

DOMINIKA GAWIDZIEL¹, KATARZYNA KOZŁOWICZ², GRZEGORZ MAJ³
KAMILA E. KLIMEK⁴, MAGDALENA KAPŁAN⁵

Ocena jakościowa mrożonej mieszanki warzywnej przechowywanej w warunkach chłodniczych

Quality assessment of frozen vegetable mix stored refrigerated

Abstrakt. Mrożone mieszanki warzywne zyskały w ostatnich latach na znaczeniu, co dodatkowo uwypuklił kryzys związany z pandemią COVID-19, zwiększając zapotrzebowanie na produkty o długiej trwałości przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej wartości odżywczej. Celem pracy była analiza fizykochemiczna wybranych warzyw (marchew, groszek zielony, fasola zielona cięta, kalafior, brokuł) poddanych procesowi mrożenia i przechowywania zamrażalniczego. Próby przechowywano przez okres 3 miesięcy w temperaturze -30°C . Wykazano, że czas składowania nie wpłynął znacząco na zawartość suchej masy w porównaniu z surowcem świeżym. Stwierdzono jednak, że wraz z upływem czasu następuje pogorszenie cech teksturalnych (spadek twardości) oraz zwiększenie wycieku rozmrażalniczego, co wskazuje na zmiany strukturalne zachodzące w tkankach roślinnych mimo głębokiego mrożenia.

Słowa kluczowe: mrożona mieszanka warzywna, analiza fizykochemiczna, tekstura, wyciek rozmrażalniczy

WSTĘP

W Polsce rynek produktów mrożonych z roku na rok wzrasta bardzo dynamicznie. Produkowane i sprzedawane są mieszanki warzywne, mieszanki owocowe, warzywa i owoce pakowane pojedynczo, np. szpinak, brokuł, truskawki, jagody, jak również ryby, dania gotowe czy wyroby mączne. Oferta produktów mrożonych stale się powiększa, są popularne nie tylko w Polsce, ale również za granicą. Konsumenty cenią sobie żywność, która jest łatwa i szybka w przygotowaniu a jednocześnie zdrowa [Markowska 2025a]. Wpływa na to zmiana modelu żywienia i preferencje konsumenta. W literaturze można znaleźć wiele różnych definicji zachowania konsumenta uwytatniających jego różne aspekty. Szucki [1998] definiuje, iż zachowania konsumentów dotyczą działań zmierzających do kupowania i korzystania z zakupionych produktów, łącznie z mechanizmami psychologicznymi i socjologicznymi poprzedzającymi te działania oraz następujące po nich.

Powiększa się rynek mrożonek wszystkich rodzajów, tj. warzyw na patelnię, mrożonych mieszanek warzywnych, mrożonych owoców. W okresie letnim poddawanych mrożeniu jest najwięcej warzyw i owoców ze względu na ich zbiory i sezonowość. Mrożonki są doskonałym uzupełnieniem diety

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polska, <https://orcid.org/0009-0003-5831-5363>

² Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polska, <https://orcid.org/0000-0002-1922-7577>

³ Katedra Energetyki i Środków Transportu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polska, <https://orcid.org/0000-0001-9052-6265>

⁴ Katedra Zastosowań Matematyki i Informatyki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polska, <https://orcid.org/0000-0001-6638-894X>; autor korespondencyjny: kamila.klimek@up.edu.pl

⁵ Instytut Produkcji Ogrodniczej, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polska, <https://orcid.org/0000-0002-3833-9275>



– proces zamrażania umożliwia zachowanie wartości odżywczej produktów oraz szybkość i wygodę ich wykorzystania. Mrożonki należą również do grupy żywności wygodnej ze względu na szybką obróbkę kulinarną przed ich podaniem [Adamczyk 2010].

Krótki termin przydatności do spożycia świeżych płodów rolnych wymusza stosowanie metod konserwacji, gdyż większość owoców i warzyw naturalnie odznacza się niską trwałością po zbiorach [Fang i Wakisaka 2021]. Mrożenie warzyw to jeden z wielu sposobów na ich utrwalenie. Metoda ta jest bardzo bezpieczna i najkorzystniejsza pod względem biologicznym. Proces pozwala zachować wartości odżywcze zbliżone do warzyw świeżych, zapobiega psuciu się oraz namnażaniu mikroorganizmów. Utrwalanie jest najczęściej powiązane z przetwarzaniem owoców i warzyw, co poza zabezpieczeniem przed nadmiernymi stratami składników pożądanymi daje dodatkowe korzyści, między innymi zwiększenie asortymentu produktów czy łatwiejsze przygotowanie ich do spożycia [Grabowska 2014, Krzysztofik i in. 2015, Li i in. 2017, Grover i in. 2023].

Rynek mrożonek od kilku lat ma tendencję wzrostową, co świadczy o rosnącym zainteresowaniu tymi produktami wśród polskich konsumentów. Ilościowo mrożone warzywa i owoce to największa kategoria produktów mrożonych stanowiąca ponad 30% całości rynku. Sezon na mrożone warzywa i owoce przypada na okres od listopada do kwietnia, jednak obecnie mrożonki przestają być produktem sezonowym, a stają się wygodnym rozwiązaniem całorocznym [Portalspozywczy.pl 2016]. Istotne jest również ich pochodzenie, czyli pozyskanie ich od zaufanych dostawców [Kapusta 2017]. Dzięki mrożonkom można ułatwić sobie planowanie posiłków na cały tydzień. Naprzeciw potrzebom konsumentów wychodzą zakłady przetwórstwa spożywczego, które zajmują się produkcją gotowych wyrobów mrożonych. Do tego celu potrzebne są linie technologiczne. Ich zastosowanie pozwala zdecydowanie przyspieszyć proces produkcji. Na linię produkcyjną składa się szereg maszyn i urządzeń wraz ze stanowiskami pracy dla ludzi, pogrupowanych tak, aby zachować logiczny ciąg produkcyjny „od pola do stołu” [Markowska 2025b].

Przechowywanie chłodnicze mieszanki warzyw powoduje istotne zmiany fizykochemiczne. Wydłużenie czasu przechowywania chłodniczego prowadzi do zmiany twardości warzyw oraz wystąpienia tzw. ususzek [Grabowska 2020]. A kryształki lodu powstające podczas procesu zamrażania uszkadzają komórki warzyw i generują dużą ilość wycieku podczas rozmrażania [Li 2018, Sawada i Fukuda 2018, Ruciński i Stopińska 2019].

