

MAGDALENA SKOTNICKA

**MATEMATYCZNY MODEL WPLYWU TEMPERATURY
PRZECHOWYWANIA NA ZMIANY REOLOGICZNE MROŻONYCH
CIAST DROŻDŻOWYCH**

Streszczenie

Przedmiotem badań było określenie wpływu temperatury przechowywania na zmiany strukturalne mrożonych ciast drożdżowych dwóch producentów A i B. Ciasta drożdżowe przechowywano przez sześć miesięcy w trzech różnych warunkach termicznych. W temp. stałej -12°C i -22°C oraz w temp. zmiennej (-12°C/ -22°C). W zależności od warunków termicznych badano zmiany stopnia czerstwienia na podstawie statycznych testów na ściskanie, wykorzystując urządzenie INSTRON 5543. W pracy wyznaczono modele matematyczne zmian naprężenia badanego kęsa ciasta poddanego ściskaniu oraz dokonano obliczeń statystycznych (współczynników: determinacji R^2 i indeterminacji ϕ^2 oraz indeksu korelacji R), umożliwiających wybór takiego równania, które najlepiej będzie opisywać zmiany badanej cechy zachodzące podczas przechowywania.

Wykazano, że najbardziej korzystnym wariantem przechowywania była temp. -22°C. Ciasta składowane w takich warunkach charakteryzowały się najmniejszym stopniem czerstwienia, co pozwala sądzić, że procesy porządkowania form skrobiowych nie były zbyt zaawansowane. Stwierdzono, że najlepszym odzwierciedleniem charakteru zmian stopnia czerstwienia produktu w funkcji czasu w obydwu przypadkach była funkcja kwadratowa.

Słowa kluczowe: gotowe ciasta drożdżowe, stopień czerstwienia, retrogradacja skrobi, reologia

Wprowadzenie

Ciasto drożdżowe jest produktem, który zachowuje swoje pożądane właściwości tylko przez krótki okres, kilku godzin po wypieku. Dużą rolę w tych niekorzystnych przemianach odgrywa miękisz, w którym od momentu wyjęcia z pieca i stygnięcia rozpoczyna się proces odparowywania wody, początkowo z powierzchni, a następnie z głębszych jego warstw. Przyczyną wielu niekorzystnych zmian jest przekształcanie się skrobi z formy amorficznej do krystalicznej. W celu ograniczenia tego procesu stosuje się różne techniki minimalizujące, a jedną z nich jest zamrażanie wyrobów piekarskich i cukierniczych [1, 17].

Zamrażanie jest jedną ze skuteczniejszych technik utrwalania żywności. Mrożeniu poddaje się prawie wszystkie produkty spożywcze, głównie ze względu na zachowanie cech zdrowotnych i jakościowych produktu, przez zmniejszenie tempa zmian fizycznych, biochemicznych i mikrobiologicznych podczas zamrażania i w czasie przechowywania. Pomimo, że mrożenie jest sposobem dość radykalnym, to z uwagi na spowalnianie procesu czerstwienia najczęściej stosowanym. Nie oznacza to jednak całkowitego zahamowania tego zjawiska. Ciasta drożdżowe podczas przechowywania podlegają ciągłym przemianom fizykochemicznym, tylko ich intensywność jest różna i zależna od wielu czynników [13].

Do czynników kształtujących jakość mrożonych ciast drożdżowych podczas przechowywania należy temperatura i jej stabilność. Odpowiednia temperatura wpływa na przedłużenie trwałości, a niewłaściwa może przyspieszać niekorzystne przemiany, w szczególności związane ze strukturą miękkiszu ciast.

Celem pracy było określenie wpływu temperatury na właściwości strukturalne gotowych mrożonych ciast drożdżowych oraz próba stworzenia modelu matematycznego opisującego zmiany naprężenia ciasta w wyniku oddziaływania na badany produkt zmiennych warunków termicznych.

Materiał i metody badań

Materiałem badawczym były gotowe wypieczone ciasta drożdżowe dwóch producentów A i B, składające się z mąki pszennej, tłuszczu roślinnego, cukru, jaj, drożdży, mleka w proszku, cukru waniliowego, soli, aromatu identycznego z naturalnym i beta-karotenu. Ciasta o masie 400g (+/-2g) zapakowane były w folię polietylenową. Wyroby gotowe z ciasta drożdżowego miały ten sam skład surowcowy a więc i skład chemiczny (tab. 1). Nie stosowano żadnych innych dodatków mogących wpływać na wynik oznaczenia. Materiał doświadczalny przechowywano przez sześć miesięcy w trzech różnych komorach przechowalniczych w warunkach:

- zmiennej temp. (-12°C/-22°C), którą inicjowano co 72 godz.,
- stałej temp. -12°C,
- stałej temp. -22°C.

