotne jest, aby dojrzewanie trwało wystarczająco długo, aby nastąpiła krystalizacja i aby emulgatory wyparły część białka, ponieważ oba te procesy wpływają na kolejny etap produkcji lodów. Czas dojrzewania, a co za tym idzie stopień krystalizacji tłuszczu i adsorpcji emulgatora, zależy od rodzaju mieszanki i celu, w jakim ma być wykorzystana. Mieszanki przeznaczone na produkty ekstrudowane muszą dojrzewać przez minimum 6 h, ponieważ prowadzi to do większej częściowej koalescencji, a tym samym sztywniejszych lodów. Dla większości mieszanek lodowych czas dojrzewania powinien wynosić 2–4 h. Czas dojrzewania może również zależeć od rodzaju użytego tłuszczu: tłuszcze o dużej zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych mają tendencję do krystalizacji szybciej i w większym stopniu niż tłuszcze mniej nasycone. Proces dojrzewania wykonywany jest w zbiornikach

z płaszczem wodnym, gdzie żądana temperatura utrzymywana jest za pomocą wody lodowej. Mieszanka lodowa jest substancją, wielofazową, dlatego podczas dojrzewania konieczne jest jednostajne i powolne mieszanie, aby nie uległa ona rozwarstwieniu. Wchłanianie wody przez stabilizatory powoduje, że mieszanka zwiększa swoją lepkość. Woda wolna zostaje związana przez struktury, w efekcie czego podczas zamrażania nie powstają większe kryształy lodu, a napowietrzanie jest bardziej efektywne [Innocente i in. 2009].

#### 2.5.4. Proces zamrażania

Zamrażanie mieszanki lodowej jest jednym z najważniejszych procesów w produkcji lodów, wpływa na ich jakość, smak i wydajność. Zamrażanie z napowietrzaniem mieszanki lodowej ma na celu jej utwardzenie i nadanie odpowiednich właściwości. Podczas procesu zamrażania w wyniku odprowadzenia ciepła, następuje obniżenie temperatury lodów w zakresie od  $-3^{\circ}\text{C}$  do  $-6^{\circ}\text{C}$  oraz powoduje napowietrzenie ich od 30% do 150%. Podczas zamrażania znajdująca się woda w mieszance ulega krystalizacji. Odpowiednia szybkość zamrażania determinuje wielkość powstałych kryształków lodu. Powolne zamrażanie lodów może powodować powstanie gruboziarnistość i szorstkość wyczuwalnej w ustach. Średnica kryształków lodów powinna być poniżej  $40\ \mu\text{m}$  (rys. 2.6). [Park i in. 2015].



Rys. 2.6. Kryształy lodu w lodach

Proces zamrażania oddziałuje na emulsje tłuszczową powodując jej częściową destabilizację. Ulega również uszkodzeniu błona tłuszczu będących w formie kuleczek w następstwie, czego zachodzi ich częściowa aglomeracja i koalescencja. Zjawisko to jest pożądanym, ponieważ ta częściowa deemulgacja powoduje rozplątanie się tłuszczu nadając lodom właściwą sztywność. Po zastygnięciu mieszanka ma, półpłynną konsystencję,

a temperatura może osiągać wartość  $-10^{\circ}\text{C}$ , a wymrożenie ulega od 50 do 60% wody w mieszance. Podczas procesu hartowania wymrożeniu ulega 85% wody. Zamrażanie mieszaniny odbywa się maszynami o działaniu ciągłym, które równocześnie obniżają temperaturę, jednocześnie ją mieszając. Następuje wtedy napowietrzenie mieszanki. Optymalna wielkość pęcherzyków powietrza wynosi od  $60\ \mu\text{m}$  do  $100\ \mu\text{m}$  i gwarantuje to właściwą teksturę i konsystencję lodów [Góral i in. 2018; Kamińska–Dwórznička i in. 2015; Alonso i in. 2011].

### **2.5.5. Hartowanie**

Hartowanie lodów jest etapem, który ma za zadanie utwardzenie lodów miękkich do postaci stabilnej podczas przechowywania. Odbywa się to w temperaturze od  $-15^{\circ}\text{C}$  do  $-25^{\circ}\text{C}$ . Etap ten jest konieczny do długotrwałego przechowywania lodów. Lody po zamrażaniu są produktem w pełni wartościowym do spożycia, jednak w tym stanie nie mogą być zarówno przechowywane, a tym bardziej transportowane. Istotą hartowania jest wymrożenie pozostałej wody od 80 do 90%. W przypadku hartowania ważna jest szybkość odbierania ciepła. Nie może być ona mniejsza niż  $1^{\circ}\text{C}$  na godzinę. Wydłużenie czasu zamrażania może spowodować niekorzystne zmiany w strukturze lodów. Osiągnięcie zbyt niskiej temperatury końcowej lub przerywanie procesu będzie powodowało nadanie lodom cechy gruboziarnistości. Parametry intensywności hartowania lodów muszą uwzględniać takie czynniki jak: kształt oraz wielkość opakowania jednostkowego lodów, powierzchnię kontaktu opakowania z elementem chłodzącym, rodzaj i temperaturę czynnika chłodzącego oraz przewodność cieplną materiału opakowania.

Lody są schładzane tak szybko, jak to możliwe, do temperatury przechowywania poniżej  $-25^{\circ}\text{C}$ . Temperatury i czasy chłodzenia zależą od typu zamrażarki. Szybkie chłodzenie sprzyja szybkiemu zamarzaniu wody i tworzeniu się małych kryształków lodu. Przechowywanie w temperaturze  $-25^{\circ}\text{C}$  pomoże ustabilizować kryształki lodu i zachować jakość produktu.

## **2.6. Charakterystyka ultradźwięków**

Ultradźwięki są to fale dźwiękowe o częstotliwości od 20 kHz do 1 GHz. Granica ta jest wartością umowną. Powyżej są to hiperdźwięki. Człowiek słyszy fale dźwiękowe w zakresie od 1 Hz do 20 kHz, fale ultradźwiękowe wykraczają poza zakres słyszalności [Bang i Suslick 2010; Chemat i in. 2011; Śliwiński 2000]

Fale ultradźwiękowe można wytwarzać sztucznie. Rozróżniamy kilka metod:

**Metoda mechaniczna**, która w pierwotnie wykorzystywała generatory ultradźwięków wyposażone w układy drgające, posiadające w swojej budowie struny, płytki sprężyste lub piszczalki. Układy te charakteryzują się wysoką mocą akustyczną, jednak fala akustyczna ma niską częstotliwość. Metoda ta jest głównie wykorzystywana w chemii do wytwarzania emulsji. W celu otrzymania szerszego zakresu widma stosuje się zjawisko tarcia pomiędzy materiałami o zróżnicowanej chropowatości. Zakres długości fali w takim przypadku uzależniony od wzajemnej prędkości ruchu dwóch ciał. Najczęściej jednak do otrzymywania fali ultradźwiękowej wykorzystuje się metody udarowe, polegające na uderzaniu o siebie dwóch ciał. Ma to na celu wytworzenie wewnętrznej fali sprężystej. Widmo ultradźwiękowe w takim przypadku jest odwrotnie proporcjonalne do masy ciała uderzającego. Natomiast do wygenerowania ultradźwięków o widmie z zakresu od 1 MHz do 1,5 MHz wykorzystuje się strumień jonów lub elektronów do wzbudzania ciał stałych lub strugę cząstek fizycznych poruszanych sprężonym powietrzem.

**Metoda termiczna** wykorzystuje wyładowania elektryczne w ośrodkach płynnych lub gazowych przez impulsowe zmiany temperatury przewodników prądu znajdujące się w danym ośrodku. Metoda ta umożliwia generowanie fali akustycznej dużej mocy. Najczęściej do wytworzenia ultradźwięków wykorzystywana jest modulacja napięcia w przewodniku prądu stałego. Drgający emiter na skutek wyładowań elektrycznych strumienia jonów powoduje powstanie fali ultradźwiękowej. Metoda ta daje możliwość uzyskania fali ultradźwiękowej zakresu kilkuset kHz.

**Metoda optyczna** opiera się na działaniu światłem lasera na ośrodek ciekły lub stały. Oddziaływanie skupionego światła laserowego powoduje powstanie fali sprężystej. Moc lasera oraz jego amplituda determinuje częstotliwość powstałej fali. Metoda ta pozwala wytwarzać fale ultradźwiękowe lokalnie w wybranym materiale.

**Metoda elektryczno–magnetyczna** wykorzystuje swoiste zachowanie kryształów. Do wywołania fali ultradźwiękowej stosuje się efekt piezoelektryczny. Krzystalły takie jak turmalin lub kwarc poddane działaniu zmiennego napięcia elektrycznego przyłożonego do symetrycznych ścian powodują w ich deformację. Zmienne napięcie powoduje cyklicznie pojawiające się deformacje, a w rezultacie wywołania drgań o żądanej częstotliwości z zakresu ultradźwięków.

Ultradźwięki znajdują zastosowanie w procesie przetwarzania żywności. Wstępnie stanowiły one wyłącznie narzędzie diagnostyczne i laboratoryjne procesu, jednak z czasem zaczęły być one stosowane na wielu płaszczyznach, zarówno w zastosowaniach

jednostkowych, jak i komercyjnych. Technologia ultradźwiękowej obróbki produktów żywności wchodzi do przemysłu powoli, wypierając metody tradycyjne. Cieszy się ona dużym zainteresowaniem z uwagi na jej ekologiczny charakter. Technologia ta charakteryzuje się w określonych przypadkach nietermicznym oddziaływaniem na produkt, zwiększoną przepustowością produkcyjną, niższymi kosztami związanymi z mniejszym zużyciem energii i czasu, większą jakością uzyskanego produktu końcowego oraz uproszczeniem całego procesu wytwórczego. W przemyśle spożywczym wykorzystuje się fale ultradźwiękowe o częstotliwości w zakresie od 20 kHz do 10 MHz. W zależności od tego, jaki efekt ma zostać uzyskany. Fale ultradźwiękowe można podzielić na pewne zakresy częstotliwości. Fale o niskiej częstotliwości w zakresie od 20 kHz do 100 kHz oraz dużej amplitudzie zmieniają właściwości fizykochemiczne żywności oraz ingerują w ich strukturę. W zakresie od 100 kHz do 1 MHz wywoływane są reakcje chemiczne, które mogą powodować powstawanie wolnych rodników. Takie działanie nazywane jest sonochemią. Niezależnie od częstotliwości fale dźwiękowe rozchodzące się w materiale mają kształt sinusoidalny. Materiał ulega wtedy odkształceniu w sposób elastyczny. Produkt wibruje wytwarzając tzw. kawitację akustyczną. Jest to podstawowy mechanizm oddziaływania fali ultradźwiękowej na żywność. Zjawisko obejmuje szybkie rozszerzanie i kurczenie się pęcherzyków powietrza w nanostrukturze i mikrostrukturze wypełnionej cieczą. Fala poruszającego się ciśnienia wewnątrz materiału powoduje powstanie energii. Natomiast rozszerzanie i zapadanie się pęcherzyków powietrza z częstotliwością kilkadziesiąt tysięcy razy na sekundę generuje wysoką temperaturę i zmianę ciśnienia. Wytworzone lokalne warunki powodują powstawanie wolnych rodników, które są wykorzystywane do zwiększenia sprawności procesu przetwórczego. W przypadku materiału stanowiącego mieszaninę ciała stałego i cieczy pęcherzyki wywołane kawitacją zapadają się niesymetrycznie, co powoduje poruszanie się cieczy w kierunku ciała stałego. Zjawisko to nazywa się mikrostrumieniowaniem, a efektem końcowym jest szybkie przejście ciepła i masy na powierzchnię ciała stałego. Taki transfer ciepła i masy modyfikuje strukturę powierzchni tego ciała. Fale o wysokiej częstotliwości w zakresie od 1 MHz do 10 MHz i niskiej mocy w przetwórstwie spożywczym wykorzystywane są do celów diagnostycznych. Fale o takiej częstotliwości nie modyfikują produktu, przez który przechodzą, są wykorzystywane do analityki, określania struktury, składu i stanu fizycznego.

Najczęściej układ przetwarzania ultradźwiękowego zbudowany jest z trzech podstawowych elementów, do których należą: generator, przetwornik oraz emiter. Zadaniem

generatora jest dostarczenie energii do przetwornika. Na ogół jest to energia elektryczna. Przetwornik jest najistotniejszym elementem każdego układu do wytwarzania ultradźwięków. Jego zadaniem jest przełożenie najczęściej dostarczonej energii elektrycznej do postaci energii dźwiękowej wywołanej wibracją mechaniczną o częstotliwości ultradźwiękowej. Komercyjne urządzenia w swojej budowie przetwornika wykorzystują przetworniki piezoelektryczne lub magnetostrykcyjne. W przypadku rozwiązań wykorzystujących przetworniki piezoelektryczne prąd elektryczny jest przekształcany na wibracje fizyczne, natomiast w przypadku magnetostrykcyjne na wibracje fizyczne jest przekształcane zmienne pole magnetyczne. Emiter służy do wypromieniowania lub dodatkowo wzmocnienia fali ultradźwiękowej do ośrodka, w którym został umieszczony. Emiter może mieć za równo kształt wanny, do której wprowadza się materiał lub sondy (rogi, sonotrody), która jest umieszczana w materiale.

### 2.6.1. Rodzaje fal ultradźwiękowych

Propagacja fal ultradźwiękowych, czyli ich rozchodzenie się w różnych ośrodkach jest zjawiskiem powszechnie znanym i wielokrotnie opisywanym. Prekursorem badań nad zjawiskiem rozchodzenia się fali w ośrodku porowatym, który został wypełniony płynem był Biot. Biot wysnuł teorię o tym, że w ośrodku porowatym nasyconym płynem występuję dwie fale. Jedna to fala szybka, druga to fala wolna, mimo tego że źródło ma jedną częstotliwość, a co za tym idzie długość fali [Edelman 2004]. Powstanie dwóch fali jest efektem jej odbicia i przesunięcia na kontakcie różnych materiałów. Soczkiewicz i Chivers (2001) prowadzili badania nad rozchodzeniem się fal w ośrodkach wielofazowych pod kątem propagacji i tłumienia oraz Mozhaev i Weihnacht (2002) zbadali rozchodzenie się fal ultradźwiękowych na granicy fazy cieczy oraz ciała stałego.

Fale ultradźwiękowe w ośrodkach potrafią się różnie rozchodzić. Uwarunkowane jest to kierunkiem drgania cząsteczek materiału, na który działa fala. Kierunek rozchodzenia się fal możemy podzielić na [Zych 2007; Śliwiński 2000]:

- **Fala podłużna.** Dla fali podłużnej cząsteczki ośrodka drgają w tym samym kierunku, co kierunek rozchodzenia się fali. Oddziaływanie jest prostoliniowe, co powoduje naprzemienne rozrzedzanie i zagęszczanie ośrodka. Ten rodzaj fali występuje w ośrodku materialnym i prowadzi do oscylacji zmiany objętości. Aby wywołać w ośrodku falę podłużną musi on być wielokrotnie większy od długości wygenerowanej fali.

- **Fala poprzeczna.** Fala poprzeczna zwana również ścienną w przeciwieństwie do fali podłużnej nie powoduje zmiany gęstości ośrodka. W przypadku tej fali cząsteczki poruszają się w kierunku normalnym do kierunku rozchodzenia się fali. Taki ruch powoduje powstawanie naprężeń stycznych. Prędkość fali poprzecznej niezależnie od ośrodka jest zawsze mniejsza niż fali podłużnej. Fala poprzeczna rozchodzi się wyłącznie w ośrodkach stałych.
- **Fala powierzchniowa.** Fala powierzchniowa – Rayleigha jest to fala poprzeczna, ale o specyficznych parametrach. Rozchodzi się ona jedynie na powierzchni ciała stałego. Oddziałuje ona w materiał na głębokość około jednej długości fali. Cząsteczki w przypadku tej fali drgają w dwóch płaszczyznach. W płaszczyźnie równoległej oraz prostopadłej do kierunku rozchodzenia się fali. Składowa drgań prostopadła jest kilkakrotnie większa niż składowa równoległa. Połączenie tych dwóch wychyleń cząsteczek w kierunku prostopadłym i równoległym powoduje, że poruszają się one po elipsie.
- **Fala podpowierzchniowa.** Fala podpowierzchniowa jest szczególnym przypadkiem fali powierzchniowej powstającej jako fala załamania. Fala ta rozchodzi się podłużnie i poprzecznie wzdłuż powierzchni ciała, w którym została wygenerowana.
- **Fala płytowa.** Fala płytowa – Lamba jest to fala, która rozchodzi się w ośrodku ograniczonym dwoma powierzchniami równoległe do siebie położonymi. Odległość tych powierzchni jest taka sama jak długość fali przechodzącej przez ten ośrodek.
- **Fala Love'a.** Fala Love'a jest rodzajem fali poprzecznej, która rozchodzi się w cienkiej warstwie materiału znajdującego się na podłożu o innych parametrach. Cząsteczki poruszają się zarówno równoległe, jak i prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali, ale w zakresie grubości tej warstwy.

Wszystkie rodzaje fal ultradźwiękowych mogą rozchodzić się w ciałach stałych. Ciała stałe posiadają mocne wiązania międzyatomowe w przeciwieństwie do cieczy i gazów. Wiązania te i struktura wpływają na prędkość rozchodzenia się fal. W przypadku materiałów anizotropowych, do których należą między innymi kryształy, kierunek rozchodzenia się fali wpływa na ich prędkość. Natomiast w przypadku ciał izotropowych, czyli tak jak w przypadku cieczy, prędkość przemieszczania się fal jest niezależna od ich kierunku



i ma taką samą wartość. Ciała izotropowe są ciałami bezpostaciowymi o budowie krystalicznej przypadkowo zorientowanej [Zych 2007; Śliwiński 2000].

### **2.6.2. Zjawiska zachodzące w materiale**

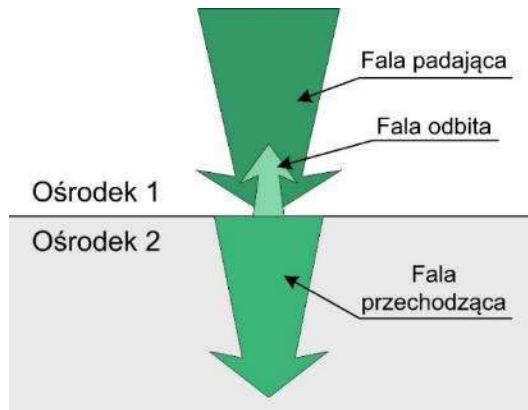
W przypadku produktów spożywczych oraz zastosowania do ich obróbki fal ultradźwiękowych proces przenikania wygląda diametralnie inaczej niż przy ciałach stałych. Produkty spożywcze to surowce pochodzenia naturalnego, które są poddawane obróbce. Do podstawowych rodzajów obróbki zalicza się gotowanie, pieczenie, smażenie i duszenie. Podstawowym zadaniem tych działań jest obniżenie lub spowodowanie całkowitego zaniku aktywności mikroorganizmów w tym pasożytów oraz toksyn. Kolejnym zastosowaniem zwiększenie przyswajalności produktów przez człowieka, zwiększając ich strawność oraz wytworzenie oczekiwanych cech sensorycznych, do których można zaliczyć: smak, zapach, barwę oraz kolor. Niestety niepożądanym efektem wymienionej obróbki jest utrata niektórych składników odżywczych. Ultradźwięki można wykorzystywać również w termicznej obróbce żywności, procesach przygotowawczych, mieszaniu oraz pasteryzacji w celu wydłużenia czasu przydatności. Każde działanie na produkt lub surowiec, jak również mieszanie tych surowców oraz niepowtarzalności materiału pochodzenia naturalnego powoduje, że struktura jest za każdym razem inna.

Tradycyjna obróbka wykorzystująca przemiany termiczne działa objętościowo wprowadzając energię cieplną od warstw zewnętrznych naczynia, w którym się znajduje produkt w głąb jego objętości. Przy rozwiązaniach alternatywnych stosujących działanie ultradźwięków mechanika przenikania materiału jest całkowicie odmienna.

Ultradźwięki do produktu lub mieszaniny surowców wprowadzane są przy użyciu emitera, jako elementu wysyłającego falę ultradźwiękową. Fala ultradźwiękowa przechodząc przez ośrodek różnorodny ulega zmianie poprzez odbicie, załamanie, rozproszenie i absorpcje [Nowicki 2020].

Surowce stosowane w przemyśle spożywczym mają różną postać. W większości z uwagi na zawartość wody traktowane są jako płyny. W tych ośrodkach fala ultradźwiękowa może poruszać się tylko podłużnie [Nowicki 2020].

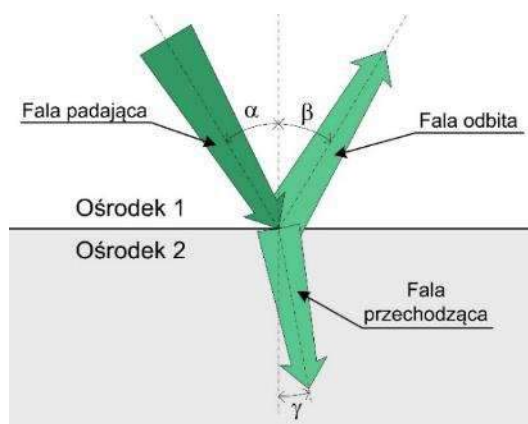
Zniekształcenie fali ultradźwiękowej jest zależne od rodzaju materiału, rodzaju powierzchni na granicy dwóch ośrodków oraz impedancji akustycznej danego obszaru. Najczęściej na granicy dwóch ośrodków o znacznej różnicy gęstości, a tym samym różnym oporze akustycznym dochodzi do zjawiska odbicia (rys. 2.7).



Rys. 2.7. Odbicie fali ultradźwiękowej na granicy dwóch ośrodków przy prostopadłym jej padaniu

Zjawisko odbicia powstaje wyłącznie podczas napotkania przez falę ultradźwiękową przeszkody ułożonej prostopadle do kierunku jej rozchodzenia się. Część energii przechodzi dalej, ale fragment zostaje odbity i powraca w postaci tzw. echa. Współczynnik odbicia fali jest to stosunek natężenia fali odbitej do natężenia fali padającej lub kwadratu stosunku różnicy i sumy impedancji dwóch ośrodków.

W przypadku fali ultradźwiękowej przenikającej, jeden ośrodek natrafia na drugi, ale kąt padania nie jest prostopadły do powierzchni, dochodzi do powstania dwóch fal. Jedną z nich to fala odbita od granicy ośrodków, natomiast druga fala wchodzi w głąb sąsiadującego ośrodka. Fala, która wnika do drugiego ośrodka zmienia kierunek. Zmiana odchylenia kierunku jest zależna od kąta nachylenia fali padającej na granicę (rys. 2.8). Przyczyną zmiany kąta jest szereg zjawisk związanych ze swobodnym rozchodzeniem się fal w danym ośrodku. Natomiast przy ośrodkach o niewielkiej budowanie i zbliżonych właściwościach, fala ultradźwiękowa rozprzestrzenia się bez zmiany pierwotnego kierunku pomimo przekraczania granic ośrodków.



Rys. 2.8. Odbicie fali ultradźwiękowej na granicy dwóch ośrodków przy padaniu jej pod kątem

Kolejnym bardzo istotnym zjawiskiem, jakie powstaje podczas przemieszczania się fali ultradźwiękowej przez materiał niejednorodny, wielofazowy jest rozproszenie. Rozproszenie jest szczególnym przypadkiem zjawiska odbicia i zachodzi w przypadkach, kiedy wielkość przeszkody lub ośrodka, na który natrafia fala ultradźwiękowa jest mniejsza od długości fali lub jest porównywalna z nierównościami porównywalnymi z długością fali. Wówczas kierunek odbitych fal ma cechy losowe i jest to niezależne od kąta, pod jakim pada fala. Jednak największa część rozproszonej energii zawsze biegnie w kierunku prostopadłym do napotkanej przeszkody, natomiast najmniejsza w kierunku stycznym. Rozproszenie zmniejsza energię, która przechodzi przez poszczególne ośrodki ulegając osłabieniu.

Podczas przemieszczania się fali ultradźwiękowej występuje również zjawisko absorpcji, czyli pochłaniania. Ma ono miejsce, kiedy przechodząc przez kolejne ośrodki maleje amplituda drgań. Wiąże się to z utratą energii ruchu falowego przez tarcie wzajemne cząsteczek oraz zamianę jej na ciepło. Zjawisko absorpcji jest czynnikiem na podstawie, którego możliwe jest określenie stopnia wnikania wyemitowanej wiązki fali ultradźwiękowej w materiał.

### 2.6.3. Zastosowanie ultradźwięków

Ultradźwięki w przemyśle spożywczym mają szerokie zastosowanie. Wykorzystywane są na wielu etapach produkcyjnych, jak również stosowane są do wspomagania procesów [Bhargava i in. 2021]. Do najczęściej stosowanych są:

**Cięcie.** Krojenie żywności w przetwórstwie spożywczym pełni istotną rolę. Czynność ta pozwala porcjować produkt na mniejsze elementy. Dostatecznie często ultradźwięki są elementem wspomagającym cięcie. Wykorzystuje się w tym celu energię wibracji o częstotliwości ultradźwiękowej w połączeniu z konwencjonalnym ruchem ostrza. Ostrze wykonując ruch tnący wibruje z wysoką częstotliwością. Powoduje chwilowe zmiany kontaktu ostrza z produktem. Dzięki temu następuje gwałtowne i niewielkie odkształcenie materiału ciętego i zmniejszenie siły cięcia. Metoda ta daje bardzo gładką powierzchnię cięcia unikając kruszenia się materiału oraz przylegania do ostrza. Ten rodzaj cięcia jest bardzo skuteczny przy potrawach lekkich oraz przy żywności mrożonej, kruchej i niejednorodnej [Liu i in. 2020a].

**Konserwacja żywności.** Ultradźwięki są szeroko wykorzystywane do obniżenia lub całkowitego zaniku aktywności mikroorganizmów i enzymów. Działanie to nie zmienia jakości żywności. Proces polega na działaniu ultradźwiękami o częstotliwości od 20 kHz

do 600 kHz. Wytwarza to w pożywieniu naprzemienne tworzenie i zapadanie pęcherzyków powietrza, powodując rozpadanie się komórek. Błona komórkowa przez to staje się cienka i z powodu tworzenia się wolnych rodników dochodzi do uszkodzenia DNA [Baboli i in. 2020].

**Filtracja.** W procesie filtracji na powierzchni membrany osadza się gęsta frakcja tworząca zawiesinę. Wprowadzenie ultradźwięków do procesu filtracji i skierowanie ich na membranę skutecznie rozbija tworzący się kożuch zwiększając przy tym przepływający strumień [Naji i in. 2020].

**Odwodnienie.** Ultradźwięki w przypadku usuwania wody są wykorzystywane w dwóch sytuacjach. Pierwsze to usuwanie wilgoci jako wspomaganie odwodnienia osmotycznego. Ultradźwięki zwiększają intensywność odprowadzenia wilgoci z produktu, a tym samym przyspieszają wchłanianie cukru. Drugie to proces suszenia, polegający na odprowadzeniu całej wilgoci z surowca. W tym celu wykorzystuje się drgania ultradźwiękowe do wprowadzenia ruchu wolno przepływającego powietrza [Zhang i Abatzoglou 2020].

**Zamrażanie i rozmrażanie.** Sonokryształizacja jest używana podczas zamrażania produktów, w tym lodów oraz mrożonej żywności, powodując właściwy sterowany rozrost kryształów lodu. Natomiast odpowiednia częstotliwość ultradźwięków pobudza drgania kryształów lodu, które wzajemnie ocierając się o siebie powodują przyspieszone rozmrażanie [Li i in. 2020; Zhu i in. 2020].

**Ekstrakcja.** Ultradźwięki wspomagają usuwanie materiałów poprzez rozrywanie komórek. Ułatwia to transfer masy. Najczęściej jest stosowana do oddzielania soku od wyłoków, przeciwutleniaczy z ziół oraz oleju od nasion [Dzah i in. 2020].

**Emulgacja i homogenizacja.** Ultradźwięki wprowadzają niestabilność materiału na granicy oleju i wody wspomagając proces emulgowania oraz wywołują kawitację akustyczną przyczyniając się do modyfikowania struktury. Zjawisko to przyspiesza redukcję wielkości cząsteczek w procesie homogenizacji.

**Odpienianie i odgazowanie.** Najczęściej wykorzystuje się ultradźwięki na etapie zamykania w pojemnikach lub butelkach płynów. Linie produkcyjne o dużej wydajności powodują, że ciecz jest bardzo szybko nalewana do butelek. Proces ten wywołuje powstanie piany na powierzchni. Emiter umieszcza się nad lustrem cieczy, a drgania powietrza o częstotliwości ultradźwiękowej powodują pękanie powstałych pęcherzyków [Matsuura i in. 1994].

**Proces starzenia.** Aby wydobyć w produktach takich jak wino lub whisky pełnię smaków i aromatów konieczny jest czas związany z leżakowaniem. Użycie ultradźwięków przyspiesza ten etap usprawniając proces fermentacji. Podobne zastosowanie mają w przypadku ciast chlebowych, gdzie ultradźwięki o określonej częstotliwości wspomagają namnażanie drożdży piekarskich.

**Pakowanie.** Ultradźwięki są również używane do zgrzewania hermetycznych opakowań produktów spożywczych.

Przedstawione zastosowania użycia ultradźwięków w produkcji spożywczej ma szerokie zastosowanie komercyjne [Singla i Sit 2021; Chemat i in. 2011; Feng i in. 2011].

### 3. PROBLEM NAUKOWO–BADAWCZY I CEL PRACY

Analiza stanu wiedzy z dostępnych opracowań opisujących badania prowadzone na całym świecie, wykazuje brak informacji nad zastosowaniem ultradźwięków w kształtowaniu właściwości lodów z udziałem oleożeli. Brak jest prac, które jednoznacznie oraz w kompleksowy sposób wykazałyby zależności pomiędzy właściwościami fizycznymi, chemicznymi i sensorycznymi kształtowanymi różnymi metodami mechanicznymi przy zastosowaniu oleożeli, jako obiecujący substytut tłuszczu bogaty w niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe.

Na podstawie powyższych zagadnień, w pracy podjęto rozwiązanie następujących problemów naukowo–badawczych:

1. Czy możliwe jest zastosowanie ultradźwięków w celu zastąpienia pasteryzacji i homogenizacji w procesie otrzymywania lodów?
2. Jak udział oleożelu wpływa na kształtowanie właściwości fizykochemicznych lodów (proces zamrażania, właściwości termofizyczne, chemiczne, sensoryczne)?

Rozwiązując postawione problemy naukowo–badawcze wyznaczono główny cel pracy, którym było opracowanie receptury lodów różnicując ich skład wybranymi rodzajami oleożeli oraz wprowadzając alternatywną ultradźwiękową metodę obróbki zastępującą pasteryzację i homogenizację, określając ich wpływ na właściwości fizyczne i chemiczne lodów.

Cel pracy zrealizowano poprzez:

- analizę fizyczną i chemiczną olejów i oleożeli;
- opracowanie składu receptur lodów;
- charakterystykę procesu zamrażania lodów;
- zbadanie fizycznych właściwości lodów;
- przeprowadzenie kompleksowej analizy biochemicznych właściwości lodów;
- przeprowadzenie oceny akceptowalności konsumenckiej;
- opracowanie korelacji (zależności) fizycznych i chemicznych właściwości otrzymanych lodów.

## 4. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

### 4.1. Materiał badawczy

Materiał badawczy stanowiły mieszanki lodowe otrzymane w oparciu o opracowane receptury na bazie trzech rodzajów olejów: olej z nasion sezamu, olej z miąższu awokado i olej z pestek winogron oraz wykonanych z nich oleożeli.

Łącznie opracowano 36 prób lodów o masie 2 kg każda według receptur umieszczonych w tabelach 4.1 i 4.2, które zostały poddane dwóm metodą obróbki termicznej, w tym 18 prób pasteryzacji i 18 prób obróbce ultradźwiękowej.

Tabela 4.1. Skład mieszanek lodziarskich na bazie oleju

| Składniki [%]  | OSP4; OSU4<br>OAP4; OAU4<br>OWP4; OWU4 | OSP5; OSU5<br>OAP5; OAU5<br>OWP5; OWU5 | OSP6; OSU6<br>OAP6; OAU6<br>OWP6; OWU6 |
|--|--|--|--|
| Mleko bez laktozy  | 55,0                                   | 55,0                                   | 55,0                                   |
| Śmietanka bez laktozy  | 15,0                                   | 15,0                                   | 15,0                                   |
| Mleko w proszku bez laktozy  | 11,0                                   | 10,0                                   | 9,0                                    |
| Olej z nasion sezamu<br>Olej z miąższu awokado<br>Olej z pestek winogron | 4,0                                    | 5,0                                    | 6,0                                    |
| Fruktoza   | 14,4                                   | 14,4                                   | 14,4                                   |
| Lecytyna sojowa  | 0,1                                    | 0,1                                    | 0,1                                    |
| Mono- i dyglicerydy kwasów<br>tłuszczowych                               | 0,25                                   | 0,25                                   | 0,25                                   |
| Guma guar  | 0,125                                  | 0,125                                  | 0,125                                  |
| Karagen  | 0,125                                  | 0,125                                  | 0,125                                  |

W przypadku lodów na bazie oleju przyjęto następujące oznaczenia lodów:

1. mieszanka lodowa poddana pasteryzacji:
  - OSP4: lody z 4% udziałem oleju z nasion sezamu;
  - OSP5: lody z 5% udziałem oleju z nasion sezamu;
  - OSP6: lody z 6% udziałem oleju z nasion sezamu;
  - OAP4: lody z 4% udziałem oleju z miąższu awokado;
  - OAP5: lody z 5% udziałem oleju z miąższu awokado;
  - OAP6: lody z 6% udziałem oleju z miąższu awokado;
  - OWP4: lody z 4% udziałem oleju z pestek winogron;
  - OWP5: lody z 5% udziałem oleju z pestek winogron;
  - OWP6: lody z 6% udziałem oleju z pestek winogron;
2. mieszanka lodowa poddana obróbce ultradźwiękowej:
  - OSU4: lody z 4% udziałem oleju z nasion sezamu;
  - OSU5: lody z 5% udziałem oleju z nasion sezamu;
  - OSU6: lody z 6% udziałem oleju z nasion sezamu;

- OAU4: lody z 4% udziałem oleju z miąższu awokado;
- OAU5: lody z 5% udziałem oleju z miąższu awokado;
- OAU6: lody z 6% udziałem oleju z miąższu awokado;
- OWU4: lody z 4% udziałem oleju z pestek winogron;
- OWU5: lody z 5% udziałem oleju z pestek winogron;
- OWU6: lody z 6% udziałem oleju z pestek winogron.

Tabela 4.2. Skład mieszanek lodziarskich na bazie oleożelu

| Składniki [%]   | SOP6,8; SOU6,8<br>AOP6,8; AOU6,8<br>WOP6,8; WOU6,8 | SOP8,4; SOU8,4<br>AOP8,4; AOU8,4<br>WOP8,4; WOU8,4 | SOP10; SOU10<br>AOP10; AOU10<br>WOP10; WOU10 |
|---|--|--|--|
| Mleko bez laktozy   | 55,0   | 55,0   | 55,0   |
| Śmietanka bez laktozy   | 15,0   | 15,0   | 15,0   |
| Mleko w proszku bez laktozy   | 8,2  | 6,6  | 5,0  |
| Oleożel z oleju z nasion sezamu<br>Oleożel z oleju z miąższu awokado<br>Oleożel z oleju z pestek winogron | 6,8  | 8,4  | 10,0   |
| Fruktoza  | 14,4   | 14,4   | 14,4   |
| Lecytyna sojowa   | 0,1  | 0,1  | 0,1  |
| Mono- i dyglicerydy kwasów tłuszczowych   | 0,25   | 0,25   | 0,25   |
| Guma guar   | 0,125  | 0,125  | 0,125  |
| Karagen   | 0,125  | 0,125  | 0,125  |

W przypadku lodów na bazie oleożeli przyjęto następujące oznaczenia lodów:

1. mieszanka lodowa poddana pasteryzacji:

- SOP6,8: lody z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu;
- SOP8,4: lody z 8,4% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu;
- SOP10: lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu;
- AOP6,8: lody z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado;
- AOP8,4: lody z 8,4% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado;
- AOP10: lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado;
- WOP6,8: lody z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron;
- WOP8,4: lody z 8,4% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron;
- WOP10: lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron;

2. mieszanka lodowa poddana obróbce ultradźwiękowej:

- SOU6,8: lody z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu;
- SOU8,4: lody z 8,4% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu;
- SOU10: lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu;
- AOU6,8: lody z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado;
- AOU8,4: lody z 8,4% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado;



- AOU10: lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado;
- WOU6,8: lody z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron;
- WOU8,4: lody z 8,4% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron;
- WOU10: lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron.

Do otrzymania lodów wykorzystano następujące składniki: mleko pełne bez laktozy (*Mlekovita, Polska*), śmietankę 30% bez laktozy (*Łowicz, Polska*), mleko w proszku odtłuszczone bez laktozy (*Mlekovita, Polska*), nierafinowany olej z nasion sezamu (*Greenaction, Polska*), nierafinowany olej z miąższu awokado (*Greenaction, Polska*), nierafinowany olej z pestek winogron (*Greenaction, Polska*), fruktozę, emulgatory: lecytyna sojowa (*Sosa, Hiszpania*) oraz mono- i diglicerydy kwasów tłuszczowych (E471) (*Fooding, Shanghai*), stabilizatory: guma guar (E412) (*Agnex, Polska*), karagen (E407) (*Agnex, Polska*) oraz hydroksypropylometylocelulozę (E464) (*Merck, Niemcy*).

## **4.2. Oznaczenie właściwości fizycznych i składu chemicznego oleju**

### **4.2.1. Analiza gęstości oleju**

Wartość gęstości oleju została przeprowadzona za pomocą wagi elektronicznej precyzyjnej model: XA 110.3Y produkcji firmy Radwag. Pomiar gęstości oleju polegał na zważeniu szklanego nurnika w powietrzu oraz w badanej cieczy. Wynik gęstości oleju wyświetlany został na wyświetlaczu w sposób automatyczny po wprowadzeniu do pamięci wagi masy nurnika zanurzonego w badanej cieczy.

### **4.2.2. Analiza lepkości oleju**

Lepkość badanych olejów została określona za pomocą wiskozymetru firmy IKA (*ROTAVISC lo-vi Complete*). Pomiar lepkości przeprowadzono wykorzystując wrzeciono SP-2, które zostało zanurzone do wcześniej przygotowanej próby o temperaturze 21°C i szybkości ścinania 100 obr.·min<sup>-1</sup>. Wartość lepkości odczytywano po 2 min.

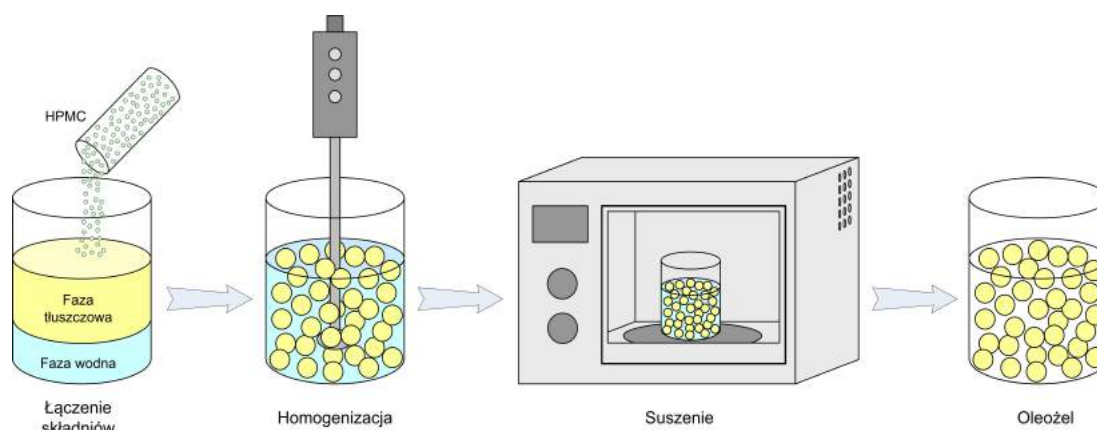
### **4.2.3. Analiza zawartości kwasów tłuszczowych**

Oleje wykorzystane w badaniach poddano analizie z uwagi na zawartość kwasów tłuszczowy nasyconych oraz nienasyconych przy użyciu metody chromatografii kolumnowej. W próbach określono skład kwasów tłuszczowych metodą chromatografii gazowej (chromatograf Bruker 436GC z detektorem FID) zgodnie z odpowiednimi standardami [ISO Standard 12966-2:2017]. Estry metylowe kwasów tłuszczowych

rozdzielono na kolumnie kapilarnej BPX 70 (60 m x 0,25 mm x 25 m) z azotem jako gazem nośnym.

### 4.3. Otrzymywanie oleożelu

Do uzyskania oleożelu wykorzystano olej z nasion sezamu, olej z miąższu awokado oraz olej z pestek winogron. Oleożel dodany do mieszanki lodowej zawierał 60% fazy tłuszczowej i 40% fazy wodnej. Fazę wodną stanowił 2% roztwór hydroksypropylometlocelulozy (HPMC). Technologia wytworzenia oleożelu HPMC składała się z kilku etapów. W pierwszym z nich przygotowano fazę wodną (2% roztwór HPMC) przy użyciu homogenizatora obrotowego (*Homogenizator Unidrive X1000D, CAT*) przy 11000 obr. $\cdot$ min.<sup>-1</sup>. W drugim etapie, w wyniku przeprowadzonego procesu homogenizacji, połączono fazę wodną z fazą tłuszczową i otrzymano emulsję oleju w wodzie. W kolejnym etapie emulsję umieszczono w aluminiowych naczyniach o średnicy 10 cm i suszono w temperaturze 80°C przez 3,5 h (suszarka laboratoryjna). Po pozbawieniu emulsji wody uzyskano oleożel o nowej sztywnej strukturze. W ostatnim etapie wysuszony oleożel homogenizowano (11000 obr. $\cdot$ min.<sup>-1</sup>) aż do momentu uzyskania półpłynnej konsystencji musu (5 min) (rys. 4.1) [Żbikowska i in. 2017].



Rys. 4.1. Etapy powstawania oleożelu

### 4.4. Analiza oleożelu

Otrzymane oleożele poddano analizie stabilności, którą wyznaczono metodą wirówkową (SOMW) w temperaturze 21°C, na podstawie zmodyfikowanej metody Da Pieve i in. (2010). Próbki oleożelu wirowano przy 3000 obr. $\cdot$ min.<sup>-1</sup> w wirówce (*Mikro 220 Classic, Hettich, Niemcy*). Czas trwania procesu wynosił 20 minut. Po usunięciu fazy

cieklej, pozostałość (żel wraz z próbką) zważono. Oznaczenie powtarzano trzykrotnie. SOMW obliczono ze zmodyfikowanego wzoru Yilmaz i Öğütçü (2014):

$$SOMW = \frac{(M_{pw} - M_p)}{(M_{pż} - M_p)} \cdot 100\%$$

gdzie:

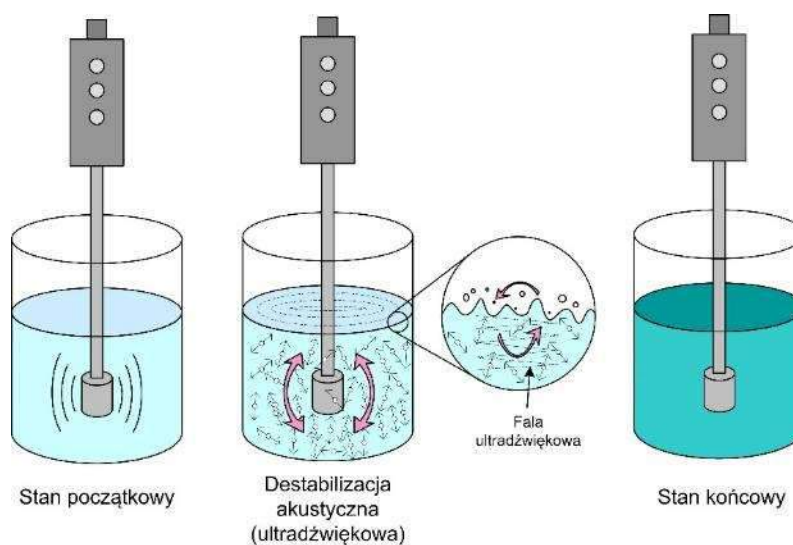
$M_{pż}$  – masa próbki wraz z uzyskanym żelem (g);

$M_p$  – masa próbki (g);

$M_{pw}$  – masa próbki i oleożelu po odwirowaniu (g).

#### 4.5. Przygotowanie lodów

Odpowiednio odważone składniki zgodnie z przygotowaną recepturą (mleko, śmietanka, mleko w proszku, olej lub oleożel, fruktoza, emulgator, stabilizator) (tab. 4.1 i 4.2) poddano procesowi mieszania oraz dwóm metodą obróbki termicznej: pasteryzacji w temperaturze 65°C przez 20 minut oraz ultradźwiękowej o częstotliwości 20 kHz i natężeniu ultradźwięków 47,3 W·cm<sup>-3</sup> przez 15 minut w temperaturze 65°C (rys. 4.2). Po pasteryzacji zastosowano homogenizację przy prędkości obrotów sondy 12000 obr.·min.<sup>-1</sup> przez 5 minut. Schłodzone mieszaniny poddano procesowi dojrzewania w temperaturze 4°C przez 15 h. Tak przygotowane mieszanki napowietrzano z wykorzystaniem miksera planetarnego (*Bosch, Poland*) przez 5 minut. Następnie próby zamrażano do temperatury -5°C przy użyciu frezera (*Ariete Galatiera Compact, Polska*). Powstałe lody pakowano w styropianowe pojemniki i hartowano przez 24 h.