Celem pracy była ocena jakościowa mrożonej mieszanki warzywnej przechowywanej w warunkach chłodniczych przez okres 3 miesięcy. Zostały przeprowadzone badania na temat zawartości suchej masy, wycieku rozmrażalniczego oraz ocena właściwości teksturalnych.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem badawczym była mrożona mieszanka warzywna przechowywana w warunkach chłodniczych. W jej skład wchodziły następujące warzywa: marchew kostka 10 x 10 x 10 mm, groszek zielony, fasola zielona cięta, różyczki kalafiora o kalibrze 10–40 mm, różyczki brokołu o kalibrze 10–40 mm. Mieszanka warzywna została sporządzona z warzyw marki Hortex.

Próby przechowywano przez okres 3 miesięcy. Przeprowadzono 8 prób, w co najmniej 3 powtórzeniach. Do analizy próby pobierano w pierwszym (próbka zerowa), 7, 14, 21, 28, 42, 56 i 87 dniu przechowywania w warunkach chłodniczych w temperaturze -30°C .

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie, wykorzystując program Excel. Wszystkie analizy wykonano w co najmniej 3 powtórzeniach. Obliczano wartości średnie określanych parametrów oraz odchylenie standardowe. Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji przy poziomie istotności 0,05.

Zawartość suchej masy w warzywach oznaczono metodą suszarkową. Polega ona na odważeniu 5 g rozdrobnionego surowca do naczynka wagowego z dokładnością do 0,001 g. Próby suszono w suszarce laboratoryjnej FN500 o temperaturze 130°C przez 3 h. Po ostudzeniu próby ponownie ważono. Oznaczenie wykonano w 3 powtórzeniach. Procentową zawartość suchej substancji X obliczono według wzoru [Krełowska-Kułas 1993]:

$$X = \frac{(c - b)}{(a - b)} \cdot 100\%$$

gdzie:

a – masa naczynka z ważonym warzywem przed suszeniem (g)

b – masa pustego naczynka (g)

c – masa naczynka z ważonym warzywem po wysuszeniu (g).

Do oznaczenia wycieku rozmrażalniczego próby odpowiednio przygotowano. Po wyjęciu z zamrażarki zostały zważone, opisane i położone do swobodnego rozmrażania przez mniej więcej 3 h, w temperaturze pokojowej 20–22°C. Wielkość wycieku rozmrażalniczego określa się jako różnicę masy próby przed rozmrożeniem i po rozmrożeniu według wzoru [Pukszta i Palich 2007]:

$$\text{Wyciek rozmrażalniczy} = \frac{(\text{masa próby zamrożonej} - \text{masa próby rozmrożonej})}{\text{masa próby zamrożonej}} \cdot 100$$

Ocenę twardości warzyw rozmrożonych (brokuł, kalafior, marchewka, groszek, fasolka) przeprowadzono, wykonując test cięcia na urządzeniu wytrzymałościowym LFRA Texture Analyzer firmy Brookfield. Test cięcia przeprowadzono, wykorzystując nóż o kącie 30°, z zachowaniem następujących parametrów:

- siła inicjacji 0,196 N,
- szybkość przesuwu stożka 1,5 mm/s,
- deformacja 70%.

WYNIKI I DYSKUSJA

Charakterystyka zawartości suchej masy

Woda jest jednym z podstawowych składników decydujących o właściwościach fizykochemicznych żywności, np. teksturze, i bierze udział w reakcjach biochemicznych [Kumirska i in. 2010]. Warzywa cechuje wysoka zawartość wody, a co za tym idzie – niska zawartość suchej masy [Ievinsh 2023].

W tabelach 1–5 przedstawiono zawartość suchej masy w marchwi – kostce 10 x 10 x 10, groszku zielonym, fasoli ciętej zielonej, różyczkach kalafiora i brokułu o kalibrażu 10–40 zamrożonych. Oznaczenia wykonano w 3 powtórzeniach przez 87 dni.

Tabela 1 przedstawia wyniki badań nad zmianami zawartości suchej masy w mrożonej marchewce. Wartości ulegają wahaniom, widoczny jest ogólny trend wzrostowy zawartości suchej masy w czasie. W pierwszym dniu przechowywania zawartość suchej masy wynosiła 8,03%, natomiast po 87 dniach przechowywania 10,90%, co oznacza przyrost 2,87 punktu procentowego w badanym okresie. Przedstawione wyniki dowodzą, że długotrwałe przechowywanie mrożonej marchwi prowadzi do koncentracji suchej masy, co jest wynikiem postępującej straty wilgoci z produktu.

Tabela 1. Zawartość suchej masy w marchewce mrożonej w zależności od czasu przechowywania
Table 1. Dry matter content in frozen carrots depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Zawartość suchej masy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	8,03	0,86	0,73
7	9,39	0,07	0,01
14	8,94	0,90	0,81
21	7,94	0,54	0,29
28	10,44	1,20	1,44
42	8,62	0,29	0,08
56	9,11	0,58	0,34
87	10,90	0,17	0,03

Analiza zawartości suchej masy w mrożonej fasoli wykazała dużą stabilność w czasie przechowywania, czego dowodzą wyniki przedstawione w tabeli 2. Zawartość suchej masy mieściła się w zakresie 8,11–10,29%. Struktura fasoli może lepiej chronić przed utratą wody w pierwszych tygodniach mrożenia. Wynik uzyskany w 14 dniu przechowywania znacząco odbiega od pozostałych prób, co może sugerować błąd pomiarowy lub niejednorodność materiału biologicznego użytego do badania. Pomijając anomalię z dnia 14, w całym okresie badań nastąpił niewielki wzrost, o około 0,94% suchej masy, co świadczy o powolnej utracie wody.

Groszek mrożony charakteryzował się największą zawartością suchej masy, osiągając średni poziom 24%, co przedstawiono w tabeli 3. W badanym okresie nie odnotowano istotnych zmian tego parametru, co świadczy o wysokiej stabilności fizykochemicznej tego produktu. Jednak duże odchylenia standardowe wskazują na niejednorodność surowca, prawdopodobnie wynikającą ze zróżnicowanej dojrzałości nasion groszku.