Większość dostępnych na rynku gotowych mrożonych ciast drożdżowych ma okres przydatności do spożycia od czterech do sześciu miesięcy, dlatego też badania prowadzono przez 180 dni. Przez ten okres, co 30 dni prowadzono badania reologiczne, wykorzystujące urządzenie INSTRON 5543. W literaturze istnieje wiele metod dzięki którym można wyznaczyć stopień czerstwienia [8, 15, 16]. Zastosowana metoda pomiaru stopnia czerstwienia w stosunku do innych metod cechuje się dużą dokładnością i powtarzalnością wyników. Metoda polegała na wykonaniu testów statycznych na ściskanie rozmrożonego kęsa ciasta. Gotowe mrożone ciasta drożdżowe rozmrażano w całości w temperaturze pokojowej, następnie wycinano nożem kawałki ciasta o wymiarach 250 x 250 x 250 mm, poddawano próbie ściskania,

przykładając siłę do osiągnięcia odkształcenia 65%, które uznano za graniczne, ponieważ po jego przekroczeniu, część próbek ulegała rozpadowi lub całkowitej deformacji. W badaniu zastosowano głowicę o maksymalnym obciążeniu 1 kN z zainstalowaną przystawką testów na ściskanie [7]. Każdorazowo badanie przeprowadzano w 10 powtórzeniach.

Tabela 1

Skład chemiczny gotowych ciast drożdżowych producentów A i B [g/100g produktu].
Chemical composition of yeast cake produced by A and B bakers [g/100g product].

Zawartość składnika Compound content	Producent A / Producer A	Producent B / Producer B
Białko ogółem / Total protein	6,5	7,2
Sacharydy / Saccharides	53,6	50,5
Tłuszcz ogółem / Total fat	12,3	10,5
Sól NaCl / Salt NaCl	0,052	0,065
Woda / Water	25,4	30,2

Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczano modele matematyczne zmian naprężenia badanego ciasta poddanego ścisaniu oraz obliczano współczynniki: determinacji R^2 i indeterminacji φ^2 oraz indeks korelacji, umożliwiające wybór takiego równania, które najlepiej będzie opisywać zmiany badanej cechy zachodzące w czasie przechowywania (tab. 2-7).

Wyniki i dyskusja

Podczas przechowywania w gotowych ciastach drożdżowych, obok wysychania i utraty aromatu, zachodzi proces czerstwienia. Starzenie się ciasta powoduje wiele niekorzystnych zmian strukturalnych, związanych głównie z redystrybucją wody [6, 9]. Szybkość czerstwienia ciasta zależy od wielu czynników, wynikających z procesu technologicznego i warunków przechowywania. Stopień czerstwienia bardzo często jest parametrem decydującym o jakości, trwałości i przydatności produktu do spożycia. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że naprężenie potrzebne do odkształcenia 65% próbki ciasta systematycznie ulegało podwyższeniu w funkcji czasu. Zmiany naprężenia próbki w czasie uzależnione były od temperatury przechowywania ciasta (rys. 1 i 2).

Wpływ składowania w stałej temp. -22°C na wzrost naprężenia nie był znaczny i wynosił 0,0125 MPa w cieście drożdżowym producenta A i 0,0146 MPa w cieście drożdżowym producenta B. W warunkach zmiennej i stałej temp. -12°C , zmiany stopnia naprężenia były znaczne i wynosiły odpowiednio 0,0265 MPa i 0,0203 MPa w ciastach producenta A i 0,0281 MPa i 0,0256 MPa w ciastach producenta B.

Zmienność temperatury w trakcie przechowywania doprowadziła do przyspieszonego procesu czerstwienia ciasta, co znalazło odzwierciedlenie w wysokich wartościach naprężenia ciasta po sześciu miesiącach przechowywania. Postępujący proces starzenia powodował, że w produkcie dochodziło do retrogradacji skrobi, która ze stanu amorficznego przechodziła w formę uporządkowaną, tworząc krystaliczną sieć. Zjawisku temu towarzyszyło wydzielanie wody, która migrowała w kierunku glutenu, a w cząsteczce skrobi powstawały wiązania poprzeczne [12, 14, 18].

