

DOROTA LITWINEK, HALINA GAMBUŚ, KRZYSZTOF BUKSA,  
MAŁGORZATA MAKAREWICZ, GABRIELA ZIĘĆ, FLORIAN GAMBUŚ,  
MAGDALENA KOWALCZYK, JAKUB BORECZEK

## JAKOŚĆ I PROCES STARZENIA SIĘ CHLEBÓW Z RAZOWYCH MĄK PSZENNYCH: Z PSZENICY ZWYCZAJNEJ I ORKISZ ORAZ Z ŻYTA

### Streszczenie

Celem pracy była ocena jakości chlebów z razowej mąki pszennej z pszenicy zwyczajnej i orkiszowej oraz z żyta, uzyskanych na zakwasie spontanicznym z mąki razowej z danego zboża oraz określenie procesu starzenia się tego pieczywa w trakcie przechowywania. W piekarni „Vini” sporządzono z wymienionych trzech mąk razowych zakwasu spontanicznego i dodano je w odpowiedniej proporcji do sporządzenia ciasta. Z 600-gramowych kęsów ciasta wypieczono chleby i po ochłodzeniu oznaczono ich masę, zmierzono objętość, wyliczono stratę wypiekową całkowitą oraz wykonano ocenę organoleptyczną. We wszystkich chlebach oznaczono zawartość: wody, białka ogółem, błonnika pokarmowego (frakcji rozpuszczalnej i nierozpuszczalnej), popiołu (wybranych makro- i mikroelementów), tłuszczu surowego, wybranych mikotoksyn, fosforanów mio-inozytoli, substancji kształtujących smak i zapach oraz akryloamid. Wykonano również pomiary profilu tekstury miękiszki w dniu wypieku oraz podczas 7-dobowego przechowywania. Oznaczono liczbę tlenowych bakterii amylolitycznych (OLBA), liczbę tlenowych przetrwalnikujących bakterii amylolitycznych (OLBAP), liczbę drożdży i pleśni (OLG) w 1 g pieczywa oraz trwałość termostatową pieczywa po 1., 2., 5. i 7. dobie przechowywania.

Największą objętością wyróżniały się chleby z mąki z pszenicy zwyczajnej graham i one też uzyskały najlepszą akceptację konsumentów w ocenie organoleptycznej, zwłaszcza za smak i zapach. Chleby żytnie i z mąki z pszenicy orkisz cechowały się podobną objętością bochenków, przy czym chleby żytnie w większym stopniu niż orkiszowe były akceptowane przez konsumentów. W chlebach z mąki pszennej, zarówno graham, jak i orkiszowej oznaczono zbliżony stosunek zawartości kwasu mlekowego do octowego – średnio 78 : 22, natomiast w chlebie żytnim udział kwasu mlekowego był mniejszy, octowego – większy niż w pieczywie pszennym, a stosunek zawartości kwasu mlekowego do octowego wynosił śred-

---

*Dr inż. D. Litwinek, prof. dr hab. inż. H. Gambuś, dr hab. inż. K. Buksa, dr G. Zięć, Katedra Technologii Węglowodanów, dr M. Makarewicz, Katedra Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Technicznej, Wydz. Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 122, 30-149 Kraków, prof. dr hab. inż. F. Gambuś, Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Wydz. Rolniczo-Ekonomiczny, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków, dr M. Kowalczyk, mgr inż. J. Boreczek, Zakład Biochemii Drobnoustrojów, Instytut Biochemii i Biofizyki PAN, ul. Pawińskiego 5A, 02-106 Warszawa. Kontakt: [dorota.litwinek@urk.edu.pl](mailto:dorota.litwinek@urk.edu.pl)*

nio 68 : 32. W chlebie razowym żytnim oznaczono największą zawartość glukozy. W chlebach razowych pszennych, zarówno orkiszowych, jak i graham, w odróżnieniu od chlebów żytnich, oznaczono zarówno niższe fosforany mio-inozytolu ( $IP_3$  i  $IP_2$ ), jak i wyższe fosforany tego związku –  $IP_5$  i  $IP_4$ . W razowych chlebach orkiszowych nie oznaczono nawet śladowych zawartości akryloamidu, a w pozostałych chlebach ilości tego związku były śladowe. Badane chleby wykazały dużą trwałość mikrobiologiczną. W dniu wypieku największą wilgotnością miększu odznaczały się chleby żytnie (ok. 50 %), natomiast średnia wilgotność miększu chlebów pszennych (orkiszowych i graham) wynosiła ok. 47,5 %. Po 7 dobach przechowywania wilgotność miększu wszystkich chlebów zmniejszyła się w bardzo małym stopniu – o 0,5 ÷ 1 p.p., mimo to zaobserwowano postępujący wzrost jego twardości podczas przechowywania, najmniejszy w chlebach żytnich.

**Słowa kluczowe:** chleb razowy na zakwasie: z mąki żytniej, z mąki z pszenicy zwyczajnej i orkisz, zakwas spontaniczny, jakość chleba, starzenie się chleba

## Wprowadzenie

Prowadzona kampania medialna na rzecz prawidłowego odżywiania powoduje, że jedyną grupą asortymentową wśród wyrobów piekarskich wykazującą wzrost produkcji są wyroby z mąk z pełnego przemiału [11]. Spożycie chlebów z mąki razowej polecane jest przez specjalistów ds. żywienia człowieka jako bardzo bogatych we włókno pokarmowe i wiele składników bioaktywnych, które nadają im charakteru żywności o działaniu prozdrowotnym. Pieczywo takie jest ponadto zalecane w dietach odchudzających, ponieważ charakteryzuje się niskim indeksem glikemicznym (ok. 50) w odróżnieniu od pieczywa z mąki jasnej (70 ÷ 95). Pieczywo to spełnia zalecenia WHO w programie zwalczania otyłości. Coraz większa świadomość konsumentów wymusza na producentach dbałość o odpowiednią podaż na rynku pieczywa o działaniu funkcjonalnym, wyprodukowanego zarówno z tradycyjnych surowców chlebowych, tj. z razowej mąki pszennej i żytniej, jak również z surowców niekonwencjonalnych, a nawet reliktowych, tj. z mąki orkiszowej (*Triticum spelta*) [15, 26, 28].

Wyprodukowanie smacznego i akceptowanego chleba żytniego wymaga ukwaszenia mąki, natomiast pieczywo pszenne (w tym orkiszowe) wypiekane jest głównie z udziałem drożdży w procesie fermentacji alkoholowej. Obecnie do produkcji zakwasów piekarskich stosuje się kultury starterowe, stąd zalecane jest stosowanie ukwaszania wszystkich rodzajów mąki ze względu na korzystne procesy zachodzące podczas jej fermentacji, przede wszystkim wytwarzanie kwasów organicznych wpływających na smak i aromat pieczywa, produkcję witamin z grupy B, inaktywację organizmów patogennych, rozkład fitynianów, a tym samym zwiększenie przyswajalności składników mineralnych, rozkład miktotoksyn i wydłużenie procesu świeżości pieczywa [2, 15].

Jak wykazali inni autorzy we wcześniejszych badaniach, chleby uzyskane z mąki całościarnej z pszenicy orkisz nie odznaczały się większą wartością odżywczą [26]

czy też większą zawartością związków bioaktywnych [30] niż chleby z mąki z pszenicy zwyczajnej [28]. Nie nadają się one również do stosowania w diecie bezglutenowej [14]. Ze względu jednak na dużą zawartość białka w ziarnie pszenicy orkisz i możliwość uprawy ekologicznej tego zboża, wydaje się uzasadnione stosowanie całościarnowej mąki orkiszowej do produkcji chleba [16].

Z uwagi na żywieniowo istotną rolę zakwasu piekarskiego, chleby z mąki z pszenicy orkisz należałoby prowadzić na zakwasie. W dostępnej literaturze znajduje się tylko jedna publikacja, w której autorzy użyli kultury starterowej do ukwaszenia całościarnowej mąki orkiszowej [8]. Inni autorzy [4, 26] do sporządzenia ciasta z całościarnowej mąki orkiszowej zastosowali wyłącznie drożdże. El-Sayed i Rabalski [8] po ukwaszeniu mąki orkiszowej uzyskali chleb o mniejszej objętości i niżej oceniony pod względem cech organoleptycznych w porównaniu z chlebem otrzymanym z całościarnowej mąki z pszenicy HRS.

Celem pracy była ocena jakości chlebów z razowej mąki pszennej z pszenicy zwyczajnej i orkiszowej oraz z mąki żytniej uzyskanych na zakwasie spontanicznym sporządzonym z wyżej wymienionych mąk oraz analiza procesu starzenia się tego pieczywa w trakcie przechowywania.

### **Materiał i metody badań**

Materiałem do badań były: 2 mąki graham oraz 2 mąki razowe z pszenicy orkisz i 2 razowe mąki żytnie, używane do wypieku chlebów razowych w piekarni „Vini” w Rogoźniku Śląskim.

Zakwasy spontaniczne sporządzano według opisu zawartego w publikacji Litwinek i wsp. [18]. Ciasto o temp. 37 °C sporządzano z poszczególnych mąk, zgodnie z recepturami podanymi w tab. 1 - 3.

Zarówno zakwasy z mąki pszennej i mąki żytniej, jak i ciasto na wszystkie ww. chleby razowe sporządzano w piekarni „Vini”. Ciasto dzielono na kęsy o masie 600 g, kształtowano i fermentowano w foremkach przez 4 h w warunkach piekarni. Wypiek prowadzono w temp. 210 °C przez 1 h.

Chleby wypiekano z udziałem zakwasów fermentowanych w procesie spontanicznym. Ze względu na brak powtarzalności jakości chlebów z udziałem różnych zakwasów sporządzonych z tego samego rodzaju mąki, każdy wypiek traktowano indywidualnie. Analizowano 6 rodzajów chleba z zakwasem spontanicznym: chleb żytni z pierwszej partii (VSZ1), chleb żytni z drugiej partii (VSZ2), chleb pszenny z pierwszej partii (VSP1), chleb pszenny z drugiej partii (VSP2), chleb orkiszowy z pierwszej partii (VSO1), chleb orkiszowy z drugiej partii (VSO2).