Tabela 2. Zawartość suchej masy w fasoli mrożonej w zależności od czasu przechowywania
Table 2. Dry matter content in frozen beans depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Zawartość suchej masy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	9,35	1,27	1,62
7	8,67	0,91	0,82
14	16,77	1,17	1,38
21	9,07	0,45	0,20
28	9,76	0,36	0,13
42	8,11	1,34	1,79
56	10,29	0,77	0,59
87	9,73	0,71	0,51

Tabela 3. Zawartość suchej masy w groszku mrożonym w zależności od czasu przechowywania
Table 3. Dry matter content in frozen peas depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Zawartość suchej masy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	23,99	1,21	1,47
7	23,08	4,03	16,21
14	21,84	3,46	11,95
21	25,85	3,01	9,05
28	23,57	2,67	7,10
42	23,26	1,26	1,58
56	25,94	3,30	10,87
87	24,47	3,19	10,16

Kalafior mrożony (tabela 4) charakteryzuje się dość niską zawartością suchej masy, z wartościami oscylującymi w zakresie 4,73–8,97%. Odnotowano wyraźny spadek tego parametru w czasie przechowywania, co może wskazywać na dużą podatność tkanek kalafiora na zmiany fizykochemiczne spowodowane niską temperaturą.

W przypadku brokułów mrożonych (tabela 5) zawartość suchej masy wykazała tendencję wzrostową w trakcie 87-dniowego przechowywania, zwiększając się z 7,31% do 8,64%. Zjawisko to przypisuje się postępującej sublimacji lodu z tkanki roślinnej [Wiktor i in. 2015].

Analizując wyniki przedstawione w tabelach, można zauważyć, że wraz ze wzrostem czasu przechowywania w warunkach chłodniczych zawartość suchej masy w każdym z warzyw tylko nieznacznie się różni od jej zawartości w próbie świeżej. Największą zawartością suchej masy charakteryzował się groszek mrożony, średnio 25,94%. Najmniejszą zawartością suchej masy a jednocześnie największą zawartością wody charakteryzował się kalafior. Podczas przechowywania chłodniczego w stanie zamrożonym warzyw czy owoców może występować tzw. ususzka, która powoduje ubytek wody i zwiększenie zawartości suchej masy. Do celów przetwórstwa spożywczego najbardziej stabilnym surowcem pod kątem zachowania proporcji składników wydaje się być groszek. Kalafior i brokuł wymagają najbardziej restrykcyjnych warunków przechowywania ze względu na niską suchą masę i ryzyko szybkiej utraty jakości sensorycznej.

Tabela 4. Zawartość suchej masy w kalafiorze w zależności od czasu przechowywania
Table 4. Dry matter content in cauliflower depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Zawartość suchej masy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	8,97	0,25	0,06
7	6,12	0,43	0,18
14	6,16	0,28	0,08
21	5,44	1,06	1,13
28	7,23	0,34	0,12
42	4,73	0,42	0,18
56	6,55	0,23	0,06
87	8,07	0,24	0,06

Tabela 5. Zawartość suchej masy w brokole w zależności od czasu przechowywania
Table 5. Dry matter content in broccoli depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Zawartość suchej masy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	7,31	0,17	0,03
7	5,83	1,75	3,06
14	8,49	0,19	0,04
21	7,99	0,26	0,07
28	8,07	0,45	0,21
42	8,55	0,97	0,94
56	6,72	0,97	0,95
87	8,64	0,51	0,26

Wielkość wycieku rozmrażalniczego z warzyw

Zamrażanie, pomimo powszechnie uznanych zalet, oprócz wysokich nakładów energetycznych powoduje szereg trudnych do uniknięcia niekorzystnych zmian właściwości warzyw, do których należy zaliczyć m.in. stratę masy podczas rozmrażania (wyciek rozmrażalniczy), częściową utratę charakterystycznego zapachu i tworzenie obcego posmaku czy zmianę barwy powierzchni [Grover i in. 2023,

Acheampong 2025]. Wskaźnikiem odwracalności zmian spowodowanych obróbką zamrażalniczą produktów o budowie tkankowej jest wielkość wycieku rozmrażalniczego [Wu i in. 2021]. Wszystkie zmiany spowodowane są specyficznymi właściwościami produktów i niedoskonałością procesów zamrażania oraz przechowywania. Powolne zamrażanie do temperatury -8°C do -12°C sprzyja powstawaniu dużych kryształów lodu w produkcie i uszkodzeniom tkanek, co w czasie rozmrażania może skutkować utratą soków tkanki produktu [Góral i in. 2013]. Poniżej, w tabelach, przedstawiono wielkość wycieku rozmrażalniczego mieszanki warzywnej w zależności od czasu przechowywania.

Badania wycieku rozmrażalniczego z marchwi (tabela 6) wykazały rosnącą degradację struktury tkankowej surowca w miarę wydłużania czasu przechowywania. Odnotowano dwukrotny wzrost ilości wycieku swobodnego: z 20,93% do 51,52%. Tak wysoki poziom świadczy o postępującym niszczeniu ścian komórkowych przez zjawisko rekrytalizacji lodu, co bezpośrednio powoduje pogorszenie tekstury marchwi [Vicent i in. 2020].

Analiza wycieku rozmrażalniczego fasoli przedstawiona w tabeli 7 wykazała systematyczny wzrost tego parametru wraz z wydłużaniem się czasu przechowywania. Początkowa wartość wynosiła 8,2%, natomiast ostatecznie wzrosła do 24,02%. Końcowa niska wartość wariancji wskazuje na wyrównanie stopnia degradacji tkanek w całej partii surowca w końcowej fazie testu.