Na uwagę zasługuje też fakt, że ciasta drożdżowe producenta B charakteryzowały się znacznie wyższą wartością naprężenia we wszystkich wariantach temperaturowych, w stosunku do ciasta producenta A. Stwierdzone zmiany, przy tych samych warunkach składowania i rodzaju opakowania, wynikać mogły ze składu chemicznego lub procesu technologicznego ciast drożdżowych [3, 4].

Kolejnym etapem badań było wyznaczenie matematycznych modeli zmian naprężenia ciasta. W pracy badano związki zachodzące między zjawiskami i cechami. Określono wpływ, jaki wywierała zmienna będąca „przyczyną” na zmienna będącą „skutkiem”. Formalnym zapisem tego były funkcje regresji które określały sposób przyporządkowania wartości zmiennej zależnej y , określonym wartościom zmiennej niezależnej x [10, 11].

Dokonano porównania trzech funkcji: liniowej, kwadratowej i wykładniczej oraz ich dopasowania do danych empirycznych, w celu wyboru modelu matematycznego, który najdokładniej opisywał zachodzące zmiany w badanych ciastach podczas przechowywania.

T a b e l a 2

Modele regresji opisujące zmiany naprężenia ciasta drożdżowego – producenta A – poddanego ścisaniu, w czasie przechowywania w temperaturze zmiennej (-12°C/-22°C).
Regression models explaining the changes of yeast cake stress of the A producer subjected to squeezing while stored at variable temperature (-12°C;-22°C).

Nazwa funkcji Type of function	Postać funkcji/ Function equation	R ²	R	φ ²
Funkcja liniowa Linear function	$y = 0,0001x + 0,0134$	0,9492	0,9743	0,0508
Funkcja kwadratowa Quadrant function	$y = 5E-07x^2 + 6E-05x + 0,0152$	0,9761	0,9880	0,0239
Funkcja wykładnicza Exponential function	$y = 0,01495e^{0,00572x}$	0,9769	0,9884	0,0231

T a b e l a 3

Modele regresji opisujące zmiany naprężenia ciasta drożdżowego – producenta A – poddanego ścisaniu, w czasie przechowywania w temperaturze stałej -12°C.

Regression models explaining the changes of yeast cake stress of the A producer subjected to squeezing while stored at constant temperature -12°C.

Nazwa funkcji Type of function	Postać funkcji Function equation	R ²	R	φ ²
Funkcja liniowa Linear function	$y = 0,0001x + 0,0132$	0,9328	0,9658	0,0672
Funkcja kwadratowa Quadrant function	$y = 5E-07x^2 + 4E-05x + 0,0152$	0,9736	0,9867	0,0264
Funkcja wykładnicza Exponential function	$y = 0,0146e^{0,0053x}$	0,9739	0,9869	0,0261

Tabela 4

Modele regresji opisujące zmiany naprężenia ciasta drożdżowego – producenta A – poddanego ścisaniu, w czasie przechowywania w temperaturze stałej -22°C.

Regression models explaining the changes of yeast cake stress of the A producer subjected to squeezing while stored at constant temperature -22°C.

Nazwa funkcji Type of function	Postać funkcji Function equation	R ²	R	φ ²
Funkcja liniowa Linear function	$y = 7E-05x + 0,0131$	0,9239	0,9612	0,0761
Funkcja kwadratowa Quadrant function	$y = 4E-07x^2 + 2E-06x + 0,0145$	0,9997	0,9998	0,0003
Funkcja wykładnicza Exponential function	$y = 0,0137e^{0,0025x}$	0,9553	0,9774	0,0447

Po dokonaniu zestawienia parametrów statystycznych analizowanych funkcji stwierdzono, że najlepiej dopasowana do danych empirycznych była funkcja kwadratowa, zgodnie z którą prawie 100% zmienności naprężenia we wszystkich wariantach temperaturowych było określone przez czas przechowywania, a tylko 0,1-0,4% zmienności naprężenia zależne było od innych czynników. Dostyż wysoki indeks korelacji obliczonych funkcji, dotyczących wyrobów obu producentów, świadczył o znacznej sile związku pomiędzy czasem składowania a zmianami naprężenia, zarówno w ciastach drożdżowych przechowywanych w stałej, jak i w zmiennej temperaturze. Funkcja przyjmująca kształt paraboli najlepiej oddawała charakter zmian naprężenia ciasta w czasie. Graficzny obraz stopnia czerstwienia na podstawie zmian naprężenia ciasta przedstawiono na rys. 1 i 2.