Rys. 4.2. Schemat obróbki ultradźwiękowej mieszanki lodowej

## 4.6. Analiza fizycznych właściwości lodów

### 4.6.1. Różnicowa kalorymetria skaningowa (DSC)

Po etapie dojrzewania, mieszanki lodowe poddano analizie właściwości termicznych za pomocą różnicowego kalorymetru skaningowego (DSC) firmy Mettler Toledo (*model DSC1*). Próbkę mieszanki lodowej (10 mg) umieszczono w uprzednio zważonym aluminiowym tyglu, który został uszczelniony za pomocą urządzenia do zaciskania. Badanie przeprowadzono przy temperaturach od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+20^{\circ}\text{C}$  w atmosferze azotu z szybkością ogrzewania  $2^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ . Próbką referencyjną był pusty tygiel. Po zakończonym badaniu odczytano temperatury zamarzania i ciepło topnienia [Aboufazli i in. 2014]. Ilość wymrożonej wody (FW) obliczono ze wzoru [Savanović i in. 2018; Xanthakis i in. 2013]:

$$FW = \frac{\Delta H_m}{H_f \cdot m_s} \cdot 100\%$$

gdzie:

$\Delta H_m$  – ciepło topnienia ( $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$ ),

$H_f$  – teoretyczne ciepło topnienia lodu w temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$  ( $333,50 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ ),

$m_s$  – masa próbki (g).

### 4.6.2. Analiza stopnia napowietrzenia

Puszystość wyznaczono wg wzoru [Akbari i in. 2016]:

$$\text{Puszystość} = \frac{\text{masa mieszanki} - \text{masa lodów}}{\text{masa lodów}} \cdot 100 [\%]$$

Za wynik końcowy oznaczenia puszystości przyjęto średnią arytmetyczną z trzech powtórzeń.

### 4.6.3. Analiza szybkość i całkowitego czasu topnienia lodów

Oznaczenie odporności na topnienie polegało na umieszczeniu próbki lodów o wymiarach 50 mm wysokości i 30 mm średnicy na siatce (wielkość oczek  $0,5 \text{ mm} \times 0,5 \text{ mm}$ ) w stałej temperaturze  $21^{\circ}\text{C}$ . Masę stopionych lodów mierzono co 1 minutę do momentu roztopienia się całej próby. Na podstawie otrzymanej masy stopionych lodów wyznaczono szybkość topnienia ( $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$ ) [Alizadeh i in. 2014] oraz określono całkowity czas topnienia lodów.

#### 4.6.4. Analiza twardości i kleistości lodów

Twardość i kleistość określono za pomocą analizatora tekstury LFRA (*Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, Massachusetts*). Próby o wymiarach: 25 mm wysokości i 30 mm średnicy, (w temperaturze  $-6^{\circ}\text{C}$ ) zostały zbadane za pomocą testu penetracji z komorą wstecznej ekstruzji. Twardość lodów została wyznaczona na podstawie maksymalnej siły [N] wymaganej do ściśnięcia 80% wysokości próby. Kleistość deserów określono na podstawie ujemnej siły zarejestrowanej podczas wycofania sondy. Do analizy przyjęto następujące parametry: średnica sondy – 5 cm, szybkość sondy podczas penetracji –  $2\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  i siła nacisku – 0,2 N [Tiwari i in. 2015].

#### 4.6.5. Analiza lepkości

Lepkość badanych prób przeprowadzono dla mieszanki lodowej przed oraz po dojrzewaniu oraz na roztopionych lodach przy pomocy wiskozymetru firmy IKA (*ROTAVISC lo-vi Complete*). Pomiar lepkości przeprowadzono wykorzystując wrzeciono SP-4, które zostało zanurzone do wcześniej przygotowanej próby o temperaturze odpowiednio  $18^{\circ}\text{C}$ ,  $6^{\circ}\text{C}$  i  $20^{\circ}\text{C}$  przy szybkości ścinania  $100\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ . Wartość lepkości odczytywano po 2 minutach.

#### 4.6.6. Analiza barwy

Analizę barwy wykonano w temperaturze pokojowej ( $21^{\circ}\text{C}$ ) wykorzystując Kolorymetr DT-500 (*Anticoor, Gdańsk, Polska*). Analiza została oparta w skali CIE –  $L^*a^*b^*$ , (International Commission on Illumination), w której wyznaczono jasność lodów jako  $L^*$  (w skali 0 (czerni) – 100 (biel)), balans barwy zielonej (–) i czerwonej (+) jako parametr chromatyczny  $a^*$ , balans barwy niebieskiej (–) i żółtej (+) jako parametr chromatyczny  $b^*$  oraz różnicę w nasyceniu barwy ( $\Delta C^*$ ) i różnicę tonu ( $\Delta H^*$ ). Pomiarzy wykonano w 3 powtórzeniach.

#### 4.6.7. Skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM)

Analizę struktury przeprowadzono za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) na zliofilizowanych próbach. Próby zostały napyłone 20 nm warstwą złota przy użyciu Sputter Coater (*Emitech SC7620*). Powierzchnię prób badano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego Carl Zeiss Ultra Plus (Niemcy). Próby obrazowano za pomocą detektora elektronów wtórnych przy napięciu 3 kV.

## **4.7. Analiza biochemicznych właściwości lodów**

### **4.7.1. Analiza składu chemicznego, wartości kalorycznej i pH**

Określenie zawartości suchej masy lodów wyznaczono metodą suszarkową [AOAC 2000] przez suszenie próbek w temperaturze  $130 \pm 1^\circ\text{C}$  przez 3 godziny. Zawartość tłuszczu w lodach oznaczono zgodnie ze standardami AOAC 952.06–1952 (1996) wykorzystując metodę ekstrakcji w aparacie Soxleta. Zawartość białka oznaczono metodą Kjeldahla [AOAC, 930.33–1930, PN – A – 04018: 1975Az3: 2002]. Oznaczenie zawartości popiołu przeprowadzono wg normy PN–67/A–86430/ Az2 (2002). Całkowitą ilość węglowodanów obliczono jako różnicę między 100, a sumą udziałów procentowych wody, białka, tłuszczu i popiołu. Zawartość węglowodanów przyswajalnych obliczono z różnicy węglowodanów ogółem, a błonnikiem pokarmowym. Wartość kaloryczną obliczono wykorzystując równoważniki Atwatera: 4,0 kcal dla 1 g białka, 9,0 kcal dla 1 g tłuszczu i 4,0 kcal dla 1 g węglowodanów [Novotny i in. 2012]. Wartości pH lodów mierzono za pomocą miernika pH (*ELMETRON CP–401*) połączonego z elektrodą szklaną. Wszystkie pomiary przeprowadzono w trzech powtórzeniach.

### **4.7.2. Analiza zawartości związków polifenolowych**

#### **Przygotowanie ekstraktów**

Rozdrobniony materiał naważono w ilości 1 g i umieszczono w probówkach wirówkowych typu Falcon o objętości 15 ml. Tak przygotowane próby następnie ekstrahowano 5 ml 50% roztworu MeOH w wodzie zakwaszonego kwasem mrówkowym (1% v/v). Ekstrakcję prowadzono przez 20 min. wraz z jednokrotnym poddaniem prób działaniu ultradźwięków w temperaturze  $30^\circ\text{C}$ , przy częstotliwości 50 Hz, przez 20 minut w łaźni ultradźwiękowej (Sonic 10, Polsonic, Polska).

Po przeprowadzonej ekstrakcji mieszaniny odwirowywano ( $7000 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ ) przy użyciu wirówki laboratoryjnej (Centrifuge 5430, Eppendorf Poland, Polska). Zebrane supernatanty przeznaczone do dalszych analiz.

#### **Oczyszczanie ekstraktów metodą ekstrakcji do fazy stałej SPE**

Supernatanty, otrzymane we wcześniejszym etapie odparowano do sucha pod zmniejszonym ciśnieniem z wykorzystaniem wyparki obrotowej (R–215 Rotavapor System, Buchi, Szwajcaria) w temperaturze  $40^\circ\text{C}$ . W celu oczyszczenia otrzymanych ekstraktów, suche pozostałości rozpuszczono w 10 ml wody destylowanej i przepuszczono przez

minikolumny Sep-Pack wypełnione sorbentem RP-18 (Waters Associates), po wcześniejszym zrównoważeniu metanolem i wodą. Minikolumny przemywano 10 ml wody destylowanej, a następnie po osuszeniu złoża sorbentu, zaadsorbowane związki wymywano MeOH i odparowywano do sucha w strumieniu azotu. Oczyszczone i odparowane próbki rozpuszczono w 1 ml 50% ACN w wodzie, z których do osobnych fiolek pobrano 200  $\mu$ l i uzupełniano roztworem ACN do objętości 1 ml.

#### **Analiza profilu związków polifenolowych metodą UPLC-PDA-ESI-MS**

Analizy związków polifenolowych dokonano metodą ultrasprawną chromatografię cieczową sprzężoną z detekcją mas z wykorzystaniem urządzenia ACQUITY (Waters, Milford, USA) zgodnie z opracowaniem Kapusta i in. (2017). Chromatograf został wyposażony w binarny menedżer pompy, menedżer kolumny, menedżer próbek, detektor o matrycy fotodiodowej (PDA), tandemowy kwadropolowy spektrometr mas w postaci podwójnego kwadropola (TQD) ze źródłem jonizacji typu elektrozpylenie (ESI) pracującym w trybie przemiatania jonów ujemnych. Rozdział związków polifenolowych przeprowadzono stosując kolumnę UPLC BEH RP C18 o wielkości ziaren 1,7  $\mu$ m oraz wymiarach 100 mm x 2,1 mm (Waters, Milford, USA). Jako fazy ruchomej użyto 0,1% roztworu kwasu mrówkowego w wodzie (rozpuszczalnik A) i roztwór 40% acetonitrylu w wodzie z dodatkiem 0,1% kwasu mrówkowego, v/v (rozpuszczalnik B). Szybkość przepływu fazy ruchomej utrzymywano na stałym poziomie 0,35 ml·min<sup>-1</sup>. przez całkowity czas przebiegu analizy 9,5 minuty. Objętość nastrzyku próbek wynosiła 5  $\mu$ l, a kolumna była utrzymywana w temperaturze 50°C. Zastosowano następujące parametry jonizacji ESI: napięcie stożka próbującego 30 V, napięcie kapilary 3500 V, temperatura źródła i desolwatacji odpowiednio 120°C i 350°C oraz szybkość przepływu gazu desolwatacyjnego 800 l·h<sup>-1</sup>. Uzyskane dane zostały przetworzone w programie Waters MassLynx v.4.1 (Waters Corporation, Milford, MA, USA). Charakterystykę poszczególnych związków polifenolowych przeprowadzono na podstawie czasu retencji, stosunku masy do ładunku, jonów fragmentarycznych oraz porównania uzyskanych danych ze danymi literaturowymi.

#### **4.8. Określenie akceptowalności konsumenckiej lodów**

Akceptowalność konsumencką każdej próbki oceniano w odniesieniu do preferencji sensorycznych pół-wyszkolonego panelu składającego się z 11 osób (4 kobiety, 7 mężczyzn), którzy ocenili lody za pomocą 5-punktowej skali, zgodnie z tabelą 8.8.A umieszczoną w aneksie. Została oceniona konsystencja, smak, barwa, zapach oraz ogólna akceptowalność konsumencka. Lody zostały uznane za akceptowalne, jeśli ich średnie wyniki ogólnej akceptowalności były powyżej 4.

#### **4.9. Analiza statystyczna wyników badań**

W celu porównania właściwości fizykochemicznych badanych lodów wykorzystano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA). Analizę post-hoc prowadzono wykorzystując test porównań wielokrotnych Tukey'a. Dla analiz statystycznych przyjęto poziom istotności 0,05.

Badania akceptowalności lodów przeprowadzono w oparciu o test rangowy Friedmana oraz test porównań parami Wilcoxon.

W celu zbadania najważniejszych czynników determinujących właściwości fizyczne i chemiczne lodów wykorzystano analizę głównych składowych (PCA). Z uwagi na to, że badane właściwości wyrażone były w różnych jednostkach, przed przeprowadzeniem analiz wielowymiarowych dokonano standaryzacji zmiennych.

Analizy statystyczne przeprowadzono przy użyciu programu Statistica 13 (*Statistica 13* firmy Statsoft). W przypadku metod wielowymiarowych, obliczenia wykonano w środowisku R (*R Core Team 2019*), wykorzystując pakiet *factoextra* [Kassambara i Mundt 2017].



## 5. WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

### 5.1. Charakterystyka fizycznych właściwości olejów oraz zawartość kwasów tłuszczowych

Wyniki analizy gęstości i lepkości olejów zostały zestawione w tabeli 5.1, natomiast zawartość kwasów tłuszczowych w tabeli 5.2 oraz 8.1.A.

Tabela 5.1. Wartości gęstości i lepkości badanych olejów

|   | Olej z nasion sezamu | Olej z miąższu awokado | Olej z pestek winogron |
|---|----------------------|------------------------|------------------------|
| Gęstość [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ] | $0,917^b \pm 0,00$   | $0,915^c \pm 0,00$     | $0,920^a \pm 0,00$     |
| Lepkość [ $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ]     | $68,10^b \pm 0,60$   | $119,20^a \pm 0,10$    | $61,20^c \pm 0,25$     |

<sup>a,b,c</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ). Wyniki wyrażono jako średnią  $\pm$  SD ( $n=3$ ).

Stwierdzono, że gęstość olejów wykorzystanych w badaniach różniła się istotnie statystycznie i mieściła się w zakresie od 0,915 do 0,920  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Olej z miąższu awokado wykazał się znacznie wyższą lepkością (119,20  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ) od pozostałych olejów. Najniższą lepkości osiągnął olej z pestek winogron (61,20  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ).

Tabela 5.2. Zawartość kwasów tłuszczowych w badanych olejach

| Kwasy tłuszczowe                  | Olej z nasion sezamu                  | Olej z miąższu awokado | Olej z pestek winogron |
|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------|------------------------|
|                                   | [ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$ ] |                        |                        |
| Kwas mirystynowy C14:0            | 0,02                                  | 0,05                   | 0,05                   |
| Kwas palmitynowy C16:0            | 9,89                                  | 18,66                  | 6,78                   |
| Kwas palmitoleinowy C16:1n7       | 0,61                                  | 5,85                   | 0,16                   |
| Kwas margarynowy C17:0            | 0,05                                  | 0,02                   | 0,03                   |
| Kwas stearynowy C18:0             | 5,17                                  | 0,80                   | 3,87                   |
| Kwas oleinowy C18:1n9             | 42,72                                 | 57,80                  | 25,56                  |
| Kwas linolowy C18:2n6             | 38,35                                 | 10,51                  | 60,88                  |
| Kwas $\alpha$ -linolenowy C18:3n3 | 0,280                                 | 0,80                   | 0,21                   |
| Kwas arachidowy C20:0             | 0,580                                 | 0,09                   | 0,21                   |

Analiza zawartości kwasów tłuszczowych wykazała, że wykorzystane oleje w badaniach charakteryzują się wysoką zawartością niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych. Olej z nasion sezamu zawierał 43,41% jednonienasyconych kwasów tłuszczowych, w tym 42,72% stanowi udział omega-9 oraz 38,79% wielonienasyconych

kwasów tłuszczowych, w tym 0,41% stanowi udział omega-3 oraz 38,38% omega-6. Olej z miąższu awokado zawierał 63,72% jednonienasyconych kwasów tłuszczowych, w tym 57,80% to omega-9 oraz 11,35% wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, w tym 0,84% stanowi udział omega-3 i 10,51% omega-6. Olej z pestek winogron zawierał 25,83% jednonienasyconych kwasów tłuszczowych, w tym 25,56% stanowi udział omega-9 oraz 61,48% wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, w tym 0,60% to omega-3 oraz 60,88% stanowi omega-6. Najwyższą zawartość kwasu linolowego C18:2 (n-6) odnotowano dla oleju z pestek winogron, natomiast najniższą zawartość odnotowano dla oleju z miąższu awokado. Natomiast odwrotną zależność odnotowano dla kwasu oleinowego C18:1 (n-9). Hassan (2012) w swoich badaniach wykazał, że zawartość kwasu oleinowego w nasionach sezamu mieściła się w zakresie od 35 do 53%, natomiast linolowego od 39 do 59%. Wong i in. (2010) wykazali, że typowy olej z awokado zawiera 76% jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (oleinowy i palmitynowy), 12% wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (linolowy i linolenowy) i 12% nasyconych kwasów tłuszczowych (palmitynowy i stearynowy). Sabir i in. (2012) w swoich badaniach określili zawartość kwasów tłuszczowych dla 21 odmian winorośli (*Vitis spp.*), gdzie zawartość kwasu linolowego wahała się w przedziale od 53,6 do 69,6%, a kwasu oleinowego od 16,2 do 31,2%.

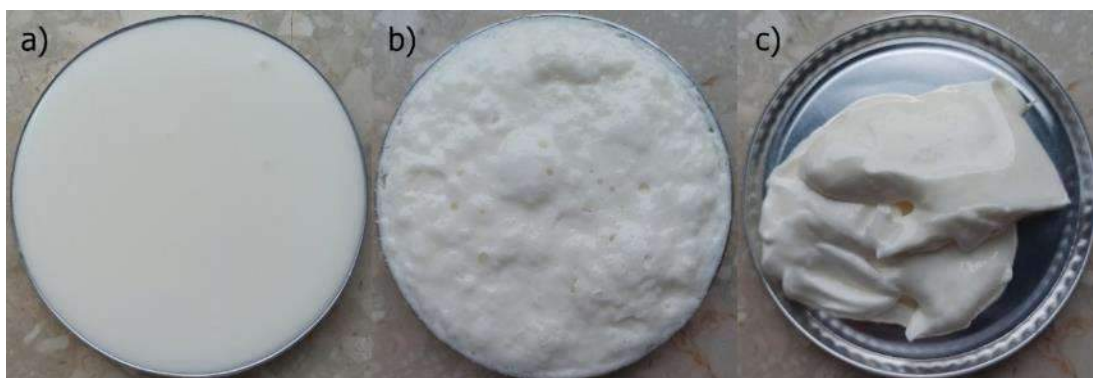
## 5.2. Ocena stabilności oleożeli

Wyniki analizy stabilności oleożeli wykorzystanych w badaniach zestawiono w tabeli 5.3 oraz na rysunkach 5.1; 5.2 i 5.3 przedstawiono etapy ich powstawania.

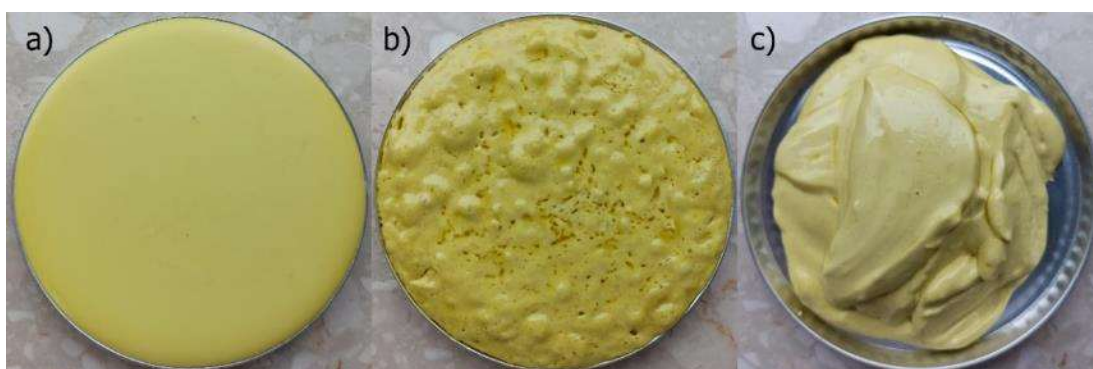
Tabela 5.3. Wartości stabilności badanych oleożeli

|                | Oleożel na bazie oleju z nasion sezamu | Oleożel na bazie oleju z miąższu awokado | Oleożel na bazie oleju z pestek winogron |
|----------------|--|--|--|
| Stabilność [%] | 99,52 <sup>a</sup> ± 0,19              | 99,01 <sup>a</sup> ± 0,22                | 99,62 <sup>a</sup> ± 0,45                |

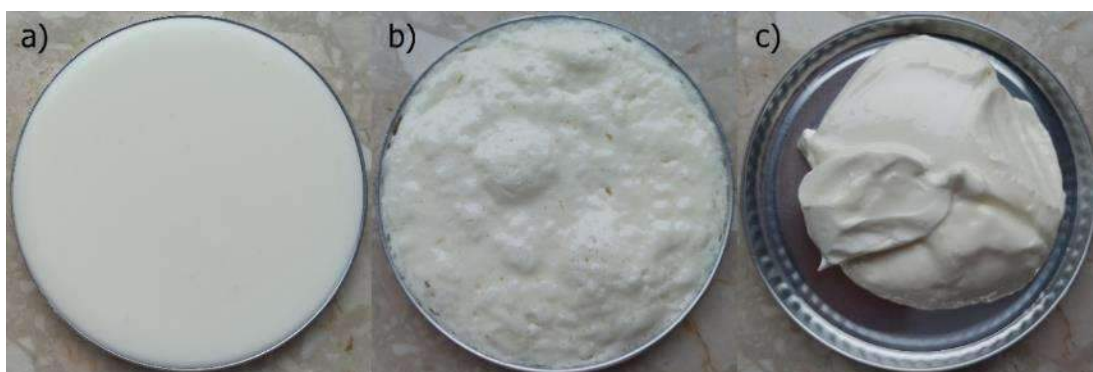
<sup>a</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).



Rys. 5.1. Etapy powstawania oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu: a) emulsja, b) emulsja po suszeniu, c) oleożel po homogenizacji



Rys. 5.2. Etapy powstawania oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado: a) emulsja, b) emulsja po suszeniu, c) oleożel po homogenizacji



Rys. 5.3. Etapy powstawania oleożelu na bazie oleju z pestek winogron: a) emulsja, b) emulsja po suszeniu, c) oleożel po homogenizacji

W celu oceny trwałości wiązania oleju z nasion pomidora przez zastosowanie substancji żelującej przeprowadzono test stabilności. Wskutek wirowania oleożel uległ rozwarstwieniu na dwie fazy: ciekłą i stałą-żelową. Otrzymane wartości wskaźnika stabilności świadczą o stosunkowo wysokiej trwałości oleożeli i wynoszą 99,52% dla oleju z nasion sezamu, 99,01% dla oleju z miąższu awokado i 99,62% dla oleju z pestek winogron. Nieco niższą zdolność wiązania oleju jadalnego, na przykładzie oleju rzepakowego,

wykazali Żbikowska i in. (2017), gdzie stabilność uzyskanych struktur oleożelowych wynosiła 90,96%.

### 5.3. Wyniki badań fizycznych właściwości lodów

#### 5.3.1. Charakterystyka różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC)

W tabelach 5.4; 5.5; 5.6; 5.7; 5.8 i 5.9 zestawiono wyniki właściwości termicznych związanych z topnieniem kryształów lodu w lodach, które analizowano za pomocą różnicowej kalorymetrii skaningowej oraz rysunki przepływu ciepła w funkcji temperatury zestawiono w aneksie (rys. 8.1.A–8.6.A)

Tabela 5.4. Wartości charakterystyki różnicowej kalorymetrii skaningowej lodów z udziałem oleju z nasion sezamu

|             | Temperatura zamarzania [°C] | Ilość wymrożonej wody [%]  | Ciepło topnienia [J·g <sup>-1</sup> ] |
|-------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| <b>OSP4</b> | -6,04 <sup>ab</sup> ± 0,11  | 42,48 <sup>a</sup> ± 0,29  | 141,68 <sup>a</sup> ± 0,96            |
| <b>OSP5</b> | -5,68 <sup>a</sup> ± 0,28   | 42,49 <sup>a</sup> ± 0,11  | 141,45 <sup>a</sup> ± 0,77            |
| <b>OSP6</b> | -5,57 <sup>a</sup> ± 0,28   | 42,36 <sup>a</sup> ± 0,85  | 141,49 <sup>a</sup> ± 2,85            |
| <b>OSU4</b> | -6,93 <sup>b</sup> ± 0,21   | 37,17 <sup>b</sup> ± 2,53  | 123,95 <sup>b</sup> ± 8,43            |
| <b>OSU5</b> | -6,88 <sup>b</sup> ± 0,52   | 37,23 <sup>b</sup> ± 1,90  | 124,18 <sup>b</sup> ± 6,32            |
| <b>OSU6</b> | -6,34 <sup>ab</sup> ± 0,47  | 39,57 <sup>ab</sup> ± 1,53 | 131,97 <sup>ab</sup> ± 5,09           |

<sup>a,b</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.5. Wartości charakterystyki różnicowej kalorymetrii skaningowej lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu

|               | Temperatura zamarzania [°C] | Ilość wymrożonej wody [%]  | Ciepło topnienia [J·g <sup>-1</sup> ] |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| <b>SOP6,8</b> | -5,60 <sup>b</sup> ± 0,24   | 42,79 <sup>b</sup> ± 1,09  | 142,69 <sup>b</sup> ± 3,62            |
| <b>SOP8,4</b> | -5,04 <sup>ab</sup> ± 0,19  | 45,62 <sup>ab</sup> ± 0,42 | 152,12 <sup>ab</sup> ± 1,41           |
| <b>SOP10</b>  | -4,57 <sup>a</sup> ± 0,40   | 46,82 <sup>a</sup> ± 1,92  | 156,14 <sup>a</sup> ± 6,43            |
| <b>SOU6,8</b> | -5,63 <sup>b</sup> ± 0,32   | 44,31 <sup>ab</sup> ± 0,67 | 147,78 <sup>ab</sup> ± 2,21           |
| <b>SOU8,4</b> | -5,52 <sup>b</sup> ± 0,27   | 44,45 <sup>ab</sup> ± 0,78 | 148,24 <sup>ab</sup> ± 2,62           |
| <b>SOU10</b>  | -5,22 <sup>ab</sup> ± 0,28  | 46,21 <sup>a</sup> ± 0,86  | 154,11 <sup>a</sup> ± 2,86            |

<sup>a,b</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.6. Wartości charakterystyki różnicowej kalorymetrii skaningowej lodów z udziałem oleju z miąższu awokado

|             | Temperatura zamarzania [°C] | Ilość wymrożonej wody [%]  | Ciepło topnienia [J·g <sup>-1</sup> ] |
|-------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| <b>OAP4</b> | -5,63 <sup>a</sup> ± 0,09   | 43,81 <sup>ab</sup> ± 0,23 | 146,10 <sup>ab</sup> ± 0,78           |
| <b>OAP5</b> | -5,62 <sup>a</sup> ± 0,13   | 44,34 <sup>ab</sup> ± 0,59 | 141,86 <sup>ab</sup> ± 1,98           |
| <b>OAP6</b> | -5,55 <sup>a</sup> ± 0,39   | 47,23 <sup>a</sup> ± 2,09  | 157,51 <sup>a</sup> ± 6,98            |
| <b>OAU4</b> | -6,10 <sup>a</sup> ± 0,51   | 39,02 <sup>c</sup> ± 2,38  | 130,15 <sup>c</sup> ± 7,91            |
| <b>OAU5</b> | -6,09 <sup>a</sup> ± 0,41   | 42,55 <sup>bc</sup> ± 1,39 | 141,90 <sup>bc</sup> ± 4,65           |
| <b>OAU6</b> | -5,66 <sup>a</sup> ± 0,37   | 43,80 <sup>ab</sup> ± 0,34 | 146,07 <sup>ab</sup> ± 1,14           |

<sup>a,b,c</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.7. Wartości charakterystyki różnicowej kalorymetrii skaningowej lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado

|               | Temperatura zamarzania [°C] | Ilość wymrożonej wody [%]   | Ciepło topnienia [J·g <sup>-1</sup> ] |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| <b>AOP6,8</b> | -5,56 <sup>b</sup> ± 0,51   | 45,88 <sup>bc</sup> ± 1,40  | 153,01 <sup>bc</sup> ± 4,66           |
| <b>AOP8,4</b> | -4,84 <sup>ab</sup> ± 0,19  | 48,74 <sup>ab</sup> ± 0,86  | 162,54 <sup>ab</sup> ± 2,88           |
| <b>AOP10</b>  | -4,65 <sup>a</sup> ± 0,43   | 51,19 <sup>a</sup> ± 1,30   | 170,73 <sup>a</sup> ± 4,33            |
| <b>AOU6,8</b> | -5,53 <sup>ab</sup> ± 0,12  | 43,79 <sup>c</sup> ± 3,51   | 146,02 <sup>c</sup> ± 11,72           |
| <b>AOU8,4</b> | -5,12 <sup>ab</sup> ± 0,19  | 47,07 <sup>abc</sup> ± 0,05 | 156,98 <sup>abc</sup> ± 0,16          |
| <b>AOU10</b>  | -4,92 <sup>ab</sup> ± 0,32  | 48,47 <sup>ab</sup> ± 0,60  | 161,64 <sup>ab</sup> ± 2,00           |

<sup>a,b,c</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.8. Wartości charakterystyki różnicowej kalorymetrii skaningowej lodów z udziałem oleju z pestek winogron

|             | Temperatura zamarzania [°C] | Ilość wymrożonej wody [%] | Ciepło topnienia [J·g <sup>-1</sup> ] |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| <b>OWP4</b> | -5,53 <sup>bc</sup> ± 0,12  | 39,76 <sup>a</sup> ± 0,62 | 132,61 <sup>a</sup> ± 2,07            |
| <b>OWP5</b> | -5,42 <sup>bc</sup> ± 0,18  | 40,09 <sup>a</sup> ± 1,36 | 133,69 <sup>a</sup> ± 4,54            |
| <b>OWP6</b> | -5,12 <sup>a</sup> ± 0,09   | 40,27 <sup>a</sup> ± 0,81 | 134,32 <sup>a</sup> ± 2,71            |
| <b>OWU4</b> | -6,08 <sup>c</sup> ± 0,17   | 37,27 <sup>a</sup> ± 1,68 | 124,30 <sup>a</sup> ± 5,61            |
| <b>OWU5</b> | -5,71 <sup>ab</sup> ± 0,23  | 37,95 <sup>a</sup> ± 2,28 | 126,56 <sup>a</sup> ± 7,61            |
| <b>OWU6</b> | -5,64 <sup>b</sup> ± 0,09   | 39,73 <sup>a</sup> ± 2,15 | 132,49 <sup>a</sup> ± 7,16            |

<sup>a,b</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.9. Wartości charakterystyki różnicowej kalorymetrii skaningowej lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron

|               | Temperatura zamarzania [°C] | Ilość wymrożonej wody [%]   | Ciepło topnienia [J·g <sup>-1</sup> ] |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| <b>WOP6,8</b> | -4,93 <sup>ab</sup> ± 0,08  | 41,01 <sup>bc</sup> ± 0,71  | 136,07 <sup>bc</sup> ± 2,39           |
| <b>WOP8,4</b> | -4,63 <sup>cd</sup> ± 0,10  | 41,10 <sup>abc</sup> ± 0,07 | 137,07 <sup>abc</sup> ± 0,24          |
| <b>WOP10</b>  | -4,38 <sup>a</sup> ± 0,02   | 41,32 <sup>ab</sup> ± 0,13  | 137,81 <sup>ab</sup> ± 0,41           |
| <b>WOU6,8</b> | -5,20 <sup>c</sup> ± 0,16   | 40,08 <sup>c</sup> ± 0,36   | 133,68 <sup>c</sup> ± 1,18            |
| <b>WOU8,4</b> | -4,80 <sup>bc</sup> ± 0,13  | 40,09 <sup>c</sup> ± 0,41   | 133,72 <sup>c</sup> ± 1,38            |
| <b>WOU10</b>  | -4,51 <sup>c</sup> ± 0,06   | 42,12 <sup>a</sup> ± 0,18   | 140,49 <sup>a</sup> ± 0,61            |

<sup>a,b,c,d</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Temperatura zamarzania dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron mieściła się w zakresie od -5,12 do -6,93°C, natomiast dla lodów z udziałem oleożelu na ich bazie od -4,57 do -5,63°C. Lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji charakteryzowały się najwyższą temperaturą zamarzania, natomiast najniższą lody z 4% udziałem oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej. Stwierdzono, że obróbka ultradźwiękowa wpłynęła na obniżenie temperatury zamarzania w porównaniu do pasteryzacji. Ponadto lody z udziałem oleożelu charakteryzują się wyższą temperaturą zamarzania w porównaniu do lodów z udziałem oleju. W badaniach Nazarewicz i in. (2022) nie zaobserwowano istotnych różnic

wartości temperatury zamarzania (od  $-4,70^{\circ}\text{C}$  do  $-5,23^{\circ}\text{C}$ ) dla lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion pomidora.

Ilość wymrożonej wody dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, mięszu awokado i pestek winogron zawierała się w zakresie od 37,17 do 44,34%, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 40,08 do 48,74%. Lody z 4% udziałem oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej charakteryzowały się najniższą ilością wymrożonej wody, natomiast najwyższą lody z 8,4% udziałem oleożelu na bazie oleju z mięszu awokado poddane pasteryzacji. Można stwierdzić, że obróbka ultradźwiękami wpłynęła na obniżenie ilości wymrożonej wody w porównaniu do pasteryzacji. Ponadto lody z udziałem oleożelu wykazały się wyższą ilością wymrożonej wody w przeciwieństwie do lodów z udziałem oleju. Odwrotną zależność można zaobserwować w badaniach Nazarewicz i in. (2022), gdzie ilość wymrożonej wody była niższa dla lodów poddanych pasteryzacji, a wyższa dla lodów poddanych obróbce ultradźwiękowej.

Ciepło topnienia dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, mięszu awokado i pestek winogron mieściło się w przedziale od 123,95 do 157,51  $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$ , natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 133,68 do 156,14  $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$ . Najniższe ciepło topnienia wykazały lody z 4% udziałem oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej, natomiast najwyższe lody z 6% udziałem oleju z mięszu awokado poddane pasteryzacji.

### **5.3.2. Ocena stopnia napowietrzenia, szybkości i całkowitego czasu topnienia lodów**

Puszystość jest wyróżnikiem charakteryzującym stopień napowietrzenia lodów. Parametr ten jest bardzo istotny przy ocenie lodów. Na właściwą puszystość wpływa skład mieszanki, w głównej mierze proporcja pomiędzy białkiem a tłuszczem oraz stopniem napowietrzenia.

Czas topnienia lodów jest miarą ich topliwości oraz informacją o właściwie dobranych parametrach przetwórczych, jak i parametrach zamrażania. Właściwie dobrany proces i parametry gwarantują odpowiednio małą wielkość kryształków lodów oraz rozmiar cząsteczek mieszanki lodowej [Muse i Hartel 2004].

Wyniki analizy puszystości i całkowitego czasu topnienia zostały zestawione w tabelach 5.10; 5.11; 5.12; 5.13; 5.14 i 5.15. Ponadto szybkość topnienia przedstawiono na rysunkach 5.4; 5.5; 5.6; 5.7; 5.8 i 5.9 oraz w tabelach umieszczonych w aneksie (tab. 8.2.A–8.7.A).

Tabela 5.10. Wartości stopnia napowietrzenia oraz całkowity czas topnienia lodów z udziałem oleju z nasion sezamu

|             | Puszystość [%]            | Całkowity czas topnienia [min.] |
|-------------|---------------------------|---------------------------------|
| <b>OSP4</b> | 35,71 <sup>c</sup> ± 0,40 | 24,19 <sup>b</sup> ± 0,07       |
| <b>OSP5</b> | 32,48 <sup>d</sup> ± 0,29 | 25,14 <sup>a</sup> ± 0,06       |
| <b>OSP6</b> | 31,08 <sup>d</sup> ± 0,42 | 24,27 <sup>b</sup> ± 0,03       |
| <b>OSU4</b> | 40,01 <sup>b</sup> ± 1,54 | 21,17 <sup>d</sup> ± 0,07       |
| <b>OSU5</b> | 40,81 <sup>b</sup> ± 1,42 | 22,10 <sup>c</sup> ± 0,05       |
| <b>OSU6</b> | 44,53 <sup>a</sup> ± 1,13 | 20,27 <sup>e</sup> ± 0,06       |

a,b,c,d,e – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.11. Wartości stopnia napowietrzenia oraz całkowity czas topnienia lodów z udziałem oleozelu na bazie oleju z nasion sezamu

|               | Puszystość [%]            | Całkowity czas topnienia [min.] |
|---------------|---------------------------|---------------------------------|
| <b>SOP6,8</b> | 38,27 <sup>c</sup> ± 0,87 | 26,19 <sup>f</sup> ± 0,06       |
| <b>SOP8,4</b> | 44,63 <sup>b</sup> ± 0,64 | 27,22 <sup>c</sup> ± 0,09       |
| <b>SOP10</b>  | 52,49 <sup>a</sup> ± 0,33 | 26,58 <sup>d</sup> ± 0,07       |
| <b>SOU6,8</b> | 28,94 <sup>e</sup> ± 0,98 | 26,41 <sup>e</sup> ± 0,04       |
| <b>SOU8,4</b> | 34,92 <sup>d</sup> ± 0,45 | 27,54 <sup>b</sup> ± 0,05       |
| <b>SOU10</b>  | 34,96 <sup>d</sup> ± 0,53 | 31,16 <sup>a</sup> ± 0,05       |

a,b,c,d,e,f – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.12. Wartości stopnia napowietrzenia oraz całkowity czas topnienia lodów z udziałem oleju z miąższu awokado

|             | Puszystość [%]             | Całkowity czas topnienia [min.] |
|-------------|----------------------------|---------------------------------|
| <b>OAP4</b> | 38,11 <sup>ab</sup> ± 0,64 | 26,47 <sup>b</sup> ± 0,05       |
| <b>OAP5</b> | 36,93 <sup>ab</sup> ± 1,28 | 24,49 <sup>e</sup> ± 0,04       |
| <b>OAP6</b> | 40,46 <sup>a</sup> ± 0,92  | 27,52 <sup>a</sup> ± 0,09       |
| <b>OAU4</b> | 39,32 <sup>a</sup> ± 1,49  | 26,05 <sup>c</sup> ± 0,06       |
| <b>OAU5</b> | 37,95 <sup>ab</sup> ± 0,85 | 25,55 <sup>d</sup> ± 0,06       |
| <b>OAU6</b> | 34,82 <sup>b</sup> ± 2,51  | 26,08 <sup>c</sup> ± 0,06       |

a,b,c,d,e – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.13. Wartości stopnia napowietrzenia oraz całkowity czas topnienia lodów z udziałem oleozelu na bazie oleju z miąższu awokado

|               | Puszystość [%]             | Całkowity czas topnienia [min.] |
|---------------|----------------------------|---------------------------------|
| <b>AOP6,8</b> | 39,93 <sup>ab</sup> ± 0,84 | 23,88 <sup>c</sup> ± 0,26       |
| <b>AOP8,4</b> | 38,89 <sup>ab</sup> ± 0,36 | 22,08 <sup>d</sup> ± 0,08       |
| <b>AOP10</b>  | 42,36 <sup>a</sup> ± 1,00  | 28,90 <sup>a</sup> ± 0,30       |
| <b>AOU6,8</b> | 31,84 <sup>c</sup> ± 2,12  | 28,48 <sup>a</sup> ± 0,05       |
| <b>AOU8,4</b> | 39,47 <sup>ab</sup> ± 1,94 | 25,46 <sup>b</sup> ± 0,05       |
| <b>AOU10</b>  | 37,23 <sup>b</sup> ± 0,69  | 28,46 <sup>a</sup> ± 0,04       |

a,b,c,d – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.14. Wartości stopnia napowietrzenia oraz całkowity czas topnienia lodów z udziałem olejem z pestek winogron

|             | Puszystość [%]             | Całkowity czas topnienia [min.] |
|-------------|----------------------------|---------------------------------|
| <b>OWP4</b> | 38,10 <sup>ab</sup> ± 1,64 | 24,35 <sup>d</sup> ± 0,02       |
| <b>OWP5</b> | 37,36 <sup>b</sup> ± 1,04  | 26,91 <sup>a</sup> ± 0,28       |
| <b>OWP6</b> | 37,47 <sup>b</sup> ± 1,72  | 26,30 <sup>b</sup> ± 0,03       |
| <b>OWU4</b> | 38,38 <sup>ab</sup> ± 1,77 | 25,24 <sup>c</sup> ± 0,04       |
| <b>OWU5</b> | 42,11 <sup>a</sup> ± 2,03  | 26,15 <sup>b</sup> ± 0,03       |
| <b>OWU6</b> | 40,07 <sup>ab</sup> ± 1,46 | 26,39 <sup>b</sup> ± 0,02       |

<sup>a,b,c,d</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

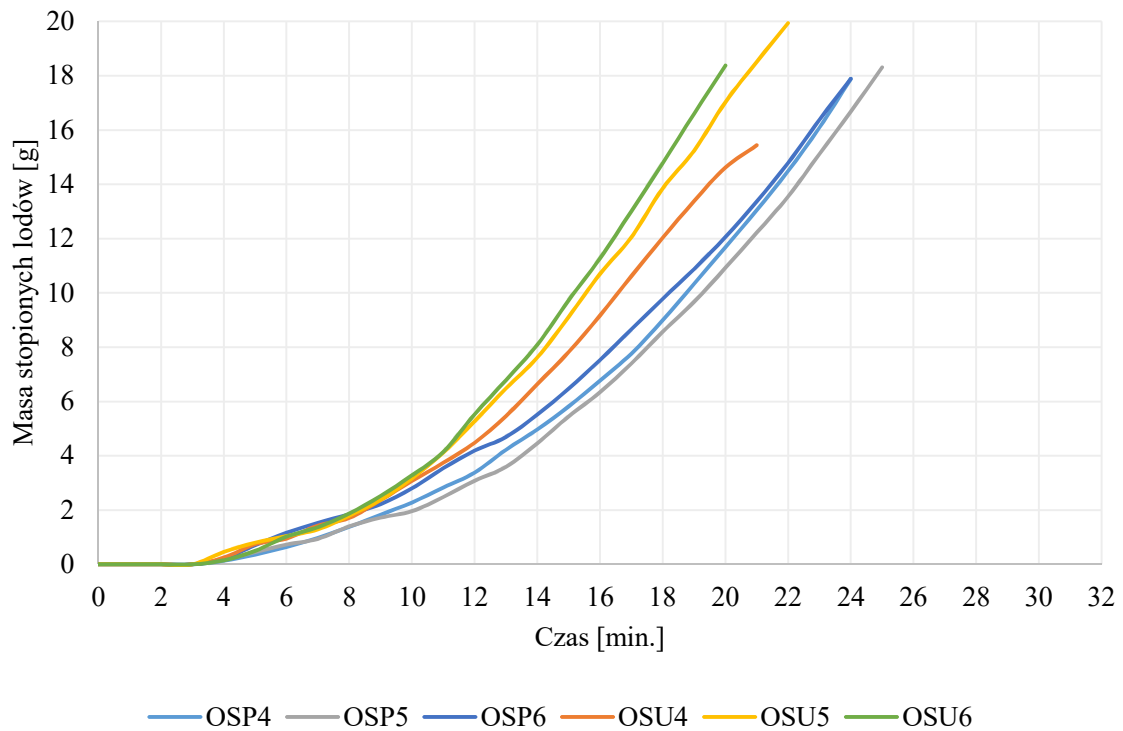
Tabela 5.15. Wartości stopnia napowietrzenia oraz całkowity czas topnienia lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron

|               | Puszystość [%]             | Całkowity czas topnienia [min.] |
|---------------|----------------------------|---------------------------------|
| <b>WOP6,8</b> | 30,34 <sup>c</sup> ± 0,89  | 24,31 <sup>c</sup> ± 0,04       |
| <b>WOP8,4</b> | 39,79 <sup>a</sup> ± 1,31  | 29,42 <sup>a</sup> ± 0,03       |
| <b>WOP10</b>  | 39,87 <sup>a</sup> ± 2,50  | 29,54 <sup>a</sup> ± 0,03       |
| <b>WOU6,8</b> | 34,86 <sup>bc</sup> ± 0,27 | 26,40 <sup>b</sup> ± 1,73       |
| <b>WOU8,4</b> | 34,56 <sup>bc</sup> ± 2,26 | 29,27 <sup>a</sup> ± 0,08       |
| <b>WOU10</b>  | 35,22 <sup>ab</sup> ± 1,83 | 29,36 <sup>a</sup> ± 0,15       |

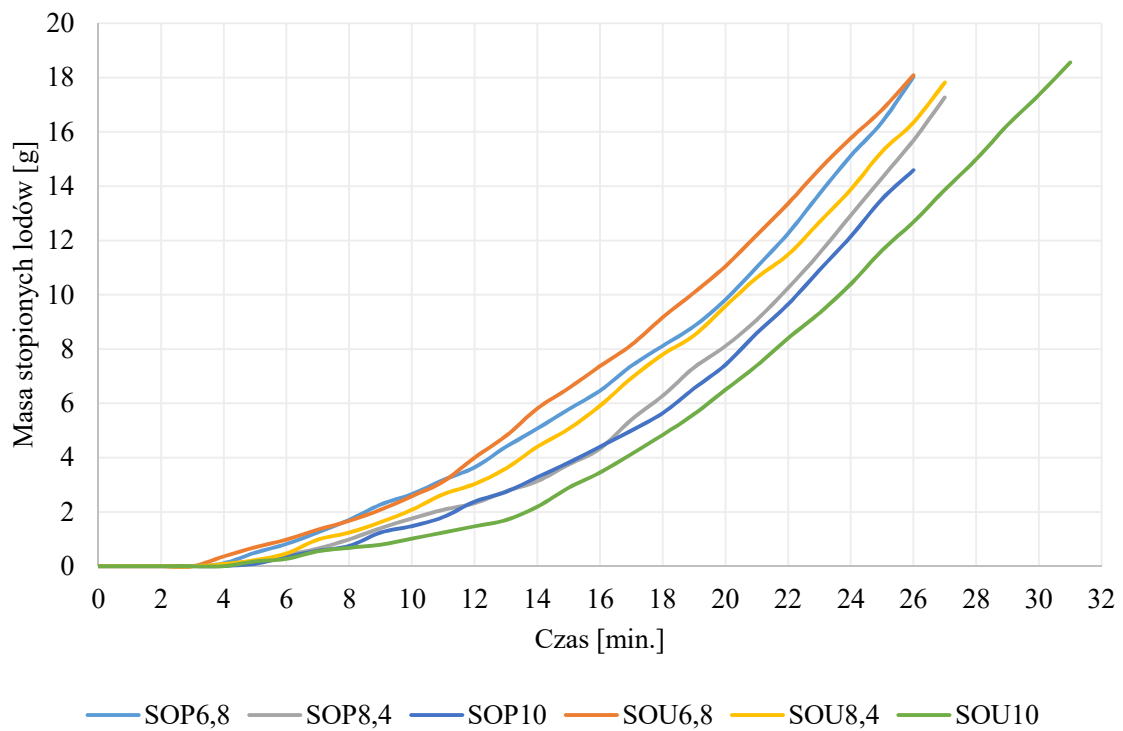
<sup>a,b,c</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Stopień napowietrzenia lodów wpływa na gładkość, konsystencję i smak lodów [Góral i in. 2018]. W badanych lodach z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron stopień napowietrzenia (puszystość) wahał się w przedziale od 31,08 do 44,53%, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 28,94 do 52,49%. Lody z 6% udziałem oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji charakteryzowały się najniższym stopniem napowietrzenia, natomiast najwyższym lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji. Stwierdzono, że obróbka ultradźwiękami wpłynęła na wzrost stopnia napowietrzenia lodów z udziałem oleju z nasion sezamu oraz oleju z pestek winogron, natomiast odwrotną zależność zaobserwowano dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie. Taką samą zależność w swoich badaniach wykazali Nazarewicz i in. (2022). Lody z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion pomidora poddane obróbce ultradźwiękowej wykazały się niższym stopniem napowietrzenia w porównaniu do lodów poddanych pasteryzacji.