Wykonywano pomiar masy zimnych bochenków i obliczano średnią masę pieczywa. Na podstawie uzyskanych wyników i receptury obliczano wydajność pieczywa oraz całkowitą stratę wypiekową [13]. Mierzono również objętość bochenków w apa-

racie Volscan Profiler (Stable Micro System, Wielka Brytania) i obliczano średnią objętość pieczywa. Analizy wykonano w 6 powtórzeniach z każdego rodzaju chleba.

Tabela 1. Receptura ciasta z razowej mąki żytniej  
Table 1. Recipe for dough from wholemeal rye flour

Sposób dodawania Way of adding	Mąka żytnia / Rye flour [kg]	Woda / Water [kg]	Sól / Salt [kg]
Dodawana do dzieży Added to vessel	35,75	22,0	0,83 (2 % masy mąki / of flour weight)
Dodana z zakwasem Added with sourdough	4,84 (12 % masy mąki / of flour weight)	7,26	-
	Łącznie 12,10 kg zakwasu In total 12.10 kg of sourdough		
Całkowita ilość Total amount	40,59	29,26	0,83

Objaśnienia / Explanatory notes:

Wydajność zakwasu z mąki żytniej wynosiła 250 %, a wydajność ciasta – 172 % / Yield of rye sourdough was 250 % and yield of dough: 172 %.

Tabela 2. Receptura ciasta z razowej mąki pszennej orkiszowej  
Table 2. Recipe for dough from wholemeal spelt wheat flour

Sposób dodawania Way of adding	Mąka z pszenicy orkisz Flour from spelt wheat [kg]	Woda / Water [kg]	Sól / Salt [kg]
Dodawana do dzieży Added to vessel	34,38	24,09	0,66 (1,7 % masy mąki / of flour weight)
Dodana z zakwasem Added with sourdough	3,45 (9 % masy mąki / flour mass)	5,19	-
	Łącznie 8,64 kg zakwasu In total 8.64 kg of sourdough		
Całkowita ilość Total amount	37,83	29,28	0,66

Objaśnienia / Explanatory notes:

Wydajność zakwasu z mąki orkiszowej wynosiła 250 %, a wydajność ciasta – 177 % / Yield of sourdough from spelt wheat flour was 250 % and yield of dough: 177 %.

Otrzymane chleby poddawano ocenie organoleptycznej metodą punktową według PN-A-74108:1996 [22] przez minimum 15-osobowy panel o sprawdzonej wrażliwości sensorycznej. Badano cechy jakościowe pieczywa, tj. wygląd zewnętrzny, barwę i grubość skórki, elastyczność i porowatość miękkiszu, smak i zapach. Każdy rodzaj pieczywa kwalifikowano do odpowiedniej klasy jakości.

Tabela 3. Receptura ciasta z razowej mąki z pszenicy zwyczajnej

Table 3. Recipe for dough from wholemeal common wheat flour

Sposób dodawania Way of adding	Mąka z pszenicy zwyczajnej Flour from common wheat [kg]	Woda / Water [kg]	Sól / Salt [kg]
Dodawana do dzieży Added to vessel	38,75	18,20	0,73 (1,7 % masy mąki / of flour weight)
Dodana z zakwasem Added with sourdough	4,48 (10 % masy mąki / of flour weight)	6,72	-
	Łącznie 11,2 kg zakwasu In total 11.2 kg of sourdough		
Całkowita ilość Total amount	43,12	24,92	0,73

Objaśnienia / Explanatory notes:

Wydajność zakwasu z mąki pszennej wynosiła 240 %, a wydajność ciasta – 158 % / Yield of sourdough from wheat flour was 240 % and yield of dough: 158 %.

W chlebach utrwalonych przez powietrzne wysuszenie w minimum 2 powtórzeniach oznaczano zawartość: popiołu (według AOAC 930.05 [1]), wybranych składników mineralnych (według AOAC 985.01 [1]), białka ogółem (według AOAC 950.36 [1]), błonnika pokarmowego (według AOAC 991.43 [1]), tłuszczu surowego (według AOAC 930.05 [1]) oraz zawartość akryloamidu metodą HPLC/UV według Paleologosa i Kontaminasa [20] z modyfikacją własną polegającą na odbiałczaniu otrzymanych ekstraktów roztworami Carreza i odwirowaniu przez 25 min z prędkością 12000 rpm. W świeżym miększu oznaczano zawartość: wybranych mikotoksyn zgodnie z instrukcją obsługi aparatu Rapid-Kinetik-Assay® (Aokin AG, Niemcy), fosforanów mioinozytolu według Chena i Li [6] oraz substancji kształtujących aromat pieczywa – metodą HPLC/UV, którą opisali Levevre i wsp. [17]. Spośród związków aromatycznych oznaczano zawartość kwasów organicznych (mlekowego, octowego, propionowego, jabłkowego, winowego i cytrynowego), cukrów (maltozy i glukozy) oraz alkoholi (glicerolu i etanolu). Ponadto określano kwasowość potencjalną miększu chlebów metodą miareczkową według PN-A-74108:1996 [22].

Wykonywano również analizę wilgotności miększu chlebów metodą suszarkową (według AOAC 925.10 [1]) oraz profilu tekstury miększu analizatorem tekstury TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Wielka Brytania). Pomiar tekstury wykonywano testem TPA w środku kromki o grubości 3 cm przy użyciu sondy aluminiowej P-20, z szybkością przesuwu sondy 5 mm·s<sup>-1</sup>. Mierzono odkształcenie w warstwie o grubości 50 % całkowitej wysokości próbki. Przy użyciu oprogramowania Exponent v. 4.0.13.0. i standardowego programu makro dla testu TPA (Stable Micro Systems, Wielka Brytania) mierzono twardość, spójność, żujność oraz odbojność miększu.

Otrzymane chleby przechowywano przez 7 dób. W celu określenia zmian zachodzących podczas starzenia się pieczywa wykonywano analizę wilgotności i profilu tekstury miękiszu po 1., 2., 5. i 7. dobie przechowywania metodami podanymi wyżej.

Wszystkie analizy chlebów wykonywano minimum w dwóch powtórzeniach. Uzyskane wyniki poddano jednoczynnikowej analizie wariancji (ANOVA) w programie Statistica 10. Istotność różnic między wartościami średnimi weryfikowano testem Duncana przy  $p \leq 0,05$ .

Trwałość mikrobiologiczną pieczywa wyznaczano metodą termostatową PN-A-74102:1999 [25]. Wykonywano również posiewy mikrobiologiczne mające na celu określenie w 1 g pieczywa: liczby tlenowych bakterii amylolitycznych (OLBA), liczby tlenowych przetrwalnikujących bakterii amylolitycznych (OLBAP) – zgodnie z PN-A-74134-4:1998 [23], liczby drożdży i pleśni (OLG) – zgodnie z PN-A-74134-6:1998 [24]. Wszystkie analizy mikrobiologiczne wykonywano w trzech powtórzeniach w 1., 5. i 7. dobie przechowywania pieczywa.

## Wyniki i dyskusja

Uzyskane zakwasy zostały użyte do sporządzenia ok. 70 kg ciasta. Stosowano zbliżone, ale nie identyczne ilości poszczególnych surowców, tj. mąki, zakwasu, soli i wody, tak, aby uzyskać porównywalną konsystencję ciasta z różnych mąk. Ukwaszona mąka razowa wprowadzona do ciasta w formie zakwasu stanowiła 9 % całości mąki orkiszowej, 11 % całości mąki pszennej graham i 12 % mąki żytniej (tab. 1 - 3).

Największa ilość zakwasu w cieście żytnim wynikała z konieczności największego ukwaszenia mąki żytniej ze względu na potrzebę zahamowania działania  $\alpha$ -amylazy i umożliwienia utworzenia struktury ciasta. Ponadto w środowisku kwaśnym ciasta pszennej i żytniej uaktywnia się enzym fitaza (co zwiększa dostępność pierwiastków) oraz enzymy proteolityczne, co prowadzi do utworzenia związków aromatycznych oraz związków przeciwbakteryjnych. Tworzą się ponadto egzopolisacharydy biorące udział w kształtowaniu struktury ciasta i opóźnianiu starzenia się chleba [2, 7]. Z ww. powodów w cieście żytnim zastosowano największy udział soli (3 %), która również przyczynia się do zmniejszenia aktywności amylolitycznej.

Strata wypiekowa całkowita wszystkich ocenianych chlebów zawierała się w przedziale  $12 \div 15,5$  %, przy czym nie była ona zależna od rodzaju badanego pieczywa (tab. 4). Najmniejszą stratą wypiekową odznaczał się chleb VS01 z mąki orkiszowej MO1, w której oznaczono o 3,5 % więcej glutenu mokrego niż w mące orkiszowej MO2 [18]. Chleb z mąki VSO2 charakteryzował się za to istotnie większą objętością w porównaniu z chlebem VS01.

Największą objętością wyróżniały się chleby z mąki graham z pszenicy zwyczajnej (tab. 4) i one też zyskały największą akceptację konsumentów w ocenie organoleptycznej (tab. 4). Należy podkreślić, że w ocenie organoleptycznej chleby razowe

z mąki z pszenicy zwyczajnej zostały wyróżnione największą liczbą punktów ze względu na smak i zapach. Mimo że chleby żytnie i orkiszowe były zbliżone pod względem objętości, to jednak większą akceptacją konsumentką – ze względu na smak i zapach – wyróżniały się chleby żytnie (tab. 4).