Tabela 5

Modele regresji opisujące zmiany naprężenia ciasta drożdżowego – producenta B – poddanego ścisaniu, w czasie przechowywania w temperaturze zmiennej (-12°C;-22°C).

Regression models explaining the changes of yeast cake stress of the B producer subjected to squeezing while stored at variable temperature (-12°C;-22°C).

Nazwa funkcji Type of function	Postać funkcji Function equation	R ²	R	φ ²
Funkcja liniowa Linear function	$y = 0,0001x + 0,0103$	0,9626	0,9811	0,0374
Funkcja kwadratowa Quadrant function	$y = 2E-07x^2 + 1E-04x + 0,0110$	0,9676	0,9837	0,0324
Funkcja wykładnicza Exponential function	$y = 0,0113e^{0,0064x}$	0,9478	0,9735	0,0522

Tabela 6

Modele regresji opisujące zmiany naprężenia ciasta drożdżowego – producenta B – poddanego ściskaniu, w czasie przechowywania w temperaturze stałej -12°C.

Regression models explaining the changes of yeast cake stress of the B producer subjected to squeezing while stored at constant temperature -12°C.

Nazwa funkcji Type of function	Postać funkcji Function equation	R ²	R	φ ²
Funkcja liniowa Linear function	$y = 0,0001x + 0,0108$	0,9636	0,9816	0,0364
Funkcja kwadratowa Quadrant function	$y = 2E-08x^2 + 1E-04x + 0,0109$	0,9637	0,9817	0,0363
Funkcja wykładnicza Exponential function	$y = 0,0114e^{0,0056x}$	0,9341	0,9665	0,0659

Ciasta drożdżowe są produktem, w którym zmiany strukturalne mają decydujące znaczenie w kształtowaniu jakości, dlatego tak ważne jest ich monitorowanie. Wykorzystanie zaproponowanej metody pomiaru zmian naprężenia gotowych ciast drożdżowych może być przyczynkiem do określenia stopnia sčerstwienia tych produktów. Na podstawie zmian naprężenia ciasta można wnioskować o innych niekorzystnych zmianach zachodzących w cieście, związanych głównie ze strukturą produktu.

Badania nad modelami oceny trwałości przechowalniczej produktów mają wymiar praktyczny, wynikający z ekonomicznych korzyści stosowania ich w praktyce. Dzięki metodom współzależności zjawisk można łatwo symulować i przewidywać wpływ różnych czynników na trwałość ciast drożdżowych [5].

Tabela 7

Modele regresji opisujące zmiany naprężenia ciasta drożdżowego – producenta Y – poddanego ściskaniu, w czasie przechowywania w temperaturze stałej -22°C.

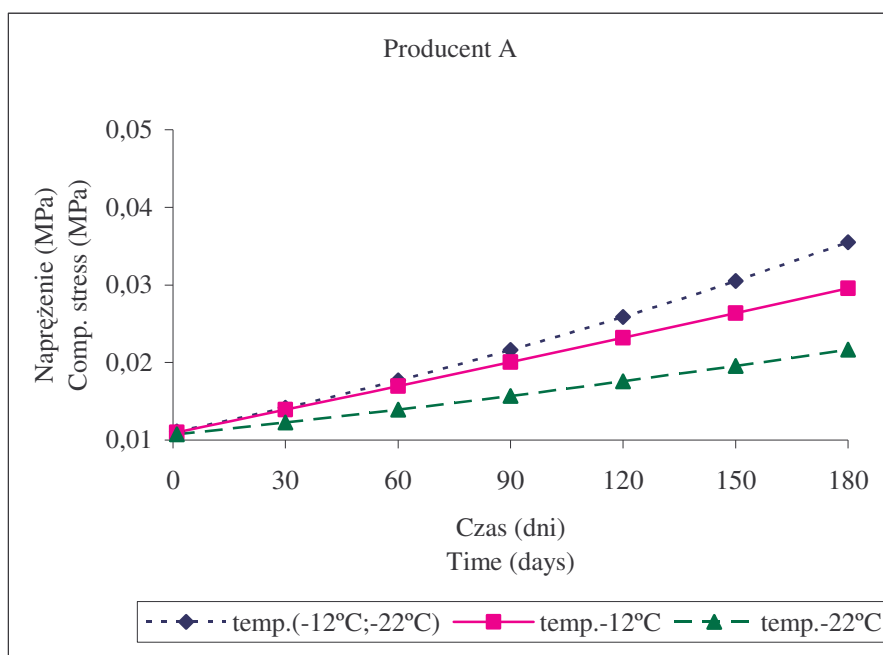
Regression models explaining the changes of yeast cake stress of the B producer subjected to squeezing while stored at constant temperature -22°C.

