

**Tomasz Pukszta**

Akademia Morska w Gdyni

e-mail: t.pukszta@wpit.am.gdynia.pl

---

## WPLYW FLUKTUACJI TEMPERATURY PRZECHOWYWANIA NA POZIOM ZMIAN JAKOŚCI ZAMROŻONEGO GROSZKU ZIELONEGO

---

**Streszczenie:** Celem badań była weryfikacja hipotezy zerowej: poziomy badanych cech w czasie przechowywania groszku zielonego kształtowały się jako średnia arytmetyczna poziomów tych cech uzyskiwanych w warunkach skrajnych. Oznaczono zawartość barwników chlorofilowych i witaminy C, kwasowość czynną i ogólną, wyciek rozmrażalniczy, w groszku zielonym przechowywanym w temperaturze stałej:  $-18^{\circ}\text{C}$  i  $-25^{\circ}\text{C}$ , oraz zmiennej:  $-18^{\circ}\text{C}/-25^{\circ}\text{C}$ , z 48 godzinnym cyklem zmiany. Weryfikacja hipotezy zerowej wykazała, że wartości badanych cech nie były równe wypadkowej poziomów uzyskiwanych w warunkach skrajnych i w przypadku większości badanych wyróżników jakości w znacznym stopniu odbiegały od założonych wartości hipotetycznych.

**Słowa kluczowe:** zamrożone warzywa, groszek zielony, fluktuacja temperatury.

DOI: 10.15611/nit.2014.3.07

### 1. Wstęp

Procesy mrożenia i przechowywania groszku zielonego w stanie zamrożonym powodują przemiany prowadzące do:

- obniżenia wartości sensorycznej wskutek częściowej degradacji barwników chlorofilowych, zbrunatnienia i zmian substancji smakowo-zapachowych,
- zmiany struktury komórkowej i tkankowej produktów, powodującej obniżenie zdolności do utrzymywania wody,
- zmiany wartości odżywczej w wyniku obniżania się zawartości witaminy C.

Tempo zachodzenia tych przemian determinowane jest między innymi czasem i stałością temperatury przechowywania produktu [Pukszta, Palich 2006].

Według zaleceń Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 września 2003 roku w sprawie szczegółowych wymagań w zakresie składowa-

nia i transportu głęboko mrożonych artykułów rolno-spożywczych głęboko mrożone artykuły rolno-spożywcze powinny być transportowane i przechowywane w stałej temperaturze, nie wyższej niż  $-18^{\circ}\text{C}$ . Rozporządzenie ministra dopuszcza jednak podwyższenie temperatury mrozonek, nie więcej niż o  $3^{\circ}\text{C}$ , tylko podczas wykonywania czynności załadunku i wyładunku w transporcie. Wynika z tego, że wymienione rozporządzenie nie dopuszcza fluktuacji temperatury w czasie przechowywania mrozonek. Fluktuację taką dopuszcza natomiast norma PN-83/A-07005/Az7:1999. *Towary żywnościowe. Warunki klimatyczne i okresy przechowywania w chłodniach*, ale tylko na poziomie  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  [Krała, Gałązka-Czarnecka, Irzyniec 2010].

Podstawowym elementem modelowego ujęcia zagadnienia prognozowania jakości produktów w czasie ich przechowywania w zróżnicowanych temperaturach jest określenie wpływu ich fluktuacji na poziom jakości badanych warzyw. Fluktuacja temperatur może wynikać z różnych przyczyn. W stosunku do mrożonych warzyw mogą być one efektem oddziaływania łańcucha chłodniczego, szczególnie podczas transportu i dystrybucji oraz warunków przechowywania produktu przed jego konsumpcją. Zastosowany model pozwala na ocenę wpływu fluktuacji na wielkość analizowanych cech w otoczeniu wartości średnich. Gdy liczba oddziałujących na siebie obiektów, w badanym produkcie – liczba zmian temperatur, byłaby duża, np.: rzędu liczby Avogadra, wówczas odstępstwa od średnich, wynikające z fluktuacji, byłyby małe.

W takim wypadku opis kinetyki za pomocą modelu deterministycznego byłby uzasadniony. Jednak kiedy liczba fluktuacji temperatury jest niewielka, odgrywa ona zasadniczą rolę w analizie układu. Nawet gdyby założono, że liczba obiektów, czyli wahań temperatury, byłaby stała, wówczas wzajemne oddziaływanie ich poziomów powinno przybierać charakter statystyczny, co uniemożliwiłoby zastosowanie modelu deterministycznego.

