

Urszula Kaim

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
e-mail: urszula.kaim90@gmail.com

Joanna Harasym

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
College of Agricultural and Forestry Engineering, University of Valladolid
e-mail: joanna.harasym@ue.wroc.pl

PRODUKCJA CHLEBA BEZGLUTENOWEGO WYZWANIEM DLA WSPÓŁCZESNEGO PIEKARNICTWA

PRODUCTION OF GLUTEN-FREE BREAD – A CHALLENGE FOR BAKING INDUSTRY

DOI: 10.15611/nit.2017.4.03

JEL Classification: Q21

Streszczenie: Chleb to przykład typowego produktu spożywczego, który w prawie niezmienniej formie jest obecny w diecie człowieka od tysiącleci. Pomimo jego ugruntowanej pozycji w jadłospisie ludzi na całym świecie konsumpcja pieczywa spada z roku na rok, co wymusza na producentach dostosowywanie się do zmieniających się trendów na rynku. Nie tylko moda, ale również rosnąca liczba rozmaitych alergii i nietolerancji powoduje, że też w branży piekarniczej poszukuje się nowych rozwiązań technologicznych mających na celu stworzenie szerszej oferty rynkowej. Celem niniejszej pracy jest przegląd aktualnego piśmiennictwa i przeanalizowanie problemów technologicznych, jakie napotyka współczesne piekarnictwo, stając przed wyzwaniem produkcji chleba bezglutenowego. Brak glutenu stwarza szereg problemów technologicznych i jakościowych, których rozwiązanie próbuje się osiągnąć poprzez stosowanie różnych surowców bezglutenowych, dodatki strukturotwórcze lub poprawę właściwości ciastotwórczych metodami fizycznej obróbki surowców bezglutenowych. Zmiany fizykochemiczne zachodzące w trakcie wypieku pieczywa bezglutenowego nie są dotąd w pełni poznane, jednak istnieją metody fizycznej modyfikacji surowców bezglutenowych pozwalające na polepszenie jakości produktu finalnego, do których zalicza się głównie metody hydrotermiczne. Kolejnym interesującym aspektem produkcji pieczywa bezglutenowego jest wykorzystanie do tego celu mąk z pseudozbóż, co z uwagi na ich wysoką wartość żywieniową wydaje się obecnie najlepszym rozwiązaniem dla osób cierpiących na celiakię. Dodatkowo, produkcja pieczywa bezglutenowego z zastosowaniem pseudozbóż może odbywać się z wykorzystaniem naturalnych zakwasów, przez co dodatek polepszczy staje się zbędny, co umożliwia stosowanie tzw. czystej etykiety (*clean label*).

Słowa kluczowe: pieczywo w diecie, gluten, celiakia, pseudozboża, promieniowanie mikrofalowe.

Summary: Bread is an example of a typical food product which has been present in human diet for thousands of years in an almost unchanged form. Despite its established position in the diet of people all over the world, the consumption level of bread is falling from year to year, which forces the manufacturers to adapt to the changing trends on the market. Not only fashion but also a growing number of allergies and intolerances cause that the baking industry is also looking for new technological solutions aimed at creating a wider market offer. The aim of this paper is to review the current literature and to analyze technological problems faced by modern bakery industry challenged by gluten-free bread production. The lack of gluten causes a number of technological and quality problems, which are tried to be solved by using various gluten-free raw materials, structural additives or improving dough-forming properties by means of physical processing of gluten-free raw materials. Physico-chemical changes taking place during baking of gluten-free bread are not fully known yet, however, there are methods of physical modification of gluten-free raw materials allowing to improve the quality of the final product, which include mainly hydrothermal methods. Another interesting aspect of gluten-free bread production is the use of pseudocereals flour, which, due to its high nutritional value, now seems to be the best solution for people suffering from coeliac disease. Additionally, the production of gluten-free bread with the use of pseudocereals may be carried out with the use of natural leaven, which restricts the addition of improvers and enables the use of the so-called clean label.

Keywords: bread in diet, gluten, celiac disease, pseudocereals, microwaves.

1. Miejsce chleba w historii i diecie człowieka

Otrzymywane na bazie zbóż i roślin strączkowych produkty żywnościowe stanowią obecnie podstawę zaopatrzenia w niezbędne składniki odżywcze dla ok. 75% światowej populacji, a pieczywo, zaraz po mleku (wraz z przetworami) i ziemniakach, stanowi największą pod względem spożycia grupę produktów [Diowks 2012].

Chleb od tysięcy lat jest podstawowym pożywieniem i artykułem pierwszej potrzeby dla człowieka [Fabiańska, Fronczyk 2015] i niemalże od początku swojego powstania uznawany był za najdoskonalsze pożywienie, a z uwagi na swój związek z obrzędami religijnymi stanowi przedmiot sacrum w tradycji chrześcijańskiej [Kocik 2013].

Historycy zajmujący się badaniami pożywienia ludzkiego na przestrzeni wieków stwierdzili, że pierwotną formą chleba była polewka, czyli zalewane wodą owoce traw i zbóż oraz bryja – zalane wrzątkiem rozdrobnione ziarna traw. Rozdrabnianie ziaren zbóż, czyli wytwarzanie mąki, pierwotnie odbywało się z zastosowaniem kamiennych narzędzi, a później z wykorzystaniem moździerzy i stępów. Powstała mąkę, w połączeniu z wodą, poddawano obróbce termicznej na rozpalonych kamieniach czy w popiele, wytwarzając w ten sposób suche i twarde placki. Placki te, uznawane za pierwsze pieczywo zbożowe, wytwarzane były z zanieczyszczonej i grubej śruty, przez co były zakalcowate i ciężkostrawne. W późniejszym okresie placki wytwarzano z ciasta uprzednio ukwaszonego, co stanowiło początki celowo przeprowadzanych fermentacji dla celów spożywczych. Do przeprowadzenia fer-

mentacji ciasta często stosowano osady pofermentacyjne powstałe podczas produkcji piwa czy wina, a następnie rozczyń wytwarzany z poprzednio wyrabianego ciasta [Szymanderska 2003].