Nazwa funkcji Type of function	Postać funkcji Function equation	R ²	R	φ ²
Funkcja liniowa Linear function	$y = 7E-05x + 0,0107$	0,9612	0,9808	0,0388
Funkcja kwadratowa Quadrant function	$y = 6E-08x^2 + 7E-05x + 0,0107$	0,9612	0,9808	0,0388
Funkcja wykładnicza Exponential function	$y = 0,0111e^{0,0045x}$	0,9395	0,9693	0,0605

Objaśnienia/Explanatory notes:

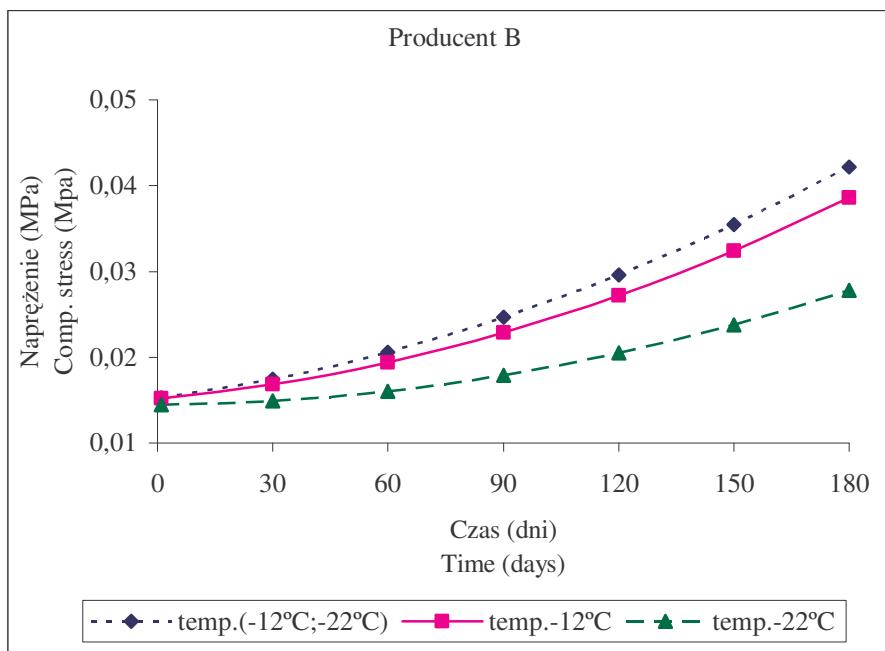
R²- współczynnik determinacji / determination coefficient; R – indeks korelacji / correlation index;

φ²-współczynnik indeterminacji / indetrmination coefficient; y- zmienna zależna – naprężenie ciasta / dependent variable – cake stress; x- zmienna niezależna – czas przechowywania / independent variable – time of storage.



Rys. 1. Zależność zmian naprężenia ciast drożdżowych producenta A w funkcji czasu.

Fig. 1. The dependence of A producer yeast cake changes to stress in time function.



Rys. 2. Zależność zmian napężenia ciast drożdżowych producenta B w funkcji czasu.

Fig. 2. The dependence of B producer yeast cake changes to stress in time function.

Wnioski

1. Temperatura i jej stałość w funkcji czasu oraz czas przechowywania mrożonych ciast drożdżowych znacząco determinowały zachowanie pierwotnych właściwości strukturalnych produktu.
2. Najmniejszą dynamikę zmian napężenia ciasta stwierdzono w ciastach drożdżowych przechowywanych w temperaturze -22°C.
3. Ciasta drożdżowe producenta B charakteryzowały się większą dynamiką zmian badanej cechy niż ciasta producenta A.
4. Najlepiej dopasowaną funkcją opisującą zmiany strukturalne gotowych ciast drożdżowych była funkcja kwadratowa, we wszystkich wariantach temperaturowych. Dobry poziom dopasowania do danych empirycznych został potwierdzony wysokimi wartościami indeksu korelacji, co oznacza, że funkcja ta może być stosowana do prognozowania zachodzących zmian.