Preferencje konsumentów mogły być związane ze stosunkiem kwasu mlekowego do octowego w chlebach, gdyż wskaźnik ten w największym stopniu wpływa na smak i zapach pieczywa na zakwasie. W chlebach pszennych graham oznaczono trzykrotnie większą ilość kwasu mlekowego niż octowego (tab. 5), podobnie jak w chlebach orkiszowych, które jednak zyskały mniejszą akceptację konsumentów (tab. 4). Chleby te odznaczały się też zbliżoną kwasowością miękiszu (tab. 5). Interesujące wydaje się to, że mimo największej kwasowości miękiszu spowodowanej prawdopodobnie większą obecnością kwasu octowego, w odniesieniu do pozostałych chlebów, razowy chleb żytni bardziej smakował oceniającym niż orkiszowy. Być może wpłynęła na tę ocenę największa zawartość glukozy oznaczona w tym chlebie (tab. 6), wyraźnie większa w porównaniu z innymi chlebami, co mogło nadać miękiszowi chleba żytniego ciekawy, słodko-kwaśny smak i wyrazisty zapach związany z większą zawartością kwasu octowego. Najmniejszą zawartość maltozy i glukozy oznaczono w chlebie orkiszowym VS01, w którym jednocześnie odnotowano ok. 10-krotnie większą zawartość etanolu w porównaniu z pozostałymi chlebami (tab. 6).

Jak wynika z danych zawartych w tab. 4., chleby wypieczone z udziałem zakwasów fermentowanych spontanicznie należy traktować indywidualnie ze względu na brak powtarzalności jakości chlebów z różnych zakwasów z tego samego rodzaju mąki.

Największą zawartość białka oznaczono w chlebach z mąki orkiszowej, pośrednią – w chlebach z mąki z pszenicy zwyczajnej, zaś najmniejszą (w porównaniu z chlebami orkiszowymi nawet o połowę mniejszą) – w chlebach z razowej mąki żytniej (tab. 7). Jest to przypuszczalnie wynikiem różnic zawartości białka w mąkach, co przedstawiono we wcześniejszej publikacji [18], z których ten chleb wypieczono.

Mimo wykazanej statystycznej istotności różnic pod względem zawartości tłuszczu, wyniki analizy tego składnika we wszystkich rodzajach chlebów należy uznać za porównywalne, bowiem oznaczona zawartość tłuszczu powyżej 2 %, a nawet 3 %, najprawdopodobniej pochodzi z tłuszczu dodanego, stosowanego do smarowania form.

Analizowane chleby charakteryzowały bardzo niewielkie, ale istotne różnice pod względem zawartości substancji mineralnych w postaci popiołu (tab. 7), choć najmniejszą jego ilość oznaczono w chlebach z mąki pszennej graham, co uwidocznilo się w najmniejszej zawartości potasu (K) – tab. 8. oraz miedzi (Cu) – tab. 9. w tych chlebach. Największa zawartość popiołu w chlebie z mąki orkiszowej VS01 (tab. 7) skutkowała natomiast największą zawartością fosforu (P) – tab. 8., żelaza (Fe) i cynku (Zn) – tab. 9. w tym chlebie.

Tabela 4. Wyniki analizy jakości oraz oceny organoleptycznej chleba  
Table 4. Results of quality and organoleptic assessment of bread

Rodzaj chleba Type of bread	Masa bochenka Loaf weight [g]	Objętość pieczywa Volume of bread [cm <sup>3</sup> ]	Całkowita strata wypiekowa Total baking loss [%]	Wydajność ciasta Yield of dough [%]	Wydajność pieczywa Yield of bread [%]	Wyniki oceny organoleptycznej Results of organoleptic assessment		
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$		$\bar{x} \pm SD$	Liczba punktów Scores	Punkty za smak i zapach Scores for taste and flavour	Klasa jakości Quality class
VSZ1	514 <sup>bc</sup> ± 5	897 <sup>b</sup> ± 24	14,4 <sup>bc</sup> ± 0,8	174	149 <sup>c</sup> ± 1	33,8	5,0	2
VSZ2	519 <sup>c</sup> ± 7	863 <sup>a</sup> ± 21	13,5 <sup>b</sup> ± 1,1	174	151 <sup>cd</sup> ± 2	35,5	5,3	1
VSO1	526 <sup>d</sup> ± 10	888 <sup>b</sup> ± 33	12,4 <sup>a</sup> ± 1,6	179	157 <sup>e</sup> ± 3	35,4	5,4	2
VSO2	509 <sup>ab</sup> ± 5	955 <sup>c</sup> ± 16	15,1 <sup>cd</sup> ± 0,8	179	152 <sup>d</sup> ± 1	35,5	4,6	1
VSP1	514 <sup>bc</sup> ± 4	1024 <sup>d</sup> ± 15	14,3 <sup>bc</sup> ± 0,6	160	137 <sup>b</sup> ± 1	37,4	5,6	1
VSP2	507 <sup>a</sup> ± 7	897 <sup>b</sup> ± 24	15,6 <sup>d</sup> ± 1,2	160	135 <sup>a</sup> ± 2	38,1	5,8	1

Objaśnienia / Explanatory notes:

VSZ1 – chleb żytni – partia 1 / rye bread – batch 1; VSZ2 – chleb żytni – partia 2 / rye bread – batch 2; VSO1 – chleb orkiszowy – partia 1 / spelt bread – batch 1; VSO2 – chleb orkiszowy – partia 2 / spelt bread – batch 2; VSP1 – chleb pszenny – partia 1 / wheat bread – batch 1; VSP2 – chleb pszenny – partia 2 / wheat bread – batch 2. W tabeli przedstawiono wartości średnie ( $\bar{X}$ ) ± odchylenia standardowe (SD) / Table shows mean values ( $\bar{X}$ ) ± standard deviations (SD); n = 6; a, b, c, d – wartości średnie w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie przy  $p \leq 0,05$  / mean values in columns and denoted by different letters differ statistically significantly  $p \leq 0,05$ .



Tabela 5. Kwasowość mlekiszu oraz zawartość wybranych kwasów organicznych kształtujących smak i aromat chleba  
 Table 5. Acidity of crumb and content of selected organic acids giving taste and aroma of bread

Rodzaj chleba Type of bread	Kwasowość mlekiszu Acidity of crumb	Kwas / Acid						Suma kwasów organicznych Organic Acids in total	Stosunek ilości kwasu mlekowego do octowego Content rate of lactic acid to acetic acid
		Mlekowy Lactic	Octowy Acetic	Propionowy Propionic	Jabłkowy Malic	Winowy Tartaric	Cytrynowy Citric		
		[g/100 g s.m.]							
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$		
VSZ1	10,1 <sup>b</sup> ± 0,1	0,459 <sup>d</sup> ± 0,013	0,193 <sup>b</sup> ± 0,030	0,049 <sup>b</sup> ± 0,005	0,007 <sup>b</sup> ± 0,001	-	1,722	68,8 : 31,2	
VSZ2	10,9 <sup>f</sup> ± 0,1	0,575 <sup>e</sup> ± 0,011	0,369 <sup>b</sup> ± 0,013	0,143 <sup>d</sup> ± 0,006	0,033 <sup>c</sup> ± 0,000	0,003 <sup>a</sup> ± 0,002	2,285	66,9 : 33,1	
VSO1	10,6 <sup>e</sup> ± 0,0	0,381 <sup>b</sup> ± 0,024	0,220 <sup>bc</sup> ± 0,016	0,072 <sup>d</sup> ± 0,010	0,007 <sup>b</sup> ± 0,002	-	2,314	81,1 : 18,9	
VSO2	8,6 <sup>c</sup> ± 0,0	0,424 <sup>d</sup> ± 0,008	0,240 <sup>d</sup> ± 0,004	0,058 <sup>c</sup> ± 0,018	0,004 <sup>a</sup> ± 0,001	0,017 <sup>c</sup> ± 0,004	2,107	76,3 : 23,7	
VSP1	8,2 <sup>b</sup> ± 0,0	0,373 <sup>bc</sup> ± 0,012	0,166 <sup>b</sup> ± 0,025	0,049 <sup>b</sup> ± 0,001	0,003 <sup>a</sup> ± 0,001	-	2,036	79,5 : 20,5	
VSP2	9,5 <sup>d</sup> ± 0,1	0,378 <sup>c</sup> ± 0,030	0,221 <sup>c</sup> ± 0,017	0,043 <sup>a</sup> ± 0,001	0,002 <sup>a</sup> ± 0,000	0,009 <sup>b</sup> ± 0,001	1,746	74,3 : 25,7	

Objasnienia jak pod tab. 4. / Explanatory notes as in Tab. 4.

Tabela 6. Zawartość wybranych cukrów i alkoholi kształtujących smak i aromat chleba

Table 6. Content of selected sugars and alcohols giving taste and aroma of bread

Rodzaj chleba Type of bread	Zawartość [g/100 g s.m.] / Content [g/100 g d.m.]			
	Cukry / Sugars		Alkohole / Alcohols	
	Maltoza / Maltose	Glukoza / Glucose	Glicerol / Glycerin	Etanol / Ethanol
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
VSZ1	0,4188 <sup>c</sup> ± 0,0097	0,5519 <sup>e</sup> ± 0,0040	0,2251 <sup>a</sup> ± 0,0264	0,0779 <sup>d</sup> ± 0,0010
VSZ2	0,8924 <sup>d</sup> ± 0,0006	0,8378 <sup>e</sup> ± 0,0207	0,2592 <sup>ab</sup> ± 0,0185	0,0504 <sup>b</sup> ± 0,0029
VSO1	0,0369 <sup>a</sup> ± 0,0003	0,0909 <sup>a</sup> ± 0,0156	0,2831 <sup>b</sup> ± 0,017	0,5233 <sup>b</sup> ± 0,0018
VSO2	0,3628 <sup>c</sup> ± 0,0181	0,3803 <sup>d</sup> ± 0,0218	0,2726 <sup>c</sup> ± 0,0232	0,0530 <sup>c</sup> ± 0,0019
VSP1	0,4173 <sup>c</sup> ± 0,0137	0,2794 <sup>c</sup> ± 0,0070	0,2147 <sup>a</sup> ± 0,0039	0,0410 <sup>a</sup> ± 0,0035
VSP2	0,2318 <sup>b</sup> ± 0,0010	0,1435 <sup>b</sup> ± 0,0006	0,2639 <sup>b</sup> ± 0,0017	0,0506 <sup>b</sup> ± 0,0012

Objaśnienia jak pod tab. 4. / Explanatory notes as in Tab. 4.