Sposoby wytwarzania pieczywa na całym świecie wywodzą się z jednakowych technik odwadniania placków czy pieczenia chleba. Metodykę tą rozpoczyna wykorzystanie do wypiekania rozgrzanych węgli czy kamieni, następnie proces ten doskonalili się z użyciem naczyń pokrywkowych, zapobiegających nadmiernej utracie wilgotności, aż wreszcie dochodzi do konstrukcji specjalistycznych pieców kopulastych.

Każdy kraj posiada własną historię i metodykę wytwarzania rozczyń ciasta i jego wypieku, zależną od wykorzystanych surowców i lokalizacji kraju, a na smak pieczywa, poza zastosowanymi do produkcji surowcami, wpływa sposób ogrzewania pieca i metoda wypieku.

Współcześnie pieczywo nadal zajmuje czołową pozycję w diecie człowieka na niemalże całym świecie [Fabińska, Fronczyk 2015]. Pełni ono wiele funkcji żywieniowych: dostarcza węglowodanów i tłuszczu będących głównym źródłem energii, białka pełniącego funkcje budulcowe, substancji mineralnych, witamin z grupy B, niezbędnych do prawidłowego wzrostu i przemiany materii oraz błonnika regulującego właściwe czynności ruchowe jelit. Zgodnie z aktualnymi tendencjami żywieniowymi dotyczącymi właściwego odżywiania się zaleca się spożywanie produktów pochodzenia zbożowego o możliwie niewielkim stopniu przetworzenia, czyli z pełnego ziarna, o większej zawartości składników odżywczych w porównaniu z wyrobami wyprodukowanymi z ziarna oczyszczonego [Czerwińska 2016].

Pieczywo jest spożywane przez ludzi w różnym wieku ze wszystkich warstw społecznych, zarówno zdrowych, jak i cierpiących na różnego rodzaju dolegliwości, dlatego też rynek piekarniczy wytwarza produkty o różnych składach, w tym pieczywo o przeznaczeniu dietetycznym czy specjalnym, jak pieczywo bezglutenowe. Stanowi ono, razem z innymi produktami bezglutenowymi, podstawę diety eliminacyjnej dla osób cierpiących na niepożądane reakcje organizmu związane ze spożywaniem tzw. zbóż glutenowych (pszenica, żyto i jęczmień) [Lange 2013].

2. Nietolerancja glutenu

W technologii piekarnictwa gluten to elastyczny kompleks powstały w wyniku wypłukania z mąki skrobi, który wytwarza się na skutek połączenia i wyrobienia mąki pszennej z wodą [Przetaczek-Rózanowska, Bubis 2016]. Stanowi on podstawową frakcję białkową odpowiedzialną za wytworzenie wewnętrznej i zewnętrznej struktury chleba i skórki [Lazaridou i in. 2007], dlatego też pełni istotną funkcję w produkcji pieczywa pszennego. Na skutek pochłaniania dużych ilości wody gluten pęcznieje i nadaje ciastu właściwości elastoplastyczne oraz ułatwia uzyskanie drobnooporowatej i cienkiej struktury gąbczastej, która utrwała się podczas wypieku. Gluten w połączeniu z wodą tworzy matrycę ciasta, nadając mu odpowiednie cechy, jak spoistość, lepkość, sprężystość i elastyczność [Gallagher (red.) 2009], tak więc jego

zastąpienie czy eliminacja stanowi poważne wyzwanie w technologii piekarnictwa bezglutenowego [Lazaridou i in. 2007].

Całkowite wykluczenie glutenu z diety zalecane jest osobom cierpiącym na celiakię i nietolerancję glutenu [Domaradzki, Korpal 2017]. Celiakia, inaczej choroba trzewna, jest chorobą żołądkowo-jelitową o autoimmunologicznym podłożu [Darewicz, Dziuba 2007], polegającą konkretnie na nietolerancji prolamin, białek występujących w zbożach, takich jak pszenica (gliadyna), żyto (sekalina), jęczmień (hordeina) [Swora i in. 2009]. Czasem do tej grupy zaliczany jest także owies oraz występująca w nim awenina, jednakże badacze wskazują, że spowodowane jest to raczej zanieczyszczeniem owsa innymi zbożami glutenowymi niż specyficzną toksycznością aweniny.

Gluten, działając toksycznie na organizm chorego na celiakię, powoduje upośledzenie wchłaniania pokarmu [Hozyasz 2016] i wywołuje chronicznie występujący stan zapalny w obrębie jelita cienkiego indukujący odpowiedź immunologiczną organizmu [Swora i in. 2009]. Schorzenie to może wywoływać bardzo poważne zaburzenia ogólnoustrojowe [Hozyasz 2016], a podstawową i jedyną terapią dla osób nim dotkniętych jest całkowite i bezterminowe wykluczenie glutenu z diety [Swora i in. 2009].

Statystyki wskazują na stały wzrost liczby osób cierpiących na chorobę trzewną, co bezpośrednio związane jest z rosnącym spożyciem glutenu oraz ze zwiększoną wykrywalnością celiakii. Schorzenie to dotyczy około 1% populacji, a ze względu na przebieg choroby, specyficzne objawy kliniczne oraz stopnie zniszczenia błony śluzowej jelita cienkiego rozróżnia się jej trzy zasadnicze rodzaje: klasyczną (pełnoobjawową, nieobjawową, atypową), niemą i latentną. Objawy charakterystyczne dla choroby trzewnej, jak bóle brzucha, biegunki, wzdęcia, utrata masy ciała czy łaknienie często przypominają w obrazie objawy innych schorzeń, jak np. zespół jelita drażliwego, alergie pokarmowe czy zaburzenia będące wynikiem długotrwałego stresu. Prawidłowe zdiagnozowanie celiakii wymaga wykonania u pacjenta wielu badań diagnostycznych potwierdzających między innymi zanik kosmków jelitowych oraz obecność co najmniej dwóch typowych dla celiakii markerów serologicznych. Celiakia występuje u osób w każdym wieku, a jej objawy są od niego zależne i różnią się między sobą [Swora i in. 2009].