## 2. Cel badań

Celem podjętych badań była ocena poziomu zmian jakości zamrożonych warzyw przechowywanych w warunkach fluktuacji temperatury oraz weryfikacja hipotezy zerowej: zmiany jakości produktów przechowywanych w warunkach fluktuacji temperatury są równe hipotetycznym zmianom stanowiącym średnią arytmetyczną zmian zachodzących w produktach przechowywanych w temperaturach stałych, będących skrajnymi wartościami temperaturowymi fluktuacji.

## 3. Materiał i metody badań

### 3.1. Materiał badawczy

Materiał badawczy stanowił groszek zielony zamrożony metodą owiewową w temperaturze  $-30^{\circ}\text{C}$ , w zamrażalni w Gronowie Górnym koło Elbląga. Przed zamro-

żeniem groszku przeprowadzono proces blanszowania w temperaturze 98°C przez 2 minuty. Zamrożone warzywa przewieziono w opakowaniach transportowych, w trójwarstwowych workach papierowych wyłożonych folią polietylenową, do laboratorium Akademii Morskiej w Gdyni, gdzie zostały przeniesione do stosowanych powszechnie w dystrybucji detalicznej woreczków polietylenowych, zawierających około 500 g produktu. Odważanie, pakowanie i zgrzewanie opakowań detalicznych odbywało się w temperaturze pokojowej i trwało około 3 minut.

Materiał doświadczalny podzielono na trzy części, stanowiące następujące warianty przechowalnicze: wariant A – materiał przechowywano w zamrażarce komorowej w temperaturze stałej –18°C, wariant B – materiał przechowywano w zamrażarce komorowej w temperaturze stałej –25°C, wariant C – materiał przechowywano w zamrażarce komorowej w temperaturze zmiennej –18°C/–25°C z 48-godzinnym cyklem zmian.

### 3.2. Metody badań

Materiał doświadczalny przechowywano przez 24 tygodnie i poddawano ocenie fizykochemicznej przed przechowywaniem i w cyklach czterotygodniowych w czasie przechowywania.

Przed wykonaniem oznaczeń, z wyjątkiem wielkości wycieku rozmrażalniczego, zamrożony groszek zielony rozmrażano w temperaturze pokojowej.

Ocenę fizykochemiczną zamrożonego groszku zielonego wykonano na podstawie oznaczeń zawartości barwników chlorofilowych metodą Vernona [Michałowski (red.) 1995], kwasowości czynnej według PN-A-75101/06:1990, kwasowości ogólnej według PN-A-75101/04:1990, wielkości wycieku rozmrażalniczego [Jarczyk i in. 1986], zawartości witaminy C metodą spektrofotometryczną według PN-A-04019:1998.

Opracowując wskaźnik określający zmiany wywołane fluktuacją temperatury przechowywania, założono, że zmiany jakości produktów przechowywanych w warunkach fluktuacji temperatury są równe hipotetycznym zmianom stanowiącym średnią arytmetyczną zmian, jakie zachodzą w produktach przechowywanych w temperaturach stałych, będących skrajnymi temperaturami fluktuacji. Model pozwalający na zweryfikowanie przyjętego założenia określającego średni przyrost zmiany jakościowej ( $P\%$ ) wywołany wpływem fluktuacji temperatury ustalono na podstawie zależności opisanej równaniem [Palich, Ociecek 2003]:

$$P\% = \frac{1}{n} \sum R, \quad (1)$$

gdzie:  $P\%$  – wskaźnik poziomu zmian wywołanych fluktuacją, określający średni przyrost zmiany jakościowej,

$n$  – liczebność zbiorowości próby,

$R$  – względna różnica między wartością rzeczywistą a hipotetyczną cechy (%);

$$R = 100 - \left( \frac{Z}{M} \cdot 100 \right), \quad (2)$$

gdzie:  $Z$  – rzeczywisty poziom cechy dla temperatury zmiennej,  
 $M$  – hipotetyczny średni poziom cechy dla temperatury zmiennej;

$$M = 0,5 \cdot (C_W + C_N), \quad (3)$$

gdzie:  $C_W$  – poziom cechy w temperaturze wyższej,  
 $C_N$  – poziom cechy w temperaturze niższej.

#### 4. Omówienie wyników

Wyniki badań dotyczących zmian zawartości barwników chlorofilowych w mrożonym groszku zielonym przechowywanym w różnych wariantach temperaturowych przedstawione zostały w tab. 1.

Analiza uzyskanych wyników wykazała, że degradacja tego barwnika w poszczególnych wariantach temperaturowych zachodziła ze zróżnicowaną dynamiką. Najwyższą dynamiką destrukcji chlorofilu charakteryzowały się warzywa przechowywane w warunkach fluktuacji temperatury, a najniższą przechowywane w temperaturze stałej  $-25^{\circ}\text{C}$ . Po dwudziestu czterech tygodniach przechowywania zawartość tego barwnika w przechowywanym, zamrożonym groszku zielonym obniżyła się o około 12% w temperaturze stałej  $-25^{\circ}\text{C}$ , około 45% w  $-18^{\circ}\text{C}$  i około 52% w temperaturze zmiennej (tab. 1).