Tabela 7. Podstawowy skład chemiczny badanych chlebów

Table 7. Basic chemical composition of bread studied

Rodzaj chleba Type of bread	Sucha masa [g/100 g próbki] Dry mass [g/100 g sample]	Białko ogółem [g/100 g s.m.] Total protein [g/100 g d.m.]	Tłuszcz surowy [g/100 g s.m.] Raw fat [g/100 g d.m.]	Związki mineralne w postaci popiołu [g/100 g s.m.] Mineral compounds in form of total ash [g/100 g d.m.]
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
VSZ1	92,65 <sup>d</sup> ± 0,02	7,05 <sup>a</sup> ± 0,02	2,28 <sup>a</sup> ± 0,03	3,65 <sup>d</sup> ± 0,02
VSZ2	90,44 <sup>c</sup> ± 0,08	7,53 <sup>b</sup> ± 0,05	3,25 <sup>e</sup> ± 0,11	3,54 <sup>c</sup> ± 0,01
VSO1	93,05 <sup>e</sup> ± 0,03	14,58 <sup>f</sup> ± 0,00	2,96 <sup>d</sup> ± 0,02	3,72 <sup>e</sup> ± 0,02
VSO2	90,35 <sup>c</sup> ± 0,06	13,39 <sup>e</sup> ± 0,23	3,04 <sup>d</sup> ± 0,01	3,30 <sup>b</sup> ± 0,01
VSP1	89,98 <sup>a</sup> ± 0,05	12,18 <sup>c</sup> ± 0,04	2,71 <sup>c</sup> ± 0,07	3,07 <sup>a</sup> ± 0,02
VSP2	90,10 <sup>b</sup> ± 0,03	12,70 <sup>d</sup> ± 0,02	2,51 <sup>b</sup> ± 0,12	3,09 <sup>a</sup> ± 0,02

Objaśnienia jak pod tab. 4. / Explanatory notes as in Tab. 4.

Z danych literaturowych wiadomo, że zawartość składników mineralnych jest zwykle związana z zawartością błonnika pokarmowego w chlebach. Składniki te w największych ilościach znajdują się bowiem w zewnętrznych warstwach ziarniaków [3]. Zależności takie nie zostały jednak potwierdzone w analizowanych chlebach, gdyż największą zawartość błonnika (15 %) oznaczono w chlebie żytnim VSZ2 (tab. 10), o przeciętnej zawartości popiołu (tab. 7). Natomiast chleb VSO1 z mąki orkiszowej o największej zawartości popiołu odznaczał się zawartością błonnika (13,3 %) zbliżoną do zawartości tego składnika w chlebie z mąki z pszenicy zwyczajnej VSP2 – 12,9 % (tab. 10), w której oznaczono najmniejszą zawartość popiołu (tab. 7).

Tabela 8. Zawartość makroelementów w badanych chlebach [mg/kg s.m.]

Table 8. Content of macroelements in bread studied [mg/kg d.m.]

Rodzaj chleba Type of bread	Mg $\bar{x} \pm SD$	K $\bar{x} \pm SD$	P $\bar{x} \pm SD$	Ca $\bar{x} \pm SD$	Na $\bar{x} \pm SD$
VSZ1	1085 <sup>a</sup> ± 10	4554 <sup>bc</sup> ± 591	3269 <sup>a</sup> ± 182	194 <sup>a</sup> ± 1	8153 <sup>b</sup> ± 484
VSZ2	1118 <sup>a</sup> ± 2	4292 <sup>abc</sup> ± 324	3472 <sup>ab</sup> ± 108	271 <sup>c</sup> ± 2	7906 <sup>b</sup> ± 72
VSO1	1765 <sup>d</sup> ± 98	4726 <sup>c</sup> ± 99	5206 <sup>d</sup> ± 156	304 <sup>d</sup> ± 19	6378 <sup>a</sup> ± 149
VSO2	1324 <sup>c</sup> ± 26	4322 <sup>bc</sup> ± 144	4107 <sup>c</sup> ± 7	293 <sup>d</sup> ± 6	6598 <sup>a</sup> ± 47
VSP1	1238 <sup>b</sup> ± 19	3889 <sup>ab</sup> ± 0	3591 <sup>b</sup> ± 10	245 <sup>b</sup> ± 5	6509 <sup>a</sup> ± 19
VSP2	1237 <sup>b</sup> ± 8	3579 <sup>a</sup> ± 51	3596 <sup>b</sup> ± 45	305 <sup>d</sup> ± 7	6369 <sup>a</sup> ± 180

Objaśnienia jak pod tab. 4. / Explanatory notes as in Tab. 4.

Tabela 9. Zawartość mikroelementów w badanych chlebach [mg/kg s.m.]

Table 9. Content of microelements in bread studied [mg/kg d.m.]

Rodzaj chleba Type of bread	Cu $\bar{x} \pm SD$	Fe $\bar{x} \pm SD$	Mn $\bar{x} \pm SD$	Zn $\bar{x} \pm SD$
VSZ1	4,02 <sup>c</sup> ± 0,09	64,9 <sup>ab</sup> ± 4,1	44,2 <sup>c</sup> ± 0,4	28,7 <sup>a</sup> ± 0,1
VSZ2	3,49 <sup>b</sup> ± 0,05	73,2 <sup>b</sup> ± 3,6	39,2 <sup>d</sup> ± 0,2	30,9 <sup>b</sup> ± 0,3
VSO1	4,35 <sup>d</sup> ± 0,09	104,6 <sup>d</sup> ± 0,1	28,4 <sup>a</sup> ± 0,7	33,5 <sup>c</sup> ± 0,9
VSO2	4,82 <sup>e</sup> ± 0,10	62,3 <sup>a</sup> ± 3,7	34,9 <sup>c</sup> ± 0,2	32,7 <sup>c</sup> ± 0,3
VSP1	2,96 <sup>a</sup> ± 0,03	82,6 <sup>c</sup> ± 3,6	27,2 <sup>a</sup> ± 0,3	32,5 <sup>c</sup> ± 0,2
VSP2	2,95 <sup>a</sup> ± 0,11	56,1 <sup>a</sup> ± 5,0	30,0 <sup>b</sup> ± 0,9	29,0 <sup>a</sup> ± 1,3

Objaśnienia jak pod tab. 4. / Explanatory notes as in Tab. 4.

Tabela 10. Zawartość błonnika pokarmowego w badanych chlebach [g/100 g s.m.]

Table 10. Content of dietary fibre in investigated breads [g/100 g d.m.]

Rodzaj chleba Type of bread	Frakcja nierozpuszczalna Insoluble fraction	Frakcja rozpuszczalna Soluble fraction	Błonnik ogółem Total fibre
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
VSZ1	9,51 <sup>a</sup> ± 0,04	2,63 <sup>c</sup> ± 0,05	12,15 <sup>b</sup> ± 0,08
VSZ2	11,33 <sup>d</sup> ± 0,02	3,72 <sup>e</sup> ± 0,03	15,04 <sup>e</sup> ± 0,05
VSO1	10,34 <sup>c</sup> ± 0,04	2,99 <sup>d</sup> ± 0,08	13,34 <sup>d</sup> ± 0,05
VSO2	9,37 <sup>a</sup> ± 0,17	2,24 <sup>b</sup> ± 0,05	11,61 <sup>a</sup> ± 0,13
VSP1	10,25 <sup>bc</sup> ± 0,01	1,34 <sup>a</sup> ± 0,10	11,59 <sup>a</sup> ± 0,11
VSP2	10,06 <sup>b</sup> ± 0,13	2,84 <sup>d</sup> ± 0,03	12,90 <sup>c</sup> ± 0,10

Objaśnienia jak pod tab. 4. / Explanatory notes as in Tab. 4.

Na skutek działania bakterii kwasu mlekowego i drożdży w czasie fermentacji kwasowej rozkładowi ulegają fosforany mio-inozytolu, dzięki czemu zostają uwolnione składniki mineralne związane w mące przez te związki i dopiero w takiej formie mogą być przyswojone przez organizm ludzki. Fermentacja spontaniczna zakwasów

sporządzonych z razowych mąk pszennych (z pszenicy zwyczajnej i orkiszowej) oraz z mąki żytniej spowodowała we wszystkich chlebach znaczące zmniejszenie zawartości fosforanów mio-inozytolu w stosunku do surowców, czyli mąk razowych użytych do wypieku [18].

Najmniejszą zawartość sześćfosforanów inozytolu (0,02 i 0,04 % s.m.) – tab.11, oznaczono w chlebach żytnich, podczas gdy w razowej mące żytniej występują one w ilości 1,65 % s.m. [18]. Zmniejszenie zawartości tych związków należy szacować na ok. 80-krotne.