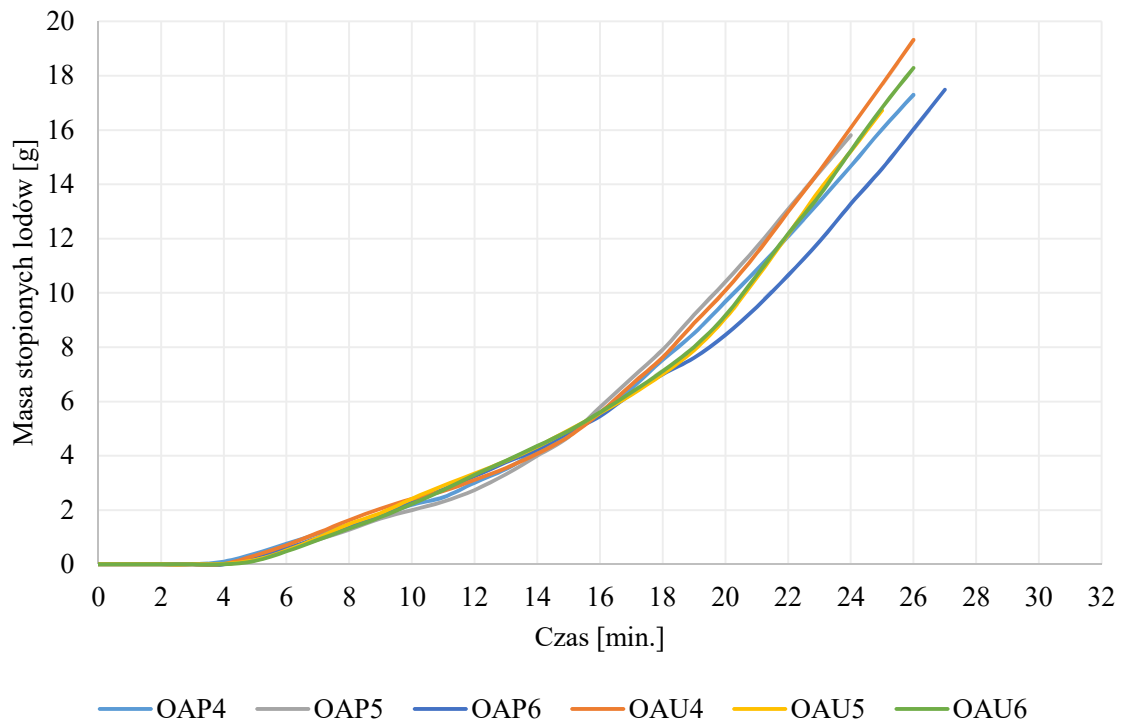




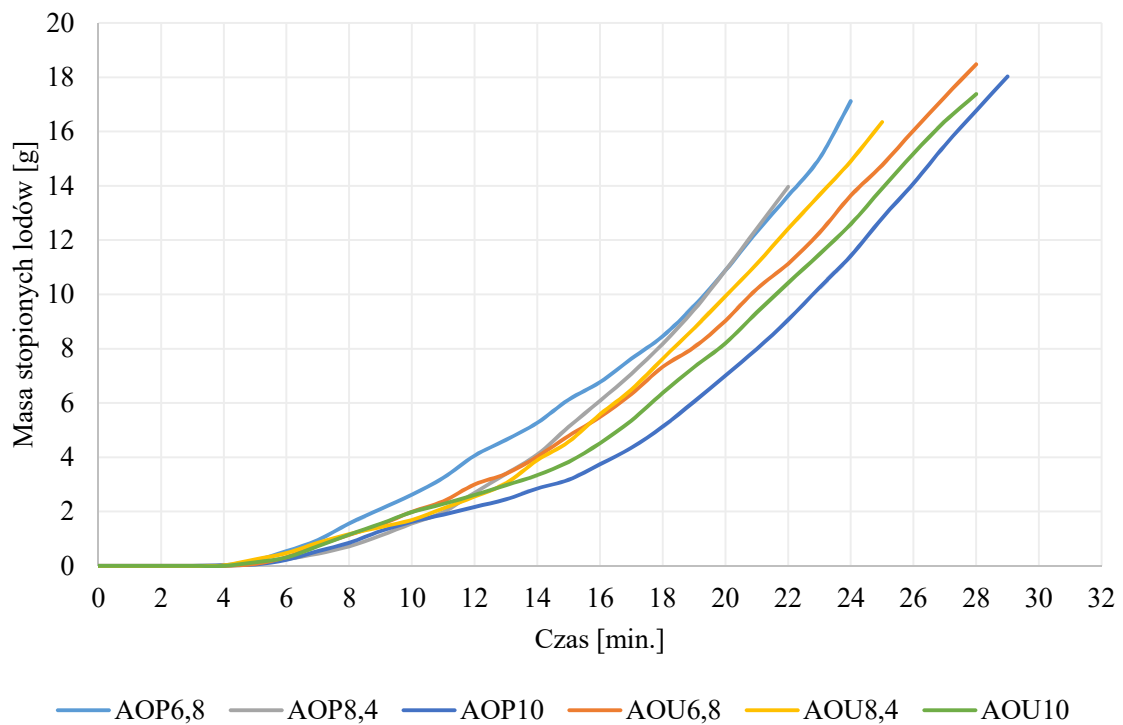
Rys. 5.4. Szybkość topnienia lodów z udziałem oleju z nasion sezamu



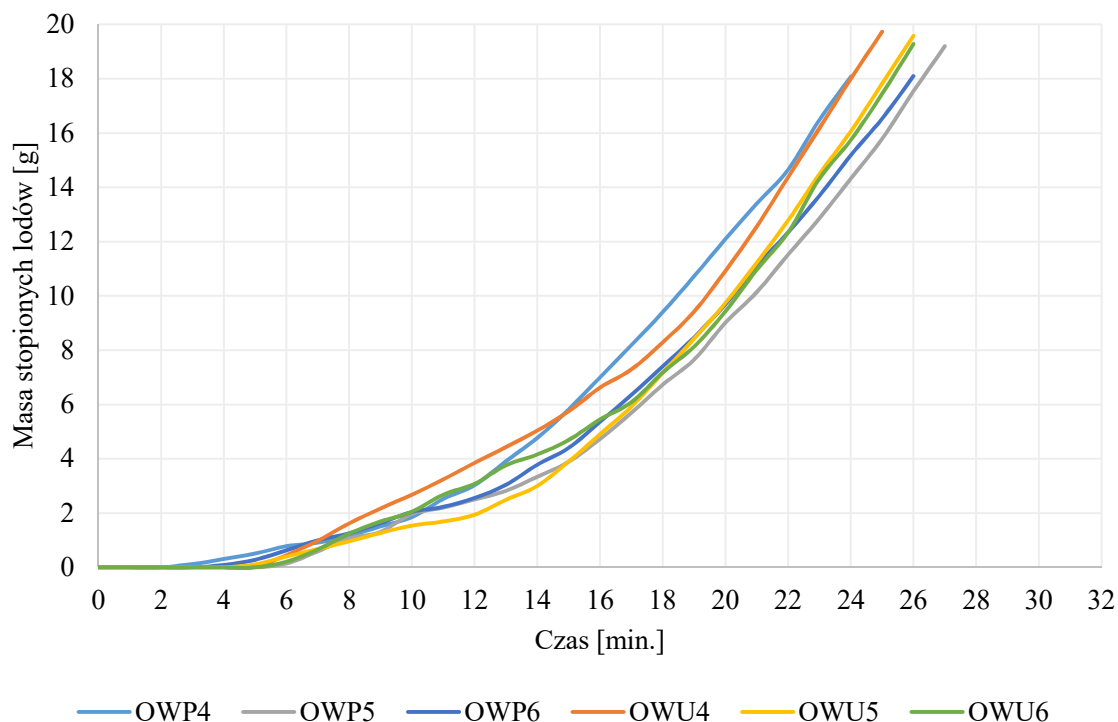
Rys. 5.5. Szybkość topnienia lodów z udziałem oleogelu na bazie oleju z nasion sezamu



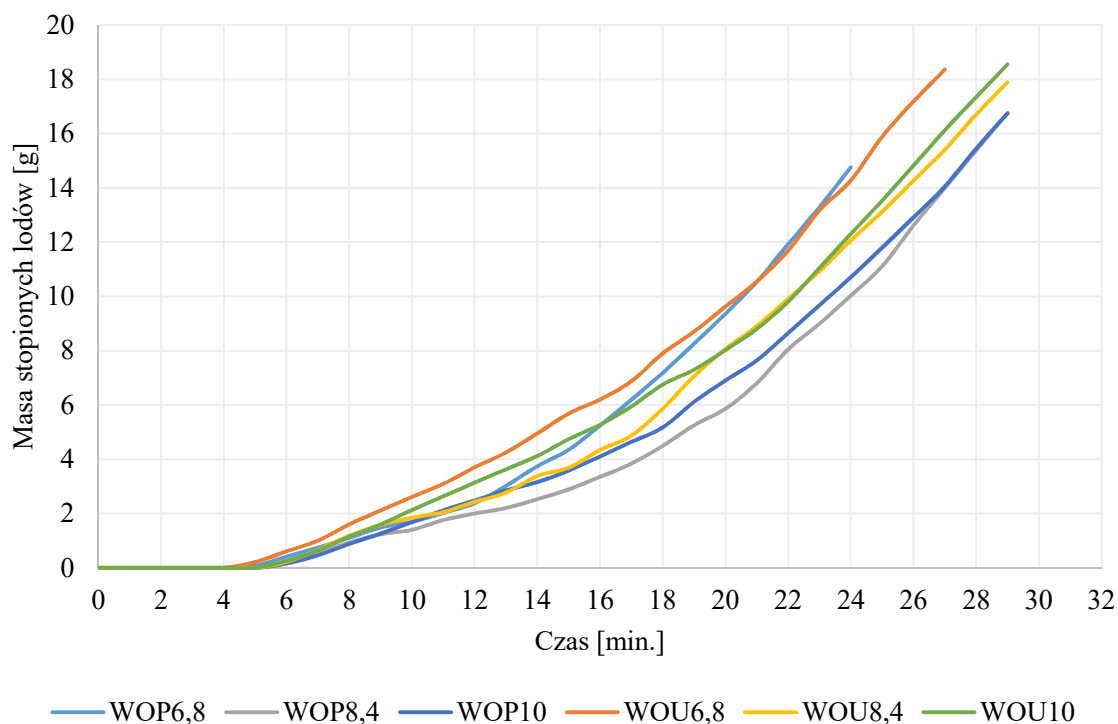
Rys. 5.6. Szybkość topnienia lodów z udziałem oleju z miąższu awokado



Rys. 5.7. Szybkość topnienia lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado



Rys. 5.8. Szybkość topnienia lodów z udziałem oleju z pestek winogron



Rys. 5.9. Szybkość topnienia lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron

Dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron całkowity czas topnienia wahał się w zakresie od 20,27 do 27,52 min., natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 24,31 do 31,16 min. Najkrótszym całkowitym czasem

topnienia wykazały lody z 6% udziałem oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej, natomiast najdłuższym lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej. W badaniach Nazarewicz i in. (2022) wykazali, że lody z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion pomidora poddane pasteryzacji miały istotnie wyższy całkowity czas topnienia w porównaniu do lodów poddanych obróbce ultradźwiękowej.

### 5.3.3. Ocena lepkości

Lepkość jest cechą, która charakteryzuje lody na etapie ich powstawania oraz gotowego produktu odnosząc się do powstającej struktury i tekstury [Ozdemir i in. 2008].

Wyniki analizy lepkości mieszanki przed i po dojrzewaniu, jak i lodów zostały zestawione w tabelach 5.16; 5.17; 5.18; 5.19; 5.20 i 5.21.

Tabela 5.16. Wartości lepkości mieszanki przed i po dojrzewaniu oraz lepkości lodów z udziałem oleju z nasion sezamu

|             | Lepkość [mPa-s]                     |                                 |                            |
|-------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
|             | Mieszanka lodowa przed dojrzewaniem | Mieszanka lodowa po dojrzewaniu | Lody                       |
| <b>OSP4</b> | 247,33 <sup>d</sup> ± 3,21          | 450,67 <sup>e</sup> ± 2,52      | 427,00 <sup>d</sup> ± 2,00 |
| <b>OSP5</b> | 200,93 <sup>f</sup> ± 1,00          | 483,33 <sup>d</sup> ± 4,93      | 455,33 <sup>c</sup> ± 2,52 |
| <b>OSP6</b> | 230,33 <sup>e</sup> ± 3,21          | 452,67 <sup>e</sup> ± 2,08      | 392,67 <sup>e</sup> ± 5,51 |
| <b>OSU4</b> | 2463,33 <sup>b</sup> ± 2,52         | 4267,30 <sup>b</sup> ± 1,57     | 700,93 <sup>a</sup> ± 1,70 |
| <b>OSU5</b> | 2120,33 <sup>c</sup> ± 1,53         | 3137,33 <sup>c</sup> ± 1,53     | 425,33 <sup>d</sup> ± 2,52 |
| <b>OSU6</b> | 2958,97 <sup>a</sup> ± 1,95         | 5325,00 <sup>a</sup> ± 3,00     | 467,30 <sup>b</sup> ± 1,57 |

a,b,c,d,e,f – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.17. Wartości lepkości mieszanki przed i po dojrzewaniu oraz lepkości lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu

|               | Lepkość [mPa-s]                     |                                 |                            |
|---------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
|               | Mieszanka lodowa przed dojrzewaniem | Mieszanka lodowa po dojrzewaniu | Lody                       |
| <b>SOP6,8</b> | 909,30 <sup>a</sup> ± 2,07          | 1223,00 <sup>a</sup> ± 1,00     | 553,97 <sup>a</sup> ± 1,05 |
| <b>SOP8,4</b> | 672,97 <sup>c</sup> ± 2,63          | 1050,30 <sup>c</sup> ± 1,13     | 536,00 <sup>b</sup> ± 2,00 |
| <b>SOP10</b>  | 725,67 <sup>b</sup> ± 2,08          | 1097,33 <sup>b</sup> ± 3,06     | 556,97 <sup>a</sup> ± 2,05 |
| <b>SOU6,8</b> | 319,63 <sup>f</sup> ± 1,18          | 569,33 <sup>f</sup> ± 1,53      | 386,63 <sup>b</sup> ± 2,12 |
| <b>SOU8,4</b> | 466,93 <sup>e</sup> ± 2,63          | 815,27 <sup>e</sup> ± 1,52      | 299,63 <sup>c</sup> ± 1,18 |
| <b>SOU10</b>  | 499,90 <sup>d</sup> ± 2,00          | 847,93 <sup>d</sup> ± 1,70      | 269,27 <sup>d</sup> ± 1,18 |

a,b,c,d,e,f – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.18. Wartości lepkości mieszanki przed i po dojrzewaniu oraz lepkości lodów z udziałem oleju z miąższu awokado

|             | Lepkość [mPa·s]                     |                                 |                            |
|-------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
|             | Mieszanka lodowa przed dojrzewaniem | Mieszanka lodowa po dojrzewaniu | Lody                       |
| <b>OAP4</b> | 282,60 <sup>d</sup> ± 3,56          | 313,00 <sup>f</sup> ± 2,00      | 434,93 <sup>d</sup> ± 4,05 |
| <b>OAP5</b> | 278,00 <sup>d</sup> ± 3,00          | 338,93 <sup>e</sup> ± 2,68      | 516,63 <sup>a</sup> ± 4,05 |
| <b>OAP6</b> | 409,67 <sup>b</sup> ± 6,03          | 415,67 <sup>c</sup> ± 4,73      | 359,67 <sup>e</sup> ± 4,51 |
| <b>OAU4</b> | 211,93 <sup>e</sup> ± 3,59          | 452,00 <sup>d</sup> ± 4,00      | 428,30 <sup>d</sup> ± 3,04 |
| <b>OAU5</b> | 575,30 <sup>a</sup> ± 2,07          | 481,00 <sup>b</sup> ± 3,61      | 475,33 <sup>c</sup> ± 3,51 |
| <b>OAU6</b> | 379,30 <sup>c</sup> ± 4,51          | 761,33 <sup>a</sup> ± 2,08      | 493,67 <sup>b</sup> ± 2,52 |

a,b,c,d,e,f – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.19. Wartości lepkości mieszanki przed i po dojrzewaniu oraz lepkości lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado

|               | Lepkość [mPa·s]                     |                                 |                            |
|---------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
|               | Mieszanka lodowa przed dojrzewaniem | Mieszanka lodowa po dojrzewaniu | Lody                       |
| <b>AOP6,8</b> | 384,27 <sup>c</sup> ± 4,56          | 452,00 <sup>d</sup> ± 4,00      | 648,60 <sup>b</sup> ± 2,56 |
| <b>AOP8,4</b> | 395,63 <sup>b</sup> ± 4,15          | 481,00 <sup>c</sup> ± 3,61      | 795,30 <sup>a</sup> ± 3,56 |
| <b>AOP10</b>  | 673,97 <sup>a</sup> ± 2,63          | 761,33 <sup>a</sup> ± 2,08      | 633,00 <sup>c</sup> ± 5,57 |
| <b>AOU6,8</b> | 171,67 <sup>e</sup> ± 3,51          | 305,60 <sup>f</sup> ± 5,17      | 303,63 <sup>e</sup> ± 4,05 |
| <b>AOU8,4</b> | 401,93 <sup>b</sup> ± 3,66          | 577,67 <sup>b</sup> ± 3,51      | 334,00 <sup>d</sup> ± 5,00 |
| <b>AOU10</b>  | 243,97 <sup>d</sup> ± 2,63          | 351,97 <sup>e</sup> ± 3,05      | 285,27 <sup>f</sup> ± 3,51 |

a,b,c,d,e,f – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.20. Wartości lepkości mieszanki przed i po dojrzewaniu oraz lepkości lodów z udziałem oleju z pestek winogron

|             | Lepkość [mPa·s]                     |                                 |                            |
|-------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
|             | Mieszanka lodowa przed dojrzewaniem | Mieszanka lodowa po dojrzewaniu | Lody                       |
| <b>OWP4</b> | 258,33 <sup>d</sup> ± 4,04          | 481,93 <sup>d</sup> ± 3,95      | 390,93 <sup>d</sup> ± 3,59 |
| <b>OWP5</b> | 214,27 <sup>e</sup> ± 4,09          | 429,30 <sup>e</sup> ± 3,04      | 461,30 <sup>b</sup> ± 2,56 |
| <b>OWP6</b> | 191,27 <sup>f</sup> ± 3,56          | 341,33 <sup>f</sup> ± 3,51      | 331,33 <sup>f</sup> ± 3,51 |
| <b>OWU4</b> | 406,97 <sup>c</sup> ± 3,66          | 761,60 <sup>b</sup> ± 4,03      | 362,30 <sup>e</sup> ± 3,56 |
| <b>OWU5</b> | 529,60 <sup>b</sup> ± 4,99          | 704,30 <sup>c</sup> ± 4,56      | 441,27 <sup>c</sup> ± 3,10 |
| <b>OWU6</b> | 743,63 <sup>a</sup> ± 5,98          | 876,60 <sup>a</sup> ± 1,57      | 573,67 <sup>a</sup> ± 2,52 |

a,b,c,d,e,f – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.21. Wartości lepkości mieszanki przed i po dojrzewaniu oraz lepkości lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron

|               | Lepkość [mPa·s]                     |                                 |                             |
|---------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
|               | Mieszanka lodowa przed dojrzewaniem | Mieszanka lodowa po dojrzewaniu | Lody                        |
| <b>WOP6,8</b> | 390,97 <sup>d</sup> ± 4,05          | 444,63 <sup>d</sup> ± 4,05      | 494,33 <sup>a</sup> ± 3,51  |
| <b>WOP8,4</b> | 481,93 <sup>a</sup> ± 4,95          | 557,67 <sup>a</sup> ± 2,52      | 465,97 <sup>c</sup> ± 4,54  |
| <b>WOP10</b>  | 413,93 <sup>c</sup> ± 4,05          | 522,93 <sup>c</sup> ± 5,62      | 486,93 <sup>ab</sup> ± 3,65 |
| <b>WOU6,8</b> | 235,27 <sup>e</sup> ± 2,92          | 323,63 <sup>e</sup> ± 4,51      | 483,30 <sup>b</sup> ± 2,86  |
| <b>WOU8,4</b> | 404,63 <sup>c</sup> ± 6,70          | 544,63 <sup>b</sup> ± 2,57      | 308,00 <sup>d</sup> ± 2,65  |
| <b>WOU10</b>  | 462,57 <sup>b</sup> ± 3,51          | 527,63 <sup>c</sup> ± 2,51      | 236,27 <sup>e</sup> ± 2,47  |

<sup>a,b,c,d,e</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Lepkość dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron mieściła się w zakresie od 331,33 do 700,93 mPa·s, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 236,27 do 795,30 mPa·s. Lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej wykazały się najniższą lepkością, natomiast najwyższą lody z 8,4% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddane pasteryzacji. Można zaobserwować, że proces dojrzewania wpływa na wzrost lepkości mieszanki lodowej. Ponadto obróbka ultradźwiękowa wykazała wzrost lepkości na każdym etapie powstawania lodów z udziałem oleju z nasion sezamu i pestek winogron, natomiast odwrotną zależność zaobserwowano dla udziału oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu i z miąższu awokado. W badaniach Nazarewicz i in. (2022) wykazali, że lody z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion pomidora poddane obróbce ultradźwiękowej charakteryzowały się niższą lepkością.

#### 5.3.4. Ocena twardości i kleistości lodów

Puszystość oraz wielkość kryształków lodowych powstających w lodach, jak również wielkość elementów stałych oraz stopień destabilizacji tłuszczu ma wpływ na twardość lodów. Większa zawartość dużych kryształków lodów powoduje, że lody są twardsze [Muse i Hartel 2004].

Wyniki analizy twardości i kleistości zostały zestawione w tabelach 5.22; 5.23; 5.24; 5.25; 5.26 i 5.27.

Tabela 5.22. Wartości twardości i kleistości lodów z udziałem oleju z nasion sezamu

|             | Twardość [N]              | Kleistość [N·s]              |
|-------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>OSP4</b> | 10,02 <sup>b</sup> ± 1,95 | -10,16 <sup>ab</sup> ± 1,90  |
| <b>OSP5</b> | 11,79 <sup>b</sup> ± 1,85 | -16,58 <sup>abc</sup> ± 2,66 |
| <b>OSP6</b> | 14,71 <sup>b</sup> ± 2,21 | -19,56 <sup>c</sup> ± 1,24   |
| <b>OSU4</b> | 8,94 <sup>b</sup> ± 0,40  | -8,97 <sup>a</sup> ± 0,39    |
| <b>OSU5</b> | 29,18 <sup>a</sup> ± 2,01 | -30,92 <sup>d</sup> ± 6,74   |
| <b>OSU6</b> | 27,66 <sup>a</sup> ± 6,14 | -18,30 <sup>bc</sup> ± 0,99  |

a,b,c,d – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.23. Wartości twardości i kleistości lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu

|               | Twardość [N]               | Kleistość [N·s]             |
|---------------|----------------------------|-----------------------------|
| <b>SOP6,8</b> | 4,60 <sup>c</sup> ± 0,80   | -6,98 <sup>a</sup> ± 1,06   |
| <b>SOP8,4</b> | 12,16 <sup>b</sup> ± 0,82  | -16,77 <sup>bc</sup> ± 0,35 |
| <b>SOP10</b>  | 18,48 <sup>a</sup> ± 2,97  | -12,79 <sup>ab</sup> ± 0,99 |
| <b>SOU6,8</b> | 16,09 <sup>ab</sup> ± 0,58 | -21,40 <sup>c</sup> ± 2,00  |
| <b>SOU8,4</b> | 19,76 <sup>a</sup> ± 0,84  | -31,14 <sup>d</sup> ± 4,16  |
| <b>SOU10</b>  | 14,12 <sup>b</sup> ± 1,12  | -21,84 <sup>c</sup> ± 2,29  |

a,b,c,d – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.24. Wartości twardości i kleistości lodów z udziałem oleju z miąższu awokado

|             | Twardość [N]              | Kleistość [N·s]             |
|-------------|---------------------------|-----------------------------|
| <b>OAP4</b> | 13,54 <sup>b</sup> ± 1,90 | -20,15 <sup>a</sup> ± 0,73  |
| <b>OAP5</b> | 14,49 <sup>b</sup> ± 1,46 | -19,73 <sup>a</sup> ± 1,78  |
| <b>OAP6</b> | 16,65 <sup>b</sup> ± 0,94 | -25,09 <sup>ab</sup> ± 0,50 |
| <b>OAU4</b> | 47,58 <sup>a</sup> ± 6,38 | -32,09 <sup>b</sup> ± 4,62  |
| <b>OAU5</b> | 43,14 <sup>a</sup> ± 4,47 | -25,60 <sup>ab</sup> ± 3,62 |
| <b>OAU6</b> | 40,98 <sup>a</sup> ± 2,52 | -23,40 <sup>a</sup> ± 1,58  |

a,b – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.25. Wartości twardości i kleistości lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado

|               | Twardość [N]              | Kleistość [N·s]             |
|---------------|---------------------------|-----------------------------|
| <b>AOP6,8</b> | 12,30 <sup>c</sup> ± 2,64 | -17,06 <sup>ab</sup> ± 2,64 |
| <b>AOP8,4</b> | 9,85 <sup>c</sup> ± 0,89  | -11,43 <sup>c</sup> ± 0,65  |
| <b>AOP10</b>  | 24,47 <sup>a</sup> ± 1,92 | -18,26 <sup>b</sup> ± 3,79  |
| <b>AOU6,8</b> | 11,01 <sup>c</sup> ± 0,67 | -18,60 <sup>b</sup> ± 1,80  |
| <b>AOU8,4</b> | 18,09 <sup>b</sup> ± 1,23 | -27,98 <sup>c</sup> ± 3,09  |
| <b>AOU10</b>  | 12,79 <sup>c</sup> ± 0,27 | -20,24 <sup>b</sup> ± 1,33  |

a,b,c – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.26. Wartości twardości i kleistości lodów z udziałem oleju z pestek winogron

|             | Twardość [N]               | Kleistość [N·s]             |
|-------------|----------------------------|-----------------------------|
| <b>OWP4</b> | 33,22 <sup>cd</sup> ± 1,84 | -31,52 <sup>ab</sup> ± 2,32 |
| <b>OWP5</b> | 31,07 <sup>a</sup> ± 1,61  | -30,55 <sup>ab</sup> ± 2,62 |
| <b>OWP6</b> | 31,44 <sup>a</sup> ± 0,46  | -29,26 <sup>ab</sup> ± 0,57 |
| <b>OWU4</b> | 37,16 <sup>c</sup> ± 1,17  | -57,62 <sup>c</sup> ± 8,44  |
| <b>OWU5</b> | 50,31 <sup>a</sup> ± 2,88  | -25,27 <sup>a</sup> ± 1,23  |
| <b>OWU6</b> | 43,87 <sup>b</sup> ± 2,28  | -36,29 <sup>b</sup> ± 2,37  |

<sup>a,b,c</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.27. Wartości twardości i kleistości lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron

|               | Twardość [N]              | Kleistość [N·s]             |
|---------------|---------------------------|-----------------------------|
| <b>WOP6,8</b> | 14,77 <sup>b</sup> ± 3,49 | -14,81 <sup>ab</sup> ± 5,51 |
| <b>WOP8,4</b> | 23,87 <sup>b</sup> ± 4,47 | -25,66 <sup>b</sup> ± 5,89  |
| <b>WOP10</b>  | 22,20 <sup>b</sup> ± 5,89 | -24,99 <sup>b</sup> ± 7,04  |
| <b>WOU6,8</b> | 35,36 <sup>a</sup> ± 1,24 | -11,81 <sup>a</sup> ± 1,06  |
| <b>WOU8,4</b> | 16,11 <sup>b</sup> ± 1,08 | -22,86 <sup>ab</sup> ± 0,45 |
| <b>WOU10</b>  | 21,34 <sup>b</sup> ± 1,48 | -14,06 <sup>ab</sup> ± 2,39 |

<sup>a,b</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron twardość mieściła się w zakresie od 10,02 do 50,31 N, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 4,60 do 24,47 N. Najniższą twardością charakteryzowały się lody z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji, natomiast najwyższą lody z 5% udziałem oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej. Lody z udziałem oleju z pestek winogron charakteryzowały się wyższą twardością w porównaniu do lodów z udziałem oleju z nasion sezamu oraz miąższu awokado. Stwierdzono, że obróbka ultradźwiękami wpłynęła na wzrost twardości lodów zarówno z udziałem oleju i oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron. Nazarewicz i in. (2022) wykazali, że twardość lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion pomidora wahała się w przedziale od 1,59 N do 3,88 N dla lodów poddanych pasteryzacji, natomiast od 4,57 N do 9,33 N dla lodów poddanych obróbce ultradźwiękowej. Są to wartości znacznie niższe w porównaniu do badanych prób.

Adhezyjność (kleistość) dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron zawierała się w zakresie od -8,97 do -57,62 N·s, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od -6,98 do -31,14 N·s. Najniższą kleistością charakteryzowały się lody z 4% udziałem oleju z pestek winogron poddane obróbce



ultradźwiękowej, natomiast najwyższą lody z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji.

### 5.3.5. Wyniki oceny barwy lodów

Barwa to jedno z najważniejszych kryteriów wpływające na akceptację konsumenta. Wartości parametrów  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  oraz różnice w nasyceniu ( $\Delta C^*$ ) i różnicy tonu ( $\Delta H^*$ ) lodów zestawiono w tabelach 5.28; 5.29; 5.30; 5.31; 5.32 i 5.33.

Tabela 5.28. Wartości parametrów  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  oraz różnicy w nasyceniu ( $\Delta C^*$ ) i różnicy tonu ( $\Delta H^*$ ) lodów z udziałem oleju z nasion sezamu

|             | $L^*$                     | $a^*$                    | $b^*$                     | $\Delta C^*$              | $\Delta H^*$              |
|-------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>OSP4</b> | 74,94 <sup>d</sup> ± 0,23 | 1,94 <sup>b</sup> ± 0,03 | 16,05 <sup>a</sup> ± 0,10 | 16,17 <sup>a</sup> ± 0,10 | 83,11 <sup>d</sup> ± 0,13 |
| <b>OSP5</b> | 75,10 <sup>d</sup> ± 0,13 | 2,09 <sup>a</sup> ± 0,02 | 15,89 <sup>a</sup> ± 0,14 | 16,03 <sup>a</sup> ± 0,14 | 82,51 <sup>e</sup> ± 0,08 |
| <b>OSP6</b> | 75,10 <sup>d</sup> ± 0,24 | 1,92 <sup>b</sup> ± 0,01 | 15,50 <sup>b</sup> ± 0,14 | 15,62 <sup>b</sup> ± 0,14 | 82,94 <sup>d</sup> ± 0,10 |
| <b>OSU4</b> | 77,74 <sup>c</sup> ± 0,27 | 1,40 <sup>c</sup> ± 0,02 | 14,31 <sup>c</sup> ± 0,21 | 14,38 <sup>c</sup> ± 0,20 | 84,40 <sup>c</sup> ± 0,09 |
| <b>OSU5</b> | 78,35 <sup>b</sup> ± 0,13 | 1,16 <sup>d</sup> ± 0,06 | 13,55 <sup>d</sup> ± 0,10 | 13,60 <sup>d</sup> ± 0,10 | 85,10 <sup>b</sup> ± 0,22 |
| <b>OSU6</b> | 79,06 <sup>a</sup> ± 0,11 | 0,94 <sup>c</sup> ± 0,02 | 12,99 <sup>e</sup> ± 0,11 | 13,02 <sup>e</sup> ± 0,11 | 85,86 <sup>a</sup> ± 0,08 |

a,b,c,d,e – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD ( $n=3$ ).

Tabela 5.29. Wartości parametrów  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  oraz różnicy w nasyceniu ( $\Delta C^*$ ) i różnicy tonu ( $\Delta H^*$ ) lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu

|               | $L^*$                      | $a^*$                    | $b^*$                     | $\Delta C^*$              | $\Delta H^*$              |
|---------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>SOP6,8</b> | 76,31 <sup>d</sup> ± 0,14  | 1,87 <sup>a</sup> ± 0,05 | 15,57 <sup>a</sup> ± 0,23 | 15,69 <sup>a</sup> ± 0,23 | 83,17 <sup>c</sup> ± 0,26 |
| <b>SOP8,4</b> | 76,54 <sup>cd</sup> ± 0,08 | 1,82 <sup>a</sup> ± 0,02 | 15,40 <sup>a</sup> ± 0,05 | 15,50 <sup>a</sup> ± 0,05 | 83,26 <sup>c</sup> ± 0,09 |
| <b>SOP10</b>  | 76,93 <sup>c</sup> ± 0,16  | 1,58 <sup>b</sup> ± 0,04 | 14,70 <sup>b</sup> ± 0,07 | 14,73 <sup>b</sup> ± 0,07 | 83,85 <sup>b</sup> ± 0,18 |
| <b>SOU6,8</b> | 77,60 <sup>b</sup> ± 0,31  | 1,48 <sup>b</sup> ± 0,04 | 14,65 <sup>b</sup> ± 0,24 | 14,73 <sup>b</sup> ± 0,24 | 84,22 <sup>b</sup> ± 0,13 |
| <b>SOU8,4</b> | 78,79 <sup>a</sup> ± 0,21  | 1,12 <sup>c</sup> ± 0,05 | 13,44 <sup>c</sup> ± 0,15 | 13,48 <sup>c</sup> ± 0,16 | 85,22 <sup>a</sup> ± 0,16 |
| <b>SOU10</b>  | 78,71 <sup>a</sup> ± 0,19  | 1,05 <sup>c</sup> ± 0,04 | 13,19 <sup>c</sup> ± 0,06 | 13,23 <sup>c</sup> ± 0,06 | 85,43 <sup>a</sup> ± 0,18 |

a,b,c,d – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD ( $n=3$ ).

Tabela 5.30. Wartości parametrów  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  oraz różnicy w nasyceniu ( $\Delta C^*$ ) i różnicy tonu ( $\Delta H^*$ ) lodów z udziałem oleju z miąższu awokado

|             | $L^*$                     | $a^*$                    | $b^*$                     | $\Delta C^*$              | $\Delta H^*$              |
|-------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>OAP4</b> | 72,93 <sup>b</sup> ± 0,82 | 1,67 <sup>a</sup> ± 0,04 | 21,66 <sup>c</sup> ± 0,23 | 21,73 <sup>c</sup> ± 0,24 | 85,59 <sup>c</sup> ± 0,07 |
| <b>OAP5</b> | 73,43 <sup>b</sup> ± 0,09 | 1,64 <sup>a</sup> ± 0,04 | 22,60 <sup>b</sup> ± 0,03 | 22,66 <sup>b</sup> ± 0,03 | 85,85 <sup>c</sup> ± 0,10 |
| <b>OAP6</b> | 73,72 <sup>b</sup> ± 0,06 | 1,39 <sup>b</sup> ± 0,03 | 23,32 <sup>a</sup> ± 0,11 | 23,36 <sup>a</sup> ± 0,11 | 86,58 <sup>b</sup> ± 0,07 |
| <b>OAU4</b> | 75,90 <sup>a</sup> ± 0,17 | 1,07 <sup>c</sup> ± 0,05 | 19,11 <sup>c</sup> ± 0,07 | 19,14 <sup>c</sup> ± 0,07 | 86,79 <sup>b</sup> ± 0,15 |
| <b>OAU5</b> | 76,74 <sup>a</sup> ± 0,08 | 0,78 <sup>d</sup> ± 0,06 | 19,09 <sup>c</sup> ± 0,08 | 19,11 <sup>c</sup> ± 0,07 | 87,67 <sup>a</sup> ± 0,18 |
| <b>OAU6</b> | 76,39 <sup>a</sup> ± 0,17 | 0,74 <sup>d</sup> ± 0,03 | 20,20 <sup>d</sup> ± 0,20 | 20,21 <sup>d</sup> ± 0,19 | 87,90 <sup>a</sup> ± 0,05 |

a,b,c,d,e – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD ( $n=3$ ).

Tabela 5.31. Wartości parametrów  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  oraz różnicy w nasyceniu ( $\Delta C^*$ ) i różnicy tonu ( $\Delta H^*$ ) lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado

|               | $L^*$                     | $a^*$                    | $b^*$                     | $\Delta C^*$              | $\Delta H^*$              |
|---------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>AOP6,8</b> | 74,07 <sup>b</sup> ± 0,16 | 1,27 <sup>a</sup> ± 0,00 | 22,04 <sup>b</sup> ± 0,18 | 22,08 <sup>b</sup> ± 0,18 | 86,69 <sup>d</sup> ± 0,03 |
| <b>AOP8,4</b> | 73,95 <sup>b</sup> ± 0,32 | 1,09 <sup>b</sup> ± 0,06 | 23,36 <sup>a</sup> ± 0,08 | 23,38 <sup>a</sup> ± 0,08 | 87,33 <sup>c</sup> ± 0,13 |
| <b>AOP10</b>  | 74,46 <sup>b</sup> ± 0,46 | 0,89 <sup>c</sup> ± 0,08 | 23,89 <sup>a</sup> ± 0,42 | 23,90 <sup>a</sup> ± 0,42 | 87,87 <sup>b</sup> ± 0,16 |
| <b>AOU6,8</b> | 76,12 <sup>a</sup> ± 0,40 | 0,90 <sup>c</sup> ± 0,04 | 20,69 <sup>c</sup> ± 0,36 | 20,71 <sup>c</sup> ± 0,36 | 87,51 <sup>c</sup> ± 0,08 |
| <b>AOU8,4</b> | 76,21 <sup>a</sup> ± 0,12 | 0,70 <sup>d</sup> ± 0,03 | 21,07 <sup>c</sup> ± 0,05 | 21,08 <sup>c</sup> ± 0,05 | 88,10 <sup>b</sup> ± 0,08 |
| <b>AOU10</b>  | 75,71 <sup>a</sup> ± 0,09 | 0,56 <sup>e</sup> ± 0,03 | 22,65 <sup>b</sup> ± 0,01 | 22,66 <sup>b</sup> ± 0,01 | 88,58 <sup>a</sup> ± 0,07 |

a,b,c,d,e – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.32. Wartości parametrów  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  oraz różnicy w nasyceniu ( $\Delta C^*$ ) i różnicy tonu ( $\Delta H^*$ ) lodów z udziałem oleju z pestek winogron

|             | $L^*$                     | $a^*$                    | $b^*$                     | $\Delta C^*$              | $\Delta H^*$              |
|-------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>OWP4</b> | 74,86 <sup>d</sup> ± 0,34 | 2,16 <sup>a</sup> ± 0,01 | 16,65 <sup>a</sup> ± 0,07 | 16,78 <sup>a</sup> ± 0,06 | 82,62 <sup>d</sup> ± 0,03 |
| <b>OWP5</b> | 75,29 <sup>d</sup> ± 0,05 | 1,95 <sup>b</sup> ± 0,02 | 16,19 <sup>b</sup> ± 0,08 | 16,31 <sup>b</sup> ± 0,08 | 83,14 <sup>c</sup> ± 0,03 |
| <b>OWP6</b> | 75,33 <sup>d</sup> ± 0,27 | 1,89 <sup>b</sup> ± 0,04 | 15,97 <sup>b</sup> ± 0,13 | 16,08 <sup>b</sup> ± 0,13 | 83,25 <sup>c</sup> ± 0,15 |
| <b>OWU4</b> | 77,35 <sup>c</sup> ± 0,05 | 1,31 <sup>c</sup> ± 0,04 | 14,58 <sup>c</sup> ± 0,24 | 14,64 <sup>c</sup> ± 0,24 | 84,85 <sup>c</sup> ± 0,08 |
| <b>OWU5</b> | 78,14 <sup>b</sup> ± 0,23 | 1,13 <sup>d</sup> ± 0,03 | 14,10 <sup>d</sup> ± 0,08 | 14,14 <sup>d</sup> ± 0,08 | 85,42 <sup>b</sup> ± 0,13 |
| <b>OWU6</b> | 78,82 <sup>a</sup> ± 0,14 | 0,97 <sup>e</sup> ± 0,04 | 13,53 <sup>e</sup> ± 0,07 | 13,57 <sup>e</sup> ± 0,08 | 85,93 <sup>a</sup> ± 0,15 |

a,b,c,d,e – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.33. Wartości parametrów  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  oraz różnicy w nasyceniu ( $\Delta C^*$ ) i różnicy tonu ( $\Delta H^*$ ) lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron

|               | $L^*$                     | $a^*$                    | $b^*$                     | $\Delta C^*$              | $\Delta H^*$              |
|---------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>WOP6,8</b> | 75,93 <sup>b</sup> ± 0,33 | 1,75 <sup>a</sup> ± 0,07 | 15,61 <sup>a</sup> ± 0,10 | 15,71 <sup>a</sup> ± 0,10 | 83,59 <sup>d</sup> ± 0,24 |
| <b>WOP8,4</b> | 75,74 <sup>b</sup> ± 0,07 | 1,61 <sup>b</sup> ± 0,05 | 15,32 <sup>b</sup> ± 0,05 | 15,41 <sup>b</sup> ± 0,06 | 84,01 <sup>d</sup> ± 0,16 |
| <b>WOP10</b>  | 76,38 <sup>b</sup> ± 0,51 | 1,43 <sup>c</sup> ± 0,04 | 14,90 <sup>c</sup> ± 0,07 | 14,97 <sup>c</sup> ± 0,07 | 84,52 <sup>c</sup> ± 0,14 |
| <b>WOU6,8</b> | 78,01 <sup>a</sup> ± 0,19 | 1,12 <sup>d</sup> ± 0,05 | 14,42 <sup>d</sup> ± 0,08 | 14,47 <sup>d</sup> ± 0,08 | 85,56 <sup>a</sup> ± 0,19 |
| <b>WOU8,4</b> | 78,81 <sup>a</sup> ± 0,35 | 0,94 <sup>e</sup> ± 0,06 | 13,63 <sup>e</sup> ± 0,11 | 13,66 <sup>e</sup> ± 0,11 | 86,07 <sup>b</sup> ± 0,22 |
| <b>WOU10</b>  | 78,77 <sup>a</sup> ± 0,11 | 0,88 <sup>e</sup> ± 0,02 | 13,42 <sup>e</sup> ± 0,09 | 13,45 <sup>e</sup> ± 0,09 | 86,26 <sup>b</sup> ± 0,12 |

a,b,c,d,e – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Wartość parametru  $L^*$  w lodach z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron zawierała się w przedziale od 72,93 do 79,06, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 73,95 do 78,81. Najniższą wartość parametru  $L^*$  osiągnęły lody z 4% udziałem oleju z miąższu awokado poddane pasteryzacji, natomiast najwyższą lody z 6% udziałem oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej. Można stwierdzić, że obróbka ultradźwiękami wpływa na wzrost parametru  $L^*$  w lodach, w porównaniu do pasteryzacji.

Parametr chromatyczny  $a^*$  w lodach z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron zawierał się w zakresie od 0,74 do 2,16, natomiast dla lodów

z udziałem oleożeli na ich bazie od 0,56 do 1,87. Najniższą wartość parametru  $a^*$  zaobserwowano dla lodów z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddane obróbce ultradźwiękowej, natomiast najwyższą dla lodów z 4% udziałem oleju z pestek winogron poddanej pasteryzacji. Stwierdzono, że zastosowana obróbka ultradźwiękowa wpływa na obniżenie wartości parametru  $a^*$ . Ponadto lody z udziałem oleożeli na bazie oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron charakteryzują się niższą wartością parametru  $a^*$  w porównaniu do lodów z udziałem olejów.

Parametr chromatyczny  $b^*$  w lodach z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron zawierał się w zakresie od 12,99 do 23,32, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 13,19 do 23,89. Najniższą wartość parametru  $b^*$  zaobserwowano dla lodów z 6% udziałem oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej, natomiast najwyższą dla lodów z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddanej pasteryzacji. Stwierdzono, że obróbka ultradźwiękowa wpływa na obniżenie wartości parametru  $b^*$ .