Spośród barwników naturalnych występujących w warzywach chlorofile są najmniej stabilne. Podczas utrwalania i przechowywania zielonych warzyw barwniki chlorofilowe przekształcają się w feofityny i feoforbidy. Kierunek i zakres przemian zależą głównie od pH środowiska. Barwniki chlorofilowe ulegają nieodwracalnym przemianom pod wpływem kwasów i zasad, ale struktura i właściwości produktów degradacji są w obydwu przypadkach różne. Pod wpływem działania słabych kwasów zachodzi konwersja do oliwkowozielonej feofityny poprzez uwolnienie magnezu z cząsteczki chlorofilu i przyłączenie wodorów. Działanie mocnych kwasów, oprócz uwolnienia cząsteczki chlorofilu, powoduje odszczepienie grupy fitynowej i powstanie brunatnych feoforbidów. Feoforbidy powstają z chlorofilidów w środowisku słabych kwasów lub z feofityny w środowisku mocnych kwasów. W środowisku zasadowym zachodzi hydroliza wiązań estrowych bez usunięcia magnezu. Powstające chlorofiliny zachowują zieloną, naturalną barwę [Michałowski (red.) 1995; Sikorski (red.) 2007].

Równocześnie z określaniem zawartości chlorofilu w materiale badawczym oznaczano wartości pH. W niniejszych badaniach stwierdzono obniżanie się pH, co mogło spowodować przyspieszenie reakcji destrukcji barwników chlorofilowych w przechowywanych warzywach.

**Tabela 1.** Zawartość barwników chlorofilowych w zamrożonym groszku zielonym w zależności od czasu i temperatury przechowywania**Table 1.** The content of chlorophyll pigments in the frozen pea green depending on the time and temperature of storage

Czas przechowywania (tygodnie)	Zawartość barwników chlorofilowych (mg/100 g)											
	temperatura przechowywania											
	-18°C			-25°C			-18°C/-25°C					
	$Y_{sr}$	$\Delta\%$	$Se(Y)$	$Y_{sr}$	$\Delta\%$	$Se(Y)$	$Y_{sr}$	$\Delta\%$	$Se(Y)$	$M$	$R$	$P\%$
	zawartość barwników chlorofilowych przed przechowywaniem 14,60 mg/100 g											
4	12,03	17,6	0,416	13,90	4,8	0,755	13,03	10,8	0,493	12,97	-0,50	17,38
8	9,80	32,9	0,819	13,60	6,8	0,656	11,90	18,5	0,436	11,70	-1,71	
12	8,90	39,0	0,608	13,23	9,4	0,702	9,00	38,4	1,353	11,07	18,66	
16	8,67	40,6	0,569	13,10	10,3	0,624	8,10	44,5	0,721	10,89	25,59	
20	8,20	43,8	0,436	13,03	10,8	0,569	7,50	48,6	0,781	10,62	29,35	
24	8,00	45,2	0,557	12,87	11,8	0,586	7,00	52,1	0,557	10,44	32,92	

$Y_{sr}$  – średnia arytmetyczna  $n = 9$ ,  $\Delta\%$  – procentowa zmiana poziomu badanej cechy w stosunku do poziomu wyjściowego,  $Se(Y)$  – odchylenie standardowe,  $M$  – hipotetyczny średni poziom cechy dla temperatury zmiennej,  $R$  – względna różnica między wartością rzeczywistą a hipotetyczną cechy (%),  $P\%$  – wskaźnik poziomu zmian wywołanych fluktuacją, określający średni przyrost zmiany jakościowej.

Źródło: badania i obliczenia własne.

Source: research and own calculations.

Jednym z istotnych kryteriów oceny jakości produktów spożywczych jest ich kwasowość. Oznaczać można ją jako ilość związków o charakterze kwaśnym, powstających w wyniku dysocjacji elektrolitycznej, podlegających zobojętnieniu poprzez miareczkowanie zasadą lub pehametrycznie jako stężenie jonów wodorowych. W ocenie groszku zielonego miernikiem jakości mogą być zarówno zmiany kwasowości ogólnej, jak i pH [Michałowski (red.) 1995].

Przebieg zmian kwasowości czynnej i ogólnej podczas przechowywania zamrożonego groszku zielonego przedstawiono w tab. 2 i 3.