Tabela 11. Zawartość fosforanów mio-inozytolu w badanych chlebach  
Table 11. Content of myo-inositol phosphates in bread studied

Rodzaj chleba Type of bread	Zawartość suchej masy w próbce Content of dry matter in sample [%]	Zawartość fosforanów mio-inozytolu [% s.m.] Content of myo-inositol phosphates [% d.m.]		Zawartość fosforanów mio-inozytolu [ $\mu\text{mol/g s.m.}$ ] Content of myo-inositol phosphates [ $\mu\text{mol/g d.m.}$ ]		Oznaczone fosforany mio-inozytolu Determined myo-inositol phosphates
		IP <sub>2</sub> -IP <sub>6</sub>	IP <sub>6</sub>	IP <sub>2</sub> -IP <sub>6</sub>	IP <sub>6</sub>	
		$\bar{x} \pm \text{SD}$	$\bar{x} \pm \text{SD}$	$\bar{x} \pm \text{SD}$	$\bar{x} \pm \text{SD}$	
VSZ1	60,70	0,10 <sup>b</sup> ± 0,01	0,02 <sup>a</sup> ± 0,01	1,5 ± 0,1	0,3 ± 0,2	IP <sub>6</sub> , IP <sub>3</sub> , IP <sub>2</sub>
VSZ2	58,20	0,11 <sup>b</sup> ± 0,01	0,04 <sup>b</sup> ± 0,00	1,7 ± 0,2	0,6 ± 0,1	IP <sub>6</sub> , IP <sub>3</sub> , IP <sub>2</sub>
VSP1	59,81	0,65 <sup>d</sup> ± 0,02	0,29 <sup>c</sup> ± 0,02	9,9 ± 0,3	4,4 ± 0,2	IP <sub>6</sub> , IP <sub>5</sub> , IP <sub>4</sub> , IP <sub>3</sub> , IP <sub>2</sub>
VSP2	60,92	0,52 <sup>c</sup> ± 0,01	0,26 <sup>c</sup> ± 0,01	7,8 ± 0,1	4,0 ± 0,2	IP <sub>6</sub> , IP <sub>5</sub> , IP <sub>4</sub> , IP <sub>3</sub> , IP <sub>2</sub>
VSO1	56,12	1,27 <sup>e</sup> ± 0,05	0,58 <sup>e</sup> ± 0,03	19,3 ± 0,7	8,8 ± 0,5	InsP <sub>6</sub> , InsP <sub>5</sub> , InSP <sub>4</sub> , InSP <sub>3</sub> , InSP <sub>2</sub>
VSO2	63,94	0,54 <sup>c</sup> ± 0,01	0,33 <sup>d</sup> ± 0,01	8,2 ± 0,1	5,1 ± 0,1	InsP <sub>6</sub> , InsP <sub>5</sub> , InSP <sub>4</sub> , InSP <sub>3</sub> , InSP <sub>2</sub>

Objaśnienia jak pod tab. 4. / Explanatory notes as in Tab. 4.

Znacznie większą zawartość sześćfosforanów mio-inozytolu oznaczono w chlebach z mąki graham z pszenicy zwyczajnej (0,29 i 0,26 % s.m.) przy ok. 1,62 % s.m. tych związków występujących w mące z tej pszenicy [18]. Nastąpiło zatem ok. 56-krotne zmniejszenie zawartości IP<sub>6</sub> w chlebie pszennym. Największą jednak zawartość tych związków oznaczono w chlebach orkiszowych (1,27 i 0,54 % – tab. 11), przy zawartości sześćfosforanów inozytolu w surowcu, czyli w mące orkiszowej, w ilości odpowiednio: 2,05 i 1,66 % s.m. [18]. Nastąpiło zatem zmniejszenie zawartości IP<sub>6</sub> w chlebach odpowiednio: 1,5-krotne i 3-krotne.

Po analizie danych zawartych w tab. 11. należy podkreślić, że oprócz sześćfosforanów inozytolu IP<sub>6</sub> w badanych chlebach oznaczono także niższe izomery tego związku – od IP<sub>2</sub> do IP<sub>5</sub> (tab. 11). Całkowita ilość fitynianów kształtowała się w bada-

nych chlebach analogicznie do zawartości IP<sub>6</sub>. Natomiast zaobserwowano istotne różnice pod względem zawartości poszczególnych niższych fosforanów mio-inozytolu. W chlebach żytnich, w których nastąpiła największa degradacja fitynianów, oznaczono izomery IP<sub>6</sub>, IP<sub>3</sub> oraz IP<sub>2</sub>. Nie zidentyfikowano izomerów IP<sub>5</sub> oraz IP<sub>4</sub>, co może świadczyć o większej aktywności endogennej fitazy zawartej w mące żytniej, która w większym stopniu rozłożyła sześćfosforan inozytolu do niższych izomerów tego związku – IP<sub>3</sub> oraz IP<sub>2</sub>. Na podstawie współczesnych badań izomerom tym przypisuje się właściwości prozdrowotne, m.in. rolę wewnątrzkomórkowych przekaźników regulujących układ nerwowy i krwionośny czy też związków zapobiegających nowotworom i krystalizacji hydroksyapatytu, który inicjuje powstawanie kamieni nerkowych [21, 29].

W chlebach razowych pszennych, zarówno orkiszowych, jak i z mąki z pszenicy zwyczajnej, także oznaczono wyższe fosforany inozytolu, tj. IP<sub>5</sub> i IP<sub>4</sub> oraz fosforany IP<sub>3</sub> i IP<sub>2</sub>. Obecność wyższych fosforanów, zwłaszcza IP<sub>5</sub>, może świadczyć o mniejszej aktywności fitazy pszennej. Przy takim samym pH zakwasu (ok. 3,7) enzym ten nie był w stanie zhydrolizować sześćfosforanów mio-inozytolu do niższych izomerów, które nie wiążą pierwiastków, ale spełniają inne funkcje w metabolizmie człowieka. Prawdopodobnie pH wyprodukowanych zakwasów już po pierwszej dobie fermentacji było zbyt niskie dla endogennej fitazy zawartej zarówno w mące pszennej, jak i w żytniej, optymalne bowiem warunki aktywujące ten enzym w mące pszennej to pH = 5,5 i temp. 50 ÷ 55 °C, a w mące żytniej – pH ok. 5,0 i temp. 55 °C. Wydaje się więc, że wobec zbliżonych warunków fermentacji w żurowniku, to większa ilość i aktywność fitazy w mące żytniej była przyczyną tak radykalnego rozłożenia fitynianów IP<sub>6</sub> w czasie pierwszej doby fermentacji, kiedy pH wynosiło ok. 6,5 ÷ 4,0 [18].

Tabela 12. Zawartość akryloamidu w badanych chlebach

Table 12. Content of acrylamide in bread studied

Rodzaj chleba Type of bread	Zawartość akryloamidu [µg/kg próbki] Content of acrylamide [µg/kg sample]
	$\bar{x} \pm SD$
VSZ1	33,83 <sup>b</sup> ± 0,01
VSZ2	40,38 <sup>d</sup> ± 0,03
VSO1	mniej niż 20 (poniżej granicy detekcji) less than 20 (below level of detection)
VSO2	mniej niż 20 (poniżej granicy detekcji) less than 20 (below level of detection)
VSP1	35,67 <sup>c</sup> ± 0,01
VSP2	29,43 <sup>a</sup> ± 0,04

Objaśnienia jak pod tab. 4. / Explanatory notes as in Tab. 4.

Badanych chlebów nie można uznać za znaczące źródło akryloamidu, jak to przyjmuje się w odniesieniu do chlebów pszennych wypiekanych na drożdżach [10, 19]. Zakwaszenie ciasta, obecność bakterii kwasu mlekowego, a także duża wilgotność miękiszu, dochodząca nawet do 50 % w chlebach żytnich (rys. 1), ograniczyły powstawanie tego związku, zwłaszcza w chlebach orkiszowych, w których zawartość akryloamidu wynosiła mniej niż 20 µg/kg próbki i okazała się ilością poniżej granicy detekcji HPLC (tab. 12). Przyczyną tego mogła być mniejsza zawartość cukrów prostych (maltozy i glukozy) w tych chlebach (tab. 6).

W badanych chlebach oznaczono zawartość mikotoksyn, jednak zawartość DON i zearalenonu okazała się poniżej poziomu detekcji Aokinmycontrol – systemu do oznaczania mikotoksyn, z wyjątkiem chleba z pszenicy zwyczajnej VSP2, w którym oznaczono śladowe ilości DON (78 µg/kg próbki) – znacznie mniejsze niż wynosi poziom dopuszczalny przez Rozporządzenie Komisji (WE) [27], czyli 500 µg/kg próbki. Chleb ten jako jedyny nie mógł być oceniony pod względem tekstury miękiszu w końcowym okresie przechowywania, gdyż po 5 dobach uległ spleśnieniu. W tym samym chlebie VSP2 oznaczono największą liczbę drożdży i pleśni ( $1,6 \times 10^2$  jtk/g próbki) spośród wszystkich badanych chlebów (tab. 13).

Tabela 13. Liczba tlenowych bakterii amylolitycznych (OLBA), tlenowych przetrwalnikujących bakterii amylolitycznych (OLBAP) oraz liczba pleśni i drożdży (OLG) po 1., 5. i 7. dobie przechowywania

Table 13. Counts of amylolytic aerobic bacteria (OLBA), amylolytic aerobic spore-forming bacteria (OLBAP), and counts of mould and yeasts (OLG) after the 1<sup>st</sup>, 5<sup>th</sup>, and 7<sup>th</sup> day of storage

Rodzaj chleba Type of bread	OLBA			OLBAP			OLG		
	Po 1. dobie After 1 <sup>st</sup> day of storage	Po 5. dobie After 5 <sup>th</sup> day of storage	Po 7. dobie After 7 <sup>th</sup> day of storage	Po 1. dobie After 1 <sup>st</sup> day of storage	Po 5. dobie After 5 <sup>th</sup> day of storage	Po 7. dobie After 7 <sup>th</sup> day of storage	Po 1. dobie After 1 <sup>st</sup> day of storage	Po 5. dobie After 5 <sup>th</sup> day of storage	Po 7. dobie After 7 <sup>th</sup> day of storage
	[jtk/g pieczywa / jtk/g of bread]								
VSZ1	0	0	0	0	0	0	$2,0 \times 10^1$	$1,0 \times 10^1$	$2,0 \times 10^1$
VSZ2	0	0	0	0	0	0	0	0	$6,0 \times 10^1$
VSO1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VSO2	0	0	0	0	0	0	0	0	$1,4 \times 10^2$ drożdże yeast
VSP1	10	0	0	0	0	0	0	0	0
VSP2	0	0	0	0	0	0	0	0	$1,6 \times 10^2$

Należy podkreślić, że wszystkie badane chleby razowe cechowały się dużą trwałością mikrobiologiczną, bowiem minimalna trwałość termostatowa wszystkich rodzajów pieczywa wynosiła 10 dób, tj. 240 h (tab. 14). W badanym pieczywie nie stwier-

dzono obecności tlenowych bakterii amylolitycznych (OLBA), tlenowych przetrwalniujących bakterii amylolitycznych (OLBAP), a tylko w pojedynczych przypadkach odnotowano wzrost grzybów strzępkowych, głównie z rodzaju *Penicylum* i *Aspergillus* (tab. 13).