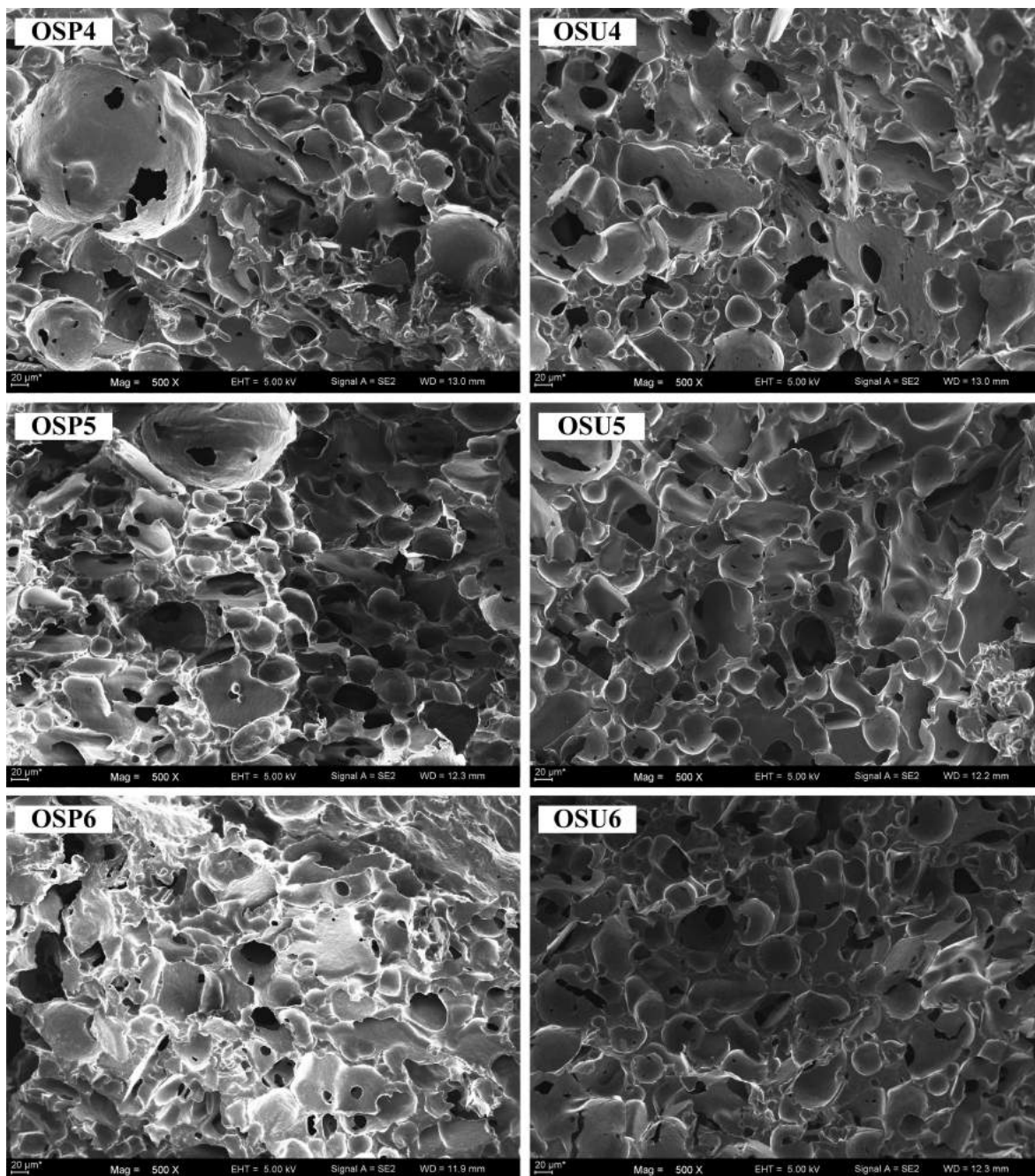
Całkowita różnica w nasyceniu barwy  $\Delta C^*$  dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron zawierała się w zakresie od 13,02 do 23,36, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 13,23 do 23,90. Najniższą wartość parametru  $\Delta C^*$  zaobserwowano dla lodów z 6% udziałem oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej, natomiast najwyższą dla lodów z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddane pasteryzacji. Można stwierdzić, że obróbka ultradźwiękowa wpływa na obniżenie parametru  $\Delta C^*$  w porównaniu do pasteryzacji.

Całkowita różnica w tonie barwy  $\Delta H^*$  dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron zawierała się w zakresie od 82,51 do 87,90, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 83,17 do 88,58. Najniższą wartość parametru  $\Delta H^*$  zaobserwowano dla lodów z 5% udziałem oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji, natomiast najwyższą dla lodów z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddane obróbce ultradźwiękowej. Stwierdzono, że zastosowana obróbka ultradźwiękowa wpływa na wzrost parametru  $\Delta H^*$  w porównaniu do pasteryzacji.

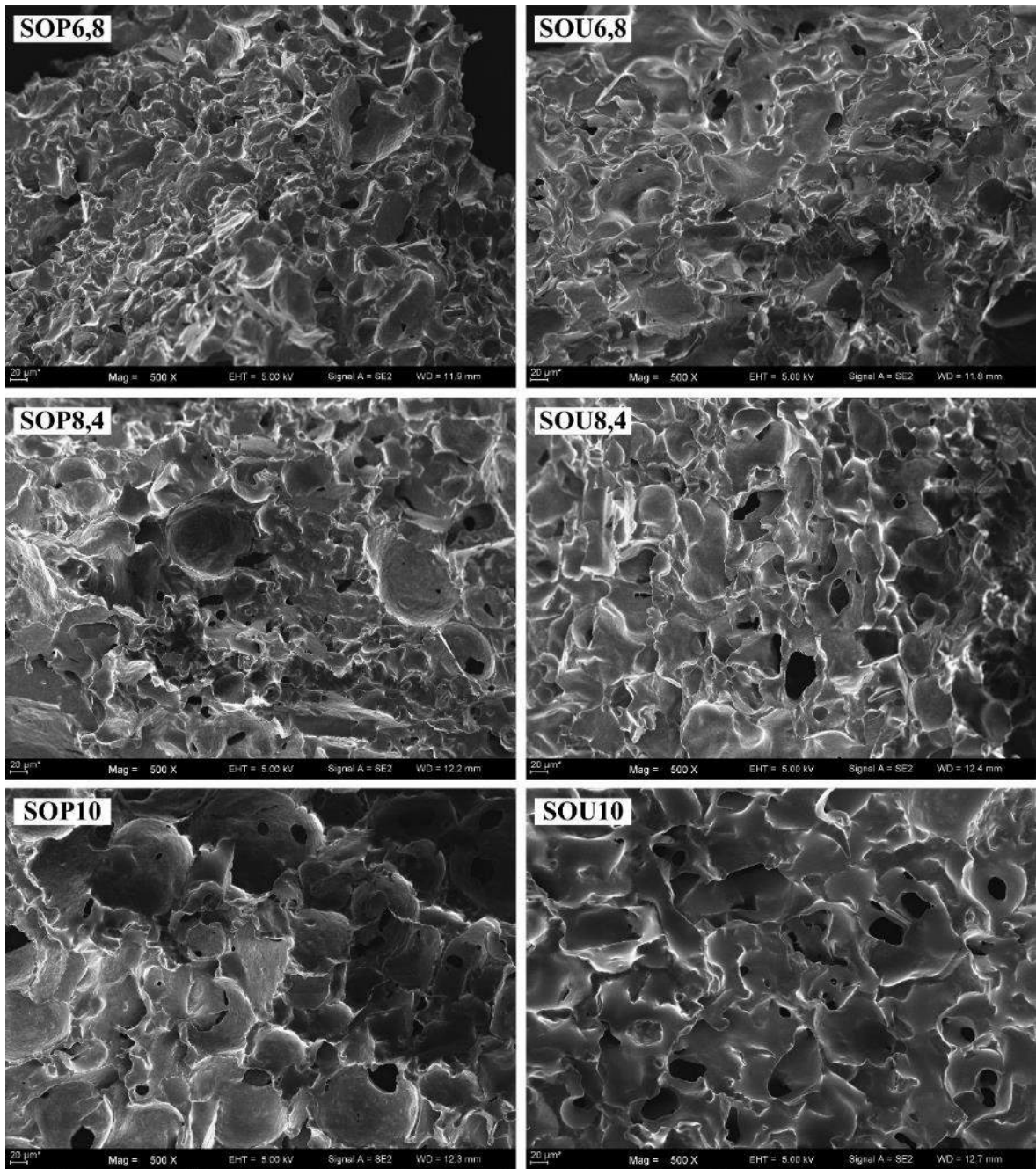
### **5.3.6. Ocena skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM)**

Identyfikacja mikrostruktur żywności jest ważna dla regulacji wymiarowej możliwych do zidentyfikowania składników, które składają się na żywność. Zwłaszcza w produktach takich jak lody, z technologicznego punktu widzenia, mikrostruktura jest ważna dla

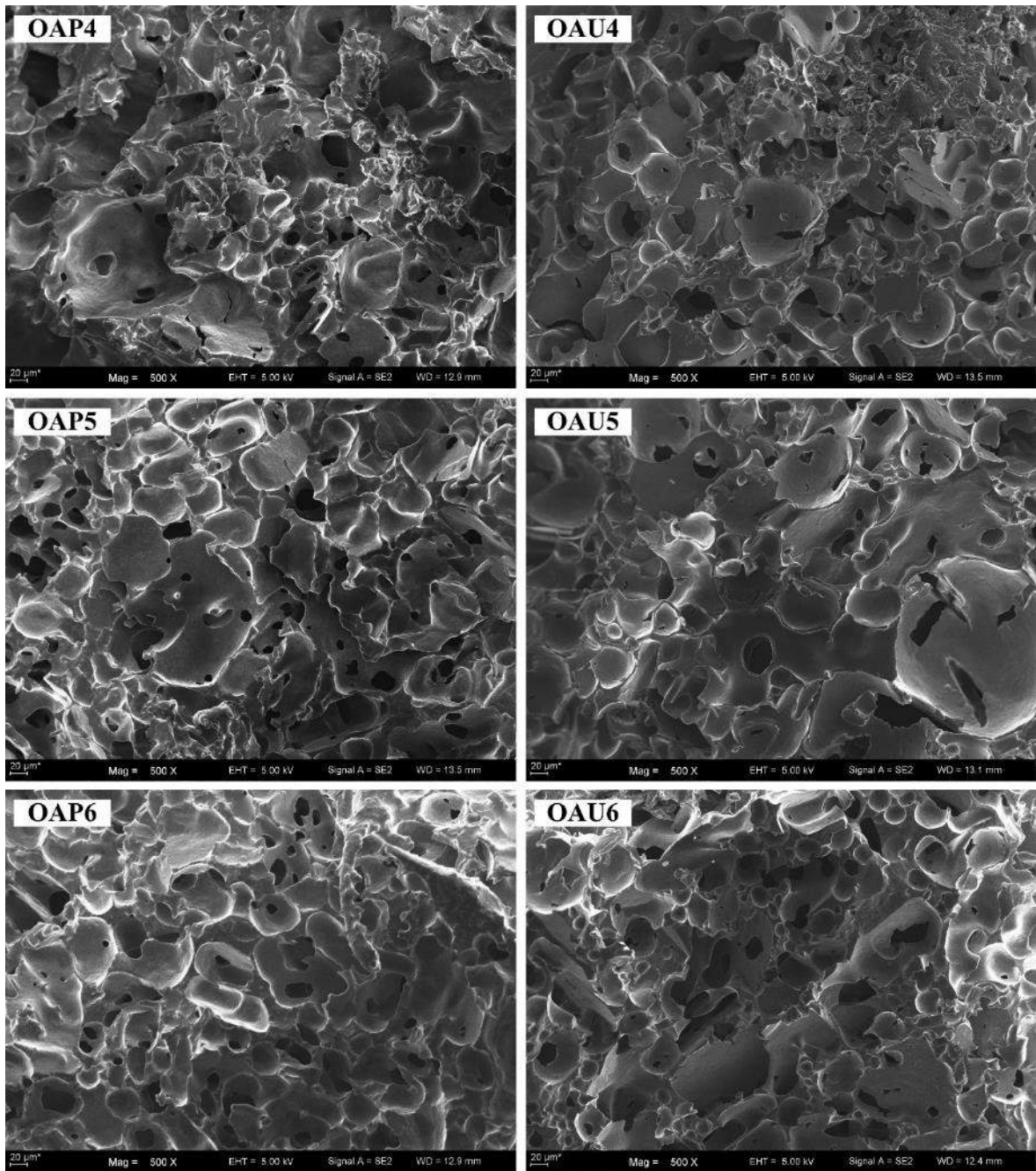
uzyskania produktów o pożądanych właściwościach tekstualnych i sensorycznych. Rysunki 5.10; 5.11; 5.12; 5.13; 5.14 i 5.15 przedstawiają mikrostrukturę lodów wykonanych za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej przy powiększeniu 500x.



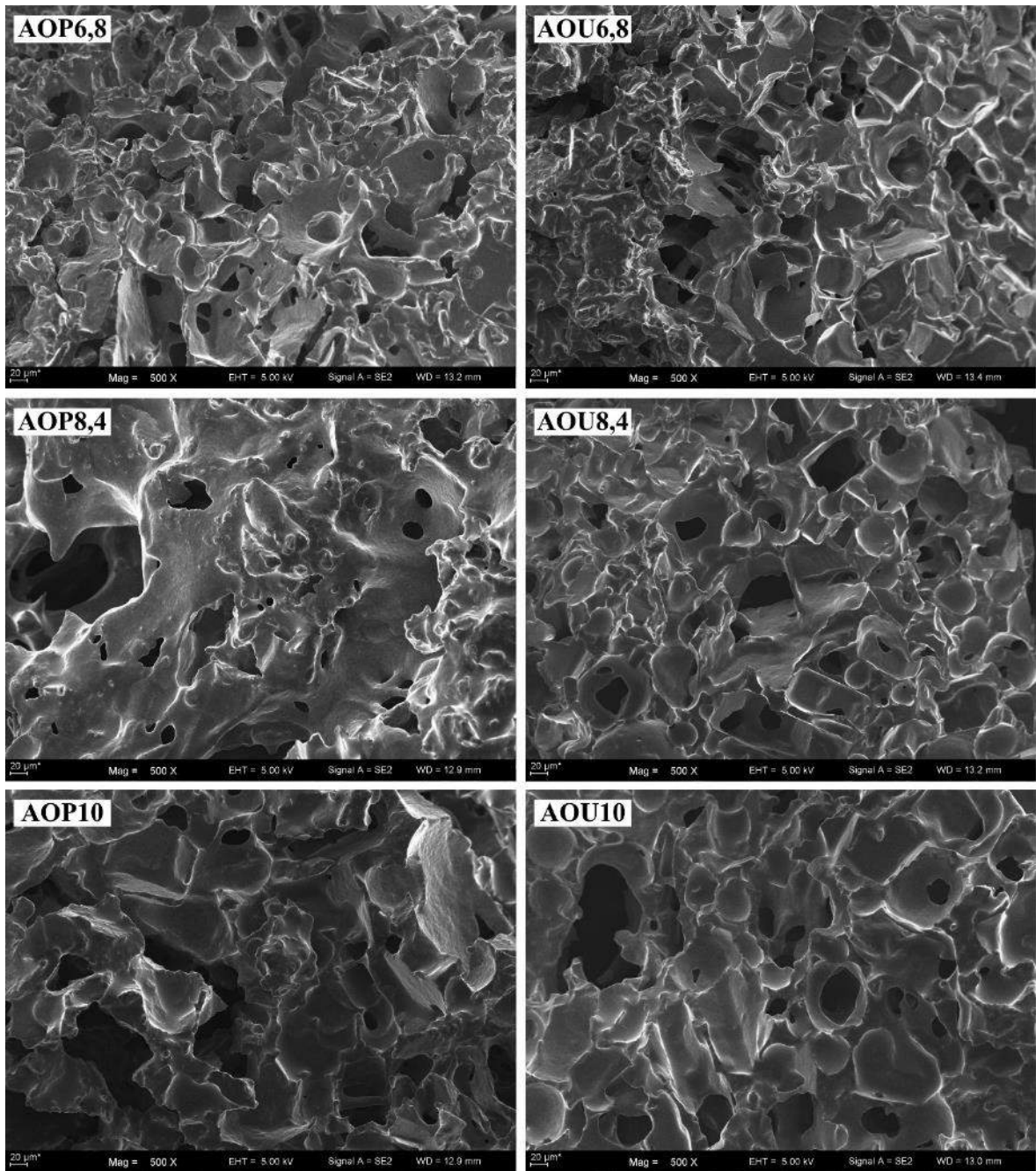
Rys. 5.10. Struktura lodów z udziałem oleju z nasion sezamu wykonana metodą skaningowej mikroskopii elektronowej w 500x powiększeniu



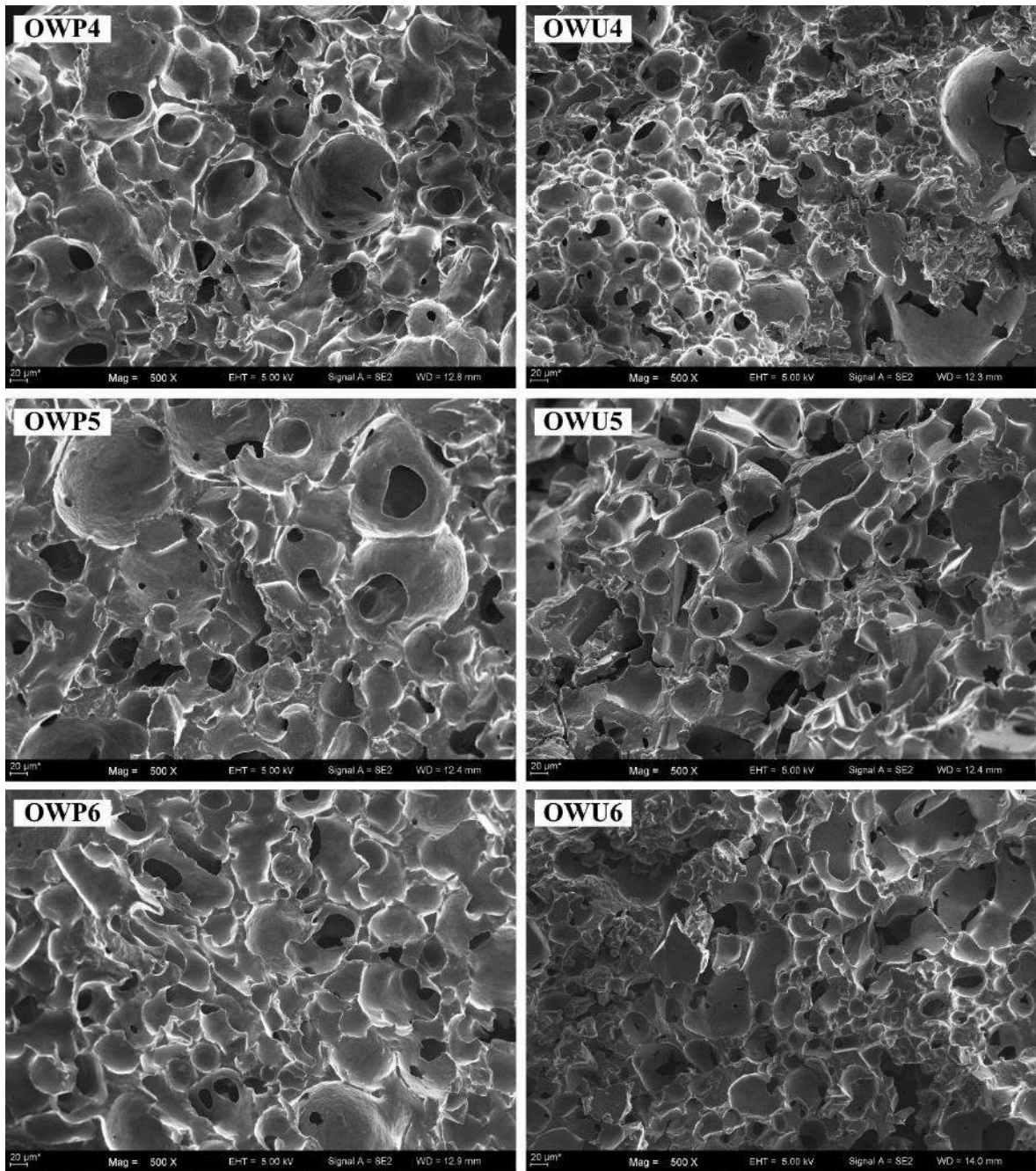
Rys. 5.11. Struktura lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu wykonana metodą skaningowej mikroskopii elektronicznej w 500x powiększeniu



Rys. 5.12. Struktura lodów z udziałem oleju z miąższu awokado wykonana metodą skaningowej mikroskopii elektronowej w 500x powiększeniu

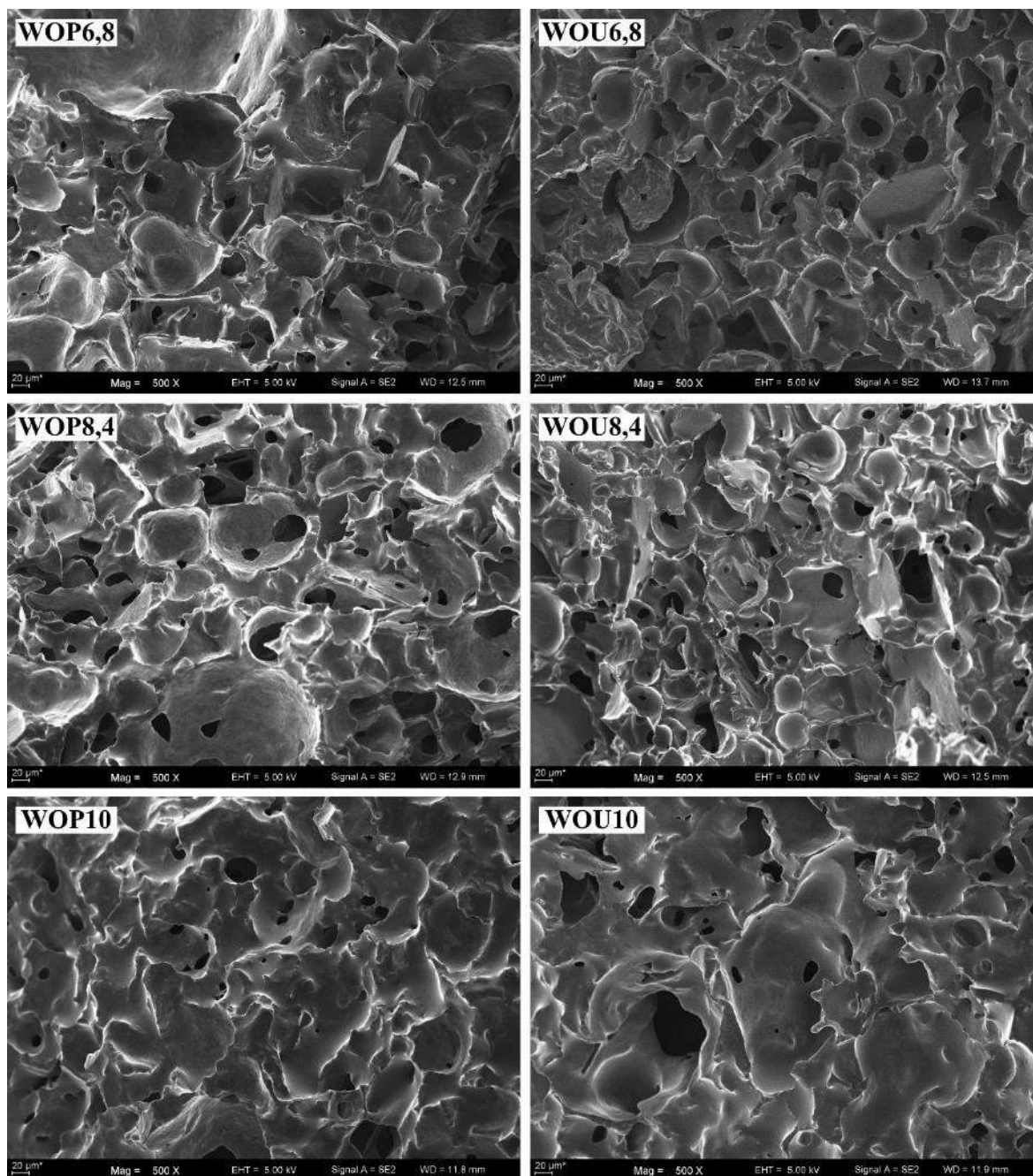


Rys. 5.13. Struktura lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado wykonana metodą skaningowej mikroskopii elektronowej w 500x powiększeniu



Rys. 5.14. Struktura lodów z udziałem oleju z pestek winogron wykonana metodą skaningowej mikroskopii elektronicznej w 500x powiększeniu





Rys. 5.15. Struktura lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron wykonana metodą skaningowej mikroskopii elektronowej w 500x powiększeniu

Właściwości mikrostrukturalne są silnie związane z etapami procesu, takimi jak homogenizacja i pasteryzacja, a inne właściwości fizykochemiczne, takie jak szybkość topnienia, stopień napowietrzenia są ze sobą silnie skorelowane. Homogenizacja mieszanki lodowej wpływa na rozkład wielkości kulek tłuszczu, co może wpływać na agregację kuleczek tłuszczu podczas procesu zamrażania i poprawiać inne właściwości fizykochemiczne, takie jak puszystość i topliwość [Goff i Hartel 2013]. Temperatura jest głównym czynnikiem determinującym zachowanie się krystalizacji w procesie produkcji

lodów i ma znaczący wpływ na mikrostrukturę, zachowanie reologiczne i rekrytalizację podczas przechowywania [Martínez i in. 2020].

Stwierdzono, że obróbka ultradźwiękami nie wpływa negatywnie na mikrostrukturę lodów w porównaniu do pasteryzacji. Dla lodów z udziałem oleożeli wykorzystanych w badaniach poddanych obróbce ultradźwiękowej obserwuje się zwartą mikrostrukturę, co wskazuje na niższy stopień napowietrzenia. Obróbka ultradźwiękowa sprzyja redukcji wielkości kuleczek tłuszczu w wyniku kawitacji na nanocząsteczki. Ponadto można zaobserwować drobniejsze przestrzenie powstałe w wyniku wykształcenia się struktury drobnokrystalicznej lodu. Bermúdez–Aguirre i in. (2008) stwierdzili, że kuleczki tłuszczu mlecznego wykazywały rozpad w wyniku ultradźwięków, zmniejszając ich rozmiary do  $<1 \mu\text{m}$ , sprzyjając połączeniu kazeiny i białek, badając wpływ obróbki termosonikacyjnej (24 kHz, 400 W, amplituda  $120 \mu\text{m}$  w  $63^\circ\text{C}$  przez 30 min) na mikrostrukturę kulek tłuszczu w mleku pełnym. Chandrapala i in. (2012) wykazali, że odtłuszczone mleko poddane obróbce ultradźwiękami z częstotliwością 20 kHz przez maksymalnie 60 minut spowodowało zmniejszenie wielkości kuleczek tłuszczu do około 10 nm. Yang i in (2022) wykazali wpływ ultradźwięków na zachowanie kryształków lodu napowietrzonych emulsji na bazie białka grochu. Udowodnili, że obróbka ultradźwiękami zmniejszyła wielkość kryształków lodu podczas ubijania emulsji, powodując szybsze tworzenie się trójwymiarowej struktury. W porównaniu z pasteryzacją obróbka ultradźwiękowa zmniejsza zmiany organoleptyczne i odżywcze produktu, a zmniejszenie zużycia energii cieplnej obniża cenę produktu [Scudino i in. 2020].

#### **5.4. Wyniki badań biochemicznych właściwości lodów**

Wyniki analizy składu chemicznego, wartości kalorycznej oraz pH zostały zestawione w tabelach 5.34; 5.35; 5.36; 5.37; 5.38 i 5.39, natomiast wyniki zawartości wybranych związków polifenolowych zestawiono w tabelach 5.41; 5.42; 5.43; 5.44; 5.45 i 5.46 oraz wyniki identyfikacji i oznaczenia ilościowe w tabeli 5.40.

Tabela 5.34. Skład chemiczny i wartość kaloryczna oraz pH lodów z udziałem oleju z nasion sezamu

|             | Sucha masa [%]             | Tłuszcz [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Białko [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Węglowodany [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Popiół [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Błonnik pokarmowy [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Wartość kaloryczna [kcal·(100g) <sup>-1</sup> ] | pH                        |
|-------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|---|---------------------------|
| <b>OSP4</b> | 37,17 <sup>c</sup> ± 0,16  | 16,73 <sup>c</sup> ± 0,05         | 13,88 <sup>a</sup> ± 0,11        | 55,35 <sup>b</sup> ± 0,20             | 3,24 <sup>a</sup> ± 0,01         | 7,81 <sup>c</sup> ± 0,07                    | 443,10 <sup>c</sup> ± 0,18                      | 6,34 <sup>ab</sup> ± 0,01 |
| <b>OSP5</b> | 37,86 <sup>b</sup> ± 0,08  | 20,37 <sup>b</sup> ± 0,04         | 13,04 <sup>b</sup> ± 0,00        | 53,51 <sup>c</sup> ± 0,03             | 2,99 <sup>c</sup> ± 0,00         | 7,09 <sup>c</sup> ± 0,02                    | 463,74 <sup>b</sup> ± 0,25                      | 6,35 <sup>a</sup> ± 0,01  |
| <b>OSP6</b> | 37,54 <sup>bc</sup> ± 0,18 | 21,79 <sup>a</sup> ± 0,04         | 12,51 <sup>c</sup> ± 0,00        | 53,17 <sup>c</sup> ± 0,16             | 2,88 <sup>c</sup> ± 0,01         | 6,65 <sup>f</sup> ± 0,11                    | 472,15 <sup>a</sup> ± 0,04                      | 6,35 <sup>a</sup> ± 0,01  |
| <b>OSU4</b> | 37,80 <sup>b</sup> ± 0,17  | 13,36 <sup>f</sup> ± 0,09         | 14,01 <sup>a</sup> ± 0,00        | 59,00 <sup>a</sup> ± 0,04             | 3,19 <sup>b</sup> ± 0,01         | 7,45 <sup>d</sup> ± 0,12                    | 427,14 <sup>e</sup> ± 0,66                      | 6,32 <sup>c</sup> ± 0,01  |
| <b>OSU5</b> | 39,59 <sup>a</sup> ± 0,31  | 14,73 <sup>e</sup> ± 0,06         | 13,10 <sup>b</sup> ± 0,11        | 48,44 <sup>e</sup> ± 0,21             | 2,96 <sup>d</sup> ± 0,01         | 17,77 <sup>a</sup> ± 0,07                   | 414,28 <sup>f</sup> ± 0,23                      | 6,33 <sup>b</sup> ± 0,01  |
| <b>OSU6</b> | 39,18 <sup>a</sup> ± 0,04  | 16,66 <sup>d</sup> ± 0,05         | 12,35 <sup>c</sup> ± 0,00        | 51,59 <sup>d</sup> ± 0,02             | 2,88 <sup>e</sup> ± 0,01         | 13,53 <sup>b</sup> ± 0,05                   | 432,73 <sup>d</sup> ± 0,32                      | 6,35 <sup>ab</sup> ± 0,01 |

a,b,c,d,e,f – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.35. Skład chemiczny i wartość kaloryczna oraz pH lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu

|               | Sucha masa [%]             | Tłuszcz [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Białko [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Węglowodany [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Popiół [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Błonnik pokarmowy [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Wartość kaloryczna [kcal·(100g) <sup>-1</sup> ] | pH                       |
|---------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|---|--------------------------|
| <b>SOP6,8</b> | 36,61 <sup>ab</sup> ± 0,24 | 20,02 <sup>c</sup> ± 0,13         | 11,93 <sup>a</sup> ± 0,11        | 52,30 <sup>c</sup> ± 0,19             | 2,83 <sup>a</sup> ± 0,01         | 9,92 <sup>b</sup> ± 0,03                    | 456,94 <sup>d</sup> ± 0,66                      | 6,32 <sup>c</sup> ± 0,01 |
| <b>SOP8,4</b> | 36,61 <sup>b</sup> ± 0,32  | 22,91 <sup>b</sup> ± 0,13         | 11,01 <sup>b</sup> ± 0,00        | 53,08 <sup>b</sup> ± 0,04             | 2,57 <sup>b</sup> ± 0,01         | 7,43 <sup>d</sup> ± 0,09                    | 477,41 <sup>b</sup> ± 0,87                      | 6,38 <sup>c</sup> ± 0,01 |
| <b>SOP10</b>  | 36,24 <sup>b</sup> ± 0,20  | 24,99 <sup>a</sup> ± 0,13         | 9,34 <sup>d</sup> ± 0,00         | 52,63 <sup>c</sup> ± 0,33             | 2,29 <sup>c</sup> ± 0,00         | 7,75 <sup>d</sup> ± 0,29                    | 488,30 <sup>a</sup> ± 0,80                      | 6,40 <sup>b</sup> ± 0,01 |
| <b>SOU6,8</b> | 36,68 <sup>ab</sup> ± 0,38 | 15,87 <sup>e</sup> ± 0,10         | 11,94 <sup>a</sup> ± 0,11        | 54,54 <sup>a</sup> ± 0,08             | 2,83 <sup>a</sup> ± 0,01         | 11,82 <sup>a</sup> ± 0,06                   | 432,35 <sup>e</sup> ± 0,57                      | 6,37 <sup>d</sup> ± 0,01 |
| <b>SOU8,4</b> | 37,36 <sup>a</sup> ± 0,10  | 19,49 <sup>d</sup> ± 0,03         | 11,02 <sup>b</sup> ± 0,00        | 54,42 <sup>a</sup> ± 0,01             | 2,56 <sup>b</sup> ± 0,01         | 9,51 <sup>c</sup> ± 0,02                    | 456,17 <sup>d</sup> ± 0,22                      | 6,41 <sup>b</sup> ± 0,00 |
| <b>SOU10</b>  | 36,66 <sup>ab</sup> ± 0,29 | 23,06 <sup>b</sup> ± 0,07         | 9,80 <sup>c</sup> ± 0,01         | 52,40 <sup>c</sup> ± 0,04             | 2,29 <sup>c</sup> ± 0,01         | 9,46 <sup>c</sup> ± 0,03                    | 475,21 <sup>c</sup> ± 0,44                      | 6,44 <sup>a</sup> ± 0,01 |

a,b,c,d,e – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.36. Skład chemiczny i wartość kaloryczna oraz pH lodów z udziałem oleju z mięszu awokado

|             | Sucha masa [%]             | Tłuszcz [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Białko [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Węglowodany [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Popiół [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Błonnik pokarmowy [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Wartość kaloryczna [kcal·(100g) <sup>-1</sup> ] | pH                        |
|-------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|---|---------------------------|
| <b>OAP4</b> | 37,81 <sup>b</sup> ± 0,23  | 18,12 <sup>c</sup> ± 0,04         | 13,74 <sup>a</sup> ± 0,00        | 52,40 <sup>b</sup> ± 0,12             | 3,23 <sup>a</sup> ± 0,01         | 9,51 <sup>d</sup> ± 0,08                    | 446,65 <sup>c</sup> ± 0,04                      | 6,29 <sup>c</sup> ± 0,01  |
| <b>OAP5</b> | 37,91 <sup>ab</sup> ± 0,17 | 21,03 <sup>b</sup> ± 0,03         | 13,17 <sup>c</sup> ± 0,00        | 50,16 <sup>d</sup> ± 0,10             | 3,07 <sup>c</sup> ± 0,01         | 9,57 <sup>d</sup> ± 0,07                    | 461,72 <sup>b</sup> ± 0,01                      | 6,32 <sup>ab</sup> ± 0,01 |
| <b>OAP6</b> | 38,06 <sup>ab</sup> ± 0,08 | 23,06 <sup>a</sup> ± 0,03         | 12,28 <sup>c</sup> ± 0,01        | 49,27 <sup>e</sup> ± 0,06             | 2,88 <sup>c</sup> ± 0,01         | 9,51 <sup>d</sup> ± 0,04                    | 472,76 <sup>a</sup> ± 0,10                      | 6,33 <sup>a</sup> ± 0,01  |
| <b>OAU4</b> | 38,32 <sup>a</sup> ± 0,14  | 13,93 <sup>f</sup> ± 0,05         | 13,13 <sup>d</sup> ± 0,01        | 50,11 <sup>d</sup> ± 0,07             | 3,25 <sup>a</sup> ± 0,01         | 16,58 <sup>a</sup> ± 0,03                   | 411,47 <sup>f</sup> ± 0,21                      | 6,30 <sup>bc</sup> ± 0,01 |
| <b>OAU5</b> | 37,98 <sup>ab</sup> ± 0,10 | 15,10 <sup>e</sup> ± 0,04         | 13,30 <sup>b</sup> ± 0,01        | 51,24 <sup>c</sup> ± 0,07             | 3,11 <sup>b</sup> ± 0,00         | 14,25 <sup>b</sup> ± 0,04                   | 422,59 <sup>e</sup> ± 0,08                      | 6,31 <sup>bc</sup> ± 0,01 |
| <b>OAU6</b> | 37,91 <sup>ab</sup> ± 0,21 | 16,03 <sup>d</sup> ± 0,04         | 12,11 <sup>f</sup> ± 0,01        | 54,01 <sup>a</sup> ± 0,03             | 2,95 <sup>d</sup> ± 0,00         | 11,90 <sup>e</sup> ± 0,06                   | 432,54 <sup>d</sup> ± 0,31                      | 6,32 <sup>ab</sup> ± 0,01 |

a,b,c,d,e,f – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.37. Skład chemiczny i wartość kaloryczna oraz pH lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z mięszu awokado

|               | Sucha masa [%]             | Tłuszcz [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Białko [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Węglowodany [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Popiół [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Błonnik pokarmowy [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Wartość kaloryczna [kcal·(100g) <sup>-1</sup> ] | pH                        |
|---------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|---|---------------------------|
| <b>AOP6,8</b> | 35,50 <sup>c</sup> ± 0,32  | 18,39 <sup>d</sup> ± 0,04         | 11,90 <sup>b</sup> ± 0,01        | 57,72 <sup>a</sup> ± 0,05             | 2,83 <sup>b</sup> ± 0,01         | 6,16 <sup>f</sup> ± 0,03                    | 456,34 <sup>c</sup> ± 0,16                      | 6,29 <sup>b</sup> ± 0,03  |
| <b>AOP8,4</b> | 36,16 <sup>ab</sup> ± 0,08 | 20,41 <sup>c</sup> ± 0,04         | 10,55 <sup>d</sup> ± 0,00        | 56,20 <sup>c</sup> ± 0,11             | 2,53 <sup>d</sup> ± 0,00         | 7,31 <sup>e</sup> ± 0,07                    | 465,29 <sup>c</sup> ± 0,03                      | 6,30 <sup>ab</sup> ± 0,01 |
| <b>AOP10</b>  | 35,40 <sup>c</sup> ± 0,12  | 23,53 <sup>b</sup> ± 0,03         | 9,41 <sup>e</sup> ± 0,00         | 53,00 <sup>f</sup> ± 0,11             | 2,30 <sup>f</sup> ± 0,00         | 8,76 <sup>b</sup> ± 0,09                    | 478,90 <sup>b</sup> ± 0,06                      | 6,33 <sup>a</sup> ± 0,01  |
| <b>AOU6,8</b> | 36,62 <sup>a</sup> ± 0,06  | 16,78 <sup>e</sup> ± 0,05         | 12,28 <sup>a</sup> ± 0,01        | 57,00 <sup>b</sup> ± 0,10             | 2,85 <sup>a</sup> ± 0,01         | 8,10 <sup>c</sup> ± 0,05                    | 444,29 <sup>f</sup> ± 0,14                      | 6,31 <sup>ab</sup> ± 0,01 |
| <b>AOU8,4</b> | 36,42 <sup>a</sup> ± 0,28  | 18,49 <sup>d</sup> ± 0,04         | 10,96 <sup>c</sup> ± 0,01        | 53,36 <sup>e</sup> ± 0,10             | 2,59 <sup>c</sup> ± 0,00         | 11,61 <sup>a</sup> ± 0,07                   | 446,88 <sup>e</sup> ± 0,07                      | 6,31 <sup>ab</sup> ± 0,01 |
| <b>AOU10</b>  | 35,69 <sup>bc</sup> ± 0,25 | 23,63 <sup>a</sup> ± 0,03         | 9,42 <sup>e</sup> ± 0,01         | 53,76 <sup>d</sup> ± 0,08             | 2,32 <sup>e</sup> ± 0,00         | 7,87 <sup>d</sup> ± 0,07                    | 481,14 <sup>a</sup> ± 0,15                      | 6,34 <sup>a</sup> ± 0,02  |

a,b,c,d,e,f – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.38. Skład chemiczny i wartość kaloryczna oraz pH lodów z udziałem oleju z pestek winogron

|             | Sucha masa [%]             | Tłuszcz [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Białko [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Węglowodany [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Popiół [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Błonnik pokarmowy [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Wartość kaloryczna [kcal·(100g) <sup>-1</sup> ] | pH                       |
|-------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|---|--------------------------|
| <b>OWP4</b> | 38,04 <sup>b</sup> ± 0,36  | 17,42 <sup>c</sup> ± 0,04         | 13,67 <sup>b</sup> ± 0,00        | 56,12 <sup>a</sup> ± 0,11             | 3,29 <sup>b</sup> ± 0,01         | 6,50 <sup>e</sup> ± 0,08                    | 448,94 <sup>c</sup> ± 0,06                      | 6,32 <sup>b</sup> ± 0,01 |
| <b>OWP5</b> | 38,12 <sup>b</sup> ± 0,16  | 21,04 <sup>b</sup> ± 0,03         | 12,79 <sup>d</sup> ± 0,01        | 52,01 <sup>e</sup> ± 0,06             | 3,06 <sup>d</sup> ± 0,01         | 8,09 <sup>d</sup> ± 0,04                    | 464,79 <sup>b</sup> ± 0,13                      | 6,28 <sup>c</sup> ± 0,01 |
| <b>OWP6</b> | 38,26 <sup>b</sup> ± 0,21  | 22,31 <sup>a</sup> ± 0,04         | 12,30 <sup>e</sup> ± 0,01        | 50,83 <sup>f</sup> ± 0,01             | 2,88 <sup>f</sup> ± 0,01         | 8,69 <sup>c</sup> ± 0,05                    | 470,65 <sup>a</sup> ± 0,23                      | 6,34 <sup>b</sup> ± 0,01 |
| <b>OWU4</b> | 38,88 <sup>a</sup> ± 0,23  | 11,58 <sup>f</sup> ± 0,04         | 13,77 <sup>a</sup> ± 0,01        | 55,89 <sup>b</sup> ± 0,03             | 3,26 <sup>c</sup> ± 0,01         | 12,50 <sup>b</sup> ± 0,08                   | 407,84 <sup>f</sup> ± 0,30                      | 6,32 <sup>b</sup> ± 0,00 |
| <b>OWU5</b> | 38,06 <sup>b</sup> ± 0,12  | 13,15 <sup>e</sup> ± 0,04         | 13,30 <sup>c</sup> ± 0,01        | 53,88 <sup>c</sup> ± 0,03             | 3,36 <sup>a</sup> ± 0,01         | 13,32 <sup>a</sup> ± 0,07                   | 413,69 <sup>e</sup> ± 0,32                      | 6,34 <sup>b</sup> ± 0,01 |
| <b>OWU6</b> | 38,40 <sup>ab</sup> ± 0,17 | 15,24 <sup>d</sup> ± 0,06         | 12,11 <sup>f</sup> ± 0,01        | 53,53 <sup>d</sup> ± 0,09             | 2,92 <sup>e</sup> ± 0,01         | 13,20 <sup>a</sup> ± 0,05                   | 426,15 <sup>d</sup> ± 0,24                      | 6,36 <sup>a</sup> ± 0,01 |

a,b,c,d,e,f – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.39. Skład chemiczny i wartość kaloryczna oraz pH lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron

|               | Sucha masa [%]            | Tłuszcz [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Białko [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Węglowodany [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Popiół [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Błonnik pokarmowy [g·(100g) <sup>-1</sup> ] | Wartość kaloryczna [kcal·(100g) <sup>-1</sup> ] | pH                        |
|---------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|---|---------------------------|
| <b>WOP6,8</b> | 36,18 <sup>b</sup> ± 0,22 | 19,34 <sup>d</sup> ± 0,04         | 12,27 <sup>a</sup> ± 0,01        | 54,06 <sup>c</sup> ± 0,01             | 2,86 <sup>a</sup> ± 0,01         | 8,47 <sup>d</sup> ± 0,03                    | 456,34 <sup>d</sup> ± 0,20                      | 6,30 <sup>c</sup> ± 0,05  |
| <b>WOP8,4</b> | 36,10 <sup>b</sup> ± 0,33 | 21,74 <sup>c</sup> ± 0,04         | 11,03 <sup>c</sup> ± 0,01        | 52,17 <sup>e</sup> ± 0,08             | 2,55 <sup>c</sup> ± 0,01         | 9,52 <sup>b</sup> ± 0,06                    | 467,45 <sup>c</sup> ± 0,10                      | 6,39 <sup>ab</sup> ± 0,01 |
| <b>WOP10</b>  | 36,05 <sup>b</sup> ± 0,20 | 25,50 <sup>a</sup> ± 0,03         | 9,74 <sup>e</sup> ± 0,01         | 50,50 <sup>f</sup> ± 0,06             | 2,28 <sup>d</sup> ± 0,01         | 8,98 <sup>c</sup> ± 0,03                    | 488,44 <sup>a</sup> ± 0,09                      | 6,42 <sup>a</sup> ± 0,01  |
| <b>WOU6,8</b> | 37,36 <sup>a</sup> ± 0,21 | 14,92 <sup>f</sup> ± 0,05         | 11,85 <sup>b</sup> ± 0,01        | 59,60 <sup>a</sup> ± 0,08             | 2,81 <sup>b</sup> ± 0,01         | 7,82 <sup>f</sup> ± 0,04                    | 435,75 <sup>f</sup> ± 0,18                      | 6,33 <sup>bc</sup> ± 0,01 |
| <b>WOU8,4</b> | 37,04 <sup>a</sup> ± 0,38 | 19,19 <sup>e</sup> ± 0,04         | 10,68 <sup>d</sup> ± 0,01        | 53,20 <sup>d</sup> ± 0,05             | 2,53 <sup>c</sup> ± 0,01         | 11,40 <sup>a</sup> ± 0,09                   | 451,02 <sup>e</sup> ± 0,41                      | 6,38 <sup>ab</sup> ± 0,01 |
| <b>WOU10</b>  | 35,54 <sup>b</sup> ± 0,10 | 22,52 <sup>b</sup> ± 0,04         | 9,72 <sup>f</sup> ± 0,00         | 54,25 <sup>b</sup> ± 0,01             | 2,28 <sup>d</sup> ± 0,00         | 8,23 <sup>e</sup> ± 0,06                    | 475,01 <sup>b</sup> ± 0,30                      | 6,40 <sup>a</sup> ± 0,01  |

a,b,c,d,e,f – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Zawartość suchej masy zależy od składu mieszanki użytej do produkcji lodów. W badanych lodach z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron zawartość suchej masy zawierała się w zakresie od 37,17 do 39,59%, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 35,40 do 37,36%. Lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddane pasteryzacji charakteryzowały się najniższą zawartością suchej masy, natomiast najwyższą lody z 5% udziałem oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej. Stwierdzono, że obróbka ultradźwiękowa wpłynęła na wzrost zawartości suchej masy w porównaniu do pasteryzacji. Ponadto lody z udziałem oleożeli na bazie oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron charakteryzują się niższą zawartością suchej masy w porównaniu do lodów z udziałem olejów. Według Clarke'a (2012) tradycyjne lody mleczne powinny mieć procentową zawartość suchej masy od 28 do 40%. Wysoka zawartość suchej masy jest oznaką dobrej jakości lodów. Uzyskane wartości suchej masy stawia lody na równi z lodami tradycyjnymi niezależnie od zastosowanej metody obróbki i rodzaju użytego składnika, co świadczy o tym, że znaczenie tej charakterystycznej właściwości jest takie samo. W badaniach Nazarewicz i in. (2022) nie zaobserwowano istotnych różnic zawartości suchej masy porównując obróbkę ultradźwiękową do pasteryzacji.