Kwasowość czynna wykazała obniżanie się wartości pH produktu przechowywanego w temperaturze zmiennej oraz stałej  $-18^{\circ}\text{C}$  i  $-25^{\circ}\text{C}$  (tab. 2). Stężenie jonów wodorowych warzyw składowanych w warunkach fluktuacji temperatury, po pierwszych czterech tygodniach, wzrosło o 0,3% natomiast składowanych w temperaturze stałej  $-18^{\circ}\text{C}$  i  $-25^{\circ}\text{C}$  o 0,1%. Po dwudziestu czterech tygodniach przechowywania stwierdzono, w odniesieniu do pH wyjściowego, dalsze obniżanie wartości pH. Najmniejszą dynamiką zmian wartości pH w całym okresie przechowywania charakteryzował się groszek zielony składowany w temperaturze stałej  $-25^{\circ}\text{C}$ . W końcowym okresie badań wartość ta obniżyła się o 1%, z pH 7,06 do 6,99 (tab. 2).

**Tabela 2.** Kwasowość czynna zamrożonego groszku zielonego w zależności od czasu i temperatury przechowywania**Table 2.** The acidity of frozen green peas active depending on the time and temperature of storage

Czas przechowywania (tygodnie)	Kwasowość czynna [pH]											
	temperatura przechowywania											
	-18°C			-25°C			-18°C/-25°C					
	$Y_{sr}$	$\Delta\%$	$Se(Y)$	$Y_{sr}$	$\Delta\%$	$Se(Y)$	$Y_{sr}$	$\Delta\%$	$Se(Y)$	$M$	$R$	$P\%$
	kwasowość czynna przed przechowywaniem 7,06											
4	7,05	0,1	0,026	7,05	0,1	0,036	7,04	0,3	0,029	7,05	0,14	0,33
8	7,04	0,3	0,021	7,05	0,1	0,029	7,03	0,4	0,021	7,05	0,21	
12	7,03	0,4	0,017	7,04	0,3	0,020	7,01	0,7	0,025	7,04	0,36	
16	7,02	0,6	0,021	7,04	0,3	0,021	7,00	0,8	0,026	7,03	0,43	
20	7,00	0,9	0,017	7,02	0,6	0,025	6,98	1,1	0,036	7,01	0,43	
24	6,93	1,8	0,044	6,99	1,0	0,031	6,93	1,8	0,040	6,96	0,43	

$Y_{sr}$  – średnia arytmetyczna  $n = 9$ ,  $\Delta\%$  – procentowa zmiana poziomu badanej cechy w stosunku do poziomu wyjściowego,  $Se(Y)$  – odchylenie standardowe,  $M$  – hipotetyczny średni poziom cechy dla temperatury zmiennej,  $R$  – względna różnica między wartością rzeczywistą a hipotetyczną cechy (%),  $P\%$  – wskaźnik poziomu zmian wywołanych fluktuacją, określający średni przyrost zmiany jakościowej.

Źródło: badania i obliczenia własne.

Source: research and own calculations.

**Tabela 3.** Kwasowość ogólna zamrożonego groszku zielonego w zależności od czasu i temperatury przechowywania**Table 3.** The total acidity of frozen green peas, depending on the time and temperature of storage

Czas przechowywania (tygodnie)	Kwasowość ogólna (g kwasu szczawiowego/100 g produktu)											
	temperatura przechowywania											
	-18°C			-25°C			-18°C/-25°C					
	$Y_{sr}$	$\Delta\%$	$Se(Y)$	$Y_{sr}$	$\Delta\%$	$Se(Y)$	$Y_{sr}$	$\Delta\%$	$Se(Y)$	$M$	$R$	$P\%$
	kwasowość ogólna przed przechowywaniem 0,1195 g/100 g											
4	0,1304	9,1	0,0007	0,1243	4,0	0,0006	0,1304	9,1	0,0007	0,1274	-2,3950	-6,62
8	0,1352	13,1	0,0013	0,1285	7,5	0,0011	0,1403	17,4	0,0010	0,1319	-6,4088	
12	0,1384	15,8	0,0009	0,1317	10,2	0,0005	0,1421	18,9	0,0008	0,1351	-5,2203	
16	0,1395	16,7	0,0010	0,1350	13,0	0,0008	0,1477	23,6	0,0008	0,1373	-7,6138	
20	0,1410	18,0	0,0008	0,1355	13,4	0,0006	0,1502	25,7	0,0010	0,1383	-8,6438	
24	0,1473	23,3	0,0008	0,1374	15,0	0,0006	0,1588	30,4	0,0009	0,1424	-9,4485	

$Y_{sr}$  – średnia arytmetyczna  $n = 9$ ,  $D\%$  – procentowa zmiana poziomu badanej cechy w stosunku do poziomu wyjściowego,  $Se(Y)$  – odchylenie standardowe,  $M$  – hipotetyczny średni poziom cechy dla temperatury zmiennej,  $R$  – względna różnica między wartością rzeczywistą a hipotetyczną cechy (%),  $P\%$  – wskaźnik poziomu zmian wywołanych fluktuacją, określający średni przyrost zmiany jakościowej.