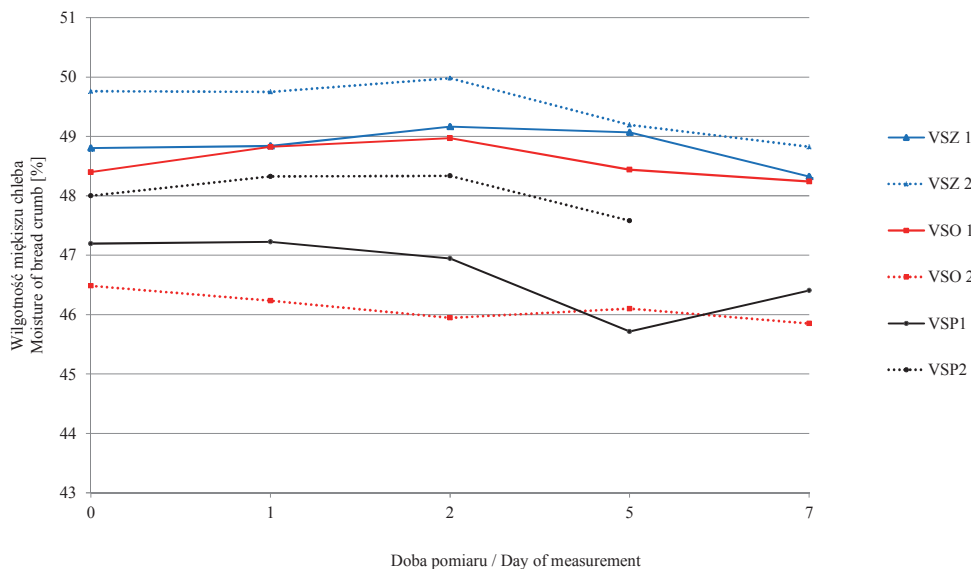
Tabela 14. Trwałość mikrobiologiczną pieczywa metodą termostatową  
Table 14. Microbiological stability of bread by thermostatic method

Rodzaj chleba Type of bread	Liczba dni bez widocznych objawów Number of days without visible symptoms
VSZ1	216 h (9 dni / days)
VSZ2	192 h (8 dni / days)
VSO1	264 h (11 dni / days)
VSO2	360 h (15 dni / days)
VSP1	336 h (14 dni / days)
VSP2	456 h (19 dni / days)

W ocenie profilu tekstury wykonanej teksturometrem TAXT Plus uwzględniono następujące wskaźniki tekstury mięksiszu: twardość, spójność, żujność i odbojność. Oznaczono także wilgotność mięksiszu, która wywiera znaczący wpływ na wszystkie ww. parametry.

W dniu wypieku największą wilgotnością wyróżniały się chleby żytnie (49 ÷ 50 %) – rys. 1. Nieznacznie mniejszą zawartość wody oznaczono w mięksiszu chlebów pszennych, zarówno z mąki z pszenicy orkiszowej, jak i z pszenicy zwyczajnej. Średnia zawartość wody w tych chlebach wynosiła ok. 47,5 %. Wydaje się, że większa zawartość wody wywarła korzystny wpływ na twardość mięksiszu, chleby z mąki żytniej odznaczały się bowiem najmniej twardym mięksiszem – ponad dwukrotnie bardziej miękkim niż oba rodzaje chlebów pszennych (rys. 2) oraz mniejszą żujnością (rys. 3). Chleby te niestety odznaczały się także najmniejszymi wartościami pozostałych parametrów mięksiszu, tj. spójności i odbojności, choć nie wszystkie różnice były statystycznie istotne.

Wydaje się, że wpływ na profil tekstury mięksiszu wywarła nie tylko jego wilgotność, mógł on zależeć także od sposobu związania i zatrzymania wody przez składniki mięksiszu. W mące żytniej składnikami najsilniej wiążącymi wodę są z pewnością pentozany, zaś w chlebach z mąki pszennej – białka glutenowe i skrobia. Pentozany znacznie silniej wiążą wodę w ukwaszonym cieście niż białka glutenowe, zaś skrobia w temperaturze poniżej 60 °C wykazuje bardzo ograniczoną zdolność wiązania wody – maksymalnie 30 % swojej masy [5].



Objaśnienia symboli jak pod tab. 4. / Explanation of symbols as in Tab 4.

Rys. 1. Zmiany wilgotności miększu chleba w czasie przechowywania

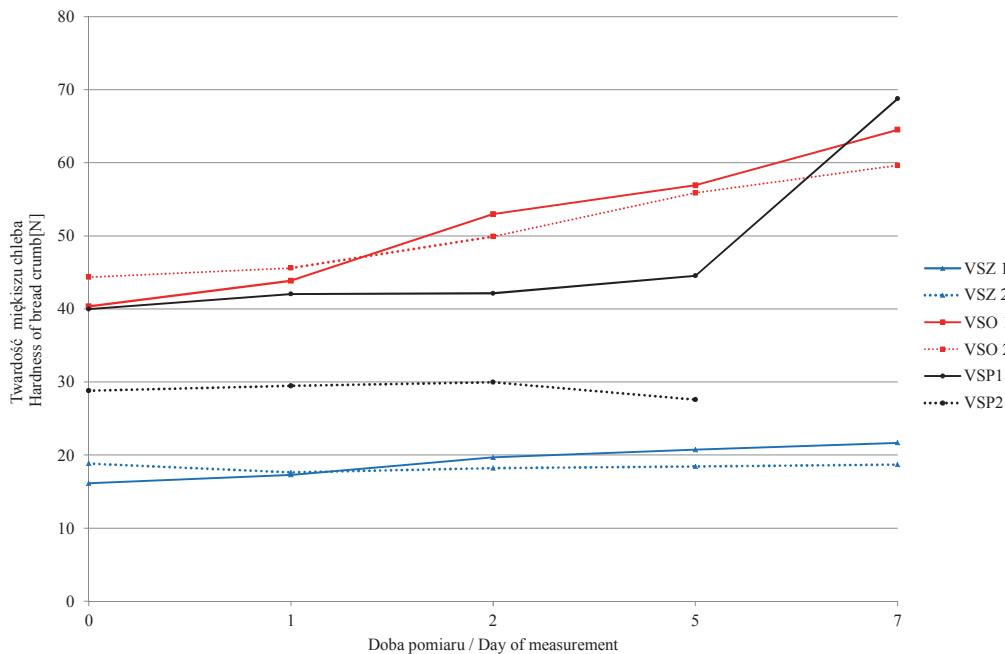
Fig. 1. Changes in moisture of bread crumb during storage

Podczas wypieku, w miarę wzrostu temperatury w całej objętości bochenka, skrobia sukcesywnie zwiększa zdolność wiązania wody, odciągając ją ze składników, które ją wcześniej zatrzymały. Substancje białkowe łatwiej oddają wodę niż pentozany, stąd skrobia kleikuje w cieście chleba pszennego w znacznie większym stopniu niż w chlebie żytnim. Skleikowana skrobia natychmiast zaczyna retrogradować, tzn. dąży do odzyskania swej krystalicznej struktury, tworząc uporządkowane, twarde regiony w miększu chleba. Proces ten postępuje już podczas chłodzenia chleba po wypieku i intensywnie przebiega w czasie pierwszej doby przechowywania, przy czym w kolejnych dniach po wypieku jego intensywność znacznie maleje [9, 12].

Badania profilu tekstury miększu podczas kolejnych dni przechowywania chlebów potwierdzają powyższą teorię starzenia się miększu chleba, gdyż miększ chlebów żytnich przez cały okres przechowywania odznaczał się wyraźnie mniejszą twardością i żujnością (rys. 2 i 3) niż miększ obu rodzajów chleba pszennego. Zatem można przypuszczać, że proces retrogradacji skrobi w chlebach pszennych i żytnich przebiegał z różną intensywnością. W chlebach razowych żytnich twardość miększu wzrosła od 16 i 18 N w dniu wypieku do 22 i 19 N w 7. dobie przechowywania (rys. 2). W obu rodzajach chlebów pszennych odnotowano natomiast znacznie większy wzrost twardości miększu pomiędzy dniem wypieku a 7. dobą przechowywania. W miększu chleba orkiszowego wzrost ten wynosił od 40 i 44 N w dniu wypieku do



60 i 65 N w 7. dobie przechowywania, a w miększu chleba z pszenicy zwyczajnej – od 29 i 40 N w dniu wypieku do 30 i 69 N w 7. dobie przechowywania (rys. 2). Zmiany twardości miększu w obu rodzajach chlebów pszennych były zatem bardzo zbliżone.

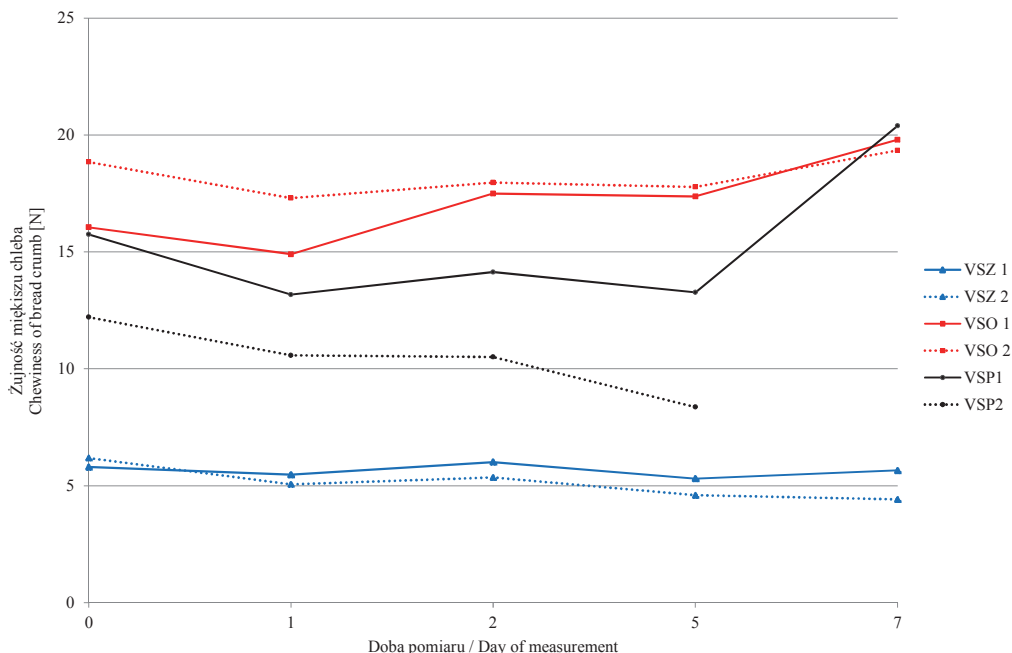


Objaśnienia jak pod tab. 4. / Explanatory notes as in Tab. 4.