Tabela 6. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru wycieku swobodnego w zależności od czasu przechowywania marchwi

Table 6. Statistical analysis of the results of the free drip measurement depending on the carrot storage time

Okres przechowywania (dni)	Wyciek rozmrażalniczy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	20,93	0,85	0,73
7	27,20	0,99	0,98
14	24,44	3,11	9,66
21	31,77	1,29	1,66
28	31,42	3,80	14,43
42	41,73	0,33	0,11
56	50,81	3,40	11,58
87	51,52	3,99	15,94

Tabela 7. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru wycieku swobodnego w zależności od czasu przechowywania fasoli

Table 7. Statistical analysis of the results of the free drip measurement depending on the beans storage time

Okres przechowywania (dni)	Wyciek rozmrażalniczy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	8,2	0,6	0,36
7	9,08	0,38	0,14
14	12,79	0,65	0,42
21	17,73	2,25	5,06
28	17,44	1,37	1,88
42	19,43	2,03	4,11
56	22,05	2,16	4,67
87	24,02	0,31	0,09

Analiza wycieku rozmrażalniczego z groszku potwierdziła jego stabilność technologiczną jako surowca mrożonego. Wyciek rozmrażalniczy w pierwszym dniu wynosił 9,70%, a w 87 dniu wzrósł do 18,67%. Powolna dynamika zmian i niskie wartości wariancji w końcowej fazie przechowywania wskazują na dużą odporność tkanek na procesy rekrytalizacji lodu. Uzyskane wyniki wskazują na stały wzrost wielkości wycieku rozmrażalniczego wraz z czasem przechowywania, co przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru wycieku swobodnego w zależności od czasu przechowywania groszku
 Table 8. Statistical analysis of the results of the free drip measurement depending on the peas storage time

Okres przechowywania (dni)	Wyciek rozmrażalniczy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	9,70	0,29	0,08
7	13,27	1,34	1,80
14	15,04	1,76	3,09
21	14,96	1,55	2,39
28	16,56	0,50	0,25
42	17,42	0,45	0,21
56	17,95	0,79	0,63
87	18,67	1,06	1,12

W przypadku kalafiora (tabela 9) odnotowano systematyczny wzrost wycieku rozmrażalniczego. W pierwszym dniu okresu przechowywania wyciek wyniósł 5,22%, a finalny 21,80%. Sucha masa kalafiora jest niska, a każda utrata wycieku rozmrażalniczego oznacza dużą stratę cennych składników rozpuszczalnych w wodzie. Niskie wartości odchylenia standardowego w końcowej fazie potwierdzają wyrównany stopień degradacji struktur tkankowych we wszystkich badanych próbkach kalafiora.

Tabela 9. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru wycieku swobodnego w zależności od czasu przechowywania kalafiora

Table 9. Statistical analysis of the results of the free drip measurement depending on the cauliflower storage time

Okres przechowywania (dni)	Wyciek rozmrażalniczy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	5,22	1,09	1,18
7	9,51	0,41	0,17
14	13,38	1,25	1,57
21	11,98	1,59	2,53
28	12,84	1,50	2,25
42	14,53	0,86	0,75
56	20,02	0,81	0,66
87	21,80	0,52	0,27

W mrożonym brokule pierwszego dnia zaobserwowano wyciek wynoszący 14,29%, a w trakcie 87-dniowego przechowywania stale wzrastał do poziomu 27,21%. Analiza danych zestawionych w tabeli 10 wskazuje na znaczną dyspersję wyników wokół wartości średnich, o czym świadczą wysokie wartości odchylenia standardowego. Świadczy to o tym, że poszczególne różyczki reagują na mrożenie bardzo różnie, co wynika z budowy brokołu. Charakterystyczna dla brokołu luźna struktura kwiatostanu sprzyja większym uszkodzeniom mechanicznym tkanek przez lód. Zauważane wahania odchylenia standardowego wskazują na dużą wrażliwość tego surowca na warunki przechowywania i niejednorodną reakcję tkanek na proces rekrytalizacji. Gonçaves i inni [2011, 2020] w swoich badaniach udowodnili, że wyciek rozmrażalniczy stanowi jeden z najbardziej wrażliwych wskaźników pogorszenia jakości mrożonych brokułów podczas przechowywania, a jego wartość wykazuje tendencję wzrostową wraz z czasem przechowywania.

Tabela 10. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru wycieku swobodnego w zależności od czasu przechowywania brokołu

Table 10. Statistical analysis of the results of the free drip measurement depending on the broccoli storage time

Okres przechowywania (dni)	Wyciek rozmrażalniczy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	14,29	0,34	0,12
7	19,72	1,34	1,79
14	20,59	0,73	0,54
21	20,81	0,84	0,71
28	22,27	1,17	1,37
42	22,29	1,33	1,77
56	27,41	0,52	0,27
87	27,21	1,41	1,99

Analizowane wyniki wykazują, iż okres przechowywania warzyw miał istotny wpływ na ilość uzyskanego wycieku rozmrażalniczego. Wraz ze zwiększającym się okresem przechowywania zwiększał się wyciek rozmrażalniczy. Największą wartość wycieku uzyskano dla każdego z produktów w 87 dniu przechowywania. Największym wyciekami spośród badanych warzyw odznacza się brokuł: 14,29%, natomiast najmniejszym fasola zielona: 8,20%. Zmiany struktury na poziomie komórkowym spowodowane formowaniem kryształów lodu podczas zamrażania doprowadziły w efekcie do odwodnienia tkanki. Im większy jest zakres tych zmian (w głównej mierze uzależniony od szybkości zamrażania), tym trudniej komórkom związać wodę podczas rozmrażania. Wielkość kryształów lodu determinowana jest przede wszystkim intensywną wymianą ciepła podczas zamrażania, a zapewnienie optymalnych warunków procesu umożliwia zmniejszenie strat masy po rozmrożeniu [Hać-Szymańczuk i in. 2019].

Ocena właściwości teksturalnych warzyw

Tekstura jest jednym z podstawowych wskaźników jakości żywności. Odbierana jest przez człowieka za pomocą bodźców mechanicznych (gryzienie), wzrokowych i słuchowych [Riantingtyas i in. 2024]. Tekstura zatem jest cechą żywności postrzeganą w wyniku dynamicznej oceny dokonywanej podczas konsumpcji. Najnowocześniejsze techniki oceny tekstury, wspomagane komputerowo, pozwalają na szybką a zarazem dokładną i wiarygodną ocenę parametrów charakterystycznych dla danego produktu [Xiao 2022]. Twardość i jędrność tkanek surowców roślinnych określa się najczęściej, wykonując test cięcia. Na podstawie uzyskanych danych empirycznych w postaci charakterystycznych zależności siła–czas lub siła–odkształcenie można przeprowadzić analizę kształtowania się wartości badanej cechy. Stąd w przeprowadzonych badaniach twardość warzyw oceniano jako siłę niezbędną do osiągnięcia określonej deformacji produktu w wyniku testu cięcia [Kubiak i Dolik 2017]. Wyniki analizy zmian twardości warzyw poddanych chłodniczemu przechowywaniu przedstawiono na poniższych wykresach i w tabelach.