Poza celiakią rozróżnia się również schorzenie związane z nieceliakalną nadwrażliwością na gluten, której patofizjologie są obecnie mało udokumentowane czy spójne. W schorzeniu tym nie występuje typowe dla celiakii zniszczenie błony śluzowej jelita cienkiego oraz jej wzmożona przepuszczalność, jak i również obecność typowych dla celiakii przeciwciał, jednak pacjenci, po wyeliminowaniu glutenu z diety, zgłaszają znaczne poprawienie stanu zdrowia [Hozyasz 2016].

Ponadto w ostatnich latach obserwuje się znaczny wzrost liczby konsumentów unikających glutenu, pojmujących jego eliminację z diety jako pewnego rodzaju „styl życia” i alternatywny sposób odżywiania [Masure i in. 2016]. Wykluczenie glutenu z diety stanowi trend żywieniowy, zgodnie z którym zakłada się ograniczenie spożycia produktów zawierających pszenicę, jak i ogólnie węglowodany [Rybicka, Gliszczyńska-Świgło 2016].

2.1. Niedobory w diecie bezglutenowej i wymagania konsumentów

Diety bezglutenowe wzbudzają w dzisiejszych czasach ogromne zainteresowanie mediów, a rynek produktów bezglutenowych rośnie i podejmuje ogromne wysiłki mające na celu poprawę jakości swoich produktów [Masure i in. 2016].

Zgodnie z trendami żywieniowymi wielu konsumentów ogranicza spożycie pieczywa w codziennym jadłospisie lub całkowicie je eliminuje. Dane statystyczne wskazują, że w ciągu ostatnich dwudziestu lat konsumpcja pieczywa spadła o 40% głównie z powodu zmieniających się trendów żywieniowych czy kwestii ekonomicznych. Tendencja ta nie ma uzasadnienia w zaleceniach dietetycznych i może negatywnie wpływać na stan zdrowia konsumentów oraz powodować znaczne straty w sektorze piekarniczym [Jankiewicz 2008; Sadowska, Diowksza 2016].

Produkty bezglutenowe, w tym pieczywo, wytwarza się na ogół z rafinowanej mąki czy skrobi i rzadko kiedy wzbogaca się je w brakujące substancje odżywcze, przez co nie dostarczają one tej samej ilości składników cennych żywieniowo co ich tradycyjne zbożowe odpowiedniki. Problem ten jest szczególnie widoczny, kiedy porówna się ilość składników odżywczych zawartych w produktach pełnoziarnistych z ich bezglutenowymi zastępnikami i dotyczy szczególnie niskiej zawartości błonnika pokarmowego, witamin z grupy B (tiaminy, ryboflawiny, niacyny, folianów) oraz żelaza, wapnia, fosforu i cynku [Gallagher (red.) 2009].

Dieta osób cierpiących na celiakię, dla których jedyną skuteczną metodą leczenia jest całkowite wyeliminowanie glutenu z codziennego jadłospisu, zazwyczaj nie jest zrównoważona pod względem ilości energii dostarczanej z węglowodanów i tłuszczów. Obserwuje się w niej tendencje do większego zaspokajania potrzeb energetycznych z produktów bogatych w tłuszcze i białka, w porównaniu z osobami będącymi na tradycyjnej diecie i spożywającymi większe ilości węglowodanów [Gallagher (red.) 2009]. Dieta niskowęglowodanowa niejednokrotnie wykazuje charakter prozdrowotny, jednak w swoich skrajnych przypadkach i długo stosowana prowadzi może do wielu zaburzeń w obrębie prawidłowego funkcjonowania tkanek i narządów zależnych od glukozy oraz do zmian metabolicznych, przypominających w obrazie stan głodzenia [Zielińska, Buczkowska-Radlińska 2017].

Niedobory w diecie bezglutenowej obserwowane wśród osób cierpiących na chorobę trzewną dotyczą zazwyczaj witamin D, B9 i B12 oraz składników mineralnych, takich jak wapń, żelazo, magnez, cynk, miedź i selen. Wszelkie długotrwałe niedobory witamin czy składników mineralnych prowadzić mogą w konsekwencji do poważnych problemów zdrowotnych lub nieodwracalnych zmian [Rybnicka, Gliszczyńska-Świgło 2016]. Udział witamin i składników mineralnych w produktach bezglutenowych, w tym w wyrobach piekarniczych, można zwiększyć przez ich wzbogacanie. Procedura ta jest jednak jak dotąd stosunkowo mało powszechna wśród producentów produktów bezglutenowych i wzbogacanie pieczywa ogranicza się jedynie do zwiększenia zawartości żelaza i witaminy z grupy B [Lange 2013].

Można stwierdzić, że rosnąca liczba osób cierpiących na nietolerancję glutenu, jak i świadomość konsumentcka oraz chęć poprawy stanu zdrowia wpływają na obserwowane zmiany trendów rynkowych, objawiające się unikaniem produktów zbożowych, syntetycznych dodatków chemicznych czy w chęci powrotu do tradycyjnych receptur [Sadowska, Diowksz 2016; Masure i in. 2016]. Z tego względu w technologii piekarnictwa poszukuje się nowych rozwiązań technologicznych, mających na celu produkcję wyrobów o najlepszej jakości i spełniających oczekiwania konsumentów oraz zmniejszenie kosztów ich produkcji [Sadowska, Diowksz 2016].

3. Aspekty żywieniowe i technologiczne pieczywa bezglutenowego

Mimo że rynek produktów bezglutenowych z roku na rok poszerza swoją ofertę, to pacjentom stosującym dietę bezglutenową wciąż trudno jest odnaleźć produkty mogące sprostać ich oczekiwaniom pod względem jakości [Masure i in. 2016]. W przypadku pieczywa bezglutenowego największe wyzwanie technologiczne stanowi zastąpienie glutenu i dobór odpowiedniej receptury ciasta [Alvarez-Jubete i in. 2010] z poszanowaniem preferencji konsumentckich dotyczących unikania syntetycznych dodatków chemicznych [Sadowska, Diowksz 2016].