Rys. 2. Zmiany twardości miększu chleba w czasie przechowywania

Fig. 2. Changes of hardness of bread crumb during storage

Zaobserwowane znaczne różnice twardości miększu pomiędzy chlebami z mąki z pszenicy zwyczajnej (rys. 2) można najprawdopodobniej przypisać innej zawartości i jakości glutenu obecnego w tych mąkach, co wykazano we wcześniejszych badaniach Litwinek i wsp. [18]. Wydaje się jednak, że mąka z pszenicy zwyczajnej, która była surowcem do wypieku chleba VSP1, charakteryzowała się dużo słabszym glutenem niż mąka stanowiąca surowiec do wypieku chleba VSP2, bowiem gluten ten nie był w stanie zatrzymać wody podczas wypieku chleba, kiedy pęczniąca i kleikująca skrobia zaczęła wykazywać aktywność. Skutkowało to w następnej kolejności retrogradacją tej skleikowanej skrobi i dużą twardością miększu, sukcesywnie postępującą podczas całego okresu przechowywania (rys. 1). W miększu chleba VSP2 zaobserwowano natomiast proces odwrotny.



Objaśnienia jak pod tab. 4. / Explanatory notes as in Tab. 4.

Rys. 3. Zmiany żujności miękiszu chleba w czasie przechowywania

Fig. 3. Changes in chewiness of bread crumb during storage

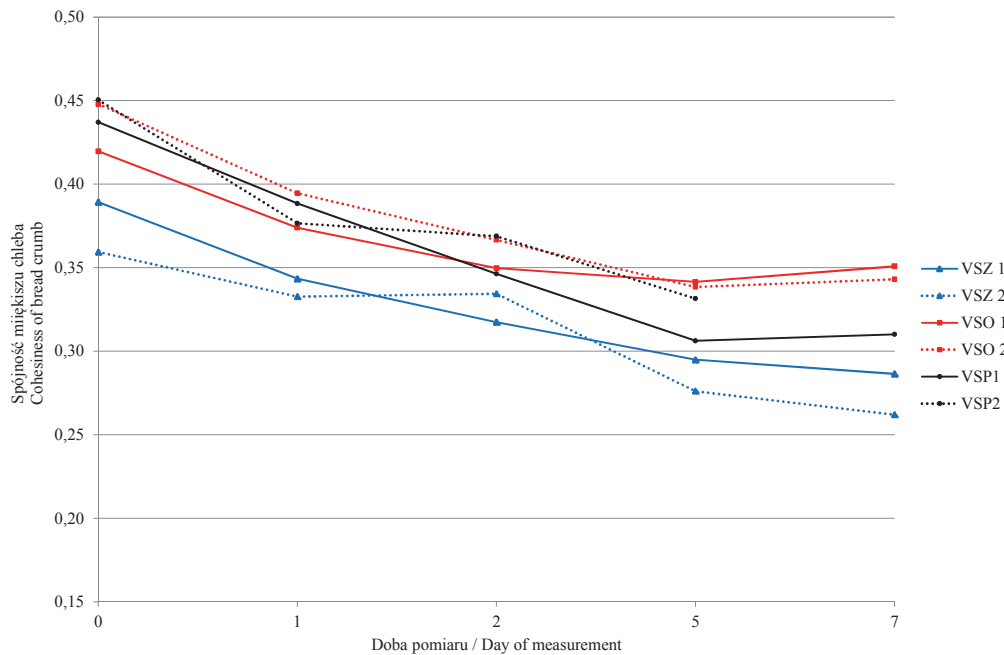
Jak pokazano na rys. 1. i 2., im większa była wilgotność miękiszu, tym mniejsza jego twardość. Zmiany twardości miękiszu były jednak dużo większe niż zmiany jego wilgotności:  $46,5 \div 50 \%$  w dniu wypieku do  $46 \div 49 \%$  w 7. dobie przechowywania, tj. o  $0,5 \div 1$  p.p. (rys. 1). Efekt ten jest potwierdzeniem, że nie utrata wody przez miękisz jest głównym powodem zwiększania się jego twardości podczas przechowywania, ale zmiany w strukturze skrobi, tj. jej kleikowanie i postępująca retrogradacja [9, 12].

Żujność miękiszu badanych chlebów kształtowała się proporcjonalnie do twardości, tzn. jej wartości były najmniejsze w przypadku chlebów żytnich i niewiele zmieniły się podczas przechowywania, w odróżnieniu od miękiszu chlebów pszennych, w których niezależnie od rodzaju żujność miękiszu w niewielkim stopniu wzrastała, z wyjątkiem chleba VSP2 (rys. 3), którego miękisz po 5 dobach uległ spleśnieniu.

Miękisz w chlebach żytnich odznaczał się nieznacznie mniejszą spójnością w dniu wypieku w porównaniu z chlebami pszennymi i tendencja malejąca dotycząca tej cechy utrzymywała się do końca okresu przechowywania. Podobną tendencję wykazano w miękiszu chlebów pszennych (rys. 4).

Miękisz chlebów żytnich odznaczał się w dniu wypieku mniejszą odbojnością niż miękisz chlebów pszennych (rys. 5), a czas przechowywania wpływał ujemnie na tę

cechę. Podobną tendencję zaobserwowano w miększu chlebów pszennych, choć miększ ten generalnie do końca okresu przechowywania (7 dób) odznaczał się większą odbojnością niż miększ chlebów żytnich (rys. 5).

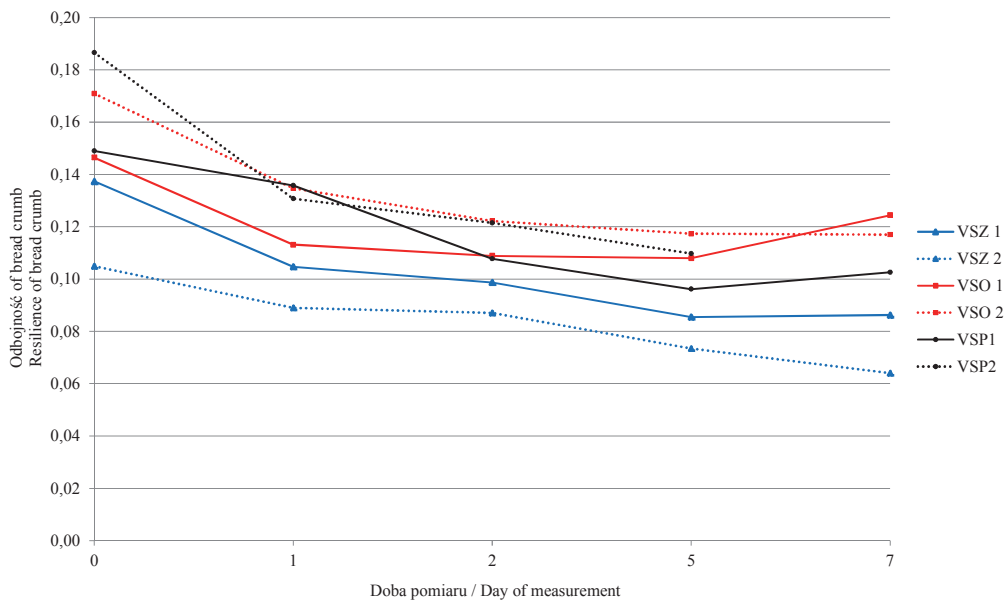


Objaśnienia jak pod tab. 4. / Explanatory notes as in Tab. 4.

Rys. 4. Zmiany spójności miększu chleba w czasie przechowywania

Fig. 4. Changes in cohesiveness of bread crumb during storage

Podsumowując, można stwierdzić, że wszystkie zastosowane ukwaszone mąki razowe, tj. pszenna z pszenicy zwyczajnej i orkiszowej oraz żytnia nadawały się do wypieku chlebów. Razowe chleby orkiszowe objętością bochenków były zbliżone do chlebów z mąki żytniej, choć wyraźnie różniły się one smakiem i zapachem zależnym od stosunku kwasu mlekowego do octowego oraz zawartości cukrów prostych w tych chlebach. Najlepiej przez konsumentów został oceniony chleb graham z mąki z pszenicy zwyczajnej, który odznaczał się najmniejszą kwasowością miększu. Największą wilgotnością i najmniejszą twardością oraz żujnością miększu przez cały okres 7-dobowego przechowywania wyróżniał się chleb żytni, zaś chleby graham i orkiszowy starzały się porównywalnie i znacznie szybciej.



Objaśnienia jak pod tab. 4. / Explanatory notes as in Tab. 4.

Rys. 5. Zmiany odbojności miękiszu chleba w czasie przechowywania

Fig. 5. Changes in resilience of bread crumb during storage

## Wnioski

1. Największą objętością wyróżniały się chleby graham z mąki z pszenicy zwyczajnej i one były najbardziej akceptowane przez konsumentów podczas oceny organoleptycznej, zwłaszcza za smak i zapach. Chleby żytnie i z mąki z pszenicy orkisz były do siebie zbliżone pod względem objętości bochenków, ale większą akceptacją konsumentów wyróżniały się chleby żytnie.
2. W chlebach z mąki pszennej, zarówno graham, jak i orkiszowej, stwierdzono zbliżony stosunek zawartości kwasu mlekowego do octowego, średnio 78 : 22, natomiast w chlebie żytnim było więcej kwasu octowego i stosunek ten wynosił średnio 68 : 32. W chlebie razowym żytnim wykazano też największą zawartość glukozy.
3. W odróżnieniu od chlebów żytnich w chlebach razowych pszennych, zarówno orkiszowych, jak i graham, oprócz zawartości niższych fosforanów mio-inozytolu  $IP_3$  i  $IP_2$  wykazano także wyższe fosforany tego związku –  $IP_5$  i  $IP_4$ , świadczące o mniejszej aktywności endogennej fitazy pszennej.