Zarówno wykres słupkowy (rysunek 1), jak i tabela (tabela 11) pokazują wyraźną tendencję spadku twardości marchwi wraz z upływem czasu – o około 44%. Największą dynamikę utraty twardości zaobserwowano między 28 a 42 dniem przechowywania, co wiąże się z postępującym niszczeniem struktur komórkowych. Odnotowano systematyczny spadek twardości marchwi z poziomu 1,70 N do 0,95 N. Niskie wartości wariancji świadczą o dużej jednorodności zmian zachodzących w całej badanej partii marchwi.

Analiza twardości mrożonej fasoli (rysunek 2, tabela 12) wykazała znaczącą degradację tekstury surowca w badanym okresie. Został zauważony spadek siły potrzebnej do zgniecenia próby z poziomu 3,07 do 1,43 N. Wysokie wartości odchylenia standardowego w tym okresie wskazują na niejednorodność morfologiczną surowca pobranego do badań.

Rysunek 1. Twardość marchwi w zależności od czasu przechowywania
Figure 1. Carrot hardness depending on storage time

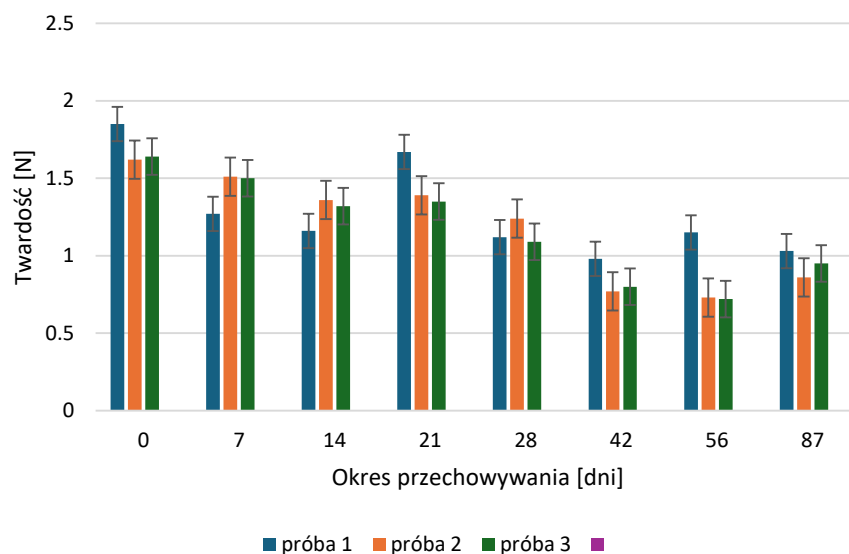


Tabela 11. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru twardości marchwi w zależności od czasu przechowywania
Table 11. Statistical analysis of the results of carrot hardness measurement depending on the storage time

Okres przechowywania (dni)	Twardość (N)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	1,70	0,13	0,02
7	1,43	0,14	0,02
14	1,28	0,11	0,01
21	1,47	0,17	0,03
28	1,15	0,08	0,01
42	0,85	0,11	0,01
56	0,87	0,25	0,06
87	0,95	0,09	0,01

Rysunek 2. Twardość fasoli w zależności od czasu przechowywania
Figure 2. Beans hardness depending on storage time

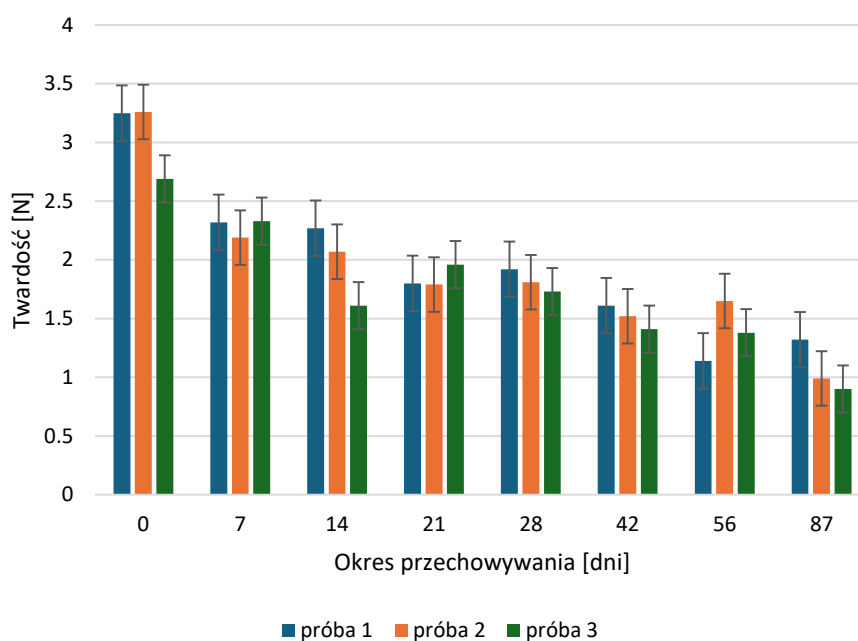


Tabela 12. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru twardości fasoli w zależności od czasu przechowywania
Table 12. Statistical analysis of the results of bean hardness measurement depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Twardość (N)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	3,07	0,33	0,11
7	2,28	0,08	0,01
14	1,98	0,34	0,11
21	1,85	0,10	0,01
28	1,82	0,10	0,01
42	1,51	0,10	0,01
56	1,39	0,26	0,07
87	1,07	0,22	0,05

Analiza badań twardości groszku zielonego (rysunek 3, tabela 13) wykazała największą stabilność parametrów teksturalnych spośród analizowanych warzyw. W trakcie badania groszek stracił około 36% swojej pierwotnej twardości. Twardość w pierwszym dniu badania wyniosła 1,94 N, natomiast w ostatnim dniu 1,24 N. Odchylenie standardowe spada do skrajnie niskich wartości, co oznacza, że po 87 dniach przechowywania każda z prób groszku reaguje identycznie. Duża odporność na mięknięcie jest efektem zawartości składników stałych, tj. skrobi, która usztywnia strukturę groszku.