Głównym problemem technologicznym produkcji ciast bezglutenowych, wytwarzanych głównie na bazie mąki ryżowej czy skrobi, jest ich słaba zdolność do utrzymywania gazów, skutkująca otrzymaniem produktów końcowych o małej objętości, znacznej kruchości, pofałdowaniu czy szybko tracących kształt [Masure i in. 2016] oraz ich niska wartość żywieniowa [Alvarez-Jubete i in. 2010]. Dodatkowo mąki bezglutenowe wymagają zastosowania większych ilości wody do wytworzenia odpowiedniej struktury mięksiszu, przez co ciasto bezglutenowe cechuje się mniejszą elastycznością od pszennego [Capriles i in. 2014].

Produkcja wyrobów piekarniczych jest kilkuetapowym procesem, podczas którego zmieniają się jego właściwości reologiczne, utrwalane w trakcie wypieku ciasta. Podczas jego wypieku następuje przemiana niestrawnego, surowego ciasta w produkt przyswajalny, o charakterystycznym smaku i zapachu oraz trwałości pozwalającej zaspokoić podstawowe potrzeby człowieka. Przemiany zachodzące w pieczywie w czasie jego wypieku mają charakter kompleksowy, a zachodzące jednocześnie procesy fizyczne, biochemiczne i koloidalne cechuje swoista złożoność.

W zależności od rodzaju ciasta, tradycyjnie wypiek przeprowadza się w temperaturze od 160 do 320°C. Ponieważ ciasto jest złym przewodnikiem ciepła, jego nagrzewanie odbywa się stosunkowo powoli i zależne jest od jego wilgotności, stopnia spulchnienia, kształtu oraz wielkości, a czas wypieku zależy od stosunku powierzchni ciasta do jego objętości – im większy, tym krótszy czas wypieku. W jego trakcie zachodzą procesy termiczne oddziaływające na poszczególne sfery ciasta. Sfera powierzchniowa, będąca styczną do powierzchni pieczonego ciasta, stanowi granicę fazy gazowej i stałej (w rzeczywistości będącej układem niestałym, porów-

nywalnym do pianowego), która rozciąga się dośrodkowo w kierunku masy ciasta, zgodnie z którym ciepło przenika do jego wnętrza. Sferę pośrednią stanowi obszar, w którym wytwarza się skórka pieczywa, której to niejednolita i drobnoporowata budowa przechodzi stopniowo w mięksisz. Szybkość zmian zachodzących w kęsie ciasta podczas wypieku zależy od jego masy, stopnia porowatości i wilgotności. Przewodność cieplna ciasta rośnie z wilgotnością, maleje natomiast ze zwiększeniem jego porowatości, co w praktyce oznacza, że kęsy ciasta o maksymalnej pulchności, nadanej w czasie rozrostu, przewodzą ciepło porównywalnie do kęsów o mniejszej pulchności, lecz większej wilgotności.

Przebieg wypieku dzieli się na dwie fazy, podczas których następuje przetworzenie ciasta w pieczywo. Fazą I określa się etap przyrostu objętości kęsa i wytworzenie się skórki na skutek działania ciepła. W tej fazie występują optymalne warunki rozwojowe dla drobnoustrojów w temperaturze 35°C, co intensyfikuje działalność drożdży, a co za tym idzie – wytwarzanie dwutlenku węgla i spulchnienie kęsa. Spadek aktywności drożdży rozpoczyna się w momencie przekroczenia przez wypiek temperatury 45°C, a po osiągnięciu temperatury 60°C drobnoustroje, w tym bakterie mlekowe, zaczynają ginąć. Zwiększenie objętości kęsów przygotowywanych do wypieku na trzonie zachodzi łatwiej niż tych, w przypadku których wypiek przeprowadzany jest w formie. Rozrost kęsa w komorze wypiekowej zajmuje około 1/3 czasu trwania całego wypieku, a przyrost objętości kęsa w tym czasie wynosi 10-30% objętości wyjściowej. Zwiększenie objętości kęsa zależy od ilości wytworzonego w czasie rozrostu i w pierwszej fazie wypieku gazu spulchniającego (CO₂) i objętości par alkoholu w cieście, a w mniejszym stopniu od prężności pary wodnej wytworzonej podczas wypieku. W pierwszej fazie wypieku utrwała się większość cech zewnętrznych pieczywa łącznie z ewentualnymi wadami wypiekowymi. W tej fazie za plastyczność i podtrzymanie struktury ciasta odpowiada skrobia, której pęcznienie (związane z wydzielaniem ciepła) i kleikowanie (związane z pochłanianiem ciepła) następuje w temperaturze 40-60°C. Szybkość pęcznienia uwodnionej skrobi rośnie wraz ze wzrostem temperatury w kęsie. Przenikająca w głąb ziaren skrobiowych woda narusza ich strukturę, doprowadzając do uszkodzenia osłonki amylopektynowej, a zawarta w jej wnętrzu amyloza rozpuszcza się i w zależności od stopnia degradacji osłonki pozostaje w jej wnętrzu lub przez nią przenika. Kleikowanie skrobi zależne jest od stopnia naruszenia integralności ziaren skrobiowych powstałych zarówno na skutek działań mechanicznych w trakcie przemiału, jak i enzymatycznych, czyli uszkodzeń o charakterze porostowym. Na skutek hydrolizy zmniejsza się ilość skrobi w cieście, powstaje maltoza i dekstryny ulegające przemianom enzymatycznym (z udziałem β- i α-amylazy) i degradacji do cukrów fermentujących. W trakcie wypieku zachodzi proces niepełnego kleikowania skrobi z uwagi na niedostateczną ilość wody w cieście.