4. Zakwaszenie ciasta, obecność bakterii kwasu mlekowego oraz bardzo duża wilgotność miękiszu ograniczyły powstawanie akryloamidu w badanych chlebach, zwłaszcza wyprodukowanych z mąki pszennej orkiszowej.
5. Badane chleby odznaczały się dużą trwałością mikrobiologiczną, z wyjątkiem jednego chleba z mąki graham z pszenicy zwyczajnej, na którym stwierdzono oznaki pleśni po 7 dobach przechowywania.
6. W dniu wypieku największą wilgotnością miękiszu wyróżniały się chleby żytnie (ok. 50 %), natomiast średnia wilgotność miękiszu chlebów pszennych (orkiszowych i graham) wynosiła ok. 47,5 %. W 7. dobie przechowywania wilgotność miękiszu wszystkich chlebów zmniejszyła się w bardzo małym stopniu, o 0,5 ÷ 1 p.p.
7. Mimo niewielkich zmian wilgotności miękiszu zaobserwowano postępujący wzrost jego twardości i żujności podczas przechowywania – najmniejszy w chlebach żytnich.
8. Mięki chlebów żytnich odznaczał się w dniu wypieku najmniejszą spójnością i odbojnością, a czas przechowywania wpływał ujemnie na te cechy.

*Publikacja została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (PBS2/B8/12/2014 - FunCHLEB)*

### Literatura

- [1] AOAC: Official Methods of Analysis. 18<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists International, Gaithersburg 2006.
- [2] Arendt E.K., Ryan L.A.M., Bello F.D.: Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiol.*, 2007, 24, 165-174.
- [3] Bartnikowska E.: Przetwory z ziarna owsa jako źródła ważnych substancji prozdrowotnych w żywieniu człowieka. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.*, 2003, 229, 235-245.
- [4] Bojnanska T., Franakova H.: The use of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) for baking applications. *Rostlinna Vyroba*, 2002, 48 (4), 141-147.
- [5] Bushuk W.: Rye. Production, Chemistry and Technology. AACC, Saint Paul, Minnesota, USA, 2001, pp. 87, 172, 185.
- [6] Chen Q.-Ch., Li B.W.: Separation of phytic acid and other related inositol phosphates by high-performance ion chromatography and its applications. *J. Chromatogr. A*, 2003, 1018, 41-52.
- [7] De Vuyst L., Neysns P.: The sourdough microflora: Biodiversity and metabolic interactions. *Trends Food Sci. Technol.*, 2005, 16 (1-3), 43-56.
- [8] Abdel-Aal E.-S. M., Rabalski I.: Effect of baking on nutritional properties of starch in organic spelt whole grain products. *Food Chem.*, 2008, 111, 150-156.
- [9] Fik M.: Czerstwienie pieczywa i sposoby przedłużania jego świeżości. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2004, 2 (39), 5-22.
- [10] Friedman M.A.: Chemistry, biochemistry and safety of acrylamide: A review. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, 51, 4504-4526.

- [11] Gambuś H., Litwinek D.: Medycyna praktyczna dla pacjentów. Pieczywo – dlaczego warto jeść? [on line]. Dostęp w Internecie [02.10.2012]: <http://dieta.pl/zasady>
- [12] Gambuś H.: Funkcja skrobi w produktach piekarskich. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2000, 3 (24), 20-32.
- [13] Jakubczyk T., Haber T.: Analiza zbóż i przetworów zbożowych. Wyd. SGGW-AR, Warszawa 1981.
- [14] Kasarda D.D., D'Ovidio R.: Deduced amino acid sequence of an  $\alpha$ -gliadyn gene from spelt wheat (spelta) includes sequences active in celiac disease. *Cereal. Chem.*, 1999, 76, 548-551.
- [15] Kawka A.: Przetwory zbożowe – aspekty wzbogacania wartości odżywczej. *Przeł. Zboż. Młyn.*, 2009, 53 (10), 2-7.
- [16] Kohajdova Z., Karovicova J.: Nutritional value and banking applications of spelt wheat. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, 2008, 7 (3), 5-14.
- [17] Lefebvre D., Gabriel V., Vayssier Y., Fontagné-Faucher C.: Simultaneous HPLC determination of sugars, organic acids and ethanol in sourdough process. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2002, 35, 407-414.
- [18] Litwinek D., Buksa K., Gambuś H., Boreczek J., Kowalczyk M.: Ocena jakości handlowych mąk całościarnowych – pszennej orkiszowej, pszennej zwyczajnej i żytniej oraz uzyskanych z nich zakwasów spontanicznych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2017, 4 (113), 76-89.
- [19] Orzeł D., Biernat J.: Furan i akrylamid w żywności. *Bromatol. Chem. Toksykol.*, 2011, 44 (3), 225-232.
- [20] Paleologos E.K., Konotominas M.G.: Determination of acrylamide and methacrylamide by normal phase high performance liquid chromatography and UV detection. *J. Chromatogr. A*, 2005, 1077 (2), 128-35.
- [21] Park H.-R., Ahn H.-J., Kim S.-H., Lee C.-H., Byun M.-W., Lee G.-W.: Determination of the phytic acid levels in infant foods using different analytical methods. *Food Control*, 2006, 17, 727-732.
- [22] PN-A-74108:1996. Pieczywo. Metody badań.
- [23] PN-A-74134-4:1998. Wyroby i półprodukty ciastkarskie. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby tlenowych bakterii przetrwalnikujących amylolicznych.
- [24] PN-A-74134-6:1998. Wyroby i półprodukty ciastkarskie. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby drożdży i pleśni.
- [25] PN-A-74102:1999. Wyroby i półprodukty piekarskie. Pobieranie próbek i metody badań mikrobiologicznych. Załącznik D: Oznaczanie trwałości mikrobiologicznej pieczywa metodą termostatową.
- [26] Ranhotra G.S., Gerth J.A., Glaser B.K., Lorenz K.J.: Baking and nutritional qualities of a spelt wheat sample. *LWT - Food Sci. Technol.*, 1995, 28 (1), 118-122.
- [27] Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. *Dz. Urz. UE L 364*, s. 5-24, z 20.12.2006 z późn. zm.
- [28] Shewry P.R., Hey H.: Do "ancient" wheat species differ from modern bread wheat in their contents of bioactive components? *J. Cereal Sci.*, 2015, 65, 236-243.
- [29] Szkuderski T.: Phytic acid – its influence on organism. *J. Anim. Feed Sci.*, 1997, 6, 427-438.
- [30] Zieliński H., Ceglińska A., Michalska A.: Bioactive compounds in spelt bread. *Eur. Food Res. Technol.*, 2008, 226, #537, DOI :10.1007/s00217-007-0568-1.

## QUALITY AND AGING OF BREAD FROM WHOLEMEAL COMMON WHEAT AND SPELT FLOURS, AND FROM WHOLEMEAL RYE FLOUR

### Summary

The objective of the research study was to assess the quality of bread baked from wholemeal common wheat and spelt wheat wholemeal flours, and from a rye wholemeal flour using a spontaneous sourdough based on the respective wholemeal flour derived from a given cereal, and to determine the aging process of this bread during storage. In a conventional bakery, spontaneous sourdough starters were made from the above named three types of flour and added to the dough in an appropriate proportion. The 600 g pieces of the dough were baked and, after cooling, their weight was determined, their volume was measured, a baking loss was calculated, and an organoleptic assessment was performed. In all the bread loaves, there were determined the contents of: water, total protein, dietary fibre (soluble and insoluble fractions), ash (of the selected macro- and microelements), raw fat, some selected micotoxins, myo-inositol phosphates, substances that give bread its taste and aroma, and acrylamid. Also, the texture profile of bread crumb was measured on the day of baking and during a 7 day period of storage. Moreover, in 1 g of bread, the count of aerobic amylolytic bacteria (OLBA) was determined as were the counts of spore-forming aerobic amylolytic bacteria (OLBAP), yeasts and moulds (OLG); the thermostatic stability of bread was determined after the 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, 5<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> day of storage.

Bread baked from the common wheat Graham flour was characterized by the highest volume and the samples of this bread received, especially for its smell and taste, the highest acceptance of the consumers, who assessed them organoleptically. The rye and spelt bread loaves were characterized by a comparable loaf volume; however, the rye bread was accepted higher by the consumers than the spelt bread. In the bread made from both the common wheat and spelt wheat flour, a similar ratio was determined of lactic to acetic acid (68/32, on average). The highest level of glucose was measured in the rye bread. In contrast to the rye bread, in the bread produced from common and spelt wholemeal flours, there were determined lower contents of myo-inositol phosphates (IP<sub>3</sub> and IP<sub>2</sub>) and higher contents of phosphates of that compound (IP<sub>5</sub> and IP<sub>4</sub>). In the bread from spelt wholemeal flour, even trace contents of acrylamide were not found, and in the other bread loaves, trace amounts of this compound were determined. The bread analysed had a high microbiological stability. On the day of baking, the highest moisture content was reported in the rye bread loaves (approx. 50 %) while the average content of moisture was 47.5 % in the crumb of wheat bread (from common Graham and spelt wheat flour). After 7 days of storage, the moisture content in all the bread loaves decreased to a very low degree: 0.5 to 1 p.p., although their crumbs progressively hardened during storage; the rye bread crumb hardened the slowest.

**Key words:** wholemeal bread made with spontaneous sourdough from: rye flour, common wheat flour, spelt wheat flour, spontaneous sourdough, bread quality, bread aging ☒