Rysunek 3. Twardość groszku w zależności od czasu przechowywania
Figure 3. Peas hardness depending on storage time

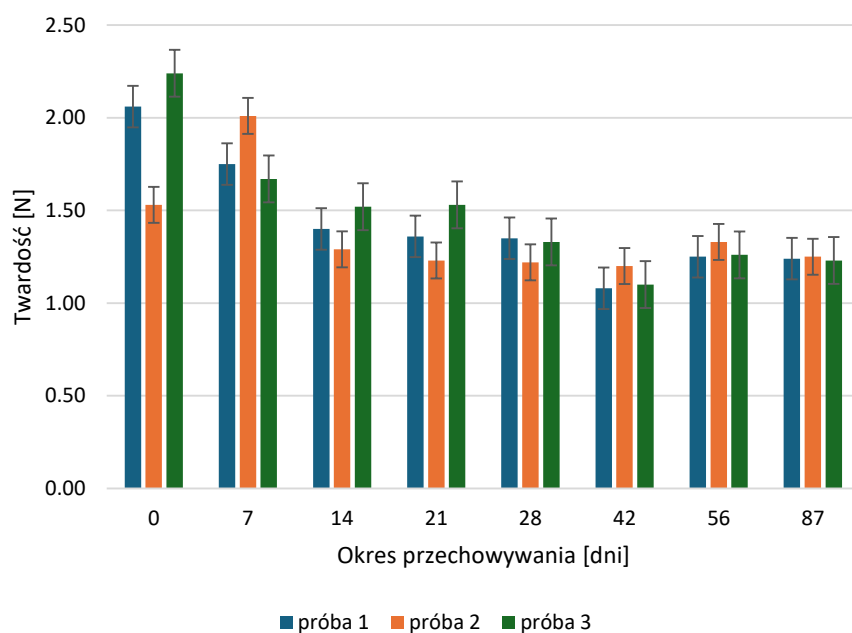


Tabela 13. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru twardości groszku w zależności od czasu przechowywania
Table 13. Statistical analysis of the results of pea hardness measurement depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Twardość (N)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	1,94	0,37	0,14
7	1,81	0,18	0,03
14	1,40	0,12	0,01
21	1,37	0,15	0,02
28	1,30	0,07	0,00
42	1,13	0,06	0,00
56	1,28	0,04	0,00
87	1,24	0,01	0,00

Analiza twardości mrożonego kalafiora (rysunek 4, tabela 14) wykazała istotne zmiany w teksturze surowca, charakteryzujące się nieliniowym spadkiem parametrów mechanicznych. Surowiec zachował pełną stabilność twardości tylko przez pierwsze 7 dni przechowywania, po czym nastąpiła faza degradacji. Takie obniżenie poziomu twardości świadczy o głębokiej destrukcji tkanek. Końcowa stabilizacja twardości na poziomie 1,20 N przy jednoczesnym wzroście odchylenia standardowego sugeruje postępującą niejednorodność strukturalną surowca w końcowej fazie przechowywania.

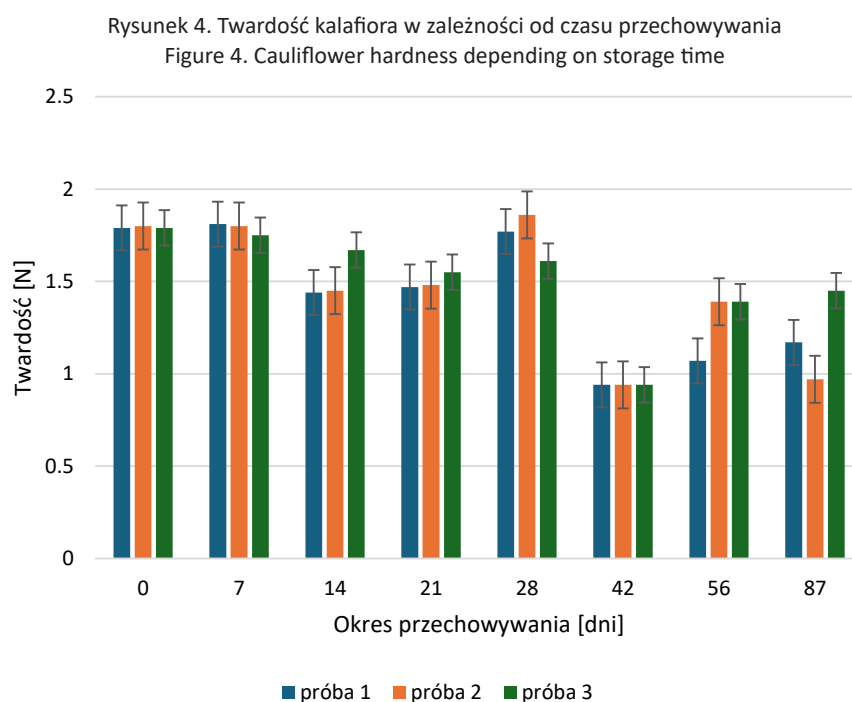


Tabela 14. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru twardości kalafiora w zależności od czasu przechowywania
Table 14. Statistical analysis of cauliflower hardness measurement results depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Twardość (N)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	1,79	0,01	0,00
7	1,79	0,03	0,00
14	1,52	0,13	0,02
21	1,50	0,04	0,00
28	1,75	0,13	0,02
42	0,94	0,00	0,00
56	1,28	0,18	0,03
87	1,20	0,24	0,06

Analiza twardości mrożonego brokułu (rysunek 5, tabela 15) wykazała, że jest on surowcem o najniższej odporności mechanicznej spośród analizowanych warzyw. Twardość w pierwszym dniu badania wyniosła 1,49 N, natomiast w ostatnim 1,22 N. Jednak najniższy wynik twardości, wynoszący 0,93 N, uzyskano już w 21 dniu przechowywania, co wskazuje na szybkie niszczenie tkanek tej rośliny. Nieliniowy przebieg zmian oraz wahania wartości twardości w środkowej fazie przechowywania są wynikiem niejednorodnej budowy morfologicznej brokułu.