Źródło: badania i obliczenia własne.

Source: research and own calculations.

Natomiast kwasowość ogólna zamrożonego groszku zielonego, przechowywanego w warunkach fluktuacji, po pierwszych czterech tygodniach przechowywania wzrosła o około 9%. W produkcie składowanym w temperaturze stałej  $-18^{\circ}\text{C}$  i  $-25^{\circ}\text{C}$  wzrost ten wynosił odpowiednio około 9% i 4%. Po upływie dwudziestu czterech tygodni przechowywania kwasowość ogólna wzrosła odpowiednio o około 30%, 23% i 15% (tab. 3).

Zmiany kwasowości w trakcie przechowywania groszku zielonego powiązane są ze wzrostem stężenia soli organicznych i nieorganicznych w wodzie niewymrożonej. Sole te mogą się wytrącać, zmieniając kwasowość środowiska. Kwasy organiczne oraz ich sole tworzą naturalne roztwory buforowe. W momencie wytrącenia się określonych soli roztwór buforowy może zmniejszyć swą pojemność i częściowo lub całkowicie utracić swoją zdolność buforowania. Pod wpływem kwasów organicznych mogła również wystąpić częściowa hydroliza pektyn i uwalnianie aktywnych grup kwasu galakturonowego, będącego podstawowym składnikiem tych wielocukrów. W niskich temperaturach procesy te zachodzą w nieznacznym stopniu, mogły się jednak przyczynić do wzrostu kwasowości przechowywanych produktów [Sikorski (red.) 2007].

W czasie przechowywania zamrożonego groszku zielonego następuje również naruszenie struktury komórkowej i tkankowej, co objawia się wyciekami rozmrażalniczym podczas rozmrażania.

Wielkości wycieku rozmrażalniczego zamrożonego groszku zielonego w zależności od czasu i temperatury przechowywania przedstawiono w tab. 4.

Uzyskane wyniki wskazują na stały wzrost wielkości wycieku rozmrażalniczego wraz z czasem przechowywania. Największą dynamiką wzrostu wycieku rozmrażalniczego charakteryzował się groszek zielony przechowywany w warunkach fluktuacji temperatury, najmniejszą zaś w temperaturze stałej  $-25^{\circ}\text{C}$  (tab. 4).

Wyciek rozmrażalniczy powstaje w wyniku zjawiska zmiany układu krystalicznego, wynikającej z sublimacji mniejszych kryształków lodu i przepływu pary wodnej w kierunku kryształów większych pod wpływem różnicy ciśnień cząsteczkowych. Wpływa to na zwiększenie średnich wymiarów kryształów, prowadząc do obniżenia jakości przechowywanego produktu. Stały wzrost kryształów lodu jest przyczyną systematycznego niszczenia ścian komórkowych i zwiększenia wycieku rozmrażalniczego. Zjawisko rekrytalizacji potęgowane jest fluktuacją temperatury przechowywania. Rekrytalizacja zachodzi nawet w produktach przechowywanych przy względnie stałej temperaturze, ale jej rozmiary są wówczas znikome i zależne od czasu oraz temperatury przechowywania [Puksza, Palich 2006].

Jednym z kierunków prowadzących do obniżenia jakości zamrożonych produktów roślinnych jest zmiana wartości odżywczej wskutek obniżania się zawartości witaminy C. Witamina ta pełni istotną rolę w żywieniu człowieka, a ponadto przyjmowana jest za miarę zachowania pozostałych mikroskładników w produktach owocowo-warzywnych w czasie przechowywania [Michałowski (red.) 1995; Puksza 2009].



**Tabela 4.** Wyciek rozmrażalniczy zamrożonego groszku zielonego w zależności od czasu i temperatury przechowywania**Table 4.** Leakage of thawing frozen green peas depending on the time and temperature of storage

Czas przechowywania (tygodnie)	Wielkość wycieku lejkowego (cm <sup>3</sup> /100 g)											
	temperatura przechowywania											
	-18°C			-25°C			-18°C/-25°C					
	$Y_{sr}$	$\Delta\%$	$Se(Y)$	$Y_{sr}$	$\Delta\%$	$Se(Y)$	$Y_{sr}$	$\Delta\%$	$Se(Y)$	$M$	$R$	$P\%$
	wielkość wycieku rozmrażalniczego przed przechowywaniem 0,60 cm <sup>3</sup> /100 g											
4	1,20	100,0	0,265	1,00	66,7	0,265	2,00	233,3	0,436	1,10	-81,82	-71,14
8	3,50	483,3	0,361	1,70	183,3	0,361	4,40	633,3	0,458	1,80	-33,33	
12	5,90	883,3	0,265	2,60	333,3	0,529	7,40	1133,3	0,557	4,25	-74,12	
16	7,50	1150,0	0,361	3,10	416,7	0,346	9,80	1533,3	1,127	4,90	-79,59	
20	9,50	1483,3	0,529	4,60	666,7	0,608	12,90	2050,0	1,044	7,05	-82,98	
24	11,90	1883,3	0,681	5,70	850,0	0,436	15,40	2466,7	0,624	8,80	-75,00	