W lodach z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron zawartość tłuszczu mieściła się w zakresie od 11,58 do 23,06  $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$ , natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 14,92 do 25,50  $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$ . Lody z 4% udziałem oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej wykazały się najniższą zawartością tłuszczu, natomiast najwyższą lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron. Stwierdzono, że lody poddane obróbce ultradźwiękowej charakteryzowały się niższą zawartością tłuszczu w porównaniu do lodów poddanych pasteryzacji. Ponadto lody z udziałem oleożeli na bazie oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron wykazały się wyższą zawartością tłuszczu w porównaniu do lodów z udziałem olejów.

Zawartość białka dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron zawierała się w przedziale od 12,11 do 14,01  $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$ , natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 9,34 do 12,28  $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$ . Najniższą zawartością białka charakteryzowały się lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji, natomiast najwyższą lody z 4% udziałem oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej. Można stwierdzić, że lody poddane obróbce

ultradźwiękowej charakteryzowały się wyższą zawartością białka w porównaniu do lodów poddanych pasteryzacji. Zaobserwowano, że zawartość białka w lodach z udziałem oleożeli na bazie oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron była niższa w porównaniu do lodów z udziałem olejów. Podobne wartości uzyskali Nazarewicz i in. (2022).

Zawartość węglowodanów dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron zawierała się w przedziale od 48,44 do 59,00  $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$ , natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 50,50 do 59,60  $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$ . Najniższą zawartością węglowodanów charakteryzowały się lody z 5% udziałem oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej, natomiast najwyższą lody z 6,8% udziałem oleożeli na bazie oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej. Można stwierdzić, że lody poddane obróbce ultradźwiękowej charakteryzowały się wyższą zawartością węglowodanów w porównaniu do lodów poddanych pasteryzacji. Zaobserwowano, że zawartość węglowodanów w lodach z udziałem oleożeli na bazie oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron była wyższa w porównaniu do lodów z udziałem olejów. Podobne wartości uzyskali Nazarewicz i in. (2022).

Zawartość popiołu dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron mieściła się w przedziale od 2,88 do 3,36  $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$ , natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 2,28 do 2,86  $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$ . Najniższą zawartością popiołu charakteryzowały się lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron poddane zarówno pasteryzacji, jak i obróbce ultradźwiękowej, natomiast najwyższą lody z 5% udziałem oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej.

Dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron zawartość błonnika pokarmowego zawierała się w zakresie od 6,50 do 17,77  $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$ , natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 6,16 do 11,82  $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$ . Najniższą zawartością błonnika pokarmowego charakteryzowały się lody z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddane pasteryzacji, natomiast najwyższą lody z 5% udziałem oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej. Można stwierdzić, że obróbka ultradźwiękowa wpłynęła na wzrost zawartości błonnika pokarmowego w lodach.

Wartość kaloryczna w lodach zależy od ilości cukru, tłuszczu i innych składników użytych do produkcji. Dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron wartość kaloryczna wahała się w zakresie od 407,84 do 472,76

kcal·(100g)<sup>-1</sup>, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 432,35 do 488,44 kcal·(100g)<sup>-1</sup>. Najniższą wartością kaloryczną wykazały się lody z 4% udziałem oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej, natomiast najwyższą lody z 10% udziałem oleożeli na bazie oleju z pestek winogron poddane pasteryzacji. Stwierdzono, że lody poddane obróbce ultradźwiękowej charakteryzowały się niższą wartością kaloryczną w porównaniu do lodów poddanych pasteryzacji.

Dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron wartość pH zawierała się w przedziale od 6,28 do 6,36, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 6,29 do 6,44. Najniższą wartością pH wykazały się lody z 5% udziałem oleju z pestek winogron poddane pasteryzacji, natomiast najwyższą lody z 10% udziałem oleożeli na bazie oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej.

Tabela 5.40. Wyniki identyfikacji i oznaczenia ilościowe wybranych związków polifenolowych w lodach metodą UPLC–PDA–MS/MS

|                          | 3-O-(2''-glukozyd)-<br>glukozyd-7-O-<br>glukozyd Kemferolu | 3-O-(2''-pentozyd)-<br>glukozyd-7-O-<br>pentozyd Kemferolu | 3-O-(2''-glukozyd)-<br>glukozyd Kemferolu |
|--------------------------|--|--|---|
| Czas retencji [min.]     | 2,43   | 3,45   | 4,03                                      |
| [M-H] <sup>-</sup> [m/z] | 771  | 711  | 609                                       |
| Jon fragmentacyjny [m/z] | 609, 285   | 579, 285   | 285                                       |
| UV λ <sub>max</sub> [nm] | 264, 354   | 264, 350   | 264, 355                                  |

Tabela 5.41. Wartości wybranych związków polifenolowych lodów z udziałem oleju z nasion sezamu

|             | 3-O-(2''-glukozyd)-<br>glukozyd-7-O-glukozyd<br>Kemferolu | 3-O-(2''-pentozyd)-<br>glukozyd-7-O-pentozyd<br>Kemferolu | 3-O-(2''-glukozyd)-<br>glukozyd Kemferolu |
|-------------|---|---|---|
|             | [mg·kg <sup>-1</sup> ]                                    |   |   |
| <b>OSP4</b> | 0,74 <sup>a</sup> ± 0,01                                  | 0,71 <sup>b</sup> ± 0,00                                  | 0,61 <sup>b</sup> ± 0,02                  |
| <b>OSP5</b> | 0,45 <sup>e</sup> ± 0,00                                  | 0,36 <sup>f</sup> ± 0,00                                  | 0,39 <sup>c</sup> ± 0,01                  |
| <b>OSP6</b> | 0,44 <sup>e</sup> ± 0,00                                  | 0,37 <sup>e</sup> ± 0,00                                  | 0,34 <sup>d</sup> ± 0,01                  |
| <b>OSU4</b> | 0,66 <sup>d</sup> ± 0,01                                  | 0,61 <sup>c</sup> ± 0,00                                  | 0,58 <sup>b</sup> ± 0,02                  |
| <b>OSU5</b> | 0,69 <sup>c</sup> ± 0,01                                  | 0,47 <sup>d</sup> ± 0,00                                  | 0,59 <sup>b</sup> ± 0,02                  |
| <b>OSU6</b> | 0,94 <sup>b</sup> ± 0,01                                  | 0,78 <sup>a</sup> ± 0,00                                  | 0,70 <sup>a</sup> ± 0,02                  |

<sup>a,b,c,d,e,f</sup> – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).



Tabela 5.42. Wartości wybranych związków polifenolowych lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu

|               | 3-O-(2''-glukozyd)-<br>glukozyd-7-O-glukozyd<br>Kemferolu | 3-O-(2''-pentozyd)-<br>glukozyd-7-O-pentozyd<br>Kemferolu | 3-O-(2''-glukozyd)-<br>glukozyd Kemferolu |
|---------------|---|---|---|
|               | [mg·kg <sup>-1</sup> ]                                    |   |   |
| <b>SOP6,8</b> | 3,33 <sup>a</sup> ± 0,03                                  | 1,25 <sup>a</sup> ± 0,00                                  | 0,71 <sup>a</sup> ± 0,02                  |
| <b>SOP8,4</b> | 0,55 <sup>d</sup> ± 0,00                                  | 0,33 <sup>c</sup> ± 0,00                                  | 0,41 <sup>d</sup> ± 0,01                  |
| <b>SOP10</b>  | 0,43 <sup>c</sup> ± 0,00                                  | 0,13 <sup>c</sup> ± 0,00                                  | 0,34 <sup>c</sup> ± 0,01                  |
| <b>SOU6,8</b> | 0,64 <sup>c</sup> ± 0,01                                  | 0,46 <sup>b</sup> ± 0,00                                  | 0,60 <sup>bc</sup> ± 0,02                 |
| <b>SOU8,4</b> | 0,79 <sup>b</sup> ± 0,01                                  | 0,46 <sup>b</sup> ± 0,00                                  | 0,62 <sup>b</sup> ± 0,02                  |
| <b>SOU10</b>  | 0,55 <sup>d</sup> ± 0,00                                  | 0,28 <sup>d</sup> ± 0,00                                  | 0,56 <sup>c</sup> ± 0,02                  |

a,b,c,d,e – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.43. Wartości wybranych związków polifenolowych lodów z udziałem oleju z miąższu awokado

|             | 3-O-(2''-glukozyd)-<br>glukozyd-7-O-glukozyd<br>Kemferolu | 3-O-(2''-pentozyd)-<br>glukozyd-7-O-pentozyd<br>Kemferolu | 3-O-(2''-glukozyd)-<br>glukozyd Kemferolu |
|-------------|---|---|---|
|             | [mg·kg <sup>-1</sup> ]                                    |   |   |
| <b>OAP4</b> | 0,72 <sup>b</sup> ± 0,01                                  | 0,52 <sup>ab</sup> ± 0,01                                 | 0,67 <sup>a</sup> ± 0,02                  |
| <b>OAP5</b> | 0,62 <sup>c</sup> ± 0,01                                  | 0,48 <sup>c</sup> ± 0,01                                  | 0,46 <sup>d</sup> ± 0,02                  |
| <b>OAP6</b> | 0,64 <sup>c</sup> ± 0,01                                  | 0,39 <sup>d</sup> ± 0,01                                  | 0,54 <sup>bc</sup> ± 0,02                 |
| <b>OAU4</b> | 0,71 <sup>b</sup> ± 0,01                                  | 0,54 <sup>a</sup> ± 0,01                                  | 0,49 <sup>cd</sup> ± 0,02                 |
| <b>OAU5</b> | 0,70 <sup>b</sup> ± 0,01                                  | 0,56 <sup>a</sup> ± 0,01                                  | 0,56 <sup>b</sup> ± 0,02                  |
| <b>OAU6</b> | 0,86 <sup>a</sup> ± 0,01                                  | 0,51 <sup>bc</sup> ± 0,01                                 | 0,55 <sup>b</sup> ± 0,02                  |

a,b,c,d – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.44. Wartości wybranych związków polifenolowych lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado

|               | 3-O-(2''-glukozyd)-<br>glukozyd-7-O-glukozyd<br>Kemferolu | 3-O-(2''-pentozyd)-<br>glukozyd-7-O-pentozyd<br>Kemferolu | 3-O-(2''-glukozyd)-<br>glukozyd Kemferolu |
|---------------|---|---|---|
|               | [mg·kg <sup>-1</sup> ]                                    |   |   |
| <b>AOP6,8</b> | 0,61 <sup>d</sup> ± 0,01                                  | 0,38 <sup>c</sup> ± 0,01                                  | 0,62 <sup>c</sup> ± 0,02                  |
| <b>AOP8,4</b> | 0,95 <sup>a</sup> ± 0,01                                  | 0,55 <sup>a</sup> ± 0,01                                  | 0,69 <sup>b</sup> ± 0,02                  |
| <b>AOP10</b>  | 0,45 <sup>c</sup> ± 0,01                                  | 0,12 <sup>d</sup> ± 0,00                                  | 0,47 <sup>d</sup> ± 0,02                  |
| <b>AOU6,8</b> | 0,78 <sup>c</sup> ± 0,01                                  | 0,48 <sup>b</sup> ± 0,01                                  | 0,69 <sup>b</sup> ± 0,02                  |
| <b>AOU8,4</b> | 0,85 <sup>b</sup> ± 0,01                                  | 0,45 <sup>b</sup> ± 0,01                                  | 0,78 <sup>a</sup> ± 0,03                  |
| <b>AOU10</b>  | 0,94 <sup>a</sup> ± 0,01                                  | 0,46 <sup>b</sup> ± 0,01                                  | 0,73 <sup>ab</sup> ± 0,03                 |

a,b,c,d,e – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.45. Wartości wybranych związków polifenolowych lodów z udziałem olejem z pestek winogron

|             | 3-O-(2''-glukozyd)-glukozyd-7-O-glukozyd Kemferolu | 3-O-(2''-pentozyd)-glukozyd-7-O-pentozyd Kemferolu | 3-O-(2''-glukozyd)-glukozyd Kemferolu |
|-------------|--|--|---------------------------------------|
|             | [mg·kg <sup>-1</sup> ]                             |  |                                       |
| <b>OWP4</b> | 0,84 <sup>a</sup> ± 0,01                           | 0,55 <sup>a</sup> ± 0,01                           | 0,48 <sup>b</sup> ± 0,01              |
| <b>OWP5</b> | 0,51 <sup>d</sup> ± 0,00                           | 0,12 <sup>e</sup> ± 0,00                           | 0,37 <sup>e</sup> ± 0,00              |
| <b>OWP6</b> | 0,61 <sup>c</sup> ± 0,04                           | 0,23 <sup>d</sup> ± 0,02                           | 0,43 <sup>c</sup> ± 0,00              |
| <b>OWU4</b> | 0,78 <sup>b</sup> ± 0,01                           | 0,48 <sup>b</sup> ± 0,01                           | 0,54 <sup>a</sup> ± 0,01              |
| <b>OWU5</b> | 0,53 <sup>d</sup> ± 0,00                           | 0,30 <sup>c</sup> ± 0,01                           | 0,40 <sup>d</sup> ± 0,01              |
| <b>OWU6</b> | 0,65 <sup>c</sup> ± 0,01                           | 0,25 <sup>d</sup> ± 0,01                           | 0,42 <sup>c</sup> ± 0,01              |

a,b,c,d,e – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

Tabela 5.46. Wartości wybranych związków polifenolowych lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron

|               | 3-O-(2''-glukozyd)-glukozyd-7-O-glukozyd Kemferolu | 3-O-(2''-pentozyd)-glukozyd-7-O-pentozyd Kemferolu | 3-O-(2''-glukozyd)-glukozyd Kemferolu |
|---------------|--|--|---------------------------------------|
|               | [mg·kg <sup>-1</sup> ]                             |  |                                       |
| <b>WOP6,8</b> | 0,88 <sup>a</sup> ± 0,01                           | 0,36 <sup>a</sup> ± 0,01                           | 0,64 <sup>b</sup> ± 0,01              |
| <b>WOP8,4</b> | 0,90 <sup>a</sup> ± 0,00                           | 0,16 <sup>b</sup> ± 0,00                           | 0,66 <sup>c</sup> ± 0,01              |
| <b>WOP10</b>  | 0,78 <sup>ab</sup> ± 0,01                          | 0,19 <sup>b</sup> ± 0,01                           | 0,73 <sup>d</sup> ± 0,01              |
| <b>WOU6,8</b> | 0,71 <sup>b</sup> ± 0,12                           | 0,39 <sup>a</sup> ± 0,14                           | 0,47 <sup>a</sup> ± 0,01              |
| <b>WOU8,4</b> | 0,69 <sup>b</sup> ± 0,01                           | 0,17 <sup>b</sup> ± 0,00                           | 0,49 <sup>b</sup> ± 0,01              |
| <b>WOU10</b>  | 0,90 <sup>a</sup> ± 0,01                           | 0,25 <sup>ab</sup> ± 0,01                          | 0,72 <sup>d</sup> ± 0,01              |

a,b,c,d – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie (p<0,05). Wyniki wyrażono jako średnią ± SD (n=3).

3-O-(2''-glukozyd)-glukozyd-7-O-glukozyd Kemferolu, 3-O-(2''-pentozyd)-glukozyd-7-O-pentozyd Kemferolu oraz 3-O-(2''-glukozyd)-glukozyd Kemferolu to związki chemiczne, które należą do grupy flawonoidów. Kemferol jest flawonidem występującym w niektórych roślinach, takich jak szpinak, brokuły, truskawki, czy herbata. Związki te mają wiele potencjalnych właściwości zdrowotnych, takich jak działanie przeciwutleniające, przeciwzapalne i przeciwnowotworowe. Kemferol może pomóc w ochronie komórek przed uszkodzeniami spowodowanymi stresem oksydacyjnym i zapobiegać rozwojowi niektórych chorób, w tym chorób serca, cukrzycy i niektórych rodzajów nowotworów [Vieira i in. 2017].

Zawartość 3-O-(2''-glukozyd)-glukozyd-7-O-glukozydu Kemferolu w lodach z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron wahała się w zakresie od 0,44 do 0,94 mg·kg<sup>-1</sup>, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 0,43 do 3,33 mg·kg<sup>-1</sup>. Najniższą zawartością 3-O-(2''-glukozyd)-glukozyd-7-O-glukozyd

Kemferolu charakteryzowały się lody z 6% udziałem oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji, natomiast najwyższą lody z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji.

Dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron zawartość 3-O-(2"-pentozyd)-glukozyd-7-O-pentozydu Kemferolu wahała się w przedziale od 0,12 do 0,78 mg·kg<sup>-1</sup>, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 0,12 do 1,25 mg·kg<sup>-1</sup>. Najniższą zawartością 3-O-(2"-pentozyd)-glukozyd-7-O-pentozyd Kemferolu charakteryzowały się lody z 5% udziałem oleju z pestek winogron poddane pasteryzacji oraz z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddane pasteryzacji, natomiast najwyższą lody z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji.

Zawartość 3-O-(2"-glukozyd)-glukozydu Kemferolu w lodach z udziałem oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron wahała się w zakresie od 0,34 do 0,70 mg·kg<sup>-1</sup>, natomiast dla lodów z udziałem oleożeli na ich bazie od 0,34 do 0,78 mg·kg<sup>-1</sup>. Lody z 6% udziałem oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji oraz lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji charakteryzują się najniższą zawartością 3-O-(2"-glukozyd)-glukozydu Kemferolu, natomiast najwyższą lody z 8,4% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddane obróbce ultradźwiękowej. Można stwierdzić, że obróbka ultradźwiękowa nie wpływa negatywnie na zawartość wybranych związków z grupy flawonoidów.

## 5.5. Wyniki oceny akceptowalności konsumenckiej lodów

Otrzymane sensoryczne wyróżniki w skali 5 punktowej i ogólną akceptowalność zestawiono w tabelach 4.47; 5.48; 5.49; 5.50; 5.51 i 5.52.

W przypadku lodów z udziałem oleju i oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu i miąższu awokado oraz oleożelu na bazie oleju z pestek winogron, najwyższej oceniona została konsystencja i barwa. Najniżej oceniono zapach. W przypadku lodów z udziałem oleju z pestek winogron najwyższej oceniona została barwa i zapach. Najniżej oceniono konsystencję. Ogólna akceptowalność konsumentencka kształtowała się na dobrym poziomie. Najwyższą notę uzyskały lody z 6% udziałem oleju z pestek winogron oraz 6,8% (4,27) udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej, a najniższą lody z 5% i 6% (3,18) udziałem oleju z miąższu awokado poddane pasteryzacji.

Tabela 5.47. Analiza statystyczna akceptowalności konsumenckiej lodów z udziałem oleju z nasion sezamu

|                       |      | Średnia | Wartość statystyki testowej | df | p-wartość | p-wartość dla porównań parami |       |       |       |       |       |
|-----------------------|------|---------|-----------------------------|----|-----------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       |      |         |                             |    |           | OSP4                          | OSP5  | OSP6  | OSU4  | OSU5  | OSU6  |
| Konsystencja          | OSP4 | 3,91    | 24,625                      | 5  | < 0,001   |                               | ns    | ns    | 0,012 | 0,004 | 0,030 |
|                       | OSP5 | 4,18    |                             |    |           |                               |       | ns    | ns    | 0,046 | ns    |
|                       | OSP6 | 4,00    |                             |    |           |                               |       |       | 0,019 | 0,007 | 0,046 |
|                       | OSU4 | 4,64    |                             |    |           |                               |       |       |       | ns    | ns    |
|                       | OSU5 | 4,73    |                             |    |           |                               |       |       |       |       | ns    |
|                       | OSU6 | 4,55    |                             |    |           |                               |       |       |       |       |       |
| Smak                  | OSP4 | 3,18    | 12,781                      | 5  | 0,026     |                               | 0,017 | ns    | 0,003 | ns    | ns    |
|                       | OSP5 | 4,09    |                             |    |           |                               |       | ns    | ns    | ns    | ns    |
|                       | OSP6 | 3,64    |                             |    |           |                               |       |       | ns    | ns    | ns    |
|                       | OSU4 | 4,27    |                             |    |           |                               |       |       |       | ns    | ns    |
|                       | OSU5 | 3,82    |                             |    |           |                               |       |       |       |       | ns    |
|                       | OSU6 | 3,82    |                             |    |           |                               |       |       |       |       |       |
| Barwa                 | OSP4 | 3,82    | 14,252                      | 5  | 0,014     |                               | ns    | ns    | ns    | ns    | ns    |
|                       | OSP5 | 4,27    |                             |    |           |                               |       | 0,023 | ns    | ns    | ns    |
|                       | OSP6 | 3,55    |                             |    |           |                               |       |       | ns    | 0,026 | ns    |
|                       | OSU4 | 4,18    |                             |    |           |                               |       |       |       | ns    | ns    |
|                       | OSU5 | 4,27    |                             |    |           |                               |       |       |       |       | ns    |
|                       | OSU6 | 4,09    |                             |    |           |                               |       |       |       |       |       |
| Zapach                | OSP4 | 3,00    | 8,191                       | 5  | 0,146     |                               | ns    | ns    | ns    | ns    | ns    |
|                       | OSP5 | 3,45    |                             |    |           |                               |       | ns    | ns    | ns    | ns    |
|                       | OSP6 | 3,36    |                             |    |           |                               |       |       | ns    | ns    | ns    |
|                       | OSU4 | 3,45    |                             |    |           |                               |       |       |       | ns    | ns    |
|                       | OSU5 | 3,73    |                             |    |           |                               |       |       |       |       | ns    |
|                       | OSU6 | 3,45    |                             |    |           |                               |       |       |       |       |       |
| Ogólna akceptowalność | OSP4 | 3,27    | 14,444                      | 5  | 0,013     |                               | 0,026 | ns    | 0,005 | 0,030 | ns    |
|                       | OSP5 | 3,91    |                             |    |           |                               |       | ns    | ns    | ns    | ns    |
|                       | OSP6 | 3,64    |                             |    |           |                               |       |       | ns    | ns    | ns    |
|                       | OSU4 | 4,09    |                             |    |           |                               |       |       |       | ns    | ns    |
|                       | OSU5 | 3,91    |                             |    |           |                               |       |       |       |       | ns    |
|                       | OSU6 | 3,82    |                             |    |           |                               |       |       |       |       |       |

Tabela 5.48. Analiza statystyczna akceptowalności konsumenckiej lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu

|                       |        | Średnia | Wartość statystyki testowej | df | p-wartość | p-wartość dla porównań parami |        |       |        |        |       |
|-----------------------|--------|---------|-----------------------------|----|-----------|-------------------------------|--------|-------|--------|--------|-------|
|                       |        |         |                             |    |           | SOP6,8                        | SOP8,4 | SOP10 | SOU6,8 | SOU8,4 | SOU10 |
| Konsystencja          | SOP6,8 | 4,27    | 6,327                       | 5  | 0,276     |                               | ns     | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOP8,4 | 4,45    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOP10  | 4,55    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOU6,8 | 4,45    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | SOU8,4 | 4,64    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | SOU10  | 4,09    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |
| Smak                  | SOP6,8 | 3,73    | 8,192                       | 5  | 0,146     |                               | ns     | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOP8,4 | 4,45    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOP10  | 4,09    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOU6,8 | 4,09    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | SOU8,4 | 3,82    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | SOU10  | 3,82    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |
| Barwa                 | SOP6,8 | 3,82    | 7,241                       | 5  | 0,203     |                               | ns     | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOP8,4 | 4,27    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOP10  | 4,18    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOU6,8 | 4,09    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | SOU8,4 | 4,18    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | SOU10  | 4,00    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |
| Zapach                | SOP6,8 | 3,73    | 2,960                       | 5  | 0,706     |                               | ns     | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOP8,4 | 3,36    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOP10  | 3,45    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOU6,8 | 3,73    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | SOU8,4 | 3,64    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | SOU10  | 3,91    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |
| Ogólna akceptowalność | SOP6,8 | 3,82    | 2,474                       | 5  | 0,780     |                               | ns     | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOP8,4 | 4,00    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOP10  | 3,91    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | SOU6,8 | 4,09    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | SOU8,4 | 4,00    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | SOU10  | 3,91    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |

Tabela 5.49. Analiza statystyczna akceptowalności konsumenckiej lodów z udziałem oleju z miąższu awokado

|                       |      | Średnia | Wartość statystyki testowej | df | p-wartość | p-wartość dla porównań parami |      |      |      |       |      |
|-----------------------|------|---------|-----------------------------|----|-----------|-------------------------------|------|------|------|-------|------|
|                       |      |         |                             |    |           | OAP4                          | OAP5 | OAP6 | OAU4 | OAU5  | OAU6 |
| Konsystencja          | OAP4 | 4,09    | 6,667                       | 5  | 0,247     |                               | ns   | ns   | ns   | ns    | ns   |
|                       | OAP5 | 3,64    |                             |    |           |                               |      | ns   | ns   | ns    | ns   |
|                       | OAP6 | 4,00    |                             |    |           |                               |      |      | ns   | ns    | ns   |
|                       | OAU4 | 4,36    |                             |    |           |                               |      |      |      | ns    | ns   |
|                       | OAU5 | 4,36    |                             |    |           |                               |      |      |      |       | ns   |
|                       | OAU6 | 4,18    |                             |    |           |                               |      |      |      |       |      |
| Smak                  | OAP4 | 2,73    | 15,235                      | 5  | 0,009     |                               | ns   | ns   | ns   | 0,006 | ns   |
|                       | OAP5 | 3,09    |                             |    |           |                               |      | ns   | ns   | ns    | ns   |
|                       | OAP6 | 2,55    |                             |    |           |                               |      |      | ns   | 0,003 | ns   |
|                       | OAU4 | 2,64    |                             |    |           |                               |      |      |      | 0,006 | ns   |
|                       | OAU5 | 4,18    |                             |    |           |                               |      |      |      |       | ns   |
|                       | OAU6 | 3,55    |                             |    |           |                               |      |      |      |       |      |
| Barwa                 | OAP4 | 4,27    | 4,186                       | 5  | 0,523     |                               | ns   | ns   | ns   | ns    | ns   |
|                       | OAP5 | 4,18    |                             |    |           |                               |      | ns   | ns   | ns    | ns   |
|                       | OAP6 | 3,82    |                             |    |           |                               |      |      | ns   | ns    | ns   |
|                       | OAU4 | 3,64    |                             |    |           |                               |      |      |      | ns    | ns   |
|                       | OAU5 | 3,82    |                             |    |           |                               |      |      |      |       | ns   |
|                       | OAU6 | 3,82    |                             |    |           |                               |      |      |      |       |      |
| Zapach                | OAP4 | 2,36    | 6,062                       | 5  | 0,300     |                               | ns   | ns   | ns   | ns    | ns   |
|                       | OAP5 | 2,36    |                             |    |           |                               |      | ns   | ns   | ns    | ns   |
|                       | OAP6 | 2,18    |                             |    |           |                               |      |      | ns   | ns    | ns   |
|                       | OAU4 | 3,09    |                             |    |           |                               |      |      |      | ns    | ns   |
|                       | OAU5 | 2,73    |                             |    |           |                               |      |      |      |       | ns   |
|                       | OAU6 | 2,45    |                             |    |           |                               |      |      |      |       |      |
| Ogólna akceptowalność | OAP4 | 3,36    | 5,681                       | 5  | 0,339     |                               | ns   | ns   | ns   | ns    | ns   |
|                       | OAP5 | 3,18    |                             |    |           |                               |      | ns   | ns   | ns    | ns   |
|                       | OAP6 | 3,18    |                             |    |           |                               |      |      | ns   | ns    | ns   |
|                       | OAU4 | 3,36    |                             |    |           |                               |      |      |      | ns    | ns   |
|                       | OAU5 | 3,64    |                             |    |           |                               |      |      |      |       | ns   |
|                       | OAU6 | 3,55    |                             |    |           |                               |      |      |      |       |      |

Tabela 5.50. Analiza statystyczna akceptowalności konsumenckiej lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado

|                       |        | Średnia | Wartość statystyki testowej | df | p-wartość | p-wartość dla porównań parami |        |       |        |        |       |
|-----------------------|--------|---------|-----------------------------|----|-----------|-------------------------------|--------|-------|--------|--------|-------|
|                       |        |         |                             |    |           | AOP6,8                        | AOP8,4 | AOP10 | AOU6,8 | AOU8,4 | AOU10 |
| Konsystencja          | AOP6,8 | 4,09    | 5,466                       | 5  | 0,362     |                               | ns     | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | AOP8,4 | 4,27    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | AOP10  | 3,91    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | AOU6,8 | 4,36    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | AOU8,4 | 4,45    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | AOU10  | 4,45    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |
| Smak                  | AOP6,8 | 2,73    | 4,385                       | 5  | 0,495     |                               | ns     | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | AOP8,4 | 2,91    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | AOP10  | 2,64    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | AOU6,8 | 3,45    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | AOU8,4 | 3,36    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | AOU10  | 3,00    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |
| Barwa                 | AOP6,8 | 3,09    | 12,141                      | 5  | 0,033     |                               | 0,030  | ns    | ns     | 0,010  | 0,006 |
|                       | AOP8,4 | 4,18    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | AOP10  | 3,73    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | AOU6,8 | 3,91    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | AOU8,4 | 4,27    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | AOU10  | 4,45    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |
| Zapach                | AOP6,8 | 3,55    | 13,059                      | 5  | 0,023     |                               | 0,010  | 0,003 | 0,030  | 0,017  | 0,026 |
|                       | AOP8,4 | 2,18    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | AOP10  | 2,27    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | AOU6,8 | 2,55    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | AOU8,4 | 2,45    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | AOU10  | 2,45    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |
| Ogólna akceptowalność | AOP6,8 | 3,64    | 2,821                       | 5  | 0,728     |                               | ns     | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | AOP8,4 | 3,45    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | AOP10  | 3,36    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | AOU6,8 | 3,45    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | AOU8,4 | 3,64    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | AOU10  | 3,55    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |

Tabela 5.51. Analiza statystyczna akceptowalności konsumenckiej lodów z udziałem oleju z pestek winogron

|                       |      | Średnia | Wartość statystyki testowej | df | p-wartość | p-wartość dla porównań parami |      |      |       |       |      |
|-----------------------|------|---------|-----------------------------|----|-----------|-------------------------------|------|------|-------|-------|------|
|                       |      |         |                             |    |           | OWP4                          | OWP5 | OWP6 | OWU4  | OWU5  | OWU6 |
| Konsystencja          | OWP4 | 3,64    | 5,6588                      | 5  | 0,341     |                               | ns   | ns   | ns    | ns    | ns   |
|                       | OWP5 | 3,82    |                             |    |           |                               |      | ns   | ns    | ns    |      |
|                       | OWP6 | 3,91    |                             |    |           |                               |      |      | ns    | ns    | ns   |
|                       | OWU4 | 3,91    |                             |    |           |                               |      |      |       | ns    | ns   |
|                       | OWU5 | 3,64    |                             |    |           |                               |      |      |       |       | ns   |
|                       | OWU6 | 4,36    |                             |    |           |                               |      |      |       |       |      |
| Smak                  | OWP4 | 3,91    | 12,484                      | 5  | 0,029     |                               | ns   | ns   | ns    | ns    | ns   |
|                       | OWP5 | 4,27    |                             |    |           |                               |      | ns   | 0,010 | ns    | ns   |
|                       | OWP6 | 3,91    |                             |    |           |                               |      |      | ns    | ns    | ns   |
|                       | OWU4 | 3,18    |                             |    |           |                               |      |      |       | 0,003 | ns   |
|                       | OWU5 | 4,36    |                             |    |           |                               |      |      |       |       | ns   |
|                       | OWU6 | 4,00    |                             |    |           |                               |      |      |       |       |      |
| Barwa                 | OWP4 | 4,27    | 2,924                       | 5  | 0,712     |                               | ns   | ns   | ns    | ns    | ns   |
|                       | OWP5 | 4,00    |                             |    |           |                               |      | ns   | ns    | ns    | ns   |
|                       | OWP6 | 3,82    |                             |    |           |                               |      |      | ns    | ns    | ns   |
|                       | OWU4 | 4,00    |                             |    |           |                               |      |      |       | ns    | ns   |
|                       | OWU5 | 3,91    |                             |    |           |                               |      |      |       |       | ns   |
|                       | OWU6 | 4,18    |                             |    |           |                               |      |      |       |       |      |
| Zapach                | OWP4 | 3,73    | 9,666                       | 5  | 0,085     |                               | ns   | ns   | ns    | ns    | ns   |
|                       | OWP5 | 3,91    |                             |    |           |                               |      | ns   | ns    | ns    | ns   |
|                       | OWP6 | 4,55    |                             |    |           |                               |      |      | ns    | ns    | ns   |
|                       | OWU4 | 3,64    |                             |    |           |                               |      |      |       | ns    | ns   |
|                       | OWU5 | 4,00    |                             |    |           |                               |      |      |       |       | ns   |
|                       | OWU6 | 4,27    |                             |    |           |                               |      |      |       |       |      |
| Ogólna akceptowalność | OWP4 | 3,91    | 7,157                       | 5  | 0,209     |                               | ns   | ns   | ns    | ns    | ns   |
|                       | OWP5 | 4,00    |                             |    |           |                               |      | ns   | ns    | ns    | ns   |
|                       | OWP6 | 4,09    |                             |    |           |                               |      |      | ns    | ns    | ns   |
|                       | OWU4 | 3,64    |                             |    |           |                               |      |      |       | ns    | ns   |
|                       | OWU5 | 3,91    |                             |    |           |                               |      |      |       |       | ns   |
|                       | OWU6 | 4,27    |                             |    |           |                               |      |      |       |       |      |



Tabela 5.52. Analiza statystyczna akceptowalności konsumenckiej lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron

|                       |        | Średnia | Wartość statystyki testowej | df | p-wartość | p-wartość dla porównań parami |        |       |        |        |       |
|-----------------------|--------|---------|-----------------------------|----|-----------|-------------------------------|--------|-------|--------|--------|-------|
|                       |        |         |                             |    |           | WOP6,8                        | WOP8,4 | WOP10 | WOU6,8 | WOU8,4 | WOU10 |
| Konsystencja          | WOP6,8 | 4,09    | 3,696                       | 5  | 0,594     |                               | ns     | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOP8,4 | 4,36    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOP10  | 3,91    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOU6,8 | 4,00    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | WOU8,4 | 4,27    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | WOU10  | 4,36    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |
| Smak                  | WOP6,8 | 3,36    | 9,306                       | 5  | 0,097     |                               | ns     | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOP8,4 | 4,18    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOP10  | 4,00    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOU6,8 | 4,36    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | WOU8,4 | 3,73    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | WOU10  | 4,00    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |
| Barwa                 | WOP6,8 | 3,73    | 14,021                      | 5  | 0,015     |                               | 0,019  | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOP8,4 | 4,45    |                             |    |           |                               |        | 0,017 | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOP10  | 3,64    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOU6,8 | 3,82    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | WOU8,4 | 4,00    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | WOU10  | 4,36    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |
| Zapach                | WOP6,8 | 3,73    | 10,203                      | 5  | 0,070     |                               | ns     | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOP8,4 | 3,91    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOP10  | 4,18    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOU6,8 | 4,36    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | WOU8,4 | 3,36    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | WOU10  | 4,00    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |
| Ogólna akceptowalność | WOP6,8 | 3,73    | 11,245                      | 5  | 0,047     |                               | ns     | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOP8,4 | 4,18    |                             |    |           |                               |        | ns    | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOP10  | 3,73    |                             |    |           |                               |        |       | ns     | ns     | ns    |
|                       | WOU6,8 | 4,27    |                             |    |           |                               |        |       |        | ns     | ns    |
|                       | WOU8,4 | 3,73    |                             |    |           |                               |        |       |        |        | ns    |
|                       | WOU10  | 4,09    |                             |    |           |                               |        |       |        |        |       |

Na podstawie testu Friedmana oraz testu porównań parami Wilcoxon stwierdzono, że istnieją istotne statystycznie różnice w ocenie konsystencji pomiędzy lodami z 4% (obróbka ultradźwiękami), 5% (obróbka ultradźwiękami) i 6% (obróbka ultradźwiękami), a 4% (pasteryzacja) i 6% (pasteryzacja) udziałem oleju z nasion sezamu oraz pomiędzy lodami z 5% (pasteryzacja) i 5% (obróbka ultradźwiękami) udziałem oleju z nasion sezamu. Wykonana analiza wskazuje na istotne statystycznie różnice w ocenie smaku pomiędzy lodami z 4% (pasteryzacja), a 5% (pasteryzacja) i 4% (obróbka ultradźwiękami) udziałem

oleju z nasion sezamu, a także pomiędzy lodami z 5% (obróbka ultradźwiękami), a 4% (pasteryzacja), 6% (pasteryzacja), 4% (obróbka ultradźwiękami) udziałem oleju z mięszu awokado oraz pomiędzy lodami z 4% (Obróbka ultradźwiękami), a 5% (pasteryzacja) i 5% (obróbka ultradźwiękami) udziałem oleju z pestek winogron. Istotne statystycznie różnice w ocenie barwy zaobserwowano pomiędzy lodami z 6% (pasteryzacja), a 5% (pasteryzacja) i 5% (obróbka ultradźwiękami) udziałem oleju z nasion sezamu, a także pomiędzy lodami z 6,8% (pasteryzacja) a 8,4% (obróbka ultradźwiękami) i 10% (obróbka ultradźwiękami) udziałem oleożelu na bazie oleju z mięszu awokado oraz pomiędzy lodami z 8,4% (pasteryzacja), a 6,8% (pasteryzacja) i 10% (pasteryzacja) udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron. Analiza wykazała istotne statystycznie różnice w ocenie zapachu pomiędzy lodami z 6,8% (pasteryzacja), a 8,4% (pasteryzacja), 10% (pasteryzacja), 6,8% (obróbka ultradźwiękami), 8,4% (obróbka ultradźwiękami) i 10% (obróbka ultradźwiękami) udziałem oleożelu na bazie oleju z mięszu awokado. Wykonana analiza wskazuje na istotne statystycznie różnice w ogólnej akceptowalności konsumenckiej pomiędzy lodami z 4% (pasteryzacja), a 4% (obróbka ultradźwiękami) i 5% (obróbka ultradźwiękami) udziałem oleju z nasion sezamu.

## **5.6. Analiza składowych głównych właściwości fizycznych i biochemicznych lodów**

W celu określenia liczby składowych głównych zastosowano tzw. kryterium Kaisera wykorzystujące podejście wartości własnej większej od jedności. Analiza ta została wykorzystana do wykrycia struktury i ogólnych prawidłowości w związkach, zarówno pomiędzy badanymi próbkami (różnymi rodzajami lodów), jak i zmiennymi (właściwościami fizycznymi i biochemicznymi lodów). Przed wykonaniem analizy przeprowadzono standaryzację danych poprzez odjęcie od każdej średniej wartości danej zmiennej i podzielenie jej przez odchylenie standardowe.

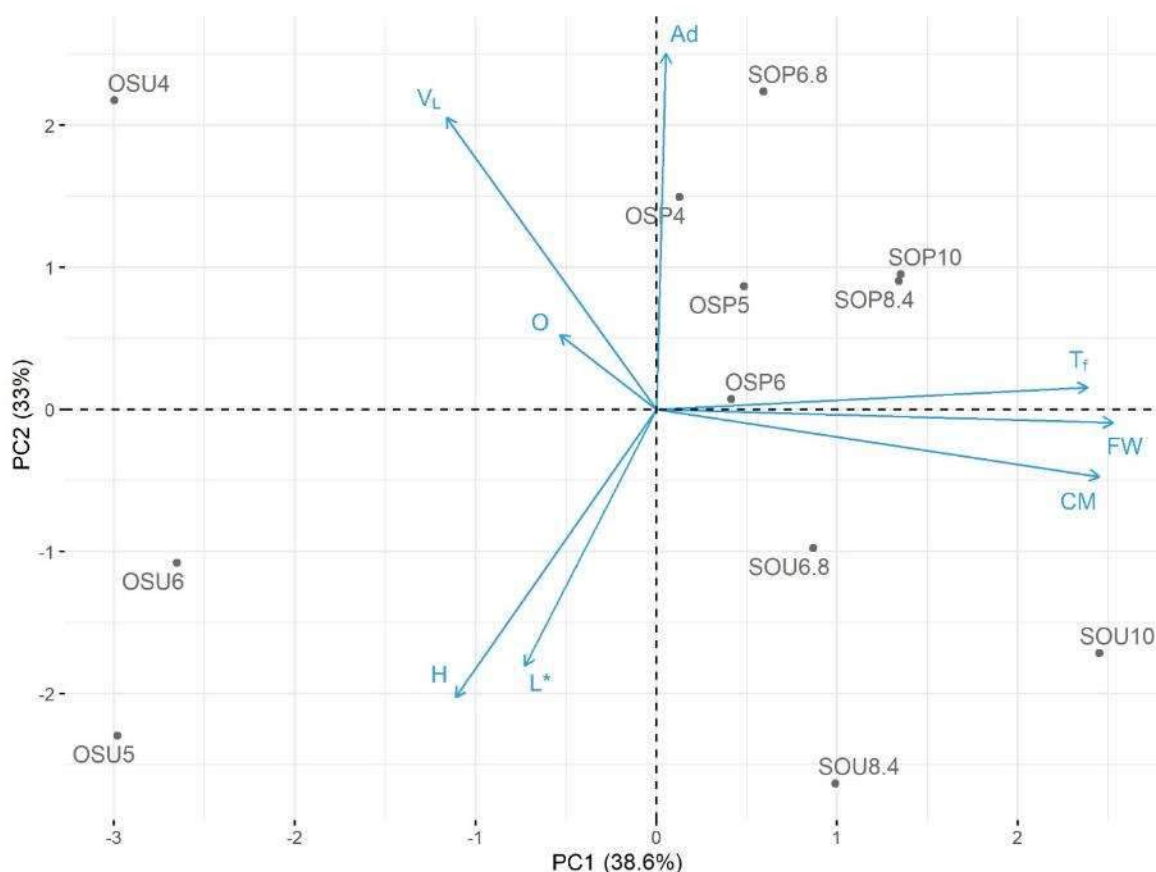
Graficzne przedstawienie wyników analizy składowych głównych umożliwiło wykrycie struktury grupowania się prób (lodów), ich podobieństw i różnic oraz analizę zależności między zmiennymi (badanymi właściwościami). Do reprezentacji każdej zmiennej używany jest wektor. Jak bardzo każda zmienna wpływa na składowe główne zależy od kierunku i długości wektorów. Dwie zmienne znajdujące się blisko siebie świadczą o silnej dodatniej korelacji. Na brak korelacji wskazują wektory, które są wobec

siebie prostopadłe. Korelacja między zmiennymi znajdującymi się po przeciwnej stronie jest ujemna [Stanisz 2007].

### 5.6.1. Analiza składowych głównych dla właściwości fizycznych lodów

Analiza składowych głównych (PCA) została wykorzystana do zbadania zmian struktury zależności najważniejszych czynników determinujących właściwości fizyczne lodów (Rys. 5.16–5.18).

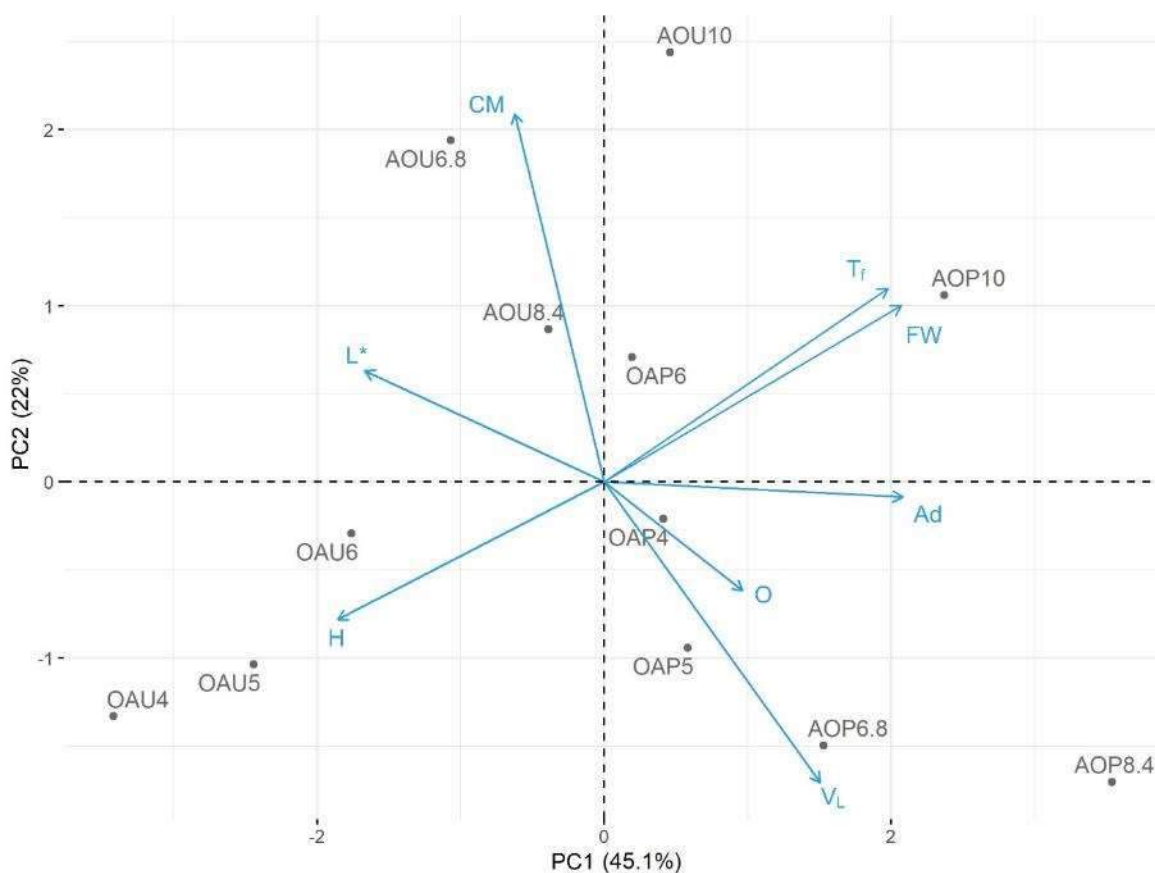
Pierwsze dwie składowe główne objaśniają 71,6% całkowitej zmienności (rys. 5.16). Pierwsza składowa wyjaśnia 38,6% informacji zawartych głównie w zmiennych: ilość wymrożonej wody (FW), całkowity czas topnienia (CM) i temperatura zamrażania ( $T_f$ ) (dodatnia część osi PC1). Druga składowa wyjaśnia 33% zmienności danych poprzez zmienne twardości (H) i parametrem  $L^*$  określającym barwę lodów (ujemna część osi PC2) oraz kleistości (Ad) i lepkości lodów ( $V_L$ ) (dodatnia część osi PC2).