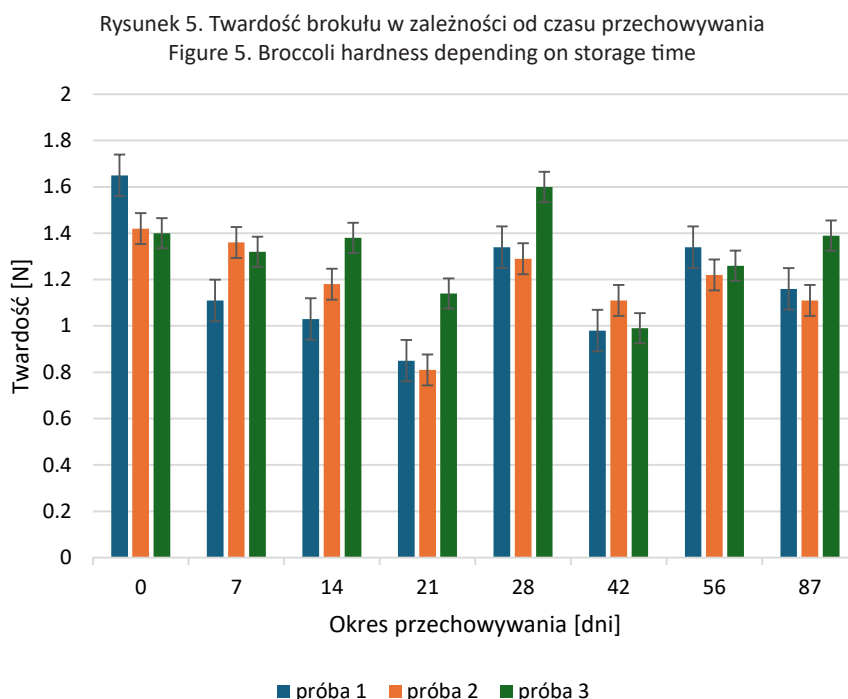


Tabela 15. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru twardości brokołu w zależności od czasu przechowywania
Table 15. Statistical analysis of the results of broccoli hardness measurement depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Twardość (N)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	1,49	0,14	0,02
7	1,26	0,13	0,02
14	1,20	0,18	0,03
21	0,93	0,18	0,03
28	1,41	0,17	0,03
42	1,03	0,07	0,01
56	1,27	0,06	0,00
87	1,22	0,15	0,02

Wyniki analizy tekstury pozwoliły stwierdzić, że okres przechowywania chłodniczego warzyw wpływał na ich siłę cięcia. Im dłuższy był okres przechowywania, tym warzywa charakteryzowały się mniejszą siłą cięcia. Największą twardością spośród badanych warzyw charakteryzowała się fasola – 3,07 N, najmniejszą natomiast marchew kostka – 1,70 N. Analiza wyników badań wykazuje największy spadek twardości fasoli oraz kalafiora. Twardość warzyw nie tylko zależy od metody zamrażania, ale również od ich budowy anatomicznej, dlatego w przypadku kalafiora czy fasoli mogły wystąpić niejednoznaczne wyniki siły cięcia. Ponadto spadek twardości warzyw po ich zamrożeniu związany jest ze zmianami na poziomie komórkowym, spowodowanymi formowaniem się grubokryształicznej struktury lodu podczas powolnego zamrażania i osłabieniem jędrności tkanki. W konsekwencji warzywa po rozmrożeniu tracą duże ilości wody – co można było zaobserwować na podstawie wycieku rozmrażalniczego – i zmieniają swoje pierwotne cechy.

WNIOSKI

Wraz ze wzrostem czasu przechowywania w warunkach chłodniczych zawartość suchej masy w każdym z warzyw różniła się nieznacznie od jej zawartości w próbie świeżej. Największą zawartość suchej masy stwierdzono w mrożonym groszku, średnio 25,94%. Najmniejszą zawartością suchej masy

oraz największą zawartością wody charakteryzował się kalafior. W przypadku większości badanych warzyw zawartość suchej masy nie rośnie ani nie spada w sposób ciągły wraz z upływem czasu.

Stwierdzono niekorzystny wpływ okresu przechowywania chłodniczego na wielkość wycieku rozmrażalniczego warzyw. Wraz z wydłużającym się okresem przechowywania następowało zwiększenie wycieku rozmrażalniczego. Po 87 dniach przechowywania najniższą wartością wycieku rozmrażalniczego charakteryzował się groszek zielony – 18%, podczas gdy najwyższą odnotowano w przypadku marchwi, gdzie ubytek masy sięgał aż 50%. Może to wynikać z różnic w budowie tkanek oraz w zdolności do wiązania wody przez poszczególne warzywa. Konwencjonalna metoda rozmrażania na powietrzu zastosowana w przeprowadzonym badaniu jest szeroko praktykowana z powodów ekonomicznych i użytkowych, jednak wiąże się z wydłużonym czasem rozmrażania, zwiększonym ryzykiem mikrobiologicznym oraz utratą cennych składników odżywczych

Wyniki testów cięcia przeprowadzonych przy użyciu teksturometru dowodzą wpływu okresu przechowywania na zmiany twardości warzyw, objawiające się poprzez spadek siły cięcia. Im dłuższy był okres przechowywania, tym obserwowano mniejszą siłę cięcia w przypadku poszczególnych rodzajów warzyw, co wskazuje na stopniową degradację struktury tkankowej. Zjawisko to jest najczęściej tłumaczone uszkodzeniami wywołanymi przez kryształki lodu oraz zmianami w składzie polisacharydów ściany komórkowej. Największą twardością po 87 dniach przechowywania charakteryzował się groszek i brokuł (1,24 N i 1,22 N), a najmniejszą – marchew (0,95 N).