$Y_{sr}$  – średnia arytmetyczna  $n = 9$ ,  $D\%$  – procentowa zmiana poziomu badanej cechy w stosunku do poziomu wyjściowego,  $Se(Y)$  – odchylenie standardowe,  $M$  – hipotetyczny średni poziom cechy dla temperatury zmiennej,  $R$  – względna różnica między wartością rzeczywistą a hipotetyczną cechy (%),  $P\%$  – wskaźnik poziomu zmian wywołanych fluktuacją, określający średni przyrost zmiany jakościowej.

Źródło: badania i obliczenia własne.

Source: research and own calculations.

**Tabela 5.** Zawartość witaminy C w zamrożonym groszku zielonym w zależności od czasu i temperatury przechowywania**Table 5.** The content of vitamin C in a frozen pea green depending on the time and temperature of storage

Czas przechowywania (tygodnie)	Zawartość witaminy C (mg/100 g)											
	temperatura przechowywania											
	-18°C			-25°C			-18°C/-25°C					
	$Y_{sr}$	$D\%$	$Se(Y)$	$Y_{sr}$	$D\%$	$Se(Y)$	$Y_{sr}$	$D\%$	$Se(Y)$	$M$	$R$	$P\%$
	zawartość witaminy C przed przechowywaniem 20,08 mg/100 g											
4	19,24	4,2	0,851	19,37	3,5	0,537	19,06	5,1	0,377	19,31	1,27	11,20
8	17,97	10,5	0,687	19,06	5,1	0,563	17,82	11,3	0,753	18,52	3,75	
12	16,92	15,7	0,733	18,41	8,3	0,745	16,57	17,5	0,660	17,67	6,20	
16	15,86	21,0	0,718	17,38	13,4	0,546	14,93	25,6	0,468	16,62	10,17	
20	14,95	25,5	0,855	16,06	20,0	0,950	12,31	38,7	1,018	15,51	20,61	
24	13,90	30,8	0,619	15,40	23,3	0,544	10,96	45,4	0,794	14,65	25,19	

$Y_{sr}$  – średnia arytmetyczna  $n = 9$ ,  $D\%$  – procentowa zmiana poziomu badanej cechy w stosunku do poziomu wyjściowego,  $Se(Y)$  – odchylenie standardowe,  $M$  – hipotetyczny średni poziom cechy dla temperatury zmiennej,  $R$  – względna różnica między wartością rzeczywistą a hipotetyczną cechy (%),  $P\%$  – wskaźnik poziomu zmian wywołanych fluktuacją, określający średni przyrost zmiany jakościowej.

Źródło: badania i obliczenia własne.

Source: research and own calculations.



Zmiany zawartości witaminy C w zamrożonym groszku zielonym przedstawiono w tab. 5.

W czasie przechowywania zamrożonego groszku zielonego we wszystkich wariantach temperaturowych stwierdzono stałe obniżanie się zawartości witaminy C. Jednak dynamika zmian tego wskaźnika była różna w zależności od wariantu przechowalniczego. Największą dynamiką zmian zawartości kwasu l-askorbinowego wykazywały produkty przechowywane w warunkach temperatury zmiennej, w których po dwudziestu czterech tygodniach przechowywania zawartość witaminy C obniżyła się o około 45%. Natomiast w temperaturach stałych  $-25^{\circ}\text{C}$  i  $-18^{\circ}\text{C}$  po tym samym okresie przechowywania obniżenie się zawartości witaminy C kształtowało się odpowiednio na poziomie około 23% i 30% (tab. 5).