Rys. 5.16. Diagram składowych głównych (PCA) wykonany w oparciu o właściwości fizyczne lodów na bazie oleju i oleożelu z nasion sezamu

Obserwujemy silną korelację dodatnią pomiędzy ilością wymrożonej wody (FW), temperaturą zamarzania ( $T_f$ ) i całkowitym czasem topnienia (CM) oraz między twardością (H) i parametrem  $L^*$  określającym barwę. Parametry chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$  zostały pominięte w analizie z uwagi na ujemną korelację z parametrem  $L^*$  określającym jasność lodów. Nieco słabszą korelację dodatnią można zaobserwować pomiędzy kleistością (Ad), a lepkością lodów ( $V_L$ ). Brak korelacji zaobserwowano pomiędzy kleistością (Ad), a ilością wymrożonej wody (FW), temperaturą zamarzania ( $T_f$ ) i całkowitym czasem topnienia (CM).

Lody z 8,4% i 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji charakteryzują się wyższą niż przeciętna temperaturą zamarzania i ilością wymrożonej wody. Wyższy niż przeciętny całkowity czas topnienia wykazały lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej. Najwyższą kleistość zaobserwowano dla lodów z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji, natomiast lody z 4% udziałem oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej wykazują wyższą niż przeciętna lepkość lodów.



Rys. 5.17. Diagram składowych głównych (PCA) wykonany w oparciu o właściwości fizyczne lodów na bazie oleju i oleożelu z miąższu awokado

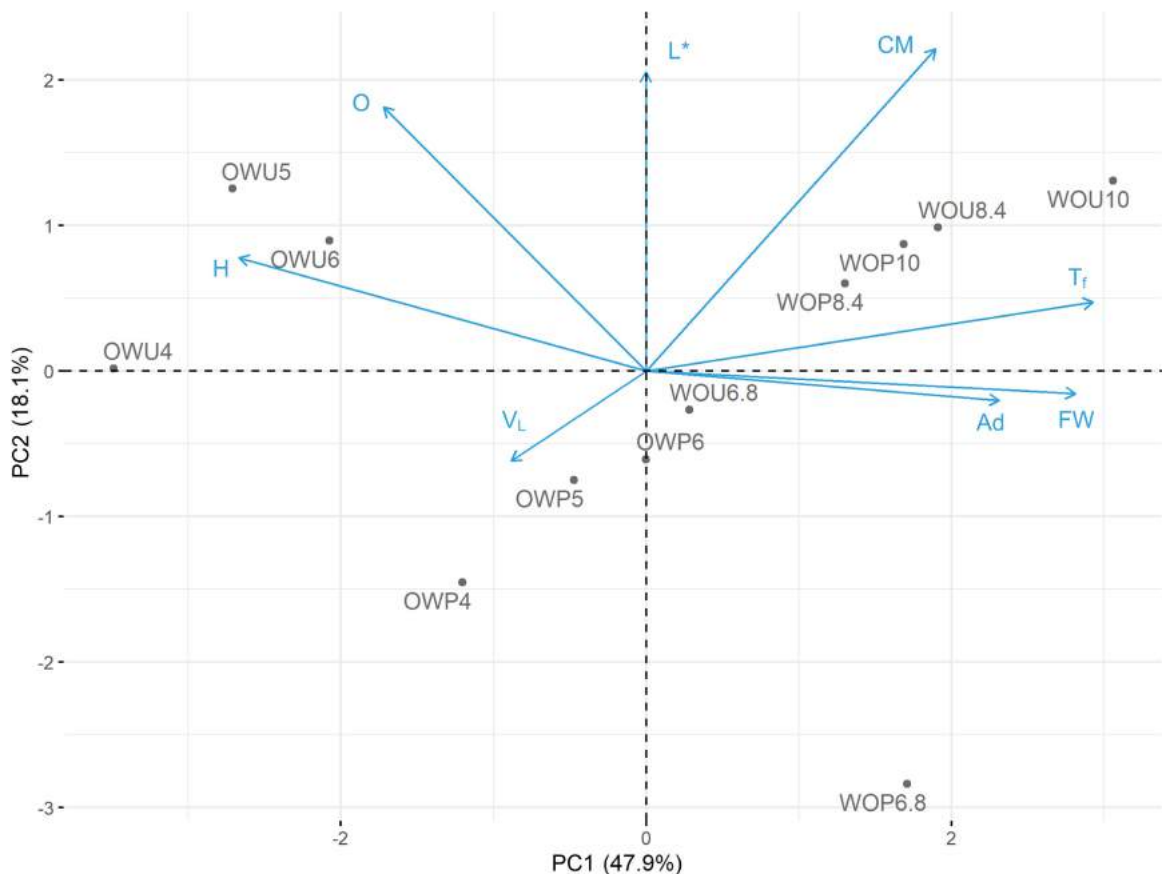
Pierwsze dwie składowe główne objaśniają 67,1% całkowitej zmienności (rys. 5.17). Pierwsza składowa wyjaśnia 45,1% informacji zawartych głównie w zmiennych: kleistość (Ad), ilość wymrożonej wody (FW) i temperatura zamrażania ( $T_f$ ) (dodatnia część osi PC1) oraz twardość (H) (ujemna część osi PC1). Druga składowa wyjaśnia 22% zmienności danych poprzez zmienną całkowitą czasu topnienia (CM) (dodatnia część osi PC2) oraz lepkością lodów ( $V_L$ ) (ujemna część osi PC2).

Obserwujemy silną korelację dodatnią pomiędzy ilością wymrożonej wody (FW) i temperaturą zamrażania ( $T_f$ ). Jednocześnie właściwości te są ujemnie skorelowane z twardością (H). Brak korelacji zaobserwowano pomiędzy lepkością lodów ( $V_L$ ), a ilością wymrożonej wody (CM) i temperaturą zamrażania ( $T_f$ ).

Lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddane pasteryzacji charakteryzują się wyższą niż przeciętna temperaturą zamrażania i ilością wymrożonej wody. Wyższą niż przeciętna lepkość lodów wykazały lody z 6,8% i 8,4% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddane pasteryzacji. Najwyższą kleistość zaobserwowano dla lodów z 8,4% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddane pasteryzacji, natomiast lody z 4%, 5% i 6% udziałem oleju z miąższu awokado poddane obróbce ultradźwiękowej wykazują wyższą niż przeciętna twardość. Lody z 5% i 6% udziałem oleju z miąższu awokado charakteryzują się wyższym niż przeciętna parametrem  $L^*$ .

Pierwsze dwie składowe główne objaśniają 66% całkowitej zmienności (rys. 5.19). Pierwsza składowa wyjaśnia 47,9% informacji zawartych głównie w zmiennych: temperatura zamrażania ( $T_f$ ), ilość wymrożonej wody (FW) i kleistość (Ad) (dodatnia część osi PC1) oraz twardość (H) (ujemna część osi PC1). Druga składowa wyjaśnia 18,1% zmienności danych poprzez zmienne puszystości, parametru  $L^*$  i całkowitego czasu topnienia (CM) (dodatnia część osi PC2).

Obserwujemy silną korelację dodatnią pomiędzy ilością wymrożonej wody (FW), temperaturą zamrażania ( $T_f$ ) i kleistością (Ad). Jednocześnie właściwości te są ujemnie skorelowane z twardością (H). Nieco słabszą korelację dodatnią można zaobserwować pomiędzy twardością (H), a puszystością (O). Brak korelacji zaobserwowano pomiędzy puszystością (O), a lepkością lodów ( $V_L$ ) i całkowitym czasem topnienia (CM).



Rys. 5.18. Diagram składowych głównych (PCA) wykonany w oparciu o właściwości fizyczne lodów na bazie oleju i oleożelu z pestek winogron

Lody z 8,4% i 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron poddane zarówno pasteryzacji, jak i obróbce ultradźwiękowej charakteryzują się wyższą niż przeciętna temperaturą zamarzania i całkowitym czasem topnienia. Wyższą niż przeciętna kleistością wykazały lody z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej. Najwyższą puszystość i twardość zaobserwowano dla lodów z 5% i 6% udziałem oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej.

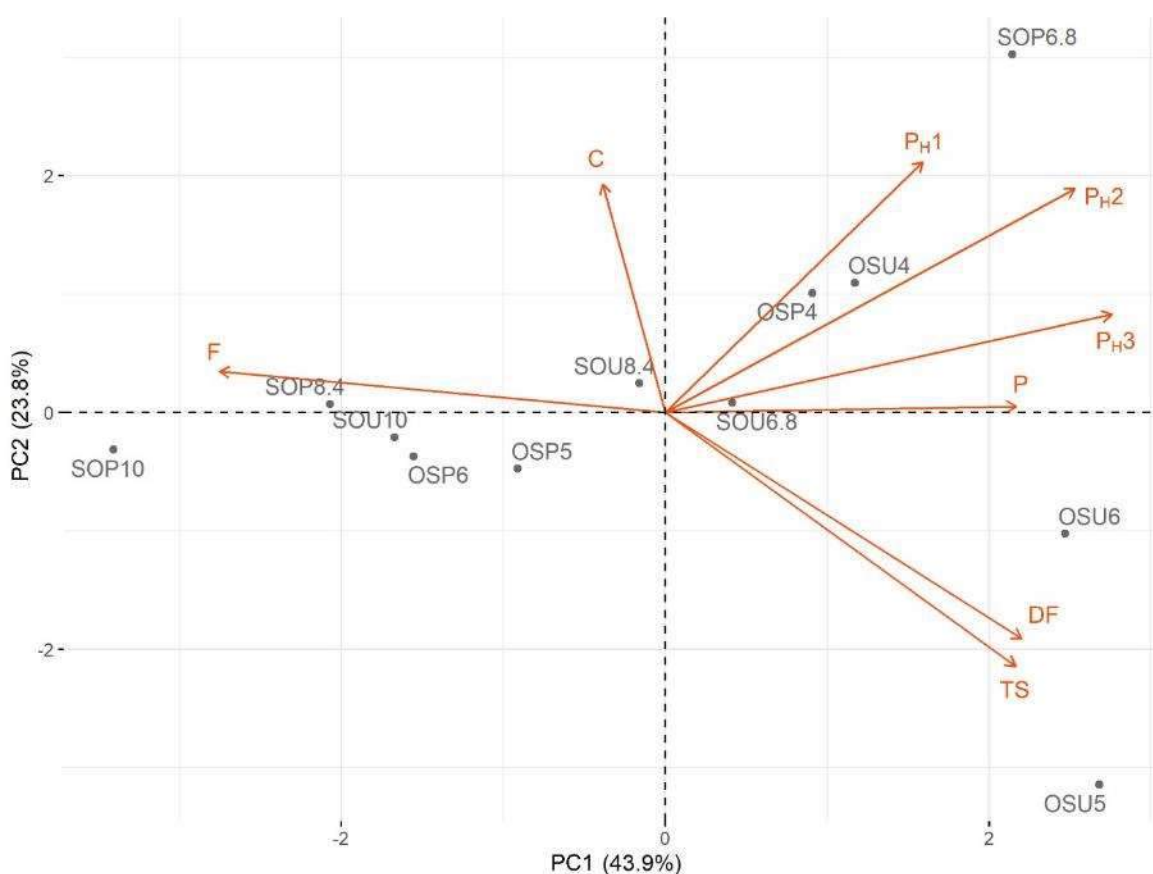
### 5.6.2. Analiza składowych głównych dla właściwości biochemicznych lodów

Analiza składowych głównych (PCA) została wykorzystana do zbadania zmian najważniejszych czynników determinujących właściwości biochemiczne lodów (rys. 5.19–5.21).

Pierwsze dwie składowe główne objaśniają 67,7% całkowitej zmienności (rys. 5.19). Pierwsza składowa wyjaśnia 43,9% informacji zawartych głównie w zmiennych: 3-O-(2''-glukozyd)-glukozyd Kemferolu (P<sub>H3</sub>), 3-O-(2''-pentozyd)-glukozyd-7-O-pentozyd Kemferolu (P<sub>H2</sub>) i błonnik pokarmowy (DF) (dodatnia część osi PC1) oraz tłuszcz

(F) (ujemna część osi PC1). Druga składowa wyjaśnia 23,8% zmienności danych poprzez zmienne zawartości 3-O-(2"-glukozyd)-glukozyd-7-O-glukozydu Kemferolu (P<sub>H1</sub>), węglowodanów (C) i 3-O-(2"-pentozyd)-glukozyd-7-O-pentozydu Kemferolu (P<sub>H2</sub>) (dodatnia część osi PC2) oraz zawartości suchej masy (TS) i błonnika pokarmowego (DF) (ujemna część osi PC2).

Obserwujemy silną korelację dodatnią pomiędzy zawartością suchej masy (TS) i błonnikiem pokarmowym (DF) oraz nieco słabszą korelację pomiędzy zawartością białka (P), 3-O-(2"-glukozyd)-glukozyd-7-O-glukozydu Kemferolu (P<sub>H1</sub>), 3-O-(2"-pentozyd)-glukozyd-7-O-pentozydu Kemferolu (P<sub>H2</sub>) i 3-O-(2"-glukozyd)-glukozydu Kemferolu (P<sub>H3</sub>). Jednocześnie zawartość białka (P) jest silnie skorelowana ujemnie z zawartością tłuszczu (F). Brak korelacji zaobserwowano pomiędzy zawartością węglowodanów (C), a zawartością 3-O-(2"-glukozyd)-glukozydu Kemferolu (P<sub>H3</sub>).

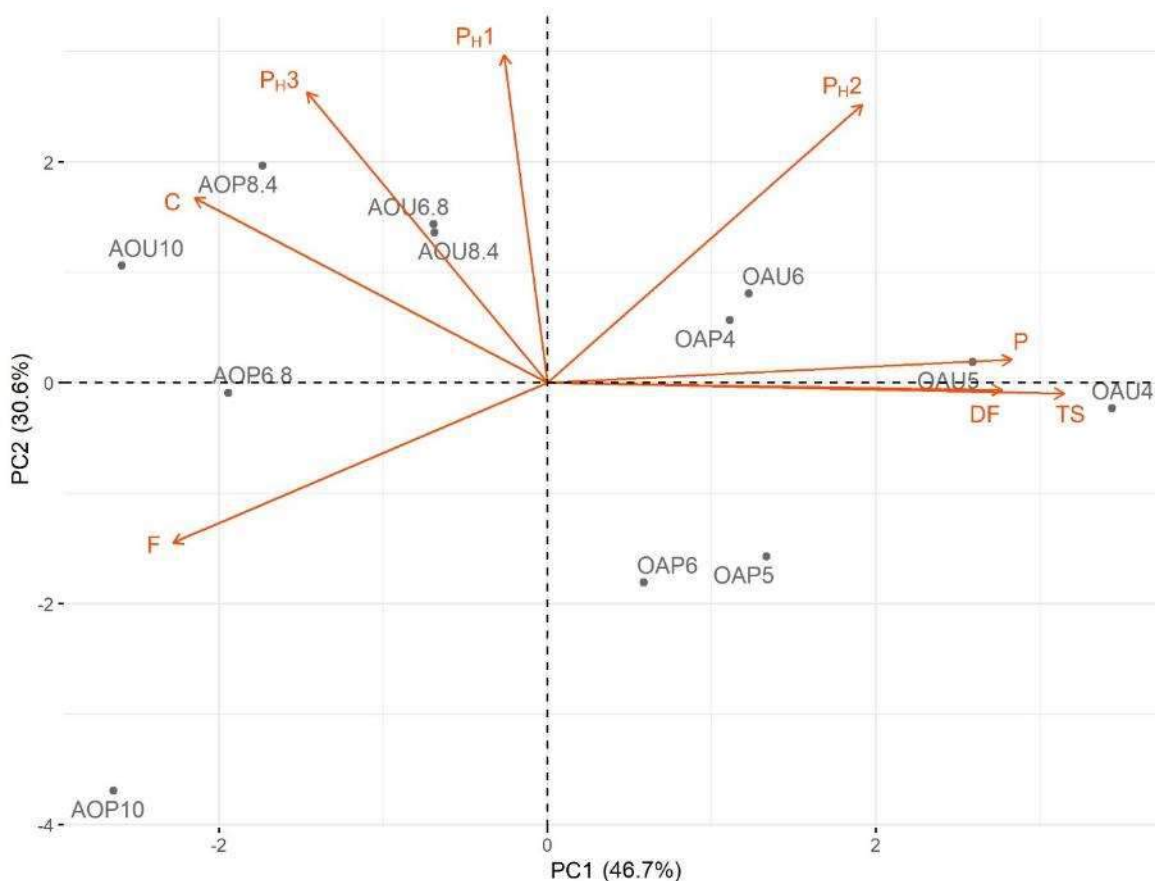


Rys. 5.19. Diagram składowych głównych (PCA) wykonany w oparciu o właściwości biochemiczne lodów na bazie oleju i oleożelu z nasion sezamu

Lody z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji charakteryzowały się wyższą niż przeciętna zawartością 3-O-(2"-glukozyd)-glukozyd-

7-*O*-glukozydu Kemferolu i 3-*O*-(2''-pentozyd)-glukozyd-7-*O*-pentozydu Kemferolu. Wyższą niż przeciętna zawartością suchej masy i błonnika pokarmowego wykazały lody z 5% i 6% udziałem oleju z nasion sezamu poddane obróbce ultradźwiękowej. Najwyższą zawartość tłuszczu zaobserwowano dla lodów z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu poddane pasteryzacji.

Pierwsze dwie składowe główne objaśniają 77,3% całkowitej zmienności (rys. 5.20). Pierwsza składowa wyjaśnia 46,7% informacji zawartych głównie w zmiennych: sucha masa (TS), białko (P) i błonnik pokarmowy (DF) (dodatnia część osi PC1) oraz tłuszcz (F) (ujemna część osi PC1). Druga składowa wyjaśnia 30,6% zmienności danych poprzez zmienne zawartości 3-*O*-(2''-glukozyd)-glukozyd-7-*O*-glukozydu Kemferolu ( $P_{H1}$ ), 3-*O*-(2''-pentozyd)-glukozyd-7-*O*-pentozydu Kemferolu ( $P_{H2}$ ) i 3-*O*-(2''-glukozyd)-glukozydu Kemferolu ( $P_{H3}$ ) (dodatnia część osi PC2).



Rys. 5.20. Diagram składowych głównych (PCA) wykonany w oparciu o właściwości biochemiczne lodów na bazie oleju i oleożelu z miąższu awokado

Obserwujemy silną korelację dodatnią pomiędzy zawartością suchej masy (TS), błonnika pokarmowego (DF) i białka (P) oraz nieco słabszą korelację pomiędzy zawartością węglowodanów (C), 3-*O*-(2''-glukozyd)-glukozyd-7-*O*-glukozydu Kemferolu ( $P_{H1}$ ) i 3-*O*-(2''-glukozyd)-glukozydu Kemferolu ( $P_{H3}$ ). Zawartość 3-*O*-(2''-pentozyd)-

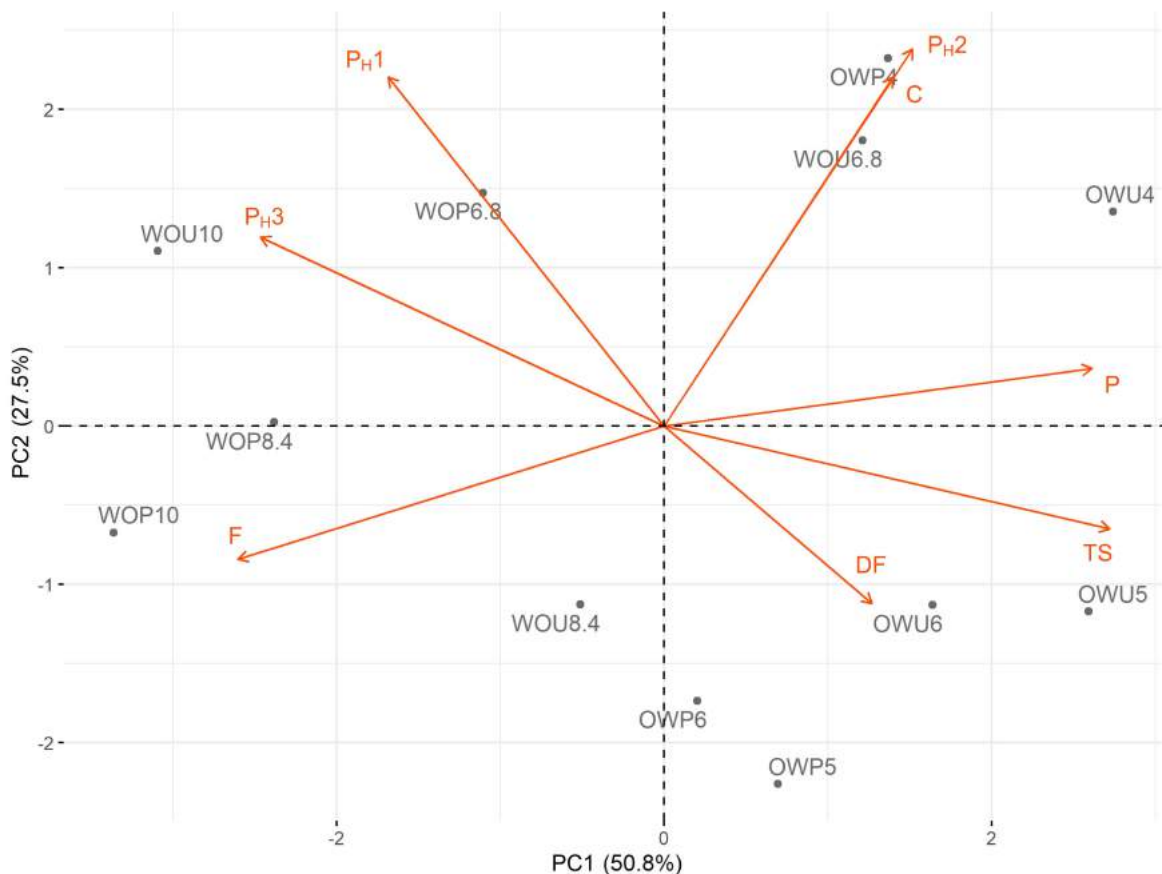


glukozyd-7-O-pentozydu Kemferolu ( $P_{H2}$ ) jest silnie skorelowana ujemnie z zawartością tłuszczu (F). Brak korelacji zaobserwowano pomiędzy zawartością 3-O-(2''-pentozyd)-glukozyd-7-O-pentozyd Kemferolu ( $P_{H2}$ ), a 3-O-(2''-glukozyd)-glukozydu Kemferolu ( $P_{H3}$ ).

Lody z 6,8% i 8,4% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddane pasteryzacji oraz z 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado poddane obróbce ultradźwiękowej charakteryzowały się wyższą niż przeciętna zawartością węglowodanów. Najwyższą zawartość suchej masy i błonnika pokarmowego zaobserwowano dla lodów z 4% udziałem oleju z miąższu awokado poddane obróbce ultradźwiękowej, a także najwyższą zawartością 3-O-(2''-glukozyd)-glukozydu Kemferolu charakteryzowały się lody z 8,4% udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado.

Pierwsze dwie składowe główne objaśniają 78,3% całkowitej zmienności (rys. 5.21). Pierwsza składowa wyjaśnia 50,8% informacji zawartych głównie w zmiennych: sucha masa (TS) i białko (P) (dodatnia część osi PC1) oraz tłuszcz (F) i 3-O-(2''-glukozyd)-glukozyd Kemferolu ( $P_{H3}$ ) (ujemna część osi PC1). Druga składowa wyjaśnia 27,5% zmienności danych poprzez zmienne zawartości 3-O-(2''-pentozyd)-glukozyd-7-O-pentozydu Kemferolu ( $P_{H2}$ ), 3-O-(2''-glukozyd)-glukozyd-7-O-glukozydu Kemferolu ( $P_{H1}$ ) i węglowodanów (C) (dodatnia część osi PC2).

Obserwujemy silną korelację dodatnią pomiędzy zawartością 3-O-(2''-pentozyd)-glukozyd-7-O-pentozydu Kemferolu ( $P_{H2}$ ) i węglowodanów (C) oraz nieco słabszą korelację pomiędzy zawartością suchej masy (TS) i białka (P), a także pomiędzy zawartością 3-O-(2''-glukozyd)-glukozyd-7-O-glukozydu Kemferolu ( $P_{H1}$ ) i 3-O-(2''-glukozyd)-glukozydu Kemferolu ( $P_{H3}$ ). Silną korelację ujemną zaobserwowano pomiędzy zawartością 3-O-(2''-glukozyd)-glukozydu Kemferolu ( $P_{H3}$ ), a zawartością suchej masy (TS) oraz pomiędzy zawartością białka (P), a zawartością tłuszczu (F), a także pomiędzy zawartością błonnika pokarmowego (DF), a zawartością 3-O-(2''-glukozyd)-glukozyd-7-O-glukozydu Kemferolu ( $P_{H1}$ ).



Rys. 5.21. Diagram składowych głównych (PCA) wykonany w oparciu o właściwości biochemiczne lodów na bazie oleju i oleożelu z pestek winogron

Lody z 5% i 6% udziałem oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej charakteryzowały się wyższą niż przeciętna zawartością błonnika pokarmowego. Najwyższą zawartość białka zaobserwowano dla lodów z 4% udziałem oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej. Wyższą niż przeciętna zawartością tłuszczu wykazały się lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron poddane pasteryzacji, natomiast lody z 10% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron wykazały wyższą niż przeciętna zawartością 3-O-(2''-glukozyd)-glukozydu Kemferolu. Lody z 4% udziałem oleju z pestek winogron wykazały wyższą niż przeciętna zawartością 3-O-(2''-pentozyd)-glukozyd-7-O-pentozydu Kemferolu.

## 6. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

1. Lody poddane obróbce ultradźwiękowej oraz przygotowane oleożele na bazie oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron są czynnikami determinującymi właściwości fizyczne, chemiczne i organoleptyczne lodów.
2. Obróbka ultradźwiękowa mieszanki lodowej obniża temperaturę zamarzania badanych lodów i ilość wymrożonej wody, wydłuża czas topnienia oraz zwiększa ich twardość i kleistość.
3. Obróbka ultradźwiękowa obniża stopień napowietrzenia lodów z udziałem oleju z nasion sezamu i pestek winogron, natomiast w przypadku oleożeli na ich bazie obserwujemy odwrotną zależność.
4. Lody poddane obróbce ultradźwiękowej charakteryzują się niższą zawartością tłuszczu (od 11,58 do 23,63 g·(100g)<sup>-1</sup>), natomiast wyższą zawartością suchej masy (od 35,54 do 39,59%), białka (od 9,72 do 13,77 g·(100g)<sup>-1</sup>), węglowodanów (od 48,44 do 59,60 g·(100g)<sup>-1</sup>) i błonnika pokarmowego (od 7,45 do 17,77 g·(100g)<sup>-1</sup>).
5. Udział oleożeli w lodach zwiększa wartość temperatury zamarzania i ilości wymrożonej wody. Lody te charakteryzują się wyższym stopniem napowietrzenia i dłuższym czasem topnienia oraz niższą twardością i lepkością. Najwyższą puszystość (52,49%) porównywalną z lodami tradycyjnymi uzyskano dla lodów przy 10% udziale oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu.
6. Lody z udziałem oleożeli na bazie oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron charakteryzują się wyższą zawartością tłuszczu i węglowodanów w porównaniu do lodów z udziałem olejów oraz w przypadku lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu wyższą zawartością wybranych związków polifenolowych.
7. Zastosowane w badaniach oleje charakteryzują się wysoką zawartością niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych, takich jak kwas oleinowy i linolowy oraz wykazały wysoką stabilność struktur oleożelowych na poziomie 99%.

8. Oleożele otrzymane na bazie oleju z nasion sezamu, miąższu awokado i pestek winogron są obiecującym substytutem tłuszczu w lodach bogatych w niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe.
9. Najwyższą akceptowalnością konsumentką charakteryzowały się lody z udziałem 6% oleju i 6,8% oleożelu z pestek winogron, gdzie wykorzystano obróbkę ultradźwiękową mieszanki lodowej.
10. Analiza składowych głównych wykazała, że właściwości fizyczne i chemiczne lodów są determinowane udziałem oleożeli oraz rodzajem zastosowanej obróbki. Lody z udziałem oleożeli wykazują wyższe niż przeciętne cechy fizykochemiczne.
11. Uzyskane wyniki badań pozwalają zaproponować obróbkę ultradźwiękową jako alternatywę do pasteryzacji. Jednak, aby uzyskać lody o najbardziej korzystnych cechach jakościowych, porównywalnych z lodami tradycyjnymi, potrzebne są dalsze badania, które powinny skupić się na ocenie wzajemnego wpływu ultradźwięków w różnym czasie, temperaturze i amplitudzie ultradźwięków, jako ekonomicznej technologii.
12. Optymalną propozycją do zastosowania praktycznego są lody uzyskane na podstawie 6,8% udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron poddane obróbce ultradźwiękowej.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Abbasi, S., Saeedabadian, A. (2015) Influences of lactose hydrolysis of milk and sugar reduction on some physical properties of ice cream. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 367–374.
2. Abdallah, D. J., Sirchio, S. A., Weiss, R. G. (2000) Hexatriacontane organogels. The first determination of the conformation and molecular packing of a low-molecular-mass organogelator in its gelled state. *Langmuir* 16:7558–7561.
3. Aboulfazli, F., Baba, A.S., Misran, M. (2014) Effect of vegetable milks on the physical and rheological properties of ice cream. *Food Science and Technology Research*, 20(5), 987–996. DOI:10.3136/fstr.20.987
4. Aboulfazli, F., Shori, A.B., Baba, A.S. (2016) Effects of the replacement of cow milk with vegetable milk on probiotics and nutritional profile of fermented ice cream. *LWT*, 70, 261–270. DOI:10.1016/j.lwt.2016.02.056
5. Airoldi, R., da Silva, T.L.T., Ract, J.N.R., Foguel, A., Colleran, H.L., Ibrahim, S.A., da Silva, R.C. (2022) Potential use of carnauba wax oleogel to replace saturated fat in ice cream. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 99(11), 1085–1099.
6. Akbari, M., Eskandari, M.H., Niakosari, M., Bedeltavana, A. (2016) The effect of inulin on the physicochemical properties and sensory attributes of low-fat ice cream. *International Dairy Journal*, 57, 52–55.
7. Akdeniz, V., Akalin, A.S. (2019) New approach for yoghurt and ice cream production: High-intensity ultrasound. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 392–398.
8. Aleong, J.M., Frochot, S., Goff, H.D. (2008) Ice recrystallization inhibition in ice cream by propylene glycol monostearate. *Journal of food science*, 73(9), E463–E468.
9. Alizadeh, M., Azizi-Lalabadi, M., Kheirouri, S. (2014) Impact of using stevia on physicochemical, sensory, rheology and glycemic index of soft ice cream. *Food and Nutrition Sciences*, 2014.
10. Almeida, I.F., Bahia, M.F. (2006) Evaluation of the physical stability of two oleogels. *International journal of pharmaceutics*, 327(1–2), 73–77.
11. Amador, J., Hartel, R., Rankin, S. (2017) The effects of fat structures and ice cream mix viscosity on physical and sensory properties of ice cream. *Journal of food science*, 82(8), 1851–1860.
12. Alonso, H.A.T., Peralta, J.M., Rubiolo, A.C., Zorrilla, S.E. (2011) Prediction of the freezing point of multicomponent liquid refrigerant solutions. *Journal of food engineering*, 104(1), 143–148.
13. AOAC 952.06–1952 (1996) Fat in ice cream and frozen desserts
14. AOAC International, (1995) Official Methods of Analysis 16th Ed., Gaithersburg, MD, sec.33.8.04, Method 930.33(28).
15. AOAC International (2000) Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th ed.; Association of Analytical Communities: Gaithersburg MD, USA.
16. Ariyaprakai, S., Tananuwong, K. (2015) Freeze-thaw stability of edible oil-in-water emulsions stabilized by sucrose esters and Tweens. *Journal of food engineering*, 152, 57–64. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2014.11.023

17. Augustin, M.A., Versteeg, C. (2006) Milk fat: physical, chemical and enzymatic modification. In *Advanced dairy chemistry volume 2 lipids* (pp. 293–332). Springer, Boston, MA. DOI:10.1007/0-387-28813-9\_8
18. Ayudiarti, D.L., Oktavia, D.A. (2020) The effect of different types and gelatin concentrations on ice cream quality. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 147, p. 03026). EDP Sciences.
19. Baboli, Z.M., Williams, L., Chen, G. (2020) Design of a batch ultrasonic reactor for rapid pasteurization of juices. *Journal of Food Engineering*, 268, 109736.
20. Bandyopadhyay, K., Ghosh, S. (2002) Preparation and characterization of papain-modified sesame (*Sesamum indicum* L.) protein isolates. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(23), 6854–6857.
21. Bang, J.H., Suslick, K.S. (2010) Applications of ultrasound to the synthesis of nanostructured materials. *Advanced materials*, 22(10), 1039–1059.
22. Barfod, N.M. (2007) Effects of emulsifier blends on air bubble and ice crystal stability of ice cream related to emulsifier structure. *European Dairy Magazine* 3, 10–12.
23. Barragán-Martínez, L.P., Alvarez-Poblano, L., Vernon-Carter, E.J., Alvarez-Ramirez, J. (2022) Effects of  $\beta$ -carotene on the color, textural, rheological and structural properties of canola oil/beeswax oleogel. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(5), 3946–3956.
24. Başoğlu, F. (2006) *Yemeklik Yağ Teknolojisi*, Uludağ Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 4. Baskı.
25. Berasategi, I., Barriuso, B., Ansorena, D., Astiasarán, I. (2012) Stability of avocado oil during heating: Comparative study to olive oil. *Food chemistry*, 132(1), 439–446.
26. Bermúdez-Aguirre, D., Mawson, R., Barbosa-Cánovas, G.V. (2008) Microstructure of fat globules in whole milk after thermosonication treatment. *Journal of Food Science*, 73(7), E325–E332.
27. Bessaire, T., Stroheker, T., Eriksen, B., Mujahid, C., Hammel, Y.A., Varela, J., Delatour, T., Panchaud, A., Mottier, P., Stadler, R.H. (2021) Analysis of ethylene oxide in ice creams manufactured with contaminated carob bean gum (E410). *Food Additives & Contaminants: Part A*, 38(12), 2116–2127.
28. Bhargava, N., Mor, R.S., Kumar, K., Sharanagat, V.S. (2021) Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 70, 105293.
29. Borrin, T.R., Georges, E.L., Brito-Oliveira, T.C., Moraes, I.C., Pinho, S.C. (2018) Technological and sensory evaluation of pineapple ice creams incorporating curcumin-loaded nanoemulsions obtained by the emulsion inversion point method. *International journal of dairy technology*, 71(2), 491–500.
30. Bot, A., Flöter, E., Lammers, J.G., Pelan, E.G. (2007) Understanding and controlling the microstructure of complex foods, McClements, D.J., Ed. Woodhead Publishing: Cambridge, 575–599.
31. Bot, A., Veldhuizen, Y.S.J., den Adel, R., Roijers, E.C. (2009) Non-TAG structuring of edible oils and emulsions. *Food Hydrocolloid*. 23:1184–1189.
32. Brockow, K., Bauerdorf, F., Kugler, C., Darsow, U., Biedermann, T. (2021) “Idiopathic” anaphylaxis caused by carboxymethylcellulose in ice cream. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 9(1), 555–557.

33. Bukya, A., Vijayakumar, T.P. (2013) Properties of industrial fractions of sesame seed (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Agricultural and Food Science*, 3(3), 86–89.
34. Buyck, J. R., Baer, R. J., & Choi, J. (2011). Effect of storage temperature on quality of light and full-fat ice cream. *Journal of dairy science*, 94(5), 2213–2219. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3897>
35. Cadena, R.S., Cruz, A.G., Faria, J.A.F., Bolini, H.M.A. (2012) Reduced fat and sugar vanilla ice creams: Sensory profiling and external preference mapping. *Journal of Dairy Science*, 95(9), 4842–4850.
36. Calligaris, S., Da Pieve, S., Arrighetti, G., Barba, L. (2010) Effect of the structure of monoglyceride–oil–water gels on aroma partition. *Food Res. Int.* 43:671–677.
37. Carvajal-Zarrabal, O., Nolasco-Hipolito, C., Aguilar-Uscanga, M.G., Melo-Santiesteban, G., Hayward-Jones, P.M., Barradas-Dermitz, D.M. (2014a) Avocado oil supplementation modifies cardiovascular risk profile markers in a rat model of sucrose-induced metabolic changes. *Disease markers*, 2014.
38. Carvajal-Zarrabal, O., Nolasco-Hipolito, C., Aguilar-Uscanga, M., Melo-Santiesteban, G., Hayward-Jones, P.M., Barradas-Dermitz, D.M. (2014b) Effect of dietary intake of avocado oil and olive oil on biochemical markers of liver function in sucrose-fed rats. *BioMed research international*, 2014.
39. Chandrapala, J., Martin, G.J.O., Zisu, B., Kentish, S.E., & Ashokkumar, M. (2012) The effect of ultrasound on casein micelle integrity. *Journal of dairy science*, 95(12), 6882–6890.
40. Chang, Y., Hartel, R.W. (2002a) Development of air cells in a batch ice cream freezer. *Journal of Food Engineering*, 55(1), 71–78.
41. Chang, Y., Hartel, R.W. (2002b) Stability of air cells in ice cream during hardening and storage. *Journal of Food Engineering*, 55(1), 59–70.
42. Chazelas, E., Druesne-Pecollo, N., Esseddik, Y., de Edelenyi, F.S., Agaesse, C., De Sa, A., Lutchia, R., Rebouillat, P., Srour, B., Debras, C., Wendeu-Foyet, G., Huybrechts, I, Pierre, F., Coumoul, X., Julia, C., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Galan, P., Hercberg, S., Deschasaux-Tanguy, M., Touvier, M. (2021) Exposure to food additive mixtures in 106,000 French adults from the NutriNet-Santé cohort. *Scientific Reports*, 11(1), 1–21.
43. Chemat, F., Zill-e-Huma, Khan, M.K. (2011) Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonics sonochemistry*, 18(4), 813–835. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.023
44. Cheng, J., Cui, J., Ma, Y., Yan, T., Wang, L., Li, H., Li, X. (2016) Effects of soy-to-milk protein ratio and sucrose fatty acid ester addition on the stability of ice cream emulsions. *Food Hydrocolloids*, 60, 425–436.
45. Clarke, C. (2012) *Product Assembly. The Science of Ice cream*. Second Edition. The Royal Society of Chemistry, 94–114.
46. Co, E.D., Marangoni, A.G. (2012) Organogels: An alternative edible oil-structuring method. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89, 749–780.
47. Da Pieve, S., Calligaris, S., Co, E., Nicoli, M.C., Marangoni, A.G. (2010) Shear nanostructuring of monoglyceride organogels. *Food Biophys.* 5: 211–217.

48. Da Porto, C., Porretto, E., Decorti, D. (2013) Comparison of ultrasound-assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds. *Ultrasonics sonochemistry*, 20(4), 1076–1080.
49. Dassanayake, L.S.K., Kodali, D.R., Ueno, S. (2011) Formation of oleogels based on edible lipid materials. *Curr. Opin. Colloid In.* 16:432–439.
50. Dickinson, E. (2020) Advances in food emulsions and foams: reflections on research in the neo-Pickering era. *Current Opinion in Food Science*, 33, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.009>
51. Di Stefano, V., Avellone, G., Bongiorno, D., Indelicato, S., Massenti, R., Lo Bianco, R. (2017) Quantitative evaluation of the phenolic profile in fruits of six avocado (*Persea americana*) cultivars by ultra-high-performance liquid chromatography–heated electrospray–mass spectrometry. *International Journal of Food Properties*, 20(6), 1302–1312.
52. Doan, C.D., Tavernier, I., Sintang, M.D.B., Danthine, S., Van de Walle, D., Rimaux, T., Dewettinck, K. (2017) Crystallization and gelation behavior of low- and high melting waxes in rice bran oil: a case-study on berry wax and sunflower wax. *Food Biophysics*, 12, 97–108.
53. Doan, C.D., Van de Walle, D., Dewettinck, K., Patel, A.R. (2015) Evaluating the oil-gelling properties of natural waxes in rice bran oil: Rheological, thermal, and microstructural study. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92, 801–811.
54. Domingues, M.A.F., Ribeiro, A.P.B., Chiu, M.C., Gonçalves, L.A.G. (2015) Sorbitan and sucrose esters as modifiers of the solidification properties of zero trans fats. *LWT–Food Sci. Technol.* 62(1):122–130.
55. Dzah, C.S., Duan, Y., Zhang, H., Wen, C., Zhang, J., Chen, G., Ma, H. (2020) The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. *Food Bioscience*, 35, 100547.
56. Edelman, I. (2004) On the existence of the low-frequency surface waves in a porous medium. *Comptes Rendus Mécanique*, 332(1), 43–49.
57. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), Scientific Opinion on the Tolerable Upper Intake Level of eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA) and docosapentaenoic acid (DPA), *EFSA Journal* 2012; 10 (7): 2815.
58. Faergemand, M., Krog, N. (2006) Interactions of emulsifiers with other components in foods. *Food Science And Technology–New York–Marcel Dekker–*, 154, 389–421. DOI:10.1201/9781420028133.ch12
59. FAO Food And Nutrition Paper 91. (2010) Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation, Food And Agriculture Organization Of The United Nations, Rome.
60. Finau, K.A. (2007) Literature review on avocado oil for SROS technological purposes. Nafanua, Samoa.
61. Feng, H., Barbosa-Cánovas, G.V., Weiss, J. (Eds.). (2011) Ultrasound technologies for food and bioprocessing (Vol. 1, p. 599). New York: Springer.
62. Friedeck, K.G., Aragul-Yuceer, Y.K., Drake, M.A. (2003) Soy protein fortification of a low-fat dairy-based ice cream. *Journal of Food Science*, 68(9), 2651–2657.



63. Gabbi, D.K., Bajwa, U., Goraya, R.K. (2018) Physicochemical, melting and sensory properties of ice cream incorporating processed ginger (*Zingiber officinale*). *International Journal of Dairy Technology*, 71(1), 190–197.
64. Gandolfo, F.G., Bot, A., Flöter, E. (2004) Structuring of edible oils by long-chain FA, fatty alcohols, and their mixtures. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 81(1): 1–6.
65. Genovese, A., Balivo, A., Salvati, A., Sacchi, R. (2022) Functional ice cream health benefits and sensory implications. *Food Research International*, 111858.
66. Ghasemi, P., Noshad, M., Mehrnia, M.A., Jooyandeh, H. (2021) The Exploitation of Xanthan Cryogels as Pattern for Edible Oleogel Preparation. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 40(4), 1229–1237.
67. Goff, H. D. (2002) Formation and stabilisation of structure in ice-cream and related products. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 7(5–6), 432–437. DOI:10.1016/S1359-0294(02)00076-6
68. Goff, H. D. (2016) Milk proteins in ice cream. *Advanced Dairy Chemistry: Volume 1B: Proteins: Applied Aspects*, 329–345.
69. Goff, H.D., Hartel, R.W. (2013) *Ice Cream*, 7th ed., Springer Science & Business Media: New York, NY, USA.
70. Goff, H.D., Spagnuolo, P. (2001) Effect of stabilizers on fat destabilization measurements in ice cream, *Milchwissenschaft*, 56(8), 450–453.
71. Golodnizky, D., Davidovich-Pinhas, M. (2020) The effect of the HLB value of sucrose ester on physicochemical properties of bigel systems. *Foods*, 9(12), 1857. doi:10.3390/foods9121857
72. Goraya, R.K., Singla, M., Bajwa, U., Kaur, A., Pathania, S. (2021) Impact of sodium alginate gelling and ingredient amalgamating order on ingredient interactions and structural stability of ice cream. *LWT*, 147, 111558.
73. Góral, M., Kozłowicz, K., Pankiewicz, U., Góral, D., Kluza, F., Wójtowicz, A. (2018) Impact of stabilizers on the freezing process, and physicochemical and organoleptic properties of coconut milk-based ice cream. *LWT*, 92, 516–522.
74. Gravelle, A.J., Barbut, S., Quinton, M., Marangoni, A.G. (2014) Towards the development of predictive model of the formulation-dependent mechanical behavior of edible oil-based ethylcellulose oleogels. *J. Food Eng.* 143:114–122.
75. Grembecka, M. (2015). Sugar alcohols—their role in the modern world of sweeteners: a review. *European Food Research and Technology*, 241, 1–14.
76. Gronwald, O., Snip, E., Shinkai, S. (2002). Gelators for organic liquids based on self-assembly: A new facet of supramolecular and combinatorial chemistry. *Curr. Opin. Colloid In.* 7: 148–156.
77. Guenet J.M. (2008) *Polymer-solvent molecular compounds*. Elsevier Ltd., Oxford.
78. Güven, M., Kalender, M., Taşpınar, T. (2018) Effect of using different kinds and ratios of vegetable oils on ice cream quality characteristics. *Foods*, 7(7), 104.
79. Hassan, M.A. (2012) Studies on Egyptian sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) and its products 1-physicochemical analysis and phenolic acids of roasted Egyptian sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 7(2), 195–201.