Faza II wypieku polega na dopełnianiu procesu kleikowania się skrobi i w trakcie jej przebiegu utrwalone zostają kształt, objętość oraz struktura mięksizu pieczywa. Usztywnienie wewnętrznej części kęsa następuje w temperaturze 62-67°C

i związane jest z denaturacją białek zawartych w cieście. Na tym etapie zatrzymaniu ulegają procesy biochemiczne i koloidowe w cieście, a wilgotność miękiszu zmienia się nieznacznie. Jednocześnie w tej fazie następują zjawiska równomiernego zmniejszania się wilgotności ciasta i zwiększa się przestrzeń parowania w jego masie oraz dalsze narastanie skórki. Zachodzi również proces częściowego oddania wody zaabsorbowanej podczas wytwarzania ciasta. Po denaturacji białek i osiągnięciu przez wnętrze pieczywa temperatury 92-100°C utrwalona zostaje struktura wewnętrzna wypieku i następuje zakończenie wypieku.

Opisane powyżej procesy i przemiany są znane od wielu lat i dobrze udokumentowane w literaturze, jednak odnoszą się ściśle tylko do wyrobów produkowanych z tradycyjnych produktów zbożowych. W przypadku produktów bezglutenowych, wytwarzanych obecnie głównie na bazie skrobi, procesy te nie są do końca poznane, a wiedza na temat wpływu różnych składników ciasta na rozwój jego lepkości w trakcie wypieku byłaby bardzo pomocna w zrozumieniu ich wpływu na jakość finalnego produktu. W tym obszarze brakuje odpowiedniego rozpoznania zachodzących procesów, mimo że znane są liczne techniki, które mogłyby wyjaśnić procesy zachodzące w trakcie wypieku pieczywa bezglutenowego [Masure i in. 2016; Gallagher (red.) 2009].

Ze względu m.in. na brak zrozumienia procesów zachodzących w trakcie wypieku pieczywa bezglutenowego, jak i fakt, że nie istnieje jedna typowa metoda tego procesu, do poprawy jakości produktu końcowego wykorzystuje się różnego rodzaju substancje dodatkowe: preparaty enzymatyczne, hydrokoloidy, polisacharydy, białka czy pektyny, niejednokrotnie w działaniu synergicznym, imitujące właściwości glutenu [Gallagher (red.) 2009; Masure i in. 2016], czy też wzbogaca się je w witaminy, żelazo, błonnik [Alvarez-Jubete i in. 2010]. Znane są także czynniki, które wywierają znaczny wpływ na końcową jakość pieczywa bezglutenowego, a jednym z nich jest lepkość ciasta [Gallagher (red.) 2009], która zależy od stopnia uwodnienia cząsteczek skrobi i białka. Zmiana lepkości powodowana jest zarówno szybkością obróbki mechanicznej ciasta podczas formowania, jak i procesem starzenia się układu koloidalnego czy też zastosowaniem odpowiednich substancji dodatkowych (np. hydrokoloidów), a tarcie występujące pomiędzy cząsteczkami ciasta wpływa na jego zdolność do utrzymania nadanego w trakcie formowania odkształcenia. Jeżeli siła występującego tarcia jest niewystarczająca, to następuje całkowita lub częściowa utrata nadanego odkształcenia [Gallagher (red.) 2009].

Kolejnymi istotnymi czynnikami wpływającymi na jakość produktu końcowego są: sposób mielenia ziaren, rozmiar, twardość i morfologia cząsteczek mąki oraz stopień jej uwodnienia wpływający na kleikowanie skrobi [Gómez, Martinez 2016]. Dodatkowo na efekt końcowy wpływają takie czynniki, jak warunki agrotechniczne, genetyka odmian, ilość białka, stosunek ilościowy między amylozą i amylopektyną w skrobi, zawartość lipidów polarnych w zbożach, jak również rozmiary cząsteczek skrobi czy metody produkcji mąki [Gallagher (red.) 2009; Gómez, Martinez 2016; Alvarez-Jubete i in. 2010].

4. Termiczne metody poprawy jakości mąk bezglutenowych

Mąka bezglutenowa może być modyfikowana fizycznie przez różnego rodzaju sposoby mielenia czy klasyfikację wielkości cząsteczek. Z jednej strony zabiegi te przyczyniają się do zwiększenia trwałości mąki, z drugiej zaś do zmiany jej funkcjonalności. W celu polepszenia właściwości mąk bezglutenowych wykorzystuje się również metody termiczne, do których zalicza się ekstruzję i metody hydrotermiczne. Ich zastosowanie umożliwi strukturalną modyfikację skrobi, denaturację białek, polepszenie walorów organoleptycznych [Gómez, Martinez 2016] czy zwiększenie ich terminu przydatności do spożycia [Decker i in. 2014].

Wykorzystanie metod termicznych umożliwia m.in. nadanie preparowanej skrobi odpowiednich właściwości skrobi modyfikowanej, eliminując przy tym konieczność używania do tego celu syntetycznych środków chemicznych [Jacobs, Delcour 1998], a działania w zakresie termicznych modyfikacji skrobi przeprowadza się w różnych zakresach temperatur, w zależności od chęci zachowania integralnych struktur granul skrobiowych lub też doprowadzenia do ich nieodwracalnego naruszenia [Gómez, Martinez 2016].

4.1. Proces hydrotermiczny

W warunkach termicznych nieprzekraczających temperatury kleikowania częściowo krystalicznej skrobi i z zachowaniem odpowiedniej wilgotności, następuje strukturalna modyfikacja jej ziaren, wywołana przez rozluźnienie obszarów amorficznych w strukturze sieci krystalicznej, a co za tym idzie, zachodzi zmiana jej wewnętrznego uporządkowania [BeMiller, Whistler (red.) 2009]. Proces ten, zwany obróbką hydrotermiczną (*hydrothermal treatment*), wpływa na wzrost temperatury kleikowania skrobi, a tym samym na wydłużenie okresu ekspansji bochenka i pierwszej fazy wypieku, zwiększa zdolność wiązania wody oraz, w większości przypadków, wrażliwość na katalizowaną enzymatycznie hydrolizę. Dodatkowo w jego warunkach zachodzić może rywalizacja procesowa o dostępną wodę, niezbędną do przeprowadzenia procesów kleikowania skrobi i denaturacji białek, co w konsekwencji może wpływać na rozwój struktury i właściwości tekstury produktu końcowego.