Zasadniczymi kierunkami przemian witaminy C są procesy utleniania oraz destrukcyjne działanie określonych enzymów. Jednak przeprowadzony proces blanszowania groszku przed zamrażaniem ogranicza rolę enzymów w degradacji witaminy C. Oddziaływanie czynników powodujących destrukcję kwasu l-askorbinowego znacznie nasila się w warunkach fluktuacji temperatury przechowywania, co znalazło potwierdzenie w wynikach uzyskanych w doświadczeniu. Stwierdzono ponadto, że fluktuacja temperatury przechowywania zamrożonych produktów znacznie wzmacnia ich ususzkę. Była ona prawdopodobnie wynikiem powierzchniowej sublimacji lodu, która wobec ograniczonej migracji wody w produkcie prowadzi do powstania silnie odwodnionej warstwy o porowatej strukturze. Wsublimowany lód zostaje zastąpiony przez powietrze, co przy silnej rozwiniętej powierzchni warstwy porowatej prowadzi nieuchronnie do wzmożenia procesów utleniania, m.in. kwasu l-askorbinowego [Puksza 2009]. Podwyższenie temperatury z  $-25^{\circ}\text{C}$  do  $-18^{\circ}\text{C}$ , jakiemu podlegał groszek zielony przechowywany w warunkach fluktuacji temperatury, przyczyniło się do wzrostu szybkości reakcji powodujących degradację witaminy C. Według Muñoz-Delgado [Muñoz-Delgado 1978] podwyższenie temperatury przechowywania o  $10^{\circ}\text{C}$  (z  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $-10^{\circ}\text{C}$ ) powoduje 3,5-, 6-krotny wzrost prędkości reakcji odpowiedzialnych za degradację witaminy C. Potwierdzenie tej tezy znalazło odbicie w obniżeniu zawartości kwasu l-askorbinowego, stwierdzonym w zamrożonym groszku zielonym przechowywanym w zmiennej temperaturze, oraz w znacznie niższym tempie degradacji witaminy C w temperaturze stałej, szczególnie w  $-25^{\circ}\text{C}$  (tab.5). Obniżenie temperatury przechowywania ma bowiem bezpośredni wpływ na zwolnienie tempa przebiegu procesów odpowiedzialnych za degradację witamin [Klimczak, Irzyniec 1997].

Przeprowadzone badania wykazały także, iż z punktu widzenia jakości produktu korzystniejsze jest jego przechowywanie w skrajnej wyższej temperaturze stałej  $-18^{\circ}\text{C}$  niż w warunkach fluktuacji temperatury  $-18^{\circ}\text{C}/-25^{\circ}\text{C}$ . Poziom zachodzących przemian w groszku zielonym przechowywanym w temperaturze  $-18^{\circ}\text{C}$  był niższy niż w warzywach składowanych w temperaturze zmiennej  $-18^{\circ}\text{C}/-25^{\circ}\text{C}$  (tab. 1, 2, 3, 4, 5).

Wpływ fluktuacji temperatury na kierunek i zakres zmian badanych wyróżników jakości analizowano na podstawie wartości i znaków wskaźnika poziomu zmian wy-

wołanych fluktuacją  $P\%$ . Hipoteza zerowa stanowiła, że zmiany jakości produktów przechowywanych w warunkach fluktuacji temperatury są równe hipotetycznym zmianom stanowiącym średnią arytmetyczną zmian zachodzących w produktach przechowywanych w temperaturach stałych, będących skrajnymi wartościami temperaturowymi fluktuacji. Przy takich założeniach wskaźnik  $P\%$  przyjmował niskie wartości liczbowe ( $P < 10$ ) w przypadku, gdy różnica między wartościami hipotetycznymi a rzeczywistymi była nieznaczna. Znak wskaźnika  $P\%$  był uzależniony od odchylenia wartości rzeczywistych od hipotetycznych. Gdy wartości rzeczywiste odchodziły się w kierunku wyższego parametru skrajnego, wskaźnik poziomu zmian powodowanych fluktuacją  $P\%$  miał znak ujemny.

Weryfikacja hipotezy zerowej wykazała, że wartości badanych cech (tab. 1, 2, 3, 4, 5) nie były równe wypadkowej poziomów uzyskiwanych w warunkach skrajnych i w przypadku większości badanych wyróżników jakości w znacznym stopniu odbiegały od założonych wartości hipotetycznych.

Pomiar wskaźnika  $P\%$  dla zmian zawartości barwników chlorofilowych, witaminy C oraz wielkości wycieku rozmrażalniczego, wywołanych fluktuacją temperatury, wykazał wyraźną intensyfikację tych procesów (tab. 1, 4, 5).

W przypadku kwasowości czynnej i ogólnej stwierdzono niewielkie odchylenia wartości rzeczywistych od hipotetycznych, świadczące o negatywnym wpływie fluktuacji temperatury na zmiany tych wyróżników jakości (tab. 2, 3). Ponadto ujemny znak przy wartości wskaźnika  $P\%$  dla zmian kwasowości ogólnej i wielkości wycieku rozmrażalniczego świadczy o odchyleniu wartości rzeczywistych uzyskanych przy fluktuacji temperatury w kierunku wartości uzyskanych podczas przechowywania groszku zielonego w temperaturze skrajnej wyższej, to jest  $-18^{\circ}\text{C}$  (tab. 3, 4).