80. Herald, C.T. (2020) Locust/carob bean gum. In *Food hydrocolloids* (pp. 161–170). CRC Press.
81. Holey, S.A., Sekhar, K.P., Mishra, S.S., Kanjilal, S., Nayak, R.R. (2020) Sunflower wax-based oleogel emulsions: Physicochemical characterizations and food application. *ACS Food Science & Technology*, 1(2), 152–164.
82. Hughes, N.E., Marangoni, A.G., Wright, A.J., Rogers, M.A., Rush, J.W.E. (2009) Potential applications of edible oil organogels. *Trends Food Sci. Tech.* 20:470–480
83. Innocente, N., Biasutti, M., Venir, E., Spaziani, M., & Marchesini, G. (2009). Effect of high-pressure homogenization on droplet size distribution and rheological properties of ice cream mixes. *Journal of dairy science*, 92(5), 1864–1875.
84. ISO Standard 12966-2:2017. (2017) Animal and Vegetable Fats and Oils Gas Chromatography of Fatty acid Methyl esters–Part 2: Preparation of Methyl Esters of Fatty Acids; ISO International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
85. Javidi, F., Razavi, S.M., Behrouzian, F., Alghooneh, A. (2016) The influence of basil seed gum, guar gum and their blend on the rheological, physical and sensory properties of low fat ice cream. *Food Hydrocolloids*, 52, 625–633.
86. Jensen, L.H.S. (2013) Ultrastructure of emulsions – a comparative electron microscopy study. Technical University of Denmark
87. Johnson, W., Bergfeld, W.F., Belsito, D.V., Hill, R.A., Klaassen, C.D., Liebler, D.C., Marks, J.G., Shank, R.C., Slaga, T.J., Snyder, P.W., Andersen, F.A. (2011) Amended safety assessment of *Sesamum indicum* (sesame) seed oil, hydrogenated sesame seed oil, *Sesamum indicum* (sesame) oil unsaponifiables, and sodium sesameseedate. *International journal of toxicology*, 30(3\_suppl), 40S–53S.
88. Kamińska–Dwórznicza, A., Samborska, K., Rybak, K. (2015) Wpływ hydrolizatów kappa karagenu na ograniczenie nadmiernego wzrostu kryształów lodu w lodach mlecznych. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 22(5).
89. Kapusta, I., Cebulak, T., Oszmiański, J. (2017) The anthocyanins profile of red grape cultivars growing in south–east Poland (Subcarpathia region). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 1863–1873.
90. Karvela, E., Makris, D.P., Kalogeropoulos, N., Karathanos, V.T., & Kefalas, P. (2009) Factorial design optimisation of grape (*Vitis vinifera*) seed polyphenol extraction. *European Food Research and Technology*, 229, 731–742.
91. Kara, H.H., Yasemin, B.O.R. (2019) A review on: production, usage, health effect and analysis of mono–and diglycerides of fatty acids. *Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi*, 1(1), 40–47.
92. Kassambara, A., Mundt, F. (2017) Package ‘factoextra’. Extract and visualize the results of multivariate data analyses, 76(2).
93. Kilara, A., Chandan, R.C. (2015) Ice cream and frozen desserts. *Dairy processing and quality assurance*, 367–396.
94. Koxholt, M.M., Eisenmann, B., Hinrichs, J. (2001) Effect of the fat globule sizes on the meltdown of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 84(1), 31–37.

95. Lee, L.Y., Chin, N.L., Christensen, E.S., Lim, C.H., Yusof, Y.A., Talib, R.A. (2018) Applications and effects of monoglycerides on frozen dessert stability. *LWT*, 97, 508–515.
96. Leifert, W.R., Abeywardena, M.Y. (2008) Cardioprotective actions of grape polyphenols. *Nutrition Research*, 28(11), 729–737.
97. Li, D., Zhao, H., Muhammad, A.I., Song, L., Guo, M., Liu, D. (2020) The comparison of ultrasound–assisted thawing, air thawing and water immersion thawing on the quality of slow/fast freezing bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets. *Food chemistry*, 320, 126614.
98. Lim, J., Hwang, H.S., Lee, S. (2017) Oil–structuring characterization of natural waxes in canola oil oleogels: Rheological, thermal, and oxidative properties. *Applied Biological Chemistry*, 60, 17–22.
99. Liu, K., Wang, H., Zhang, X., Liu, K., Wang, H., Zhang, X. (2020a) Ductile mode cutting characteristics. *Ductile Mode Cutting of Brittle Materials*, 39–53.
100. Liu, N., Lu, Y., Zhang, Y., Gao, Y., Mao, L. (2020b) Surfactant addition to modify the structures of ethylcellulose oleogels for higher solubility and stability of curcumin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2286–2294.
101. Liu, R., Wang, L., Liu, Y., Wu, T., Zhang, M. (2018) Fabricating soy protein hydrolysate/xanthan gum as fat replacer in ice cream by combined enzymatic and heat–shearing treatment. *Food Hydrocolloids*, 81, 39–47.
102. Lopez–Martínez, A., Charó–Alonso, M.A., Marangoni, A.G., Toro–Vazquez, J.F. (2015) Monoglyceride organogels developed in vegetable oil with and without ethylcellulose. *Food Res. Int.* 72:37–46.
103. Lucas, T., Le Ray, D., Barey, P., Mariette, F. (2005) NMR assessment of ice cream: Effect of formulation on liquid and solid fat. *International dairy journal*, 15(12), 1225–1233.
104. Ludvigsen, H.K. (2014) Application of emulsifiers in dairy and ice cream products. *Emulsifiers in food Technology*, 297–308. DOI:10.1002/9781118921265.ch13
105. Lupi, F.R., Gabriele, D., de Cindio, B. (2012) Effect of shear rate on crystallisation phenomena in olive oil based organogels. *Food Bioprocess Tech.* 5:2880–2888.
106. Mahajan, K., Kumar, S., Bhat, Z.F., Singh, M., Bhat, H.F., Bhatti, M.A., Bekhit, A.E.D.A. (2022) Aloe vera and carrageenan based edible film improves storage stability of ice–cream. *Applied Food Research*, 2(1), 100128.
107. Majdalawieh, A.F., Mansour, Z.R. (2019) Sesamol, a major lignan in sesame seeds (*Sesamum indicum*): anti–cancer properties and mechanisms of action. *European journal of pharmacology*, 855, 75–89.
108. Marangoni, A.G. (2000) Elasticity of high–volume–fraction fractal aggregate networks: a thermodynamic approach. *Phys. Rev. B* 62:13951–13955.
109. Marangoni, A.G. (2004) *Fat Crystal Networks*. Marcel Dekker: New York.
110. Marangoni, A.G. (2012) Organogels: an alternative edible oilstructuring method. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 89(5):749–780.
111. Marangoni A.G., Garti, N. (2011) *Edible oleogels: Structure and health implications*, AOCS Press, Urbana, Illinois.

112. Marangoni, A.G., Rogers, M.A. (2003) Structural basis for the yield stress in plastic disperse systems. *Appl. Phys. Lett.* 82:3239–3241.
113. Marshall, R.T., Goff, H.D., Hartel, R.W. (2003) *Ice Cream*, 6th ed, Kluwer Academic, Plenum. DOI:10.1007/978-1-4615-0163-3
114. Martín-Alfonso, J.E., Franco, J.M. (2015) Influence of polymer reprocessing cycles on the microstructure and rheological behavior of polypropylene/mineral oil oleogels. *Polymer Test.* 45:12–19.
115. Martinet, V., Valentini, C., Casalinho, J., Schorsch, C., Vaslin, S., Courthaudon, J.L. (2005) Composition of interfacial layers in complex food emulsions before and after aeration: effect of egg to milk protein ratio. *Journal of dairy science*, 88(1), 30–39. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(05)72659-X
116. Martínez, A.D.L.C., Portales, R.E.D., Martínez, J.D.P., Ramírez, J.E.G., Lara, A.D.V., Enríquez, A.J.B., Moscosa Santillán, M. (2020) Estimation of Ice Cream Mixture Viscosity during Batch Crystallization in a Scraped Surface Heat Exchange-r. *Processes*, 8, 167.
117. Matsuura, K., Hirotsune, M., Nunokawa, Y., Satoh, M., Honda, K. (1994) Acceleration of cell growth and ester formation by ultrasonic wave irradiation. *Journal of fermentation and bioengineering*, 77(1), 36–40.
118. Matthäus, B. (2008) Virgin grape seed oil: Is it really a nutritional highlight?. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110(7), 645–650.
119. Mehdiabar, H., Razavi, S.M., Javidi, F. (2020) Influence of pumpkin puree and guar gum on the bioactive, rheological, thermal and sensory properties of ice cream. *International Journal of Dairy Technology*, 73(2), 447–458.
120. Mehra, R., Kumar, H., Kumar, N., Ranvir, S., Jana, A., Buttar, H.S., Telessy, I.G., Awuchi, C.G., Okpala, C.O.R, Korzeniowska, M., Guiné, R.P. (2021) Whey proteins processing and emergent derivatives: An insight perspective from constituents, bioactivities, functionalities to therapeutic applications. *Journal of Functional Foods*, 87, 104760. DOI:10.1016/j.jff.2021.104760
121. Méndez-Velasco, C., Goff, H. D. (2012a) Fat structures as affected by unsaturated or saturated monoglyceride and their effect on ice cream structure, texture and stability. *International dairy journal*, 24(1), 33–39.
122. Méndez-Velasco, C., Goff, H.D. (2012b) Fat structure in ice cream: A study on the types of fat interactions. *Food Hydrocolloids*, 29(1), 152–159.
123. Mohan, M.S., Hopkinson, J., Harte, F. (2014) *Milk and ice cream processing. Food Processing: Principles and Applications*, 383–404.
124. Moonen, H., Bas, H. (2014) Mono- and diglycerides. *Emulsifiers in food technology*, 73–92.
125. Moriano, M.E., Alamprese, C. (2017) Organogels as novel ingredients for low saturated fat ice creams. *Lwt*, 86, 371–376.
126. Mozhaev, V.G., Weihnacht, M. (2002) Subsonic leaky Rayleigh waves at liquid–solid interfaces. *Ultrasonics*, 40(1–8), 927–933. DOI: 10.1016/S0041-624X(02)00233-0

127. Munk, M.B., Larsen, F.H., Van Den Berg, F.W.J., Knudsen, J.C., Andersen, M.L. (2014) Competitive displacement of sodium caseinate by low-molecular-weight emulsifiers and the effects on emulsion texture and rheology. *Langmuir*, 30(29), 8687–8696. DOI:10.1021/la5011743
128. Munk, M.B., Munk, D.M., Gustavsson, F., Risbo, J. (2018) Using ethylcellulose to structure oil droplets in ice cream made with high oleic sunflower oil. *Journal of food science*, 83(10), 2520–2526. DOI:10.1111/1750-3841.14296
129. Murtaza, M.A., Mueenuddin, G., Huma, N., Shabbir, M.A., Mahmood, S. (2004) Quality evaluation of ice cream prepared with different stabilizers/emulsifier blends. *Agriculture and Biology*, 6, 65–67.
130. Muse, M.R., Hartel, R.W. (2004) Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. *Journal of dairy science*, 87(1), 1–10. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(04)73135-5
131. Naji, O., Al-Juboori, R.A., Bowtell, L., Alpatova, A., Ghaffour, N. (2020) Direct contact ultrasound for fouling control and flux enhancement in air-gap membrane distillation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 61, 104816.
132. Nazarewicz, S., Kozłowicz, K., Kobus, Z., Gładyszewska, B., Matwijczuk, A., Ślusarczyk, L., Skrzypek, T., Sujka, M., Kozłowicz, N. (2022) The Use of Ultrasound in Shaping the Properties of Ice Cream with Oleogel Based on Oil Extracted from Tomato Seeds. *Applied Sciences*, 12(18), 9165.
133. Nikiforidis, C.V., Scholten, E. (2015) Polymer organogelation with chitin and chitin nanocrystals. *Rsc Advances*, 5(47), 37789–37799.
134. NM. (2008) Norma Mexicana NMX-F-052-SCFI-2008. Aceites y grasas-aceite de aguacate – especificaciones.
135. Nowicki, A. (2020). Safety of ultrasonic examinations; thermal and mechanical indices. *Medical Ultrasonography*, 22(2), 203–210.
136. Novotny, J.A., Gebauer, S.K., Baer, D.J. (2012) Discrepancy between the Atwater factor predicted and empirically measured energy values of almonds in human diets. *The American journal of clinical nutrition*, 96(2), 296–301. DOI:10.3945/ajcn.112.035782
137. Ojijo, N.K.O., Neeman, I., Eger, S., Shimoni, E. (2004) Effects of monoglyceride content, cooling rate and shear on the rheological properties of olive oil/monoglyceride gel networks. *J. Sci. Food Agr.* 84:1585–1593.
138. Okuro, P.K., Tavernier, I., Sintang, M.D.B., Skirtach, A.G., Vicente, A.A., Dewettinck, K., Cunha, R.L. (2018) Synergistic interactions between lecithin and fruit wax in oleogel formation. *Food & Function*, 9(3), 1755–1767.
139. Onsaard, E. (2012). Sesame proteins. *International Food Research Journal*, 19(4).
140. Ozdemir, C., Arslaner, A., Ozdemir, S., Allahyari, M. (2015) The production of ice cream using stevia as a sweetener. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 7545–7548.
141. Ozdemir, C., Dagdemir, E., Ozdemir, S., Sagdic, O. (2008) The effects of using alternative sweeteners to sucrose on ice cream quality. *Journal of food quality*, 31(4), 415–428.

142. Park, S.H., Jo, Y.J., Chun, J.Y., Hong, G.P., Davaatseren, M., Choi, M.J. (2015) Effect of frozen storage temperature on the quality of premium ice cream. *Korean journal for food science of animal resources*, 35(6), 793.
143. Partridge, D., Lloyd, K.A., Rhodes, J.M., Walker, A.W., Johnstone, A.M., Campbell, B.J. (2019) Food additives: Assessing the impact of exposure to permitted emulsifiers on bowel and metabolic health—introducing the FADiets study. *Nutrition bulletin*, 44(4), 329–349.
144. Patel, A.R. (2015) *Alternative routes to oil structuring*. (R.W. Hartel, P.J. Clark, J.W. Finley, D. Rodriguez–Lazaro, Y. Roos, D. Topping, Eds.) (1st ed.). New York: Springer International Publishing.
145. Patel, A.R., Cludts, N., Sintang, M.D.B., Lesaffer, A., Dewettinck, K. (2014) Edible oleogels based on water soluble food polymers: preparation, characterization and potential application. *Food Function* 5(11):2833–2841.
146. Patel, A. R., Dewettinck, K. (2015). Comparative evaluation of structured oil systems: Shellac oleogel, HPMC oleogel, and HIPE gel. *Eur. J. Lip. Sci. Tech.* 117:1772–1781.
147. Patel, A. R., Schatteman, D., De Vos, W. H., Lesaffer, A., Dewettinck, K. (2013). Preparation and rheological characterization of shellac oleogels and oleogel–based emulsions. *J. Colloid and Interf. Sci.* 411:114–121.
148. Pei, Z.J., Schmidt, K.A. (2010) Ice cream: foam formation and stabilization—a review. *Food reviews international*, 26(2), 122–137. DOI:10.1080/87559120903564472
149. Pérez–Monterroza, E.J., Márquez–Cardozo, C.J., Ciro–Velásquez, H.J. (2014) Rheological behavior of avocado (*Persea americana* Mill, cv. Hass) oleogels considering the combined effect of structuring agents. *LWT–Food Sci. Tech.* 59:673–679.
150. Pérez, O.E., Sánchez, C.C., Pilosof, A.M., Patino, J.M.R. (2008) Dynamics of adsorption of hydroxypropyl methylcellulose at the air–water interface. *Food Hydrocolloids*, 22(3), 387–402.
151. Perneti, M., van Malssen, K.F., Floter, E., Bot, A. (2007) Structuring of edible oils by alternatives to crystalline fat. *Curr. Opin. Coll. In.* 12:221–231.
152. Petrovic, L.B., Sovilj, V.J., Katona, J.M., Milanovic, J.L. (2010) Influence of polymer–surfactant interactions on o/w emulsion properties and microcapsule formation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 342(2), 333–339.
153. Pezzuto, J.M. (2008) Grapes and human health: a perspective. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(16), 6777–6784.
154. PN–67/A–86430/ Az2. 2002. Mleko i przetwory mleczarskie – Lody – Metody badań chemicznych
155. PN–A–04018:1975/Az3:2002 Produkty rolniczo–żywnościowe – Oznaczanie azotu metodą Kjeldahla i przeliczanie na białko.
156. Puşcaş, A., Mureşan, V. (2022) The Feasibility of Shellac Wax Emulsion Oleogels as Low–Fat Spreads Analyzed by Means of Multidimensional Statistical Analysis. *Gels*, 8(11), 749.
157. Rogers, M.A., Wright, A.J., Marangoni, A.G. (2008) Engineering the oil binding capacity and crystallinity of self–assembled fibrillar networks of 12–hydroxystearic acid in edible oils. *Soft Matter* 4(7):1483–1490.

158. Rogers, M.A., Wright, A.J., Marangoni, A.G. (2009) Oil organogels: the fat of the future. *Soft Matter* 5:1594–1596.
159. Rolon, M.L., Bakke, A.J., Coupland, J.N., Hayes, J.E., Roberts, R.F. (2017) Effect of fat content on the physical properties and consumer acceptability of vanilla ice cream. *Journal of dairy science*, 100(7), 5217–5227.
160. Rybak, O. (2016) Milk fat in structure formation of dairy products: a review. *Ukrainian food journal*, 5(3), 499–514.
161. Sabir, A., Unver, A., Kara, Z. (2012) The fatty acid and tocopherol constituents of the seed oil extracted from 21 grape varieties (*Vitis* spp.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(9), 1982–1987.
162. Saffold, A.C., Acevedo, N.C. (2021) Development of novel rice bran wax/gelatin-based biphasic edible gels and characterization of their microstructural, thermal, and mechanical properties. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 2219–2230.
163. Sagiri, S.S., Singh, V.K., Pal, K., Banerjee, I., Basak, P. (2015) Stearic acid based oleogels: A study on the molecular, thermal and mechanical properties. *Mater. Sci. Eng. C* 48:688–699.
164. Sahoo, S., Kumar, N., Bhattacharya, C., Sagiri, S.S., Jain, K., Pal, K., Nayak, B. (2011) Organogels: properties and applications in drug delivery. *Des. Monomers Polym.* 14(2): 95–108.
165. Salik, M.A., Arslaner, A. (2020) The quality characteristics and shelf life of probiotic ice cream produced with *Saruç* and *Saccharomyces boulardii*. *International Food Research Journal*, 27(2).
166. Sánchez, R., Franco, J.M., Delgado, M.A., Valencia, C., Gallegos, C. (2008) Effect of thermo-mechanical processing on the rheology of oleogels potentially applicable as biodegradable lubricating greases. *Chem. Eng. Res. Des.* 86(10):1073–1082.
167. Savanović, D.M., Grujić, R.D., Savanović, J.M., Mandić, S.U., Rakita, S.M. (2018) Analysis of frozen chicken meat using differential scanning calorimetry. *Food and Feed research*, 45(2), 129–137. DOI:10.5937/FFR1802129S
168. Schulz, M.B., Daniels, R. (2000) Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) as emulsifier for submicron emulsions: influence of molecular weight and substitution type on the droplet size after high-pressure homogenization. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 49(3), 231–236.
169. Scudino, H., Silva, E.K., Gomes, A., Guimarães, J.T., Cunha, R.L., Sant'Ana, A.S., Meireles, M.A.A., Cruz, A. G. (2020) Ultrasound stabilization of raw milk: Microbial and enzymatic inactivation, physicochemical properties and kinetic stability. *Ultrasonics sonochemistry*, 67, 105185.
170. Seo, C.W., Oh, N.S. (2022) Functional application of Maillard conjugate derived from a  $\kappa$ -carrageenan/milk protein isolate mixture as a stabilizer in ice cream. *LWT*, 161, 113406.
171. Shah, R., Kolanos, R., DiNovi, M.J., Mattia, A., Kaneko, K.J. (2017) Dietary exposures for the safety assessment of seven emulsifiers commonly added to foods in the United States and implications for safety. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34(6), 905–917.

172. Silva Junior, E.D., Lannes, S.C.D.S. (2011) Effect of different sweetener blends and fat types on ice cream properties. *Food Science and Technology*, 31, 217–220.
173. Singla, M., Sit, N. (2021) Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105506. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2021.105506
174. Soczkiewicz, E., Chivers, R.C. (2001) Propagation and scattering of acoustic waves in a turbulent medium. *Journal of sound and vibration*, 241(2), 197–205. DOI: 10.1006/jsvi.2000.3297
175. Sofjan, R.P., Hartel, R.W. (2004) Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. *International dairy journal*, 14(3), 255–262. DOI:10.1016/j.idairyj.2003.08.005
176. Stanisław, A. (2007) *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny, Tom 3–Analizy wielowymiarowe*.
177. Stortz, T.A., De Moura, D.C., Laredo, T., Marangoni, A.G. (2014) Molecular interactions of ethylcellulose with sucrose particles. *RSC Advances* 4(98):55048–55061.
178. Stortz, T.A., Zetzl, A.K., Barbut, S., Cattaruzza, A., Marangoni, A.G. (2012) Edible oleogels in food products to help maximize health benefits and improve nutritional profiles. *Lipid Tech.* 24(7):151–154.
179. Suhag, R., Dhiman, A. (2022)  $\alpha$ -tending emulsifiers, microencapsulated improver powder and bakery applications. *Journal of Food Science and Technology*, 1–14.
180. Sung, K.K., Goff, H.D. (2010) Effect of solid fat content on structure in ice creams containing palm kernel oil and high-oleic sunflower oil. *Journal of food science*, 75(3), C274–C279.
181. Syed, Q.A., Anwar, S., Shukat, R., Zahoor, T. (2018) Effects of different ingredients on texture of ice cream. *Journal of Nutritional Health and Food Engineering*, 8(6), 422–435. DOI:10.15406/jnhfe.2018.08.00305
182. Syed, Q.A., Shah, M.S.U. (2016) Impact of stabilizers on ice cream quality characteristics. *MOJ Food Processing and Technology*, 3(1), 246–252. DOI:10.15406/mojfpt.2016.03.00063
183. Śliwiński, A. (2000) *Ultradźwięki i ich zastosowanie, Wydanie 2, Wydawnictwa Naukowo–Techniczne, Warszawa*.
184. Tan, C.X., Tan, S.S., Tan, S.T. (2017) Influence of geographical origins on the physicochemical properties of Hass avocado oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(12), 1431–1437.
185. Tian, Y., Acevedo, N.C. (2018) Kinetic study on photostability of retinyl palmitate entrapped in policosanol oleogels. *Food chemistry*, 255, 252–259.
186. Tiwari A., Sharma H.K., Kumar N., Kaur M. (2015) The effect of inulin as a fat replacer on the quality of low-fat ice cream. *International Journal of Dairy Technology* vol. 68, no 3 374–380.
187. Treciokiene, E., Sostakiene, I. (2020) Effects of fructose and stevia on the rheological, technological and sensory characteristics of ice cream. *Food Science and Applied Biotechnology*, 3(1), 30–38.



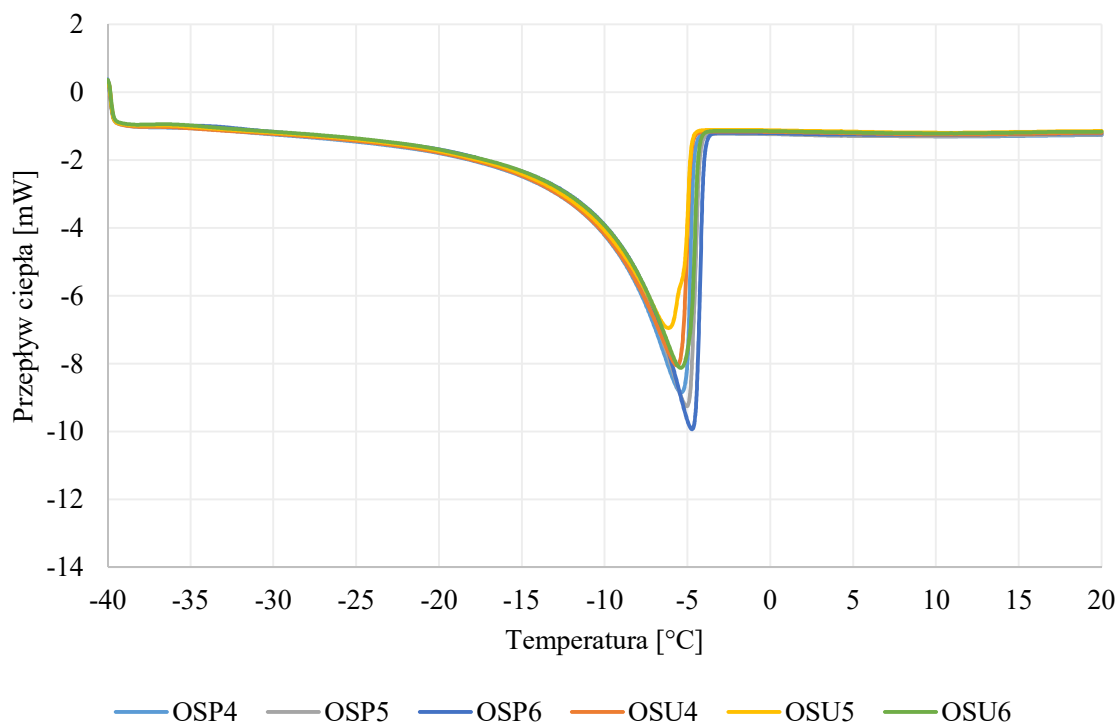
188. Van Esch, J.H., Feringa, B.L. (2000) New functional materials based on self-assembling organogels: from serendipity towards design. *Angew. Chem. Int. Edit.* 39:2263–2266.
189. Vieira, G.S., Marques, A.S., Machado, M.T., Silva, V.M., Hubinger, M.D. (2017) Determination of anthocyanins and non-anthocyanin polyphenols by ultra performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry (UPLC/ESI-MS) in jussara (*Euterpe edulis*) extracts. *Journal of food science and technology*, 54, 2135–2144.
190. Warren, M.M., Hartel, R.W. (2018) Effects of emulsifier, overrun and dasher speed on ice cream microstructure and melting properties. *Journal of food science*, 83(3), 639–647. DOI:10.1111/1750-3841.13983.
191. Weiss, R.G., Terech, P. (2006) *Molecular Gels Materials with Self-Assembled Fibrillar Networks*. Weiss, R.G. Terech, P., Eds.; Springer: Dordrecht, Netherlands, 1–13.
192. Wollenweber, C.A.V.M., Makievski, A.V., Miller, R., Daniels, R. (2000) Adsorption of hydroxypropyl methylcellulose at the liquid/liquid interface and the effect on emulsion stability. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 172(1–3), 91–101.
193. Wong, M., Requejo-Jackman, C., Woolf, A. (2010) What is unrefined, extra virgin cold-pressed avocado oil. *Inform*, 21(4), 198–202.
194. Woolf, A., Wong, M., Eyres, L., McGhie, T., Lund, C., Olsson, S., Wang, Y., Bulley, C., Wang, M., Friel, E., Requejo-Jackman, C. (2009) Avocado oil. In *Gourmet and health-promoting specialty oils* (pp. 73–125). AOCS Press.
195. Wright, A.J., Marangoni, A.G. (2006) Formation, structure, and rheological properties of ricinelaidic acid-vegetable oil organogels. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83(6), 497–503.
196. Xanthakis, E., Havet, M., Chevallier, S., Abadie, J., Le-Bail, A. (2013) Effect of static electric field on ice crystal size reduction during freezing of pork meat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 115–120. DOI:10.1016/j.ifset.2013.06.011
197. Yang, K., Lin, R., Zhang, S., Zhao, X., Jiang, J., Liu, Y. (2022) Ultrasound-modified interfacial properties and crystallization behavior of aerated emulsions fabricated with pH-shifting treated pea protein. *Food Chemistry*, 367, 130536.
198. Yilmaz, E., Aydeniz, B., Güneşer, O., Arsunar, E. S. (2015) Sensory and physico-chemical properties of cold press-produced tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seed oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(6), 833–842.
199. Zahi, M.R., Liang, H., Yuan, Q. (2015) Improving the antimicrobial activity of D-limonene using a novel organogel-based nanoemulsion. *Food Control* 50:554–559.
200. Zhang, H., Chen, J., Li, J., Wei, C., Ye, X., Shi, J., Chen, S. (2018) Pectin from citrus canning wastewater as potential fat replacer in ice cream. *Molecules*, 23(4), 925.
201. Zhang, Y., Abatzoglou, N. (2020) Fundamentals, applications and potentials of ultrasound-assisted drying. *Chemical Engineering Research and Design*, 154, 21–46.

202. Zhu, Z., Zhang, P., Sun, D.W. (2020) Effects of multi-frequency ultrasound on freezing rates and quality attributes of potatoes. *Ultrasonics sonochemistry*, 60, 104733.
203. Zulim Botega, D. (2012) Application of rice bran wax organogel to substitute solid fat and enhance unsaturated fat content in ice cream (Doctoral dissertation, University of Guelph).
204. Zulim Botega, D.C., Marangoni, A.G., Smith, A.K., Goff, H.D. (2013) Development of formulations and processes to incorporate wax oleogels in ice cream. *Journal of food science*, 78(12), C1845–C1851.
205. Zych, J.S. (2007) Synteza zastosowań techniki ultradźwiękowej w analizie kinetyki wybranych procesów zachodzących w tworzywach formierskich, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo–Dydaktyczne. Seria: Rozprawy i Monografie nr 163, Kraków
206. Żbikowska, A., Kupiec, M., Onacik–Gür, S. (2017) Wpływ karagenu na teksturę i stabilność oleożeli hydroksypropylometylocelulozowych. *Acta Agroph.* 24(3), 553–561.

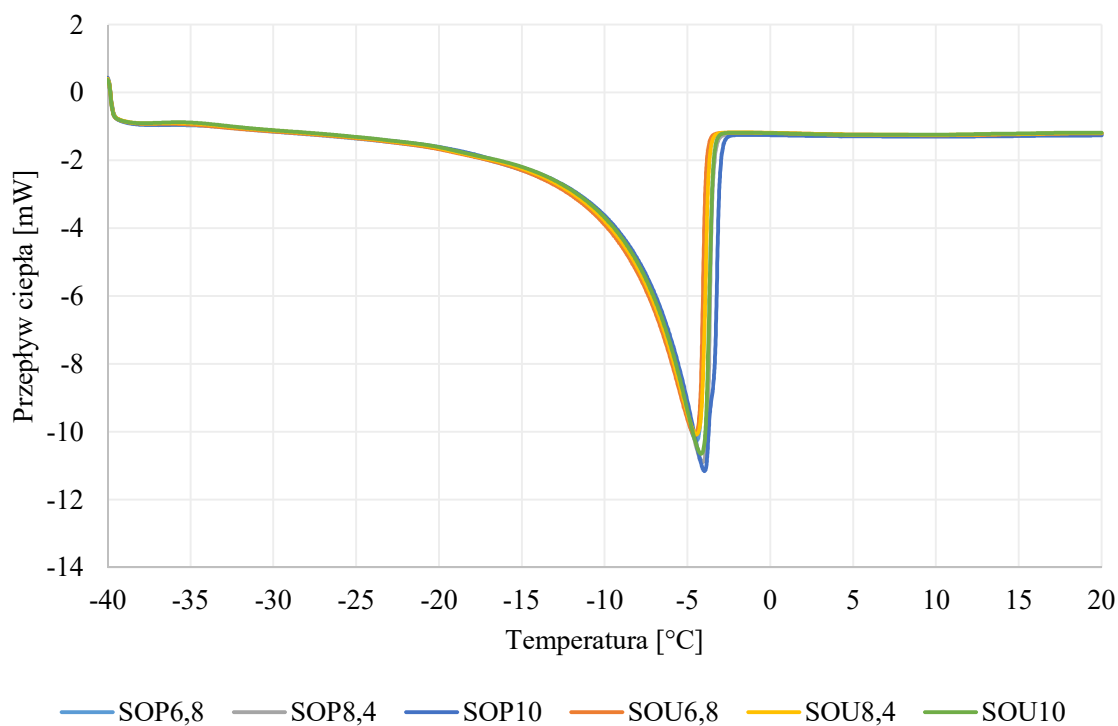
## 8. ANEKS

Tabela 8.1.A. Zawartość kwasów tłuszczowych w badanych olejach

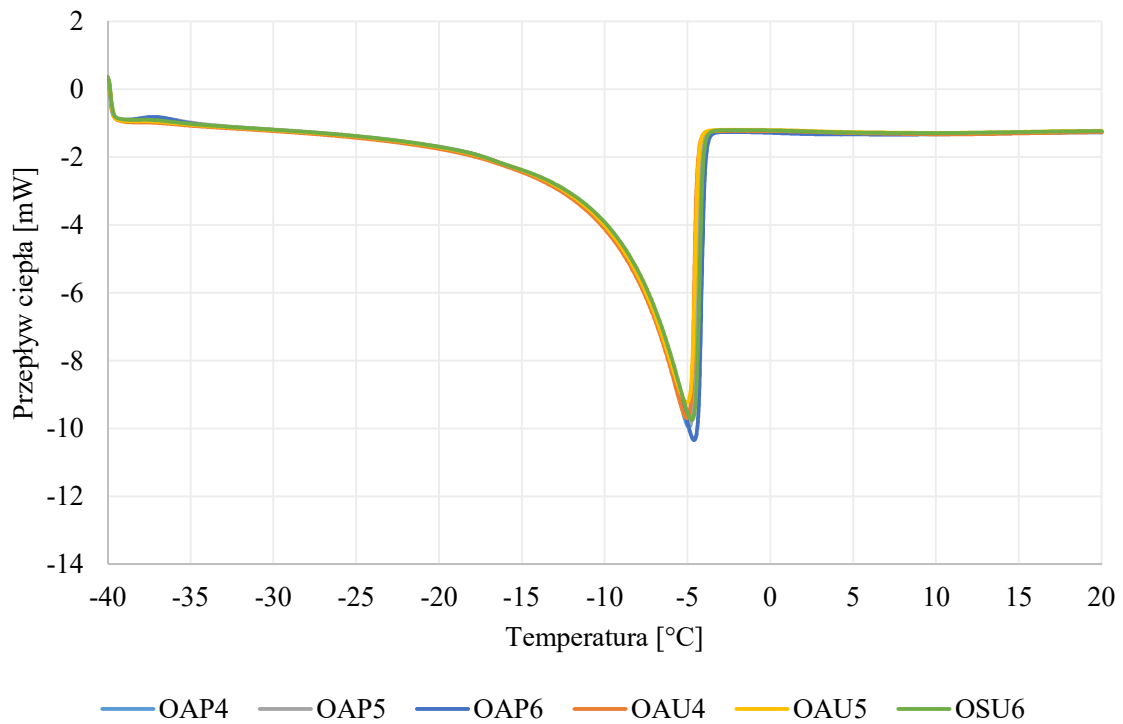
| Kwasy tłuszczowe                                  | Olej z nasion sezamu      | Olej z miąższu awokado | Olej z pestek winogron |
|---|---------------------------|------------------------|------------------------|
|   | [g·(100g) <sup>-1</sup> ] |                        |                        |
| Kwas kaprylowy<br>C8:0                            | –                         | –                      | 0,02                   |
| Kwas mirystynowy<br>C14:0                         | 0,02                      | 0,05                   | 0,05                   |
| Kwas palmitynowy<br>C16:0                         | 9,89                      | 18,66                  | 6,78                   |
| Kwas palmitooleinowy<br>C16:1n7                   | 0,61                      | 5,85                   | 0,16                   |
| Kwas margarynowy<br>C17:0                         | 0,05                      | 0,02                   | 0,03                   |
| Kwas cis-10-heptadekenowy<br>C17:1n7              | 0,04                      | 0,07                   | 0,02                   |
| Kwas stearynowy<br>C18:0                          | 5,17                      | 0,80                   | 3,87                   |
| Kwas oleinowy<br>C18:1n9                          | 42,72                     | 57,80                  | 25,56                  |
| Kwas linolowy<br>C18:2n6                          | 38,35                     | 10,51                  | 60,88                  |
| Kwas α-linolenowy<br>C18:3n3 (alpha)              | 0,280                     | 0,80                   | 0,21                   |
| Kwas arachidowy<br>C20:0                          | 0,580                     | 0,09                   | 0,21                   |
| Kwas cis-5-eikozenowy<br>C20:1n15                 | 0,040                     | –                      | 0,09                   |
| Kwas cis-5,8,11,14,17-eikozapentaenowy<br>C20:5n3 | 0,130                     | 0,04                   | 0,39                   |
| Kwas behenowy<br>C22:0                            | –                         | –                      | 0,05                   |
| Kwas cis-13,16-dokozadienowy<br>C22:2n6           | 0,030                     | –                      | –                      |
| Kwas trikozanowy<br>C23:0                         | 0,090                     | 0,05                   | 0,12                   |
| Kwas lignocerynowy<br>C24:0                       | –                         | 0,02                   | –                      |
| SFA   | 15,80                     | 19,69                  | 11,13                  |
| MUFA  | 43,41                     | 63,72                  | 25,83                  |
| PUFA  | 38,79                     | 11,35                  | 61,48                  |
| OMEGA3  | 0,41                      | 0,84                   | 0,60                   |
| OMEGA6  | 38,38                     | 10,51                  | 60,88                  |
| OMEGA9  | 42,72                     | 57,80                  | 25,56                  |



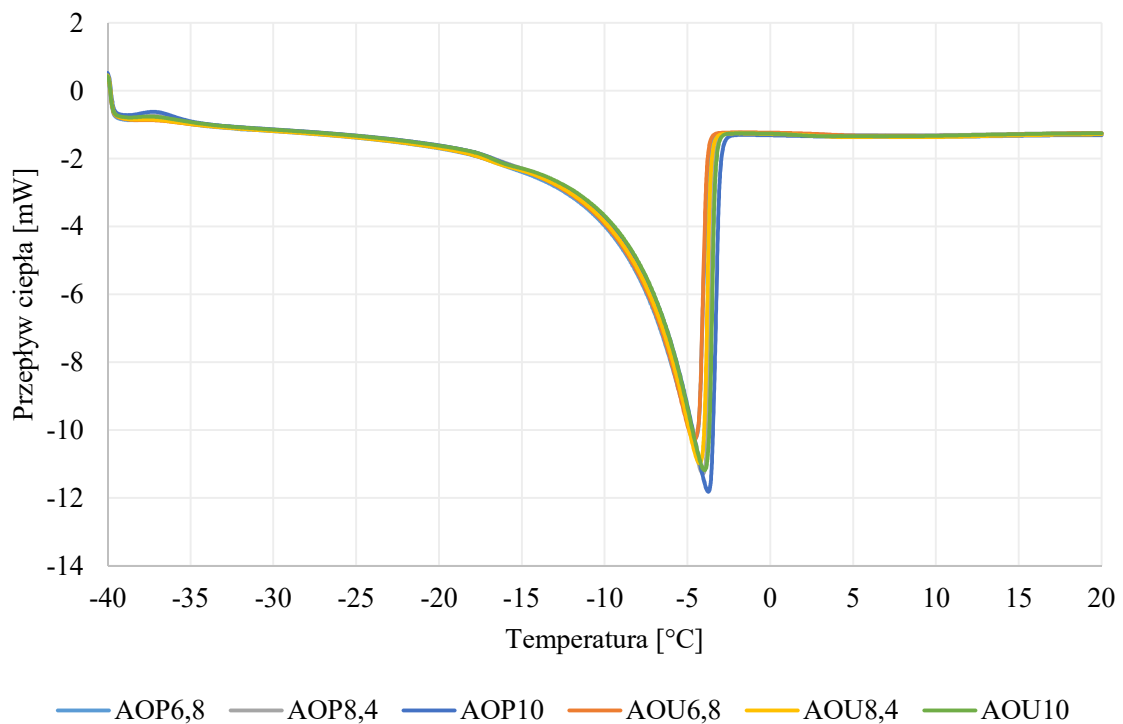
Rys. 8.1.A Przepływ ciepła w funkcji temperatury metodą DSC dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu



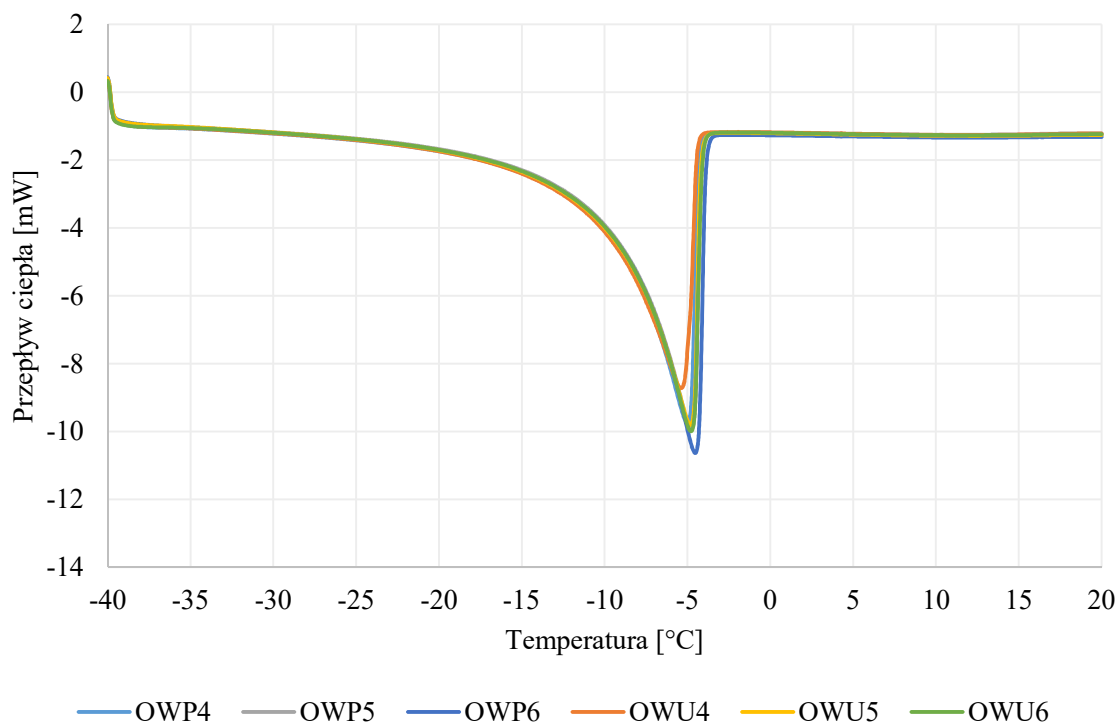
Rys. 8.2.A Przepływ ciepła w funkcji temperatury metodą DSC dla lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu



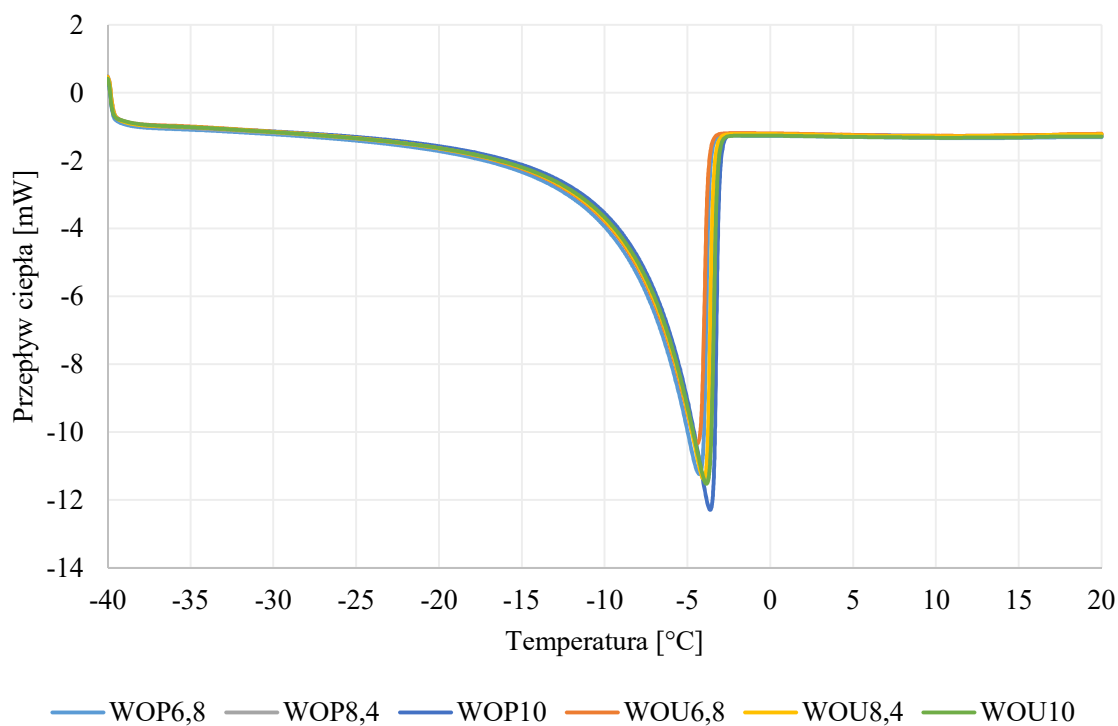
Rys. 8.3.A Przeptyw ciepła w funkcji temperatury metodą DSC dla lodów z udziałem oleju z miąższu awokado



Rys. 8.4.A Przeptyw ciepła w funkcji temperatury metodą DSC dla lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado



Rys. 8.5.A Przeptyw ciepła w funkcji temperatury metodą DSC dla lodów z udziałem oleju z pestek winogron



Rys. 8.6.A Przeptyw ciepła w funkcji temperatury metodą DSC dla lodów z udziałem olejożelu na bazie oleju z pestek winogron