PIŚMIENNICTWO

- Acheampong R., Osei Tutu C., Akonor P.T., Asiedu B.K., Mahama S., Owusu-Bempah J., Appiadu D., Koranteng A. F., Kumador D.K., Andoh-Odoom A.H., Saalia F.K., 2025. Effect of conventional and emerging thawing technologies on drip loss, microstructure and post-thaw quality of frozen fruits and vegetables: A review. *Appl. Food Res.* 6, 101323. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101323>
- Adamczyk G., 2010. Popularity of „convenience food”. *J. Agribusiness Rural Develop.* 4 (18), 5–13.
- Fang Y., Wakisaka M., 2021. A review on the modified atmosphere preservation of fruits and vegetables with cutting-edge technologies. *Agriculture* 11(10), 992. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100992>
- Gonçalves E.M., Abreu M., Brandão T.R.S., Silva C.L.M., 2011. Degradation kinetics of colour, vitamin C and drip loss in frozen broccoli (*Brassica oleracea* L. ssp. *Italica*) during storage at isothermal and non-isothermal conditions. *Int. J. Refrig.* 34(8), 2136–2144. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2011.06.006>
- Gonçalves E.M., Abreu M., Pinheiro J., Brandão T.R.S., Silva C.L. M., 2020. Quality changes of carrots under different frozen storage conditions: A kinetic study. *J. Food Engin.* 172, 95–103.
- Góral D., Kluza F., Kozłowicz K., 2013. Wybrane właściwości warzyw po obróbce chłodniczej zróżnicowanymi metodami. *Acta Sci. Pol. Tech. Agr.* 12(3-4), 17–26
- Grabowska B., 2020, Ususzka w procesie przechowywania żywności – kontrola wilgotności w chłodniach i mroźniach. *Chłod. Klimat.* 7, 58–62
- Grabowska B., 2014. Mrożenia owoców i warzyw. Cześć I. Normy i przepisy. *Chłod. Klimat.* 37–38, 40–43.
- Grover Y., Negi P., Tiwari. B., 2023. Recent developments in freezing of fruits and vegetables. *J. Food Sci.* 88(12), 5089–5112. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16810>
- Hać-Szymańczuk E., Cegiłka A., Dasiewicz K., 2019. Zmiany jakościowe zachodzące w żywności pod wpływem działania niskiej temperatury. *Chłodnictwo* 54(1), 2–4.
- levinsh G., 2023. Water content of plant tissues: So simple that almost forgotten? *Plant*, 12(6), 1238. <https://doi.org/10.3390/plants12061238>
- Kapusta F., 2017. Rynek warzyw w Polsce i jego powiązania międzynarodowe. *Zesz. Nauk. SGGW Warsz. Probl. Rol. Świat.* 17(2), 93–105.
- Krełowska-Kułas M., 1993. Badanie jakości produktów spożywczych. PWE, Warszawa, 45–55, 250–265.
- Krzysztofik B., Drózd T., Sobol Z., Nawara P., Wrona P., 2015. Metody zabezpieczania i utrwalania surowców oraz produktów żywnościowych – studium przypadku. *Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków.*
- Kubiak M.S., Dolik K., 2017. Instrumentalny test analizy profilu tekstury. *LAB* 22(1), 23–28.
- Kumirska J., Gołębiowski M., Paszkiewicz M., Bychowska A., 2010. Analiza żywności. *Skrypt z ochrony środowiska*, 14–171.
- Li D., Zhu Z., Sun D.-W., 2018. Effects of freezing on cell structure of fresh cellular food materials: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 75, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.019>
- Li L., Pegg R.B., Eitenmiller R.R., Chun J.Y., Kerrihard A.L., 2017. Selected nutrient analyses of fresh, fresh-stored, and frozen fruits and vegetables. *J. Food Compos. Anal.* 59, 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.002>
- Markowska J., 2025a, Jakość mrożonych warzyw dostępnych w krajowym obrocie handlowym w kontekście bezpieczeństwa żywności i akceptacji konsumenckiej. *Przemysł Spożywczy*. DOI: 10.15199/65.2025.11.5

- Markowska J., 2025b. Wpływ dystrybucji na jakość żywności. *Przemysł Spożywczy*. 52–60. <https://doi.org/10.15199/65.2025.7.5>
- Pukszta T., Palich P., 2007. Wpływ warunków przechowywania na zmiany jakości lodów familijnych. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 57(3A), 111–114.
- Riantiningtyas R.R., Dougkas A., Kwiecien C., Carrouel F., Giboreau A., Bredie W.L.P., 2024. A review of assessment methods for measuring individual differences in oral somatosensory perception. *J. Text. Studies* 55(4), e12849. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12849>
- Ruciński A., Stopińska W., 2019. Physicochemical changes and weight loss during freezing. storage and thawing of food products – review of selected issues. *Modern Engin.* 2, 78–87.
- Sawada S., Fukuda M., 2018. The effect of the shape of intracellular ice crystals in frozen vegetables on drip loss after thawing. *Nipp. Shok. Kag. Kog. Kai.* 65 (10), <https://doi.org/10.3136/nskkk.65.463>
- Szucki T., 1998. *Encyklopedia marketingu*. Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa.
- Vicent V., Ndoye F. T., Verboven P., Nicolaï B., Van Impe J., 2020. Modeling ice recrystallization in frozen carrot tissue during storage under dynamic temperature conditions. *J. Food Engin.* 278, 109911. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109911>
- Portalspozywczy.pl, 2026. Hortex: Rynek mrożonek jest perspektywiczny. Konsumenci kupują je 3 razy w miesiącu. <https://www.portalspozywczy.pl/owoce-warzywa/wiadomosci/hortex-rynek-mrozonek-jest-perspektywiczny-konsumenci-kupuja-je-3-razy-w-miesiacu,.136978.html> (dostęp 01.05.2026).
- Wiktor A., Fijałkowska A., Kucko I., Wojnowski M., Królikowski K., Hankus M., Witrowa-Rajchert D., 2015. Zastosowanie przewodności elektrycznej właściwej do oceny przebiegu procesu zamrażania i rozmrażania tkanki roślinnej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 582, 125–135.
- Wu J., Zhang M., Bhandari B., Yang C.-H., 2021. Drip loss control technology of frozen fruits and vegetables during thawing: A review. *Int. Agrophys.* 35(3), 235–250. <https://doi.org/10.31545/intagr/142289>
- Xiao Z., Wang J., Han L., Guo S., Cui Q., 2022. Application of machine vision system in food detection. *Front. Nutr.* 9, 888245. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.888245>

Źródło finansowania badań: Nie uzyskano zewnętrznego finansowania.

Abstract. Frozen vegetable blends have gained in importance in recent years, a trend further highlighted by the COVID-19 pandemic, which has increased the demand for products with a long shelf life while maintaining high nutritional value. The aim of this study was to conduct a physicochemical analysis of selected vegetables (carrots, green peas, cut green beans, cauliflower, and broccoli) that underwent freezing and frozen storage. The samples were stored for a period of 3 months at -30°C. It was demonstrated that storage time did not significantly affect dry matter content compared to fresh produce. However, it was found that over time, textural properties deteriorated (decrease in hardness) and thaw leachate increased, indicating structural changes occurring in plant tissues despite deep-freezing.

Keywords: frozen vegetable blend, physicochemical analysis, texture, defrosting leak

Otrzymano/Received: 4.05.2026

Zaakceptowano/Accepted: 19.06.2026

Opublikowano/Published: 7.07.2026

Cytowanie: Gawdział D., Kozłowicz K., Maj G., Klimek K.E., Kaptan M., 2026. Ocena jakościowa mrożonej mieszanki warzywnej przechowywanej w warunkach chłodniczych. *Ann. Hortic.* 35(1), 65–78. <https://doi.org/10.24326/ah.2026.5692>