Uwzględnienie istnienia fluktuacji parametrów w badanym układzie kinetycznym, a co za tym idzie – zastosowanie modelu statystycznego, pozwoliło na negatywną weryfikację hipotezy zerowej, zakładającej, że zmiany jakości zamrożonego groszku zielonego przechowywanego w warunkach fluktuacji temperatury są równe hipotetycznym zmianom stanowiącym średnią arytmetyczną zmian zachodzących w produkcie przechowywanym w temperaturach stałych, będących skrajnymi wartościami temperaturowymi fluktuacji.

## 5. Wnioski

1. Zmiany jakości zamrożonego groszku zielonego przechowywanego w warunkach fluktuacji temperatury nie są równe hipotetycznym zmianom stanowiącym średnią arytmetyczną zmian zachodzących w produktach przechowywanych w temperaturach stałych, będących skrajnymi wartościami temperaturowymi fluktuacji.

2. Uwzględniając jakość zamrożonego groszku zielonego, stwierdzić należy, że korzystniejsze jest przechowywanie go w temperaturze skrajnej wyższej, czyli  $-18^{\circ}\text{C}$ , niż w temperaturze zmiennej  $-18^{\circ}\text{C}/-25^{\circ}\text{C}$ .

## Literatura

- Jarczyk A., Bekas W., Szumańska L., Matuszewska U., 1986, *Porównanie jakości malin i truskawek mrożonych dwutlenkiem węgla i owiewową*, „Chłodnictwo”, nr , s. 9-12.
- Klimczak J., Irzyniec Z., 1997, *Wpływ temperatury na szybkość rozkładu witaminy C w blanszowanej kapuście brukselskiej podczas zamrażalniczego przechowywania*, „Chłodnictwo”, nr 32, s. 37-40.
- Krala L., Gałązka-Czarnecka I., Irzyniec Z., 2010, *Wrażliwość wiśni mrożonych na fluktuację temperatury składowania*, „Chłodnictwo”, nr 5, s. 50-55.
- Michałowski S. (red.), 1995, *Technologia chłodnictwa żywności. Składniki pokarmowe i kontrola ich przemian*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź.
- Muñoz-Delgado J.A., 1978, *Effects of freezing, storage and distribution on quality and nutritive attributes of foods, in particular of fruit and vegetables*, [w:] W.K. Downey (ed.), *Quality and Nutrition*, Appl. Sci. Publish. Ltd. Essex.
- PN-A-04019:1998. *Produkty spożywcze. Oznaczanie zawartości witaminy C.*
- PN-A-75101/04:1990. *Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych. Oznaczanie kwasowości ogólnej.*
- PN-A-75101/06:1990. *Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych. Oznaczanie pH metodą potencjometryczną.*
- PN-83/A-07005/Az7:1999. *Towary żywnościowe. Warunki klimatyczne i okresy przechowywania w chłodniach.*
- Palich P., Ociczek A., 2003, *Ocena poziomu zmian jakościowych w wyrobach makaronowych wywołanych fluktuacją temperatury*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 48, s. 135-141.
- Puksza T., 2009, *Zmiany wartości odżywczej zamrożonych warzyw w czasie przechowywania*, „Chłodnictwo”, nr 11, s. 44-46.
- Puksza T., Palich P., 2006, *The effect of freezing conditions of leek storage on the level of thawing effluent*, „Acta Agrophysica”, vol. 7, nr 1, s. 191-196.
- Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 września 2003 roku w sprawie szczególnych wymagań w zakresie składowania i transportu głęboko mrożonych artykułów rolno-spożywczych, Dz. U. 2003 nr 17, poz. 1733.
- Sikorski Z.E. (red.), 2007, *Chemia żywności*, tom 1, WNT, Warszawa.

## EFFECT OF TEMPERATURE FLUCTUATIONS ON THE LEVEL OF QUALITY CHANGES OF FROZEN GREEN PEAS

**Summary:** The aim of the study was to verification of the null hypothesis: the levels the studied traits during storage of green peas developed as the arithmetic mean levels of these characteristics obtained under stress conditions. It specifies the content of chlorophyll pigments and vitamin C, and the total acidity of the active, leek thawing, green peas stored at a constant temperature  $-18^{\circ}\text{C}$  and  $-25^{\circ}\text{C}$  and variable  $-18^{\circ}\text{C}/-25^{\circ}\text{C}$  with a 48-hour cycle of changes. Verification of the null hypothesis showed that the values of the studied traits were not equal to the resultant levels obtained under stress conditions and for the most of the tested quality features significantly different from the assumed value of hypothetical.

**Keywords:** frozen vegetables, green peas, fluctuation in temperature.