Ponadto, opóźnione kleikowanie, zarówno dla mąki, jak i skrobi, wywołane obróbką hydrotermiczną, pozytywnie wpływa na zwiększenie objętości produktu gotowego ze względu na zwiększenie jego zdolności emulgacyjnych, które mogą mieć pozytywny wpływ na retencję gazów w cieście, a co za tym idzie – na podniesienie jakości chleba [Gómez, Martinez 2016].

4.2. Ekstruzja

Obróbka mąki lub skrobi w temperaturze powyżej kleikowania prowadzi do nieodwracalnych zmian w obrębie molekularnego uporządkowania ziaren skrobiowych, co pozytywnie wpływa na jej dalsze pęcznienie i zagęszczanie kleiku wodnego.

Tego typu obróbka termiczna, czyli proces ekstruzji, wywołuje modyfikacje na poziomie strukturalnym mąki i zmienia jej właściwości fizykochemiczne. Poza kleikowaniem skrobi zachodzi rozfałdowanie i agregacja białek, co w efekcie powoduje zwiększenie ilości wolnych grup hydroksylowych zdolnych do wytworzenia wiązań wodorowych. To zjawisko zwiększa właściwości emulgacyjne mąki, co może odnaleźć zastosowanie w produkcji pieczywa bezglutenowego. Właściwości te jednak maleją wraz ze wzrostem intensywności procesu ekstruzji, a zwiększenie elastyczności zauważa się już w temperaturze 50°C, w której to również obserwuje się zmiany mechanizmów reakcji innych składników, jak hydrokoloidy [Martínez i in. 2014a; Martínez i in. 2015a], co może się przyczyniać do podniesienia jakości produktów bezglutenowych wytwarzanych z ich udziałem.

Kolejną, istotną z technologicznego punktu widzenia, cechą mąk ekstrudowanych jest ich duża zdolność do retencji wody. Zdolność ta może wpłynąć na recepturę pieczywa bezglutenowego i stanowić funkcjonalny zamiennik dla składników tłuszczowych [Román i in. 2015a; Román i in. 2015b]. Może być też wykorzystana do polepszenia konsystencji pieczywa i zmniejszenia jego suchości. Dodatkowo, zastosowanie ekstrudowanej mąki może poprawić objętość pieczywa bezglutenowego i strukturę jego miękiszu [Sanchez i in. 2008; Clerici i in. 2009], zwiększyć elastyczność ciasta, zmniejszyć jego początkową twardość i opóźnić twardnienie chleba, a także, przez konieczność dodatku większej ilości wody, zwiększyć wydajność procesu produkcji [Martínez i in. 2014c].

Zachodzące podczas ekstruzji kleikowanie zwiększa chemiczną podatność skrobi na hydrolizę [Martínez i in. 2015b], co powoduje powstawanie substratów dla procesów fermentacji i reakcji Maillarda [Hee Cho, Peterson 2010].

Mąka bezglutenowa może być modyfikowana fizycznie przez różnego rodzaju procesy termiczne. Z jednej strony zabiegi te przyczyniają się do zwiększenia trwałości mąki, z drugiej zaś do zmiany jej funkcjonalności. Dzięki opisanym powyżej zabiegom mąka ma inne właściwości od pierwotnych pod względem zdolności pochłaniania wody, gęstnienia, właściwości emulgujących czy reaktywności chemicznej. Dodatek preparowanych termicznie mąk może się przyczynić do podniesienia jakości pieczywa bezglutenowego poprzez zmianę jego objętości, okresu trwałości, koloru, smaku czy zapachu [Gómez, Martínez 2016].

4.3. Promieniowanie mikrofalowe

Alternatywą dla stosowania procesów hydrotermicznych i ekstruzji może być zastosowanie promieniowania mikrofalowego. W zależności od dielektrycznych właściwości wyjściowego materiału, promieniowanie mikrofalowe może w szybkim czasie dostarczyć dużej ilości energii do surowca i ogrzać go znacznie szybciej, niż ma to miejsce w przypadku ogrzewania konwencjonalnego. Absorbacja energii odbywa się w nastawionym na działanie mikrofal produkcie na poziomie molekularnym, przez podatne na jonizację cząsteczki, jak woda i sole mineralne, powodując szybki wzrost temperatury w jego całej objętości [Villanueva i in. 2018].

Większość badań prowadzonych w zakresie wykorzystania ogrzewania mikrofalowego w technologii pieczywa bezglutenowego dotyczy jego wpływu na proces kleikowania skrobi i potencjalnego wykorzystania tego zjawiska w doskonaleniu jakości żywności komercyjnej [Fan i in. 2017].

Odpowiednie wykorzystanie promieniowania mikrofalowego na substrat wpływa na morfologię jego cząsteczek, zawartość skrobi, glukozy, beta-glukanu, dostępność antyoksydantów oraz temperaturę kleikowania skrobi. Wykorzystanie wspomaganie promieniowaniem mikrofalowym przy obróbce termicznej mąki ryżowej, w odpowiednich warunkach, wpływa na spadek entalpii kleikowania skrobi, a co za tym idzie – na zmianę jej właściwości funkcjonalnych, a zmiany te mogą w efekcie przyczynić się do poprawy jakości pieczywa bezglutenowego [Harasym, Olędzki 2018].

5. Pseudozboża jako alternatywa dla tradycyjnych surowców w produkcji chleba bezglutenowego

Pieczywo bezglutenowe produkowane głównie z różnego rodzaju skrobi, mąki ryżowej, kukurydzianej czy też ich różnych mieszanek [Masure i in. 2016] cechują wyższy indeks glikemiczny i mniejsza wartość odżywcza od produktów wytwarzanych na bazie mąki z innych zbóż bezglutenowych (czystego owsa czy miłki abisyńskiej) lub pseudozbóż (jak szarłat, komosa ryżowa czy gryka) [Gallagher (red.) 2009; Rybnicka, Gliszczyńska-Świgło 2016]. Poza węglowodanami pochodzącymi ze skrobi produkty te dostarczają organizmowi pełnowartościowego białka, błonnika, tłuszczów bogatych w nienasycone kwasy tłuszczowe oraz witamin, wapnia, żelaza i składników bioaktywnych, jak fitosterole czy polifenole [Alvarez-Jubete i in. 2010].