Tabela 8.2.A. Masa stopionych lodów w funkcji czasu dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu

| Czas<br>[min.] | Masa stopionych lodów [g] |              |              |              |              |              |
|----------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                | OSP4                      | OSP5         | OSP6         | OSU4         | OSU5         | OSU6         |
| 0              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 1              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 2              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 3              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 4              | 0,13 ± 0,06               | 0,19 ± 0,09  | 0,21 ± 0,09  | 0,25 ± 0,09  | 0,46 ± 0,09  | 0,15 ± 0,09  |
| 5              | 0,36 ± 0,06               | 0,45 ± 0,05  | 0,71 ± 0,09  | 0,74 ± 0,26  | 0,80 ± 0,18  | 0,50 ± 0,45  |
| 6              | 0,64 ± 0,09               | 0,73 ± 0,15  | 1,16 ± 0,09  | 0,95 ± 0,26  | 1,04 ± 0,36  | 1,02 ± 0,14  |
| 7              | 0,98 ± 0,08               | 0,94 ± 0,09  | 1,53 ± 0,10  | 1,43 ± 0,18  | 1,29 ± 0,01  | 1,37 ± 0,43  |
| 8              | 1,38 ± 0,26               | 1,40 ± 0,17  | 1,85 ± 0,09  | 1,71 ± 0,09  | 1,79 ± 0,45  | 1,87 ± 0,07  |
| 9              | 1,83 ± 0,28               | 1,72 ± 0,07  | 2,22 ± 0,13  | 2,36 ± 0,22  | 2,38 ± 0,20  | 2,52 ± 0,23  |
| 10             | 2,28 ± 0,29               | 1,96 ± 0,26  | 2,80 ± 0,20  | 3,07 ± 0,24  | 3,16 ± 0,51  | 3,28 ± 0,20  |
| 11             | 2,83 ± 0,20               | 2,48 ± 0,20  | 3,54 ± 0,56  | 3,74 ± 0,18  | 4,12 ± 0,32  | 4,14 ± 0,38  |
| 12             | 3,38 ± 0,38               | 3,08 ± 0,38  | 4,19 ± 0,18  | 4,48 ± 0,41  | 5,27 ± 0,19  | 5,53 ± 0,50  |
| 13             | 4,22 ± 0,43               | 3,59 ± 0,18  | 4,69 ± 0,53  | 5,46 ± 0,42  | 6,48 ± 0,55  | 6,79 ± 0,21  |
| 14             | 4,97 ± 0,44               | 4,46 ± 0,44  | 5,52 ± 0,40  | 6,64 ± 0,18  | 7,62 ± 0,21  | 8,09 ± 0,37  |
| 15             | 5,82 ± 0,26               | 5,45 ± 0,22  | 6,47 ± 0,09  | 7,82 ± 0,23  | 9,12 ± 0,44  | 9,73 ± 0,23  |
| 16             | 6,77 ± 0,23               | 6,34 ± 0,44  | 7,53 ± 0,78  | 9,17 ± 0,24  | 10,70 ± 0,28 | 11,27 ± 0,17 |
| 17             | 7,76 ± 0,48               | 7,40 ± 0,28  | 8,66 ± 0,38  | 10,62 ± 0,18 | 12,05 ± 0,50 | 13,01 ± 0,41 |
| 18             | 8,99 ± 0,28               | 8,57 ± 0,54  | 9,78 ± 0,51  | 12,03 ± 0,43 | 13,85 ± 0,17 | 14,78 ± 0,35 |
| 19             | 10,33 ± 0,30              | 9,67 ± 0,43  | 10,88 ± 0,61 | 13,38 ± 0,38 | 15,24 ± 0,37 | 16,60 ± 0,34 |
| 20             | 11,68 ± 0,45              | 10,92 ± 0,26 | 12,06 ± 0,21 | 14,62 ± 0,53 | 17,03 ± 0,23 | 18,38 ± 0,18 |
| 21             | 13,05 ± 0,56              | 12,22 ± 0,19 | 13,37 ± 0,53 | 15,44 ± 0,35 | 18,51 ± 0,17 | –            |
| 22             | 14,49 ± 1,07              | 13,55 ± 0,55 | 14,79 ± 0,36 | –            | 19,94 ± 0,33 | –            |
| 23             | 16,09 ± 0,49              | 15,12 ± 0,45 | 16,38 ± 0,23 | –            | –            | –            |
| 24             | 17,89 ± 0,72              | 16,68 ± 0,66 | 17,89 ± 0,27 | –            | –            | –            |
| 25             | –                         | 18,31 ± 0,21 | –            | –            | –            | –            |

Tabela 8.3.A. Masa stopionych lodów w funkcji czasu dla lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu

| Czas [min.] | Masa stopionych lodów [g] |              |              |              |              |              |
|-------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|             | SOP6,8                    | SOP8,4       | SOP10        | SOU6,8       | SOU8,4       | SOU10        |
| 0           | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 1           | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 2           | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 3           | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 4           | 0,11 ± 0,18               | 0,02 ± 0,03  | 0,02 ± 0,03  | 0,36 ± 0,09  | 0,08 ± 0,06  | 0,00 ± 0,00  |
| 5           | 0,50 ± 0,13               | 0,18 ± 0,10  | 0,09 ± 0,04  | 0,70 ± 0,26  | 0,23 ± 0,06  | 0,18 ± 0,13  |
| 6           | 0,82 ± 0,54               | 0,42 ± 0,24  | 0,35 ± 0,32  | 0,98 ± 0,26  | 0,47 ± 0,09  | 0,27 ± 0,26  |
| 7           | 1,25 ± 0,33               | 0,65 ± 0,38  | 0,57 ± 0,38  | 1,35 ± 0,18  | 0,98 ± 0,08  | 0,55 ± 0,18  |
| 8           | 1,71 ± 0,44               | 0,99 ± 0,22  | 0,75 ± 0,20  | 1,67 ± 0,09  | 1,24 ± 0,26  | 0,68 ± 0,09  |
| 9           | 2,27 ± 0,07               | 1,40 ± 0,44  | 1,24 ± 0,28  | 2,08 ± 0,22  | 1,62 ± 0,28  | 0,79 ± 0,22  |
| 10          | 2,66 ± 0,40               | 1,76 ± 0,28  | 1,48 ± 0,00  | 2,58 ± 0,24  | 2,08 ± 0,29  | 1,02 ± 0,24  |
| 11          | 3,18 ± 0,30               | 2,08 ± 0,36  | 1,81 ± 0,18  | 3,12 ± 0,18  | 2,65 ± 0,20  | 1,24 ± 0,18  |
| 12          | 3,64 ± 0,38               | 2,32 ± 0,10  | 2,38 ± 0,42  | 4,00 ± 0,41  | 3,03 ± 0,38  | 1,47 ± 0,41  |
| 13          | 4,40 ± 0,22               | 2,76 ± 0,45  | 2,74 ± 0,38  | 4,80 ± 0,42  | 3,60 ± 0,43  | 1,70 ± 0,42  |
| 14          | 5,07 ± 0,44               | 3,13 ± 0,43  | 3,28 ± 0,38  | 5,81 ± 0,18  | 4,40 ± 0,44  | 2,19 ± 0,18  |
| 15          | 5,78 ± 0,06               | 3,75 ± 0,07  | 3,82 ± 0,29  | 6,56 ± 0,23  | 5,06 ± 0,26  | 2,89 ± 0,23  |
| 16          | 6,47 ± 0,44               | 4,33 ± 0,23  | 4,40 ± 0,31  | 7,37 ± 0,24  | 5,91 ± 0,23  | 3,45 ± 0,24  |
| 17          | 7,38 ± 0,19               | 5,40 ± 0,20  | 5,00 ± 0,40  | 8,15 ± 0,18  | 6,93 ± 0,48  | 4,13 ± 0,18  |
| 18          | 8,12 ± 0,35               | 6,28 ± 0,69  | 5,64 ± 0,20  | 9,17 ± 0,43  | 7,80 ± 0,28  | 4,84 ± 0,43  |
| 19          | 8,84 ± 0,46               | 7,32 ± 0,33  | 6,55 ± 0,18  | 10,08 ± 0,38 | 8,50 ± 0,30  | 5,60 ± 0,38  |
| 20          | 9,82 ± 0,39               | 8,11 ± 0,53  | 7,42 ± 0,30  | 11,05 ± 0,53 | 9,58 ± 0,45  | 6,50 ± 0,53  |
| 21          | 11,02 ± 0,13              | 9,08 ± 0,33  | 8,59 ± 0,54  | 12,20 ± 0,35 | 10,63 ± 0,56 | 7,39 ± 0,35  |
| 22          | 12,26 ± 0,36              | 10,25 ± 0,63 | 9,65 ± 0,33  | 13,36 ± 0,38 | 11,48 ± 1,07 | 8,40 ± 0,38  |
| 23          | 13,72 ± 0,25              | 11,53 ± 0,29 | 10,91 ± 0,66 | 14,63 ± 0,20 | 12,68 ± 0,49 | 9,33 ± 0,20  |
| 24          | 15,12 ± 0,23              | 12,93 ± 0,57 | 12,15 ± 0,44 | 15,77 ± 0,38 | 13,88 ± 0,72 | 10,40 ± 0,38 |
| 25          | 16,37 ± 0,38              | 14,31 ± 0,46 | 13,53 ± 0,44 | 16,82 ± 0,35 | 15,28 ± 0,36 | 11,64 ± 0,35 |
| 26          | 18,03 ± 0,24              | 15,69 ± 0,13 | 14,59 ± 0,46 | 18,09 ± 0,35 | 16,35 ± 0,41 | 12,68 ± 0,35 |
| 27          | –                         | 17,27 ± 0,52 | –            | –            | 17,82 ± 0,29 | 13,87 ± 0,18 |
| 28          | –                         | –            | –            | –            | –            | 14,99 ± 0,41 |
| 29          | –                         | –            | –            | –            | –            | 16,25 ± 0,42 |
| 30          | –                         | –            | –            | –            | –            | 17,36 ± 0,18 |
| 31          | –                         | –            | –            | –            | –            | 18,56 ± 0,23 |



Tabela 8.4.A. Masa stopionych lodów w funkcji czasu dla lodów z udziałem oleju z miąższu awokado

| Czas<br>[min.] | Masa stopionych lodów [g] |              |              |              |              |              |
|----------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                | OAP4                      | OAP5         | OAP6         | OAU4         | OAU5         | OAU6         |
| 0              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 1              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 2              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 3              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 4              | 0,10 ± 0,09               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,02 ± 0,03  | 0,02 ± 0,03  | 0,00 ± 0,00  |
| 5              | 0,40 ± 0,04               | 0,22 ± 0,13  | 0,30 ± 0,06  | 0,33 ± 0,26  | 0,16 ± 0,04  | 0,13 ± 0,26  |
| 6              | 0,76 ± 0,32               | 0,54 ± 0,26  | 0,59 ± 0,09  | 0,71 ± 0,26  | 0,51 ± 0,32  | 0,48 ± 0,26  |
| 7              | 1,13 ± 0,38               | 0,91 ± 0,18  | 0,98 ± 0,08  | 1,16 ± 0,18  | 0,98 ± 0,38  | 0,90 ± 0,18  |
| 8              | 1,47 ± 0,20               | 1,28 ± 0,09  | 1,43 ± 0,26  | 1,63 ± 0,09  | 1,49 ± 0,20  | 1,32 ± 0,09  |
| 9              | 1,78 ± 0,28               | 1,69 ± 0,22  | 1,83 ± 0,28  | 2,05 ± 0,22  | 1,89 ± 0,28  | 1,74 ± 0,22  |
| 10             | 2,19 ± 0,00               | 2,00 ± 0,24  | 2,28 ± 0,29  | 2,41 ± 0,24  | 2,42 ± 0,00  | 2,23 ± 0,24  |
| 11             | 2,47 ± 0,18               | 2,31 ± 0,18  | 2,76 ± 0,20  | 2,70 ± 0,18  | 2,90 ± 0,18  | 2,74 ± 0,18  |
| 12             | 3,01 ± 0,42               | 2,74 ± 0,41  | 3,25 ± 0,38  | 3,11 ± 0,41  | 3,35 ± 0,42  | 3,30 ± 0,41  |
| 13             | 3,51 ± 0,38               | 3,32 ± 0,42  | 3,76 ± 0,43  | 3,55 ± 0,42  | 3,81 ± 0,38  | 3,82 ± 0,42  |
| 14             | 4,18 ± 0,38               | 4,00 ± 0,18  | 4,23 ± 0,44  | 4,08 ± 0,18  | 4,34 ± 0,38  | 4,36 ± 0,18  |
| 15             | 4,79 ± 0,29               | 4,70 ± 0,23  | 4,86 ± 0,26  | 4,71 ± 0,23  | 4,94 ± 0,29  | 4,92 ± 0,23  |
| 16             | 5,56 ± 0,31               | 5,79 ± 0,24  | 5,46 ± 0,23  | 5,58 ± 0,24  | 5,57 ± 0,31  | 5,60 ± 0,24  |
| 17             | 6,48 ± 0,40               | 6,85 ± 0,18  | 6,28 ± 0,48  | 6,62 ± 0,18  | 6,25 ± 0,40  | 6,34 ± 0,18  |
| 18             | 7,53 ± 0,20               | 7,91 ± 0,43  | 7,00 ± 0,28  | 7,63 ± 0,43  | 7,01 ± 0,20  | 7,12 ± 0,43  |
| 19             | 8,51 ± 0,18               | 9,19 ± 0,38  | 7,61 ± 0,30  | 8,88 ± 0,38  | 7,89 ± 0,18  | 8,01 ± 0,38  |
| 20             | 9,68 ± 0,30               | 10,41 ± 0,18 | 8,45 ± 0,45  | 10,09 ± 0,53 | 9,07 ± 0,30  | 9,17 ± 0,53  |
| 21             | 10,85 ± 0,54              | 11,69 ± 0,23 | 9,48 ± 0,56  | 11,46 ± 0,35 | 10,56 ± 0,54 | 10,65 ± 0,35 |
| 22             | 12,08 ± 0,33              | 13,08 ± 0,18 | 10,65 ± 1,07 | 12,98 ± 0,38 | 12,15 ± 0,33 | 12,18 ± 0,35 |
| 23             | 13,36 ± 0,66              | 14,45 ± 0,23 | 11,89 ± 0,49 | 14,49 ± 0,20 | 13,78 ± 0,66 | 13,59 ± 0,18 |
| 24             | 14,67 ± 0,44              | 15,81 ± 0,24 | 13,28 ± 0,72 | 16,08 ± 0,38 | 15,22 ± 0,44 | 15,24 ± 0,35 |
| 25             | 16,03 ± 0,44              | –            | 14,58 ± 0,36 | 17,69 ± 0,35 | 16,72 ± 0,44 | 16,83 ± 0,22 |
| 26             | 17,30 ± 0,46              | –            | 16,03 ± 0,41 | 19,32 ± 0,35 | –            | 18,29 ± 0,09 |
| 27             | –                         | –            | 17,49 ± 0,29 | –            | –            | –            |

Tabela 8.5.A. Masa stopionych lodów w funkcji czasu dla lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado

| Czas<br>[min.] | Masa stopionych lodów [g] |              |              |              |              |              |
|----------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                | AOP6,8                    | AOP8,4       | AOP10        | AOU6,8       | AOU8,4       | AOU10        |
| 0              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 1              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 2              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 3              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 4              | 0,02 ± 0,03               | 0,00 ± 0,00  | 0,02 ± 0,03  | 0,00 ± 0,09  | 0,02 ± 0,03  | 0,00 ± 0,00  |
| 5              | 0,20 ± 0,04               | 0,08 ± 0,05  | 0,05 ± 0,04  | 0,07 ± 0,26  | 0,24 ± 0,04  | 0,13 ± 0,05  |
| 6              | 0,54 ± 0,42               | 0,25 ± 0,15  | 0,22 ± 0,33  | 0,32 ± 0,26  | 0,47 ± 0,33  | 0,31 ± 0,15  |
| 7              | 0,95 ± 0,26               | 0,45 ± 0,09  | 0,54 ± 0,28  | 0,76 ± 0,18  | 0,85 ± 0,28  | 0,72 ± 0,09  |
| 8              | 1,56 ± 0,20               | 0,72 ± 0,17  | 0,85 ± 0,10  | 1,14 ± 0,09  | 1,17 ± 0,10  | 1,15 ± 0,17  |
| 9              | 2,09 ± 0,22               | 1,11 ± 0,07  | 1,28 ± 0,13  | 1,52 ± 0,22  | 1,43 ± 0,13  | 1,55 ± 0,07  |
| 10             | 2,62 ± 0,01               | 1,56 ± 0,26  | 1,62 ± 0,05  | 1,99 ± 0,24  | 1,69 ± 0,05  | 1,98 ± 0,26  |
| 11             | 3,24 ± 0,13               | 1,98 ± 0,20  | 1,89 ± 0,45  | 2,38 ± 0,18  | 2,12 ± 0,45  | 2,28 ± 0,20  |
| 12             | 4,06 ± 0,54               | 2,69 ± 0,38  | 2,17 ± 0,22  | 3,00 ± 0,41  | 2,55 ± 0,22  | 2,61 ± 0,38  |
| 13             | 4,64 ± 0,33               | 3,39 ± 0,18  | 2,45 ± 0,30  | 3,39 ± 0,42  | 3,04 ± 0,30  | 2,97 ± 0,18  |
| 14             | 5,27 ± 0,28               | 4,10 ± 0,44  | 2,85 ± 0,29  | 4,02 ± 0,18  | 3,89 ± 0,29  | 3,34 ± 0,44  |
| 15             | 6,12 ± 0,29               | 5,12 ± 0,22  | 3,17 ± 0,22  | 4,79 ± 0,23  | 4,57 ± 0,20  | 3,83 ± 0,22  |
| 16             | 6,77 ± 0,20               | 6,08 ± 0,44  | 3,74 ± 0,40  | 5,48 ± 0,24  | 5,58 ± 0,30  | 4,52 ± 0,18  |
| 17             | 7,63 ± 0,38               | 7,07 ± 0,28  | 4,35 ± 0,30  | 6,33 ± 0,18  | 6,49 ± 0,40  | 5,35 ± 0,09  |
| 18             | 8,46 ± 0,43               | 8,18 ± 0,54  | 5,13 ± 0,20  | 7,33 ± 0,43  | 7,63 ± 0,10  | 6,37 ± 0,38  |
| 19             | 9,57 ± 0,44               | 9,43 ± 0,43  | 6,05 ± 0,13  | 8,05 ± 0,38  | 8,75 ± 0,20  | 7,32 ± 0,43  |
| 20             | 10,88 ± 0,19              | 10,88 ± 0,26 | 7,01 ± 0,22  | 9,03 ± 0,53  | 9,93 ± 0,22  | 8,20 ± 0,44  |
| 21             | 12,30 ± 0,25              | 12,42 ± 0,19 | 7,99 ± 0,38  | 10,20 ± 0,35 | 11,12 ± 0,40 | 9,33 ± 0,24  |
| 22             | 13,63 ± 1,16              | 13,96 ± 0,55 | 9,06 ± 0,28  | 11,13 ± 0,38 | 12,42 ± 0,20 | 10,42 ± 0,45 |
| 23             | 15,01 ± 0,53              | –            | 10,25 ± 0,35 | 12,27 ± 0,20 | 13,66 ± 0,35 | 11,48 ± 0,54 |
| 24             | 17,12 ± 0,37              | –            | 11,42 ± 0,20 | 13,64 ± 0,38 | 14,91 ± 0,20 | 12,59 ± 0,42 |
| 25             | –                         | –            | 12,81 ± 0,59 | 14,76 ± 0,35 | 16,35 ± 0,20 | 13,90 ± 0,21 |
| 26             | –                         | –            | 14,09 ± 0,39 | 16,04 ± 0,35 | –            | 15,19 ± 0,30 |
| 27             | –                         | –            | 15,49 ± 0,86 | 17,28 ± 0,18 | –            | 16,37 ± 0,38 |
| 28             | –                         | –            | 16,77 ± 0,35 | 18,48 ± 0,41 | –            | 17,38 ± 0,26 |
| 29             | –                         | –            | 18,03 ± 0,28 | –            | –            | –            |

Tabela 8.6.A. Masa stopionych lodów w funkcji czasu dla lodów z udziałem oleju z pestek winogron

| Czas<br>[min.] | Masa stopionych lodów [g] |              |              |              |              |              |
|----------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                | <b>OWP4</b>               | <b>OWP5</b>  | <b>OWP6</b>  | <b>OWU4</b>  | <b>OWU5</b>  | <b>OWU6</b>  |
| 0              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 1              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 2              | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 3              | 0,12 ± 0,01               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 4              | 0,31 ± 0,06               | 0,00 ± 0,00  | 0,09 ± 0,08  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 5              | 0,51 ± 0,06               | 0,00 ± 0,00  | 0,28 ± 0,04  | 0,01 ± 0,01  | 0,11 ± 0,06  | 0,00 ± 0,00  |
| 6              | 0,78 ± 0,09               | 0,14 ± 0,13  | 0,63 ± 0,32  | 0,45 ± 0,26  | 0,40 ± 0,09  | 0,21 ± 0,05  |
| 7              | 0,91 ± 0,08               | 0,59 ± 0,18  | 1,00 ± 0,38  | 0,98 ± 0,18  | 0,68 ± 0,08  | 0,66 ± 0,38  |
| 8              | 1,16 ± 0,26               | 1,07 ± 0,09  | 1,26 ± 0,20  | 1,62 ± 0,09  | 0,96 ± 0,26  | 1,25 ± 0,22  |
| 9              | 1,51 ± 0,28               | 1,31 ± 0,22  | 1,63 ± 0,28  | 2,17 ± 0,22  | 1,27 ± 0,28  | 1,69 ± 0,44  |
| 10             | 1,85 ± 0,29               | 1,97 ± 0,24  | 2,04 ± 0,00  | 2,68 ± 0,24  | 1,54 ± 0,29  | 2,05 ± 0,28  |
| 11             | 2,52 ± 0,20               | 2,20 ± 0,18  | 2,23 ± 0,18  | 3,24 ± 0,18  | 1,69 ± 0,20  | 2,68 ± 0,36  |
| 12             | 3,03 ± 0,38               | 2,50 ± 0,41  | 3,56 ± 0,42  | 3,85 ± 0,41  | 1,94 ± 0,38  | 3,08 ± 0,10  |
| 13             | 3,91 ± 0,43               | 2,82 ± 0,42  | 3,04 ± 0,38  | 4,43 ± 0,42  | 2,49 ± 0,43  | 3,76 ± 0,45  |
| 14             | 4,77 ± 0,44               | 3,34 ± 0,18  | 3,78 ± 0,38  | 5,04 ± 0,18  | 3,00 ± 0,44  | 4,16 ± 0,43  |
| 15             | 5,82 ± 0,26               | 3,89 ± 0,23  | 4,40 ± 0,29  | 5,75 ± 0,23  | 3,90 ± 0,26  | 4,69 ± 0,07  |
| 16             | 7,00 ± 0,23               | 4,73 ± 0,24  | 5,36 ± 0,31  | 6,62 ± 0,24  | 4,90 ± 0,23  | 5,45 ± 0,23  |
| 17             | 8,19 ± 0,48               | 5,69 ± 0,18  | 6,35 ± 0,40  | 7,29 ± 0,18  | 5,92 ± 0,48  | 6,08 ± 0,20  |
| 18             | 9,40 ± 0,28               | 6,73 ± 0,43  | 7,40 ± 0,20  | 8,29 ± 0,43  | 7,16 ± 0,28  | 7,18 ± 0,69  |
| 19             | 10,72 ± 0,30              | 7,65 ± 0,38  | 8,47 ± 0,18  | 9,42 ± 0,38  | 8,42 ± 0,30  | 8,13 ± 0,33  |
| 20             | 12,09 ± 0,45              | 9,01 ± 0,53  | 9,69 ± 0,30  | 10,92 ± 0,53 | 9,74 ± 0,45  | 9,43 ± 0,53  |
| 21             | 13,40 ± 0,56              | 10,14 ± 0,35 | 11,10 ± 0,54 | 12,56 ± 0,35 | 11,22 ± 0,56 | 10,96 ± 0,33 |
| 22             | 14,65 ± 1,07              | 11,52 ± 0,38 | 12,34 ± 0,33 | 14,38 ± 0,38 | 12,78 ± 1,07 | 12,34 ± 0,63 |
| 23             | 16,49 ± 0,49              | 12,86 ± 0,20 | 13,69 ± 0,66 | 16,18 ± 0,20 | 14,49 ± 0,49 | 14,32 ± 0,29 |
| 24             | 18,08 ± 0,72              | 14,32 ± 0,38 | 15,18 ± 0,44 | 18,00 ± 0,38 | 16,06 ± 0,72 | 15,74 ± 0,57 |
| 25             | –                         | 15,79 ± 0,35 | 16,53 ± 0,44 | 19,73 ± 0,35 | 17,82 ± 0,36 | 17,44 ± 0,46 |
| 26             | –                         | 17,54 ± 0,35 | 18,10 ± 0,46 | –            | 19,58 ± 0,41 | 19,28 ± 0,13 |
| 27             | –                         | 19,20 ± 0,18 | –            | –            | –            | –            |

Tabela 8.7.A. Masa stopionych lodów w funkcji czasu dla lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron

| Czas [min.] | Masa stopionych lodów [g] |              |              |              |              |              |
|-------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|             | WOP6,8                    | WOP8,4       | WOP10        | WOU6,8       | WOU8,4       | WOU10        |
| 0           | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 1           | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 2           | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 3           | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 4           | 0,00 ± 0,00               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 5           | 0,08 ± 0,04               | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  | 0,21 ± 0,13  | 0,00 ± 0,00  | 0,00 ± 0,00  |
| 6           | 0,41 ± 0,23               | 0,16 ± 0,10  | 0,16 ± 0,11  | 0,61 ± 0,14  | 0,22 ± 0,14  | 0,26 ± 0,06  |
| 7           | 0,75 ± 0,38               | 0,55 ± 0,09  | 0,46 ± 0,26  | 1,00 ± 0,43  | 0,67 ± 0,33  | 0,64 ± 0,18  |
| 8           | 1,10 ± 0,20               | 0,93 ± 0,17  | 0,88 ± 0,20  | 1,60 ± 0,07  | 1,18 ± 0,44  | 1,15 ± 0,09  |
| 9           | 1,48 ± 0,28               | 1,24 ± 0,07  | 1,26 ± 0,22  | 2,11 ± 0,23  | 1,58 ± 0,07  | 1,60 ± 0,22  |
| 10          | 1,69 ± 0,00               | 1,40 ± 0,26  | 1,68 ± 0,01  | 2,61 ± 0,20  | 1,85 ± 0,40  | 2,13 ± 0,24  |
| 11          | 2,02 ± 0,18               | 1,76 ± 0,20  | 2,12 ± 0,13  | 3,09 ± 0,38  | 2,05 ± 0,30  | 2,63 ± 0,18  |
| 12          | 2,38 ± 0,42               | 2,00 ± 0,38  | 2,48 ± 0,54  | 3,70 ± 0,50  | 2,43 ± 0,38  | 3,14 ± 0,41  |
| 13          | 3,02 ± 0,38               | 2,20 ± 0,18  | 2,85 ± 0,33  | 4,25 ± 0,21  | 2,77 ± 0,22  | 3,63 ± 0,42  |
| 14          | 3,74 ± 0,38               | 2,53 ± 0,44  | 3,16 ± 0,28  | 4,95 ± 0,37  | 3,38 ± 0,44  | 4,12 ± 0,18  |
| 15          | 4,35 ± 0,29               | 2,89 ± 0,22  | 3,58 ± 0,29  | 5,68 ± 0,23  | 3,69 ± 0,06  | 4,74 ± 0,23  |
| 16          | 5,24 ± 0,31               | 3,35 ± 0,44  | 4,10 ± 0,20  | 6,20 ± 0,17  | 4,34 ± 0,44  | 5,27 ± 0,24  |
| 17          | 6,19 ± 0,40               | 3,84 ± 0,28  | 4,64 ± 0,38  | 6,87 ± 0,41  | 4,87 ± 0,19  | 5,94 ± 0,18  |
| 18          | 7,18 ± 0,20               | 4,49 ± 0,54  | 5,17 ± 0,43  | 7,90 ± 0,35  | 5,86 ± 0,35  | 6,75 ± 0,43  |
| 19          | 8,26 ± 0,18               | 5,25 ± 0,43  | 6,11 ± 0,44  | 8,70 ± 0,34  | 7,06 ± 0,46  | 7,30 ± 0,38  |
| 20          | 9,36 ± 0,30               | 5,86 ± 0,26  | 6,90 ± 0,19  | 9,62 ± 0,18  | 8,06 ± 0,39  | 8,02 ± 0,53  |
| 21          | 10,53 ± 0,54              | 6,80 ± 0,19  | 7,64 ± 0,25  | 10,55 ± 0,18 | 8,90 ± 0,13  | 8,80 ± 0,35  |
| 22          | 11,92 ± 0,33              | 8,05 ± 0,55  | 8,65 ± 1,16  | 11,68 ± 0,51 | 9,91 ± 0,36  | 9,80 ± 0,38  |
| 23          | 13,28 ± 0,66              | 8,99 ± 0,45  | 9,68 ± 0,53  | 13,17 ± 0,44 | 10,93 ± 0,25 | 11,05 ± 0,20 |
| 24          | 14,76 ± 0,44              | 10,03 ± 0,66 | 10,70 ± 0,37 | 14,27 ± 0,46 | 12,06 ± 0,23 | 12,30 ± 0,38 |
| 25          | –                         | 11,11 ± 0,21 | 11,80 ± 0,23 | 15,88 ± 0,21 | 13,12 ± 0,38 | 13,53 ± 0,35 |
| 26          | –                         | 12,61 ± 0,44 | 12,91 ± 0,29 | 17,18 ± 0,38 | 14,27 ± 0,24 | 14,82 ± 0,35 |
| 27          | –                         | 13,99 ± 0,47 | 14,05 ± 0,20 | 18,36 ± 0,20 | 15,40 ± 0,19 | 16,12 ± 0,18 |
| 28          | –                         | 15,38 ± 0,21 | 15,45 ± 0,05 | –            | 16,70 ± 0,35 | 17,35 ± 0,41 |
| 29          | –                         | 16,75 ± 0,55 | 16,75 ± 0,40 | –            | 17,89 ± 0,46 | 18,55 ± 0,42 |

Tabela 8.8.A. Skala punktowa do przeprowadzenia akceptowalności konsumenckiej

| Cecha jakości       | Skala punktów   |   |   |  |  |
|---------------------|---|---|---|--|--|
|                     | 5   | 4   | 3   | 2  | 1  |
| <b>Konsystencja</b> | gładka, jednolita w całej masie, kryształki lodu niewyczuwalne                            | mało gładka, jednolita w całej masie, kryształki lodu delikatnie wyczuwalne               | jednolita konsystencja, wyczuwalne kryształki lodu  | jednolita konsystencja, widoczne duże kryształki lodu  | niejednolita konsystencja, widoczne duże kryształki lodu   |
| <b>Smak</b>         | czysty, z wyczuwalnym dodatkiem składników smakowo-zapachowych, słodycz bardzo intensywna | czysty, z wyczuwalnym dodatkiem składników smakowo-zapachowych, słodycz intensywna        | lekko zmieniony, z wyczuwalnym dodatkiem składników smakowo-zapachowych, słodycz średnio intensywna | zmieniony, nieczysty, z niewyczuwalnym dodatkiem składników smakowo-zapachowych, słodycz mało wyczuwalna, lekko gorzki | wyraźnie zmieniony, nieczysty, z niewyczuwalnym dodatkiem składników smakowo-zapachowych, słodycz niewyczuwalna, bardzo gorzki |
| <b>Barwa</b>        | intensywna, typowa, jednolita, charakterystyczna dla zastosowanych składników             | mniej intensywna, mniej typowa, jednolita, charakterystyczna dla zastosowanych składników | niewielko zmieniona, średnio typowa, niejednolita, widoczne pojedyncze przebarwienia                | zmieniona, mało typowa, niejednolita, widoczne nieliczne przebarwienia   | silnie zmieniona, nietypowa, niejednolita, widoczne liczne przebarwienia, wygląd odrażający                                    |
| <b>Zapach</b>       | czysty, aromatyczny, bardzo intensywny, charakterystyczny dla lodów o danym smaku         | czysty, aromatyczny, mniej intensywny, mniej adekwatny dla lodów o danym smaku            | nieczysty, lekko wyczuwalny, mniej charakterystyczny dla lodów o danym smaku                        | nieczysty, wyraźnie zmieniony, słabo wyczuwalny, mniej charakterystyczny dla lodów o danym smaku                       | nieczysty, nietypowy, obcy, zmieniony, niewyczuwalny   |

## SPIS RYSUNKÓW

|  |    |
|--|----|
| Rys. 2.1. Schemat struktury mieszanki lodowej i lodów [Goff i Hartel 2013] .....   | 8  |
| Rys. 2.2. Struktura lodów przeprowadzona metodą skaningowej mikroskopii elektronowej .....   | 10 |
| Rys. 2.3. Granice faz tłuszcz/woda i powietrze/woda w lodach .....   | 11 |
| Rys. 2.4. Schemat technologiczny produkcji lodów [Goff i Hartel 2013] .....  | 30 |
| Rys. 2.5. Schemat kropelki tłuszczu podczas dojrzewania, obrazujący adsorpcję białek mleka oraz emulgatorów na powierzchni kropli tłuszczu oraz krystalizację tłuszczu ..... | 34 |
| Rys. 2.6. Kryształy lodu w lodach.....   | 35 |
| Rys. 2.7. Odbicie fali ultradźwiękowej na granicy dwóch ośrodków przy prostopadłym jej padaniu .....   | 42 |
| Rys. 2.8. Odbicie fali ultradźwiękowej na granicy dwóch ośrodków przy padaniu jej pod kątem .....  | 42 |
| Rys. 4.1. Etapy powstawania oleożelu .....   | 50 |
| Rys. 4.2. Schemat obróbki ultradźwiękowej mieszanki lodowej .....  | 51 |
| Rys. 5.1. Etapy powstawania oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu: a) emulsja, b) emulsja po suszeniu, c) oleożel po homogenizacji.....                                    | 59 |
| Rys. 5.2. Etapy powstawania oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado: a) emulsja, b) emulsja po suszeniu, c) oleożel po homogenizacji.....                                  | 59 |
| Rys. 5.3. Etapy powstawania oleożelu na bazie oleju z pestek winogron: a) emulsja, b) emulsja po suszeniu, c) oleożel po homogenizacji.....                                  | 59 |
| Rys. 5.4. Szybkość topnienia lodów z udziałem oleju z nasion sezamu .....  | 65 |
| Rys. 5.5. Szybkość topnienia lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu .....  | 65 |
| Rys. 5.6. Szybkość topnienia lodów z udziałem oleju z miąższu awokado .....  | 66 |
| Rys. 5.7. Szybkość topnienia lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado .....  | 66 |
| Rys. 5.8. Szybkość topnienia lodów z udziałem oleju z pestek winogron .....  | 67 |
| Rys. 5.9. Szybkość topnienia lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron .....  | 67 |
| Rys. 5.10. Struktura lodów z udziałem oleju z nasion sezamu wykonana metodą skaningowej mikroskopii elektronowej w 500x powiększeniu.....                                    | 76 |
| Rys. 5.11. Struktura lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu wykonana metodą skaningowej mikroskopii elektronowej w 500x powiększeniu .....                 | 77 |
| Rys. 5.12. Struktura lodów z udziałem oleju z miąższu awokado wykonana metodą skaningowej mikroskopii elektronowej w 500x powiększeniu.....                                  | 78 |
| Rys. 5.13. Struktura lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado wykonana metodą skaningowej mikroskopii elektronowej w 500x powiększeniu.....                | 79 |
| Rys. 5.14. Struktura lodów z udziałem oleju z pestek winogron wykonana metodą skaningowej mikroskopii elektronowej w 500x powiększeniu.....                                  | 80 |

|   |     |
|---|-----|
| Rys. 5.15. Struktura lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron wykonana metodą skaningowej mikroskopii elektronowej w 500x powiększeniu..... | 81  |
| Rys. 5.16. Diagram składowych głównych (PCA) wykonany w oparciu o właściwości fizyczne lodów na bazie oleju i oleożelu z nasion sezamu.....                   | 99  |
| Rys. 5.17. Diagram składowych głównych (PCA) wykonany w oparciu o właściwości fizyczne lodów na bazie oleju i oleożelu z miąższu awokado .....                | 100 |
| Rys. 5.18. Diagram składowych głównych (PCA) wykonany w oparciu o właściwości fizyczne lodów na bazie oleju i oleożelu z pestek winogron .....                | 102 |
| Rys. 5.19. Diagram składowych głównych (PCA) wykonany w oparciu o właściwości biochemiczne lodów na bazie oleju i oleożelu z nasion sezamu.....               | 103 |
| Rys. 5.20. Diagram składowych głównych (PCA) wykonany w oparciu o właściwości biochemiczne lodów na bazie oleju i oleożelu z miąższu awokado.....             | 104 |
| Rys. 5.21. Diagram składowych głównych (PCA) wykonany w oparciu o właściwości biochemiczne lodów na bazie oleju i oleożelu z pestek winogron.....             | 106 |
| Rys. 8.1.A Przepływ ciepła w funkcji temperatury metodą DSC dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu .....  | 124 |
| Rys. 8.2.A Przepływ ciepła w funkcji temperatury metodą DSC dla lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu .....                                | 124 |
| Rys. 8.3.A Przepływ ciepła w funkcji temperatury metodą DSC dla lodów z udziałem oleju z miąższu awokado .....  | 125 |
| Rys. 8.4.A Przepływ ciepła w funkcji temperatury metodą DSC dla lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado .....                              | 125 |
| Rys. 8.5.A Przepływ ciepła w funkcji temperatury metodą DSC dla lodów z udziałem oleju z pestek winogron.....   | 126 |
| Rys. 8.6.A Przepływ ciepła w funkcji temperatury metodą DSC dla lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron .....                              | 126 |

## SPIS TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabela 4.1. Skład mieszanek lodziarskich na bazie oleju .....  | 47 |
| Tabela 4.2. Skład mieszanek lodziarskich na bazie oleożelu .....   | 48 |
| Tabela 5.1. Wartości gęstości i lepkości badanych olejów .....   | 57 |
| Tabela 5.2. Zawartość kwasów tłuszczowych w badanych olejach .....   | 57 |
| Tabela 5.3. Wartości stabilności badanych oleożeli .....   | 58 |
| Tabela 5.4. Wartości charakterystyki różnicowej kalorymetrii skaningowej lodów z udziałem oleju z nasion sezamu .....                        | 60 |
| Tabela 5.5. Wartości charakterystyki różnicowej kalorymetrii skaningowej lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu .....      | 60 |
| Tabela 5.6. Wartości charakterystyki różnicowej kalorymetrii skaningowej lodów z udziałem oleju z miąższu awokado .....                      | 60 |
| Tabela 5.7. Wartości charakterystyki różnicowej kalorymetrii skaningowej lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado .....    | 61 |
| Tabela 5.8. Wartości charakterystyki różnicowej kalorymetrii skaningowej lodów z udziałem oleju z pestek winogron .....                      | 61 |
| Tabela 5.9. Wartości charakterystyki różnicowej kalorymetrii skaningowej lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron .....    | 61 |
| Tabela 5.10. Wartości stopnia napowietrzenia oraz całkowity czas topnienia lodów z udziałem oleju z nasion sezamu .....                      | 63 |
| Tabela 5.11. Wartości stopnia napowietrzenia oraz całkowity czas topnienia lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu .....    | 63 |
| Tabela 5.12. Wartości stopnia napowietrzenia oraz całkowity czas topnienia lodów z udziałem oleju z miąższu awokado .....                    | 63 |
| Tabela 5.13. Wartości stopnia napowietrzenia oraz całkowity czas topnienia lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado .....  | 63 |
| Tabela 5.14. Wartości stopnia napowietrzenia oraz całkowity czas topnienia lodów z udziałem olejem z pestek winogron .....                   | 64 |
| Tabela 5.15. Wartości stopnia napowietrzenia oraz całkowity czas topnienia lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron .....  | 64 |
| Tabela 5.16. Wartości lepkości mieszanki przed i po dojrzeniu oraz lepkości lodów z udziałem oleju z nasion sezamu .....                     | 68 |
| Tabela 5.17. Wartości lepkości mieszanki przed i po dojrzeniu oraz lepkości lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu .....   | 68 |
| Tabela 5.18. Wartości lepkości mieszanki przed i po dojrzeniu oraz lepkości lodów z udziałem oleju z miąższu awokado .....                   | 69 |
| Tabela 5.19. Wartości lepkości mieszanki przed i po dojrzeniu oraz lepkości lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado ..... | 69 |
| Tabela 5.20. Wartości lepkości mieszanki przed i po dojrzeniu oraz lepkości lodów z udziałem oleju z pestek winogron .....                   | 69 |



|  |    |
|--|----|
| Tabela 5.21. Wartości lepkości mieszanki przed i po dojrzewaniu oraz lepkości lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron .....   | 70 |
| Tabela 5.22. Wartości twardości i kleistości lodów z udziałem oleju z nasion sezamu .....  | 71 |
| Tabela 5.23. Wartości twardości i kleistości lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu.....   | 71 |
| Tabela 5.24. Wartości twardości i kleistości lodów z udziałem oleju z miąższu awokado  | 71 |
| Tabela 5.25. Wartości twardości i kleistości lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado.....   | 71 |
| Tabela 5.26. Wartości twardości i kleistości lodów z udziałem oleju z pestek winogron ..   | 72 |
| Tabela 5.27. Wartości twardości i kleistości lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron.....   | 72 |
| Tabela 5.28. Wartości parametrów $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ oraz różnicy w nasyceniu ( $\Delta C^*$ ) i różnicy tonu ( $\Delta H^*$ ) lodów z udziałem oleju z nasion sezamu .....                    | 73 |
| Tabela 5.29. Wartości parametrów $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ oraz różnicy w nasyceniu ( $\Delta C^*$ ) i różnicy tonu ( $\Delta H^*$ ) lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu.....   | 73 |
| Tabela 5.30. Wartości parametrów $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ oraz różnicy w nasyceniu ( $\Delta C^*$ ) i różnicy tonu ( $\Delta H^*$ ) lodów z udziałem oleju z miąższu awokado .....                  | 73 |
| Tabela 5.31. Wartości parametrów $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ oraz różnicy w nasyceniu ( $\Delta C^*$ ) i różnicy tonu ( $\Delta H^*$ ) lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado..... | 74 |
| Tabela 5.32. Wartości parametrów $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ oraz różnicy w nasyceniu ( $\Delta C^*$ ) i różnicy tonu ( $\Delta H^*$ ) lodów z udziałem oleju z pestek winogron .....                  | 74 |
| Tabela 5.33. Wartości parametrów $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ oraz różnicy w nasyceniu ( $\Delta C^*$ ) i różnicy tonu ( $\Delta H^*$ ) lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron..... | 74 |
| Tabela 5.34. Skład chemiczny i wartość kaloryczna oraz pH lodów z udziałem oleju z nasion sezamu.....  | 83 |
| Tabela 5.35. Skład chemiczny i wartość kaloryczna oraz pH lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu .....   | 83 |
| Tabela 5.36. Skład chemiczny i wartość kaloryczna oraz pH lodów z udziałem oleju z miąższu awokado.....  | 84 |
| Tabela 5.37. Skład chemiczny i wartość kaloryczna oraz pH lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado .....   | 84 |
| Tabela 5.38. Skład chemiczny i wartość kaloryczna oraz pH lodów z udziałem oleju z pestek winogron.....  | 85 |
| Tabela 5.39. Skład chemiczny i wartość kaloryczna oraz pH lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron .....   | 85 |
| Tabela 5.40. Wyniki identyfikacji i oznaczenia ilościowe wybranych związków polifenolowych w lodach metodą UPLC–PDA–MS/MS .....  | 88 |
| Tabela 5.41. Wartości wybranych związków polifenolowych lodów z udziałem oleju z nasion sezamu.....  | 88 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 5.42. Wartości wybranych związków polifenolowych lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu .....           | 89  |
| Tabela 5.43. Wartości wybranych związków polifenolowych lodów z udziałem oleju z miąższu awokado.....                            | 89  |
| Tabela 5.44. Wartości wybranych związków polifenolowych lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado .....         | 89  |
| Tabela 5.45. Wartości wybranych związków polifenolowych lodów z udziałem olejem z pestek winogron.....                           | 90  |
| Tabela 5.46. Wartości wybranych związków polifenolowych lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron .....         | 90  |
| Tabela 5.47. Analiza statystyczna akceptowalności konsumenckiej lodów z udziałem oleju z nasion sezamu.....                      | 92  |
| Tabela 5.48. Analiza statystyczna akceptowalności konsumenckiej lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu .....   | 93  |
| Tabela 5.49. Analiza statystyczna akceptowalności konsumenckiej lodów z udziałem oleju z miąższu awokado.....                    | 94  |
| Tabela 5.50. Analiza statystyczna akceptowalności konsumenckiej lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado ..... | 95  |
| Tabela 5.51. Analiza statystyczna akceptowalności konsumenckiej lodów z udziałem oleju z pestek winogron.....                    | 96  |
| Tabela 5.52. Analiza statystyczna akceptowalności konsumenckiej lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron ..... | 97  |
| Tabela 8.1.A. Zawartość kwasów tłuszczowych w badanych olejach .....   | 123 |
| Tabela 8.2.A. Masa stopionych lodów w funkcji czasu dla lodów z udziałem oleju z nasion sezamu .....                             | 127 |
| Tabela 8.3.A. Masa stopionych lodów w funkcji czasu dla lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z nasion sezamu .....           | 128 |
| Tabela 8.4.A. Masa stopionych lodów w funkcji czasu dla lodów z udziałem oleju z miąższu awokado.....                            | 129 |
| Tabela 8.5.A. Masa stopionych lodów w funkcji czasu dla lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z miąższu awokado .....         | 130 |
| Tabela 8.6.A. Masa stopionych lodów w funkcji czasu dla lodów z udziałem oleju z pestek winogron.....                            | 131 |
| Tabela 8.7.A. Masa stopionych lodów w funkcji czasu dla lodów z udziałem oleożelu na bazie oleju z pestek winogron .....         | 132 |
| Tabela 8.8.A. Skala punktowa do przeprowadzenia akceptowalności konsumenckiej.....   | 133 |