Literatura

- [1] Barcenas M.E., Rosell C.M.: Effect of frozen time on the bread crumb and aging of par-baked bread. *Food Chem.*, 2006, **95**, 438-445.
- [2] Ceglińska A., Cacak-Pietrzak G., Haber T.: Porównanie jakości pieczywa pszenżytniego, pszennego i żytniego. *Przegl. Piek. Cuk.*, 2003, **11**, 2-6.

- [3] Ceglińska A., Haber T., Leszczyński K., Wituski P.: Wpływ opakowania na jakość i trwałość pieczywa. *Przegl. Piek. Cuk.*, 2000, **4**, 2-4.
- [4] Drabent R.: *Reologia*. WART. Olsztyn 1996.
- [5] Fik M., Michalczyk M., Surówka K., Maciejaszek I.: Characterisation of the staling process of wholemeal. *Food Nutr. Sci.*, 2000, **2**, 23-28.
- [6] Instron: *Food texture analysis solution*. Instrukcja obsługi urządzenia Instron 2002.
- [7] Krelowska-Kulas M.: *Badanie jakości produktów spożywczych*. PWE. Warszawa 1993.
- [8] Lionetto F., Maffezzoli A., Ottenhof M.A., Farhat I.A., Mitchell J.R.: The retrogradation of concentrated wheat starch system. *Starch/Staerke*, 2005, (**57**) **1**, 16-24.
- [9] Makać W., Urbanek-Krzysztofiak D.: *Metody opisu statystycznego*. WUG. Gdańsk 2000.
- [10] Ociecek A.: *Badania modeli trwałości przechowalniczej produktów higroskopijnych na przykładzie makaronu*. Praca doktorska. Akademia Morska. Gdynia 2001.
- [11] Ottenhof M.A., Farhat.: The effect of gluten on the retrogradation of wheat starch. *Cereal Sci.*, 2004, **40**, 269-274.
- [12] Postolski J., Gruda Z.: *Zamrażanie żywności*. WNT. Warszawa 1992.
- [13] Scanlon M.G., Zghal M.C.: Bread properties and crumb structure. *Food Res. Int.*, 2001, **34**, 841-864.
- [14] Skotnicka M., Palich P.: The influence of water content on swelling ability of the crumb of frozen yeast cakes. *Acta agrophysica*, 2006, **7** (1), 231-238.
- [15] Skotnicka M., Palich P.: The dependence of frozen yeast cake quality parameters of the thermal conditions of storage. *Mat. Konf. nt. "Rola wody w żywności"*. Supraśl 2006.
- [16] Varianno-Morston E., Hsuk K., Mahdi J.: Rheological and structural changes in frozen doughs. *Baker Digest.*, 1974, **1**, 8-10.
- [17] Wang Xin, Sung-Gil Choi, Kerr W.L.: Water dynamics in white bread and starch gels as affected by water and gluten content. *Lebensm.-Wiss. u. Technol.*, 2004, **37**, 377-384.

MATHEMATICAL MODEL OF STORING TEMPERATURE AFFECTING THE REOLOGIC CHANGES IN FROZEN YEAST CAKE

S u m m a r y

The subject of the present study was to determine the structural changes that might occur to yeast cake by A and B producers depending on the storing conditions. The yeast cake was stored for six months in different thermal conditions: constant -12°C and constant -22°C and also at variable ($-12^{\circ}\text{C}; -22^{\circ}\text{C}$). The degree of staling changes under different conditions were examined on the basis of static compression tests with the use of INSRON 5543. The study presents mathematic models of stress changes in the cake bite under examination subjected to squeezing along with statistics (R^2 determination coefficient, ϕ^2 indetermination coefficient and R correlation index), allowing for the choice of such equation which would best describe the changes of the occurring condition observed at the time of storage.

The obtained data proved that the most beneficial thermal storage variant was the temperature of -22°C . The cake stored under such condition revealed the least degree of staleness which allows for a statement that the starch forms order processes were not that much advanced. It was found that in both cases the square function best reflected the character of the product staleness degree.

Key words: yeast cakes, staleness degree, starch retrogradation, rheology 