Odnośnie do aspektów technologicznych, pieczywo takie osiąga szczególnie dobre wartości objętości specyficznej dla bochenka w porównaniu z produktami piekarskimi otrzymywanymi z surowców czysto skrobiowych, co jest bezpośrednio związane z ich budową i składem chemicznym [Gallagher (red.) 2009; Gómez, Martínez 2016; Alvarez-Jubete i in. 2010]. Wykorzystanie zbóż bezglutenowych i pseudozbóż, jako alternatywy dla tradycyjnie stosowanych surowców stosowanych w produkcji pieczywa bezglutenowego, umożliwia otrzymywanie produktów o znacznie lepszej jakości i strukturze ich miękkiszu oraz wartości odżywczej [Alvarez-Jubete i in. 2010].

Kolejnym ciekawym aspektem wykorzystania pseudozbóż jest produkcja pieczywa bezglutenowego na zakwasach. Tego typu produkcja ma wielowiekową tradycję, głównie w produkcji chleba żytniego, lecz znajduje ona również zastosowanie w wytwarzaniu chleba bezglutenowego [Wolska i in. 2010].

Zakwas będący mieszanką mąki, wody i innych składników, ulegający fermentacji przez bakterie kwasu mlekowego i drożdże, może pozytywnie wpływać na teksturę, smak, trwałość i wartość odżywczą chleba bezglutenowego. Efekty te mają związek ze złożoną działalnością metaboliczną bakterii kwasu mlekowego i drożdży

(związaną z produkcją egzopolisacharydów, które pełnią podobne funkcje do hydrokoloidów i mają działanie probiotyczne), aktywnością proteoamylolityczną oraz aktywnością fitazy i wytwarzaniem substancji przeciwdrobnoustrojowych [Moroni i in. 2009; Arendt i in. 2011; Galle i in. 2012].

Ciasta produkowane z udziałem zakwasów znacznie przewyższają jakością swoje „tradycyjne” odpowiedniki, a zjawisko to odnosi się do wyrobów produkowanych z mąki kukurydzianej i jej skrobi, mąki ryżowej, gryczanej [Pruska-Kędzior i in. 2008] z szarłatu, ciecierzycy czy komosy ryżowej [Coda i in. 2010].

Wyniki badań w tym zakresie wykazują, że wykorzystanie zakwasów znacznie ogranicza lub całkowicie eliminuje konieczność aplikacji substancji dodatkowych, jak polepszacze, i wykazuje dobre parametry względem przechowywania, koloru skórki, struktury miększu oraz innych cech organoleptycznych [Masure i in. 2016; Wolska i in. 2010].

6. Podsumowanie

Postęp w technologii pieczywa bezglutenowego może zależeć zarówno od zastosowania nowoczesnych metod fizycznych w obrębie modyfikacji surowców, jak i od wykorzystania tradycyjnych metod fermentacji spożywczej, znanej człowiekowi od zarania dziejów. Innowacyjne może być zarówno wykorzystanie promieniowania mikrofalowego, jak i powrót do korzeni tradycyjnego piekarnictwa. Należy jednak zwrócić uwagę na tendencje, względem których zmieniają się oczekiwania konsumentów, a za którymi to branża piekarnicza powinna nadążać, nie narażając się przy tym na straty czy zwiększanie kosztów produkcji. Innowacje w dziedzinie produkcji pieczywa bezglutenowego są niezbędne i powinny uwzględniać potrzeby osób cierpiących na nietolerancję glutenu oraz być zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju i produkcji.

Literatura

- Alvarez-Jubete L., Auty M., Arendt E.K., Gallagher E., 2010, *Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations*, European Food Research and Technology, 230, s. 437-445.
- Arendt E., Moroni A., Zannini E., 2011, *Medical nutrition therapy: use of sourdough lactic acid bacteria as a cell factory for delivering functional biomolecules and food ingredients in gluten free bread*, Microbial Cell Factories, 10 (Suppl 1):S15.
- BeMiller J., Whistler R. (red.), 2009, *Starch. Chemistry and Technology*, Academic Press, New York.
- Capriles V.D., Alfredo J., Arêas G., 2014, *Novel approaches in gluten-free breadmaking: interface between food science, Nutrition and Health*, 13, s. 871-890.
- Clerici M., Arioldi C., El-Dash A., 2009, *Production of acidic extruded rice flour and its influence on the qualities of gluten free bread*, Food Science and Technology, 42, s. 618-623.
- Coda R., Rizzello C., Gobbetti M., 2010, *Use of sourdough fermentation and pseudocereals and leguminous flours for the making of a functional bread enriched of gamma-aminobutyric acid (GABA)*, International Journal of Food Microbiology, 137(2-3), s. 236-245.

- Czerwińska D., 2016, *Podstawa żywienia*, Przegląd Gastronomiczny, 70(7/8), s. 10-13.
- Darewicz M., Dziuba J., 2007, *Dietozależny charakter enteropatii pokarmowych na przykładzie celiakii*, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 1(50), s. 5-15.
- Decker E.A., Rose D.J., Stewart D., *Processing of oats and the impact of processing operations on nutrition and health benefits*, British Journal of Nutrition 2014, 112, s. 58-64.
- Diowksz A., 2012, *Pozycja pieczywa w diecie*, Przegląd Piekarski i Cukierniczy, 10, s. 16-17.
- Domaradzki M., Korpala W., 2017, *Diety eliminacyjne w alergiach pokarmowych*, Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego, 1/4(21), s. 5-8.
- Fabiańska M., Fronczyk A., 2015, *Historia i tradycja wypieku chleba oraz jego miejsce w diecie*, Wyższa Szkoła Turystyki i Języków Obcych, 15(1), s. 93-104.
- Fan D., Gao Y., Chen Y., Wang M., Gu X., Wang L., Shen H., Lias H., Zhao J., Zhang H., 2017, *Non-additive response of starch systems in different hydration states: a study of microwave-absorbing properties*, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 44, s. 103-108.
- Gallagher E. (red.), 2009, *Gluten-Free Food Science and Technology*, Willey-Blackwell, Oxford.
- Galle S., Schwab C., Dal Bello F., Coffey A., Ganzle M., Arendt E., 2012, *Influence of in-situ synthesized exopolysaccharides on the quality of gluten-free sorghum sourdough bread*, International Journal of Food Microbiology, 155(3), s. 105-112.
- Gómez M., Martínez M.M., 2016, *Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods*, Journal of Cereal Science, 67, s. 68-74.
- Harasym J., Ołędzki R., 2018, *The mutual correlation of glucose, starch, and beta-glucan release during microwave heating and antioxidant activity of oat water extracts*, Food and Bioprocess Technology, 11, s. 874-884.
- Hee Cho I., Peterson D.G., 2010, *Chemistry of bread aroma: a review*, Food Science and Biotechnology, 19, s. 575-582.
- Hozyasz K.K., 2016, *Nieceliakalna nadwrażliwość na gluten (NCNG) – choroba ponownie odkryta*, Family Medicine & Primary Care Review, 18(1), 79-83.
- Jacobs H., Delcour J., 1998, *Hydrothermal modifications of granular starch with retention of the granular structure: a review*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46, s. 2895-2905.
- Jankiewicz M., 2008, *Dylematy polskiego piekarnictwa – szanse na ich rozwiązania*, Przegląd Zbożowo-Młynarski, 3, s. 2-5.
- Kocik L., 2013, *Mistyczne i społeczne wartości pracy przy tworzeniu chleba*, Studia Socialia Cracoviensia, 1(8), s. 9-19.
- Lange E., 2013, *Produkty bezglutenowe na rynku polskim*, Handel Wewnętrzny, 4(345), s. 83-95.
- Lazaridou A., Duta D., Papageorgiou M., Belc N., Biliaderis C.G., 2007, *Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations*, Journal of Food Engineering, 79, s. 1033-1047.
- Martínez M.M., Calviño A., Rosell C.M., Gómez M., 2014a, *Effect of different extrusion treatments and particle size distribution on the physicochemical properties of rice flour*, Food and Bioprocess Technology, 7, s. 2657-2665.
- Martínez M.M., Macías A.K., Belorio M.L., 2015a, Gómez M., *Influence of marine hydrocolloids on extruded and native wheat flour pastes and gels*, Food Hydrocolloids 43, s. 172-179.
- Martínez M.M., Oliete B., Román L., Gómez M., 2014b, *Influence of the addition of extruded flours on rice bread quality*, Journal of Food Quality, 37, s. 83-94.
- Martínez M.M., Pico J., Gómez M., 2015c, *Physicochemical modification of native and extruded wheat flours by enzymatic amylysis*, Food Chemistry, 167, s. 447-453.
- Masure H.G., Fierens E., Delcour J.A., 2016, *Current and forward looking experimental approaches in gluten-free bread making research*, Journal of Cereal Science, 67, s. 92-111.
- Moroni A., Dal Bello F., Arendt E., 2009, *Sourdough in gluten-free bread-making: an ancient technology to solve a novel issue?*, Food Microbiology, 26(7), s. 676-684.

- Pruska-Kedzior A., Kedzior Z., Goracy M., Pietrowska K., Przybylska A., Spsychalska K., 2008, *Comparison of rheological, fermentative and baking properties of gluten-free dough formulations*, European Food Research and Technology, 227(5), s. 1523-1536.
- Przetaczek-Rózanowska I., Bubis E., 2016, *Zboża bezglutenowe alternatywą dla osób chorych na celiakię*, Kosmos, 65(1), s. 127-140.
- Román L., Martínez M.M., Gómez M., 2015a, *Assessing of the potential of extruded flour paste as fat replacer in O/W emulsion: a rheological and microstructural study*, Food Research International, 74, s. 72-79.
- Román L., Santos I., Martínez M.M., Gómez M., 2015b, *Effect of extruded wheat flour as a fat replacer on batter characteristics and cake quality*, Journal of Food Science and Technology, 52(12), s. 8188-8195.
- Rybicka I., Gliszczyńska-Świągło A., 2016, *Niedobory składników odżywczych w diecie bezglutenowej*, Problemy Higieny i Epidemiologii, 97 (3), s.183-186.
- Sadowska A., Diowksz A., 2016, *Właściwości transglutaminazy i jej rola w piekarnictwie*, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 5(108), s. 9-17.
- Sanchez H., Gonzalez R., Osella C., Torres R., De La Torre M., 2008, *Elaboration of bread without gluten from extruded rice flour*, Ciência e Tecnologia de Alimentos, 6, s. 109-116.
- Swora E., Stankowiak-Kulpa H., Mazur M., 2009, *Dieta bezglutenowa w chorobie trzewnej*, Nowiny Lekarskie, 78(5-6), s. 324-329.
- Szymanderska H., 2003, *Kuchnia stara jak świat*, Prószyński i S-ka, Warszawa.
- Villanueva M., Harasym J., Muñoz J.M., Ronda F., 2018, *Microwave absorption capacity of rice flour. Impact of the radiation on rice flour microstructure, thermal and viscometric properties*, Journal of Food Engineering, 224, s. 156-164.
- Wolska P., Celińska A., Dubicka A., 2010, *Produkcja pieczywa na żurkach ze zbóż bezglutenowych*, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 5(72), s. 104-111.
- Zielińska M., Buczkowska-Radlińska J., 2017, *Wpływ diety niskowęglowodanowej na stan zdrowia człowieka*, Pomeranian Journal of Life Science, 63(4), s. 56-61.